



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

17255 3a/2

O N U D I

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL**

PROJET DP-MAG-82-010

**ETUDE SUR LA RENABILITATION DES FONDERIES
A**

MADAGASCAR

RAPPORT FINAL

JUIN 1988

baldo & c.
CONSULTING ENGINEERS

17255

ONUDI

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL**

PROJET DP-MAG-82-010

ETUDE SUR LA REHABILITATION DES FONDERIES

A

MADAGASCAR

RAPPORT FINAL

JUIN 1989

baldo & c.
CONSULTING ENGINEERS

SOMMAIRE

	Page
1. <u>AIDE MEMOIRE D'EXECUTION</u>	1
1.1 INTRODUCTION	1
1.2 MARCHÉ	1
1.3 LES FONDERIES	2
1.3.1 <u>Fonderie RNCFM</u>	2
1.3.2 <u>Fonderie SIRANALA</u>	3
1.4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	4
2. <u>CONTEXTE ET HISTORIQUE DU PROJET</u>	6
3. <u>ETUDE DU MARCHÉ</u>	8
3.1 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PRODUITS DE FONDERIE	8
3.2 METHODOLOGIE	9
3.2.1 <u>Les importations</u>	12
3.2.2 <u>Les utilisateurs</u>	12
3.3 RESULTATS DE L'ANALYSE	21
3.3.1 <u>Secteur civil</u>	22
3.3.2 <u>Secteur industriel</u>	29
3.3.3 <u>Mécanisation agricole</u>	44
3.3.4 <u>Infrastructures rurales</u>	45
3.4 DEMANDE	45
3.4.1 <u>Fonte</u>	49
3.4.2 <u>Aluminium</u>	53
3.4.3 <u>Bronze</u>	54
3.4.4 <u>Laiton</u>	54
3.4.5 <u>Acier</u>	54
3.5 MATIERES PREMIERES	55
3.5.1 <u>Pièces moulées à Madagascar</u>	55
3.5.2 <u>Pièces moulées importées</u>	60
3.6 COMBUSTIBLES	61
3.6.1 <u>Le coke métallurgique</u>	61
3.6.2 <u>Le charbon de bois</u>	62
3.6.3 <u>Le mazout</u>	63
3.6.4 <u>Le bois</u>	63

	Page	
3.7	CONSOMMABLES	63
3.8	ENERGIE ELECTRIQUE	64
3.9	EAU	64
4.	<u>ANALYSE DES FONDERIES</u>	64
4.1	METHODOLOGIE	64
4.2	CONSIDERATIONS GENERALES	66
4.2.1	<u>Typologie de production</u>	66
4.2.2	<u>Programmes et utilisation des installations</u>	67
4.2.3	<u>Matériaux</u>	68
4.2.4	<u>Procédés de fabrication</u>	72
4.3	LES FONDERIES	76
4.3.1	<u>Fonderies du groupe 1 et 2</u>	77
	FICHE DE LA FONDERIE AKORA S.A	de 80 à 99
	FICHE DE LA FONDERIE AMBOITSIRY (DELABRE)	de 100 à 112
	FICHE DE LA FONDERIE RAFALIMANA	de 113 à 125
	FICHE DE LA FONDERIE SECREN	de 126 à 142
	FICHE DE LA FONDERIE TOLY	de 143 à 154
4.3.2	<u>Fonderies du groupe 2</u>	154
	FICHE DE LA FONDERIE SIDEMA	de 155 à 170
	FICHE DE LA FONDERIE CIMELTA - JEUMONT	de 171 à 184
	FICHE DE LA FONDERIE COTONA	de 185 à 197
	FICHE DE LA FONDERIE FAVIMA	de 198 à 209
	FICHE DE LA FONDERIE SIRAMA	de 210 à 220
4.3.3	<u>Fonderies du groupe 3</u>	221
4.3.4	<u>Fonderie E.E.S.P.</u>	222
5.	<u>FORMATON</u>	235

* - * - *

ANNEXES :

ANNEXE 1: FONDERIE RNCFM - ETUDE DE MODERNISATION/REHABILITATION

ANNEXE 2: FONDERIE SIRANALA - ETUDE DE MODERNISATION/REHABILITATION

ANNEXE 3: PRECIS DE FONDERIE

ANNEXE 4: MESUREURS

ANNEXE 5: INTERVIEW SUR LES BESOINS EN PIECES MOULEES DE FONDERIE

1. AIDE MEMOIRE D'EXECUTION

1.1 INTRODUCTION

Cette étude a été effectuée dans le but de vérifier la rentabilité prévisible d'une réhabilitation d'une ou plusieurs fonderies existantes à Madagascar, pouvant répondre aux besoins de pièces moulées de série ou de pièces spéciales pour la maintenance dans les usines.

Les résultats de cette étude sont synthétisés ci-après:

1.2 MARCHÉ

L'analyse du marché a mis en évidence que les besoins en pièces moulées en 1990 (produites localement et importées), sont réparties de la façon suivante:

- pièces en fonte: kg 440.210/an
- pièces en acier: kg 13.564/an
- pièces en aluminium: kg 10.895/an
- pièces en bronze: kg 17.000/an
- pièces en laiton: kg 158.000/an

Les quantités de pièces qu'il est proposé de fabriquer à Madagascar, après la modernisation/réhabilitation, pour remplacer une partie des pièces importées, sont les suivantes:

- pièces en fonte: kg 380.000/an
- pièces en aluminium: kg 1.000/an
- pièces en bronze: kg 1.400/an
- pièces en laiton: kg 140.000/an

1.3 LES FONDERIES

Les fonderies existantes ont été examinées et après une soigneuse évaluation, les ateliers ont été divisés en trois groupes:

- le premier groupe, englobant les fonderies pour lesquelles il n'y a pas lieu de parler de réhabilitation;
- le deuxième groupe, englobant les fonderies pour lesquelles il est suffisant une intervention d'assistance pour des stages de formation spécifique et des essais de laboratoire,
- un troisième groupe, englobant les deux fonderies retenues pour la modernisation/réhabilitation, c'est à dire: la fonderie du RNCFM et la fonderie de la SIRANALA.

La fonderie de L'ECOLE ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DU POLYTECHNIQUE a été traitée comme un centre dont la vocation institutionnelle devrait être respectée; en plus cet organisme devrait se faire charge de la formation et de l'assistance technique aux différentes fonderies.

1.3.1 Fonderie RNCFM

L'étude de cette fonderie a pris en considération deux options:

- a. production de pièces en fonte, en général
- b. production de: chemises des cylindres des moulins des sucreries

Les résultats plus significatifs de l'analyse financière et économique sont:

Cas 1

- Investissements fixes	=	451.000.000 FMG
- Taux de rentabilité interne	=	23,90%
- Epargne en devise	=	3.643.530.000 FMG
- Seuil de rentabilité	=	27%

Cas 2

- Investissements fixes	=	470.000.000 FMG
- Taux de rentabilité interne	=	15,20%
- Epargne en devise	=	2.567.785.000 FMG
- Seuil de rentabilité	=	50%

1.3.2 Fonderie SIRANALA

L'étude de cette fonderie a pris en considération seulement la production des chemises des cylindres des moulins, dont la SIRANALA est un grand utilisateur. Les résultats plus significatifs de l'analyse financière et économique sont:

- Investissements fixes	=	667.800.000 FMG
- Taux de rentabilité interne	=	9,34%
- Epargne en devise	=	2.454.032.000 FMG
- Seuil de rentabilité	=	60%

1.4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La première considération qu'on peut faire est que les fonderies implantées à Madagascar sont des ateliers dont l'investissement a été décidé sans tenir compte de la situation général du Pays.

Presque toutes les initiatives industrielles mises en place (sucreries, cotonnières, fabrication de machines agricoles), ont inclus dans leur projet une fonderie capable de mouler des pièces nécessaires à l'entretien du matériel ou à la fabrication de machines.

Ce type d'approche a créé dans le Pays un nombre exorbitant de fonderies, dont la capacité est dix fois ou plus la demande de pièces de série ou de rechange.

Toutes les fonderies sont des atelier assez simples pourvues du matériel nécessaire pour la fusion et le coulage de pièces en fonte, en aluminium, en bronze et en métaux non ferreux. Seulement une fonderie a été étudiée et réalisée d'une manière moderne, l'AKORA, pour la production de robinets et autres articles similaires. La main d'oeuvre employée dans les différentes fonderies a reçu une formation pratique mais démontre une assez faible connaissance de la métallurgie.

A cause du manque d'une bonne spécialisation du personnel, des instruments de mesure et contrôle, la qualité des pièces sortant des fonderies est mauvaise et à cause de ça plusieurs utilisateurs préfèrent s'adresser à l'étranger pour l'achat de pièces de rechange. Cela est enregistré surtout dans les usines textiles qui ont besoin d'un grand nombre de pièces de petite taille et faible poids et de délais de livraison brefs.

Or, pour la majorité des fonderies, les usines textiles, à l'exception de la Cotonnière d'Antsirabé (pourvue de

sa propre fonderie), ne sont pas considérées des clients intéressants. Cette situation peut naturellement changer si les recommandations contenues dans cette étude seront acceptées.

Les objectifs à atteindre sont par ordre d'importance:

- production de pièces de qualité
- production de pièces pour remplacer les importations

Pour atteindre le premier objectif il est nécessaire que les fonderies du groupe 2, en collaboration avec la fonderie EESP et l'expert en fonderie prévu dans le projet DP/MAG/62/008-11-55, se préoccupent de faire des stages de formation spécifique à son propre personnel, de faire des analyses de la composition chimique de la matière première (tri), d'utiliser des sables conformes aux indications des normes pour la fabrication des moules et des noyaux, fabriquer les modèles d'une manière plus soignée, de faire des contrôles de la température du métal en fusion avant la coulée.

Le deuxième objectif peut être atteint si le projet de modernisation de la fonderie RNCFM est réalisé ou à défaut, le projet de la SIRANALA est mis en place.

Les études financières et économiques pour les différentes solutions sont nettement à faveur de la modernisation/réhabilitation de la fonderie RNCFM qui peut utiliser le nouveau équipement prévu pour la modernisation, même pour la fabrication des chemises des cylindres.

A part ça, à notre avis il y a encore les considérations suivantes à joindre:

- la fonderie RNCFM se trouve en zone idéale du point de vue des infrastructures, des distances avec les différents utilisateurs,
- dispose d'une surface suffisamment ample pour l'installation du matériel nouveau, destiné à l'augmentation de la production et à la fabrication des chemises des cylindres,
- son atelier d'usinage est un des plus complets ateliers de Madagascar,
- se trouve très proche à l'EESP, donc il existe une facilitation de contacts fréquents avec cet organisme.

La fonderie de SIRANALA peut satisfaire les besoins de marché, en ce qui concerne la production des chemises des cylindres, de la même manière que la fonderie du RNCFM mais il faut tenir en compte que son emplacement rend les communications avec les utilisateurs/clients assez difficile.

Les usines textiles, au cas la situation demeure inchangée, peuvent s'adresser à la fonderie de la COTONA, qui travaille dans le même secteur.

2. CONTEXTE ET HISTORIQUE DU PROJET

- 2.1 Plus de treize fonderies sont installées à Madagascar. Leur capacité nominale s'élève à 5.000.000 Kg/a de pièces en fonte, 500.000 Kg/a de pièces en bronze, 100.000 Kg/a de pièces en aluminium, 250.000 Kg/a de pièces en cupro-alliages.
- La production effective n'atteigne que le 10% de la capacité nominale de moulage de pièces en fonte, le 3%

de la capacité nominale de moulage de pièces en bronze, le 1% de la capacité nominale de moulage de pièces en aluminium, le 8% de la capacité nominale de moulage de pièces en cupro-alliages.

La grande différence entre la capacité nominale et la production effective est imputable à:

- i) quelques fonderies ont arrêté la production;
- ii) quelques fonderies ne travaillent que pour la fabrication de pièces destinées aux complexes dont font partie;
- iii) la qualité des produits et les temps de livraison sont, souvent, inacceptables par les utilisateurs et par conséquent le matériel ne marche pas;
- iv) la demande de pièces moulées est bien au dessous de la capacité nominale.

2.2 Le Gouvernement, dans son programme de restructuration industrielle, visée à rendre plus efficaces les unités productives du pays, a démarré un programme de "Maintenance" en coopération avec le PNUD et l'ONUUI.

Ce programme, outre à la formation du personnel, à la définition des interventions pour la remise en état du matériel, se propose le but important de rendre le pays de plus en plus autosuffisant en matière de pièces de rechange.

Les fonderies, étant des sources de pièces moulées brutes ou finies, devraient, forcément, être analysées dans le but de mettre en évidence les mesures à prendre pour la réhabilitation d'une ou plusieurs d'elles pour satisfaire les besoins des différents utilisateurs.

Un financement a été demandé au PNUD et l'ONUFI a été chargée d'effectuer une étude de faisabilité en utilisant la Société Baldo & C. comme soutraintant. Le contrat de soutraintance a été signé en Avril 1988 et la mission a débutée à la moitié du même mois. La société Malgache Dinika a donné sa collaboration dans l'étude de marché.

Des réunions avec les responsables de la Direction Générale du Plan ont eu lieu au courant de la mission sur le tas et successivement, pour une analyse du rapport intérimaire.

Les suggestions et recommandations de la partie Malgache ont été prises en considération dans ce rapport.

3. ETUDE DE MARCHÉ

3.1 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PRODUITS DE FONDERIE

Les produits de fonderie peuvent être en fonte, en acier, en alliages d'aluminium, en alliage de cuivre, en alliage de magnésium, en alliage de zinc, en alliages spéciaux.

La désignation et les caractéristiques, les propriétés et les domaines d'emplois sont définies dans les Normes Françaises, contenues dans le Précis de Fonderie, joint en annexe.

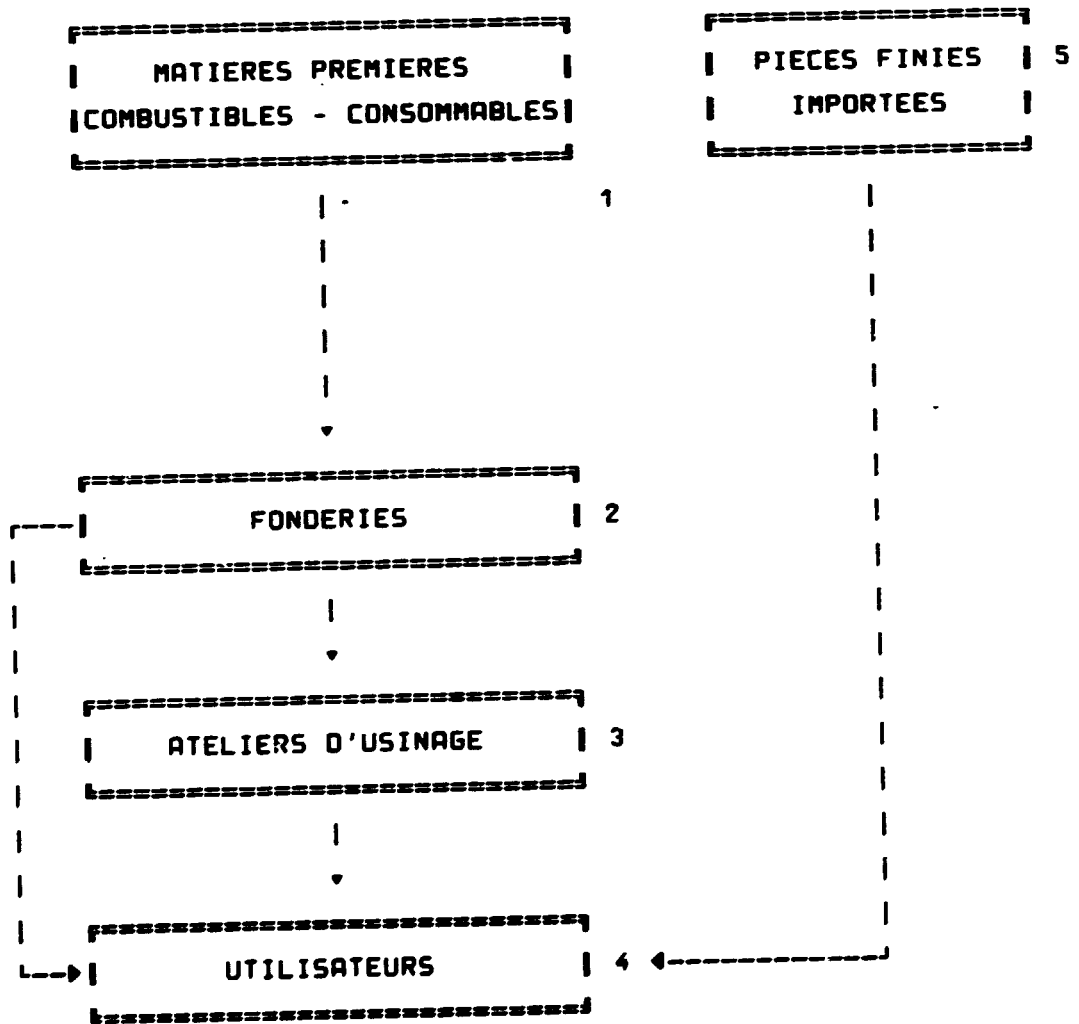
Sur la base des indications des Normes Françaises, l'approche à la détermination de la demande a été défini.

La méthodologie adoptée est détaillée dans le paragraphe suivant.

3.2 METHODOLOGIE

Afin de mieux cerner toutes les informations nécessaires pour bien évaluer le marché des pièces moulées, la méthodologie adoptée pour la collecte des données repose essentiellement sur la détermination des différents circuits qui prennent les inputs utilisés en matière de fonderie (matières premières, combustibles, consommables, pièces finies) depuis leur disponibilité jusqu'à leur destination finale.

Le schéma ci-dessous indique les différents circuits :



Les circuits sont :

A : (1) (2) (4) Matières-Fonderies-Utilisateurs

Les matières premières (acier, fonte, bronze, aluminium, autres alliages non ferreux), les combustibles (coke, charbon de bois, fuel), les consommables (ferro-alliages, réfractaires, liants, sables) sont utilisés dans les fonderies pour la production de pièces moulées finies.

B : (1) (2) (3) (4) Matières-Fonderies-Ateliers-utilisateurs

Les pièces moulées sorties des fonderies nécessitent du travail d'usinage dans les ateliers, afin de recevoir leur forme finale avant d'arriver chez leurs utilisateurs.

C : (5) (4) Pièces finies importées-utilisateurs

Certaines pièces sont importées déjà finies et vont directement auprès des utilisateurs.

Dans les sous-paragraphes qui suivent, les types des informations recueillies ainsi que les approches retenus pour leur collecte sont exposés.

3.2.1 Les importations

Les importations sont de quatre sortes, à savoir :

- . Les matières premières
- . les consommables
- . les combustibles
- . les pièces finies

Tout d'abord la nomenclature de classification de ces marchandises dans les tarifs douaniers a été identifiée et, ensuite, les données disponibles sur la quantité et la valeur de ces importations ont été collectées.

3.2.2 Les utilisateurs

L'approche méthodologique retenue pour un meilleur recensement des consommateurs de pièces de fonderie a été la détermination des grands secteurs utilisateurs de ces pièces.

La première subdivision met en relief les secteurs suivants:

- . le secteur civil
- . le secteur industriel
- . le secteur de mécanisation agricole
- . le secteur des infrastructures rurales

3.2.2.1 Secteur Civil

Un recensement des pièces moulées utilisées dans

- . les réseaux eau potable
- . les systèmes d'égouts et drainage eau de pluie
- . la robinetterie
- . la plomberie et les sanitaires

a été fait et les organismes responsables de ces domaines et les sources d'information auxquelles s'adresser pour avoir l'indication des besoins ont été individuées et puis contactées.

Le tableau 3.2.2.1 détaille les pièces moulées par domaine d'emploi :

TABLERAU 3.2.2.1

PIECES MOULEES UTILISEES DANS LE SECTEUR CIVIL

PIECES	DOMAINE D'EMPLOI
1) Coudes et raccorderies	- Réseaux eau potable
2) Grilles et Couvercles d'inspection	- Egouts - Drainage eau de pluie
3) Robinetteries	- Habitat
4) Plomberie et sanitaires	- Nouvelles habitations - Améliorations habitations existantes

3.2.2.2 Secteur Industriel

Un recensement des types de pièces moulées utilisées par chaque secteur d'activités industrielles a été fait et les résultats ainsi obtenus se présentent comme suit:

TABLERAU 3.2.2.2.A

PIECES MOULEES UTILISEES DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

PIECES	ACTIVITES INDUSTRIELLES
1 Boulets broyeurs, tamis plaques anti-corrosion ou usure	Cimenteries, Chaux, carrières gravillons
2 Tambours, cylindres, poules	Sucreries, textiles, minoteries, extraction, papeteries, imprimeries
3 Sabots et semelles freins	Chemins de fer
4 Vannes	Toutes industries
5 Volants	Toutes industries, construction, machines agricoles, atelier répara- tions automobiles
6 Engrenages	Toutes industries
7 Paliers et coussinets antifriction	Toutes industries
8 Carters, culasses couvercles, corps de pompe. Pompes ou moteurs	Moteurs thermiques, pompes
9 Tambours freins	Ateliers réparation autos, camions
10 Pièces diverses en acier, fonte, aluminium, cupro- alliage	Toutes industries

L'échantillonnage des entreprises à interviewer a été établi à partir :

- de la liste des unités industrielles, élaborée par la SERDI (Société d'Etudes et de réalisation pour le développement industriel)
- de la liste des unités industrielles fournie par le Ministère de l'Industrie;
- du dépouillement de la liste des importations des pièces de rechange trouvée dans les "Aggrégats du Ministère du Commerce" sous les codes suivants :
 - . 44 Matières premières et pièces de rechange
 - . 45 Pièces de rechange pour machines agricoles
 - . 51 Pièces de rechange pour machines industrielles

Les utilisateurs sont indiqués dans le tableau 3.1.2.2.B et le taux de sondage des interviews est reporté dans le tableau 3.1.2.2 C ci-après.

TABLAU 3.2.2.2 B
Liste des utilisateurs de piéces moulees

N. D'ORDRE	SECTEUR	N. D'ENTREPR A VISITER	ENTREPRISE	LOCALITE
1	CIMENTERIES	1	Nouvelle Cimenterie d'Amboanio (NCA) Abs : BTM MAHAJANGA B.P. : 302 Tlx. BTM	Mahajanga
2		2	Cimenterie de Antsirabe (CIMA) Tél. 276.07 B.P. 3904 Antaninarenina/ ANTANANARIVO	Antsirabe
3	SUCRERIES	1	SIRAMA (Etablissem. secondaire) Tél. 1 B.P. 138 NAMAKIA	Namakia
4		2	SIRAMA (Etablissem. secondaire) Tél. 1 ou 25 AMBILOBE	Ambilobe
5		3	Sucrerie de Nosy Bé et de la Côte Est BRICKAVILLE	Brickaville
6		4	SIRANALA (Sucrerie d'Analalaiva/MORONDAVA)	Morondava
7		5	Sucrerie de Nosy Bé et de la Côte Est Tél. 611-15 ou 610-54 B.P. 44 NOSY BE	Nosy-Bé
8	CARRIERES	1	Société Malgache de Carrière et Terrassement) (SMCT) Tél. 402-80 ou 400-57 Soamanandrarinny/ ANTANANARIVO	Antananarivo
9	EXTRACTION	1	Société Malgache d'Exploitation (SOMADEX) Tél. 243-41 ANTANANARIVO	Antsirabe

N. D'ORDRE	SECTEUR	N. D'ENTREPR A VISITER	ENTREPRISE	LOCALITE
10	EXTRACTION	2	Société GALLOIS (Extraction graphite) Tél. 229-51 B.P. 159 ANTANANARIVO Annexe à ANTSIRAKAMBO TOAMASINA	Antanana- rivo
11	USINE DE FABRICATION DE CHAUX	1	SORBE 22, Rue Marguerite Barbier ANTANANARIVO Tél. 306.00 B.P. 848 ANTANANARIVO Rue Jean-Paul Ralaimongo Tél. 488-28 B.P. 364 ANTSIRABE	Antsirabe
12	PAPETERIE	1	PAPMAD Tél. 206-35 Ambohim- nambola/ANTANANARIVO	Antanana- rivo
13		2	CARTONS ELGE B.P. : 62 TOAMASINA	Toamasina
14	IMPRIMERIES	1	PAPMAD Tél. 206-35 Ambohim- nambola/ANTANANARIVO	Antanana- rivo
15		2	FTM B.P. 323 ANTANANARIVO	Antanana- rivo
16		3	Société Malgache d'Édition (SME) B.P. 659 Ankorondrano ANTANANARIVO	Antanana- rivo
17		4	Société Nouvelle d'Imprimerie du Centre (SNIC) B.P. 1414 Routes des Hydrocar- bures ANTANANARIVO	Antanana- rivo
18	CARROSSERIE	1	Taobavy Tél. 208-28 B.P. 160 Rte d'Antsi- rabe/Fiadanana/ANTAN	Antanana- rivo

N. D'ORDRE	SECTEUR	N. D'ENTREPRISE A VISITER	ENTREPRISE	LOCALITE
19	CARROSSERIE	2	Ets. RAMAROSANDY Justin 67, Ha/ ANTANANARIVO	Antanana- rivo
20	REPARATION POMPES	1	AMECA (Révision de pompes de toutes mar- ques) Tél. 230-16 B.P. 392 Routes des Hydrocar- bures ANTANANARIVO	Antanana- rivo
21	REPARATION VEHICULES	1	AMECA (Entreprise de réparation véhi- cules et autos) Tél. 230-16 B.P. 392 Routes des Hydrocar- bures ANTANANARIVO	Antanana- rivo
			SICAM - Tél. 229-61 B.P. 44 ANTANANARIVO	Antanana- rivo
23		3	Matériel automobile et industriel (Répa- ration de véhicules industriels) MATERAUTO Tél. 233-39 B.P. 1516 ANTANANAR.	Antanana- rivo
24		4	SOMECA (Société de Mécanique automobile et de représentation industrielle) 26, rue Lumumba Tél. 254-54 B.P. 359	Antanana- rivo
25		5	Henri FRAISE Fils & Cie Tél. 227-21 B.P. 359	Antanana- rivo
26	TEXTILES	1	SOTEMA Agence ANTANANARIVO Tél. 275-68 Siège Tél. 26-82 à 85 B.P. 375 MAHAJANGA	Mahajanga

N. D'ORDRE	SECTEUR	N. D'ENTREPR A VISITER	ENTREPRISE	LOCALITE
27	TEXTILES	2	COTONA Direction Générale Tél. 285-52 ANTANAN. Usines Tél. 484-22 D.G. Tél. 484-66 ANTSIRABE	Antsirabe
28		5	Société de Bonnetière de Madagascar (SOBOMA) Tél. 443-54 Talatamaty/ANTANANAR.	Antanana- rivo
29		4	SUMATEX (Sud Madagascar Textile) Tél. 421-20 B.P. 453 TOLIARY	Toliary
30		5	TISMA Tél. 257-93 B.P. 814 P.K. 2,5 Rte de Manajanga	Antanana- rivo
31		6	ENDUMA Tél. 242-59 B.P. 3908 ANTANANAR.	Antanana- rivo
32	MINOTERIE FECULERIE DECORTIQUERIE	1	Minoterie RAZANAPATSA Tél. 257-63 Lot IG 159 Bis Ampefi loha/Isotry ANTANANAR	Antanana- rivo
33		2	SAM YUE CHI Tél. 236-27 Lot IG 50 Rue Raketa manga ANTANANARIVO	Antanana- rivo
34		3	RAMANOELINA Tél. 254.95 Lot II K 4 B Andra- vohangy/ANTANANARIVO	Antanana- rivo
35		4	RAMAMBAVOLA Tsarakoba Tél. 207-27 10, rue Andrianary Ratianarivo ANTANAN.	Antanana- rivo

N. D'ORDRE	SECTEUR	N. D'ENTREPRISE A VISITER	ENTREPRISE	LOCALITE
36	MOUTERIE FECULERIE DECORTIQUERIE	5	RABEHAJA Vincent Anosizato/ANTANANAR.	Antanana- rivo
37		6	Rizerie ANDRIANAMBOLA Gabriel Henri 92, Route de Mahajanga Tél. 216-04 ANTANANAR.	Antanana- rivo
38		7	Ets. RASOLOARIJAO et Fils 104, Arabe Lénine Vladimir Tél. 201-39 ANTANANAR	Antanana- rivo
39		8	TANAKOBA Ambohidroa/ANTANANAR	Antanana- rivo
40		9	Ets. RAMANANDRAIBE Tél. 207-36 50, rue Pasteur ANTANANARIVO	Antanana- rivo
41	PLASTIQUES	1	COMEPLAST Tél. 223-67 17, rue Léon-Réallon ANTANANARIVO Tél. 444-45 Usine d'Ambohibao	Antanana- rivo

Source : Classification par secteur d'activité "Guide des affaires" SERDI-RINDRA en 1985

TABLERAU 3.2.2.2.C

TAUX DE SONDAGE DES INTERVIEWS

SECTEUR D'ACTIVITE	Nombre tot. d'unité du secteur d'activité (1)	Nombre d'unités inter- viewées (2)	Taux de sondage (2)/(1)
- Cimenteries	2	2	100
- Fabrication chaux	1	1	100
- Extraction et exploita- tion des carrières de minéraux non métalliques	8	4	50
- Sucreries	5	5	100
- Papeteries	2	2	100
- Imprimeries	12	4	30
- Carrosseries	3	2	70
- Réparation pompes	1	1	100
- Véhicule à moteurs et pièces détachées	8	5	60
- Textiles et Bonneteries	16	6	40
- Minoterie, féculeries, décortiqueries	n.d.	9	n.d.
- Produits en plastique	6	1	20

3.3 RESULTATS DE L'ANALYSE

Les résultats, issus du dépouillement des questionnaires et interviews, des recherches auprès les Douanes et de la Banque des Données sont consignés dans les sous-paragraphes suivants :

3.3.1 Secteur civil

3.3.1.1 Réseaux eau potable

La gestion de l'eau potable à partir de l'approvisionnement jusqu'à la distribution aux utilisations est du ressort de la Jirama.

Cet organisme public importe de la France tous les produits en fonte moulée nécessaires à l'entretien des réseaux de distribution ou à la réalisation de nouveaux branchements.

Normalement, l'approvisionnement des matériaux a lieu une fois par an et les quantités et la typologie des pièces moulées sont plus au moins constantes (cf tableau 3.3.1.1 ci-après):

- bouches-à-clé =	95.000 Kg
- raccorderie =	35.000 Kg

Les prévisions de la Jirama confirment que la situation actuelle restera inchangée pour le future, étant donné que le développement dans le secteur est assez lente et qu'il n'existe pas de projets importants ni pour le renouvellement de réseaux existants, ni pour l'installation de nouveaux réseaux de grandes dimensions.

Les pièces importées sont fabriquées en série par de fonderies automatisées, dont la capacité de production est dimensionnée pour des quantités assez importantes. Or, le nombre des pièces dont la Jirama a besoin ne justifierait jamais un investissement pour une production locale.

Cependant, la Jirama, de temps en temps, s'adresse à des fonderies locales pour le moulage de BOUCHES A CLE, qui sont de pièces en fonte grise qui doivent avoir une

bonne résistance mécanique principalement, pour satisfaire la fonction à laquelle sont destinées.

Souvent, les pièces produites localement, sont refusées par la Jirama à cause de la mauvaise qualité, imputable, premièrement, à une erronée composition chimique de la charge et, deuxièmement à la basse température de coulée.

Une fois que le problème qualité est surmonté, Jirama est disponible à s'approvisionner sur le marché locale, mais en tenant en stock une modeste quantité de pièces importées, pour raison de sécurité.

TABLEAU 3.3.1.1

PIECES MOULEES COMMANDEES PAR JIRAMA
POUR L'ANNEE 1988

DESIGNATION	N. PIECES	FMG/PIECE
1 - Bouche à clé à tête hexagonale :		
DN 15 à 32	4000)
DN 40	1300	) 1100 FMG/Kg
2 - Bouche à clé à tête ronde :	4500)
3 - Té à 2 emboitements et tubulure bride		
DN 60 x 60	14	3.100
DN 80 x 60	8	5.250,41
DN 100 x 80	6	7.258,16
DN 125 x 80	2	10.500
DN 150 x 80	31	12.000
DN 150 x 100	19	12.563
DN 150 x 125	3	14.000
DN 200 x 80	26	15.160,63
DN 200 x 125	6	15.500
DN 200 x 150	19	16.000
DN 200 x 200	1	16.810,78
DN 300 x 100	5	25.839,43
DN 300 x 200	1	27.469,25
DN 300 x 250	2	33.930
DN 300 x 300	2	34.460
DN 400 x 150	2	25.769
DN 400 x 200	2	32.000
DN 800 x 300	3	40.000
DN 250 x 100	31	22.812
DN 250 x 150	3	28.774
DN 300 x 150	6	29.200
DN 400 x 100	5	14.000
4 - Té à 3 brides		
DN 60 x 60	11	18.657
DN 100 x 80	6	31.000
DN 125 x 60	12	32.000
DN 125 x 100	12	32.315
DN 150 x 150	6	33.042,18
DN 150 x 100	1	32.980
DN 200 x 60	7	40.000
DN 250 x 60	7	47.200
DN 300 x 200	3	65.400
DN 300 x 250	6	70.000
DN 300 x 300	2	84.896

DESIGNATION	N. PIECES	FMG/PIECE
5 - Coude 1/4 express 2 GS		
DN 60	57	4.512
DN 80	29	5.103
DN 100	23	8.060
DN 125	11	8.606
DN 150	20	14.463
DN 200	5	15.985
DN 250	17	17.183
DN 300	6	32.546
6 - Coude 1/4 standard		
DN 40	13	663,76
DN 60	9	4.217
DN 80	5	5.016
DN 100	5	6.505
DN 150	5	13.348
DN 200	5	21.600
DN 300	1	66.932,71
7 - Coude 1/4 2B GN 10		
DN 60	9	10.245,81
DN 80	9	14.979,34
DN 100	26	20.083,14
DN 125	5	25.542,73
DN 150	8	32.523
DN 200	13	33.012,30
DN 250	6	41.743,91
DN 300	3	66.932,71
DN 400	3	92.435
8 - Coude 1/8 express 2 GS		
DN 60	10	1.890
DN 80	10	6.922,95
DN 100	7	9.590,62
DN 125	3	12.400
DN 150	3	16.547,20
DN 200	3	21.630,20
DN 250	2	22.538,03
DN 300	3	30.742,79
DN 350	4	43.824,44
DN 400	4	50.742,79
9 - Coude 1/8 2B GN 10		
DN 60	2	10.100
DN 80	2	14.400
DN 100	4	16.670,50
DN 150	12	36.091,47
DN 200	9	37.088
DN 250	2	41.528,43
DN 400	2	183.219

3.3.1.2 Egouts et drainage eau de pluie

Les municipalités sont responsables de l'évacuation des égouts et du système de drainage des eaux pluviales.

La politique adoptée par les municipalités est l'utilisation des produits de moindre coûts et qui peuvent être trouvés localement. Ainsi, les couvercles des man-holes, les grilles d'égouts ainsi que les tuyauteries sont faits en béton.

La demande est, donc, nulle en pièces moulées.

3.3.1.3 Robinetteries

Ces articles, dont la typologie est assez diversifiée, sont offerts au marché par deux sources fondamentales:

- l'importation
- la production industrielle locale

a. L'importation

La source de données permettant d'établir le niveau des importations est la Douane, qui, malheureusement, ne fait pas de distinction entre les différents types de robinets, mais se limite à l'enregistrement du poids, de la valeur, des droits et taxes payées.

Une recherche auprès des vendeurs a permis d'établir que la robinetterie importée est généralement du type courant, mais on trouve des articles moyen-luxueux, aussi.

Les données des articles de robinetterie importés sont reportées dans le tableau 3.3.1.3 ci-après.

TABLERAU 3.3.1.3

**ARTICLES DE ROBINETTERIE AUTRES QUE DETENTEURS
IMPORTATIONS**

ANNEE	QUANTITE EN KG NET	VALEUR EN FMS	DROITS DOUANE	TAVES D'IMPORTATION	TUT FMS
1982	99.547	387,877,000	23.808.020	59.011.928	17.575.525
1983	162.052	494,206,200	45.484.005	109.522.408	21.279.111
1984	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1985	105.949	619,821,900	54.139.804	110.280.020	71.945.551
1986	127.381	684,281,500	48.113.130	88.042.379	93.981.994
1987	69.234	481,940,600	31.634.040	43.749.945	43.148.220
(1er semestre)					

b. Production locale

En juillet 1987 la FONDERIE AKORA a démarré la production de robinets en laiton.

A la fin de l'année, 48.660 pièces avaient été produites réparties de la façon suivante:

- 41.655 robinets bâtiments
- 7.005 robinets sanitaires

La capacité nominale de la fonderie est la suivante:

- robinetterie bâtiment 134.000 unités/an
- robinetterie sanitaire 66.000 unités/an

La production d'AKORA est destinée aux logements bon marché, dont la construction rentre dans les programmes gouvernementaux.

La construction des logements procède à un rythme lente et la potentialité d'AKORA ne peut pas être utilisée qu'à un niveau modeste.

La production de robinets d'un standard plus élevé, en mesure de remplacer une bonne partie des importations est prévue par la Direction d'Akora, qui, à cause de la basse productivité de l'installation et donc pour manque de fonds, a été obligée à renoncer à la mise en place de ce programme. Cela se traduit en une prolongation, dans le temps, des importations des articles de robinetterie. Il résulte assez difficile de faire des prévisions valables, mais on peut anticiper qu'au moins un délai de cinq années est nécessaire avant que Akora soit en condition de démarrer la production de pièces actuellement importées.

3.3.1.4 Plomberie et Sanitaires

La typologie des constructions à Madagascar ne demande pas de pièces moulées. Cela a été démontré par une étude intitulée "INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION IMMOBILIERE" faite en 1986 par le Bureau d'Etudes Dinika pour le compte de l'ONU/DI, sous contrat 84/106. Cette étude, qui prend en considération la situation du secteur à partir de 1984 et formule des prévisions jusqu'à l'année 2000, met en évidence que les seules pièces de fonderie que le marché pourrait demander, sont des baignoires ayant les dimensions de 170x170 cm. La demande en 1984 était de 394 pièces et la tendance porte à une estimation de 690 pièces à l'horizon 2000. Les baignoires sont de pièces en fonte, qui après le moulage, ont besoin d'une finition soignée, avant

d'être émaillées.

Du point de vue de la fonderie il n'y aurait pas de difficultés; le nombre modeste des pièces ne justifierait pas l'investissement pour le traitement de finition.

Ces articles ne seront pas considérés dans cette étude.

3.3.2 Secteur industriel

Les entreprises interviewées sont 34 sur un total sélectionné de 41 (cf. tableau 3.1.2.2.B).

Six ont été délaissées pour cause de non utilisation de pièces moulées; une a refusé de fournir les informations demandées.

Les données collectées sont reportées dans des dossiers préparés pour chaque entreprise interviewée; ces dossiers sont joints en annexe. Les résultats, issus du dépouillement des questionnaires sont consignés dans les tableaux suivants (3.3.2.5.1-1/2/3/4, 3.3.3.5.2-1/2/3/4, 3.3.2.5.3.-1/2, 3.3.2.5.4-1/2, 3.3.2.5.5-1/2/3/4) reportants les données réparties par secteur géographique et par matière des pièces moulées.

TABLEAU 3.3.2.5.1-1

Secteur géographique : **ANTANANARIVO**

Matière première : **FONTE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Boulet broyeur	ø 20 à ø 25		800	Fabrication chaux	Importation
Carter	900 x 300 x 400	120	44.000	Réparation autos	Importation
Chapeau de roulement	ø ø 100 ø 1 50 ø 50 à 250	n.d.	n.d.	Fabrication chaux	Importation
Culasse	900 x 300 x 130		22.000	Réparation autos	Importation
Grille pour chaudière		6	240	Papeterie	LOCALE
Jets creux	ø 175 x 40 x 100		155	Papeterie	LOCALE
Jets creux	ø 210 x 150 x 40		40	Papeterie	LOCALE
Jets creux	ø 130 x 40 x 40		65	Papeterie	LOCALE
Jet	ø 130		32	Papeterie	LOCALE
Jeu de segments	12 pièces	90	1.080	Papeterie	LOCALE
Jeu de segments	24 pièces	200	4.800	Papeterie	LOCALE
Levier de bosse	500 x 60	2	60	Papeterie	LOCALE
Longeron de grille		15	90	Textile	COTONA
Meule	460 x 1400 x 110	1500	1.000	Cimenterie	Importation
Palier			30	Carrosserie	Importation
Palier de chasse	300 x 150	6	2.400	Textile	COTONA
Plaque de piste de broyage	900 x 480 x 70	185	1.100	Cimenterie	Importation
Plaque d'usure			800	Fabrique de chaux	Importation
Plaque de blindage	510 x 70 x 20	5	95	Cimenterie	Importation
Tambours freins	ø 400	10	3.300	Carrosserie	Importation
Tambours freins	ø 200	5	1.650	Carrosserie	Importation
Poulie			275	Papeterie	LOCALE
Poulie			100	Carrosserie	LOCALE
Poulie	ø 200	4	2.904	Reparations autos	Importation
Roue à rocnet	ø 250 x 40	6	1.800	Textile	COTONA
Roue tangente		1	36	Textile	COTONA
Support de chasse	600 x 400	18	5.400	Textile	COTONA
		TOTAL	94.252		

TABLEAU 3.3.2.5.1-2

Secteur géographique : **ANTANANARIVO**
Matière première : **BRONZE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANNUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Bague		0,6	8	Textile	RNCFM
Coussinet de palier			50	Fabrique de chaux	DELABRE
Flosoe de pompe	∅ 160	6	60	Textile	COTONA
Jets	∅ 160		200	Plastique	LOCALE
Jets	∅ 20		25	Papeterie	LOCALE
Jets	∅ 25		4	Imprimerie	LOCALE
Jets	∅ 30		45	Papeterie	LOCALE
Jets	∅ 40		60	Papeterie	LOCALE
Jets	∅ 50		30	Papeterie	LOCALE
Jets	∅ 60		190	Papeterie	LOCALE
Jets	∅ 80		275	Papeterie	LOCALE
Pignon	∅ 90		95	Papeterie	LOCALE
		TOTAL	1042		

TABLEAU 3.3.2.S.1-3

Secteur géographique : **ANTANANARIVO**
Matière première : **ALUMINIUM**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANNUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Carter	450 x 200 x 250	15	6600	Réparation autos	Importation
Couvercle pour palier	450 x 220 x 110	0,1	200	Plastique	LOCALE
Culasse	ø 185, 250, 280		3000	Réparation autos	Importation
Jet			55	Papeterie	LOCALE
Lame métier à tisser		0,1	300	Plastique	LOCALE
Levier d'appel		0,2	500	Plastique	LOCALE
		TOTAL	10.655		

TABLEAU 3.3.2.5.1-4

Secteur géographique : **ANTANANARIVO**
Matière première : **ACIER**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (kg)	CONSOMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Joint à boulet	60 x 130	0,9	7,2	Textile	Importation
Roue à rochet	60 x 100	1,2	4,8	Textile	Importation
Porte galet de chasse	55 x 160	2	20	Textile	Importation
Cone de chasse	45 x 210	3,8	76	Textile	Importation
Vilbrequin pour mouvement sabre	110 x 150	0,7	70	Textile	Importation
Segment turbotin	200 x 80 x 100	6	36	Travaux agricoles (bulldozer)	Importation
Dent de godet	150 x 70 x 90	5	30	Travaux agricoles (pelle)	Importation
Boulets broyage ciment	de 20 à 50	de 6 à 9	8.400	Cimenterie	Importation
Marteaux de courassage	400 x 240 x 90	49	4.800	Cimenterie	Importation
Dents de godets	n.d.	5	120	Cimenterie	Importation
		TOTAL	13.564		

TABLEAU 3.3.2.5.2-1

Secteur géographique: MAJUNGA

Matière première: FONTE

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSUMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Bagues	∅ ext. 320 ∅ int. 160 long. 30	13	390	Cimenterie	CIMELTA-JEUMONT
Baitier de roues de wagon		30	1500	Sucrerie-distillerie	CIMELTA-JEUMONT
Boulet broyeur	∅ 30 à 100		20000	Cimenterie	Importation (Polysius)
Brides de pédale	long 200 ∅ 100	0,9	90	Textile	SERDI
Chevaie cylindre moulin	∅ ext. 800 ∅ alé 430 long. 1550	4000	32000	Sucrerie-distillerie	Importation
Couronne dentée	∅ 450	11,5	276	Textile	SERDI
Coussinet	∅ ext. 235 ∅ int. 160	6	180	Cimenterie	LOCALE
Guide cannette	150 x 150 x 30	1	80	Textile	SERDI
Lame bagassière	1550 x 400 x 80	400	1600	Sucrerie	CIMELTA-JEUMONT
Rachette	1550 x 400 x 50	250	2500	Sucrerie	CIMELTA-JEUMONT
Levier de renversement	100 x 100 x 50	0,15	4,5	Textile	SERDI
Levier de débitage		2,6	26	Textile	SERDI
Marteau change cannette	250 x 250 x 50	2,4	72	Textile	SERDI
Palier	200 x 200 x 80	7	420	Textile	SERDI
Palier		10	120	Cimenterie	Importation
Pantin élévateur	∅ ext. 670 ∅ int. 400	160	2560	Cimenterie	CIMELTA-JEUMONT
Pignon	∅ ext. 325 ∅ int. 110 x 190	100	500	Cimenterie	CIMELTA-JEUMONT
Plaquet d'usure (poape)	∅ e 240 ∅ i 90 à 35	10	120	Cimenterie	Importation
Polie	∅ 400, à 150	5,8	580	Textile	SERDI
Rachet d'avance	95 x 75 x 75	0,4	14	Textile	SERDI
Roue tangente	∅ 100, long. 80	2,1	44	Textile	SERDI
Roue dentée ensouple	∅ 400, à 150	12	180	Textile	SERDI
Rouet	∅ e 240 ∅ i 35 à 148	45	540	Cimenterie	Importation
		TOTAL	63796,5		

TABLEAU 3.3.2.5.2-2

Secteur géographique : **MAJUNGA**
Matière première : **BRONZE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANNUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Bagues	∅ e 100 long 175	2	200	Sucrierie	CIMELTA-JEUMONT
Bagues	∅ e 60 ∅ i 40 L 280	3	372	Cinenterie	RJIJINA
Coussinet	∅ e 300 ∅ i 240 L 285	50	600	Cinenterie	Importation
Coussinet	∅ alésage 300 e 80		700	Sucrierie	CIMELTA-JEUMONT
Coussinet	∅ alésage 280 e 40 L 500		100	Sucrierie	CIMELTA-JEUMONT
Couvercle de tamplet	∅ 200 e 50	0,35	24	Textile	SERDI
Ecrou pour vis	∅ 50	0,8	n.d.	Textile	SERDI
Jets			5000	Sucrierie	CIMELTA
Rouet	∅ 150 e 350		300	Sucrierie	Importation
Support couteau	150 x 150 x 30	0,7	42	Textile	SERDI
		TOTAL	7338		

TABLEAU 3.3.2.5.2-3

Secteur géographique : MAJUNGA
Matière première : ALUMINIUM - ANTIFRICTION

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANNUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Clapet de bobines	100 x 50 x 50	0,2	n.d.	Textile	SERDI
Disque à file	Ø 300 Ø 3	0,5	n.d.	Textile	SERDI
Répose fil	300 x 300 x 50	0,5	n.d.	Textile	SERDI
Soutien de bride	120 x 50 x 30	0,2	n.d.	Textile	SERDI
Coussinet (antifricition)	Ø alésage 80 long. 120	n.d.	2 unités sur 3 ans	Sucrerie	Importation

TABLEAU 3.3.2.S.3-1

Secteur géographique : TOMASINA
Matière première : FONTE

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSUMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Boulet broyeur	Ø 30 x 120	4000	45.000	Extraction graphite Sucrierie	DELABRE Importation
Chemise cylindrique moulin	Ø 747 x 1370		4.000		
		TOTAL	49.000		

TABLEAU 3.3.2.5.3-2

Secteur géographique : TOMASINA
Matière première : BRONZE - CUIVRE - LAITON

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Coussinet bronze		200	400	Sucrierie	RAFALIMANANA
Jets creux bronze	Ø 100 x 40		210	Sucrierie	RAFALIMANANA
Jets creux bronze	Ø 90 x 40		165	Sucrierie	RAFALIMANANA
Jets creux bronze	Ø 80 x 40		120	Sucrierie	RAFALIMANANA
Jets cuivre	Ø 230		600	Extraction graphite	DELABRE
Jets bronze			600	Extraction graphite	DELABRE
Jets laiton			600	Extraction graphite	DELABRE
		TOTAL	2695		

TABLEAU 3.3.2.S.4-1

Secteur géographique : **DIEGO**
Matière première : **FONTE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Cheaise cylindre moulin	ø 1300	5000	30.000	Sucrierie	Importation
Cheaise	ø 1100	3000	12.000	Sucrierie	Importation
Lame bogassière	300 x 1675 x 30	100	400	Sucrierie	SECREN
Sobots de freins		20	800	Sucrierie	SIRAMA
		TOTAL	43.200		

TABLEAU 3.3.2.5.4-2

Secteur géographique : **DIEGO**
Matière première : **BRONZE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANNUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Jets creux	∅ 260 x 300		210	Sucrierie	CIMELTA
Jets	∅ 230		3000	Sucrierie	SECREN
	∅ 85		140	Sucrierie	SECREN
	∅ 105		210	Sucrierie	SECREN
	∅ 125		300	Sucrierie	SECREN
	∅ 135		290	Sucrierie	SECREN
	∅ 145		330	Sucrierie	SECREN
	∅ 165		425	Sucrierie	SECREN
	∅ 185		325	Sucrierie	SECREN
	∅ 215		580	Sucrierie	SECREN
	∅ 250		585	Sucrierie	SECREN
Rouet	∅ 250	20	300	Sucrierie	SECREN
		TOTAL	6695		

TABLEAU 3.3.2.S.5-1

Secteur géographique : TULEAR
Matière première : FONTE (1)

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSUMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Accouplement pour pompe		60	240	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Anneau d'étanchéité		20	240	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Anneau de retenue		20	60	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Chapeau de roulement		40	480	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Chaise cylindre moulin (2)	Ø ext. 800 Ø alé 350 long. 1550	5000	75000	Sucrierie	Importation
Cône de condenseur		100	400	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Corps axe batteuse		30	360	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Corps de vanne		50	100	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Clapets de vanne		5	50	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Manchon d'accouplement		800	12000	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Palier		50	100	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Plaques de foyer		90	270	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Pompe (corps + rotar)		40	160	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Poulie		10	20	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Poutre de panneau		50	150	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Pompe immergée		40	160	Sucrierie	Importation
Support de grille (chaudière)		30	420	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Tuyauterie		80	320	Sucrierie	SIRANALA Morondava
Tuyauterie		60	240	Sucrierie	SIRANALA Morondava
(1) Fonte grise					
(2) Fonte phosphoreuse					
		TOTAL	91770		

TABLEAU 3.3.2.5.5-2

Secteur géographique : **TULEAR**
Matière première : **BRONZE**

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSOMMATION ANUELLE (kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Coussinet de transporteurs		10	40	Sucrierie	Importation
		TOTAL	40		

TABLEAU 3.3.2.5.5-3

Secteur géographique : TULEAR
Matière première : ALUMINIUM

TYPE DE PIECE	DIMENSIONS EN MM	POIDS UNIT. (Kg)	CONSUMMATION ANUELLE (Kg)	SECTEUR UTILISATEUR	ORIGINE
Coquille de palier de cylindre		40	240	Sucrerie	Importation
		TOTAL	240		

3.3.3 Mécanisation agricole

Le MPARA est l'organisation responsable d'étudier et de mettre en oeuvre des techniques de l'équipement rurale, notamment en ce qui concerne l'amélioration et la modernisation des moyens d'exploitation et de production.

L'organisation possède un atelier de recherche et réparation, qui n'est pas pourvu de section de fonderie. Leur besoin en pièces moulées est négligeable et personne n'a de données statistiques disponibles.

Quand il se présente la nécessité d'avoir une pièce moulée, cette organisation s'adresse à la Société d'Etat Réseau National des Chemins de Fer Malagasy.

Le MPARA, à travers l'Autok Asa Engineering Ambassivahitra, contrôle aussi l'après-vente des tracteurs importés de l'URSS, aussi bien que les camions UNIC et des engins (pelles, bulldozers).

La demande de pièces de rechange est assez modeste, mais les difficultés sont rencontrées principalement pour le manque de devises pour l'achat des pièces originales, qui sont des pignons en fonte, coussinets de bielle en bronze, des dents de godet.

Ces pièces sont achetées localement, mais leur qualité n'est pas bonne, à cause de la matière première employée, dont les caractéristiques ne correspondent pas aux caractéristiques de la matière des pièces d'origine (faute d'analyse chimique).

3.3.4 Infrastructures rurales

C'est le MPARA même qui s'occupe de ce secteur, en préparant des études et en réalisant des oeuvres de barrages, de stations de pompage, de canaux d'irrigation de rizières.

Généralement, les composants des barrages sont de pièces en acier soit usinées, soit chaudronnées, soit soudées. Rares sont les pièces moulées en fonte (fournies par les fonderies locales: à l'occasion de la visite à la Cimelta-Jeumont, on a pu voir une pièce moulée de grosse dimension qui était en train d'être usinée), nulles sont les pièces moulées en acier.

3.4 DEMANDE

Les différents tableaux résultants de l'analyse faite par matières et par secteur mettent en évidence quelle est la demande moyenne en pièces moulées.

Le tableau 3.4-T ci-après est récapitulatif de tous les tableaux:

TABEAU 3.4-T

TONNAGE DES PIECES MOULEES A MADAGASCAR ET DES PIECES IMPORTEES

(KG)

	FONTE		BRONZE		ALUMINIUM		CUIVRE		LAITON		ACIER	
	LOC.	IMP.	LOC.	IMP.	LOC.	IMP.	LOC.	IMP.	LOC.	IMP.	LOC.	IMP.
ANTANANRIVO	16.573	172.650	1.042	-	1.055	9.600	-	-	17.500	140.000	-	13.654
MAJUNGA	11.016	57.000	6.438	1.400	-	-	-	-	-	-	-	-
TOANASINA	45.000	4.000	1.495	-	-	-	600	-	-	-	-	-
DIEGO	1.200	42.000	6.695	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TULEAR	15.610	75.160	-	-	-	240	-	-	-	-	-	-
TOTALK	89.399	350.810	15.670	1.400	1.055	9.840	600	-	17.500	140.000		13.564

Les quantités des pièces fabriquées localement et importées, selon les prévisions des utilisateurs, sont à considérer la demande présente et future; à l'heure actuelle, seulement des variations modestes pourraient être enregistrées dans le future.

Du tableau 3.4-T résulte évident l'écart existant entre les quantités des pièces moulées à Madagascar et celles importées.

Pour procéder à une analyse plus approfondie et ensuite établir quelles sont les pièces, actuellement importées, qui pourraient être moulées localement, le tableau 3.4-PI a été rédigé.

TABEAU 3.4-PI

Liste et Tonnage des Pièces Moulées Importées

SECTEUR GEOG.	DENOMINATION	MATIERE	POIDS UNIT. KG	CONSUM. (ANNS) KG	UTILISATEUR
ANTANANARIVO	Boulet broyage ciment	Acier	ø 6 à 9	8.400	Cimenterie
	Cone de crasse	Acier	3,8	75	Cimenterie
	Dent de godets	Acier	5	120	Cimenterie
	Dent de godets	Acier	5	50	Travaux agricoles
	Joint à roulet	Acier	0,9	7,2	Textile
	Marteau concassage	Acier	49	4.800	Cimenterie
	Porte galet de crasse	Acier	2	20	Textile
	Roue à rochet	Acier	1,2	4,8	Textile
	Segment barbotin	Acier	6	36	Travaux agricoles
	Vilebrequin	Acier	0,7	70	Textile
	Bouches à clé	Fonte	variable	95.000	Distrib. eau potable
	Boulet broyeur	Fonte		300	Fabrication chaux
	Cartier	Fonte	120	4.800	Réparation autos
	Chapeau roulement	Fonte	n.d.	n.d.	Fabrication chaux
	Culasse	Fonte	n.d.	22.000	Réparation autos
	Meule	Fonte	1.500	1.000	Cimenterie
	Palier	Fonte	n.d.	30	Carrosserie
	Piaque de piste arçage	Fonte	155	1.100	Cimenterie
	Poulie	Fonte	4	2.904	Réparation autos
	Piaque de berçage	Fonte	5	25	Cimenterie
	Piaque d'usure	Fonte	n.d.	300	Fabrication chaux
	Raccorderie	Fonte	variable	37.000	Distrib. eau potable
	Tambours freins	Fonte	10	3.300	Carrosserie
	Tambours freins	Fonte	5	1.650	Carrosserie
	Rouinetterie	Laiton	variable	140.000	Habitat
	Cartier	Alu	15	6.600	Réparation autos
	Culasse	Alu		3.000	Réparation autos
	MAJUNGA	Boulet broyeur	Fonte	ø 30 à ø 100	20.000	Cimenterie
Chemise cylindre		Fonte	4.000	32.000	Sucrerie
Palier		Fonte	10	120	Cimenterie
Piaque d'usure		Fonte	10	120	Cimenterie
Rouet		Fonte	45	540	Cimenterie
Coussinet		Bronze	50	600	Cimenterie
Rouet pompe		Bronze	n.d.	300	Sucrerie
TOAMASINA	Chemise cylindr.	Fonte	4.000	4.000	Sucrerie
DIEBO	Chemise cylindr.	Fonte	5.000	30.000	Sucrerie
	Chemise cylindr.	Fonte	3.000	12.000	Sucrerie
TULEAR	Chemise cylindr.	Fonte	5.000	75.000	Sucrerie
	Pompe inextinguible	Fonte	40	160	Sucrerie
	Coussinet	Bronze	10	40	Sucrerie
	Coquille palier	Alu	40	240	Sucrerie

L'analyse des pièces importées est fait par matière. Après l'analyse on peut affirmer que la fabrication local peut remplacer une bonne partie de l'importation, qui serait réduite de la façon suivante:

- Fonte = de kg 350.810 à kg 71.242
- Bronze = de kg 1.400 à kg 0
- Aluminium = de kg 9.840 à kg 9.840
- Laiton = de kg 140.000(1) à kg 70.000

Ces valeurs sont justifiées par les considérations offertes ci-dessous.

3.4.1 Fonte

3.4.1.1 Bouches à clé

- quantité importée : 95.000 kg = 114.000.000 (1200 FMG/kg)
- motif de l'importation: l'importation est faite par JIRAMA, qui veut être sure de la qualité et n'a pas confiance dans les fonderies malgaches
- possibilité de fabrication locale : si la qualité est garantie, JIRAMA achètera sur le marché locale

(1) Hypothèse optimiste.

3.4.1.2 Boulets à broyeur

- quantité importée : 20.800 kg = 89.440.000 (4300 FMG/kg)
- motif de l'importation: aucune
- possibilité de fabrication locale : plusieurs fonderies peuvent satisfaire la demande

3.4.1.3 Carters

- quantité importée : 44.000 kg
- motif de l'importation: manque d'expérience et moyens d'usinage adaptés à la pièce et dont l'investissement ne serait pas justifié
- possibilité de fabrication locale : nulle

3.4.1.4. Chapeau de roulement

- quantité importée: 36 kg= 36.000 FMG (4500 FMG/kg)
- motif de l'importation: délai de livraison
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.5 Chemises de cylindres

- quantité importée: 153.000 kg= 459.000.000 FMG (3000 FMG/kg)
- motif de l'importation: manque de four de fusion de capacité adéquate

- possibilité de fabrication locale: sont nécessaires des investissements qui permettent d'intégrer le matériel existant.

3.4.1.6 Culasses

- quantité importée: 22.000 kg
- motif de l'importation: manque d'expérience et moyens d'usinage adaptés à la pièce
- possibilité de fabrication locale: aucune (cf carter)

3.4.1.7 Meule

- quantité importée: 3.000 kg tous les 3 ans = 22.000.000 FMG (7300 FMG/kg)
- motif de l'importation: pièces de rechange à stock après installation
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.8 Palier

- quantité importée: 150 kg = 450.000 FMG (3000 FMG/kg)
- motif de l'importation: délai de livraison
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.9 Plaques de piste de broyage

- quantité importée: 1680 kg tous les 2 ans =
7.881.000 FMG (7100 FMG/kg)
- motif de l'importation: pièces de rechange à stock
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.10 Plaques de blindage

- quantité importée: 95 kg tous les 6 ans =
4.921.000 FMG (103600 FMG/kg)
- motif de l'importation: pièces de rechange à stock
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.11 Plaques d'usure

- quantité importée: 920 kg (théorique) =
6.532.000 FMG (7100 FMG/kg)
- motif de l'importation: en effet les pièces ne sont pas substituées à cause de fréquents arrêts du four
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.12 Poulie

- quantité importée: 2900 kg = 870.000 FMG (3000 FMG/kg)
- motif de l'importation: délais de livraison
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.1.13 Raccorderie

- quantité importée: 37.000 kg
- motif de l'importation: garantie de qualité et prix convenants
- possibilité de fabrication locale: assez difficile, a cause de la politique de la Jirama, qui ne veut pas risquer et de la nécessité d'un investissement lourd

3.4.1.14 Tambours de freins

- quantité importée: 4.950 kg = 361.350.000 FMG
(73.000 FMG/kg)
- motif de l'importation: délais de livraison
- possibilité de fabrication locale: pas de difficultés

3.4.2 Aluminium

Quantité importée: 9.840 kg = 984.000.000 FMG (100.000 FMG/kg).

Toutes les pièces importées peuvent être fabriquées localement si le délais de livraison sont compatibles avec les nécessités des utilisateurs.

Seulement les carters et culasses devront être importés, à cause des difficultés déjà mentionnées pour les mêmes pièces en fonte

3.4.3 Bronze

Quantité importée: 1.400 kg = 1.120.000 FMG (800 FMG/kg).

Toutes les pièces importées peuvent être fabriquées localement, si les délais de livraison sont compatibles avec les nécessités des utilisateurs.

3.4.4 Laiton

Quantité importée: (1er semestre 87) 69.234 kg = 481.940.000 FMG (6961 FMG/kg).

Akora peut diminuer sensiblement les robinets importés en augmentant sa production. Pour éliminer presque totalement l'importation, en aval à l'Akora une installation de chromage doit être réalisée.

3.4.5 Acier

Aucune fonderie n'est pourvue d'un four électrique (à induction ou à arc) et la modeste quantité des pièces importées (13.500 kg) suggère d'écarter l'hypothèse de faire un investissement quelconque, qui ne serait pas justifié économiquement. Cependant, l'E.E.S.P., au lieu de mettre en pied, avant un cubilot et maintenant un four à creuset, aurait du se doter d'un petit four à induction de 500 kg de capacité. Ce type de four est assez flexible parce-qu'il peut fondre tous les métaux. Au moyen de ce four, l'E.E.S.P. aurait pu satisfaire les obligations institutionnelles et en même temps produire les pièces en acier (inclues celles en aciers spéciaux) et de telle façon récupérer l'investissement.

3.5 MATIERES PREMIERES

3.5.1 Pièces moulées à Madagascar

Les matières premières utilisées pour la production de pièces moulées à Madagascar sont principalement :

- * la fonte
- * le bronze
- * le laiton
- * l'aluminium
- * le cuivre

Les sources d'approvisionnement sont au nombre de deux :

- * l'importation
- * le bocage et la récupération

3.5.1.1 L'importation

Les données statistiques des importations, disponibles et collectées auprès du Service des Douanes, sont incomplètes et se limitent à la fonte brute en gueuses (cf. tableau 3.5.1.1-1), au cuivre brute et aux déchets de cuivre (cf. tableau 3.5.1.1.-2) et aux cupro-alliages (cf. tableau 3.5.1.1-3).

Pour les autres matières premières, les seules sources sont les fonderies, elles mêmes mal organisées dans le domaine de la statistique.

TABLEAU 3.5.1.1-1

FONTES BRUTES EN GUEUSES (Code 73-0-100)

ANNEE	POIDS (kg)	VALEUR CAF (FMG)	DROITS ET TAXES (FMG)			TUT
			DD	TI	TC	
1982	3.570	2.464.900	1.400	175.623	396.255	1.956.530
1983	2.228	2.163.900	n.d.	151.473	347.280	2.626.785
1984	53.068	14.429.700	n.d.	898.590	n.d.	n.d.
1985	20.098	13.171.100	n.d.	452.102	1.036.590	8.020.755
1986	20.000	15.811.700	n.d.	66.549	152.580	10.840.005
1987						
1 ^{er} sem	3.849	2.763.300	n.d.	1.766	38.100	n.d.

TABLEAU 3.5.1.1-2

CUIVRE BRUT ET DECHETS DE CUIVRE (code 74-0-100)

ANNEE	POIDS (kg)	VALEUR CAF (FMC)	DROITS ET TAXES (FMC)			TUT
			DD	TI	TC	
1982	285	57.000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1983	2.631	6.238.600	n.d.	436.602	n.d.	n.d.
1984	23.824	22.645.900	n.d.	1.585.213	n.d.	n.d.
1985	3	2.851	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1986	-	---	--	--	-	n.d.
1987	8	7.600	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

TABLEAU 3.5.1.1-3

CUPRO-ALLIAGES (code 74-0-200)

ANNEE	POIDS (kg)	VALEUR CAF (FMG)	DROITS ET TAXES (FMG)			TUT
			DD	TI	TC	
1982	-	----	-	----	-	-
1983	2.780	1.617.700	n.d.	113.239	n.d.	n.d.
1984	-	----	n.d.	----	n.d.	n.d.
1985	49	42.900	n.d.	7.900	n.d.	n.d.
1986	5.096	7.284.600	n.d.	356.946	n.d.	n.d.
1987	300	179.600	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Si l'on prend en considération la production des pièces moulées à Madagascar (cf. tableau 3.2.2.T) et les quantités des matières premières importées, les conclusions qu'on pourrait en tirer théoriquement, sont que les besoins en matières premières à couvrir par des importations, sont modestes. Ceci ne correspond pas à la situation réelle : les fonderies ne sont pas en mesure d'importer des matières premières en quantité plus élevée, (et en temps utile) en raison du manque de devises.

3.5.1.2 Bocage et récupération

Les nombreuses fonderies existantes travaillent en utilisant des matières premières de bocage et de récupération.

Cela rentre dans la normalité et dans les critères d'une gestion économique. Il faut cependant remarquer que la fusion répétitive, sans la correction de la charge avec de la matière première de première fusion est nuisible à la qualité du produit fini.

Si l'on ajoute que les matières premières de récupération ne sont pas triées et par conséquent leur composition chimique n'est pas connue, qu'il n'existe pas la possibilité dans n'importe quelle fonderie, d'effectuer des analyses chimiques durant la fusion, les pièces sortant des fonderies risquent d'être refusées pour faible qualité, ou de toute façon leur vie opérationnelle ne serait pas celle prévue.

3.5.2 Pièces moulées importées

Le tableau 3.2.2.P.I met en évidence les pièces moulées, actuellement importées.

Parmi ces pièces, on trouve :

- * carters en fonte
- * carters en aluminium
- * culasses en fonte
- * culasses en aluminium
- * chemises de cylindres pour sucreries

Sur le poids total des pièces importées, leur incidence en pourcentage est la suivante :

	<u>Fonte</u>	<u>Alu</u>
* carters	18	67
* culasses	9	30
* chemises de cylindres	62	
	---	---
	89%	97%

Les typologies des pièces concernées requièrent des technologies de coulées et d'usinage pour lesquelles des investissements assez importants seraient nécessaires.

Il faut ajouter que les chemises de cylindres ont un poids unitaire variant entre 3.000 et 5.000 kg. Pour obtenir une pièce finie d'un tel poids, il est nécessaire de disposer d'au moins de 4.500 à 7.500 kg de fonte liquide; par conséquent, un four d'une capacité de 8.000 kg devrait être installé, étant donné que la capacité maximale des cubilots existants est de 3.000 kg.

3.6 COMBUSTIBLES

Les combustibles les plus utilisés sont les suivants :

- * le coke métallurgique
- * le charbon de bois
- * le mazout ou fuel lourd
- * le bois

3.6.1 Le coke métallurgique

Le coke est importé de différents pays européens et de la Chine.

Comme il a déjà été dit pour les matières premières, les données statistiques relevées auprès de la Douane sont incomplètes. Bien que des informations ont été collectées auprès des fonderies, on n'est pas en mesure d'indiquer avec précision la valeur de la demande.

Le tableau 3.6.1 ci-dessous, met en évidence les données enregistrées auprès de la Douane sous la rubrique 270410.

TABLEAU 3.4.1
COKES ET SEMICOKES D'IMPORTATION

ANNEE	QUANTITE (kg)	VALEUR (FMG)	TAXE D'IMPORTATION (FMG)	TUT (FMG)
1982	19.950	3.215.600	996.805	681.845
1983	69.880	11.604.600	1.053.510	675.150
1984	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1986	20.000	123.183.900	8.766.521	18.477.585
1987				
1 ^{er} sem	18.040	86.732.500		13.009.875

Le prix actuel du coke est variable de 600 à 1.000 FMG/kg, selon les indications collectées auprès des fondeurs.

3.6.2 Le charbon de bois

Le charbon de bois est un produit local, utilisé par quelques fonderies, comme la RAFALIMANA et la FAVIMA. Il est disponible à un prix de 65 FMG/kg.

L'utilisation du charbon de bois, au lieu du coke, n'est pas pratiquée sur grande échelle. Le charbon de bois a commencé à être utilisé dans certains Pays disposant de ressources naturelles adéquates, permettant l'élaboration du charbon de bois, pour alimenter des petits haut-fourneaux. On peut mentionner, par exemple, Wundowie Iron and Steel en Australie, Malayawata Steel en Malaisie, Altos Hornos de Zapla en Argentine et plus de 180 petits haut-fourneaux au Brésil. Le pouvoir calorifique du charbon de bois varie entre 7300 + 8000 Kcal contre les 6700 + 7300 Kcal du Coke.

L'avantage du coke est la capacité de supporter de 140 à 170 Kg/cm² de charge; le charbon de bois a une capacité inférieure, mais il est assez simple pallier à ça, en disposant la charge dans le cubilot d'une manière que le charbon de bois ne soit pas partiellement écrasé. La solution plus diffuse est la transformation du charbon de bois (surtout pour ce qui concerne la récupération des poudres) en briquettes, dont la résistance mécanique est pareille ou supérieure à celle du coke.

Un programme de production de charbon de bois à niveau industriel est actuellement à l'étude de la Banque Mondiale. Si le projet sera réalisé et le charbon produit aura les caractéristiques requises pour être utilisé dans les cubilots au lieu du coke, les coûts de production pourraient diminuer et un épargne en devises serait possible.

3.6.3 Le mazout

Le mazout est un combustible provenant de la raffinerie de Toamasina ; il n'existe pas de problèmes d'approvisionnement. Il est utilisé dans les fonderies, pour les fusions dans les fours à creuset, pour le chauffage des poches, le chauffage des fours de séchage des moules.

Le prix moyen est de 260 FMG/litre.

3.6.4 Le bois

Le bois est généralement utilisé pour l'allumage des cubilots. Dans quelques fonderies, il est aussi utilisé pour le chauffage des poches.

Le prix est de 24.000 FMG/tonne environ.

3.7 CONSUMMABLES

Les produits considérés comme consommables, sont les suivants :

- * Les ferro-alliages
- * Les réfractaires
- * Les fondants
- * Les sables
- * Les liants

Des données statistiques ne sont pas disponibles. Il faut prendre en considération les informations collectées auprès des différentes fonderies.

Les cas des fonderies important des ferro-alliages ou des liants comme les résines furaniques ou phénoliques, sont rares.

3.8 ENERGIE ELECTRIQUE

Toutes les fonderies ont une alimentation normale en énergie électrique ; généralement elles sont connectées aux réseaux de la JIRAMA ; quelques fonderies sont connectées à une centrale d'autoproduction.

Le prix du kWh est de 75 FMG pour la JIRAMA et variable pour les autoproducteurs.

3.9 EAU

Comme pour l'énergie électrique, l'eau est fournie par la JIRAMA. Dans quelques fonderies, faisant partie de complexes de production, l'eau est prélevée des puits propres aux complexes.

4 ANALYSE DES FONDERIES

4.1 METHODOLOGIE

Un recensement des fonderies actuellement existantes à Madagascar a été fait et un questionnaire a été préparé et envoyé aux responsables des fonderies, avant la visite des experts dans le but de permettre la préparation des réponses aux questions concernant la fonderie, en tant qu'unité de production, de typologie des pièces, de clients, etc...

A l'occasion des visites aux utilisateurs, les enquêteurs ont appris que les sucreries SIRAMA de Nosy Bé et SIRANALA de Morondava sont pourvues de leur propre atelier de fonderie. Un questionnaire a été rempli pour chacune de ces fonderies.

La liste complète des fonderies recensées est contenue dans le tableau 4.1 ci-après.

**TABEAU 4.1
FONDERIES EXISTANTES A MADAGASCAR**

SECREN	Société d'Etudes pour la Construction et la Réparation Navale Téléphone . 226-84	Siège: Antsiranana
RNCFM	Réseau National des Chemins de Fer Malagasy Téléphone : 203-21 D.G. : RAZANAMPISA Samuel	Siège: Antananarivo(Soarano)
CIMELTA-JEUMONT	Entreprise de Construction Métallique Téléphone : 226-31 B.P. : 302	Siège: Antananarivo
FAVIMA (Atelier de fonderie de COREMA)	B.P. : 878 Rue Rabemazava Atelier : Marovoay Moramanga	Siège: Tél. 244.43 ou 265.87
SIDEMA	Société Industrielle pour le Développement du Machinisme Agricole Tél : 250.74 Directeur Général 239.23 Bureau 274.25 Atelier fonderie	Siège : Antananarivo
FONDERIE D'AMBODITSIRY (ancienne fond. DELABRE)	Pièces de tous genres Tél : 400.39	Siège : P.K. 3,5 RN 3 Amboditsiry Antananarivo
COTONA	Cotonnière d'Antsirabe Tél : 404.22 D.G. : IMSAIL Salim	Siège: Antsirabe
SOCIETE AKORA	Fabrication de robinetterie	Siège: P.K. 7,5 RN 3 Antananarivo (Analamahitsy)
ENTREPRISE SOCIALISTE TOLY	Atelier fabrication de machines agricoles Tél: 416.59	Siège: Rue du marché TOLIARY B.P.: 97
ECOLE POLYTECH. UNIVERSITE DE MADAGASCAR	Ankatso - ANTANANARIVO	
FONDERIE RAFALIMANANA	Artisan privé Siège: Avaratsena Ambohidrapeta	ANTANANARIVO
MA	Nosy-Bé - Sucrierie	
SIRANALA	Morondova - Sucrierie	

4.2 CONSIDERATIONS GENERALES

D'après les visites aux différentes fonderies et à l'examen des données fournies par les responsables des fonderies et d'autres collectées par nos experts, avant d'analyser en détail chaque fonderie, les considérations générales suivantes sont offertes.

4.2.1 Typologie de production

Aucune des fonderies existantes, à l'exception de l'Akora, active dans le secteur de la robinetterie, a été conçue pour une production de pièces en série.

Toutes les fonderies ont privilégié la fonte, même si plusieurs d'elles sont équipées pour le moulage de pièces en métaux non ferreux.

De nombreuses fonderies sont incorporées dans des complexes industriels et sont exploitées seulement pour la production de pièces de rechange nécessaires à l'entretien du matériel du complexe dont elles font partie.

Le moulage en petites séries a lieu dans quelques fonderies, pour la production de sabots de freins, boulets à broyer, bouches à clé; cependant aucun système d'automatisation n'existe.

On ignore les petites pièces des usines textiles, qui pourraient être produites en série, mais qui même si sont nombreuses, elles n'intéressent pas les fondeurs, apparemment pour leur modeste poids, mais en effet à cause de l'impossibilité d'assurer la qualité et les brefs temps de livraison demandés par les utilisateurs.

4.2.2 Programmes et utilisation des installations

Jusqu'aujourd'hui aucune fonderie n'est en mesure de prospecter des programmes de production a bref et à moyen terme.

Généralement, pour les pièces en fonte, la coulée a lieu une fois par semaine, principalement le vendredi, les autres jours étant disponibles pour la préparation des moules et noyaux.

Par conséquent on ne peut avoir qu'une exploitation très basse des installations.

Dans les cas (les plus nombreux) où la fonderie est incorporée dans un complexe productif, cela rentre parfaitement dans la normalité, car la fonderie n'est pas considérée un centre de production de bénéfices directs, mais un centre de service, dont l'activité sert a fournir des pièces utilisées pour le dépannage d'équipements du complexe de production (la source des bénéfices).

Dans les cas où la fonderie ne s'intègre pas à un complexe productif, la philosophie est tout à fait différent; en effet, l'investisseur attend des bénéfices de la vente des produits de la fonderie et, donc, son intérêt est d'obtenir la productivité maximale. Les fonderies indépendantes enregistrent elles aussi une très basse productivité, principalement à cause de la faible demande (imputables soit au marché, soit à la mauvaise qualité), et des difficultés d'approvisionnement des matières premières et consommables, dues au manque de devise.

4.2.3 Matériaux

4.2.3.1 Matières premières

La fonte hématite en gueuses, l'aluminium en gueuses pour des alliages titrés, les jets de laiton ou de bronze sont des matériaux dont l'importation est difficile, pour manque de devises.

Presque toutes les fonderies de matériaux ferreux et de matériaux non ferreux, préparent les charges avec de la matière première d'origine diverse ajoutée à des déchets et des masselottes.

Si à ceci on ajoute qu'aucune fonderie n'a la possibilité d'effectuer une analyse chimique, il est évident que l'on pourra difficilement obtenir des produits de qualité.

L'impossibilité d'un quelconque examen sur la composition chimique des matériaux, a pour conséquence de ne pas connaître l'analyse des matières premières et par conséquent et dans aucun cas il n'est possible de:

- * sélectionner les matériaux pour composer une "charge",
- * faire des calculs de type stoechiométrique, en utilisant les matériaux disponibles, pour s'attacher à obtenir un produit déterminé ayant une composition préfixée,
- * développer des opérations de correction avec des alliages spéciaux (Fe-Cr, Fe-Si, Fe-Mn, Ni et puis encore Si et P pour les alliages d'aluminium et autres).

En outre, si l'on n'intègre pas un pourcentage acceptable de matière première originale (qui peut être de 15 à 20 % pour la fonte et supérieur pour les alliages d'aluminium), la refusion continue des matériaux entraîne toujours une augmentation des défauts de fusion.

La situation générale peut se résumer de la façon suivante :

Le manque de matières premières de première fusion et l'inexistence de contrôles et d'analyses conduisent à une production de faible qualité surtout du point de vue de la composition chimique et de celui de la structure métallographique.

4.2.3.2 Matériaux de consommation et auxiliaires

La situation est encore plus confuse et difficile pour tous les autres matériaux de consommation et auxiliaires, par rapport aux matières premières. Cette situation est due au grand nombre de matériaux utilisables ainsi qu'à la diversité de certains.

Nous allons essayer de résumer :

i sables et terres de moulage (1)

On a vu utiliser des terres d'extraction locale très argileuses dans les régions de Tananarive et de Diego Suarez. Par contre, les sables provenant de l'Est du pays (Toamasina), très secs, propres et à première vue ayant une bonne granulométrie sont utilisés dans quelques fonderies.

(1) cf. pages de 40 à 58 et 66, 67 de l'Annexe 3

Dans le premier cas, les moules se présentent toujours avec beaucoup de fêlures dues au séchage de la terre.

La terre très argileuse, outre à ne pas être perméable et donc dangereuse en phase de coulée, a le grave inconvénient de se retirer en formant des fêlures ou des fentes inacceptables, et ceci quelque soit son mode de séchage, même celui naturel.

Dans le deuxième cas, il serait bon de mélanger les sables avec de la bentonite pour leur donner la cohésion, permettant la préparation de moules de dimensions moyens-grosses aussi.

En considérant que la bentonite est un produit d'importation, il est suggéré de former un mélange terre/sable proportionnés en fonction du traitement de séchage.

ii Sables et autres produits pour noyaux (1)

Ce qui a été dit dans le paragraphe précédent est également valable pour ces matières. Certains types de sables sont acceptables, d'autres sont à écarter car leur granulométrie n'est pas indiquée et contient des matériaux nuisibles.

Les difficultés sont plus évidentes pour les liants utilisables pour la formation des noyaux.

On peut trouver assez facilement de l'huile de lin et de la mélasse.

Les possibilités de produire des noyaux de bonne qualité sont assez limitées car il n'y a pas de mélangeuses pour une bonne préparation du sable.

Il y a des limites de consistance et de dimensions des noyaux, aussi bien pour les matériaux utilisés,

(1) cf. pages de 40 à 58 et 66, 67 de l'Annexe 3.

pour le manque d'un bon traitement de l'aggloméré (sable/argile) que pour le noyautage exécuté exclusivement à la main.

Une des solutions possibles (déjà adopté par Akora) serait d'importer des sables mélangés à des résines phénoliques et/ou furaniques pour les cycles à chaud.

Une autre solution (déjà adoptée par la Cotona) serait l'adoption du cycle à froid, en utilisant le procédé CO_2 , indiqué aussi pour les noyaux de grandes dimensions.

iii Alliages ferreux et autres

Les quantités et les montants sont généralement dérisoires, et par conséquent leur importation ne devrait pas poser de problèmes.

Ces matériaux sont indispensables dès que l'on parle de productions avec une composition chimique préfixée, répondant à des normes déterminées de qualité.

Evidemment et comme cela a déjà été dit, cette nécessité est étroitement liée à la possibilité technique d'effectuer des contrôles, des analyses de laboratoire chimiques et métallographiques.

iv Produits fluidifiants, scorifiants, d'inoculation etc...

Pour certains alliages et dans certaines conditions, il est nécessaire de recourir à des produits qui aident :

- le processus de fusion,
- la séparation des laitiers,
- la transformation ou la prédisposition à obtenir des structures métallographiques déterminées.

Presque toutes les fonderies visitées ne prennent pas de précautions de ce type dans leur procédés de fusion.

L'introduction de nouveaux moyens, surtout de contrôles, l'augmentation du professionnalisme du personnel, la demande et l'exigence du marché sont tous des facteurs liés entre eux qui conduiront forcément à utiliser les produits mentionnés ci-dessus.

Ces produits ne peuvent être que d'importation.

4.2.4 Procédés de fabrication

4.2.4.1 Fabrication de modèles

Où il existe cette possibilité, le modèle est préparé avec soin mais quelques fois il ne permet pas une interprétation claire et aisée de la "ligne" ou du "plan de division". Dans ce cas le positionnement correct dans le moule est laissé à l'habileté du mouleur.

Rares sont les modèles qui sont protégés par des peintures.

4.2.4.2 Préparation des moules

Il y a beaucoup de confusion dans la préparation et l'humidification des agglomérés. Ceux-ci sont habituellement recyclés sans être passés au tamis, sans nettoyage et sans contrôles.

La composition a lieu sans possibilité de pesage et de dosage des matériaux ajoutés. L'humidification est contrôlée manuellement.

En plus :

- les installations de transport et d'accumulation sont inutilisables ou inexistantes, les sables sont en tas à même le sol
- un seul malaxeur à plateau fixe est en fonction, tous les autres sont hors d'usage
- pas d'enlèvement du fer dans le sable, quelques tamis
- le moulage est exclusivement manuel à l'exception de la Société RNCFM, où deux petites machines peuvent être utilisées pour les sabots des freins.
- les finitions superficielles des moules sont peu soignées.

4.2.4.3 Fusion et coulée

La fusion et la coulée sont prédisposées au moment où un certain nombre de moules sont prêts. Pour l'aluminium et le bronze il existe plusieurs fours à creuset fonctionnant au mazout. Il n'y a pas de fours électriques.

Pour la fonte, presque toutes les fonderies sont pourvues de cubilots de petite capacité à chargement manuel et à air forcé, sauf un seul cas, où on trouve deux fours rotatifs à mazout.

Il n'y a aucun type de contrôle de la température des métaux, ni durant la fusion et ni en phase de coulée.

Il n'existe aucune possibilité de contrôle des analyses de n'importe quel type d'alliage, ni à l'intérieur de la fonderie et ni à l'extérieur.

Les poches de coulée sont du type traditionnel, peu soignées avec de gros problèmes de réfection dû au manque de briques ou de ciment réfractaire.

La coulée s'effectue toujours à des températures limites pour la fusion (toujours trop basses et pas contrôlées), avec des alliages pas scorifiés, pas protégés et sans aucune inoculation (Fe-Si ou autre).

La température basse de coulée, les matériaux pas scorifiés et les agglomérés des moules peu compacts provoquent fréquemment des défauts dans les pièces.

Les pièces ayant des défauts qui n'engagent pas leur caractère fonctionnel, sont considérées comme bonnes.

Le contrôle est toujours visuel. Le gabarit est utilisé rarement.

4.2.4.4 Finition et traitement

Une fois refroidis sur le poste de coulée, les moules sont ouverts, les pièces sont dégagées manuellement et les agglomérés sont entassés.

Par manque d'équipement, aucun nettoyage superficiel n'est effectué (pas d'enlèvement du sable) et par conséquent les pièces sortant des moules sont envoyées aux opérations suivantes avec encore des résidus de sable.

L'opération de finition consiste en un ébarbage sur meule traditionnelle et dans quelques cas sur une ébarbeuse à ruban.

Aucune opération de finition et traitements thermiques n'est prévue.

4.2.4.5 Personnel

La formation professionnelle du personnel des différentes fonderies est le résultat d'un apprentissage sur le tas; rares sont les cas où des stages de formation ont eu lieu. La préparation pratique atteinte peut être acceptable pour la production de pièces simples. Pour des pièces de qualité, il est nécessaire que le personnel de toutes les fonderies participe à des stages de formation spécifique pour se familiariser avec tous les aspects pratiques et théoriques indispensables pour assurer des pièces de qualité, surtout celles de rechange demandées par les usines.

4.3 LES FONDERIES

Les fonderies existantes (cf tableau 4.1) ont été visitées et pour chacune d'elles une fiche à été rédigée. D'après l'analyse des données et des informations recueillies, il était possible diviser les fonderies en 3 groupes:

- Le premier groupe englobe les fonderies pour lesquelles il n'y a pas lieu de parler de réhabilitation.

A ce groupe appartiennent:

- . AKORA
- . AMBOOITSIRY (DELABRE)
- . RAFALIMANANA
- . SECREN
- . TOLY

- Le deuxième groupe englobe les fonderies qui ont été considérées non susceptibles d'une réhabilitation dans le sens qu'il n'est pas recommandé de faire des investissements pour nouvelles installations ou le remplacement du matériel existant, mais pour lesquelles il est fortement recommandé de prévoir des stages de training spécifique ou de formation du personnel.

A ce groupe appartiennent:

- . SIDEMA
- . CIMELTA-JEUMONT
- . COTONA
- . FAVIMA
- . SIRAMA

Les raisons pour lesquelles il est recommandé d'éviter des investissements en équipement sont explicitées aux paragraphes 4.3.2.1, 4.3.2.2, 4.3.2.3, 4.3.2.4 et 4.3.2.5.

- Le troisième groupe englobe les fonderies pour lesquelles une réhabilitation/modernisation et des stages de training spécifique et de formation sont recommandés.

A ce groupe appartiennent

- . RNCFM
- . SIRANALA

La liste des fonderies mentionne aussi l'E.E.S.P.. Cet organisme ne peut pas être considéré une fonderie proprement dite, mais, pour sa fonction institutionnelle, il faut le considérer important dans le processus de restructuration des fonderies.

Ci-après les fiches des fonderies du premier et deuxième groupe suivent.

Plus loin, les fonderies du RNCFM et de la SIRANALA seront traitées.

Enfin, l'E.E.S.P. sera considérée.

4.3.1 Fonderies du groupe 1 et 2

4.3.1.1 Akora

Actuellement cette fonderie est surdimensionnée par rapport à la demande. C'est aujourd'hui seulement que le gouvernement a donné le départ au programme de construction de logements qui aurait dû commencer en 1985. En outre, sur les 20.000 logements par an prévus initialement seulement 1500 vont être construits.

Ceci permettra à la fonderie d'augmenter la quantité de robinets produits jusqu'à présent et de produire

d'autres articles de sa gamme de production.

La conception moderne et la récente installation mettent AKORA au dehors des fonderies à considérer pour la réhabilitation.

Cependant, il est fortement suggéré que l'AKORA étudie bien le marché et surtout les importations, pour chercher d'adapter mieux la production à la demande et par conséquence diminuer les importations.

Un problème de petite importance relevé pendant la visite est celui de la récupération et de la refusion des copeaux provenant des machines outils.

A présent ceux-ci sont envoyés à une fonderie externe qui les refond pour en former ensuite des gueuses de laiton. Ceci est dû au fait que les copeaux, introduits dans les creuset du four à induction flottent, rendant ainsi leur fusion longue et la consommation d'énergie excessive.

Pallier à cet inconvénient est assez simple : après l'usinage, les copeaux recouverts d'huile ou d'émulsion, seront immergés dans un récipient de trichloroéthylène, pour leur dégraissage.

Des conteneurs à section trapézoïdale seront remplis de copeaux, sur lesquels sera versé du métal en fusion, ayant une température proche de la solidification. De cette façon, les copeaux seront soudés entre eux, formant ainsi des gueuses.

Un autre problème, mentionné par la Akora, qu'il faut éliminer, concerne les fréquents cassures des pistons du burineur.

Le fournisseur de l'équipement doit intervenir directement pour vérifier que:

- le matériau utilisé pour le piston corresponde aux spécifications
- le marteau soit utilisé correctement.

F I C H E
DE LA FONDERIE
A K O R A S. A.

1 GENERALITES

Nom : AKORA S.A.

Siège : Antanetibe Iloty - Antananarivo

Année d'installation : 1983

Mise en exploitation : Juillet 1967

Capacité nominale initiale : Robinetterie bâtiment 134.000 unités/an

: Robinetterie sanitaire 66.000 unités/an

Compteur d'eau 33.000 unités/an

Production actuelle (3 1/2 mois d'exploit.) : Robinetterie bâtiment 41.655 unités/an

Robinetterie sanitaire 7.005 unités/an

2. EQUIPEMENT

Les équipements de l'atelier fonderie ont été installés en 1983 et sont en bon état de fonctionnement, sauf le marteau burineur dont les pistons sont fragiles et se cassent fréquemment.

Le four N°2 n'a pas encore été utilisé.

Les pièces de rechange sont, pour le moment, toutes importées.

L'équipement de la fonderie est décrit à la page suivante.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES EQUIPEMENTS
A - ATELIER FONDERIE

DESIGNATION EQUIPEMENT	MARQUE-TYPE ADRESSES ET FOURNISSEUR	NBRE	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
Machine à tirer les noyaux à chaud	FR 20 EA-1137 BI FR Industrie SA 2, Rue de la Reclusière 42400 St. Chamond	1	- Capacité pot de tir : 20 litres - Pression max. d'injection : 3 bars - Injection par pulsion - Ouverture max. de l'inject. : 290 x 80 mm - Dimensions plaque : 650 x 290 mm - Puissance installée pour le dispositif d'extraction et de filtre à charbon actif : 0,75 KW COS 0,84 - Alimentation automatique du sable
Four à induction bi-bassin	FONET-BOBORT Ets. Promagniere France-SA 73290 St. Alban Leyse Savoie	2	- Puissance installée : 30 KW - Capacité du bassin de fusion : 400 Kg - Capacité du bassin de maintien : 600 Kg - Tension d'alimentation : 380 V - Fréquence : 50 Hz - Température de travail : 1000°C - Température max. : 1400°C - Capacité de production théorique : 250Kg/h
Machine à couler les compteurs	MECA HYDRAU X3 Meca Hydraul 1, Rue d'Arsonval 8.P. 23 69680	1	- Dia. max. moules L : 350 mm h : 200 mm ep : 250 mm - Courses d'ouverture : 200 mm - Poussées d'injection sur les 2 : 600 Kg - Parties du moules : - Pression de fermeture : 50-600 Lg - Capacité de bac poteyage : 280 L - 3 supports pour 3 corps de compteurs pce mot. : 7,5 KW cos 0 : 0,83
Etuve électrique	A. BOUDIER-SP 6, Rue André Messager 75018 Paris	1	- 2 étages (1 chambre par étage) - Dimensions intér. : 700 x 500 x 300 mm chambres - Alimentation triphasée : 380 V - 1er étage P : 3,6 kW coso coso 0,85 - 2ème étage P : 6 kW - Régulation température par thermostat-T max : 300°C - Durée chauffage max. : 1 heure
Marteau burineur	ATLAS COPCO RCC 12 84, Rue du 8è Metz 57071 Metz	1	- Pneumatique - Fréquence de percussion : 4150 coups/min - Piston : 15 mm - Course : 35 mm - Pression d'utilisation : 6 à 7 bars - Consommation AC : 1,94 m3/h
Presse d'ébavurage	OGIS ZI Quartier de Sevilles 13680 Lançon	1	- Hydraulique : 800 x 400 mm - Dia. table : 800 x 400 mm - Force de frappe : 7,5 T
Machine à meuler	MPE TYPE 203 MFS	1	- 2 meules : diamètre : 203 mm # alésage : 32 mm - Puissance 1CV-Vitesse : 3000 t/min
Tronçonneuse	ARNOLD	2	- Diamètre meule : 350 mm - Dia. alésage : 25 mm - Vitesse de rotation max : 4360t/min - Vitesse de coupe : 8m/sec - Puissance moteur tronçon. : 5,5 KW cos 0,91
Bascule automatique	OYONA	1	- Charge min-max : 10-120 Kg

L'équipement de l'atelier d'usinage est le suivant :

EQUIPEMENTS DE L'ATELIER D'USINAGE
A - USINAGE LETES

DESIGNATION	MARQUE ET TYPE	NGRE	CARACTERISTIQUES GENERALES
- Machine à transfert	SIDMECAP	2	- 1ère machine : 6 unités d'usinage 3 unités d'alésage montés sur table hydraulique pour leurs avts d'avance 3 unités de taraudage avec patronne interchangeable Puissance totale installée : 18,6 kW - 2ème machine : 4 unités d'usinage 2 unités d'alésage 2 unités de taraudage Puissance totale installée : 17,1 kW
- Tour à décolleter	JENNY 40 P. OV 120	8	- Alésage broche : 42 mm diamètre au dessus coulisse transversale : 140 mm distance max. entre N.3 : 400 mm de broche et face taquette diamètre centrage pour outils sur taquette alésage : diam. 20 mm vitesse de broche : 45 à 3070t/min. long banc : 760 mm puissance moteur : 3,56 kW pression d'utilisation : 2,5-3 bars
- Tour à décolleter à avance automatique	JENNY 40 PV 120	2	Même caractéristiques que JENNY PPV 120 plus 4 4 avances automatiques de la taquette hexagonale : 0,5 mm 0,15 mm 0,10 mm 0,20 mm Course utile de la taquette : 100 mm
- Tour à décolleter à mandrin pneumatique	JENNY 40 P 120	1	Broche muni d'un vérin pneumatique - Mêmes caractéristiques que 40P PV 120 sul : - distance max. entre nez de broche et taquette : 285 mm - ouverture mora de serrage : 34-38 mm - vitesses de broche : 150 à 3070t/min 16 vitesses

3 - NETTOYAGE PIÈCES

DESIGNATION	MARQUE ET TYPE	NBRE	CARACTERISTIQUES GENERALES
- essoreuse-déconteuse	RAPIDE SA 40 KC N. 404665	1	Centrifugeuse Dimensions utiles diam. 700 mm H 670 mm puissance : 1,5 kW
		1	2-3 démarrages par heure
- Machine à nettoyer (détroiseuse)	LOUIS	1	Régulation automatique de la température thermostat : T max : 110°C T min : 30°C Dimensions bac : diam. 3 diam. 300 mm Puissance moteur : 43 kW Vitesse de rotation : 1360 t/min

C - MACHINES DE REPRISE

DESIGNATION	MARQUE ET TYPE	NBRE	CARACTERISTIQUES GENERALES
- Tour parallèle	CELTIC-NDC 14	1	Type à banc rompu diamètre admissible : 540 entrepointe : 1500 hauteur de pointe : 185 Nbre vitesses de broche 32 jusqu'à 150 t/min Longueur banc : Tourelle carrée porte-outils et Tourelle multiple interchangeable Lunette fixe et à suivre : diam. 8 à 80 mm Jeu d'engrenages au pas withworth Diam. mandrin : 200 mm Puissance installée : 3 kW
- Fraisuse universelle	VERNIER FV3	1	Dimensions table : 1200 x 300 mm Courses L.T.V. : 900 x 300 x 600 Vitesse de broche : 32 jusqu'à 1500 t/min Tête universelle à double Pivotement de 360° Cône de broche SA40 + support pivotant à genouillère Puissance installée : 6,33 kW 18 avances de 9 à 440 mm/min
- Perceuse à colonne	ADAM MC 26	1	Capacité de perçage : diam. 26 mm Cône morse N. 3 Vitesse 8 jusqu'à 960 t/min. Puissance moteur : 1,25CV
- Perceuse d'établi	ADAM ME 13	1	Capacité de perçage : diam. 13 mm Cône morse N. 1 Nbre de vitesses : 5 jusqu'à 960 t/min Puissance moteur : 0,8 kW

3. SERVITUDES

Electricité :

L'usine est alimentée par la JIRAMA

Le rythme de croisière de la consommation annuelle est de :

- 230.000 kWh/an pour la robinetterie
- 40.600 kWh/an pour le corps de compteur

Eau :

L'usine est alimentée par la Jirama. La consommation annuelle est de 5.000 m³.

Air comprimé :

Production par un système interne :

Pression de service : 7 bars

Débit : 100 m³/h

4. **BATIMENTS**

Typologie : fondation en béton armé - ossatures métalliques
- parois extérieures et séparation en maçonnerie - toiture
galvanisée. Etat : parfait.

Surface couverte par l'atelier fonderie : 300 m².

5. PRODUITS

La production, bien au dessous de la capacité nominale, (à cause du manque de demande), est lancée par lots économiques.

Dans le cadre de la diversification, AKORA envisage la fabrication de pièces en laiton ou autres alliages cuivreux telles que : vannes, détenteurs de gaz, tourniquets, rouets de pompe, bondes, siphons.

Nomenclature	Alliage	Poids Kg	Prix de revient	Prix de vente
Corps robinet de puisage (1/2")	Laiton	0,367	1559	-
Corps robinet de puisage à nez de arrosage (1/2")	Laiton	0,394	1559	-
Corps robinet double (1/2") Soupape tête droite double semelle	Laiton	0,282	1559	-
Corps robinet double soupape tête droite double semelle (3/4")	Laiton	0,398	1559	-
Corps robinet mélang. pour bain et douche + croisillons	Laiton	1,476	7517	-
Corps robinet mélang. monotron + croisillons	Laiton	1,670	8099	-

Nomenclature	Alliage	Poids Kg	Prix de revient	Prix de vente
Corps robinet lavabo Solo + croisillon	Laiton	1,070	4949	-
Compteur d'eau # 15	Laiton		1450	
Compteur d'eau # 20	Laiton		1600	
Compteur d'eau # 25	Laiton		2300	

Voir plans en annexe.

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Laiton	Récupération locale 60%	2500 FMG/Kg	n.d.
Laiton	Importé 40%	16,10 FF/Kg	n.d.

La quantité annuelle est de 120 tonnes/an et les caractéristiques physico-chimiques sont :

1 - Nuance CuZn 40 - Y 30 conforme à la norme NF A53 - 703

2 - Composition chimique

Cuivre	60 - 62 %
Zinc	36 - 38 %
Plomb	2,1 %
Aluminium	0,4 - 0,8 %

Teneurs maximales en impuretés :

Etain	0,8%
Fer	0,6%
Manganèse	0,5%
Silicium	0,2%
Nickel	0,5%

3 - Titre fictif 60% ± 2

4 - Caractéristiques mécaniques :

Charge de rupture	34 daN/mm ² ± 2
Limite d'élasticité	24 daN/mm ²
Allongement	8%
Dureté Brinell	90 - 120

Les copeaux ne sont pas fondus par AKORA. Ils sont envoyés à une fonderie de TANA.

7. CONSOHMABLES

Les sables sont actuellement importés de la France, mais AKORA projette d'intégrer dans son unité la production de sable de moulage, en utilisant le sable local. Une assistance technique dans ce sens est souhaitée.

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable de noyautage à résine thermo- durcissable (50 T/an)	France	2,65 FF/Kg	-
Graphite de poteyage (240 Kg/an)	Locale	10492 FMG/Kg	-

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Gaz butane (1800 Kg/an)	Local (SOLIMA)	910 FMG/Kg	-

9. CLIENTS

NOM	Activité	Produits	Tonnage
JIRAMA	Actionnaires		10%
SONALODIS			10%
DARRIEUX			10%
SOVAL			10%
COROI			10%
FIRALSANA	Grossistes		
RAVANDISON			
NYATSIMO			50%
DEWANY			
RAHA			

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Noyauteur	1	OP1
Ebavureur noyaux	1	OS1
Fondeur	2	OS3
Coquilleur	3	OP1
Nettoyeur coquilles	2	OM1
Débourreur	1	OS1
Tronçonneur	2	OS3
Ebavureur	2	OM1
Contrôleur de fabrication	2	OS3
Manoeuvres	2	OM

17

Personnel indirect

Chef d'atelier fonderie	1	OP3
-------------------------	---	-----

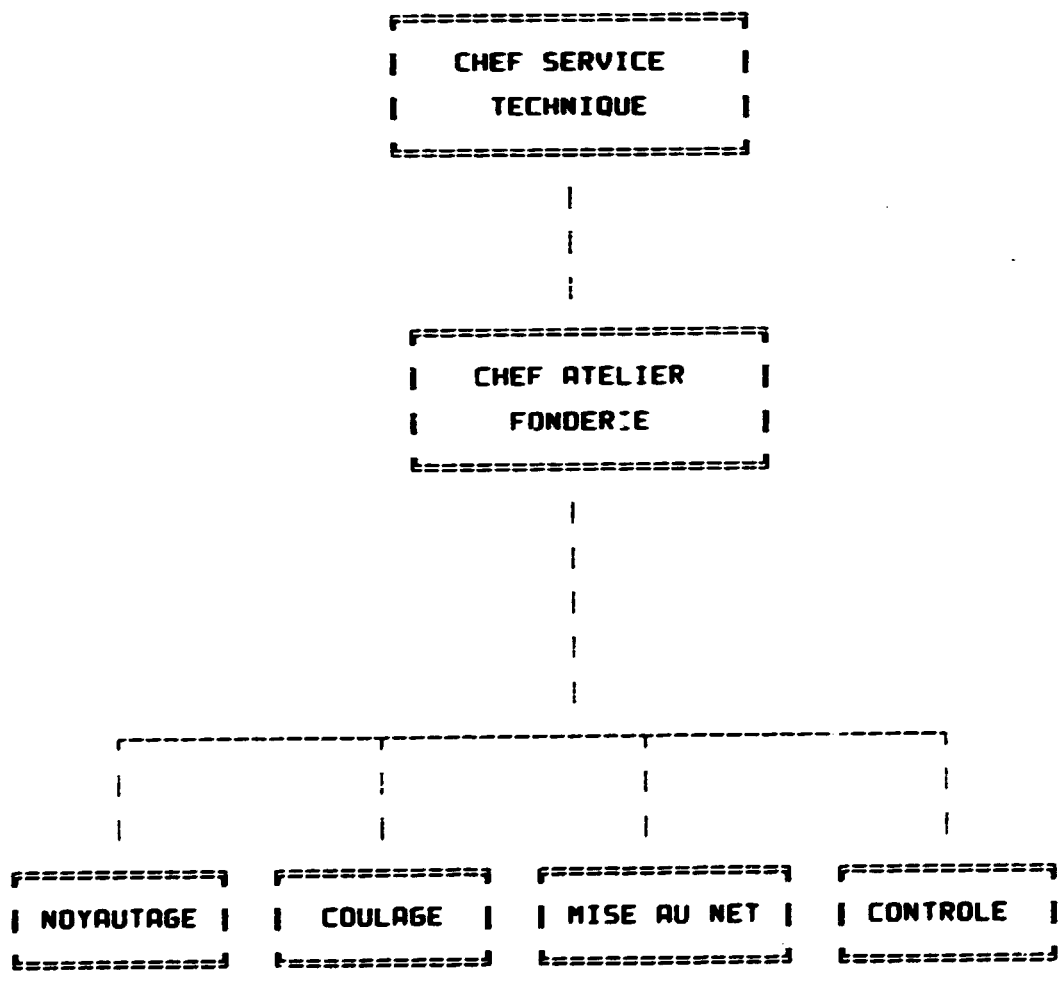
Salaires de base mensuel

OP3	87.306
OP1	48.393
OS3	34.787
OS1	29.170
OM	21.804

Degré de spécialisation

Assez bonne dans tous les départements.

Organigramme :



4.3.1.2 Amboditsiry (Delabre)

Cette fonderie a une bonne tradition, mais du point de vue de l'état de son équipement et de ses bâtiments, elle est arrivée à un stade où il n'y a plus rien d'intègre. Tout est précaire et ce sont seulement la force de volonté de M. Delabre et de son personnel qui permettent encore l'exécution de fusions.

Mr. Delabre a l'intention de remettre l'atelier en condition de pouvoir travailler correctement, sans mettre en danger l'intégrité des ouvriers et la qualité du produit.

Vue la situation du complexe, les investissements demandés pour sa rehabilitation, (il serait plus correcte dire "renouvellement") sont estimés très élevés.

Malgré les déclarations de disponibilité de Mr. Delabre à investir une partie de son capital (22 millions de Fr.F) la récupération de cette fonderie est encore douteuse.

Les raisons qui poussent au pessimisme sont:

a. Mr Delabre accepte d'investir son propre capital à condition de trouver un financement local à un taux favorable.

Les emprunts octroyés actuellement par la B.N.I. sont assez onéreux: l'intérêt demandé varie du 18 au 25% et la durée ne dépasse pas les 5 années.

b. En plus de l'équipement de production et auxiliaire, les bâtiments, aussi, sont à refaire.

c. Le chiffre d'affaire actuel (60 à 70.000.000 FMG) ne justifierait que des investissements modestes. Les

perspectives d'une augmentation de la production ne sont pas encourageantes et, donc, l'augmentation de la chiffre d'affaire est peu vraisemblable.

Une solution, qui nous semble intéressante, serait celle de racheter le matériel de la fonderie du complexe Toly, dont l'activité a été arrêtée en 1985.

Le Gouvernement est à la recherche d'un investisseur intéressé à l'achat du complexe; des négociations ont été entamées par le Gouvernement avec un groupe français, qui a déjà acheté un complexe similaire.

- La fonderie, toutefois, ne serait pas incluse dans la vente.

Dans ce cas, le Gouvernement pourrait accorder à Mr. Delabre des conditions d'achat vraiment favorables, permettant, ainsi, une reprise au plein rythme d'une fonderie qui a été toujours considérée une institution malgache.

F I C H E
DE LA FONDERIE

A M B O D I T S I R Y (D E L A B R E)

1. GENERALITES

Nom	:	AMBODITSIRY (DELABRE)
Siège	:	Amboditsiry, Antananarivo
Année d'installation	:	1954
Capacité nominale initiale	:	pièces en fonte 300 Kg/h + 600 Kg/h pièces en bronze - pièces en aluminium - pièces en laiton -
Production actuelle	:	pièces en fonte 60.000 kg/an 300 + 600 Kg/h
Modernisations	:	néant
Améliorations	:	néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement ci-dessous est de fabrication locale.

Le fondateur, M. Delabre, qui a mis en place plusieurs fonderies à Madagascar, a conçu et fabriqué directement tout l'équipement, qui, malheureusement, pendant les dernières années n'a plus reçu un bon entretien et son état actuel est vraiment précaire.

L'équipement de fonderie est constitué par :

- 1 cubilot à coke et oxygène de 300 Kg/h, chargement manuel
- 1 cubilot à coke et oxygène de 600 Kg/h, chargement manuel
- 1 étuve à noyaux, fonctionnant au gasoil
- 1 système de traitement de sable, incluant un broyeur et un tamis
- 1 jeu de châssis de différentes dimensions
- 1 pont roulant manuel de 2 tonnes

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal, avant la coulée.

Il existe un petit atelier d'usinage, où les machines suivantes sont installées :

- 2 tours à plateau 200 mm, contre-pointes 1200 mm
- 1 perceuse
- 1 étau limeur
- 2 meules

L'atelier est utilisé aussi bien pour l'entretien que pour l'usinage de certaines pièces moulées.

Il n'existe pas la possibilité ni la capacité de fabriquer des modèles, qui sont fournis par les clients ou les sous-traitants.

3. SERVITUDES

- Electricité :

La fourniture en basse tension est assurée par la JIRAMA.
La puissance installée est d'environ 25 KW.
La puissance appelée est d'environ 15 KW.
Le prix est de 70 FMG/KWh

- Eau :

Le système de distribution à l'intérieur de l'atelier est connecté au réseau de distribution de l'eau potable de la JIRAMA.
Les données sur la consommation ne sont pas connues.

- Oxygène :

Les deux cubilots ont été modifiés (coupage et enlèvement de la partie supérieure). De l'oxygène est mélangé à l'air provenant de la soufflerie et cela pour réduire la consommation de coke.

Des bouteilles de 0.2 m3 a 70 bar sont installées au dehors du bâtiment et connectées à la tuyère de chaque cubilot à l'aide d'un tuyau # 1/4".

Chaque bouteille est payée 14.000 FMG et suffit pour la fusion d'au moins 1200 kg de fonte.

4. BATIMENTS

Le bâtiment de la fonderie date de 1954 et son état est très mauvais.

La typologie constructive est du type en structure métallique, la toiture en charpente métallique et tôle galvanisée.

La surface couverte est d'environ 1.600 m², mais une seule partie est utilisée par la fonderie (moins d'un quart), le reste étant occupé par des débris, de la ferraille en tout genre, des vieilles machines et autre matériel qui n'est pas utilisé.

Le bâtiment de l'atelier d'usinage, qui couvre une surface de 400 m² environ, se trouve dans les mêmes conditions de celui de la fonderie.

5. PRODUITS

En 1987 la production était d'environ 60 tonnes.

Cette quantité est, cependant, une estimation faite par le fils de Mr. Delabre, qui est rentré à Madagascar il y a deux mois, pour essayer de redresser la gestion de la fonderie, qui, en raison de l'âge et de la mauvaise santé de Mr. Delabre père, avait été confiée à sa jeune fille, qui n'avait pas l'expérience nécessaire.

Mr. Delabre fils a déjà fait beaucoup, mais la situation demande une intervention drastique: à part les contrats avec les clients habituels, Mr. Delabre a commencé à étudier une réhabilitation de la fonderie dans son ensemble; il a déclaré qu'il est disposé à investir une partie de son capital qui est de 22 millions de F.F., mais avant de le faire il cherche des garanties et, si possible, des financements de la part du Gouvernement Malgache.

Description	Alliage	Poids	Prix de revient	Prix de vente
Boulettes à broyeur	Fonte	35.000	n.d.	de 800 à 1400
Boitiers de charrettes	Fonte	12.000	n.d.	de 800 à 1400
Pièces diverses	Fonte	8.000	n.d.	de 800 à 1400
Tambours de freins	Fonte	2.000	n.d.	de 800 à 1400
Marmites	Fonte	4.000	n.d.	de 800 à 1400

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock Kg
Fonte grise	Fournisseurs locaux qui récupèrent blocs moteurs, tambours, chemises, etc	de 40 à 75 FMG/Kg	7000

7. CONSOMMABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable de carrière	locale	n.d.	n.d.
Bentonite	importation	n.d.	n.d.
Réfractaires	Fabriqués localement (Argile + mélasse)	-	-

0. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Coke	Acheté à travers Etablissements Gallois, le client plus important	1.080 FMG/Kg	n.d.

9. CLIENTS

Nom	Activité	Produits	Kg
Etablissements Gallois	Extraction Graphite	Boulettes à broyer	35.000
Divers		Boitiers charrettes	12.000
		Pièces diverses	8.800
		Tambours de freins	2.000
		Marmites	4.000

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct

Le personnel direct n'est pas bien organisé: les fondeurs deviennent mouleurs (et vice versa) préparateurs des noyaux, des sables etc.

Le personnel direct compte : 8 personnes OS en fonderie
 2 opérateurs OS en atelier

Personnel indirect	Nombre	Catégorie
Electricien	1	OS
Soudeur	1	OS
Chauffeur	1	OS
Mécanicien	2	OS

Salaires

Les salaires varient de 30.000 à 48.000 FMG/mois.

Degré de spécialisation

A part les opérateurs des machines outils, le personnel peut être considéré d'une spécialisation moyenne-basse, principalement pour ce qui concerne la préparation des moules.

En effet, on a pu constater directement, à l'occasion d'une coulée, des fuites de fonte de plusieurs moules. Mr. Delabre a expliqué que son père a essayé de placer auprès des autres fonderies des personnes plus capables, mais aussi plus âgées, car il craignait que la continuité de l'activité ne soit pas assurée.

Organigramme

n.d.

4.3.1.3 Ratalimana

Plus qu'une fonderie, il s'agit d'un petit atelier artisanal de fusion. La bonne volonté de Mr Rafalimana ainsi que son expérience acquise auprès de Mr Delabre, donnent de bons résultats.

Cependant, les conditions de l'équipement et du bâtiment sont telles que la vie opérationnelle de cette unité est destinée à s'arrêter très tôt.

Aucun investissement ne serait justifié, parce-que, dans ce cas il est question de renouveler complètement l'atelier (bâtiment et équipement).

La quantité de pièces produites, même si de bonne qualité est modeste et les bénéfices obtenus sont réinvestis pour la remise en état de l'équipement existant. En raison de la vétusté, la remise en état devient toujours de plus en plus difficile.

F I C H E

DE LA FONDERIE

RAFALIMANA

1. GENERALITES

Nom : RAFALIMANA

Siège : Ambohidrapeto, Antananarivo

Année d'installation : 1983

Capacité nominale initiale : pièces en fonte
pièces en bronze
pièces en aluminium
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte 400 kg/semaine
pièces en bronze
pièces en alu
pièces en laiton

Modernisations : Néant

Améliorations : Néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement, de seconde main et de fabrication locale, installé dans l'unité est le minimum indispensable pour une modeste production.

Son état est vraiment précaire et l'implantation a été faite sans tenir compte des normes de sécurité.

Il comprend :

- 1 cubilot à charbon de bois, avec addition de 3 bouteilles d'oxygène (pour chaque coulée).
Entre une coulée et l'autre il est nécessaire de faire des réparations, surtout au réfractaire.
- 2 fours à creuset à gasoil, assez détériorés
- 1 set de châssis de différentes dimensions, en bon état

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

Les modèles sont fournis par les clients.

Les moules et les noyaux sont préparés manuellement.

3. SERVITUDES

Electricité :

La puissance installée est d'environ 5 KW, la consommation mensuelle est d'environ 50.000 FMG.

L'installation est connectée au réseau de la Jirama.

4. BATIMENTS

La surface occupée est d'environ 120 m². Seule la partie de préparation des moules a la couverture en conditions acceptables; le reste de la toiture et surtout celle au-dessus du cubilot doit être refaite.

Les murs sont en briques d'argile et le sol est en terre pressée.

5. PRODUITS

Nomenclature	Alliage	Poids kg	Prix de revient	Prix de vente
Boîtes des charrettes	Fonte grise	de 3 à 8	n.d.	de 1000 à 3500 FMG/Kg
Décortiqueur de riz	Fonte grise	12	n.d.	de 1000 à 3500 FMG/Kg
Tambours de freins	Fonte grise	variable	n.d.	de 1000 à 3500 FMG/Kg
Volant moteur	Fonte grise	variable	n.d.	de 1000 à 3500 FMG/Kg

La production en 1987 était de 8500 kg, modeste mais de qualité, quelque fois au dessus de la qualité des meilleures fonderies, quelque fois le mauvais état de l'équipement empêche de faire plus d'une coulée par semaine et, souvent, l'installation doit arrêter la production pour des longs périodes.

Les modèles sont mis à disposition par les clients.

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Fonte grise	Fournisseurs locaux	100 FMG/Kg	-

7. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Graphite	Etablissements Gallois	1000 FMG/kg	-
Sable de moulage	Environs d'Antananarivo	100 FMG/kg	-
Sable à noyaux	Sable de Tamatave	150 FMG/kg	-
Liants (huile de lin)	Fournisseurs locaux	5400 FMG/kg	-
Pisé (sable argileux + graphite)	Fournisseurs locaux	n.d.	

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Charbon de bois	Fournisseurs locaux	75 FMG/Kg	-
Huile de vidange	Fournisseurs locaux	100 FMG/Kg	

9. CLIENTS

Une liste n'a pas été fournie. La réponse au questionnaire était:
Notre clientèle est comme suit:

- La plupart des Sociétés Industrielles d'Antananarivo
- Les décortiqueurs de riz
- Les transporteurs

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	Nombre	Catégorie
Cubiloteur	1	cadre
Mouleurs	3	05
Noyauteurs	3	05

	7	
Personnel indirect		

Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales

Degré de spécialisation

Les pièces produites, le travail de préparation des moules et des noyaux montrent que le personnel possède une préparation pratique acceptable. Il n'existe aucune connaissance de la métallurgie.

Organigramme

n.d.

4.3.1.4 Secren

Cette fonderie a été créée pour la production de pièces de rechange pour la Marine de Guerre Française. Par conséquent, son dimensionnement et ses caractéristiques ne sont pas basés sur des concepts d'économie et/ou de production en série.

L'utilisation des machines a toujours été très modeste, mais ce qui est le plus dommage est que les responsables d'un complexe de l'importance de la SECREN, pour sa position géographique et pour les services de dépannage qui pourraient être fournis aux bateaux en navigation dans l'Océan Indien, n'aient pas exécuté et n'exécutent pas toujours des interventions propres d'entretien à l'équipement de sa propre fonderie.

Les dirigeants actuels justifient cet état de choses par le manque de devises pour l'achat de pièces de rechange.

Ceci peut correspondre à la vérité seulement en partie: le manque de devises est une problème propre à toutes les entreprises malgaches.

La raison plus importante est que la mauvaise qualité et les délais de livraison poussent les bateaux à s'adresser au chantier naval de Mombasa où ils trouvent une assistance plus convenante en termes de qualité, prix et délais de livraison et les potentiels clients malgaches à s'adresser à d'autres fonderies qui assurent des produits de qualité et des termes de livraison acceptables.

Le manque d'entretien et par conséquent le manque de travail ont mené la SECREN peu à peu à l'abandon de l'équipement, dont l'état de détérioration est irréversible.

Envisager une réhabilitation de ce qui existe actuellement est hors de question: l'investissement serait excessif pour un marché presque inexistante.

F I C H E
DE LA FONDERIE

S E C R E T

1. GENERALITES

NOM : SECREN

Siège : Diego Suarez

Année d'installation : 1947

**Capacité nominale
initiale⁽¹⁾** : pièces en fonte 50.000 Kg/an
pièces en bronze 20.000 Kg/an
pièces en aluminium 200 Kg/an
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte |
pièces en bronze |production
pièces en aluminium|négligeable
pièces en laiton . |

Modernisations : néant

Améliorations : néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement est en très mauvais état, à cause d'un entretien insuffisant ou manquant.

Les modèles sont fabriqués dans le département menuiserie.

Il n'existe pas de laboratoire pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

Les équipements principaux et auxiliaires sont :

DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
Four à creuset STEIN-ROUBAIX	300 kg
Four à creuset STEIN-ROUBAIX	150 kg
Four à creuset UGINE-INFRA	100 kg 600°C
Four à creuset métaux légers	30 kg
Etuve à noyaux STEIN-R.	1,5 x 1,3 x 1,9 m
Four à régle UGINE-INFRA	250 Kg
Four à creuset STEIN-R.	200 Kg
Four de réglage STEIN-R.	1,3 x 0,7 x 0,93 m
Malaxeur de sable BOUVILLANT	0,48 x 0,49 x 0,360 m
Malaxeur de sable SISSON-LEMMANN	114 Lit.
Etuve à moules STEIN-R.	2,5 x 2,4 x 5 m
Four à recuire STEIN-R.	800°C
Four rotatif STEIN-R. à gasoil	1000 Kg
Four rotatif STEIN-ROUBAIX gasoil	500 Kg
Broyeur BOUVILLANT	2T/H diam. 1,6 x 1,15 m
Diviseur projecteur de sable BOUVILLANT	diam. 1 x 0,15 m
Machine à tronçonner DURSMITD	
Four de galvanisation STEIN-R.	4 x 0,8 x 1 m
Machine pour essai de traction WOLPERT	20 T
Tank de stockage de mazout	20 M3
Perceuse d'établi	
Tour parallèle à polir	
Polisseuse M A P E	

3. SERVITUDES

Electricité :

La SECREN a une centrale diesel-électrique équipée de trois groupes, dont la puissance totale est de 4000 KVA.

Une ligne à 5 kV pour 125 KVA est connectée au réseau de Jirama pour alimenter le chantier en cas de panne.

Air comprimé :

L'alimentation en air comprimé est assurée par le réseau général du chantier.

4. BATIMENTS

La typologie constructive du bâtiment est en charpente métallique.

Le bâtiment, divisé en deux nefs de 81 x 30 m, plus une annexe de 81 x 4.5 m, couvre une surface de 2730 m².

Le bâtiment est en très mauvais état.

5. PRODUITS

La fonderie a été conçue pour le moulage de pièces de dépannage et non pour une production de pièces en série.

Les pièces fabriquées sont vendues à des prix qui sont exorbitants, si on tient compte de la mauvaise qualité et des délais de livraison, qui sont assez longs.

Des exemples sont indiqués ci-dessous : (1)

- a) Pales de ventilateur en aluminium, poids Kg 72, pour SIRAMA (sucrierie)

1er devis

matières premières	375.000 FMG
modèle en bois 128 h x 2500	320.000 FMG
usinage 53 h x 2500	132.500 FMG
équilibre 36 h x 2500	90.000 FMG
imprévus 8 h x 2500	20.000 FMG

	937.500 FMG

2ème devis

Le Client fournit l'aluminium et le modèle	
fonderie 64 x 2500	160.000 FMG

- b) Couronne dentée en fonte, poids 11,5 Kg FMG 85.000
- c) Palier de bouttoir en fonte, poids 0,6 Kg FMG 10.000
- d) Coussinet de bielle en fonte, poids 0,8 Kg FMG 12.800

(1) Valeurs ante-dévaluation

6. MATIERES PREMIERES

SECREN a des grandes difficultés pour l'approvisionnement et ne dispose pas de stock.

Nomenclature	Source d'approvisionn.	Prix d'achat	Stock Kg
Fonte hématite	France	1850/2000 FF/t	-
Bronze 12% étain	"	30 FF/Kg	
Aluminium	"	2000 FMG/Kg	
Alliage antifricition	"	3200 FMG/Kg	1000
Laiton 60/40	"	35 FF/Kg	

7. CONSOHMABLES

Nomenclature	Source d'approvisionn.	Prix d'achat	Stock
Produits de traitement (dégazage, désoxydant, inoculation)	importation	20 FF/Kg	
Ferro-alliages	importation	15 FF/Kg	
Réfractaires (briques)	importation	21855 FF/300 Kg	
Creusets en graphite	importation	3260/unité	
Pisée (42% alumine)	importation	1 FF/Kg	
Sable	locale	n.d.	
Liants (mélasse et huile de lin)	locale	n.d.	

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionn.	Prix d'achat	Stock
Mazout	locale	200 FMG/litre	20.000 litres

Les fours de fusion, les fours à creuset et les étuves utilisent le mazout comme combustible.

Les fours de fusion ont un rendement très bas :

- pour la fusion de 500 Kg de fonte en fusion, la consommation est de 90 litres de mazout.

9. CLIENTS

Les clients ne sont pas nombreux et ne passent pas de commandes importantes en raison des prix élevés, de la mauvaise qualité des produits et des délais trop longs.

SOTEMA Société Textile de Mahajanga avait signé un contrat pour la fourniture de pièces de rechange pour un total de 4500 kg de pièces en fonte, 500 kg de pièces en bronze et 400 kg de pièces en aluminium.

Après deux années, seulement 3 items ont été livrés.
(voir liste annexe)

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre
Contremaître	1
Chef d'équipe mouleurs	1
Mouleurs	10
Chef d'équipe fondeurs	1
Fondeurs	5
Manoeuvres	3

	21

Personnel indirect

Chef d'atelier 1

Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la fonction Publique du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Moyen-bas.

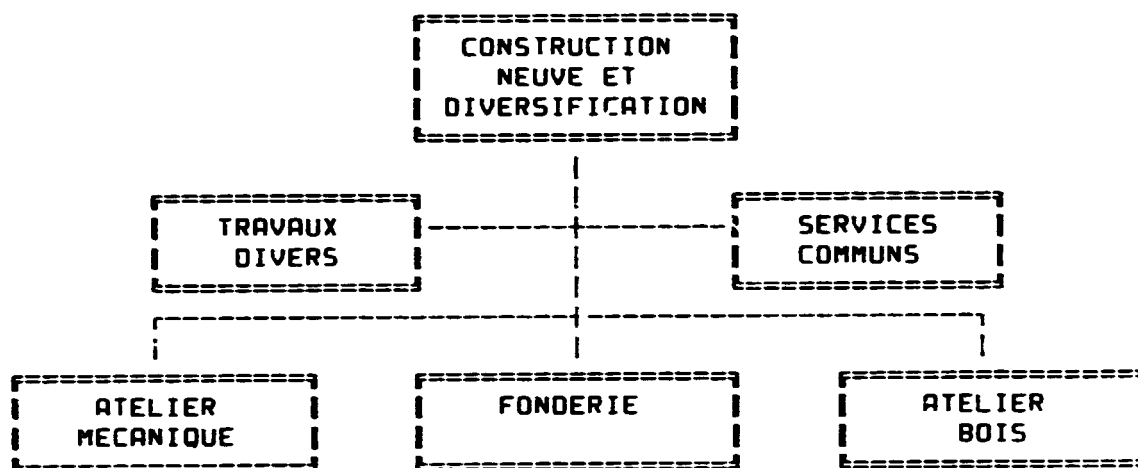
Le personnel expérimenté a quitté la SECREN pour rejoindre des fonderies plus actives et, dans plusieurs cas, pour s'approcher à la capitale.

A l'heure actuelle, la SECREN reçoit l'assistance d'un expert français dans le domaine de la fonderie.

Les choses ne marchent pas bien, parce-que la partie malgache trouve que l'expert vient de fonderies très modernes et automatisées et, par conséquent il n'est pas en mesure de redresser la situation.

De l'autre côté, l'expert considère sa tâche assez difficile et son pessimisme est remarquable, à cause, il dit, de la gestion mauvaise dans son ensemble et du manque de fonds, outre que le très bas niveau de qualification du personnel.

Organigramme



**LISTE DES PIECES MOULEES
DEMANDEES PAR SOTEMA**

F O N T E S

DESIGNATION DES PIECES	POIDS UNIT. Kg.	PRESERIE		SERIE	
		Nbre	P.T.	Nbre	P.T.
Couronne dentée	11,5	2	23	24	276
Palier Briseur G	7	2	14	30	210
Palier Briseur D	7	2	14	30	210
Support couteau G	0,7	2	1,4	30	21
Support couteau D	0,7	2	1,4	30	21
Roue tgte 40 à G	2,1	4	8,4	12	25,2
Bride de pédale	0,9	2	1,8	10	9
Palier de butoir G	0,6	30	18	300	180
Palier de butoir D		30	18	300	180
Douille de barre carée	0,9	50	45	360	324
Entretoise de chasse D	0,7	50	35	300	210
Entretoise de chasse G	0,7	50	35	300	210
Crémaillère G	2,8	20	5,6	150	420
Crémaillère D	2,8	20	5,6	150	420
Cheville de manille	0,7	20	1,4	150	105
Palier arbre battant G	1,6	30	48	100	160
Palier arbre battant D	1,6	30	48	100	160
Levier de renversement	0,15	30	4,5	30	80
Levier de réglage	0,8	20	16	200	30
Levier angulaire	2	2	4	15	9
Loquet de traction	0,3	5	1,5	30	18
Levier de glissement	0,6	5	3	30	80
Guide canette MDC	1	20	20	80	24
Rochet d'arrêt	0,7	10	7	35	14
Rochet d'avance	0,4	10	4	35	72
Marteau change canette	2,4	10	24	30	2,25
Levier de commande de Cis de Trame	0,15	5	0,75	15	26
Levier de débitage	2,6	2	5,2	10	180
Roue dentée ensouple	12	2	24	15	15
Répulseur de casse trame	0,15	20	3	100	45
Douille de bielle	0,5	30	4	300	60
Palier	1,2	50	506	50	580
Poulie de frein	5,8	100	580	100	
TOTAL			108,6		4377

B R O N Z E

DESIGNATION DES PIECES	POIDS	PRESERIE		SERIE	
	UNIT.	Nbre	P.T.	Nbre	P.T.
	Kg.				
Coussinet de bielle	0,8	40	32	500	400
Support de ciseaux	0,15	20	3	100	15
Couvercle de temple D	0,35	10	3,5	35	12,5
Couvercle de temple G	0,35	10	3,5	35	12,5
Support de clapet G (non percé)	0,05	10	0,5	40	20
Support de clapet D	0,05	10	0,5	40	20
TOTAL			43		480

A L U M I N I U M

DESIGNATION DES PIECES	POIDS	PRESERIE		SERIE	
	UNIT.	Nbre	P.T.	Nbre	P.T.
	Kg.				
Cone inf. variateur	4	2	8	10	40
Cone principale variat.	4,1	2	8,2	10	41
Tendeur accotex C.AF	0,06	100	6	1200	72
Tendeur accotex BB	0,06	50	3	200	12
Palier pour rouleau	0,05	100	5	100	5
Levier pour palier	0,05	200	10	200	10
Ventilateur	0,5	10	5	200	100
Supp. aiguille avec axe	0,03	20	0,6	70	2,1
Machouire de frein	0,35	6	2,1	200	70
TOTAL			48		352,1

4.3.1.5 T o l y

La fonderie fait partie d'un complexe industriel, fournit par la Chine, qui était destiné à la fabrication de machines agricoles.

L'activité de ce complexe a été arrêté en 1985 et difficilement la production redémarrera à court terme, même si un groupe d'entrepreneurs français ont déclaré leur intention à l'achat et au partenariat. Des négociations sont en cours, toutefois, la fonderie ne rentre pas dans le paquet.

La recommandation est que l'équipement de la fonderie soit racheté par Mr Delabre (Cf fiche fonderie AMBODITSIRY), qui est intéressé au renouvellement de sa propre fonderie d'Amboditsiry.

F I C H E
DE LA FONDERIE

T O L Y

1. GENERALITES

Nom : TOLY

Siège : Tulear

Année d'installation : 1978

**Capacité nominale
initiale** : pièces en fonte 1000 + 300 Kg/h
pièces en bronze 25 Kg/coulée
pièces en aluminium 25 Kg/coulée
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte : nulle
pièces en bronze : nulle
pièces en aluminium : nulle
pièces en laiton : nulle

Modernisations : néant

Améliorations : néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement est de fourniture chinoise. Malgré qu'il se trouve dans un état d'abandon, il peut être considéré encore intègre et utilisable, après une intervention de réassemblage, de nettoyage et de graissage (chaufferie, machine à ébavurer).

L'équipement de la fonderie est composé de :

- 1 cubilot dont la capacité est de 1000 Kg/h, construit à sections désassemblables, de façon à permettre le remplacement du réfractaire sans difficultés.
- 1 cubilot du type classique d'une capacité de 300 Kg/h
- 1 four à creuset pour bronze et aluminium, de 25 kg par coulée
- 1 soufflerie centralisée, alimentant les deux cubilots et le four à creuset
- 1 machine à ébavurer, d'une capacité de 300 litres
- 1 serie de coquilles pour le moulage des pièces de décortiqueuses
- 1 pont roulant avec palan manuel de 3 ton.

L'équipement pour la fabrication des modèles fait partie de l'atelier menuiserie, qui était au service du complexe entier.

3. SERVITUDES

L'énergie électrique est fournie par Jirama, à travers le réseau du complexe.

4. BATIMENTS

Le bâtiment est en briques, avec la toiture en charpente métallique et tôle galvanisée.

L'état est bon et la surface couverte est de 350 m², environ.

5. PRODUITS

A présent la fonderie ne fonctionne pas. Les produits qui ont été moulés en grande quantité sont des pièces en fonte (18 à 20 Kg/chacune) utilisées dans les machines décortiqueuses de riz.

6. MATIERES PREMIERES

Les matières premières utilisées étaient la fonte en gueuses (et de récupération), le bronze et l'aluminium importés de la Chine. Il existe un stock appréciable de matière première, surtout de la fonte en gueuse.

7. CONSOmmABLES

Les consommables, tels que les ferro-alliages et les réfractaires étaient importés de la Chine. D'importantes quantités sont en stock. Le sable pour les moules et les noyaux sont de provenance locale.

8. COMBUSTIBLES

Le coke était le combustible le plus utilisé, et il en existe quelques tonnes en stock.

9. CLIENTS

90 % de la production de la fonderie était destinée aux
paysans.

10. MAIN D'OEUVRE

Lorsque le complexe était en production, la fonderie employait :

Personnel direct	nombre	Catégorie
Chef d'équipe	1	cadre
mouleurs	4	
fondeur	2	
manoeuvres	6	
Personnel indirect		
Chef d'atelier	1	cadre

Salaires

Les salaires payés étaient ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Il n'est pas possible d'indiquer si le personnel avait reçu une bonne formation. Du personnel chinois était dans tous les départements du complexe jusqu'avant la fermeture du même.

Organigramme

n.d.

4.3.2 Fonderies du Groupe 2

4.3.2.1 S i d e m a

La fonderie est un atelier faisant partie du complexe SIDEMA, spécialisé dans la fabrication de machines agricoles.

La fonderie travaille surtout pour assurer les besoins propres de la SIDEMA, même s'il existe la disponibilité et la possibilité de travailler pour le compte de tiers.

L'implantation de la fonderie se trouve séparée du complexe SIDEMA et la superficie disponible est le minimum indispensable pour effectuer les différentes activités.

L'ubication du bâtiment ne permet pas des extensions dans le future; cette exigence, toutefois, n'est pas envisageable, compte tenu que la capacité de la fonderie suffit largement aux besoins propres à SIDEMA en tant que fabricant de machines agricoles et peut être utilisée pour la fabrication de pièces pour le compte de tiers.

F I C H E
DE LA FONDERIE
S I D E M A

1. GENERALITES

Nom : SIDEMA

Siège : Route Circulaire, ANTANANARIVO

Année d'installation : 1978

Capacité nominale initiale :

pièces en fonte	600 Kg/h
pièces en bronze	60 Kg
pièces en aluminium	60 Kg
pièces en laiton	60 Kg

Production actuelle :

pièces en fonte	88.000 Kg/an
pièces en bronze	1.570 Kg/an
pièces en aluminium	4.320 Kg/an
pièces en laiton	

Nombre de coulées par semaine : 1

Modernisations : En 1987, installation d'un système de traitement du sable, dans le cadre d'un programme de coopération entre Madagascar et la Suisse

Améliorations : Dallage de la surface de coulage; augmentation du niveau d'éclairage de l'atelier; mise en vigueur de normes d'hygiène et de sécurité des ouvriers.

2. EQUIPEMENT

L'équipement est de seconde main (en effet il provient d'une des nombreuses fonderies créées par Mr. Delabre), mais il est en bon état, grâce à l'entretien de la Société SIDEMA.

La composition de l'équipement est la suivante :

- 1 cubilot mixte à Fuel-Gas-oil et coke de 350 mm de \varnothing intérieur pourvu d'une soufflerie avec deux moteurs : 1 de 5 CV - 300 T/min et 1 de 5,5 CV - 2800 T/min, chargement manuel
- 2 fours à creuset à fuel, pour bronze, aluminium et laiton, d'une capacité de 60 kg
- 1 broyeur/malaxeur à sable, retraiteur de sable usagé, puissance moteur 5,5 CV - malaxeur 1,5 CV
- 1 malaxeur de sable à noyaux, puissance moteur 5 CV
- 2 sécheurs à noyaux, à fuel oil
- 1 sécheur à moules, à fuel oil
- 1 meule ébarbeuse double \varnothing 600, 3,5 CV
- 1 meule ponceuse de 400, 2,5 CV
- 1 pont roulant de 3,2 T muni d'un palan manuel
- 1 pont roulant de 1 T muni d'un palan manuel
- 1 perceuse

- 1 scie mécanique de 350, 2,5 CV

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal, avant la coulée.

En 1987, dans le cadre d'un programme de coopération entre le Madagascar et la Suisse, l'équipement suivant a été installé:

- 1 convoyeur SAMUN P, 5000 x 500 mm, 2,2 Kw
- 1 four séchoir à moules
- 1 tamis mécanique SAMUN 600 x 600, 0,56 Kw
- 1 malaxeur SAMUN, ø 500
- 1 malaxeur UNI, 35 litres, 0,75 Kw
- 1 ponceuse à disque, 1,5 Kw

Les châssis sont en nombre suffisant pour satisfaire les besoins actuels de la production et leur état est bon. Au cas où il s'avère la nécessité de fabriquer des châssis particuliers ou d'augmenter le parc existant, ces châssis peuvent être fabriqués par l'atelier de SIDEMA qui fabrique des machinismes agricoles.

Les modèles sont fabriqués par SIDEMA.

3. SERVITUDES

- Electricité :

La fourniture est assurée par la Jirama, à travers un transformateur installé sur un poteau.

La puissance installée est d'environ 27 KVA

La puissance appelée est d'environ 20 KVA

Le prix est de 45 FMG/KWh

- Eau :

Le système de distribution de l'eau à l'intérieur de l'atelier est connecté au réseau de distribution de l'eau potable de la Jirama.

La consommation est négligeable.

4. BATIMENTS

Les bâtiments datent de 1978 et sont en bon état.

La typologie constructive est du type conventionnel : structure en béton, murs en briques en argile, toiture en charpente métallique et tôle ondulée galvanisée.

L'atelier fonderie occupe une surface de 310 m².

Le magasin et les bureaux occupent une surface de 60 m² environ.

La répartition interne est bien étudiée et permet un flux logique des matières.

5. PRODUITS

Les pièces et leur quantité sont celles produites en 1987, mais elles peuvent être considérées la production de croisière. La qualité est acceptable.

Description	Alliage	Poids (en Kg)	Prix de revient(1)	Prix de vente(1)
Moyeux	Fonte grise	5.712	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Moyeux Bajac	Fonte grise	720	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Talons	Fonte grise	6.720	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Talons Bajac	Fonte grise	24.000	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Coussinets	Fonte grise	7.200	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Boîtes	Fonte grise	19.200	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Moyeux pour roues de charrette	Fonte grise	14.400	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Jet creux	Fonte grise	1.780	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Jet plein	Fonte grise	5.278	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Engrenage	Fonte grise	1.400	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Abrevoir individuel	Fonte grise	384	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg

(1) Valeurs moyennes

Description	Alliage	Poids (en Kg)	Prix de revient(1)	Prix de vente(1)
Eléments de distribution	Fonte grise	900	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg
Marmites de 200 l	Fonte grise	720	1063 FMG/Kg	1950 FMG/Kg

	TOTAL FONTE	88.414		
Cocottes	Aluminium	4.320	3799 FMG/Kg	4069 FMG/Kg

	TOTAL ALUMINIUM	4.320		
Pièces de rechange	Bronze	580	4050	5670
Pistons	Bronze	45	4050	5670
Jets	Bronze	900	4050	5670
Pignons	Bronze	48	4050	5670

	TOTAL BRONZE	1.573		

(1) Valeurs moyennes

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock (Kg)
Fonte grise	Fournisseurs locaux qui récupèrent blocs moteurs, chemises, flasques, tambours pièces machines	90 FMG/Kg	5.644
Bronze et laiton	Fournisseurs locaux, qui récupèrent bagues, robinetteries, engre- nages	700	158
Cuivre pur à 90%	Récupéré des fils de cuivre des câbles électriques	700	704
Zinc fin	Fournis par la coopération Suisse	1.495	95
Etain 99,9%	Fournis par la coopération Suisse	10.284	44
Aluminium alimentaire	Fournis par la coopération Suisse	3.799	192

7. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat FMG	Stock (Kg)
Graphite	GALLOIS	950/Kg	49
Kaolin	ANTANIFOTSY	n.d.	2.300
Bentonite	SUISSE	n.d.	1.400
Bentenyl	SOMADEx	n.d.	2.390
Fécule Manioc	LOCAL	225/Kg	95
Ferro- silicium	SUISSE	882/Kg	97
Ferro- manganèse	SUISSE	686/Kg	100
Huile de lin	SUISSE	980/Kg	185
Réfractaires	Importation	n.d.	-
Pisée	Importation	n.d.	-

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat FMG	Stock (kg)
Coke	Importation	971/Kg	5.000
Fuel		232/litre	n.d.
Gas-oil	mélangés SOLIMA	331/litre	n.d.

9. CLIENTS

Nom	Localité	Activité	Produits	Matière	Kg
SIDEMA	Soanierana	Matériels Agricoles	Moyeux	F	14000
			Moyeux		
			bajac	F	720
			Talons	F	6720
			Talons		
			bajac	F	24000
			Coussinets	F	7200
			Boîtes	F	19200
			Moyeux pour roues de charrettes	F	14400
			Eléments de distribution	F	900
			Broyeur à main	F	256
			Elément pompe	F	90
SOTEMA	Mahajanga	Confection textile	Pièces de maintenance	B	580
STAR	Taryombato	Brasserie	Pistons	B	45
			Jets de bronze	B	250
SOAM	Anosivavaka	Oxyacetilene	Jets creux	F	1780
			Jets plein	F	3536
HUILLERIE CENTRALE	Taryombato	Huile	Engrenage	F	148
			Pignons	B	48

SIRAMA	Namakia	Sucrierie	Jets de fontes F	1742
			Jets de bronze B	654
FINT	Ambohimanarina	Articles Scolaires	Engrenages F	900
SOVEMA TAMALU	Ambohimanarina	Laiterie	Engrenages F	350
BCL	Ambohimanarina	Laiterie	Abreuvoir F	384
MILITAIRES	Soanierana	-	Marmites F	720

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Modeleur	1	OP
Mouleur	8	OP
Sableurs	2	OS
Noyauteur	2	OS
Fondeur	2	OS
Ebarbeur	2	OS
Meuleur	2	OS

	19	

Personnel indirect

Chef d'atelier	1	Cadre
Bureau d'études	1	Cadre
Entretien	1	OP
Entretien	2	OS
Magasinier	2	OS
Secrétariat	1	SA
Gardiens	3	1B

	11	

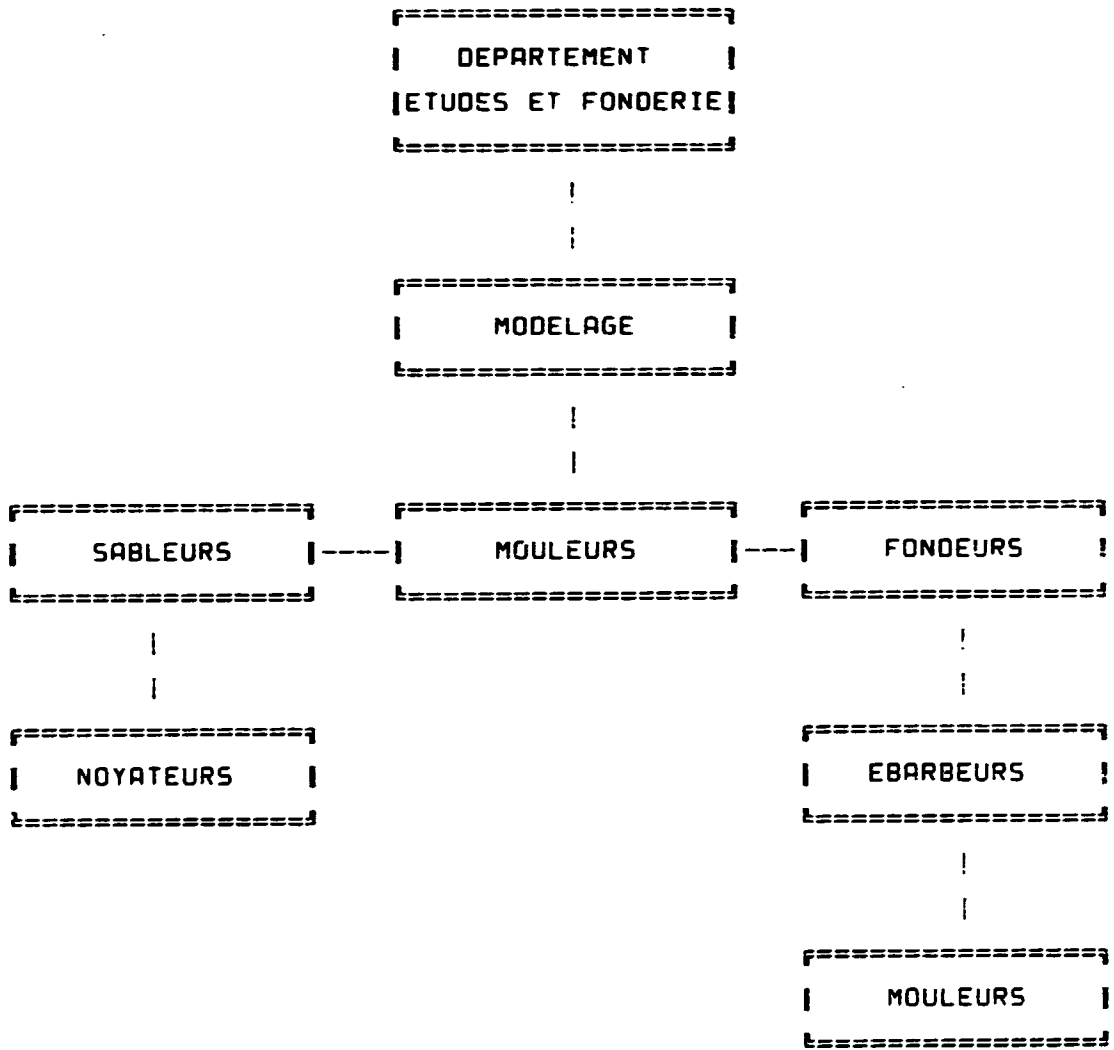
Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des lois sociales.

Degré de spécialisation

Le personnel possède en général une bonne expérience, acquise pendant plusieurs années de travail, auprès SIDEMA et autres fonderies (Delabre principalement).

Organigramme



4.3.2.2 Cimelta-Jeumont

La fonderie est un département du complexe CIMELTA-JEUMONT, groupe privé présent à Antananarivo, à Tamatave et à Tulear et dont les activités principales sont: travaux métalliques (charpent, chardonneries, mobiliers, métalliques, menuiseries), travaux électriques, bobinage et rebobinage moteurs, fabrication de tableaux électriques, téléphones.

A la différence de toute autre fonderie CIMELTA-JEUMONT, étant un groupe privé, a clairement déclaré qu'elle n'a pas l'intention de faire des investissements simplement pour améliorer la qualité de ses produits, qui est considérée bonne par les différents clients, ni d'investir pour rendre plus aisé le travail des ouvriers.

CIMELTA-JEUMONT est disponible à considérer des investissements étroitement nécessaires pour la production de pièces de grosses dimensions, comme, par exemple, les chemises des cylindres des moulins des sucreries, à condition que l'investissement soit financé à des taux faibles et que les sucreries s'engageant à acheter chez CIMELTA-JEUMONT.

Or, la fabrication des chemises de cylindres utilisées dans les sucreries, intéresse aussi la SIRANALA, la sucrerie plus grande et moderne du pays, pourvue d'une fonderie, dont la Direction a déclaré sa disponibilité à faire les investissements nécessaires pour le moulage des chemises dont elle a besoin et pour le compte de tiers.

Partager la production de ce type de pièces ne serait pas économique. Pour cette raison et pour les raisons susmentionnées CIMELTA-JEUMONT est incluse dans la liste des fonderies qui ne sont pas à réhabiliter.

F I C H E
DE LA FONDERIE

CIMELTA - JEUMONT

1. GENERALITES

Nom : CIMELTA-JEUMONT

Siège : Antananarivo

Année d'installation : 1950

Capacité nominale initiale : pièces en fonte 1000 kg/h
pièces en bronze 200 kg

Production actuelle : pièces en fonte 1200 kg/an
pièces en bronze 13500 kg/an

Modernisations : néant

Améliorations : installation d'une étuve électrique à noyaux
réfection du cubilot en 1980
aménagement du parc de moulage, de coulage et de stockage des matières premières et pièces finies.

2. EQUIPEMENT

L'équipement existant dans la fonderie a été conçu et fabriqué par la Cimelta-Jeumont même, sauf la meule à ébarber et le broyeur qui ont été importés.

L'état est bon et l'entretien est fait régulièrement.

L'équipement de la fonderie est composé de :

- 1 cubilot du type classique à coke, Ø intérieur 500 mm, capacité 1000 kg/h, chargement manuel.
- 1 four à creuset à gas-oil d'une capacité de 200 Kg
- 1 four à creuset à coke d'une capacité de 200 Kg
- 1 broyeur, d'une capacité de 200 litres
- 2 machines manuelles à mouler
- 1 étuve électrique
- 1 meule à ébarbeur Ø 650
- 1 jeu de châssis de différentes dimensions

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

L'équipement pour la fabrication des modèles est installé auprès des autres départements du complexe, et comprend un atelier d'usinage équipé par des machines qui datent de 1950, mais qui sont en bon état et qui peuvent encore usiner des pièces avec des tolérances poussées.

Les machines équipant l'atelier d'usinage sont :

- 1 tour parallèle
- 1 fraiseuse
- 1 étau limeur
- 1 aléseuse
- 1 raboteuse
- 1 tour vertical
- 1 perceuse radiale

Ces machines sont utilisées pour usiner les pièces brutes de fonderie, outre que les autres pièces provenant des autres départements.

3. SERVITUDES

Electricité :

La puissance installée en fonderie est de 25 CV. L'alimentation est dérivée du réseau général de distribution du complexe.

Eau :

Le système de distribution de l'eau est branché au réseau du complexe. La consommation est négligeable.

Air comprimé :

Le système de distribution de l'air comprimé est branché au réseau du complexe. La consommation est négligeable.

4. BATIMENTS

Le bâtiment de la fonderie est un prolongement du bâtiment du complexe, construit en charpente métallique et toiture en tôle galvanisée. La surface couverte par l'atelier fonderie est de 150 m².

5. PRODUITS

90 % de la production de la fonderie est destinée à des tiers car les propres besoins de Cimelta-Jeumont sont modestes. Des statistiques précises ne sont pas disponibles. Les valeurs indiquées ci-dessous sont des estimations du chef d'atelier.

Les prix sont variables en fonction de la complexité du moule et de la nécessité de préparer un modèle de la pièce.

Nomenclature	Alliage	Poids (Kg)	Prix de revient FMG/Kg	Prix de vente FMG/Kg
Galets de broyeur	Fonte grise	2000	400	900
Galets	Fonte grise	2000	600	1500
Poulies	Fonte grise	1500	800	1800
Couronnes	Fonte grise	500	1000	2000
Grilles	Fonte grise	1200	400	900
Bouches à clé	Fonte grise	4500	600	1500
Vannes manuelles	Fonte grise	300	1200	2000
Coussinets	Bronze	3500	4000	6000
Jets	Bronze	8000	4000	6000
Corps de pompes	Bronze	850	4000	6000
Objet d'art	Bronze	1200	4000	6000

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Fonte grise	Fournisseurs locaux (fonte de récupérat.)	100 FMG/Kg	10000 Kg
Bronze	Fournisseurs locaux (de récupération)	de 400 à 1000 FMG/Kg	2000 Kg

7. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable de moulage (type argileuse)	Environs d'Antananarivo	100FMG/Kg	500 Kg/mois
Sable à noyaux	Sable de Tamatave	150FMG/kg	-
Liants (huile de lin)	Fournisseurs locaux	5400 FMG/l	
Bois de modelage	Fournisseurs locaux	250 FMG/Kg	
Pisé (sable argileux + graphite)	Fournisseurs locaux	n.d.	

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Coke	Importation d'Europe	493 FMG/Kg	n.d.
Gas-oil	SOLIMA	280 FMG/litre	-
Bois de chauffage	Fournisseurs locaux	24000 FMG/tonne	-

9. CLIENTS

Nom	Activité	Produits	Tonnage
JIRAMA	Eau et électricité	Bouches à clé en fonte Patins carrés en fonte Raccords rapides en fonte	70% produc.
ETS. GALLOIS	Graphite	Galets de broyeurs à graphite	
SOTEMA	Textile	Pièces divers en fonte	n.d.
SIRAMA	Sucrierie	Pièces en bronze	80% produc.
DIVERS	Exploitat. minières Etabliss. Génie Civil Autres	Pièces en fonte " " "	15% produc.
CIMELTA JEUMONT	-	Pièces divers en fonte	10% produc.

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Mouleurs	6	OS
Fondeur	2	OS
Manoeuvre	4	3B
Modeleur	1	OP

Personnel indirect	nombre	Catégorie
Chef d'atelier	1	cadre
Chef d'équipe	1	OP

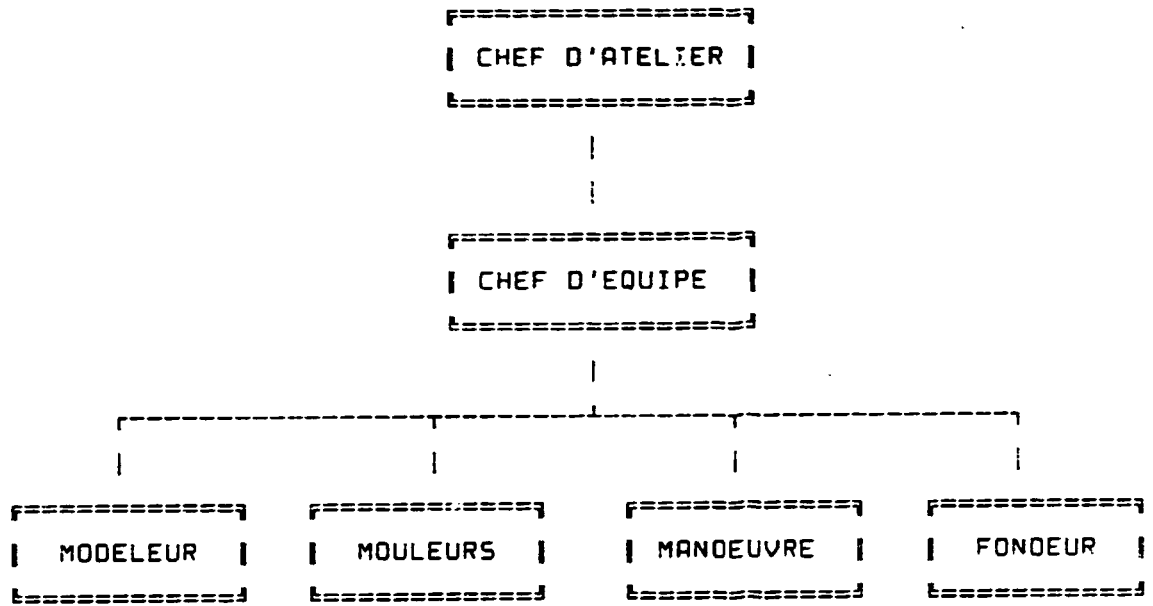
Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Le personnel possède une bonne préparation et expérience. Il faut remarquer que certaines personnes sont âgées et qui existe le problème de turn-over.

Organigramme



4.3.2.3 C o t o n a

La fonderie est un atelier associé au complexe textile la COTONNIERE d'ANTSIRABE.

Cet atelier a été créé pour satisfaire les besoins internes de la COTONNIERE et ceux de la TISMA, une usine textile appartenante au même groupe.

Cette fonderie est la seule actuellement à Madagascar qui produit des pièces moulées de qualité.

La COTONNIERE a choisi la politique de l'autosuffisance et possède, donc, sa propre fonderie et un atelier de maintenance remarquablement organisé. Si celui-ci arrive tout juste à subvenir aux besoins en pièce de rechange de l'usine et quelque fois à d'autres entreprises, il n'est pas de même de la fonderie qui, au contraire, recherche de la production.

L'exploitation est en effet très bas: il y a une coulée tous les quinze jours, son intérêt en tant que pourvoyeur de pièces moulées à produire, est, donc, grand.

La matière première la plus utilisée est de la fonte de récupération, achetée sur le marché locale ou récupérée à l'intérieur de la fonderie.

Même si la qualité des produits est toujours bonne, pour maintenir son standard, il est recommandé d'utiliser de temps en temps de la fonte en gueuse dans la mesure de 20% de la charge.

F I C H E
DE LA FONDERIE

C O T O N A

1. GENERALITES

Nom : COTONA

Siège : Antsirabé

Année d'installation : 1984

Capacité nominale initiale : pièces en fonte 3000 Kg/h
pièces en bronze 300 Kg
pièces en aluminium 300 Kg
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte 50.000 Kg/an
pièces en bronze 500 Kg/an
pièces en aluminium 1500 Kg/an
pièces en laiton

Modernisations : néant

Améliorations : néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement de la fonderie, en bonne partie fabriqué localement, est en bon état et compte :

- 1 cubilot de 3000 Kg/h à chargement manuel
- 1 four à creuset à mazout de 300 Kg/coulée
- 2 fours de traitement thermique, chauffage électrique
- 2 mélangeurs de sable
- 1 système de noyautage-silicate de soude - CO₂
- 1 meule à bande abrasive
- 100 châssis de différentes dimensions
- 1 palan Demag de 2 tonnes
- 1 pont roulant manuel

Un atelier de menuiserie pour la fabrication des modèles en bois fait partie de la fonderie.

La fonderie a en dotation un boîtier de produits chimiques, utilisés pour la vérification de la présence de certains éléments d'un alliage.

Il ne s'agit pas de la détermination du pourcentage, mais c'est le premier pas pour s'assurer que la composition de l'alliage ne manque pas de quelque élément important.

Le contrôle de la température de la coulée est effectué à l'aide d'un pyromètre optique.

Un atelier d'usinage se trouve à côté de la fonderie où les machines suivantes sont installées :

- 10 tours parallèles, distance entre pointes de 500 à 3000 mm; diam. max. 800 mm
- 4 fraiseuses
- 1 étau-limeur
- 10 postes de soudure (4 OA et 6 électriques).

3. SERVITUDES

L'énergie électrique, l'air comprimé et l'eau sont fournis par les réseaux de distribution de la COTONA.

4. BATIMENTS

La typologie constructive du bâtiment est en charpente métallique et tôle galvanisée. L'état du bâtiment est bon. La surface couverte est de 500 m², répartie comme suit :

- 50% zone de fusion et coulée
- 10% parc des matières premières
- 10% magasin des modèles
- 10% zone d'ébarbage
- 10% zone des fours de traitement thermique
- 10% zone de molaxage.

5. PRODUITS

La production de la fonderie concerne principalement des pièces de rechange nécessaires pour l'entretien du matériel de la COTONNIERE.

Grâce à la qualité obtenue dans le moulage, plusieurs entreprises s'adressent à la COTONA pour la fabrication de pièces de rechange qui, autrement devraient être importées.

La typologie des pièces est assez vaste: celles en fonte sont les plus demandées.

Nomenclature	Alliage	Poids en Kg	Prix de revient	Prix de vente (1)
	Fonte grise	50000	1.200	3000 FMG/Kg
	Bronze	500	3.700	5500 FMG/Kg
	Aluminium	1500	9.500	13000 FMG/Kg

(1) Prix des pièces brutes, non usinées, fabriquées pour compte de tiers.

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Fonte	Fournisseurs locaux (fonte de récupération)	150 FMG/Kg	10.000 Kg
Bronze	Fournisseur locaux (copeaux) importation en quantité modeste de France (lingots)	4000 FMG/Kg	150 Kg
Aluminium	Importé	de 2000 à 5200 FMG/Kg	200 Kg

7. CONSOMMABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Ferro-silicium	Importation de France	6000 FMG/Kg	200 Kg
Ferro-manganese	Importation de France	5000 FMG/Kg	500 Kg
Aluflux X	Importation	n.d.	50 Kg
Aluflux TH	Importation	n.d.	50 Kg
Aluflux EV	Importation	n.d.	50 Kg
Castine	Locale	100 FMG/Kg	

8. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Coke 30/150 mm	Importé	1100 FMG/Kg	15000 kg
Fuel Lourd N.2	Local	150 FMG/litre	-

9. CLIENTS

NOM	Activité	Produits	Tonnage
COTONA			
TISMA		Fonte	3000 Kg/an
DIVERS		Fonte	5000 Kg/an

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Préparateur	1	cadre (bacc.)
Modeleur	1	OP2
Mouleur	5	OP1
Fondeur	3	OP1
Manoeuvre	10	OS
Personnel indirect		
Chef d'atelier	1	cadre (ingénieur)

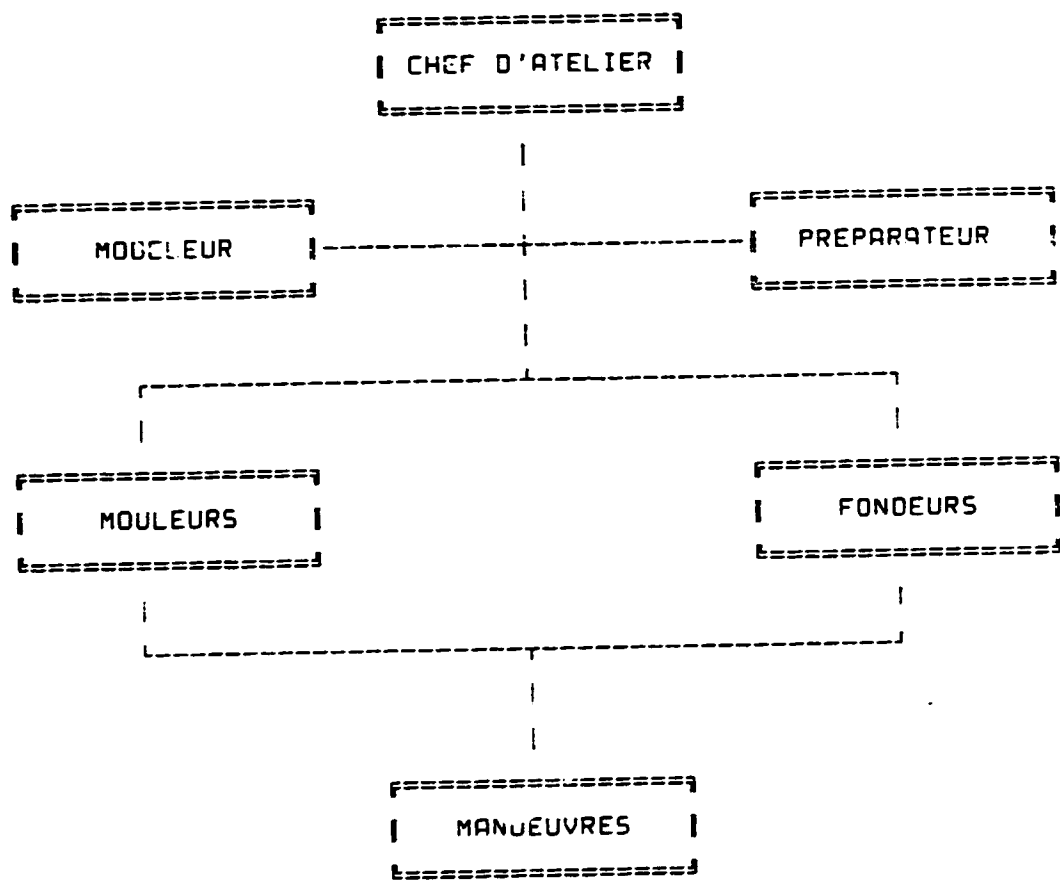
Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la fonction Publique, du travail et des lois Sociales.

Degré de spécialisation

Le personnel a une bonne expérience.

Organigramme



4.3.2.4 Favima

Favima est la fonderie de la COREMA, active dans le domaine de la production de savon.

Au moment de la création de la fonderie, les responsables avaient décidé de mettre sur pied une unité capable de satisfaire les besoins propres à COREMA, plus les besoins de tiers.

Pour des raisons qui n'ont pas été mentionnées à l'occasion de la visite, les résultats attendus n'ont pas été atteints et, par conséquent, la direction a décidé des changements drastiques, à niveau de gérance qui ont presque paralysé l'activité de la fonderie, surtout pour les pièces en fonte.

L'équipement est en bon état, mais son utilisation est presque nulle.

A part le changement du personnel responsable, la fonderie ne travaille pas, même à cause de la faible expérience du personnel.

En général cette fonderie ne nécessite pas d'intervention de réhabilitation; ce qui est indispensable est faire des stages de formation et des campagnes de promotion de vente à des tiers.

F I C H E
DE LA FONDERIE

F A V I M A

1. GENERALITES

Nom : FAVIMA

Siège : Marovoay-Moramanga

Année d'installation : n.d.

Capacité nominale initiale : pièces en fonte 2 x 500 Kg/h
pièces en bronze 80 Kg -
pièces en aluminium -
pièces en laiton -

Production actuelle : pièces en fonte 800 Kg/mois
pièces en bronze 80 Kg
pièces en aluminium -
pièces en laiton -

Modernisations : néant

Améliorations : néant

2. EQUIPEMENT

L'équipement installé dans la fonderie est de conception et de fabrication FAVIMA, sauf une des 5 centrifuges, qui a été importée de France.

L'état de l'équipement est bon et se compose de la façon suivante :

- 2 cubilots de \varnothing intérieur 350 mm, capacité nominale 500 Kg/h
- 1 four à creuset à fuel-oil, pour bronze, d'une capacité de 80 Kg
- 5 centrifugeuses (pour des pièces, jets) jusqu'à 400 Kg
- 1 malaxeur

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première, ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

Dans le même bâtiment de la fonderie, des machines outils sont installées. Elles ne sont plus récentes, mais bien entretenues. Ces machines sont :

- 1 raboteuse
- 2 petits tours pour bagues et jets
- 1 tour pour les pièces jusqu'à 400 Kg
- 1 tour à long chariot
- 1 tour de précision pour vis, filetage
- 1 perceuse

3. SERVITUDES

Electricité :

La Favima n'est pas alimentée par la Jirama.

L'électricité de l'usine est fournie par un groupe autonome.

Eau :

De même que pour l'eau, l'usine est indépendante de la Jirama.

Elle bénéficie d'un barrage pour le stockage de l'eau dont elle a besoin.

4. BATIMENTS

Le bâtiment est en structure métallique, avec toiture en tôle galvanisée. L'état est assez bon.

La surface couverte est de 900 m².

5. PRODUITS

Description	Alliage	Dimensions	Prix de revient	Prix de vente
Engrenage	Fonte	de # 100 à 200 mm	-	-
Jets	Bronze	# max 180 mm	-	-
Jets creux	Bronze	# max 230 mm	-	-
Bagues pour chaloupe	Bronze	n.d.	-	-
Poids pour Balance	Bronze	n.d.	-	-

Ni le poids de chaque pièce, ni le poids total de la production et ni les prix ont été communiqués.

La seule indication obtenue est l'indication du montant facturé à COREMA pour l'année 1987: 1.900.000 FMG.

6. MATIERES PREMIERES

Les matières premières sont presque toutes des matières provenant de la récupération (blocs moteurs, engrenages, plombs de batteries, etc...)

Les prix d'achat et les stocks ne sont pas connus.

7. CONSOMMABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable pour moules	Rivière de Moramanga	n.d.	n.d.
Sable pour moules (terre glaise + sucre + sable)	Locale	n.d.	n.d.
Réfractaires	Ils utilisent de l'argile locale	n.d.	n.d.
Graphite (pour creuset)	Etablissements Gallois	n.d.	n.d.

6. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Coke	Importé	-	-
Charbon de bois	Fournisseurs locaux	2500 FMG/ 40 Kg	-
Fuel (50l pour 100 Kg de bronze)	SOLIMA	325 FMG/ litre	-

9. CLIENTS

NOM	Activité	Produits	Tonnage
Descours et Cabaud		Jets de bronze	n.d.
Bonnet et Fils		Jets de bronze	n.d.
COREMA		Vis sans fin, coussinets, engrenage en bronze	n.d.
Construction Charrettes de Tulear		Boîtes de charrettes en fonte	n.d.

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	Nombre	Catégorie
Mouleurs	2	05
Sableur	1	05
Cubiloteur	2	05
Manoeuvre	2	B1
Opérateurs machines outils	5	0P

	12	

Personnel indirect	nombre	catégorie
Chef d'atelier	1	cadre

Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Apparemment le personnel a une discrète expérience pratique, acquise sur le tas. Selon le nouveau responsable de la fonderie un cours de formation est souhaité.

Organigramme

n.d.

4.3.2.5 Sirama

Cette fonderie est un petit atelier installé en 1923, équipé de moyens de fusion pour la fonte et le bronze, de capacité assez modeste, mais suffisants à la production d'un certain type de pièces nécessaires au dépannage ou au remplacement des pièces usurées du matériel de la sucrerie, dont il fait partie.

SIRAMA a déclaré qu'il n'existe aucun intérêt à faire des investissements pour accroître ou améliorer la qualité de la production.

Lorsqu'il est nécessaire de s'approvisionner de pièces qui ne peuvent pas être moulées à l'intérieur, SIRAMA s'adresse à d'autres fonderies.

Quand la fonderie de la SECREN était en condition de produire des pièces de qualité, SIRAMA était un de ses clients importants, grâce à la brève distance qui sépare les deux sociétés.

Actuellement, SIRAMA s'adresse à des fonderies localisées dans les environnements d'Antananarivo. Seulement les chemises des cylindres sont importées (de Maurice).

FICHE
DE LA FONDERIE
SIRAMA

1. GENERALITES

Nom : SIRAMA

Siège : Nosy Be

Année d'installation : 1923

Capacité nominale initiale : pièces en fonte 350.kg/coulée
pièces en bronze 700 kg/coulée
pièces en aluminium
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte 2400 kg/an
pièces en bronze 6750 kg/an
pièces en aluminium
pièces en laiton

Modernisations :

Améliorations :

2. EQUIPEMENT

L'équipement se compose de :

1 Four à 2 creusets de 350 kg de bronze, chacun pouvant travailler simultanément de façon qu'une coulée de 700 kg puisse être effectuée.

Le four est chauffé au mazout.

1 Four ayant les mêmes caractéristiques que le four ci-dessus mais pour la fonte.

Il n'existe pas d'équipement pour l'analyse chimique de la matière première ni d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

Un atelier d'usinage se trouve à côté de la fonderie, où les machines suivantes sont installées:

- . 5 tours parallèles, distance entre pointes de 500 à 1500 mm - Ø 800 max
- . 1 fraiseuse mortaiseuse
- . 2 fraiseuses radiales
- . 1 perceuse sensitive

3. SERVITUDES

Energie électrique :

Un groupe autonome fournit l'énergie.

Eau :

Un système de pompage de puits alimente le complexe en eau.

4. BATIMENTS

Le bâtiment couvre une surface de 120 m² et son état est bon.

5. PRODUITS

Nomenclature	Alliage	Poids	Prix de revient	Prix de vente
Jets # max 230	Bronze	2000 à 3000 kg/an	n.d.	n.d.
Coussinet moulin	Bronze	1250 kg/an	n.d.	n.d.
Pompe (corps+rotor)	Bronze	500 kg/an	n.d.	n.d.
Sabot de freins	Fonte	800 kg/an	n.d.	n.d.
Lame bagassière	Fonte	600 kg/an	n.d.	n.d.

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Bronze	Récupération interne		
Fonte	Récupération interne		

7. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable	Moramanga et Ambanja	n.d.	n.d.
Graphite	Etablissement Gallois	n.d.	n.d.

6. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Gas-oil	Locale	n.d.	
Coke	Importation	n.d.	

9. CLIENTS

Nom	Activité	Produits	Tonnage
Sirama même		Bronze	4.750 kg
Sirama même		Fonte	2.400 kg

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Fondeurs	2	05
Mouleurs	2	05

Personnel indirect

Chef d'atelier

Salaires

Le salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Moyen

Organigramme

n.d.

4.3.3 Fonderies du groupe 3

Les fonderies de ce groupe sont :

- R.N.C.F.M.
- SIRANALA

Les raisons fondamentales qui ont mené à proposer ces deux fonderies pour une intervention de modernisation/rehabilitation sont les suivantes :

a - R.N.C.F.M.

- . haute capacité de fusion
- . disponibilité de place
- . certitude que la fonderie n'aura pas de problèmes étant donné que son efficacité doit être maintenue intègre car lié à un service public stratégique
- . disponibilité de capitaux publics
- . existence de programmes de modernisation
- . excellent position géographique
- . disponibilité d'un atelier d'usinage importante
- . disponibilité d'une menuiserie pour la fabrication de modèles

b - SIRANALA

- . disponibilité de moyens récents
- . existence de programmes d'investissements pour la production des chemises des cylindres
- . disponibilité d'un atelier d'usinage importante

Il faut remarquer que la fabrication des chemises des cylindres, qui sera étudiée pour les deux fonderies, pourra être assignée à une seule fonderie, de façon à permettre un investissement rentable.

Il faut ajouter, aussi, que les autres sucreries qui, elles mêmes, comme la SIRANALA, importent les chemises de Maurice, devront acheter les pièces de la fonderie qui aura fait l'investissement.

L'étude sur la fonderie RNCFM sera développée en tenant compte soit de la production actuelle, (104,000 Kg) soit de la production des chemises des cylindres, (153,000 Kg), soit de la fabrication d'environ 130,000 Kg de pièces en fonte actuellement importées.

L'étude sur la fonderie SIRANALA sera développée en tenant compte de la production des chemises des cylindres seulement.

Les pièces en aluminium, en bronze, en laiton, ne seront pas considérées, étant donné que leur production ne demande pas des investissements.

Les études sur les fonderies RNCFM et SIRANALA sont jointes en annexe.

4.3.4. Fonderie E.E.S.P.

La véritable activité de cette Ecole est la formation. Le fait que pour des exigences de qualité et de délais de livraison, l'Ecole soit devenue un centre de production devrait être considéré comme tout à fait exceptionnel.

Toutefois, vu sa fonction particulière, l'Ecole doit rester en étroite collaboration avec les producteurs pour effectuer des recherches et étudier de nouvelles applications.

Le laboratoire et les machines que l'Ecole a eu en dotation ainsi que l'expérience de son personnel peuvent avoir des effets très bénéfiques sur la qualité des produits des différentes fonderies, si ces dernières s'adressent plus souvent à l'Ecole pour faire des analyses, des essais, etc.

Pour être en mesure de rendre un service efficace, le laboratoire de l'Ecole devrait être équipé avec un spectromètre permettant :

- a - l'analyse chimique des pièces de rechange (1) que l'on veut produire localement
- b - l'analyse chimique des stocks de matières premières de récupération, achetées par les différentes fonderies.

De cette façon, les fonderies auraient la possibilité de trier les matières premières et, donc, préparer les charges avec plus de tranquillité en ce qui concerne leur composition.

(1) Les utilisateurs possèdent rarement les spécifications du matériau.

Une autre installation fortement recommandée est un four électrique à induction de petite capacité (500 Kg) permettant à l'Ecole d'avoir un laboratoire et un atelier complets pour l'enseignement et, au même temps, être en mesure d'exploiter cet équipement pour assister les différentes fonderies et pour le moulage de pièces en acier, actuellement importées au 100%.

Un four de traitement thermique devrait aussi être acheté.

Il est l'opinion du consultant que tous les aspects concernant l'Ecole devraient être discutés au dehors de l'étude de réhabilitation des fonderies, pour les différentes implications politiques

En effet, il ne s'agit pas d'un investissement productif proprement dit, étant l'Ecole seulement un organisme qui peut fournir un support pour assurer la formation de personnel, les contrôles de matières premières et pièces finies.

Les décisions devraient être prises par le Ministère de l'Education de concert avec le Ministère de l'Industrie, en tenant compte que les coûts de l'investissement sont estimés à 600.000.000 de FMG.

1. GENERALITES

Nom : ECOLE ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
POLYTECHNIQUE

Siège : Ankatso, Antananarivo

Année d'installation : 1984

**Capacité nominale
initiale** : pièces en fonte
pièces en bronze
pièces en aluminium
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte
pièces en bronze
pièces en aluminium
pièces en laiton

Modernisations :

Améliorations :

2. EQUIPEMENT

L'équipement de la fonderie a été conçu et fabriqué par le personnel de l'EESP même. Il s'agit principalement de:

- 1 cubilot classique, à chargement manuel, d'une capacité de 1000 kg/h
- 1 machine pour la préparation des moules, type presse non vibrante
- 1 jeu de châssis métalliques
- 1 jeu de châssis en bois

Un four à creuset est en cours de fabrication: il est conçu pour une capacité de 50 kg par coulée et est chauffé au mazout.

Un atelier d'usinage se trouve à côté de la fonderie où les machines suivantes sont installées :

- 5 tours
- 4 fraiseuses
- 1 rectifieuse

L'Ecole est pourvue aussi d'un laboratoire de métrologie, de contrôle de la résistance mécanique, de contrôle de la dilatation, de traitements thermiques et d'appareil de cristallographie.

Manquent cependant, l'équipement pour l'analyse chimique de la matière première et l'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée.

3. SERVITUDES

L'énergie électrique est fournie par Jirama à 110 FMG/KWh

4. BATIMENTS

Le cubilot est installé aux intemperies. La partie couverte de l'atelier fonderie est un appendice de 50 m² environ du bâtiment de l'École.

5. PRODUITS

Les produits sont des pièces de rechange demandées par différentes unités industrielles. Le poids maximum de la pièce plus lourde est < 10 kg.

Les prix de vente est le prix de revient. Ceci peut varier en fonction que la pièce demande le modèle ou non.

6. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source	Prix	Stock
	d'approvisionnement	d'achat	
Fonte grise	Récupération	100 FMG/kg	-

7. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Sable au quartz pour les moules	Tamatave	150 FMG/Kg	
Bentonite	Importée	n.d.	
Huile de lin	Locale	6000 FMG/kg	
Réfractaires (kaolin 25%+sable au quartz+grains quartzite)	Locale	n.d.	

6. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source	Prix	Stock
	d'approvisionnement	d'achat	
Coke	Importé	1000 FMG/kg	
Bois	local		
(chauffage poche)			

9. CLIENTS

NOM	Activité	Produits	Tonnage
SUMATEX	textile	divers	n.d.
SOTEMA	textile	divers	n.d.
PAPMAD n.d.	papeterie		divers
GALLOIS	graphite	divers	n.d.

10. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie	
opérateurs machines outils	10	OP	OP
fondeur	1	OP	
mouleur	1	OP	
modeleur	1	OP	
manoeuvre	1	MO	

Personnel indirect

directeur 1

Salaires

Le salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales

Degré de spécialisation

Bon

Organigramme

n.d.

5. FORMATION

Le personnel des fonderies existantes à Madagascar a une préparation pratique, qui, en principe, peut être considérée acceptable pour la production d'un certain type de pièces.

Cependant, pour atteindre l'objectif de la qualité, absolument nécessaire pour la fabrication de pièces de rechange, il est fortement recommandé que des stages de formation spécifique aient lieu auprès des fonderies mêmes et/ou auprès l'École Polytechnique.

Le projet DP/MAG/82/008/11-55 prévoit des stages de perfectionnement à l'étranger de cadres de la cellule "maintenance" de la SERDI (cf. Etude de M. Jacky Salmon). Seulement une des personnes qui participeront aux stages, devra se perfectionner dans le domaine "Fonderie".

A notre avis il serait bien qu'au moins deux personnes deviendraient expert dans ce domaine, pour assurer une assistance continue au cas où une des deux ne soit pas disponible, pour n'importe quelle raison.

Le délai de 3 mois, préconisé dans l'étude susmentionnée, nous semble trop bref: il serait mieux de l'augmenter à 6 mois.

En effet, la matière à étudier est assez vaste, et même si la préparation de base est bonne, beaucoup de temps est demandé avant de devenir un spécialiste, destiné à la formation.

Le programme de formation devrait traiter tous les points mentionnés dans le volume "Précis de Fonderie" publié par A F N O R, Tour Europe, Cedex 7 - 92080 Paris-la Défense.

ANNEXE 1

FONDERIE RNCFM

ETUDE DE MODERNISATION/REHABILITATION

SOMMAIRE

	Page
1. <u>AVANT PROPOS</u>	1
2. <u>PROGRAMME DE PRODUCTION</u>	14
3. <u>RECETTES</u>	15
4. <u>PROPOSITION POUR LA MODERNISATION/REHABILITATION</u>	17
4.1 FABRICATION DE MODELES	17
4.2 PREPARATION DES NOYAUX	18
4.3 PREPARATION DES MOULES	20
4.4 FUSION ET COULEE	22
4.5 FINITION DES PIECES	23
4.6 ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS	24
4.6.1 <u>Modernisation</u>	25
4.6.2 <u>Fabrication des chemises des cylindres</u>	28
5. MATERIAUX ET FACTEURS DE PRODUCTION	30
5.1 PREMIER CAS	30
5.2 DEUXIEME CAS	32
6. <u>MAIN D'OEUVRE</u>	35
7. <u>PROGRAMME D'IMPLEMENTATION</u>	36
8. <u>EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE</u>	37
8.1 EVALUATION FINANCIERE	37

RNCFM - PREMIER CAS - AUGMENTATION DE LA PRODUCTION ANALYSE FINANCIERE - PIECES FOURNIES PAR COMFAR	41
RNCFM - DEUXIEME CAS - PRODUCTION CHEMISES DES CYLINDRES ANALYSE FINANCIERE - PIECES FOURNIES PAR COMFAR	42
0.2 EVALUATION ECONOMIQUE	43
RNCFM - PREMIER CAS - AUGMENTATION DE LA PRODUCTION - ANALYSE ECONOMIQUE - PIECES FOURNIES PAR COMFAR	44
RNCFM - DEUXIEME CAS - PRODUCTION CHEMISES DES CYLINDRES ANALYSE ECONOMIQUE - PIECES FOURNIES PAR COMFAR	45

1. AVANT PROPOS

La fonderie est une des différentes sections de l'atelier d'entretien du matériel roulant du réseau de chemin de fer de Madagascar.

96% de sa production couvre les besoins en pièces moulées des chemins de fer et seulement 4% de sa production est destinée à des tiers.

Les produits sont des pièces en fonte, en aluminium et en bronze, et, sauf les sabots des freins produits en série, il s'agit de pièces unitaires fabriquées sur demande pour remplacer les pièces cassées ou usées. L'installation est du type simple, avec faible productivité, mais suffisamment souple pour faire face à une demande hétérogène.

Toutes les activités sont du type manuel, car il n'existe pas de type de mécanisation. Même si la fonderie a été créée en 1910, les conditions générales des bâtiments et du matériel sont en bon état.

La situation actuelle est reportée aux chapitres A à J. Du chapitre 2 en avant les propositions pour la modernisation/réhabilitation sont offertes.

Au cas où la modernisation/réhabilitation ait lieu, la fonderie demeurera une section de l'atelier d'entretien.

A. GENERALITES

Nom : RESEAU NATIONAL DES CHEMINS DE FER
MALAGASY

Siège : Antananarivo

Année d'installation : 1910

**Capacité nominale
initiale** : pièces en fonte 4000 kg/coulage
pièces en bronze 200 kg/coulage
pièces en aluminium 200 kg/coulage
pièces en laiton

Production actuelle : pièces en fonte 105.000 kg/an
pièces en bronze 2000 kg/an
pièces en aluminium 200 kg/an
pièces en matériaux
antifricition 2600 kg/an

Modernisations : néant

Améliorations : installation d'une machine
pneumatique à mouler

B. EQUIPEMENT

La fonderie date de 1910, mais grâce à l'entretien régulier, le bâtiment et l'équipement sont en bon état, à l'exception d'un malaxeur qui est inutilisable.

L'équipement est constitué par :

- 1 cubilot de \varnothing 500 mm, hauteur 7 m environ, capacité théorique 1500 Kg/h;
- 2 fours à creuset chauffés par mazout pour la fusion de l'aluminium et du bronze;
- 2 machines à mouler du type pneumatique pour châssis 400 x 600 mm.
- 1 mélangeur à sable pour noyaux
- 1 four à noyaux (chauffage à bois)
- 2 meules pour ébarbage

Pas d'instruments de contrôle des températures, de la dureté, etc., ni de laboratoire pour effectuer des analyses chimiques sur les matières premières ou sur les pièces cassées, dont il est demandé le montage.

La manutention des châssis, des pièces, des poches est effectuée manuellement.

Certaines pièces qui ont besoin, après le coulage, d'être usinées, sont envoyées à l'atelier d'usinage équipé par les machines outils dont la liste est reportée dans le tableau ci-après.

ATELIER D'USINAGE

Type de machine	Nombre	Marque	Etat	Observations
1. Tour				
a. type petit	1	Cocagneve	Bon état	
	3	EMCALT SOMUA	Bon état	
	4	TCE	Avarié	
	1	Hardinge	Bon état	tour très petits modèles
b. type moyen	2	CHURCHILL REDMAN)	
	2	SOMUA	) Bon état	
	4	SHIPLEY-LODGE	)	modèle à banc rampe
	3	SHIPLEY-LODGE	)	modèle à banc continu
c. type Gros	1	AMERICAN	Bon état	
d. type Revolver	1	WARNER GARSEY	En bon état	
	1	EMCALT	En marche	
2. Fraiseuse	1	GAMBIN	Vétuste	à capacité
	3	CINCINNATI	2 en état de marche	une en bon état
	1	EMCALT SOMUA	Bon état	
	1	SOMUA	Avarié	
3. Mortaiseuse	1	LOBDELL	En bon état	
4. Etaul-lieur	3	GENCO	Bon état	modèle moyen
	3	G&P	Bon état	grand modèle
	1		Avarié	
5. Raboteuse	1	OHIO	En bon état	
6. Fileteuse	1	CUTTAT	En bon état	
7. Tordeuse	1	CUTTAT	En état de marche	
8. Perceuse	2	CINCINNATI	Bon état	1 grand modèle
	2	SYDERIE	Bon état	1 moyen
	2	JALLET	Avarié	
9. Aléseuse	1	WELLENBERGER	Bon état	vertical
	1	GERAGIE	Bon état	horizontal
	1	MILLON	Bon état	aléseuse de ligne
	1	BOFING	Bon état	universel
10. Glacuse	2	MILLON	1 bon état	
			1 avarié	
11. Rectifieuse				
1. Cylindrique	1	WELLENBERGER	Bon état	capacité 4,500 m
	1	GENKON	Bon état	capacité 2,000 m
2. Plane	1	CREUSET	Bon état	capacité 1,000 m
12. Glacuse	2	MILLON	1 bon état	
			1 avarié	
13. Tournet d'affûtage	7	?	2 bon état	
			4 avariés	Dont 3 susceptibles d'être réhabilités
14. Testeur de dureté	1	MALICET ET BLIN	Bon état	Appareil de billoge
15. Appareil pour équilibre dynamique	1	BIRING	Bon état	
16. Scie mécanique	1	FEERLESS	Mauvais état	
17. Appareil à centres	1	CENTRIX	Bon état	
18. Palan de 8 t	1	CENTRIX	Bon état	

C. SERVITUDES

Air comprimé :

La distribution de l'air comprimé (5 bar) est faite au moyen d'un réseau en tuyaux galvanisés, connectés au réseau principal du complexe.

Energie électrique :

La puissance installée est d'environ 25 kW à 380V. L'alimentation du système de distribution de la force et de l'éclairage est assurée par une ligne d'alimentation, connectée au système général du complexe.

Eau :

Le système de distribution est branché au réseau général du complexe. La consommation est négligeable.

D. BATIMENTS

Le bâtiment en charpente métallique, toiture en tôle galvanisée et bardage en briques d'argile, couvre une surface de 1280 m², ainsi repartis:

- magasin de stockage matières premières	40 m ²
- bureau	14 m ²
- parc de moulage semelles+machines à mouler	260 m ²
- stockage de châssis pour semelles + machines à mouler	125 m ²
- parc de moulage à main 50 m ²	
- four à noyaux, tonneau de sableur, meules, broyeur à sable	250 m ²
- cubilot	90 m ²
- parc pour stockage coke	120 m ²
- fours à creuset et réservoir gas-oil	20 m ²
- allées	321 m ²

E. PRODUITS

La production moyenne annuelle est répartie sur les produits suivants:

Nomenclature	Alliage	Poids kg	Prix de revient FMG/kg	Prix de vente FMG/kg
pièces de rechange	fonte	3.000	n.d.	966
	mécanique			
sabots et semelles des freins	fonte	101.620	n.d.	955
coussinets AP2	Pb 85% Sb 10% Sn 5%	637	3.615	n.d.
AE1	Sn 82% Sb 11% Sb 11% Cu 7%	2.100	36.050	n.d.
pièces diverses 14% Sn)	bronze(86% Cu+ 2.000	9.800	n.d.	
pièces d'art 14%Sn + 2%Pb)	Bronze(84%Cu+ n.d.	9.713	n.d.	
pièces diverses nation	Alu de récupé-	200	n.d.	n.d.

A l'occasion de la visite à la fonderie on a identifié les caractéristiques des pièces en les examinant directement, ou, à défaut, en examinant leurs modèles. On peut affirmer qu'il s'agit de pièces de géométrie simple, qui, en général, n'ont pas besoin de noyaux pour le moulage.

Les matières premières sont des métaux de récupération achetés sur le marché local ou récupérés à l'intérieur de la fonderie. L'antimoine, le plomb et l'étain sont importés.

La charge à fondre est constituée par un mélange dont la composition chimique n'est pas analysée.

Il n'existe pas d'instruments permettant une analyse avant le chargement des fours, ou en phase de fusion, ni d'instruments pour le contrôle de la température.

Les pièces moulées sont acceptées même si leurs caractéristiques chimiques sont différentes de celles requises. Seules les pièces présentant des défauts au contrôle visuel sont écartées.

La qualité est donc un des objectifs importants à atteindre et, par conséquent, toutes les mesures doivent être prises pour l'assurer.

F. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat FMG/kg	Stock kg
fonte	importation	520	-
fonte	fournisseurs locaux	161	16.145
antimoine	Logerail (France)	11.200	421
plomb doux	Logerail (France)	660	4.110
étain pur	Logerail (France)	48.500	-

6. CONSOHMABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat FMG/Kg	Stock
Sable de moulage	environs d'Antananarivo	40	n.d.
Sable à noyaux	environs d'Antananarivo	40	n.d.
Liant(huile de lin)	fournisseurs locaux	1000 l	200 l
Refractaires	importation de France	300	n.d.
Graphite	établissements Gallois	1000	n.d.
Ferro-alliages	importation	2000	

H. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Consommation annuelle
Coke	importation de France	600 FMG/KG	29.000 kg
Bois de chauffage	RNCFM	-	-
Gas-oil	Solima	325 FMG/l	-

I. CLIENTS

96 % de la production de la fonderie est destinée aux besoins propres du RNCFM.

Le restant (4%) est destiné aux clients mentionnés ci-dessous, qui s'adressent au RNCFM pour des pièces uniques ou pour de modestes quantités.

NOM	Activité	Produits	Matière
RNCFM	-	sabots et semelles plateau d'embrayage roues de transbordeurs poulie jets de fonte de # différents bagues corps carters douille d'étanchéité pales d'hélice bielles jets	) ) ) fonte)))))) bronze+alu)))
FIFABE	rizerie	plateau de Bule	bronze
SOMALAC	rizerie	roue de brouette	fonte
SINPA	rizerie	pièces diverses	fonte
PAPMAD	papeterie	pièces diverses	

J. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Chef d'équipe	2	cadre
Cubiloteur	2	OP
Mouleurs (à main)	5	OS
Mouleurs (machine)	6	OS
Noyauteur	1	OS
Préparateurs sable	2	OS
Manoeuvres	10	1B

Personnel indirect

Chef d'atelier	1	cadre
----------------	---	-------

Salaires

Le salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de Spécialisation

Toutes les personnes employées dans la fonderie ont reçu une formation sur le tas.

Personne a participé à des stages de formation à l'étranger et par conséquent la préparation peut être considérée bonne du point de vue pratique, mais faible du point de vue théorique.

Pour atteindre l'objectif de la qualité il est fortement souhaité élargir la base de la connaissance des technologies de fonderie à l'aide de courts stages de spécialisation à effectuer dans la fonderie même par un expert dans le domaine.

2. PROGRAMME DE PRODUCTION

La production actuelle des pièces en fonte est la suivante :

i - pièces de rechange	Kg 3.000/an
ii - semelles et sabots de freins	Kg 101.620/an

En plus des pièces produites actuellement, nous proposons la production des suivantes pièces en fonte importées. Parmi ces pièces on trouve celles dont la quantité minimum justifie l'allumage du cubilot. Les autres pièces de quantité modeste peuvent être produites par des autres fonderies, comme la Cotona, la Cimelta-Jeumont, la Sidema.

a. bouches à clé	Kg. 95.000/an
b. boulets à broyeur	Kg. 20.800/an
c. tambours des freins	Kg. 4.950/an
d. meules	Kg. 3.000/tous les 3 ans
e. plaques de piste de broyage	Kg. 1.680/tous les 2 ans
f. plaques d'usure	Kg. 920/an
g. poulies	Kg. 2.900/an
h. chemises des cylindres	Kg. 153.000/an

Le total des pièces à mouler serait de Kg 386.900, environ. Les pièces de "a" à "h" ont un poids unitaire qui permet leur fabrication sans difficultés, pour ce qui concerne la disponibilité de fonte liquide.

Au contraire, pour la production des chemises des cylindres, dont le poids unitaire varie de 3.000 à 5.000 Kg par pièce, il est nécessaire d'avoir des

installations permettant la disponibilité de fonte liquide de 5.000 à 8.000 Kg.

Cela est possible en utilisant le cubilot existant et en installant un four de maintien électrique à induction, d'une capacité de 8.000 Kg.

3. RECETTES

3.1 Le prix moyen de vente des pièces en fonte du RNCFM au courant de 1987 était de 966 FMG/kg.

Une première analyse des prix de revient, calculés sur la base du programme de production envisagé (chemises des cylindres exclues), indique une valeur moyenne de 720 FMG/kg environ.

Les pièces à produire ont des caractéristiques nettement différentes les unes avec les autres: des pièces sont simples et demandent des modèles simples; autres sont plus complexes et demandent une attention plus soignée.

Il faut ajouter que les pièces importées sont, généralement, des pièces finis et, donc, les prix payés ne peuvent pas être pris comme base de référence.

Les prix de vente, sur la base desquels les recettes sont calculées, sont des valeurs dérivées du marché malgache et des indications des prix italiens pour pièces brutes, non usinées.

Les valeurs sous indiquées tiennent en compte l'incidence du modèle.

A. Production actuelle

	kg/an		FMG	FMG
- pièces de rechange	3.000	x	3.000 =	9.000.000
- sabots et semelles	101.620		966 =	98.164.920

B. Production ajoutée, chemises des cylindres exclues

- bouches à clé	95.000	x	1.000 =	95.000.000
- boulets à broyeur	20.800	x	1.000 =	62.400.000
- tambours des freins	4.950	x	3.500 =	17.325.000
- meules	1.050	x	3.000 =	3.000.000
- plaques de piste de broyage	900	x	3.000 =	2.670.000
- plaques d'usure	920	x	3.000 =	2.760.000
- poulies	2.900	x	2.000 =	5.800.000

	TOTAL A+B			296.120.000

Il est prévu que la première année de production, après la modernisation le 70% des pièces soit moulé.
Le 100% sera atteint à partir de la deuxième année.

3.2 Les chemises des cylindres des moulins des sucreries sont importées de Maurice à 3.000 FMG/kg, frais de transport exclus. Cette valeur comprend l'emmanchement de la chemise sur le cylindre, et des opérations d'usinage simples, à l'exclusion du rainurage.
Une première évaluation du prix moyen de revient de la

pièce brute a été faite sur la base de la production maximum de 153.000 kg/an.

Le prix de vente proposé est de 1400 FMG/kg.

Les recettes seront, donc:

$$153.000 \times 1.400 = 214.200.000 \text{ FMG}$$

Le 100% de la production est prévu à partir de la première année.

4. PROPOSITION POUR LA MODERNISATION/REHABILITATION

Dans les paragraphes suivants on prendra en considération les interventions que nous recommandons pour la modernisation/réhabilitation permettant la production envisagée dans le paragraphe 2 et pour la fabrication des chemises des cylindres.

A cet effet, nous analyserons étape par étape, le cycle de fabrication.

Les esquisses A, B, C, D et E, joints en annexe, sont outils pour mieux comprendre le type de transformation proposée.

4.1 FABRICATION DE MODELES

Les modèles sont fabriqués dans la menuiserie du complexe.

En général, il n'y a pas de grandes remarques à faire sur les modèles, sauf les recommandations suivantes:

- L'exécution des raccordements de la superficie des modèles doit être plus soignée.
Il est suggéré d'utiliser des peintures qui permettraient une utilisation plus facile et moins coûteuse dans la préparation des noyaux.
- Au moment de l'exécution du plan d'un modèle il est nécessaire de définir la ligne de division des modèles, de façon à faciliter le travail du mouleur.

4.2 PREPARATION DES NOYAUX

Les noyaux sont préparés en utilisant des sables agglomérés à l'aide d'huile de lin et séchés ensuite dans une étuve chauffée à bois.

Les noyaux sont obtenus à l'aide de boîtes en bois remplies et pressées manuellement.

Les remarques sont les suivants:

- Les boîtes à noyaux devront avoir une granulométrie ronde pour permettre le maximum de perméabilité et l'absorption de modeste quantité de matière agglomérante.
- Les sables ne devront pas contenir des substances organiques et des carbonates de mica.
Les sables obtenus par le malaxage ne sont pas indiqués pour la raison qu'ils donnent lieu à des noyaux trop durs qui ne permettent pas un bon déchargement des gaz. Ils présentent également une forte résistance au nettoyage des parties intérieures des pièces.

- La bentonite ne devra pas être supérieure à 1% et cela pour éviter la friabilité des noyaux surtout dans les angles.

Une fois identifié le type de sable le plus adapté qui peut être approvisionné facilement, il est bien utiliser du sable neuf pour la fabrication des noyaux et utiliser le sable récupéré dans la formation des moules.

Du point de vue opérationnel, il serait souhaitable d'effectuer les opérations suivantes sur le sable :

- à l'intérieur de la fonderie un contrôle sur la granulométrie à l'aide d'un système de tamis
- à l'extérieur de la fonderie (auprès d'un laboratoire équipé) un contrôle pour vérifier l'existence du carbonate ou d'autres substances.

Du point de vue du cycle de travail il serait bon d'effectuer:

- une préparation du mélange en utilisant un mélangeur à pales
- un contrôle de la perméabilité
- un contrôle de la cohésion à vert (250 kg/cm^2).

Tout ce qu'on a dit jusqu'à présent est valable pour les noyaux fabriqués actuellement qui ont des dimensions modestes.

Pour le cycle de production des noyaux de grandes dimensions, il serait bon d'avoir à disposition un système de durcissement, utilisant le CO_2 .

En utilisant le même matériel (mélangé) on peut préparer un mélange de sable et agglomérant au silicate de sodium ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) dans la mesure de 5%, et éventuellement ajouter de la poudre de charbon dans la mesure de 0,25%; remplir la boîte à noyaux, souffler le CO_2 pour quelques secondes en utilisant de petits tubes. Ces noyaux qui sont nettement plus résistants des autres sont adaptés pour les moulages de grosses pièces comme les chemises des cylindres.

4.3 PREPARATION DES MOULES

La formation des moules est effectuée en utilisant du sable recyclé soumis au traitement de tamisage manuel et humidification et à l'aide de plaques modèles et de châssis en mauvais état.

Il est important de souligner que même pour les moules il est bon d'utiliser des sables dont la granulométrie permet une bonne cohésion, une bonne perméabilité et une dilatation à chaud.

Les besoins de la production ne demandent pas l'installation d'un système mécanisé, cependant il est souhaitable d'avoir à disposition:

- 1 tamis
- 1 déferrisateur magnétique
- 1 malaxeur d'une capacité de 350 l
- 1 système d'aspiration des poussières
- l'outillage nécessaire pour le dosage du bentonite, du noir minéral, du plastifiant et de l'eau.

En ce qui concerne le contrôle sur le sable il faut procéder comme pour les sables à noyaux, même si les valeurs de perméabilité et de cohésion sont légèrement différentes.

En effet, la préparation des moules est effectuée à main et les moules sont utilisés après quelques jours de leur préparation.

On aura, ainsi, des moules appelés secs ou demi-secs dont la composition finale correspondra aux valeurs suivantes (indicativement):

sable lavé	90 - 92%
liant	7 - 8 %
eau	4%

Après la préparation des moules, les modèles sont enlevés et le cas échéant, de petites réparations sont effectuées. Afin de renforcer le moule, des clous sont enfoncés dans le sable.

La partie superficielle du moule devrait être couverte par des peintures graphitiques (poteyage) et séchées à la flamme.

Ce type de traitement, valable surtout pour les pièces de grandes dimensions, permet d'obtenir un durcissement superficiel et une cohésion qui permettent une bonne résistance à la "poussée" du métal en phase de coulée.

4.4 FUSION ET COULEE

La capacité du cubilot est de 1500 Kg/heure ce qui permet, avec une bonne programmation, de satisfaire au mieux les besoins de production.

Il faut remarquer encore une fois qu'il n'est pas possible de procéder à une analyse chimique pour déterminer les caractéristiques de la charge et qu'il est également impossible de vérifier la température au moyen des instruments.

Une autre observation à formuler est la manutention de la poche et des châssis avant et après la coulée. En vue de l'amélioration de la qualité et de la production des pièces lourdes, il est recommandé de restructurer la fonderie de la façon suivante :

- Manutention

Aligner les moules sur deux voies à rouleaux pour maintenir propre la zone des coulées.

- Qualité

a) effectuer auprès d'un laboratoire extérieur les analyses chimiques permettant le tri des matières premières.

b) équiper la fonderie des instruments comme :

- le tectip, permettant d'analyser le contenu en carbone équivalent, le carbone total et, par différence le silicium.

- le témip pour le contrôle de la température dans la poche.

- le pyromètre portatif pour le contrôle de la température dans le cubilot.

- Moulage des chemises des cylindres

Equiper la fonderie d'un four électrique de maintien ayant une capacité de 8.000 Kg et une puissance de 450 KW pour permettre l'accumulation, le réchauffage, la correction de la composition chimique et l'enlèvement des laitiers.

4.5 FINITION DES PIECES

Actuellement la fonderie n'est pas équipée de moyens propres pour le nettoyage de pièces.

Il faut souligner que le nettoyage externe est très important et qu'il serait bon de l'effectuer à l'aide de grenailleuse et de blutoirs.

Pour la production actuelle il serait souhaitable d'installer les machines suivantes :

- 2 meules d'une largeur de 100 mm;
- 1 blutoir de dimensions moyennes, ou bien 1 grenailleuse à ruban.

Pour la production des chemises des cylindres, l'installation d'un système de nettoyage en utilisant du sable et de l'air comprimé, serait nécessaire.

4.6 ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS

Dans le chapitre précédent on a mentionné les mesures qu'il serait bon de prendre pour la modernisation/réhabilitation pour satisfaire le programme de production envisagé. L'estimation des investissements nécessaires est de 451.000.000 FMG environ pour la modernisation et de 470.000.000 FMG pour la production des chemises des cylindres. Les valeurs ci-dessus incluent la taxe d'importation (15%) et les droits de douane (10%).

4.6.1 Modernisation

Préparation des noyaux

DESIGNATION	FMG
1 mélangeur à pales capacité 35-50 l.	25.000.000
2 bancs de travail plus plans d'appui des noyaux	3.000.000
1 système de gazage CO2	2.000.000
Total	30.000.000

Formation des moules

DESIGNATION	FMG
1 tamis rotatif	5.000.000
1 déferrisateur magnétique	7.000.000
1 transporteur à ruban	3.000.000
1 malaxeur 350 l	120.000.000
1 système de dépoussiérage	15.000.000
Total	150.000.000

Contrôle des sables

DESIGNATION	FMG
1 série de tamis	15.000.000
1 marteau-pilon pour échantillons	5.000.000
1 sécheur rapide pour contrôle humidité	2.000.000
1 mesureur perméabilité	1.000.000
1 mesureur resistance	1.000.000

Total	24.000.000

Fusion et coulée

DESIGNATION	FMG
2 voies à rouleaux pour châssis nouveaux châssis et poches	20.000.000
	20.000.000

Total	40.000.000

Instruments de contrôle

DESIGNATION	FMG
1 tectip (Leeds and Northrup)	2.500.000
1 tectip " "	2.500.000
1 pyromètre	1.000.000
1 duromètre	1.000.000

	- 7.000.000

Finition des pièces

DESIGNATION	FMG
1 meule à 2 postes de travail	40.000.000
1 grenailleuse à rubans	120.000.000

	160.000.000

Engineering

20.000.000

Montage

20.000.000

4.6.2 Fabrication des chemises des cylindres

Formation des noyaux et des moules

DESIGNATION	FMG
1 outillage pour boîte à noyaux avec système de gazage CO2	5.000.000
1 série des châssis pour coulée en fosse	10.000.000
1 série des outils pour plaques modèles	5.000.000

Total	20.000.000

Coulée

DESIGNATION	FMG
1 four électrique d'accumulation et maintien (capacité 8.000 Kg) 450 Kg	300.000.000
1 pont roulant d'une capacité de 8.000 Kg	30.000.000
1 chariot de translation	5.000.000

	335.000.000

Finition

DESIGNATION	FMG
1 système de sablage et nettoyage à air comprimé	10.000.000
1 meule suspendue et support pièces	10.000.000

	20.000.000

Génie civil

Le génie civil comprend:

- la construction de la cabine de logement du tableau de contrôle du four de fusion, du système de réphasage et autres appareillages
- la construction de la fosse de coulé
- la construction de la charpente de soutien du pont roulant.

L'investissement estimé est de 45.000.000 FMG.

Engineering 30.000.000 FMG

Montage 20.000.000 FMG

5. MATERIAUX ET FACTEURS DE PRODUCTION

Deux cas seront analysés:

- . production des pièces actuellement moulées, plus les pièces actuellement importées, sauf les chemises des cylindres
- . production des chemises cylindres

5.1 PREMIER CAS

Tonnage des pièces = 230.000 kg

a. FONTE

Les besoins en fonte sont évalués de la façon suivante:

- . 20% fonte en gueuses, importée à 520 FMG/kg
- . 80% fonte de récupération à 160 FMG/kg
- . 4% des pertes

Le besoin total sera donc de 240.000 kg et le coût sera de:

$$\begin{array}{r} 240.000 \times 0,20 \times 520 = 24.960.000 \text{ FMG} \\ 240.000 \times 0,80 \times 160 = 30.720.000 \text{ FMG} \\ \text{-----} \\ 55.680.000 \text{ FMG} \end{array}$$

b. COKE

La consommation standard de coke dans le cubilot est le 10% de la fonte à fondre. Pour tenir compte des pertes le 12% sera considéré. On aura ainsi une consommation égale à:

$$240.000 \times 0,12 = 28.800 \text{ kg}$$

Le coke est importé à 500 FMG/kg, donc le coût sera:

$$28.800 \times 500 = \underline{14.400.000} \text{ FMG}$$

c. SABLE

Le sable est utilisé en raison de 10 kg pour 1 kg de fonte. Etant donné qu'après la coulée le sable est recyclé et que une intégration du 10% est nécessaire, le besoin sera de:

$$240.000 \times 10 \times 0,10 = 240.000 \text{ kg}$$

Le sable à Antananarivo est payé 40 FMG/kg, donc le coût sera:

$$240.000 \times 40 = \underline{9.600.000} \text{ FMG}$$

d. LIANTS

$$\text{Estimation} \quad \underline{5.000.000} \text{ FMG}$$

e. GRAPHITE

$$\text{Estimation} \quad \underline{2.000.000} \text{ FMG}$$

f. GAS-OIL

Estimation 5.000.000 FMG

g. ENERGIE ELECTRIQUE

La puissance actuellement installée est de 25 kW;
après la modernisation, la puissance installée sera
de 100 kW.

La consommation d'énergie électrique est estimée de
la façon suivante:

$$100 \times 0,2 \times 700 \times 75 = \underline{1.050.000} \text{ FMG}$$

où:

0,2 = coefficient d'utilisation

700 = heures effectives de travail

75 = coût du kWh

5.2 DEUXIEME CAS

Tonnage des pièces 153.000 kg/an

a. FONTE

Les besoins en fonte sont évalués de la façon
suivante:

80% fonte phosphoreuse en gueuse importée à 550
FMG/kg

20% fonte phosphoreuse de récupération à 160 FMG/kg

4% des pertes

Le besoin total sera donc de 160.000 kg environ et le coût sera:

$$160.000 \times 0,8550 = \underline{70.400.000} \text{ FMG}$$

$$160.000 \times 0,2 \times 160 = \underline{5.120.000} \text{ FMG}$$

b. COKE

La consommation standard de coke dans le cubilot est le 10% de la fonte à fondre. Pour tenir compte des pertes, le 12% sera considéré. On aura, ainsi, une consommation égale à:

$$160.000 \times 0,12 = 19.200 \text{ kg}$$

Le coke est importé à 600 FMG/kg, donc le coût sera:

$$19.200 \times 600 = \underline{11.520.000} \text{ FMG}$$

c. SABLE

Le sable est utilisé en raison de 10 kg pour 1 kg de fonte. Etant donné qu'après la coulée le sable est recyclé et que une intégration du 10% est nécessaire, le besoin sera:

$$160.000 \times 10 \times 0,10 = 160.000 \text{ kg}$$

Le sable à Antananarivo est payé 40 FMG/kg donc le coût sera:

$$160.000 \times 40 = \underline{6.400.000} \text{ FMG}$$

d. LIANTS

Estimation 3.000.000 FMG

e. GRAPHITE

Estimation 2.000.000 FMG

f. GAS-OIL

Estimation 3.000.000 FMG

g. ENERGIE ELECTRIQUE

Il faut considérer la puissance installée de la fonderie après la modernisation, c'est à dire 100 kW, plus la puissance du four de maintien, égale à 450 kW.

La consommation d'énergie électrique sera:

$$100 \times 0,2 \times 700 \times 75 = \underline{1.050.000} \text{ FMG (cf. 4.1)}$$

La consommation du four de maintien sera:

$$450 \times 0,5 \times 300 \times 75 = \underline{5.062.500} \text{ FMG}$$

où:

0,5 et 0,2 = coefficient d'utilisation

300 et 700 = heures effectives de travail

75 = coût du kWh

et par conséquent le coût total sera 6.200.000 FMG (arrondi).

h. PIECES DE RECHANGE/ENTRETIEN

Estimation 4.000.000 FMG

6. MAIN D'OEUVRE

L'augmentation de la production comporte une augmentation du nombre des personnes actuellement employées dans la fonderie. On aura un totale de 37 personnes ainsi réparties:

Personnel indirecte

		FMG x 1.000.000	
	n.	salaires unitaires	salaires totaux
chef d'atelier (cadre)	1	1.6	1.6
	-----		-----
	1		1.6

Personnel directe

chef d'équipe (cadre)	2	1.3	2.6
cubiloteur (OP)	2	0.7	1.4
mouleur (à main) (OS)	10	0.5	5.0
mouleur (machine) (OS)	6	0.5	3.0
noyauteur (OS)	3	0.5	1.5
préparateur sable (OS)	3	0.5	1.5
manoeuvre (1B)	10	0.4	4.0
	-----		-----
	36		19.0

L'augmentation est de 7 unités.

7. PROGRAMME D'IMPLEMENTATION

DENOMINATION	MOIS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. DEVERSE DE FRET													
2. PREPARATION DES CHANTIERS DE CHANTIER													
3. RELEVÉS DES TRACES													
4. SOUS FOURNISSEURS CONTRACTÉS													
5. BONS DE PAIEMENT													
6. ASSURANCE EQUIPEMENT													
7. BONS DE PAIEMENT EQUIPEMENT													
8. BONS DE PAIEMENT EQUIPEMENT													
9. FOURNITURE SERVICES													
10. INSTALLATION SERVICES													
11. EQUIPE EQUIPEMENT													
12. TRANSPORT EQUIPEMENT													
13. INSTALLATION EQUIPEMENT													
14. DEVERSE													

8. EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE

8.1 EVALUATION FINANCIERE

L'évaluation financière de base est faite séparément pour les deux cas à l'aide du COMFAR, avec les hypothèses suivantes:

- A. Tous les coûts ont été calculés en tenant compte des conditions réelles à Madagascar;
- B. Le délai de réalisation du projet est de 12 mois;
- C. Le 40% d'impôt sur les bénéfices a été considéré;
- D. Le matériel d'importation a été considéré sujet au droits de douane et à la taxe d'importation (tot. 25%)
- E. L'achat du matériel d'importation est prévu de la façon suivante:
 - 15% de la valeur: cash
 - 85% de la valeur au moyen d'un emprunt en devises à un taux de 9.5 % pour une période de 5 ans plus 2 ans de grâce;
- F. L'achat du matériel d'origine locale est prévu au moyen de fonds propres qui seront considérés comme capital social:

G. Taux de dépréciation

	Ans	Taux
. Frais de premier établissement	5	20
. Equipement	15	6,67
. Génie civil	25	4

Les bâtiments et l'équipement existants sont considérés déjà amortis.

H. Fond de roulement:

. compte débiteurs	: 30 jours	
. stock matériaux	: 180 jours en devises - 30	
	jours en monnaie locale	
. fuel	: 30 jours	
. pièces de rechange	: 360 jours	
. travaux en cours	: 15 jours	
. produits finis	: 15 jours	
. encaisses	: 15 jours	
. dettes à court terme:	30 jours	

I. Investissements fixes

1. Premier cas: modernisation pour l'augmentation de la production (cf. 4.6.1)

FMG x 1000

DENOMINATION	DEVISES	MONNAIE LOCALE
1 mélangeur à pales	20.000	5.000 (T.I. + D.D.)
2 bancs de travail		3.000
1 système de gazage CO2		2.000
1 tamis rotatif	4.000	1.000 (T.I. + D.D.)
1 déferrisateur magnétique	5.600	1.400 (T.I. + D.D.)
1 transporteur à ruban		3.000
1 malaxeur 350 l	96.000	24.000 (T.I. + D.D.)
1 système de dépoussiérage	12.000	3.000 (T.I. + D.D.)
1 série de tamis	12.000	3.000 (T.I. + D.D.)
1 marteau-pilon pour échantillon	4.000	1.000 (T.I. + D.D.)
1 sécheur rapide pour contrôle humidité	1.600	400 (T.I. + D.D.)
1 mesureur perméabilité	800	200 (T.I. + D.D.)
1 mesureur-résistance	800	800
2 voies à rouleaux pour maules et chassis		20.000
série de nouveaux chassis et poches		20.000
1 tectip	2.000	500 (T.I. + D.D.)
1 tentip	2.000	500 (T.I. + D.D.)
1 pyromètre	800	200 (T.I. + D.D.)
1 duromètre	800	200 (T.I. + D.D.)
1 meule à 2 postes de travail	32.000	8.000 (T.I. + D.D.)
1 grenailleuse à ruban	96.000	24.000 (T.I. + D.D.)
PREMIER TOTAL	290.400	120.600
engineering		20.000
montage		20.000
TOTAL GENERAL	290.400	160.600

2. Deuxième cas: fabrication des chemises des cylindres (cf. 4.6.2)

FMG x 1000

DENOMINATION	DEVISES	MONNAIE LOCALE
génie civil		45.000
1 outillage pour boites à noyaux avec système de gazage CO2		5.000
1 série de chasis pour coulée en fosse		10.000
1 série de outils pour plaques modèles		5.000
1 four électrique d'accumulation et maintien 8000 kg-450 kW	240.000	60.000 (T.I. + D.O.)
1 pont roulant - capacité 8 tonnes	24.000	6.000 (T.I. + D.O.)
1 chariot de translation		5.000
1 système de sablage et nettoyage à air comprimée		10.000
1 meule suspendue	8.000	2.000 (T.I. + D.O.)
PREMIER TOTAL	272.000	148.000
engineering		30.000
montage		20.000
TOTAL GENERAL	272.000	198.000

J. Le taux d'actualisation est = 10%

K. Les taux de change considérés sont:

1 FF = 240 FMG

1 LIT. = 1 FMG

L. Le seuil de rentabilité : pour les deux cas

M. Test de sensibilité en fonction de la variation :

- du coût de l'investissement
- des coûts de production
- des prix de vente

Les pièces fournies pour COMFAR sont jointes ci-après.

RNCFM

PREMIER CAS

AUGMENTATION DE LA PRODUCTION

ANALYSE FINANCIERE

PIECES FOURNIES PAR COMFAR



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALOO & CO. S.R.L., MILANO

REHABILITATION DES Fonderies MALBACHES
DECEMBRE 1988
Fonderie RNCFM - AUGMENTATION PRODUCTION

1 années de construction, 15 années de production
taux de conversion:

monnaie étranger 1 = 1.000 monnaie comptable
monnaie local 1 = 1.000 monnaie comptable
monnaie comptable: 1000FMS

Investissement initial total en cours de construction

actifs fixes:	462708.80	65.291 % étranger
actif courant:	0.00	0.000 % étranger
actif total:	462708.80	65.291 % étranger

Source de financement en cours de construction

Actions, subv. :	204500.00	0.000 % étranger
prêts(étranger):	246500.00	
prêts(national):	0.00	
prêts (total):	451000.00	54.656 % étranger

Cashflow, production

Année:	1	5	10
coûts, fabrication:	89220.70	119210.00	119210.00
amortissement :	32747.70	32747.70	28747.70
intérêts :	23417.50	9367.00	0.00
coûts, production :	145385.90	161324.70	147957.70
% étrangère	49.79 %	44.00 %	41.64 %
ventes :	207284.00	296120.00	296120.00
bénéfice brut :	61898.09	134795.30	148162.30
bénéfice net :	37138.86	80877.17	88877.38
solde de trésorerie :	50321.86	64324.88	117645.10
cashflow net :	73739.36	122991.90	117645.10

valeur actualisée nette : 10.00 % = 433857.30
taux de rentabilité sur l'investissement total: 23.90 %
rentabilité sur le capital (bénéfice net) : 33.24 %
capital : flux net de trésorerie : 31.99 %

Pièces fournies per COMFAR

Investissement initial total	Cashflow
Investissement en cours de production	Bilan prévisionnel
Coûts totaux de production	Etat de recettes nettes
Fonds de roulement nécessaire	Source de financement



Investissement initial total en 1000FRF

Année	1990
Coût des investissements fixes	
Terrain, préparation et aménagement	0.00
Batiments et travaux de génie civil	0.00
Installations auxiliaires, services	0.00
Immobilisations incorporés	20000.00
Installations, machines, équipement	411000.00
Coût total des investissements fixes	431000.00
Dépenses de premier établissement .	31708.75
Fonds de roulement	0.00
Total des coûts d'investissement . .	462708.80
Dont en devises, %	65.29



Investissement en cours de production en 1000F16

Année	1991	1992
Coût des investissements fixes		
.Terrain, préparation et aménagement ..	0.00	0.00
.Bâtimens et travaux de génie civil ..	0.00	0.00
.Installations auxiliaires et services ..	0.00	0.00
.Immobilisations incorporés	0.00	0.00
.Installations, machines et équipement ..	0.00	0.00
Coût total des investissements fixes ..	0.00	0.00
Dépenses de premier établissement	0.00	0.00
Fonds de roulement	19564.71	7557.48
Total des coûts d'investissement courants	19564.71	7557.48
Dont en devises, %	57.92	63.95

11 (2)



COMFAR[©]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Investissement en cours de production en 1000F16

Année	1991	1992
Coût des investissements fixes		
.Terrain, préparation et aménagement ..	0.00	0.00
.Bâtiements et travaux de génie civil ..	0.00	0.00
.Installations auxiliaires et services ..	0.00	0.00
.Amortissements incorporés	0.00	0.00
.Installations, machines et équipement ..	0.00	0.00
Coût total des investissements fixes ..	0.00	0.00
Dépenses de premier établissement	0.00	0.00
Fonds de roulement	19564.71	7557.40
Total des coûts d'investissement courants	19564.71	7557.40
Dont en devises, %	57.92	63.95

Coûts totaux de production en 1000FAG

Année	1991	1992	1993	1994	1995
% de capacité nominal (un seul produit).	70.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Matières premières 1	39004.00	55680.00	55680.00	55680.00	55680.00
Autres matières premières	11620.00	16600.00	16600.00	16600.00	16600.00
Services	3500.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Énergie	12096.70	18330.00	18330.00	18330.00	18330.00
Main-d'œuvre directe	19000.00	19000.00	19000.00	19000.00	19000.00
Entretien et réparations	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pièces détachées	2400.00	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00
Frais généraux de fabrication	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coûts de fabrication	87620.70	117610.00	117610.00	117610.00	117610.00
Frais généraux d'administration	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Frais indirects, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Frais directs, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amortissement	32747.70	32747.70	32747.70	32747.70	32747.70
Frais financiers	23417.50	23417.50	18734.00	14050.50	9367.00
Total des coûts de production	145385.90	175375.20	170691.70	166008.20	161324.70
Coût unitaire (un seul produit)	0.70	0.59	0.58	0.56	0.54
dont en devises, %	49.79	48.48	47.67	45.58	44.00
dont en pourcentage variable	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Main-d'œuvre totale	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00



COMFAR[©]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Fonds de roulement nécessaire en 1000F16

Année		1991	1992	1993-2005
Couverture	najc cca			
Actif circulant				
Comptes débiteurs	30 12.0	7435.06	9934.17	9934.17
Stock et matériel	78 4.6	11802.00	16840.00	16840.00
Energie	2 203.9	33.63	91.75	91.75
Pièces de rechange	360 1.0	2400.00	3000.00	3000.00
Travaux en cours	10 36.0	2499.91	3257.75	3257.75
Produits finis	1 360.0	247.84	331.14	331.14
Encaisse	1 360.0	63.89	65.56	65.56
Actif circulant total		24482.32	33520.36	33520.36
Dettes à court terme	20 18.4	4917.60	6398.17	6398.17
Fonds de roulement net		19564.71	27122.19	27122.19
Accroissement, fonds roulement		19564.71	7557.48	0.00
Fonds de roulement net, monnaie locale.		8232.57	10956.86	10956.86
Fonds de roulement net, devises		11332.14	16165.33	16165.33

Note: najc = nombre minimal de jours de couverture;



Source de financement, construction en 1000F16

Année	1990
Actions ordinaires	204500.00
Actions privilégiées	0.00
Subventions, dons	0.00
Prêt A, devises	246500.00
Prêt B, devises	0.00
Prêt C, devises	0.00
Prêt A, monnaie locale	0.00
Prêt B, monnaie locale	0.00
Prêt C, monnaie locale	0.00
Total des prêts	246500.00
Dettes à court terme	0.00
Découvert bancaire	11708.75
Total des fonds disponibles	462708.80



COMFAR[®]
21 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Source de financement, production en 1000R16

Année	1991	1992	1993-96
Actions ordinaires	0.00	0.00	0.00
Actions privilégiées	0.00	0.00	0.00
Subventions, dons	0.00	0.00	0.00
Pret A, devises	0.00	-49300.00	-49300.00
Pret B, devises	0.00	0.00	0.00
Pret C, devises	0.00	0.00	0.00
Pret A, monnaie locale	0.00	0.00	0.00
Pret B, monnaie locale	0.00	0.00	0.00
Pret C, monnaie locale	0.00	0.00	0.00
Total des prets	0.00	-49300.00	-49300.00
Dettes à court terme	4917.60	1480.56	0.00
Découvert bancaire	-11708.75	0.00	0.00
Total des fonds disponibles	-6791.15	-47819.44	-49300.00

REHABILITATION DES FONDERIES MALGACHES — DECEMBRE 1988


Cashflow, construction en 1000F6

Année	1990
Total des entrées de trésorerie.	451000.00
. Ressources financières	451000.00
. Ventes, nettes de taxe	0.00
Total sorties de trésorerie . .	462708.80
. Total des actifs	451000.00
. Coûts d'exploitation	0.00
. Frais financiers	11708.75
. Remboursements	0.00
. Impôt sur les sociétés	0.00
. Dividendes versés	0.00
Excédent (déficit)	-11708.75
Solde de trésorerie cumulé . . .	-11708.75
Entrées, monnaie locale	204500.00
Sorties, monnaie locale	160600.00
Excédent (déficit)	43900.00
Entrées, devises	246500.00
Sorties, devises	302108.80
Excédent (déficit)	-55608.75
Flux de trésorerie nette	-451000.00
Flux de trésorerie cumulé . . .	-451000.00



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000FMS

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Total des entrées de trésorerie.	212201.60	297600.60	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
. Ressources financières	4917.60	1480.56	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventes, nettes de taxe	207284.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
Total sorties de trésorerie . .	161879.70	249263.50	237415.30	234605.20	231795.10	230585.00
. Total des actifs	24482.32	9038.04	0.00	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	89220.69	119210.00	119210.00	119210.00	119210.00	119210.00
. Frais financiers	23417.50	23417.50	18734.00	14050.50	9367.00	4683.50
. Remboursements	0.00	49300.00	49300.00	49300.00	49300.00	49300.00
. Impôt sur les sociétés	24759.24	48297.92	50171.32	52044.72	53918.12	57391.52
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	50321.88	48337.11	58704.69	61514.78	67324.88	65534.98
Solde de trésorerie cumulé . . .	38613.13	86950.23	145654.90	207169.70	271494.67	337029.60
Entrées, monnaie locale	212119.40	297565.40	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
Sorties, monnaie locale	97451.89	129437.70	127141.30	129014.70	130888.10	134361.50
Excédent (déficit)	114667.50	168127.90	168978.70	167105.30	165231.90	161758.50
Entrées, devises	82.21	35.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	64427.86	119825.80	110274.00	105590.50	100907.00	96223.50
Excédent (déficit)	-64345.64	-119790.70	-110274.00	-105590.50	-100907.00	-96223.50
Flux de trésorerie nette	73739.37	121054.60	126738.70	124865.30	122791.90	119518.50
Flux de trésorerie cumulé . . .	-377260.60	-256206.00	-129467.30	-4602.04	118389.80	237908.30



COMFAR[©]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000R6

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Total des entrées de trésorerie.	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventas, nettes de taxe	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
Total sorties de trésorerie	178474.90	178474.90	178474.90	178474.90	178474.90	178474.90
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Courts d'exploitation	119210.00	119210.00	119210.00	119210.00	119210.00	119210.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Impot sur les sociétés	59264.92	59264.92	59264.92	59264.92	59264.92	59264.92
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10
Solde de trésorerie cumulé	454674.60	572319.70	689964.80	807609.80	925254.90	1042900.00
Entrées, monnaie locale	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
Sorties, monnaie locale	136234.90	136234.90	136234.90	136234.90	136234.90	136234.90
Excédent (déficit)	159885.10	159885.10	159885.10	159885.10	159885.10	159885.10
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00
Excédent (déficit)	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00
Flux de trésorerie nette	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10	117645.10
Flux de trésorerie cumulé	355553.40	473198.40	590843.50	708488.60	826133.60	943778.70

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000FMS

Année	2003	2004	2005
Total des entrées de trésorerie.	296120.00	296120.00	296120.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00
. Venues, nettes de taxe	296120.00	296120.00	296120.00
Total sorties de trésorerie . .	178474.90	184302.10	189974.00
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	119210.00	119210.00	119210.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00
. Impôt sur les sociétés	59264.92	65092.07	70764.00
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	117645.10	111817.90	106146.00
Solde de trésorerie cumulé . . .	1160545.00	1272363.00	1378509.00
Entrées, monnaie locale	296120.00	296120.00	296120.00
Sorties, monnaie locale	136234.90	142062.10	147734.00
Excédent (déficit)	159885.10	154057.90	148386.00
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	42240.00	42240.00	42240.00
Excédent (déficit)	-42240.00	-42240.00	-42240.00
Flux de trésorerie nette	117645.10	111817.90	106146.00
Flux de trésorerie cumulé	1061424.00	1173242.00	1279388.00

REHABILITATION DES FONDERIES MALGACHES — DECEMBRE 1996



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Actualisation des flux financiers

a) Rentabilité sur le capital (bénéfice net)		
Valeur actualisée nette à	393231.00 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	33.24 %	
b) Capital : Flux net de trésorerie (hors autofinancement)		
Valeur actualisée nette à	437687.60 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	31.99 %	
c) Taux de rentabilité sur l'investissement total:		
Valeur actualisée nette à	433857.30 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	23.90 %	

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1980



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000FG

Année	1991	1992	1993	1994	1995
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	207284.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	207284.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	121968.40	151957.70	151957.70	151957.70	151957.70
Marge d'exploitation	85315.59	144162.30	144162.30	144162.30	144162.30
En % des ventes totales	41.16	48.68	48.68	48.68	48.68
Frais financiers	23417.50	23417.50	18734.00	14050.50	9367.00
Bénéfice brut	61898.09	120744.80	125428.30	130111.80	134795.30
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	61898.09	120744.80	125428.30	130111.80	134795.30
Impôts	24759.24	48297.92	50171.32	52044.72	53918.12
Bénéfice net	37138.86	72446.88	75256.98	78067.08	80877.17
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	37138.86	72446.88	75256.98	78067.08	80877.17
Bénéfices non distribués cumulés	37138.86	109585.70	184842.70	262909.80	343787.00
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	29.86	40.78	42.36	43.94	45.52
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	17.92	24.47	25.41	26.36	27.31
Bénéfice net: capital social (%) . . .	18.16	35.43	36.80	38.17	39.55
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	12.87	20.05	19.66	19.27	18.87

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1986



COMFAR[©]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000FMG

Année	1996	1997	1998	1999	2000
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	147957.70	147957.70	147957.70	147957.70	147957.70
Marge d'exploitation	148162.30	148162.30	148162.30	148162.30	148162.30
En % des ventes totales	50.03	50.03	50.03	50.03	50.03
Frais financiers	4683.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	143478.80	148162.30	148162.30	148162.30	148162.30
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	143478.80	148162.30	148162.30	148162.30	148162.30
Impôts	57391.52	59264.92	59264.92	59264.92	59264.92
Bénéfice net	86087.28	88897.38	88897.38	88897.38	88897.38
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	86087.28	88897.38	88897.38	88897.38	88897.38
Bénéfices non distribués cumulés	429874.30	518771.70	607669.00	696566.40	785463.80
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	48.45	50.03	50.03	50.03	50.03
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	29.07	30.02	30.02	30.02	30.02
Bénéfice net: capital social (%) . . .	42.10	43.47	43.47	43.47	43.47
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	18.98	18.59	18.59	18.59	18.59



COMFAR[®]
2.1 UNIOO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000FMS

Année	2001	2002	2003	2004	2005
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00	296120.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	147957.70	147957.70	147957.70	133389.80	119210.80
Marge d'exploitation	148162.30	148162.30	148162.30	162730.20	176910.80
En % des ventes totales	50.03	50.03	50.03	54.95	59.74
Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	148162.30	148162.30	148162.30	162730.20	176910.80
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	148162.30	148162.30	148162.30	162730.20	176910.80
Impôts	59264.92	59264.92	59264.92	65092.07	70764.00
Bénéfice net	88897.38	88897.38	88897.38	97638.11	106146.00
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	88897.38	88897.38	88897.38	97638.11	106146.00
Bénéfices non distribués cumulés	874361.10	963258.50	1052156.00	1149794.00	1255940.00
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	50.03	50.03	50.03	54.95	59.74
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	30.02	30.02	30.02	32.97	35.85
Bénéfice net: capital social (%) . . .	43.47	43.47	43.47	47.74	51.91
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	18.59	18.59	18.59	20.42	22.20



Bilan prévisionnel, construction en 1000F16

Année	1990
Actif total	462708.80
Actifs fixes, nets d'amortissement.	0.00
Immobilisations en cours	462708.80
Actif circulant	0.00
Caissa, banque	0.00
Liquidités disponibles	0.00
Perte rapportée	0.00
Perte	0.00
Passif total	462708.80
Capital social	204500.00
Réserves, bénéfices non distribués.	0.00
Bénéfice	0.00
Dettes à long et moyen terme ...	246500.00
Dettes à court terme	0.00
Découvert bancaire	11708.75
Dette total	258208.80
Capital social en % du passif ...	44.20



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Projection du bilan, production en 1000F16

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Actif total	493056.50	517683.90	543640.90	572408.00	603985.20	640772.40
Actifs fixes, nets d'amortissement.	429961.10	397213.40	364465.70	331718.00	298970.30	270222.60
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	24418.43	33454.80	33454.80	33454.80	33454.80	33454.80
Caisse, banque	63.89	65.56	65.56	65.56	65.56	65.56
Liquidités disponibles	38613.09	86950.16	146654.90	207169.60	271494.50	337029.40
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	493056.50	517683.90	543640.90	572408.00	603985.20	640772.40
Capital social	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00
Réserves, bénéfiques non distribués.	0.00	37138.86	109585.70	184842.70	262909.80	343787.00
Bénéfice	37138.86	72446.88	75256.98	78067.08	80877.17	86087.28
Dettes à long et moyen terme	246500.00	197200.00	147900.00	98600.00	49300.00	0.00
Dettes à court terme	4917.60	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dette total	251417.60	203598.20	154298.20	104998.20	55698.17	6398.17
Capital social en % du passif	41.48	39.50	37.62	35.73	33.86	31.91

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Projection du bilan, production en 1000F16

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Actif total	729669.80	818567.20	907464.60	996361.90	1085259.00	1174157.00
Actifs fixes, nets d'amortissement.	241474.90	212727.20	183979.50	155231.80	128484.10	97736.41
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	33454.80	33454.80	33454.80	33454.80	33454.80	33454.80
Caisse, banque	65.56	65.56	65.56	65.56	65.56	65.56
Liquidités disponibles	454674.50	572319.60	689964.70	807609.80	925254.80	1042900.00
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	729669.80	818567.20	907464.60	996361.90	1085259.00	1174157.00
Capital social	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00	204500.00
Réserves, bénéfiques non distribués.	429874.30	518771.70	607669.00	696666.40	785463.80	874361.10
Bénéfice	88897.38	88897.38	88897.38	88897.38	88897.38	88897.38
Dettes à long et moyen terme	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dette total	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17	6398.17
Capital social en % du passif	28.03	24.98	22.54	20.52	18.84	17.42

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988



COMFAR[®]
2.1 UNIOO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

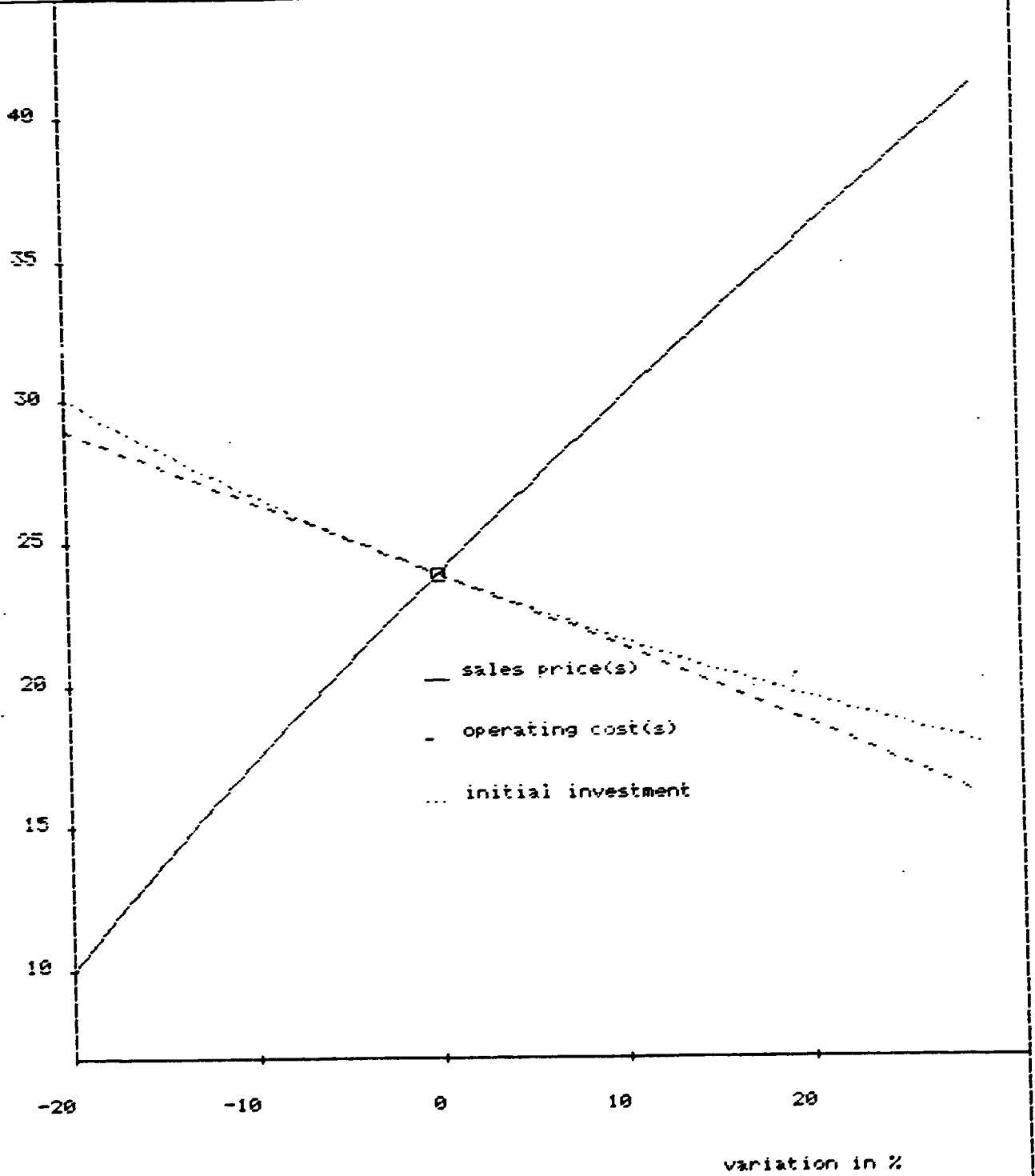
Projection du bilan, production en 1000FMS

Année	2003	2004	2005
Actif total	1263054.00	1360692.00	1466838.00
Actifs fixes, nets d'amortissement.	68968.70	94808.88	94808.88
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	33454.80	33454.80	33454.80
Caisse, banque	65.56	65.56	65.56
Liquidités disponibles	1160545.30	1272363.00	1378509.00
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00
Passif total	1263054.00	1360692.00	1466838.00
Capital social	204500.00	204500.00	204500.00
Réserves, bénéfices non distribués.	963258.50	1052156.00	1149794.00
Bénéfice	88897.38	97638.11	106146.00
Dettes à long et moyen terme	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	6398.17	6398.17	6398.17
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00
Dettes total	6398.17	6398.17	6398.17
Capital social en % du passif	16.19	15.03	13.94

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988

Sensitivity of IRR

internal rate of return



RNCFM

DEUXIEME CAS

PRODUCTION CHEMISES DES CYLINDRES

ANALYSE FINANCIERE

PIECES FOURNIES PAR COMFAR



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES
DECEMBRE 1968
Fonderie RINDY - PRODUCTION CHEVOISES CYL

1 années de construction, 15 années de production

taux de conversion:

monnaie étranger 1 = 1.0000 monnaie comptable

monnaie local 1 = 1.0000 monnaie comptable

monnaie comptable: 1000FMG

Investissement initial total en cours de construction

actifs fixes:	480972.50	58.833 % étranger
actif courant:	0.00	0.000 % étranger
actif total:	480972.50	58.833 % étranger

Source de financement en cours de construction

Actions, subv. :	239000.00	0.000 % étranger
prêts(étranger):	231000.00	
prêts(national):	0.00	
prêts (total):	470000.00	49.149 % étranger

Cashflow, production

Année:	1	5	10
coûts, fabrication:	127240.00	127240.00	127240.00
amortissement :	34146.50	34146.50	28146.98
intérêts :	21945.00	8778.00	0.00
coûts, production :	183331.50	170164.50	155386.50
% étrangère :	66.55 %	63.96 %	64.40 %
ventes :	214200.00	214200.00	214200.00
bénéfice brut :	30868.50	44035.50	58813.50
bénéfice net :	30868.50	44035.50	58813.50
solde de trésorerie :	13348.78	31982.00	86960.00
cashflow net :	35293.78	86960.00	86960.00

valeur actualisée nette : 10.00 % = 168212.90

taux de rentabilité sur l'investissement total: 15.20 %

rentabilité sur le capital (bénéfice net) : 17.03 %

capital : flux net de trésorerie : 17.23 %

Pièces fournies par COMFAR

Investissement initial total	Cashflow
Investissement en cours de production	Bilan prévisionnel
Coûts totaux de production	Etat de recettes nettes
Fonds de roulement nécessaire	Source de financement



COMFAR[®]
21 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Investissement initial total en 1000F16

Année	1990
Coût des investissements fixes	
Terrain, préparation et aménagement	0.00
Batiments et travaux de génie civil	45000.00
Installations auxiliaires, services	0.00
Immobilisations incorporés	20000.00
Installations, machines, équipement	375000.00
Coût total des investissements fixes	440000.00
Dépenses de premier établissement .	40972.50
Fonds de roulement	0.00
Total des coûts d'investissement . .	480972.50
Dont en devises, %	53.83

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988


Investissement en cours de production en 1000FIS

Année	1991
Cout des investissements fixes	
.Terrain, préparation et aménagement ..	0.00
.Batiments et travaux de génie civil ..	0.00
.Installations auxiliaires et services ..	0.00
.Immobilisations incorporés	0.00
.Installations, machines et équipement ..	0.00
Cout total des investissements fixes ..	0.00
Dépenses de premier établissement	0.00
Fonds de roulement	51666.22
Total des couts d'investissement courants	51666.22
Dont en devises,	81.85


COMFAR[®]
 2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Coûts totaux de production en 1000FRF

Année	1991-92	1993	1994	1995	1996
% de capacité nominal (un seul produit).	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Matières premières 1	75520.00	75520.00	75520.00	75520.00	75520.00
Autres matières premières	6400.00	6400.00	6400.00	6400.00	6400.00
Services	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00
Energie	17720.00	17720.00	17720.00	17720.00	17720.00
Main-d'œuvre directe	19000.00	19000.00	19000.00	19000.00	19000.00
Entretien et réparations	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pièces détachées	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00
Frais généraux de fabrication	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coûts de fabrication	125640.00	125640.00	125640.00	125640.00	125640.00
Frais généraux d'administration	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Frais indirects, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Frais directs, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amortissement	34146.50	34146.50	34146.50	34146.50	28146.50
Frais financiers	21945.00	17556.00	13167.00	8778.00	4389.00
Total des coûts de production	183331.50	178942.50	174553.50	170164.50	159775.50
Coût unitaire (un seul produit)	0.86	0.84	0.81	0.79	0.75
dont en devises, %	66.55	63.73	64.87	63.96	65.37
dont en pourcentage variable	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Main-d'œuvre totale	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Coûts totaux de production en 1000FRF

Année	1997-2003	2004	2005
% de capacité nominal (un seul produit).	100.00	100.00	100.00
Matières premières 1	75520.00	75520.00	75520.00
Autres matières premières	6400.00	6400.00	6400.00
Services	3000.00	3000.00	3000.00
Energie	17720.00	17720.00	17720.00
Main-d'œuvre directe	19000.00	19000.00	19000.00
Entretien et réparations	0.00	0.00	0.00
Pièces détachées	4000.00	4000.00	4000.00
Frais généraux de fabrication	0.00	0.00	0.00
Coûts de fabrication	125640.00	125640.00	125640.00
Frais généraux d'administration	1600.00	1600.00	1600.00
Frais indirects, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00
Frais directs, ventes et distribution	0.00	0.00	0.00
Amortissement	28146.50	14795.45	1800.00
Frais financiers	0.00	0.00	0.00
Total des coûts de production	155386.50	142035.40	129040.00
Coût unitaire (un seul produit)	0.73	0.66	0.60
dont en devises, %	64.40	63.98	63.48
dont en pourcentage variable	0.00	0.00	0.00
Main-d'œuvre totale	20600.00	20600.00	20600.00



COMFAR[®]
2.1 UNIO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Fonds de roulement nécessaire en 1000FtG

Année.....		1991	1992-2005	
Couverture	na jc	cca		
Actif circulant				
Comptes débiteurs	30	12.0	10603.33	10603.33
Stock et matériel	154	2.3	36410.90	36410.00
Energie	6	61.0	290.33	290.33
Pièces de rechange	360	1.0	4000.00	4000.00
Travaux en cours	6	61.3	2049.22	2049.22
Produits finis	6	60.1	2115.89	2115.89
Encaisse	1	360.0	68.33	68.33
Actif circulant total			55537.11	55537.11
Dettes à court terme				
	11	32.5	3870.99	3870.89
Fonds de roulement net			51666.22	51666.22
Accroissement, fonds roulement			51666.22	0.00
Fonds de roulement net, monnaie locale.			9380.00	9380.00
Fonds de roulement net, devises			42286.22	42286.22

Note: na jc = nombre annuel de jours de couverture;

REHABILITATION DES FONDERIES MALGACHES — DECEMBRE 1988



Source de financement, construction en 1000F6

Année	1990
Actions ordinaires.	239000.00
Actions privilégiées.	0.00
Subventions, dons	0.00
Pret A, devises	231000.00
Pret B, devises	0.00
Pret C, devises	0.00
Pret A, monnaie locale.	0.00
Pret B, monnaie locale.	0.00
Pret C, monnaie locale.	0.00
Total des prets	231000.00
Dettes à court terme	0.00
Découvert bancaire	10972.50
Total des fonds disponibles	480972.50


COMFAR[®]
 21 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Source de financement, production en 1000F6

Année	1991	1992-96
Actions ordinaires.	0.00	0.00
Actions privilégiées.	0.00	0.00
Subventions, dons	0.00	0.00
Pret A, devises	0.00	-46200.00
Pret B, devises	0.00	0.00
Pret C, devises	0.00	0.00
Pret A, monnaie locale.	0.00	0.00
Pret B, monnaie locale.	0.00	0.00
Pret C, monnaie locale.	0.00	0.00
Total des prêts	0.00	-46200.00
Dettes à court terme	3870.89	0.00
Découvert bancaire	-10972.50	0.00
Total des fonds disponibles	-7101.61	-46200.00

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1998



Cashflow, construction en 1000F16

Année	1990
Total des entrées de trésorerie.	470000.00
. Ressources financières	470000.00
. Ventes, nettes de taxe	0.00
Total sorties de trésorerie . .	480972.50
. Total des actifs	470000.00
. Coûts d'exploitation	0.00
. Frais financiers	10972.50
. Remboursements	0.00
. Impôt sur les sociétés	0.00
. Dividendes versés	0.00
Excédant (déficit)	-10972.50
Solde de trésorerie cumulé . . .	-10972.50
Entrées, monnaie locale	239000.00
Sorties, monnaie locale	198000.00
Excédant (déficit)	41000.00
Entrées, devises	231000.00
Sorties, devises	-282972.50
Excédant (déficit)	-51972.50
Flux de trésorerie nette	-470000.00
Flux de trésorerie cumulé. . . .	-470000.00



Cashflow, production en 1000F6

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Total des entrées de trésorerie.	218070.90	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	3870.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventas, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie	204722.10	195385.00	190996.00	186607.00	182218.00	177829.00
. Total des actifs	55537.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Courts d'exploitation	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00
. Frais financiers	21945.00	21945.00	17556.00	13167.00	8778.00	4389.00
. Remboursements	0.00	46200.00	46200.00	46200.00	46200.00	46200.00
. Impot sur les sociétés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	13348.78	18815.00	23204.00	27593.00	31982.00	36371.00
Salde de trésorerie cumulé	2376.28	21191.28	44395.28	71988.28	103970.30	140341.30
Entrées, monnaie locale	217843.30	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	58343.33	45320.00	45320.00	45320.00	45320.00	45320.00
Excédent (déficit)	159500.00	168880.00	168880.00	168880.00	168880.00	168880.00
Entrées, devises	227.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	146378.80	150065.00	146676.00	141287.00	136898.00	132509.00
Excédent (déficit)	-146151.20	-150065.00	-146676.00	-141287.00	-136898.00	-132509.00
Flux de trésorerie nette	35293.78	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00
Flux de trésorerie cumulé	-434706.20	-347746.20	-260786.20	-173826.20	-86866.22	93.78



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000F16

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Total des entrées de trésorerie.	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventas, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00	127240.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Impôt sur les sociétés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédant (déficit)	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00
Solde de trésorerie cumulé	227301.30	314261.30	401221.30	488181.30	575141.30	662101.30
Entrées, monnaie locale	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	45320.00	45320.00	45320.00	45320.00	45320.00	45320.00
Excédent (déficit)	168880.00	168880.00	168880.00	168880.00	168880.00	168880.00
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
Excédent (déficit)	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00
Flux de trésorerie nette	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00	86960.00
Flux de trésorerie cumulé	87053.78	174013.80	260973.80	347933.80	434893.80	521853.80

REHABILITATION DES FONDERIES MALGACHES — DECEMBRE 1988



COMFAR
21 UNIDO

COMFAR 21 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000F16

Année	2003	2004	2005
Total des entrées de trésorerie.	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00
. Ventes, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie . .	127240.00	127240.00	127240.00
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	127240.00	127240.00	127240.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00
. Impôt sur les sociétés	0.00	0.00	0.00
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	86960.00	86960.00	86960.00
Solde de trésorerie cumulé . . .	749061.30	836021.30	922981.30
Entrées, monnaie locale	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	45320.00	45320.00	45320.00
Excédent (déficit)	168880.00	168880.00	168880.00
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	81920.00	81920.00	81920.00
Excédent (déficit)	-81920.00	-81920.00	-81920.00
Flux de trésorerie nette	86960.00	86960.00	86960.00
Flux de trésorerie cumulé	608813.80	695773.80	782733.80

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1998



COMFAR[®]
2.1 UNIOO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Actualisation des flux financiers

a) Rentabilité sur le capital (bénéfice net)		
Valeur actualisée nette à	127220.60 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	17.03 %	
b) Capital : Flux net de trésorerie (hors autofinancement)		
Valeur actualisée nette à	171802.30 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	17.23 %	
c) Taux de rentabilité sur l'investissement total:		
Valeur actualisée nette à	168212.90 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	15.20 %	

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DÉCEMBRE 1988



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000Fmg

Année	1991	1992	1993	1994	1995
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	161386.50	161386.50	161386.50	161386.50	161386.50
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Marge d'exploitation	52813.50	52813.50	52813.50	52813.50	52813.50
En % des ventes totales	24.66	24.66	24.66	24.66	24.66
Frais financiers	21945.00	21945.00	17556.00	13167.00	8778.00
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bénéfice brut	30868.50	30868.50	35257.50	39646.50	44035.50
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	30868.50	30868.50	35257.50	39646.50	44035.50
Impôts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bénéfice net	30868.50	30868.50	35257.50	39646.50	44035.50
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	30868.50	30868.50	35257.50	39646.50	44035.50
Bénéfices non distribués cumulés	30868.50	61737.00	96994.50	136641.00	180676.50
Bénéfice brut: ventes totales (%)	14.41	14.41	16.46	18.51	20.56
Bénéfice net: ventes totales (%)	14.41	14.41	16.46	18.51	20.56
Bénéfice net: capital social (%)	12.92	12.92	14.75	16.59	18.42
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988



COMFAR[©]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000F6

Année	1996	1997	1998	1999	2000
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: coûts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Coûts fixes, y compris l'amortissement .	155386.50	155386.50	155386.50	155386.50	155386.50
Marge d'exploitation	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
En % des ventes totales	27.46	27.46	27.46	27.46	27.46
Frais financiers	4389.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	54424.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	54424.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
Impôts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice net	54424.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	54424.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
Bénéfices non distribués cumulés	235101.00	293914.50	352728.00	411541.50	470355.00
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	25.41	27.46	27.46	27.46	27.46
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	25.41	27.46	27.46	27.46	27.46
Bénéfice net: capital social (%) . . .	22.77	24.61	24.61	24.61	24.61
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000RFG

Année	2001	2002	2003	2004	2005
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	155386.50	155386.50	155386.50	142035.40	129040.00
Marge d'exploitation	58813.50	58813.50	58813.50	72164.56	85160.00
En % des ventes totales	27.46	27.46	27.46	33.69	39.76
Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	58813.50	58813.50	58813.50	72164.56	85160.00
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	58813.50	58813.50	58813.50	72164.56	85160.00
Impôts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice net	58813.50	58813.50	58813.50	72164.56	85160.00
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	58813.50	58813.50	58813.50	72164.56	85160.00
Bénéfices non distribués cumulés	527168.50	587982.00	646795.50	718950.10	804120.10
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	27.46	27.46	27.46	33.69	39.76
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	27.46	27.46	27.46	33.69	39.76
Bénéfice net: capital social (%) . . .	24.61	24.61	24.61	30.19	35.63
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	11.27	11.27	11.27	13.85	16.32

REHABILITATION DES Fonderies HALGACHES — DECEMBRE 1998



Bilan prévisionnel, construction en 100/FMG

Année	1990
Actif total	480972.50
Actifs fixes, nets d'amortissement	0.00
Immobilisations en cours	480972.50
Actif circulant	0.00
Caissa, banque	0.00
Liquidités disponibles	0.00
Perte rapportée	0.00
Perte	0.00
Passif total	480972.50
Capital social	239000.00
Réserves, bénéfices non distribués	0.00
Bénéfice	0.00
Dettes à long et moyen terme	231000.00
Dettes à court terme	0.00
Découvert bancaire	10972.50
Dettes total	241972.50
Capital social en % du passif	49.69



Projection du bilan, production en 1000FMG

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Actif total	504739.40	489407.90	478465.40	471911.90	469747.40	477971.90
Actifs fixes, nets d'amortissement.	446826.00	412679.50	378533.00	344386.50	310240.00	282093.50
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78
Caisse, banque	68.33	68.33	68.33	68.33	68.33	68.33
Liquidités disponibles	2376.25	21191.25	44395.25	71988.25	103970.30	140341.30
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	504739.40	489407.90	478465.40	471911.90	469747.40	477971.90
Capital social	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00
Réserves, bénéfices non distribués.	0.00	30868.50	61737.00	96994.50	136641.00	180676.50
Bénéfice	30868.50	30868.50	35257.50	39446.50	44035.50	54424.50
Dettes à long et moyen terme	231000.00	184800.00	138600.00	92400.00	46200.00	0.00
Dettes à court terme	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dette total	234870.90	188670.90	142470.90	96270.89	50070.89	3870.89
Capital social en % du passif	47.35	48.83	49.95	50.65	50.88	50.00

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1998

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Projection du bilan, production en 1000FMG

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Actif total	536785.40	595598.90	654412.40	713225.90	772039.40	830852.90
Actifs fixes, nets d'amortissement.	253947.00	225800.50	197654.00	169507.50	141361.00	113214.50
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78	59468.78
Caisse, banque	68.33	68.33	68.33	68.33	68.33	68.33
Liquidités disponibles	227301.30	314261.30	401221.30	488181.30	575141.30	662101.30
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	536785.40	595598.90	654412.40	713225.90	772039.40	830852.90
Capital social	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00	239000.00
Réserves, bénéfices non distribués.	235101.00	293914.50	352728.00	411541.50	470355.00	529168.50
Bénéfice	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50	58813.50
Dettes à long et moyen terme	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dette total	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89	3870.89
Capital social en % du passif	44.52	40.13	36.52	33.51	30.96	28.77

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1998



COMFAR²
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

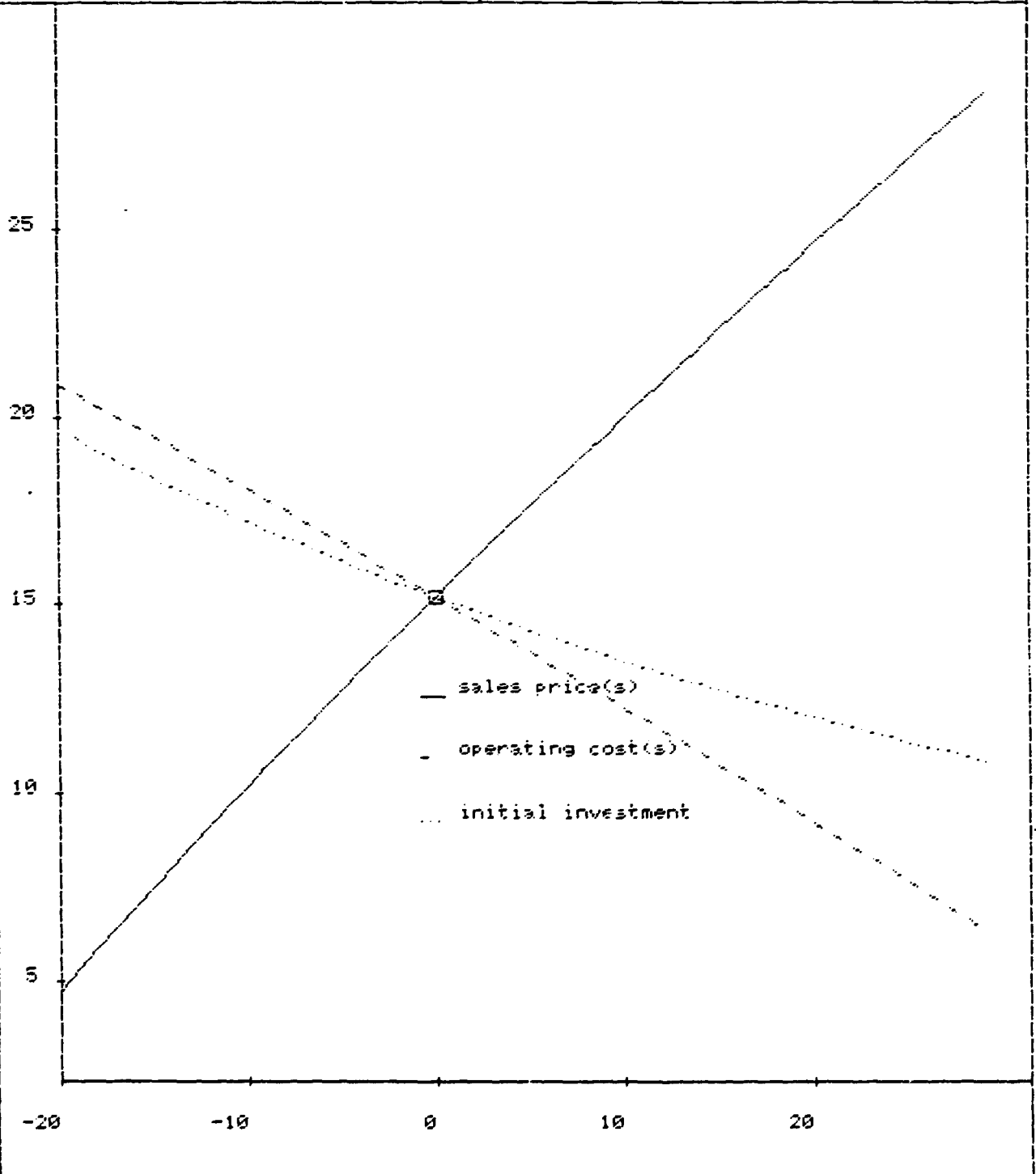
Projection du bilan, production en 1000F6

Année	2003	2004	2005
Actif total	889666.40	961830.90	1046991.00
Actifs fixes, nets d'amortissement.	85068.00	70272.55	68472.55
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	55468.78	55468.78	55468.78
Caisse, banque	68.33	68.33	68.33
Liquidités disponibles	749061.30	836021.30	922981.30
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00
Passif total	889666.40	961830.90	1046991.00
Capital social	239000.00	239000.00	239000.00
Réserves, bénéfices non distribués.	587982.00	646795.50	718960.10
Bénéfice	58813.50	72164.56	85160.00
Dettes à long et moyen terme ...	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	3870.89	3870.89	3870.89
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00
Dettes total	3870.89	3870.89	3870.89
Capital social en % du passif ...	26.86	24.85	22.83

REHABILITATION DES FONDERIES MALGACHES — DECEMBRE 1988

Sensitivity of IRR

internal rate of return



8.2 EVALUATION ECONOMIQUE

Comme pour l'évaluation financière, l'évaluation économique est faite à l'aide du COMFAR.

Le test d'efficacité absolue et l'épargne en devises ont été calculés.

Les pièces fournies par COMFAR sont incluses ci-après.

RNCFM

PREMIER CAS

AUGMENTATION DE LA PRODUCTION

ANALYSE ECONOMIQUE

PIECES FOURNIES PAR COMFAR



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000FG
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	grand total	total constr.	total produc.	.construction..		production		
				1990	1991	1992	1993	1994
value of output, O	8529926.00	0.00	8529926.00	0.00	406016.00	580022.00	580022.00	580022.00
material input, I+MI	1857061.00	462708.80	1394352.00	462708.80	85604.08	105147.30	98610.00	98610.00
investment, I	407900.00	462708.80	-54808.75	462708.80	16983.37	6537.27	0.00	0.00
operation, MI	1449161.00	0.00	1449161.00	0.00	68620.70	98610.00	98610.00	98610.00
net domestic VA	6672865.00	-462708.80	7135574.00	-462708.80	320411.90	474874.80	481412.00	481412.00
repatriated payments	351986.10	11708.75	340287.30	11708.75	23417.50	72717.50	68034.00	63350.50
net national VA	6320869.00	-474417.50	6795287.00	-474417.50	296994.40	402157.30	413378.00	418061.50
national wages	309000.00	0.00	309000.00	0.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00
social surplus	6011869.00	-474417.50	6486287.00	-474417.50	276394.40	381557.30	392778.00	397461.50
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	2810609.00							
PV, national wages	156685.20							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	2653924.00							

relative efficiency of: capital invested, E(C) : 6.02
foreign exchange, E(FE) : 0.77
skilled labour, E(L) : 17.94

RND/FE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000R6
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	1995	1996	1997	production 1998	1999	2000	2001	2002
value of output, O	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00
material input, I+MI	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00
investment, I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
operation, MI	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00	98610.00
net domestic VA	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00
repatriated payments	58667.00	53983.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
net national VA	422745.00	427428.50	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00	481412.00
national wages	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00
social surplus	402145.00	406828.50	460812.00	460812.00	460812.00	460812.00	460812.00	460812.00
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	2810609.00							
PV, national wages	156685.20							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	2653924.00							
relative efficiency of:								
capital invested, E(C) :			6.02					
foreign exchange, E(FE) :			0.77					
skilled labour, E(L) :			17.9%					

RND/PE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000F16
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	2003	production 2004	2005	2006
value of output, O	580022.00	580022.00	580022.00	3601.55
material input, I+MI	98610.00	98610.00	98610.00	-78329.39
investment, I	0.00	0.00	0.00	-78329.39
operation, MI	98610.00	98610.00	98610.00	0.00
net domestic VA	481412.00	481412.00	481412.00	81930.95
repatriated payments	0.00	0.00	0.00	117.33
net national VA	481412.00	481412.00	481412.00	81813.61
national wages	20600.00	20600.00	20600.00	0.00
social surplus	460812.00	460812.00	460812.00	81813.61
present values at 10.00 %				
PV, net national VA	2810609.00			
PV, national wages	156685.20			
PV, unskilled labour	0.00			
PV of social surplus	2653924.00			
relative efficiency of:				
capital invested, E(C) :			6.02	
foreign exchange, E(FE) :			0.77	
skilled labour, E(L) :			17.94	

RND/FE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000FtG
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	grand total	total constr.	total produc.	.construction.		production	
				1990	1991	1992	1993
total foreign inflow . .	246617.30	246500.00	117.33	246500.00	82.21	35.12	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	246617.30	246500.00	117.33	246500.00	82.21	35.12	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow .	1222603.00	302108.80	920494.60	302108.80	64427.85	119825.80	110274.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	249651.30	290400.00	-40748.75	290400.00	11414.35	4868.31	0.00
imported materials . . .	620956.00	0.00	620956.00	0.00	29596.00	42240.00	42240.00
repayment loans & overd.	246617.30	0.00	246617.30	0.00	0.00	49300.00	49300.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	105378.80	11708.75	93670.00	11708.75	23417.50	23417.50	18734.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchange flow	-975986.00	-55608.75	-920377.30	-55608.75	-64345.64	-119790.70	-110274.00
import substit'n effect	8526324.00	0.00	8526324.00	0.00	406016.00	580022.00	580022.00
net foreign exchange effect	7550338.00	-55608.75	7605947.00	-55608.75	341670.40	460231.30	469748.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow .	-609974.90						
net foreign exchange effect	3843530.00						

RNDP/E



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000FMS
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	1994	1995	1996	production 1997	1998	1999	2000
total foreign inflow . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow .	105590.50	100907.00	96223.50	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
imported materials . . .	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00
repayment loans & overd.	49300.00	49300.00	49300.00	0.00	0.00	0.00	0.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	14050.50	9367.00	4683.50	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchge flow	-105590.50	-100907.00	-96223.50	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00
import substit'n effect	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00
net foreign exchge effect	474431.50	479115.00	483798.50	537782.00	537782.00	537782.00	537782.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow .	-609974.90						
net foreign exchge effect	3643530.00						

RND/FE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000F16
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	2001	2002	production 2003	2004	2005	2006
total foreign inflow ..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants ...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft ...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects						
total foreign outflow .	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	-56914.08
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-57031.41
imports' materials ...	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	42240.00	0.00
repayment loans & overo.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.33
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages ...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs						
net foreign exchge flow	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00	-42240.00	56914.08
import substit'n effect	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	580022.00	0.00
net forgn exchge effect	537782.00	537782.00	537782.00	537762.00	537782.00	56914.08
present values at 10.00 %						
foreign exchange flow .	-609974.90					
net forgn exchge effect	3443530.00					

RNCFME

RNCFM

DEUXIEME CAS

PRODUCTION CHEMISES DES CYLINDRES

ANALYSE ECONOMIQUE

PIECES FOURNIES PAR COMFAR



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000MG
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	.construction..			production				
	grand total	total constr.	total produc.	1990	1991	1992	1993	1994
value of output, O	6891801.00	0.00	6891801.00	0.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
material input, I+MI	2012100.00	480972.50	1531128.00	480972.50	151505.40	106640.00	106640.00	106640.00
investment, I	412500.00	480972.50	-68472.50	480972.50	44865.44	0.00	0.00	0.00
operation, MI	1599600.00	0.00	1599600.00	0.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00
net domestic VA	4879701.00	-480972.50	5360673.00	-480972.50	307494.60	352360.00	352360.00	352360.00
repatriated payments	329980.10	10972.50	319007.60	10972.50	21945.00	68145.00	63756.00	59367.00
net national VA	4549721.00	-491945.00	5041666.00	-491945.00	285549.60	284215.00	288604.00	292993.00
national wages	309000.00	0.00	309000.00	0.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00
social surplus	4240721.00	-491945.00	4732666.00	-491945.00	264949.60	263615.00	268004.00	272393.00
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	1946031.00							
PV, national wages	156685.20							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	1789346.00							
relative efficiency of:								
capital invested, E(C) :					3.91			
foreign exchange, E(FE) :					0.76			
skilled labour, E(L) :					12.42			

RNFCE



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDU & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000F16
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	1995	1996	1997	production 1998	1999	2000	2001	2002
value of output, O	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
material input, I+MI	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00
investment, I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
operation, MI	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00	106640.00
net domestic VA	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00
repatriated payments	54978.00	50589.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
net national VA	297382.00	301771.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00	352360.00
national wages	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00	20600.00
social surplus	276782.00	281171.00	331760.00	331760.00	331760.00	331760.00	331760.00	331760.00
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	1946031.00							
PV, national wages	156685.20							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	1789346.00							
relative efficiency of:								
capital invested, E(C) :			3.91					
foreign exchange, E(FE) :			0.76					
skilled labour, E(L) :			12.42					

RNCFCE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000FIS
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	2003	production 2004	2005	2006
value of output, O	459000.00	459000.00	459000.00	6800.78
material input, I+MI	106640.00	106640.00	106640.00	-113337.90
investment, I	0.00	0.00	0.00	-113337.90
operation, MI	106640.00	106640.00	106640.00	0.00
net domestic VA	352360.00	352360.00	352360.00	120138.70
repatriated payments	0.00	0.00	0.00	227.56
net national VA	352360.00	352360.00	352360.00	119911.20
national wages	20600.00	20600.00	20600.00	0.00
social surplus	331760.00	331760.00	331760.00	119911.20
present values at 10.00 %				
PV, net national VA	1946031.00			
PV, national wages	156685.20			
PV, unskilled labour	0.00			
PV of social surplus	1789346.00			
relative efficiency of:				
capital invested, E(C) :			3.91	
foreign exchange, E(FE) :			0.76	
skilled labour, E(L) :			12.42	

RNFCE



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALOO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000RMB
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	grand total	total constr.	total produc.	.construction.		production	
				1990	1991	1992	1993
total foreign inflow . .	231227.60	231000.00	227.56	231000.00	227.56	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	231227.60	231000.00	227.56	231000.00	227.56	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow .	1792608.00	282972.50	1509635.00	282972.50	146378.80	150065.00	145676.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	233827.50	272000.00	-38172.50	272000.00	42513.78	0.00	0.00
imported materials . . .	1228800.00	0.00	1228800.00	0.00	81920.00	81920.00	81920.00
repayment loans & overd.	231227.60	0.00	231227.60	0.00	0.00	46200.00	46200.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	98752.50	10972.50	87780.00	10372.50	21945.00	21945.00	17556.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchge flow	-1561380.00	-51972.50	-1509408.00	-51972.50	-146151.20	-150065.00	-145676.00
import substit'n effect	6885000.00	0.00	6885000.00	0.00	459000.00	459000.00	459000.00
net forgn exchge effect	5323620.00	-51972.50	5375593.00	-51972.50	312848.80	308935.00	313324.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow .	-923404.90						
net forgn exchge effect	2567785.00						

RNFCE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALOO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000R6
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	1994	1995	1996	production 1997	1998	1999	2000
total foreign inflow . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow .	141287.00	136898.00	132509.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
imported materials . . .	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
repayment loans & overd.	46200.00	46200.00	46200.00	0.00	0.00	0.00	0.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	13167.00	8778.00	4389.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchge flow	-141287.00	-136898.00	-132509.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00
import substit'n effect	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
net forgn exchge effect	317713.00	322102.00	326491.00	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow .	-923404.90						
net forgn exchge effect	2567785.00						

RNFCE



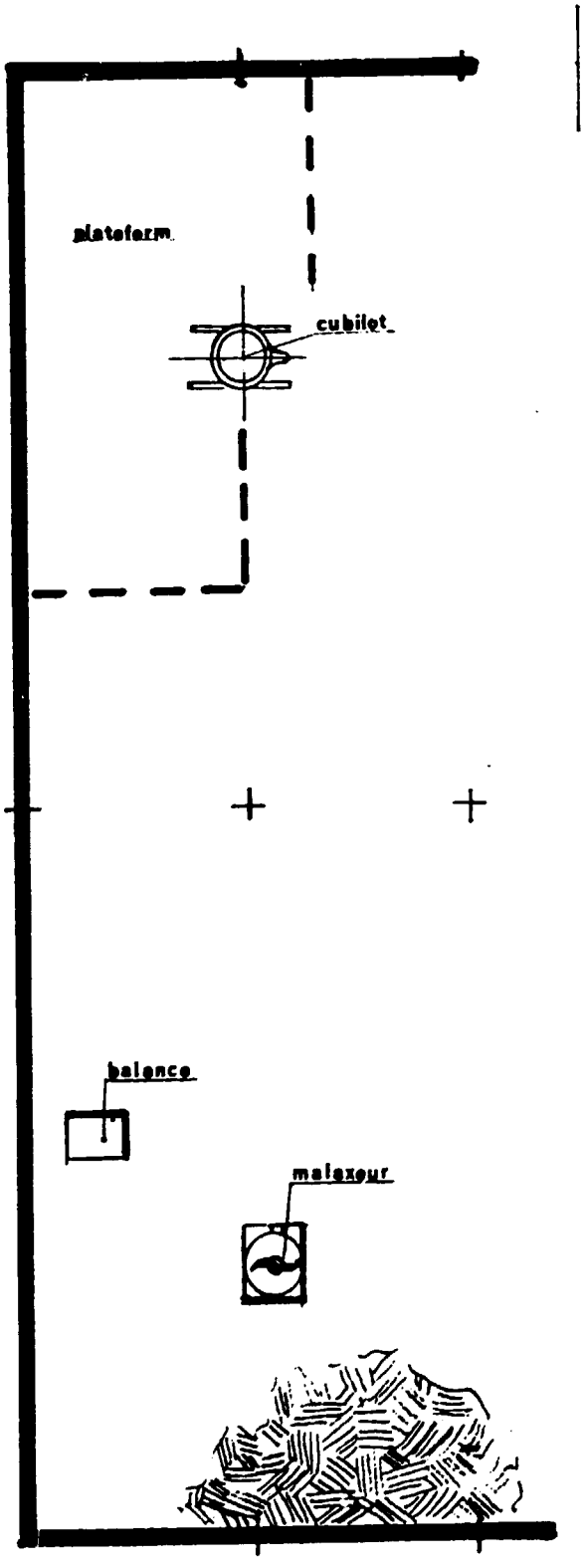
COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

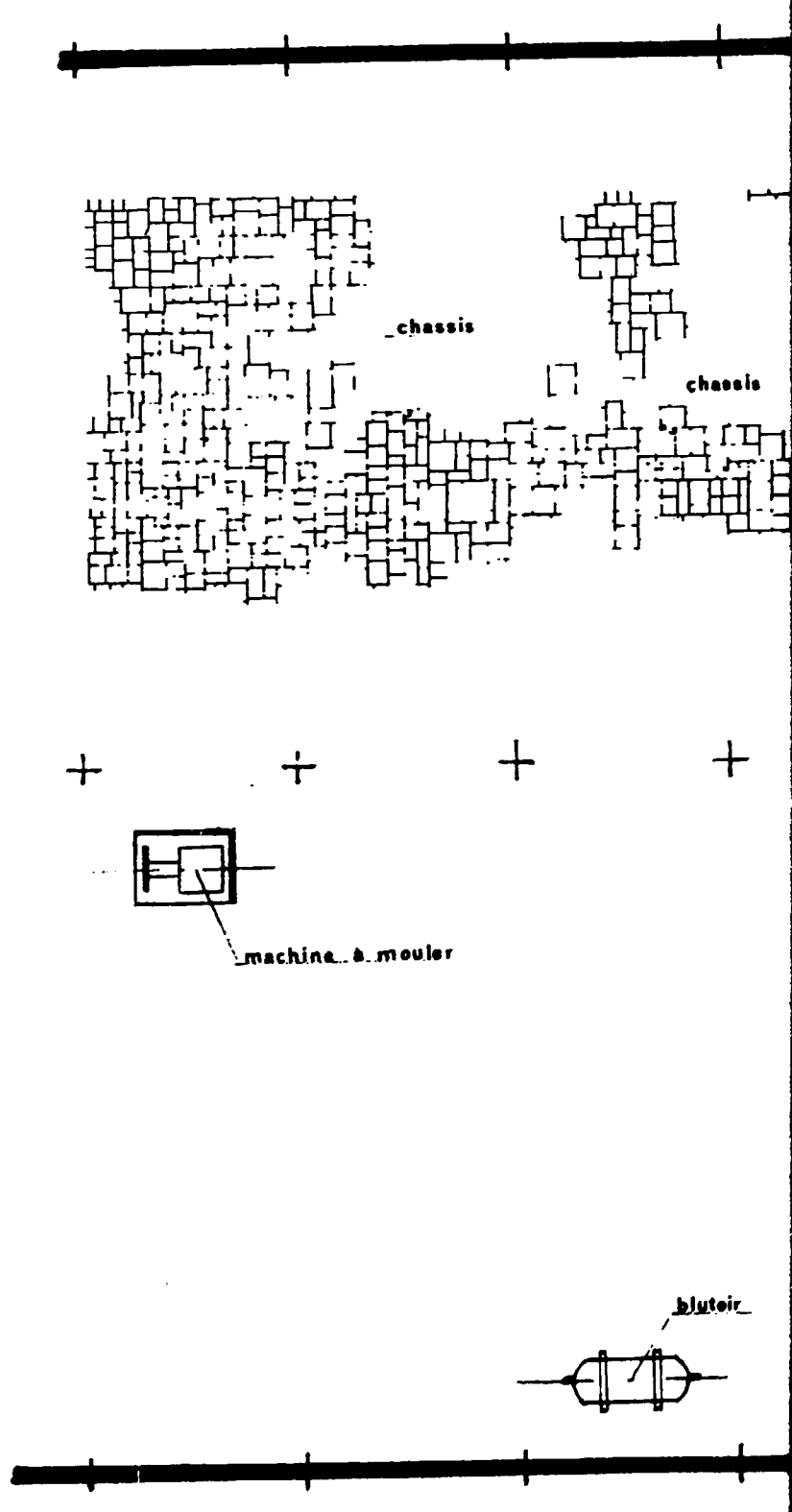
Foreign Exchange Effect in 1000RHS
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	2001	2002	production 2003	2004	2005	2006
total foreign inflow . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow . .	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	-80458.73
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-80686.28
imported materials	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	0.00
repayment loans & overd.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	227.56
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchge flow	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	80458.73
import substit'n effect	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	0.00
net forgn exchge effect	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00	80458.73
present values at 10.00 %						
foreign exchange flow .	-923404.90					
net forgn exchge effect	2567785.00					

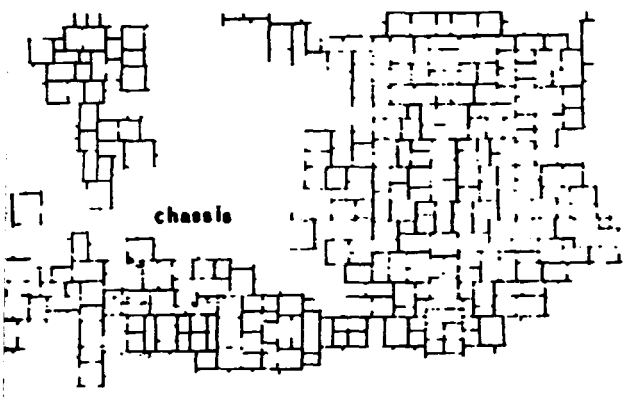
RNFCE



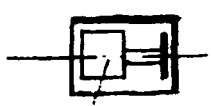
SECTION 1



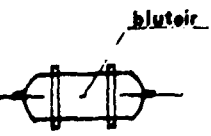
PLAN "A"
SITUATION ACTUELLE



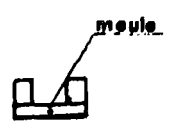
chassis



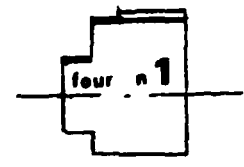
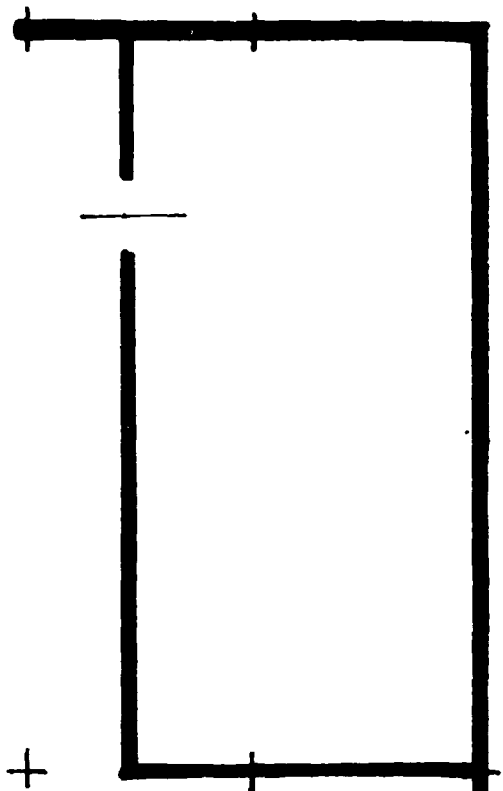
machine à mouler



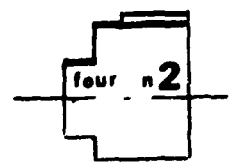
blutoir



meule



four n 1



four n 2

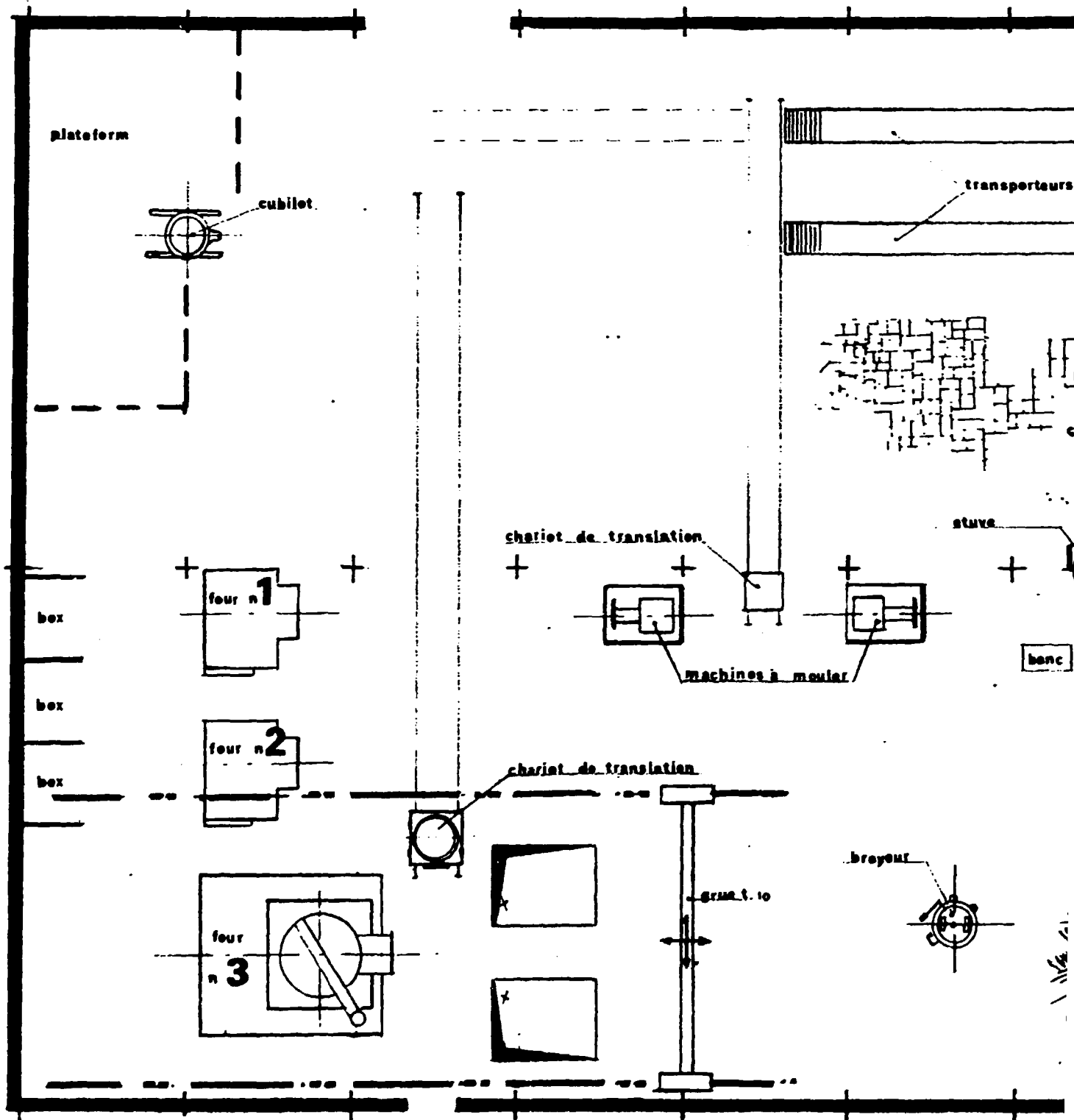


"A"
ACTUELLE

fonderie **R N C F M**

SECTION . 2

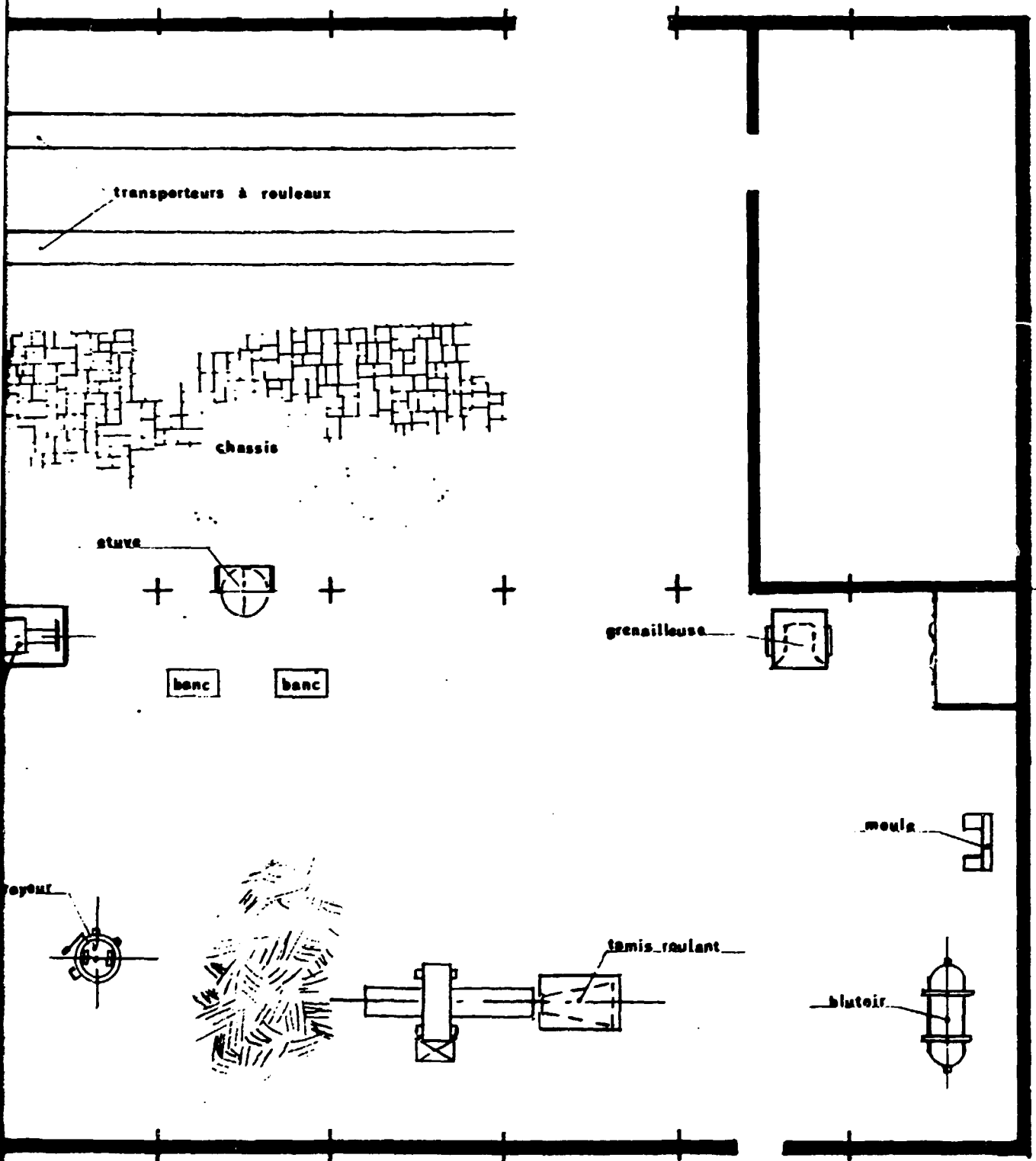
échelle 1: 100



PLAN "B"

NOUVEAU ARRANGEMENT ENVISA

SECTION 1

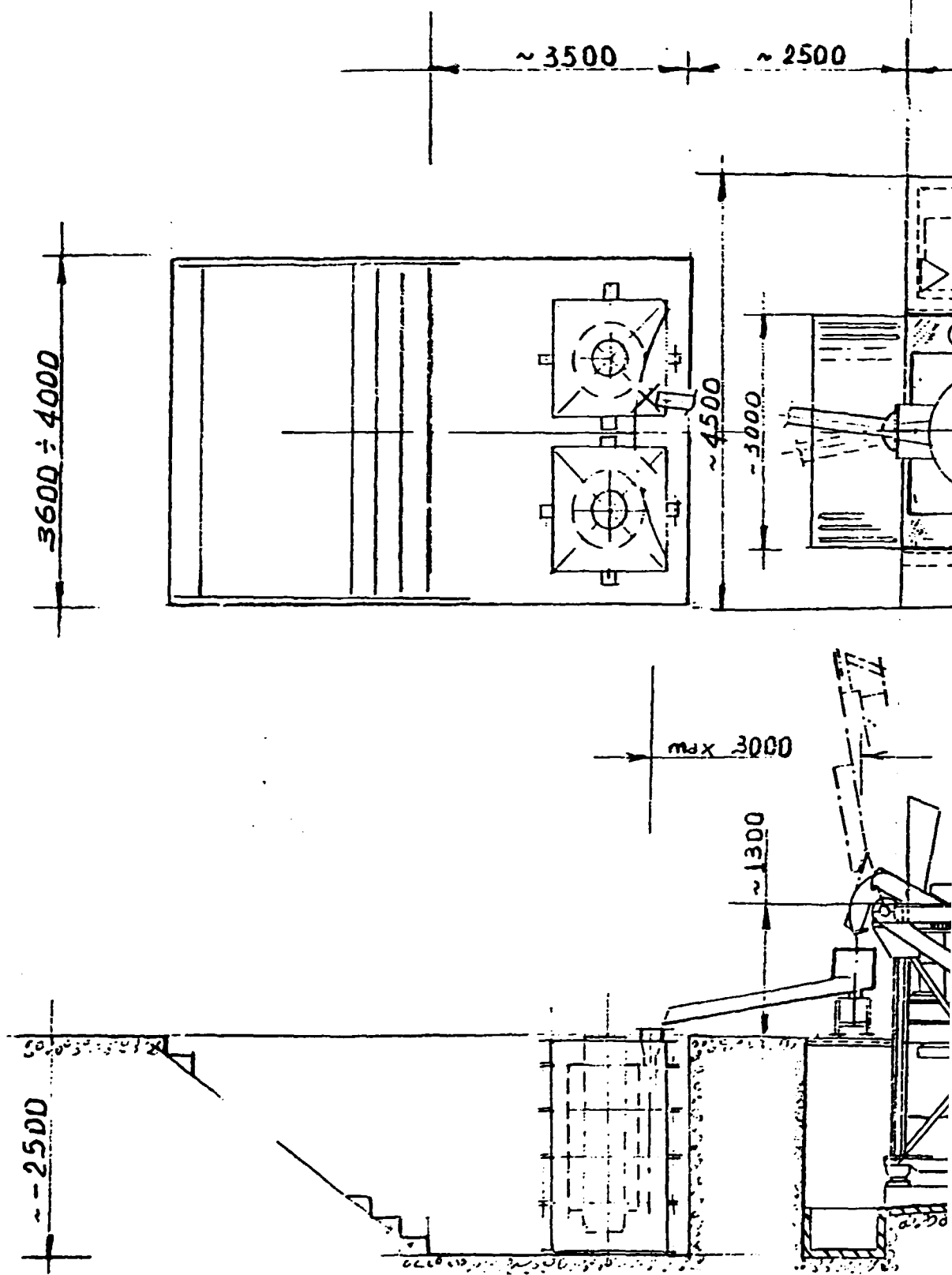


fonderie **RNCFM**

ENT ENVISAGE

SECTION .2

echelle 1: 100

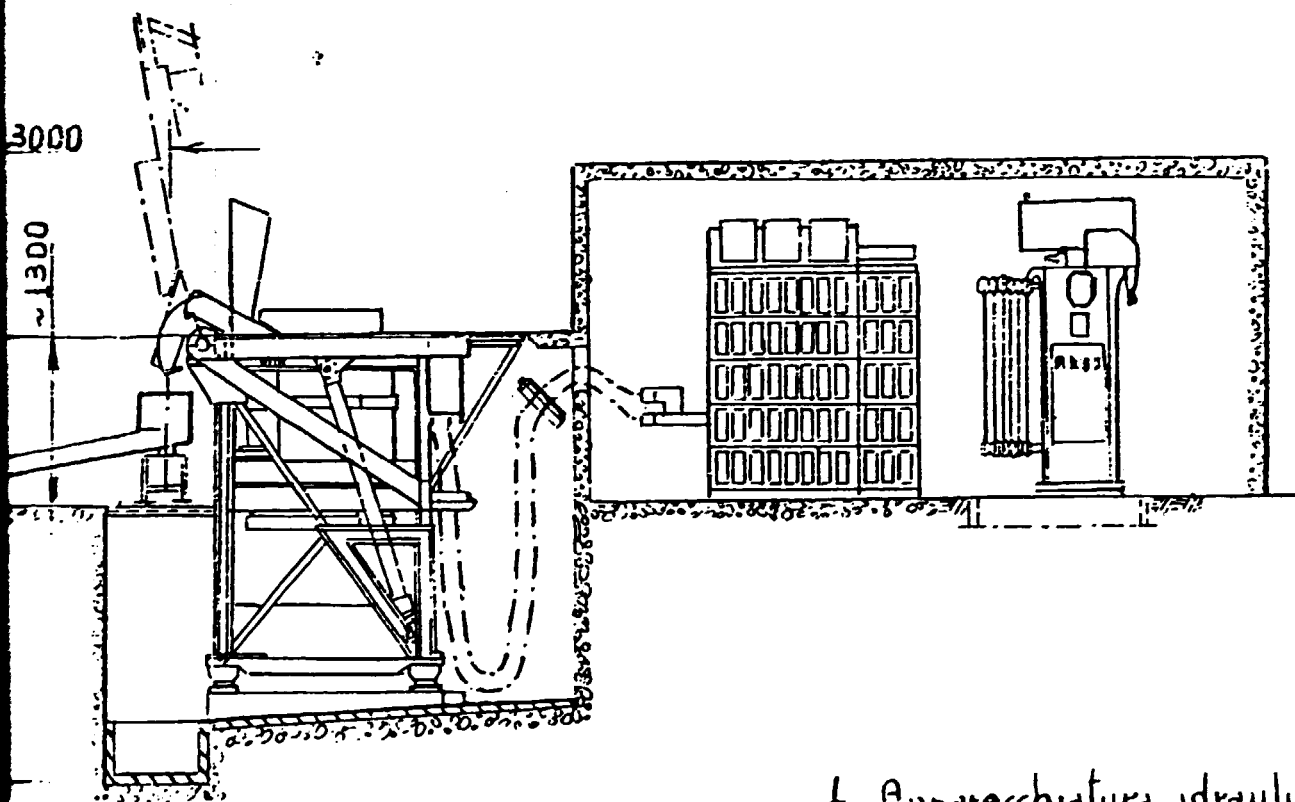
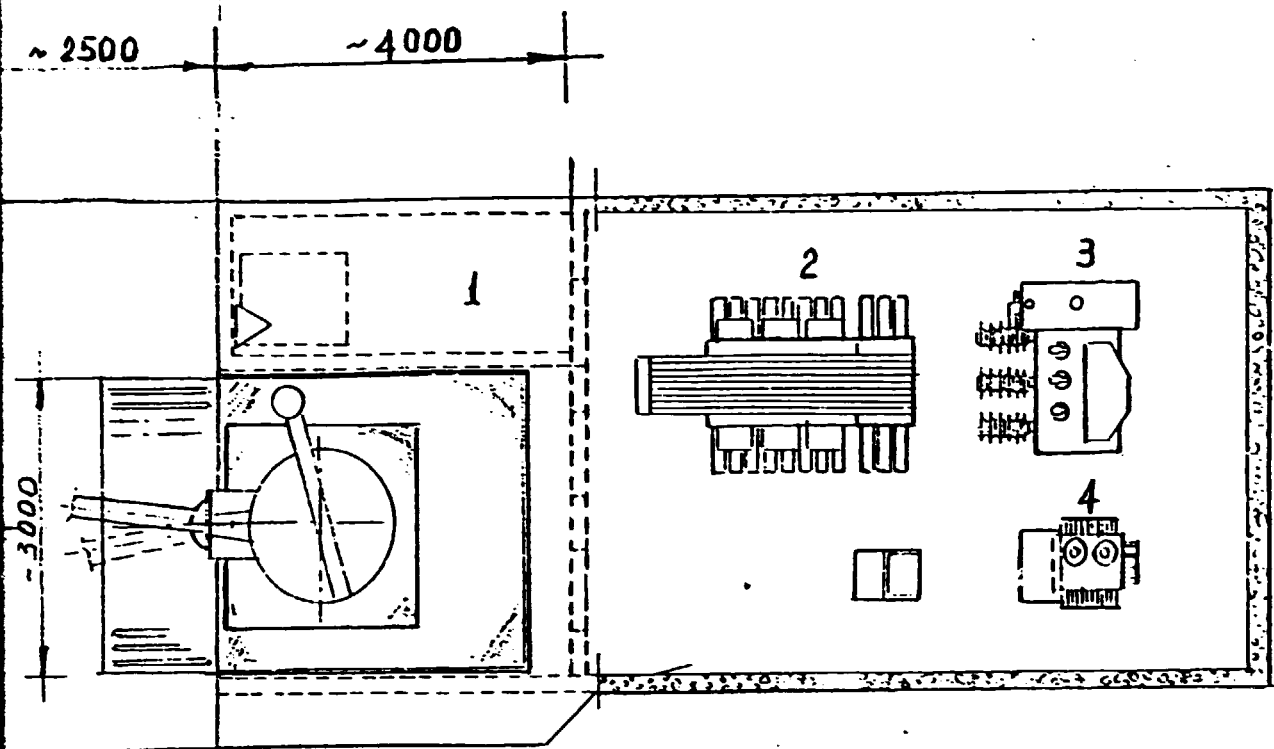


- 1 Système Oléodinamique
- 2 Condensateurs de rephasage
- 3 Transformateurs
- 4 Réactance

DETAILS D'EMPLACEMENT
DU FOUR ELECTRIQUE

SECTION 1

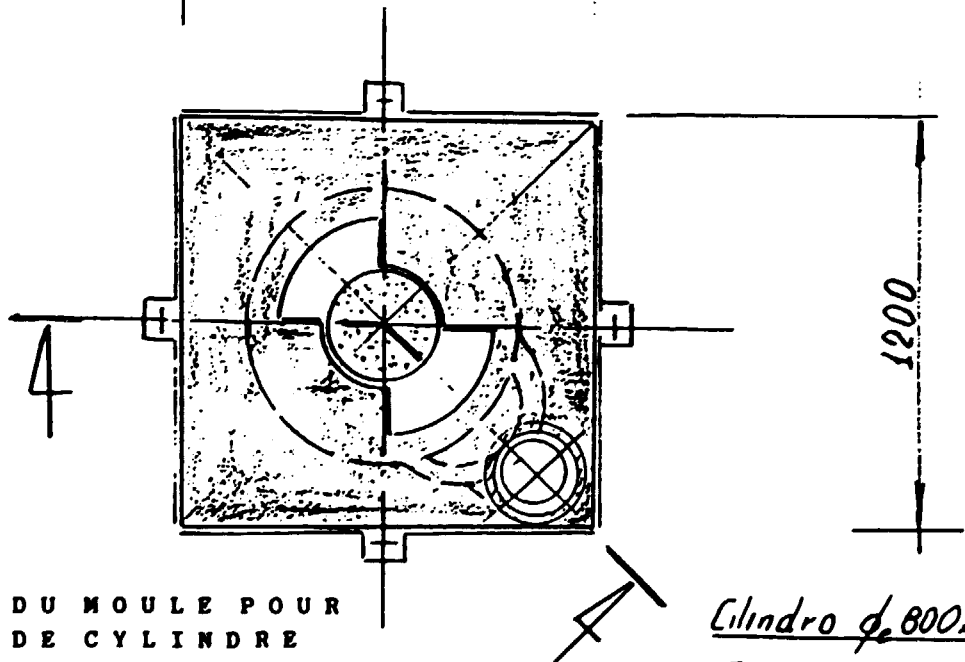
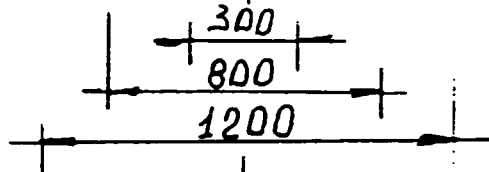
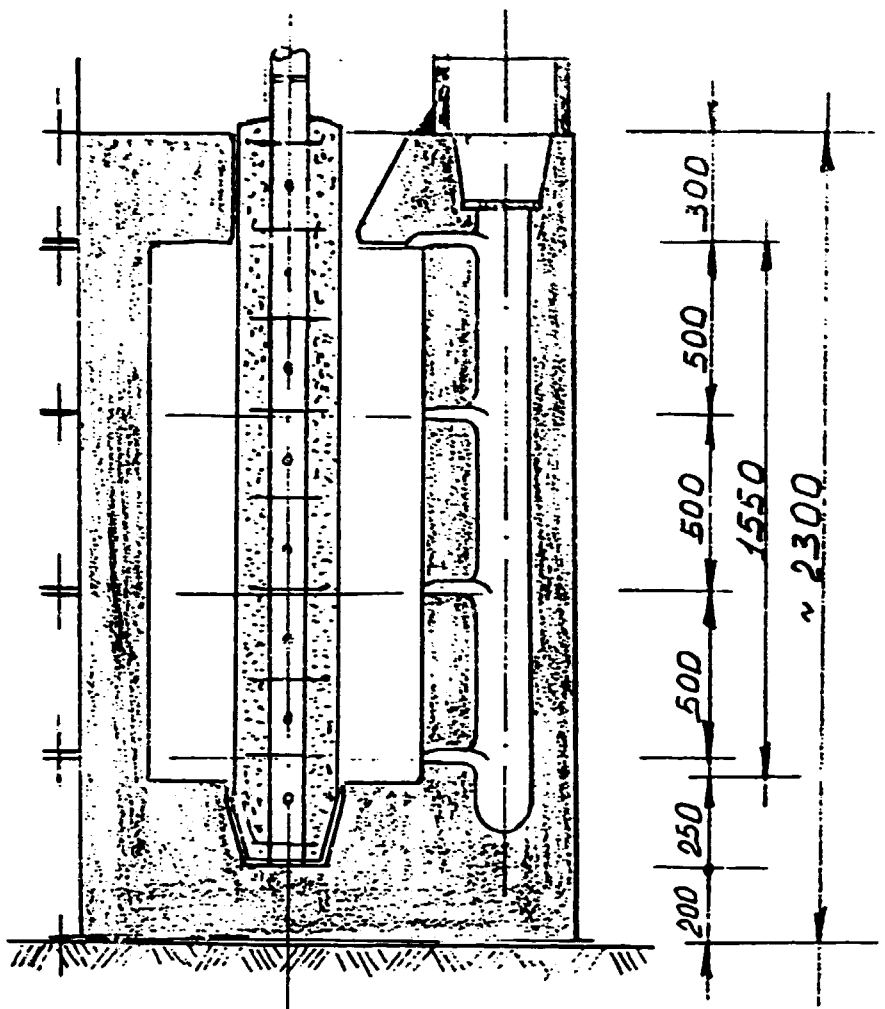
PLAN "C"



SECTION .2

- 1 Apparecchiatura idraulica
- 2 Batteria condensatori
- 3 Trasformatore
- 4 Reattore

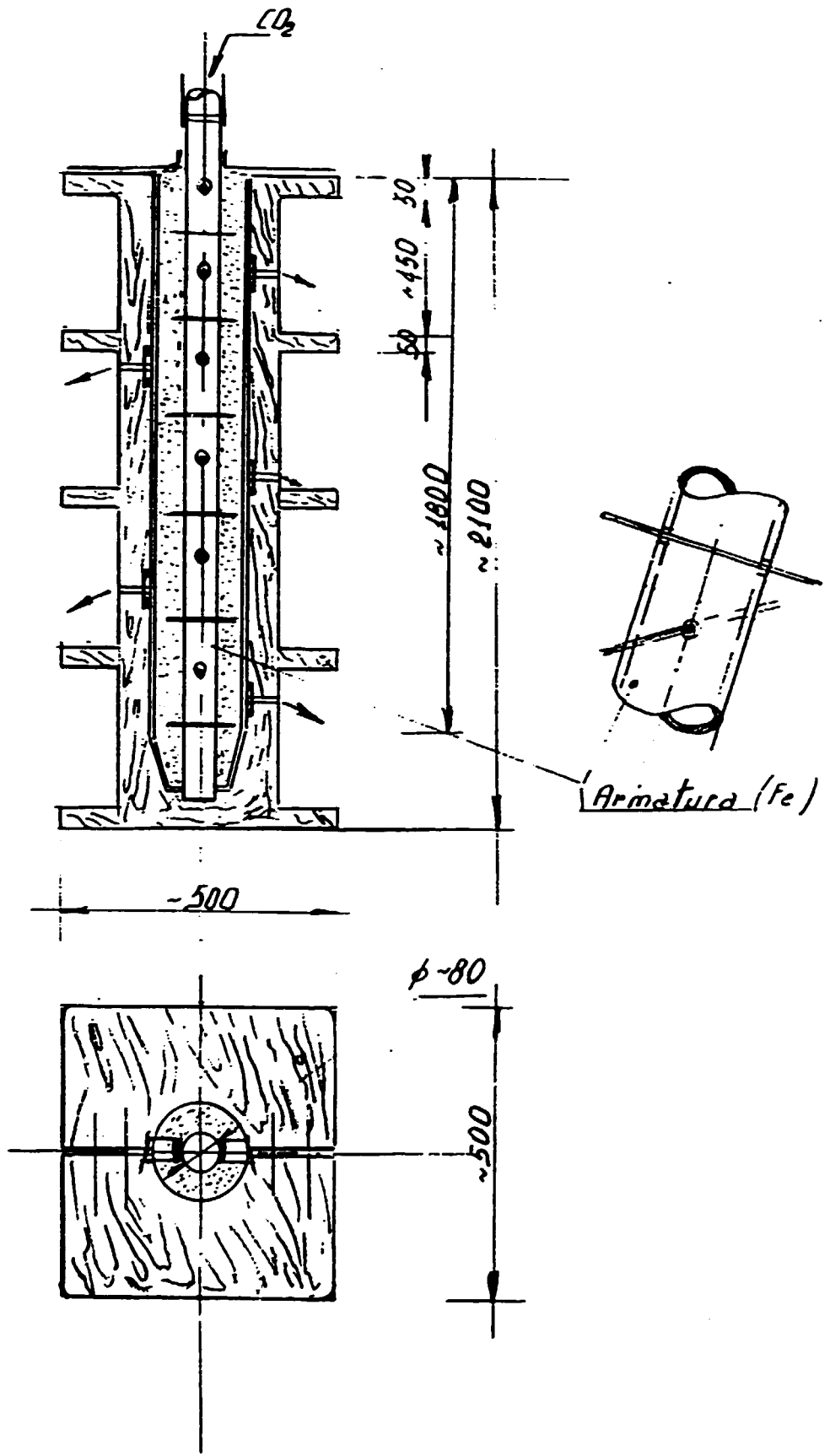
Schema installazione forno 8 tons. e colata



DETAILS DU MOULE POUR
 CHEMISE DE CYLINDRE

PLAN "D"

Cilindro ϕ 800 x ϕ 300 x L 1550
 Tav. 2 : Schema di formatura



DETAILS DU NOYAUTAGE
 POUR MOULAGE
 CHEMISE DE CYLINDRE

Preparazione anima

PLAN "E"

ANNEXE 2

FONDERIE SIRANALA

ETUDE DE MODERNISATION/REHABILITATION

SOMMAIRE

	Page
1. <u>AVANT PROPOS</u>	1
2. <u>PROGRAMME DE PRODUCTION</u>	12
3. <u>RECETTES</u>	12
4. <u>PROPOSITION POUR LA MODERNISATION/REHABILITATION</u>	12
4.1 EQUIPEMENT	12
4.2 INVESTISSEMENTS	14
5. <u>MATERIAUX ET FACTEURS DE PRODUCTION</u>	18
6. <u>MAIN D'OEUVRE</u>	20
7. <u>PROGRAMME D'IMPLEMENTATION</u>	21
8. <u>EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE</u>	22
8.1 EVALUATION FINANCIERE	22
8.2 EVALUATION ECONOMIQUE	27

1. AVANT PROPOS

La fonderie est un atelier associé à la sucrerie SIRANALA, prévu pour la fourniture des pièces moulées, nécessaires à l'entretien du complexe.

Les pièces d'usure, comme les chemises des cylindres des moulins ne sont pas produits, à cause de leur poids unitaire, qui sorte de la capacité du cubilot.

Ces pièces sont achetées à Maurice, auprès de l'usine FORGE TARDIEUX, fournisseur des chemises des cylindres de toutes les sucreries de Madagascar.

La SIRANALA est obligée à envoyer à Maurice les cylindres portants les chemises usurées.

La Forge Tardieux, après la coulée et des opérations d'usinage, exécute l'emmanchement avec les cylindres et, ensuite, renvoie les pièces à la SIRANALA, qui complète, dans son propre atelier l'usinage (rainurage).

Le coût annuel de cette opération s'élève à environ 200.000.000 FMG, frais de transport exclus.

La direction de la SIRANALA a déclaré son intention de faire des investissements dans sa propre fonderie, pour devenir autosuffisante même pour les chemises des cylindres.

Elle serait bien contente d'utiliser le nouveau matériel pour mouler et usiner les chemises des cylindres pour les autres sucreries.

La proposition des consultants a été examinée avec intérêt; la Direction de la SIRANALA attend les résultats de l'étude, avant de prendre des décisions.

La situation actuelle est reportée aux chapitres A et J. Du chapitre 2 en avant les propositions pour la modernisation/réhabilitation sont offertes.

Au cas où la modernisation/réhabilitation ait lieu, la fonderie demeurera un atelier associé à la Sucrerie.

A. GENERALITES

Nom : SIRANALA

Siège : Morondava

Année d'installation : 1983

**Capacité nominale
initiale** : pièces en fonte 1.500 Kg/h
pièces en bronze 50 Kg par
coulée

Production actuelle : pièces en fonte

Modernisations : néant

Améliorations : néant

B. EQUIPEMENT

L'équipement a été fourni par la Chine en 1983 et son état est bon. Il s'agit de :

- 1 cubilot de capacité 1500 Kg/h
- 1 four à creuset à mazout de 50 Kg par coulée
- 1 meule ébarbeuse portative
- 30 châssis en fonte
- 40 châssis en bois
- 1 pont roulant avec palan manuel de 3T
- 1 brouette

Il n'existe pas d'équipement pour le contrôle de la température du métal avant la coulée, ni l'équipement pour l'analyse chimique de la matière première.

Il existe un atelier d'usinage équipé comme suit :

- 3 tours
- 1 raboteuse
- 2 fraiseuses (1 verticale + 1 horizontale)
- 1 perceuse
- 2 étaux-limeurs
- 1 poste à soudure électrique
- 2 postes à soudure O.A.

Les machines sont en bon état.

C. SERVITUDES

La fonderie est connectée aux réseaux d'énergie électrique, d'eau et d'air comprimé de la sucrerie.

D. BATIMENTS

Le bâtiment est construit en dur, et son état est bon. La surface est de $34.6 \times 11 \text{ m} = 380 \text{ m}^2$

E. PRODUITS

La production du 1987 est indiquée ci-dessous.

Les besoins futures ne devraient pas dépasser d'une manière appreciable la production de 1987:

Nomenclature	Alliage	Poids (Kg)	Prix de revient	Prix de vente
Manchon d'accouplement.	Fonte grise	800 à 1200	n.d.	n.d.
Cône de condenseur	Fonte grise	400	n.d.	n.d.
Raccorderie	Fonte grise	560	n.d.	n.d.
Accouplement pompe	Fonte grise	320	n.d.	n.d.
Anneaux d'étanchéité	Fonte grise	200	n.d.	n.d.
Chapeau de roulement	Fonte grise	480	n.d.	n.d.
Clapet de vanne	Fonte grise	150	n.d.	n.d.
Corps d'axe	Fonte grise	360	n.d.	n.d.
Plaques	Fonte grise	270	n.d.	n.d.
Patier pour conducteur	Fonte grise	100	n.d.	n.d.
Poutre panneau chaud.	Fonte grise	150	n.d.	n.d.
Poulie	Fonte grise	20	n.d.	n.d.
Support de grille	Fonte grise	720	n.d.	n.d.
Anneaux de retenue	Fonte grise	60	n.d.	n.d.

F. MATIERES PREMIERES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Fonte grise	Chine plus récupérat.	n.d.	n.d.
Bronze	Récupération	n.d.	n.d.

G. CONSOmmABLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Ferro-silicium	Chine	n.d.	80 Kg
Ferro-manganèse	Chine	n.d.	40 Kg

H. COMBUSTIBLES

Nomenclature	Source d'approvisionnement	Prix d'achat	Stock
Coke 90/250 mm	Importé d'Allemagne	600 FMG/Kg	10.000 Kg

baldo & c.

CHASSIS

I. CLIENTS

NOM	Activité	Produits	Tonnage
SIRANALA			

J. MAIN D'OEUVRE

Personnel direct	nombre	Catégorie
Chef fondeur	1	OP
Chef mouleur	1	OP
Aide fondeur	3	OS
Aide mouleur	3	SS

	8	

Personnel indirect	nombre	Catégorie
Chef de division	1	Ingénieur
Chef de section	1	Baccalauréat

	2	

Salaires

Les salaires sont ceux prévus par le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et des Lois Sociales.

Degré de spécialisation

Bon. SIRANALA souhaite que des stages de formation spécifique aient lieu auprès de la fonderie même et, si possible, dans de centres spécialisés (EESP).

2. PROGRAMME DE PRODUCTION

Le programme de production, en plus des pièces en fonte déjà moulées pour une utilisation interne seulement, prévoit le moulage des chemises des cylindres des moulins pour satisfaire les besoins propres à la SIRANALA et aux autres sucreries malgaches.

La demande totale de chemises est de 153.000 kg/an. La production totale est prévue à partir de la première année.

3. RECETTES

Le calcul des recettes est basé sur le prix de vente établi pour la fonderie R.N.C.F.M..

Les recettes seront:

$$153.000 \times 1.400 = 214.200.000 \text{ FMG}$$

4. PROPOSITION POUR LA MODERNISATION/REHABILITATION

4.1 EQUIPEMENT

La fonderie a été installée en 1983 et a été conçue d'une manière assez simple, avec le matériel indispensable pour faire des pièces moulées.

Pour la compléter et la rendre plus moderne, il est recommandé de faire des investissements dans les différents zones de la fonderie, c'est à dire:

a. Fusion

Le cubilot existant reste inchangé.

Un four électrique à induction d'accumulation et de maintien, d'une capacité de 8.000 kg et 450 kw sera installé, de façon à permettre la production des chemises.

b. Préparation des noyaux

Installation d'un système de durcissement, utilisant le CO₂.

c. Préparation des moules

En utilisant des châssis modulaires, adaptés à l'assemblage verticale.

d. Coulées

Création d'un fosse pour le positionnement des moules et installation d'une voie à rouleaux pour châssis.

e. Finition

Installation d'une grainailleuse.

f. Contrôle des sables

Installation du matériel nécessaire au recyclage.

g. Contrôles

Achat d'instruments permettant le contrôle du carbone, de la température et de la dureté des moules.

4.2 INVESTISSEMENTS

Les investissements sont estimés à 657.000.000 FMG ainsi répartis:

Fusion

DESIGNATION	FMG
1 four électrique d'accumulation et maintien (capacité 8.000 kg - 450 kW)	300.000.000
1 pont roulant d'une capacité de 8.000 kg	30.000.000
TOTAL	330.000.000

Préparation des noyaux

DESIGNATION	FMG
1 outillage pour boîte à noyaux avec système de gazage CO ₂	5.000.000
1 pont roulant d'une capacité de 8.000 kg	30.000.000
TOTAL	5.000.000

Préparation des moules

DESIGNATION	FMG
1 tamis rotatif	5.000.000
1 déferrisateur magnétique	7.000.000
1 transporteur à ruban	3.000.000
1 malaxeur 350 l	120.000.000
1 système de dépoussiérage	15.000.000

TOTAL	150.000.000

Coulée

DESIGNATION	FMG
1 voie à rouleaux pour châssis nouveaux châssis et poches	15.000.000
	20.000.000

TOTAL	35.000.000

Finition

DESIGNATION	FMG
1 système de sablage et nettoyage à air comprimé	10.000.000
1 meule	10.000.000
TOTAL	20.000.000

Contrôle des sables

DESIGNATION	FMG
1 série de tamis	16.000.000
1 marteau	5.000.000
1 sécheur rapide pour contrôle humidité	2.000.000
1 mesureur perméabilité	1.000.000
1 mesureur resistance	1.000.000
TOTAL	25.000.000

Instruments de contrôle

DESIGNATION	FMG
1 tectip (Leeds and Northrup)	2.500.000
1 temptip	2.500.000
1 pyromètre	1.000.000
1 duromètre	1.000.000

TOTAL	7.000.000

Génie civil

Le génie civil consiste dans:

- la construction de la cabine de logement du tableau de contrôle du four de fusion, du système de repassage et autres appareillage.
- la construction de la fosse de coulée
- la construction de la charpente de soutien du pont roulant

L'investissement estimé est de: 45.000.000 FMG

Engineering: 20.000.000 FMG

Montage: 20.000.000 FMG

5. MATERIAUX ET FACTEURS DE PRODUCTION

Tonnage des pièces = 153.000 kg/an

a. FONTE

Les besoins en fonte sont évalués de la façon suivante:

- . 80% fonte phosphoreuse en queues, importée à 550 FMG/kg
- . 20% fonte phosphoreuse de récupération à 160 FMG/kg
- . 4% des pertes

Le besoin total sera donc de 160.000 kg environ et le coût sera de:

$$160.000 \times 550 \times 0,8 = \underline{70.400.000 \text{ FMG}}$$

$$160.000 \times 160 \times 0,2 = \underline{5.120.000 \text{ FMG}}$$

b. COKE

La consommation standard de coke dans le cubilot est le 10% de la fonte à fondre. Pour tenir compte des pertes le 12% sera considéré. On aura ainsi une consommation égale à:

$$160.000 \times 0,12 = 19.200 \text{ kg, donc le coût sera}$$

Le coke est importé à 600 FMG/kg, donc le coût sera:

$$19.200 \times 600 = \underline{11.520.000 \text{ FMG}}$$

c. SABLE

Le sable est utilisé en raison de 10 kg pour 1 kg de fonte. Etant donné qu'après la coulée le sable est recyclé et qu'une intégration du 10% est nécessaire, le besoin sera de:

$$160.000 \times 10 \times 0,10 = 160.000 \text{ kg}$$

Le sable est payé 40 FMG/kg, donc le coût sera:

$$160.000 \times 40 = \underline{6.400.000} \text{ FMG}$$

d. LIANTS

Estimation 3.000.000 FMG

e. GRAPHITE

Estimation 2.000.000 FMG

f. GAS-OIL

Estimation 3.000.000 FMG

g. ENERGIE ELECTRIQUE

gratuite

h. PIECES DE RECHANGE/ENTRETIEN

Estimation 4.000.000

6. MAIN D'OEUVRE

L'augmentation de la production comporte une augmentation du nombre des personnes actuellement employées dans la fonderie. On aura un totale de 13 personnes ainsi réparties:

Personnel indirecte

		FMG x 1.000.000	
	n.	salaires unitaires	salaires totaux
chef d'atelier (cadre)	1	2.5	2.5
chef de section	1	1.6	1.6
	-----		-----
	2		4.1

Personnel directe

chef fondeur	1	0.7	0.7
aide fondeur	3	0.5	1.5
chef mouleur	1	0.7	0.7
aide mouleur	6	0.5	3.0
	-----		-----
	11		5.9

L'augmentation est de 3 unités.

7. PROGRAMME D'IMPLEMENTATION

DESCRIPTION	MOIS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ETUDE DE FAISSE													
2. PREPARATION DES PLANS DE TRAVAI													
3. DEBUT DES TRAVAI													
4. TRAVAI FONDATION CONTRACTE													
5. BEAUFORT													
6. TRAVAI BEAUFORT													
7. BEAUFORT SUR CAIL													
8. BEAUFORT SUR CAIL													
9. TRAVAI BEAUFORT													
10. BEAUFORT BEAUFORT													
11. TRAVAI BEAUFORT													
12. BEAUFORT BEAUFORT													
13. BEAUFORT BEAUFORT													
14. BEAUFORT													

8. EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE

8.1 EVALUATION FINANCIERE

L'évaluation financière de base est faite séparément pour les deux cas à l'aide du COMFAR, avec les hypothèses suivantes:

- A. Tous les coûts ont été calculés en tenant compte des conditions réelles à Madagascar;
- B. Le délai de réalisation du projet est de 12 mois;
- C. Le 40% d'impôt sur les bénéfices a été considéré;
- D. Le matériel d'importation a été considéré sujet au droits de douane et à la taxe d'importation (tot. 25%)
- E. L'achat du matériel d'importation est prévu de la façon suivante:
 - 15% de la valeur: cash
 - 85% de la valeur au moyen d'un emprunt en devises à un taux de 9.5 % pour une période de 5 ans plus 2 ans de grâce;
- F. L'achat du matériel d'origine locale est prévu au moyen de fonds propres qui seront considérés comme capital social:

G. Taux de dépréciation

	Ans	Taux
. Frais de premier établissement	5	20
. Equipement	15	6,67
. Génie civil	25	4

Les bâtiments et l'équipement existants sont considérés déjà amortis.

H. Fond de roulement:

. compte débiteurs	: 30 jours	
. stock matériaux	: 180 jours en devises - 30 jours en monnaie locale	
. fuel	: 30 jours	
. pièces de rechange	: 360 jours	
. travaux en cours	: 15 jours	
. produits finis	: 15 jours	
. encaisses	: 15 jours	
. dettes à court terme:	30 jours	

I. Investissements fixes

DENOMINATION	DEVICES	MONNAIE LOCALE
génie civil		45.000
1 four électrique d'accumulation et maintien 8000 kg-450 kW	240.000	60.000 (T.I. + D.D.)
1 pont roulant - capacité 8 tonnes	24.000	6.000 (T.I. + D.D.)
1 outillage pour boite à noyaux avec système de gazage CO2		5.000
1 tamis rotatif	4.000	1.000 (T.I. + D.D.)
1 déferrisateur magnétique	5.600	1.400 (T.I. + D.D.)
1 transportateur à ruban		3.000
1 malaxeur 350 l	96.000	24.000 (T.I. + D.D.)
1 système de dépoussiérage	12.000	3.000 (T.I. + D.D.)
1 voie à rouleaux pour châssis		15.000
1 série de nouveaux châssis et poches		20.000
1 système de sablage et nettoyage à air comprimée		10.000
1 meule	8.000	2.000 (T.I. + D.D.)
1 série de tamis	12.800	3.200 (T.I. + D.D.)
1 marteau-pilon pour échantillon	4.000	1.000 (T.I. + D.D.)
1 sécheur rapide pour contrôle humidité	1.600	0.400 (T.I. + D.D.)
1 mesureur de perméabilité	0.800	0.200 (T.I. + D.D.)
1 mesureur résistance	0.800	0.200 (T.I. + D.D.)
1 tectip	2.000	0.500 (T.I. + D.D.)
1 teratip	2.000	0.500 (T.I. + D.D.)
1 pyromètre	0.800	0.200 (T.I. + D.D.)
1 duromètre	0.800	0.200 (T.I. + D.D.)
PREMIER TOTAL	415.200	201.800
engineering		30.000
montage		20.000
TOTAL GENERAL	415.200	251.800

J. Le taux d'actualisation est = 10%

K. Les taux de change considérés sont:

1 FF = 240 FMG

1 LIT. = 1 FMG

L. Le seuil de rentabilité

M. Test de sensibilité en fonction de la variation :

- du coût de l'investissement
- des coûts de production
- des prix de vente

Les pièces fournies par COMFAR sont jointes ci-après.

SIRANALA

ANALYSE FINANCIERE

PIECES FOURNIES PAR COMPAR



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES
DECEMBRE 1988
Fonderie SIRANALA

1 années de construction, 15 années de production

taux de conversion:

monnaie étranger 1 = 1.000 monnaie comptable

monnaie local 1 = 1.000 monnaie comptable

monnaie comptable: 1000FMG

Investissement initial total en cours de construction

actifs fixes:	682755.60	63.237 % étranger
actif courant:	0.00	0.000 % étranger
actif total:	682755.60	63.237 % étranger

Source de financement en cours de construction

Actions, subv. :	314258.00	0.000 % étranger
prêts(étranger):	352750.00	
prêts(national):	0.00	
prêts (total):	667008.00	52.885 % étranger

Cashflow, production

Année:	1	5	10
coûts, fabrication:	110440.00	110440.00	110440.00
amortissement :	47219.70	47219.70	41219.70
intérêts :	33511.25	13404.50	0.00
coûts, production :	191171.00	171064.20	151659.70
% étrangere	74.86 %	71.91 %	72.27 %
ventes :	214200.00	214200.00	214200.00
bénéfice brut :	23029.05	43135.80	62540.30
bénéfice net :	12817.43	25881.48	37524.18
solde de trésorerie :	60105.69	2551.19	78743.88
cashflow net :	93616.94	86505.68	78743.88

valeur actualise nette : 10.00 % = -6057.13
taux de rentabilité sur l'investissement total: 9.84 %
rentabilité sur le capital (bénéfice net) : 5.25 %
capital : flux net de trésorerie : 9.94 %

Pièces fournies per COMFAR

Investissement initial total	Cashflow
Investissement en cours de production	Bilan prévisionnel
Coûts totaux de production	Etat de recettes nettes
Fonds de roulement nécessaire	Source de financement



Investissement initial total en 1000FRS

Année	1990
Cout des investissements fixes	
Terrain, préparation et aménagement	0.00
Batiments et travaux de génie civil	45000.00
Installations auxiliaires, services	0.00
Immobilisations incorporés	20000.00
Installations, machines, équipement	571000.00
Cout total des investissements fixes	636000.00
Dépenses de premier établissement .	46755.63
Fonds de roulement	0.00
Total des couts d'investissement . .	682755.60
Dont en devises, %	63.24



Investissement en cours de production en 1000F16

Année.....	1971
Coût des investissements fixes.....	
.Terrain, préparation et aménagement ..	0.00
.Batiments et travaux de génie civil ..	0.00
.Installations auxiliaires et services ..	0.00
.Immobilisations incorporés.....	0.00
.Installations, machines et équipement ..	0.00
<hr/>	
Coût total des investissements fixes ..	0.00
Dépenses de premier établissement.....	0.00
Fonds de roulement.....	931.44
<hr/>	
Total des coûts d'investissement courants	931.44
Ont en devises, %	73.29


Couts totaux de production en 1000Ft6

Année	1991-92	1993	1994	1995	1996
% de capacité nominal (un seul produit).	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Matières premières 1	75520.00	75520.00	75520.00	75520.00	75520.00
Autres matières premières	6400.00	6400.00	6400.00	6400.00	6400.00
Services	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00
Energie	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00
Main-d'œuvre directe	5900.00	5900.00	5900.00	5900.00	5900.00
Entretien et réparations	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pièces détachées	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00
Frais généraux de fabrication	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Couts de fabrication	106340.00	106340.00	106340.00	106340.00	106340.00
Frais généraux d'administration	4100.00	4100.00	4100.00	4100.00	4100.00
Frais indirects, ventes et distribution.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Frais directs, ventes et distribution.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amortissement	47219.70	47219.70	47219.70	47219.70	47219.70
Frais financiers	33511.25	26809.00	20106.75	13404.50	6702.25
Total des couts de production	191171.00	184468.70	177766.50	171064.20	158362.00
Cout unitaire (un seul produit)	0.89	0.86	0.83	0.80	0.74
dont en devises, %	74.86	73.95	72.96	71.91	73.44
dont en pourcentage variable	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Main-d'œuvre totale	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00

614



COMFAR
21 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Coûts totaux de production en 100 MGS

Année	1997-2003	2004	2005
% de capacité nominal (un seul produit).	100.00	100.00	100.00
Matières premières 1	75520.00	75520.00	75520.00
Autres matières premières	6400.00	6400.00	6400.00
Services	3000.00	3000.00	3000.00
Energie	11520.00	11520.00	11520.00
Main-d'oeuvre directe	5900.00	5900.00	5900.00
Entretien et réparations	0.00	0.00	0.00
Pièces détachées	4000.00	4000.00	4000.00
Frais généraux de fabrication	0.00	0.00	0.00
Coûts de fabrication	106340.00	106340.00	106340.00
Frais généraux d'administration	4100.00	4100.00	4100.00
Frais indirects, ventes et distribution.	0.00	0.00	0.00
Frais directs, ventes et distribution. .	0.00	0.00	0.00
Amortissement	41219.70	21243.88	1800.00
Frais financiers	0.00	0.00	0.00
Total des coûts de production	151659.70	131683.90	112240.00
Coût unitaire (un seul produit)	0.71	0.61	0.52
dont en devises, %	72.27	72.58	72.99
dont en pourcentage variable	0.00	0.00	0.00
Main-d'oeuvre totale	10000.00	10000.00	10000.00



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Fonds de roulement nécessaire en 1000FMS

Année	1991	1992-2006
Couverture n _{ajc} cca		
Actif circulant		
Comptes débiteurs 1 360.0	306.78	306.78
Stock et matériel 1 360.0	235.89	235.89
Energie 1 360.0	32.00	32.00
Pièces de rechange 1 360.0	11.11	11.11
Travaux en cours 1 360.0	295.39	295.39
Produits finis 1 360.0	306.78	306.78
Encaisse 1 360.0	38.89	38.89
Actif circulant total	1226.83	1226.83
Dettes à court terme 1 360.0	295.39	295.39
Fonds de roulement net	931.44	931.44
Accroissement, fonds roulement	931.44	0.00
Fonds de roulement net, monnaie locale.	248.78	248.78
Fonds de roulement net, devises	682.67	682.67

Note: n_{ajc} = nombre minimal de jours de couverture;


Source de financement, construction en 1000F16

Année	1990
Actions ordinaires.	314258.00
Actions privilégiées.	0.00
Subventions, dons	0.00
Pret A, devises	352750.00
Pret B, devises	0.00
Pret C, devises	0.00
Pret A, monnaie locale.	0.00
Pret B, monnaie locale.	0.00
Pret C, monnaie locale.	0.00
Total des prets	352750.00
Dettes à court terme	0.00
Découvert bancaire	15747.63
Total des fonds disponibles	682755.60



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Source de financement, production en 1000AFB

Année	1991	1992-96
Actions ordinaires.	0.00	0.00
Actions privilégiées.	0.00	0.00
Subventions, dons	0.00	0.00
Pret A, devises	0.00	-70550.00
Pret B, devises	0.00	0.00
Pret C, devises	0.00	0.00
Pret A, monnaie locale.	0.00	0.00
Pret B, monnaie locale.	0.00	0.00
Pret C, monnaie locale.	0.00	0.00
Total des prêts	0.00	-70550.00
Dettes à court terme	295.39	0.00
Découvert bancaire	-15747.63	0.00
Total des fonds disponibles	-15452.24	-70550.00

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1998


Cashflow, construction en 1000AF6

Année	1990
Total des entrées de trésorerie.	667008.00
. Ressources financières	667008.00
. Ventes, nettes de taxe	0.00
Total sorties de trésorerie ..	682755.60
. Total des actifs	666000.00
. Coûts d'exploitation	0.00
. Frais financiers	16755.63
. Remboursements	0.00
. Impôt sur les sociétés	0.00
. Dividendes versés	0.00
Excédent (déficit)	-15747.63
Solde de trésorerie cumulé ...	-15747.63
Entrées, monnaie locale	314258.00
Sorties, monnaie locale	251000.00
Excédent (déficit)	63258.00
Entrées, devises	352750.00
Sorties, devises	431755.60
Excédent (déficit)	-79005.63
Flux de trésorerie nette	-666000.00
Flux de trésorerie cumulé ...	-666000.00


COMFAR
 2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000F16

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Total des entrées de trésorerie.	214495.40	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	275.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventes, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie . .	154389.70	223712.90	219691.50	215670.20	211648.80	210027.50
. Total des actifs	1226.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00
. Frais financiers	33511.25	33511.25	26809.00	20106.75	13404.50	6702.25
. Remboursements	0.00	70550.00	70550.00	70550.00	70550.00	70550.00
. Impôt sur les sociétés	9211.62	9211.62	11892.52	14573.42	17254.32	22335.22
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	60105.67	-9512.88	-5491.52	-1470.17	2551.19	4172.53
Solde de trésorerie cumulé . . .	44358.05	34845.17	29353.66	27883.48	30434.67	34607.20
Entrées, monnaie locale	214267.80	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	38048.23	37731.62	40412.52	43093.42	45774.32	50855.22
Excédent (déficit)	176219.60	176468.40	173787.50	171106.60	168425.70	163344.80
Entrées, devises	227.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	116341.50	185981.30	179279.00	172576.80	165874.50	159172.30
Excédent (déficit)	-116113.90	-185981.30	-179279.00	-172576.80	-165874.50	-159172.30
Flux de trésorerie nette	93616.95	94548.38	91867.48	89186.58	86505.68	81424.78
Flux de trésorerie cumulé . . .	-572383.10	-477834.70	-385967.20	-296780.60	-210274.90	-128850.20

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988



COMFAR[®]
2.1 UNIDIO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000RfG

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Total des entrées de trésorerie.	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Ventes, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie	135456.10	135456.10	135456.10	135456.10	135456.10	135456.10
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00	110440.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
. Impôt sur les sociétés	25016.12	25016.12	25016.12	25016.12	25016.12	25016.12
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88
Solde de trésorerie cumulé	113351.10	192095.00	270838.80	349582.70	428326.60	507070.40
Entrées, monnaie locale	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	53536.12	53536.12	53536.12	53536.12	53536.12	53536.12
Excédent (déficit)	160663.90	160663.90	160663.90	160663.90	160663.90	160663.90
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
Excédent (déficit)	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00
Flux de trésorerie nette	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88	78743.88
Flux de trésorerie cumulé	-50106.27	28637.61	107381.50	186125.40	264869.30	343613.10



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - PALDO & CO. S.R.L., MILANO

Cashflow, production en 1000F16

Année	2003	2004	2005
Total des entrées de trésorerie.	214200.00	214200.00	214200.00
. Ressources financières	0.00	0.00	0.00
. Ventes, nettes de taxe	214200.00	214200.00	214200.00
Total sorties de trésorerie . .	139456.10	143446.50	151224.00
. Total des actifs	0.00	0.00	0.00
. Coûts d'exploitation	110440.00	110440.00	110440.00
. Frais financiers	0.00	0.00	0.00
. Remboursements	0.00	0.00	0.00
. Impôt sur les sociétés	25016.12	33006.45	40784.00
. Dividendes versés	0.00	0.00	0.00
Excédent (déficit)	78743.88	70753.55	62976.00
Solde de trésorerie cumulé . . .	585814.30	656567.90	719543.90
Entrées, monnaie locale	214200.00	214200.00	214200.00
Sorties, monnaie locale	53536.12	61526.45	69304.00
Excédent (déficit)	160663.90	152673.50	144896.00
Entrées, devises	0.00	0.00	0.00
Sorties, devises	81920.00	81920.00	81920.00
Excédent (déficit)	-81920.00	-81920.00	-81920.00
Flux de trésorerie nette	78743.88	70753.55	62976.00
Flux de trésorerie cumulé	422357.00	493110.60	556086.60



COMFAR[®]
2.1 UNIO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Actualisation des flux financiers

a) Rentabilité sur le capital (bénéfice net)		
Valeur actualisée nette à	-96159.73 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	5.25 %	
b) Capital : Flux net de trésorerie (hors autofinancement)		
Valeur actualisée nette à	-1583.91 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	9.94 %	
c) Taux de rentabilité sur l'investissement total:		
Valeur actualisée nette à	-6057.13 à	10.00 %
Taux de rentabilité interne	9.84 %	

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1968



Etat des recettes nettes en 1000FRG

Année	1991	1992	1993	1994	1995
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	157659.70	157659.70	157659.70	157659.70	157659.70
Marge d'exploitation	56540.30	56540.30	56540.30	56540.30	56540.30
En % des ventes totales	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40
Frais financiers	33511.25	33511.25	26809.00	20106.75	13404.50
Bénéfice brut	23029.05	23029.05	29731.30	36433.55	43135.80
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	23029.05	23029.05	29731.30	36433.55	43135.80
Impôts	9211.62	9211.62	11892.52	14573.42	17254.32
Bénéfice net	13817.43	13817.43	17838.78	21860.13	25881.48
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	13817.43	13817.43	17838.78	21860.13	25881.48
Bénéfices non distribués cumulés	13817.43	27634.86	45473.63	67333.77	93215.24
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	10.75	10.75	13.88	17.01	20.14
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	6.45	6.45	8.33	10.21	12.08
Bénéfice net: capital social (%) . . .	4.40	4.40	5.68	6.96	8.24
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	7.10	7.10	6.69	6.29	5.89



COMFAR
2.1 UNIDU

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000FRF

Année	1996	1997	1998	1999	2000
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: couts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Couts fixes, y compris l'amortissement .	151659.70	151659.70	151659.70	151659.70	151659.70
Marge d'exploitation	62540.30	62540.30	62540.30	62540.30	62540.30
En % des ventes totales	29.20	29.20	29.20	29.20	29.20
Frais financiers	6702.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	55838.05	62540.30	62540.30	62540.30	62540.30
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	55838.05	62540.30	62540.30	62540.30	62540.30
Impôts	22335.22	25016.12	25016.12	25016.12	25016.12
Bénéfice net	33502.83	37524.18	37524.18	37524.18	37524.18
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	33502.83	37524.18	37524.18	37524.18	37524.18
Bénéfices non distribués cumulés	126718.10	164242.30	201766.40	239290.60	276814.80
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	26.07	29.20	29.20	29.20	29.20
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	15.64	17.52	17.52	17.52	17.52
Bénéfice net: capital social (%) . . .	10.66	11.94	11.94	11.94	11.94
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	6.03	5.63	5.63	5.63	5.63



COMFAR[®]
2.1 UNIDOO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Etat des recettes nettes en 1000R16

Année	2001	2002	2003	2004	2005
Ventes totales avec taxe s. les ventes .	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
moins: coûts variables, avec taxes s.v..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marge variable	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00	214200.00
En % des ventes totales	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Coûts fixes, y compris l'amortissement .	151659.70	151659.70	151659.70	131683.90	112240.00
Marge d'exploitation	62540.30	62540.30	62540.30	82516.13	101960.00
En % des ventes totales	29.20	29.20	29.20	38.52	47.60
Frais financiers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice brut	62540.30	62540.30	62540.30	82516.13	101960.00
Deductions	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfice imposable	62540.30	62540.30	62540.30	82516.13	101960.00
Impôts	25016.12	25016.12	25016.12	33006.45	40784.00
Bénéfice net	37524.18	37524.18	37524.18	49509.68	61176.00
Dividendes payés	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bénéfices non distribués	37524.18	37524.18	37524.18	49509.68	61176.00
Bénéfices non distribués cumulés	314339.00	351863.20	389387.40	438897.10	500073.10
Bénéfice brut: ventes totales (%) . . .	29.20	29.20	29.20	38.52	47.60
Bénéfice net: ventes totales (%) . . .	17.52	17.52	17.52	23.11	28.54
Bénéfice net: capital social (%) . . .	11.94	11.94	11.94	15.75	19.47
Bénéfice net + intérêt, % de l'invest. .	5.63	5.63	5.63	7.42	9.17



Bilan prévisionnel, construction en 1000F16

Année	1990
Actif total	<u>682755.60</u>
Actifs fixes, nets d'amortissement.	0.00
Immobilisations en cours	682755.60
Actif circulant	0.00
Caisse, banque	0.00
Liquidités disponibles	0.00
Perte rapportée	0.00
Perte	0.00
Passif total	<u>682755.60</u>
Capital social	314258.00
Réserves, bénéfices non distribués.	0.00
Bénéfice	0.00
Dettes à long et moyen terme . . .	352750.00
Dettes à court terme	0.00
Déouvert bancaire	15747.63
Dettes total	<u>368497.60</u>
Capital social en % du passif . . .	46.03

Projection du bilan, production en 1000F16

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Actif total	681120.80	624388.30	571677.00	522987.10	478318.60	441271.40
Actifs fixes, nets d'amortissement.	635535.90	588316.30	541096.60	493876.90	446657.20	405437.50
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94
Caisse, banque	38.89	38.89	38.89	38.89	38.89	38.89
Liquidités disponibles	44358.06	34845.19	29353.63	27883.44	30434.59	34607.13
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	681120.80	624388.30	571677.00	522987.10	478318.60	441271.40
Capital social	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00
Réserves, bénéfices non distribués.	0.00	13817.43	27634.86	45473.63	67333.77	93215.24
Bénéfice	13817.43	13817.43	17838.78	21860.13	25881.48	33502.83
Dettes à long et moyen terme	352750.00	282200.00	211650.00	141100.00	70550.00	0.00
Dettes à court terme	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dettes total	353045.40	282495.40	211945.40	141395.40	70845.39	295.39
Capital social en % du passif	46.14	50.33	54.97	60.09	65.70	71.22

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES -- DECEMBRE 1988

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Projection du bilan, production en 1000F16

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Actif total	478795.60	516319.80	553844.00	591368.20	628892.40	666416.60
Actifs fixes, nets d'amortissement.	364217.80	322998.10	281778.40	240558.70	199339.00	158119.30
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94	1187.94
Caisse, banque	38.89	38.89	38.89	38.89	38.89	38.89
Liquidités disponibles	113351.00	192094.90	270838.80	349582.60	428326.50	507070.40
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Passif total	478795.60	516319.80	553844.00	591368.20	628892.40	666416.60
Capital social	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00	314258.00
Réserves, bénéfices non distribués.	126718.10	164242.30	201766.40	239290.60	276814.80	314339.00
Bénéfice	37524.18	37524.18	37524.18	37524.18	37524.18	37524.18
Dettes à long et moyen terme	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dettes total	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39	295.39
Capital social en % du passif	65.64	60.86	56.74	53.14	49.97	47.16

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES -- DECEMBRE 1988



COMFAR[®]
2.1 UNIOO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

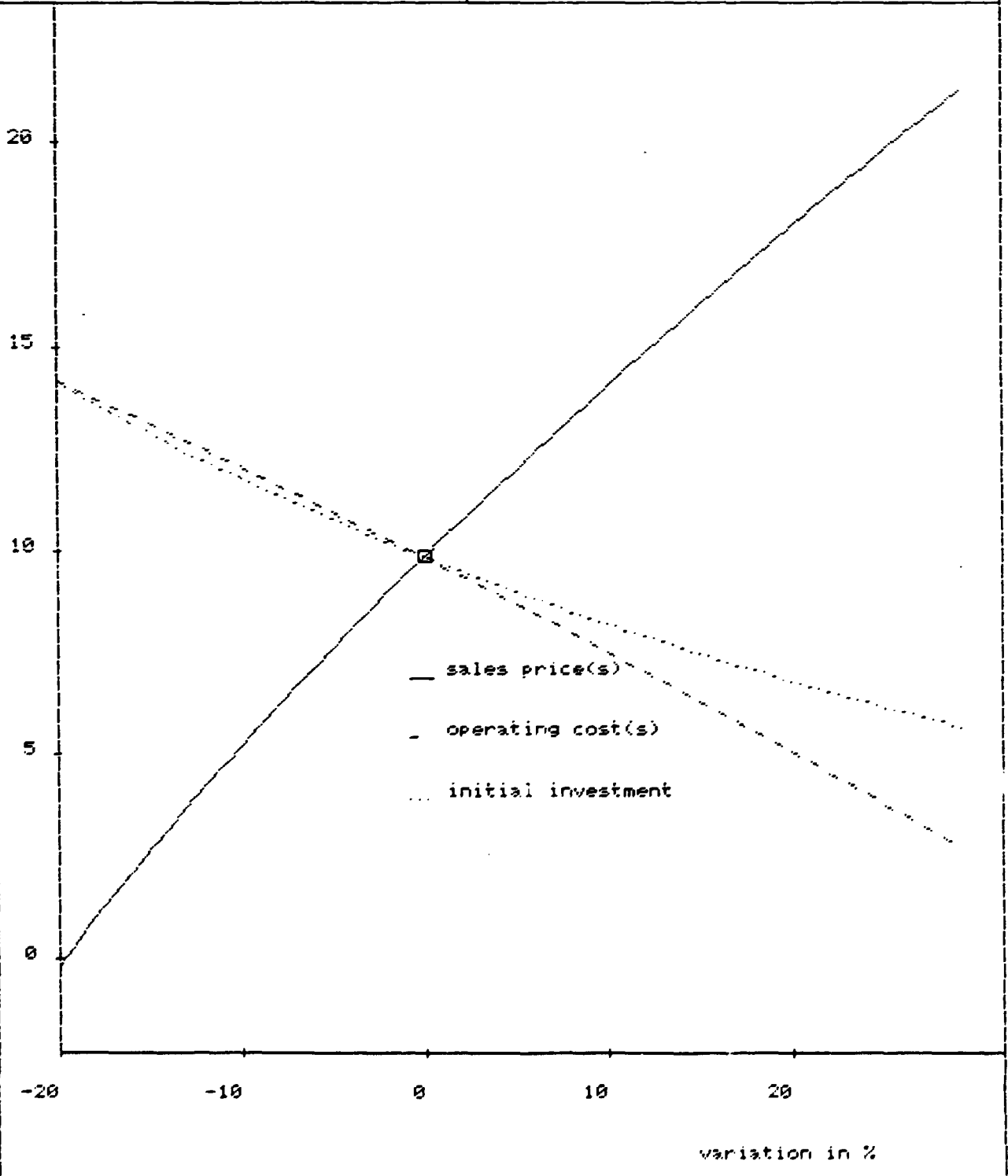
Projection du bilan, production en 1000F16

Année	2003	2004	2005
Actif total	703940.80	753450.40	814626.40
Actifs fixes, nets d'amortissement.	116899.60	95655.75	93855.75
Immobilisations en cours	0.00	0.00	0.00
Actif circulant	1187.94	1187.94	1187.94
Caisse, banque	38.89	38.89	38.89
Liquidités disponibles	585814.30	656467.90	719543.90
Perte rapportée	0.00	0.00	0.00
Perte	0.00	0.00	0.00
Passif total	703940.80	753450.40	814626.40
Capital social	314258.00	314258.00	314258.00
Réserves, bénéfices non distribués.	351863.20	389387.40	438897.10
Bénéfice	37524.18	49509.68	61176.00
Dettes à long et moyen terme	0.00	0.00	0.00
Dettes à court terme	295.39	295.39	295.39
Découvert bancaire	0.00	0.00	0.00
Dette total	295.39	295.39	295.39
Capital social en % du passif	44.64	41.71	38.58

REHABILITATION DES Fonderies MALGACHES — DECEMBRE 1988

Sensitivity of IRR

internal rate of return



8.2 EVALUATION ECONOMIQUE

Comme pour l'évaluation financière, l'évaluation économique est faite à l'aide du COMFAR.

Le test d'efficacité absolue et l'épargne en devise ont été calculés.

Les pièces fournies par COMFAR sont jointes ci-après.

SIRANALA

ANALYSE ECONOMIQUE

PIECES FOURNIES PAR COMFAR



COMFAR
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000RM
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	grand total	total constr.	total produc.	.construction. 1990	1991	production 1992	1993	1994
value of output, O	6885051.00	0.00	6885051.00	0.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
material input, I+MI	2095500.00	682755.60	1412744.00	682755.60	101321.20	100440.00	100440.00	100440.00
investment, I	588900.00	682755.60	-93855.63	682755.60	881.17	0.00	0.00	0.00
operation, MI	1506600.00	0.00	1506600.00	0.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00
net domestic VA	4789551.00	-682755.60	5472306.00	-682755.60	357678.80	358560.00	358560.00	355560.00
repatriated payments	503778.20	16755.63	487022.60	16755.63	33511.25	104061.30	97359.00	90656.75
net national VA	4285772.00	-699511.30	4985284.00	-699511.30	324167.60	254498.80	261201.00	267903.30
national wages	150000.00	0.00	150000.00	0.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
social surplus	4135772.00	-699511.30	4835284.00	-699511.30	314167.60	244498.80	251201.00	257903.30
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	1700233.00							
PV, national wages	76060.78							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	1624172.00							
relative efficiency of:								
capital invested, E(C) :				2.56				
foreign exchange, E(FE) :				0.70				
skilled labour, E(L) :				22.35				

SEPAE



COMFAR
21 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000Ft6
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	1995	1996	1997	production 1998	1999	2000	2001	2002
value of output, O	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
material input, I+M	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00
investment, I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
operation, MI	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00	100440.00
net domestic VA	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00
repatriated payments	83954.50	77252.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
net national VA	274605.50	281307.80	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00	358560.00
national wages	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
social surplus	264605.50	271307.80	348560.00	348560.00	348560.00	348560.00	348560.00	348560.00
present values at 10.00 %								
PV, net national VA	1700233.00							
PV, national wages	76060.78							
PV, unskilled labour	0.00							
PV of social surplus	1624172.00							
relative efficiency of:								
capital invested, E(C) :				2.56				
foreign exchange, E(FE) :				0.70				
skilled labour, E(L) :				22.35				

SIRWE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Absolute Efficiency Test - 1 in 1000MG
Economic Analysis at Market Prices, excluding indirect effects

	2003	production 2004	2005	2006
value of output, O	459000.00	459000.00	459000.00	50.28
material input, I+MI	100440.00	100440.00	100440.00	-94736.79
investment, I	0.00	0.00	0.00	-94736.79
operation, MI	100440.00	100440.00	100440.00	0.00
net domestic VA	358560.00	358560.00	358560.00	94787.07
repatriated payments	0.00	0.00	0.00	227.56
net national VA	358560.00	358560.00	358560.00	94559.52
national wages	10000.00	10000.00	10000.00	0.00
social surplus	348560.00	348560.00	348560.00	94559.52
present values at 10.00 %				
PV, net national VA	1700233.00			
PV, national wages	76060.78			
PV, unskilled labour	0.00			
PV of social surplus	1624172.00			
relative efficiency of:				
capital invested, E(C) :			2.56	
foreign exchange, E(FE) :			0.70	
skilled labour, E(L) :			22.35	

SIPANE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000FIS
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	grand total	total constr.	total produc.	.construction. 1990	1991	production 1992	1993
total foreign inflow . .	352977.60	352750.00	227.56	352750.00	227.56	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	352977.60	352750.00	227.56	352750.00	227.56	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow .	2089323.00	431755.60	1657567.00	431755.60	116341.50	185981.30	179279.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	356744.40	415000.00	-58255.63	415000.00	910.22	0.00	0.00
imported materials . . .	1228800.00	0.00	1228800.00	0.00	81920.00	81920.00	81920.00
repayment loans & overd.	352977.60	0.00	352977.60	0.00	0.00	70550.00	70550.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	150800.60	16755.63	134045.00	16755.63	33511.25	33511.25	26809.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchange flow	-1736345.00	-79005.63	-1657339.00	-79005.63	-116113.90	-185981.30	-179279.00
import substit'n effect	6885000.00	0.00	6885000.00	0.00	459000.00	459000.00	459000.00
net foreign exchange effect	5148656.00	-79005.63	5227661.00	-79005.63	342886.10	273018.80	279721.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow .	-1037158.00						
net foreign exchange effect	2494032.00						

SIRONE



COMFAR[®]
2.1 UNIDO

COMFAR 2.1 - BALDO & CI. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000FAS
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CU = 100.00 units local CU

	1994	1995	1996	production 1997	1998	1999	2000
total foreign inflow . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidiaries, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow . .	172576.80	165874.50	159172.30	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
imported materials	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00
repayment loans & overd.	70550.00	70550.00	70550.00	0.00	0.00	0.00	0.00
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	20106.75	13404.50	6702.25	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchge flow	-172576.80	-165874.50	-159172.30	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00
import substit'n effect	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00
net forgn exchge effect	286423.30	293125.50	299827.80	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00
present values at 10.00 %							
foreign exchange flow . .	-1037158.00						
net forgn exchge effect	2454032.00						

SIRAME



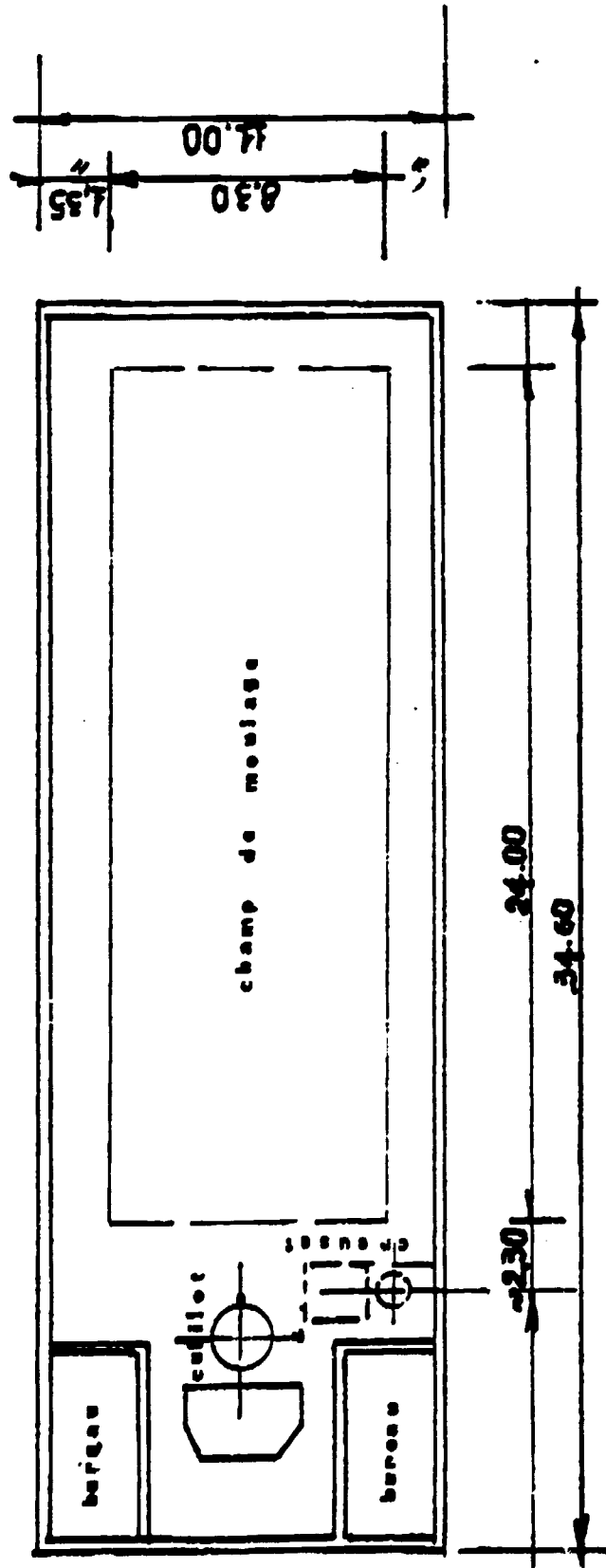
COMFAR[®]
2.1 UNICO

COMFAR 2.1 - BALDO & CO. S.R.L., MILANO

Foreign Exchange Effect in 1000FtG
Economic Analysis excluding indirect effects
100 units foreign CJ = 100.00 units local CJ

	2001	2002	production 2003	2004	2005	2006
total foreign inflow . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equity capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
subsidies, grants . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
loans & overdraft . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exports	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect effects . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....
total foreign outflow . .	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	-58938.29
royalties	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-59165.85
imported materials . . .	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	81920.00	0.00
repayment loans & overd.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	227.56
other repayments	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
repatriated wages . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dividends paid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
interests	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
indirect costs . . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....
net foreign exchange flow	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	-81920.00	58938.29
import substit'n effect	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	459000.00	0.00
net foreign exchange effect	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00	377080.00	58938.29
present values at 10.00 %						
foreign exchange flow . .	-1037158.00					
net foreign exchange effect	2454032.00					

SIRANE

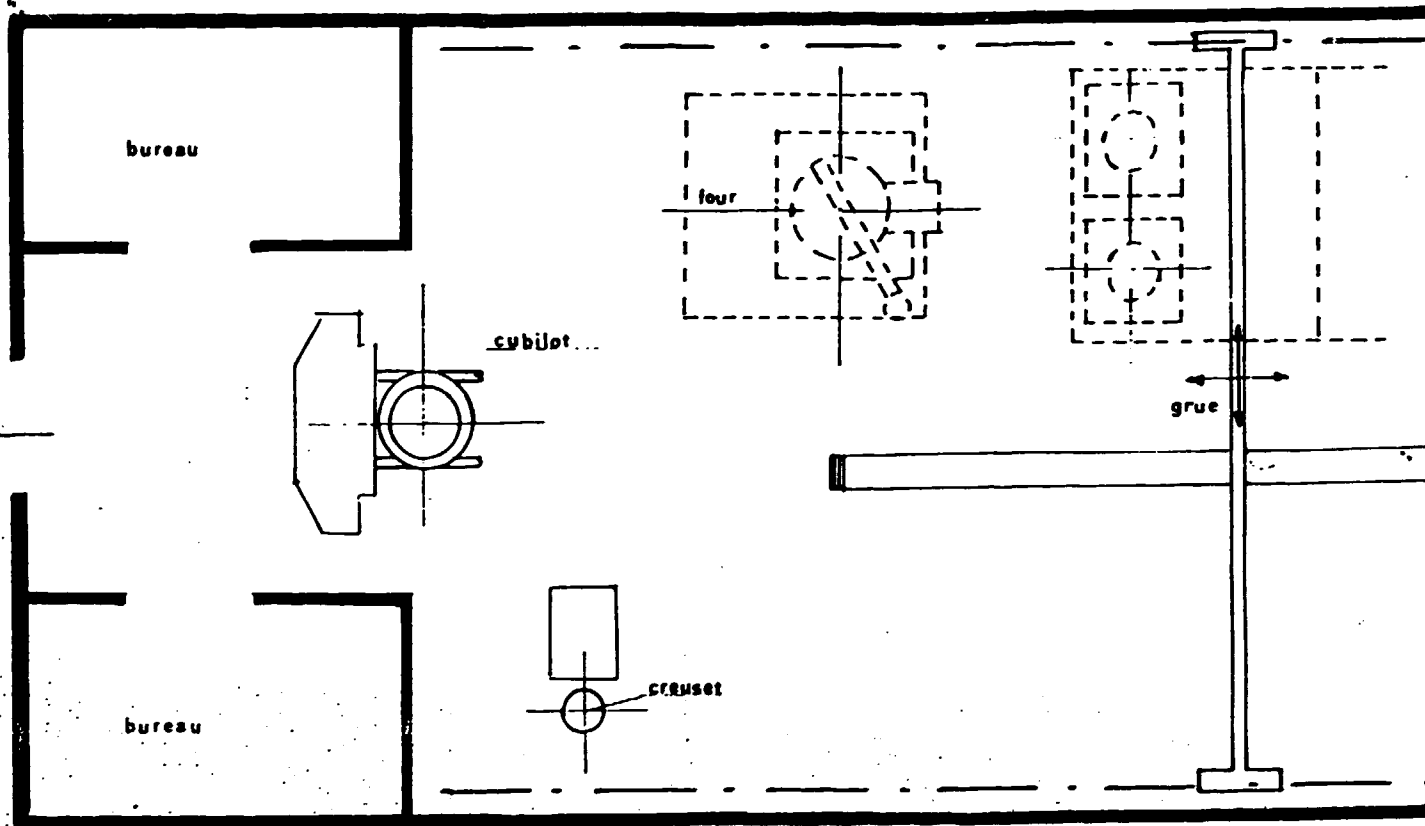


Atelier fonderie SIRANALA

echelle 1:200

PLAN "A" SITUATION ACTUELLE

~ 34.60 mt

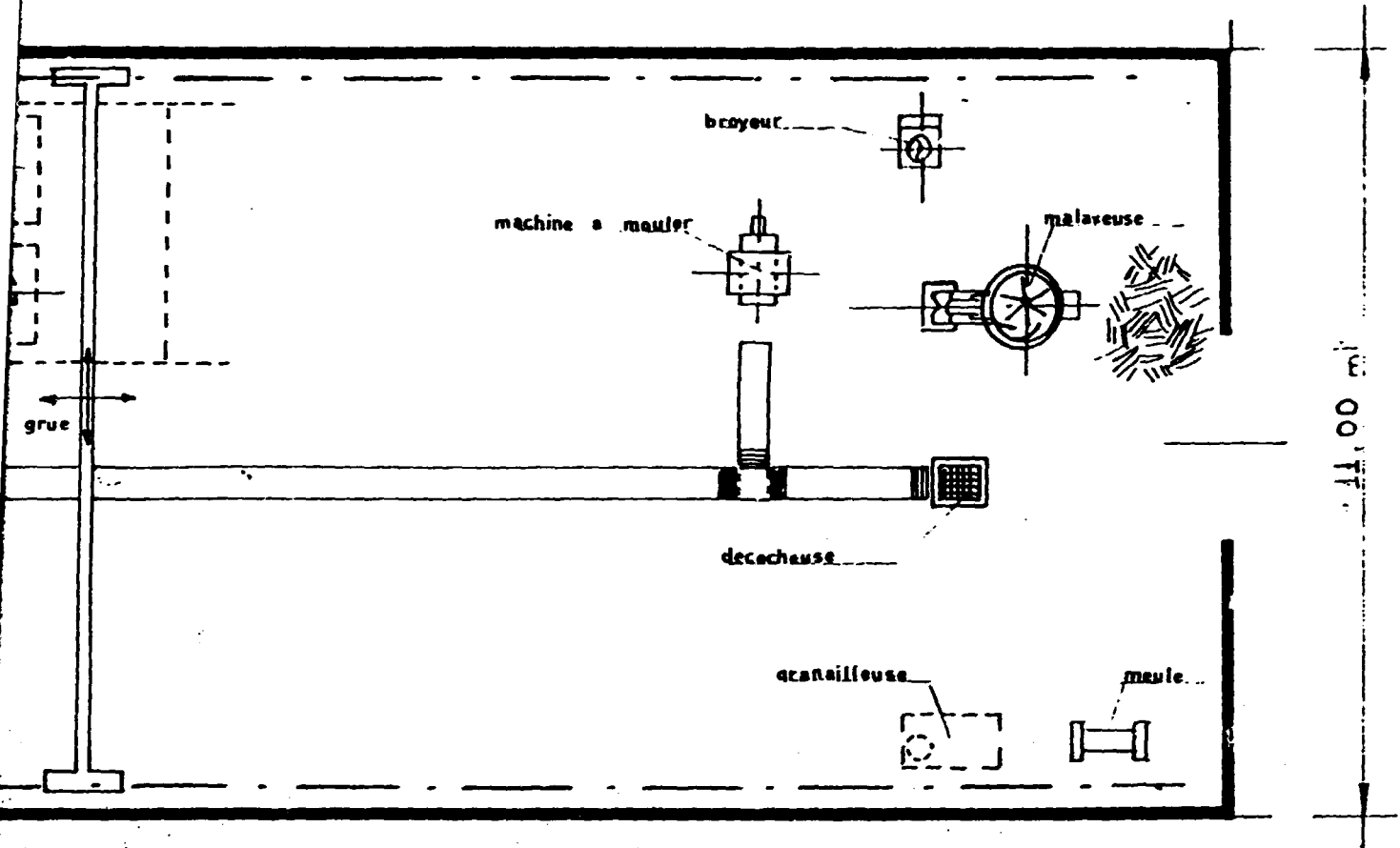


PLAN "B"

NOUVEAU ARRANGEMENT ENVISAGE

SECTION 1

.60 mt

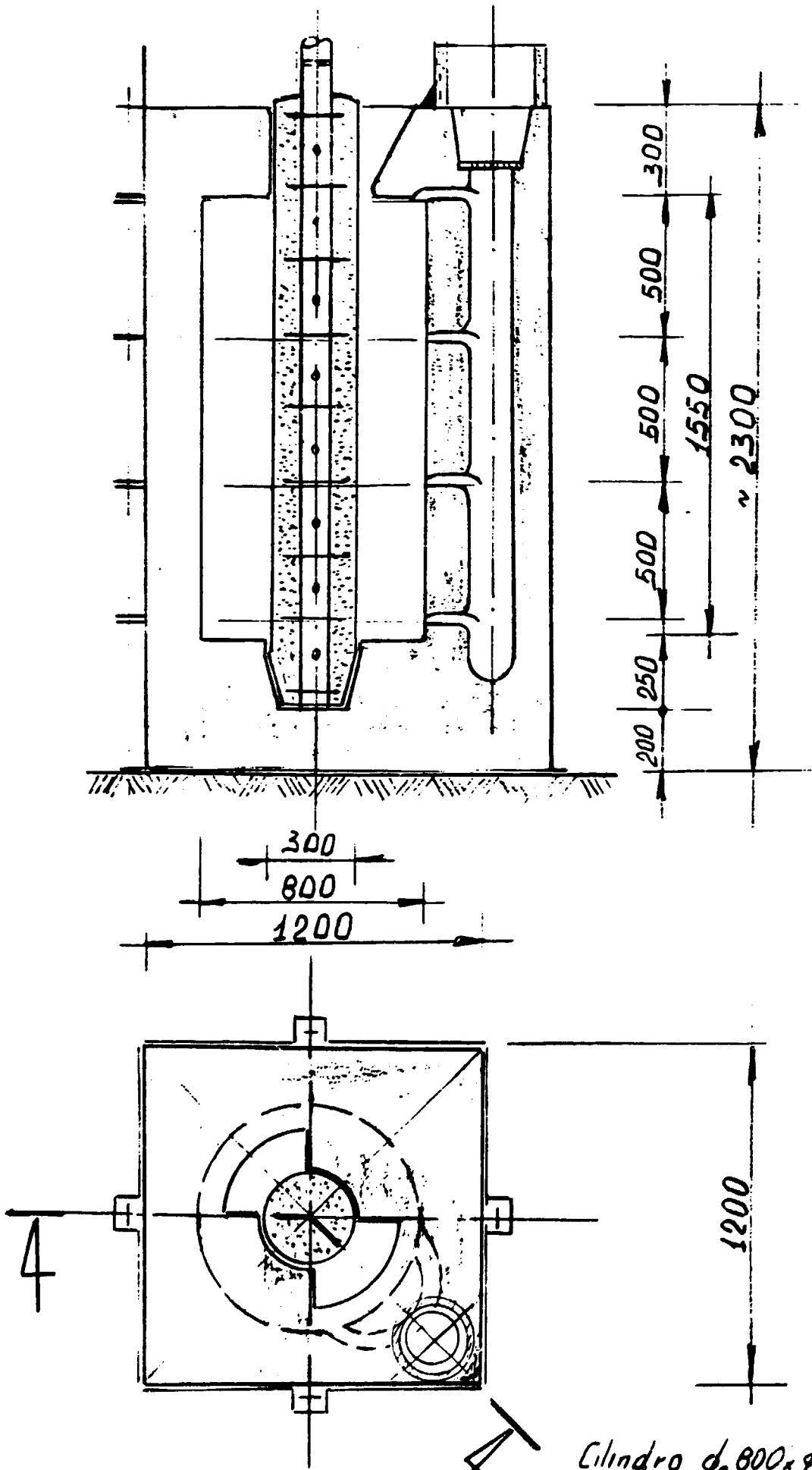


fonderie **SIRANALA**

echelle : 1 : 100

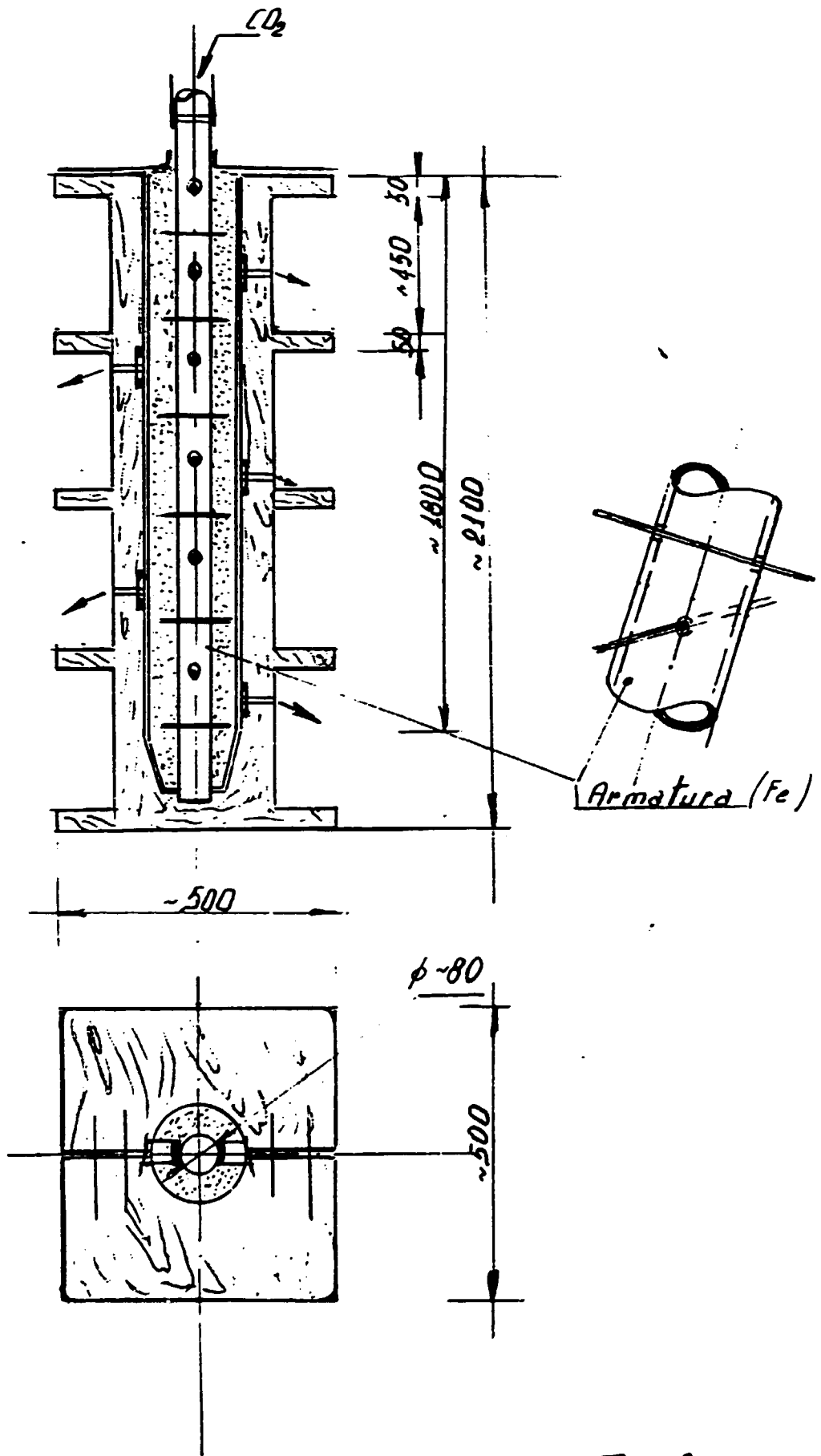
SECTION .2

S A G E



Cilindro ϕ 800 x ϕ 300 x L 1550

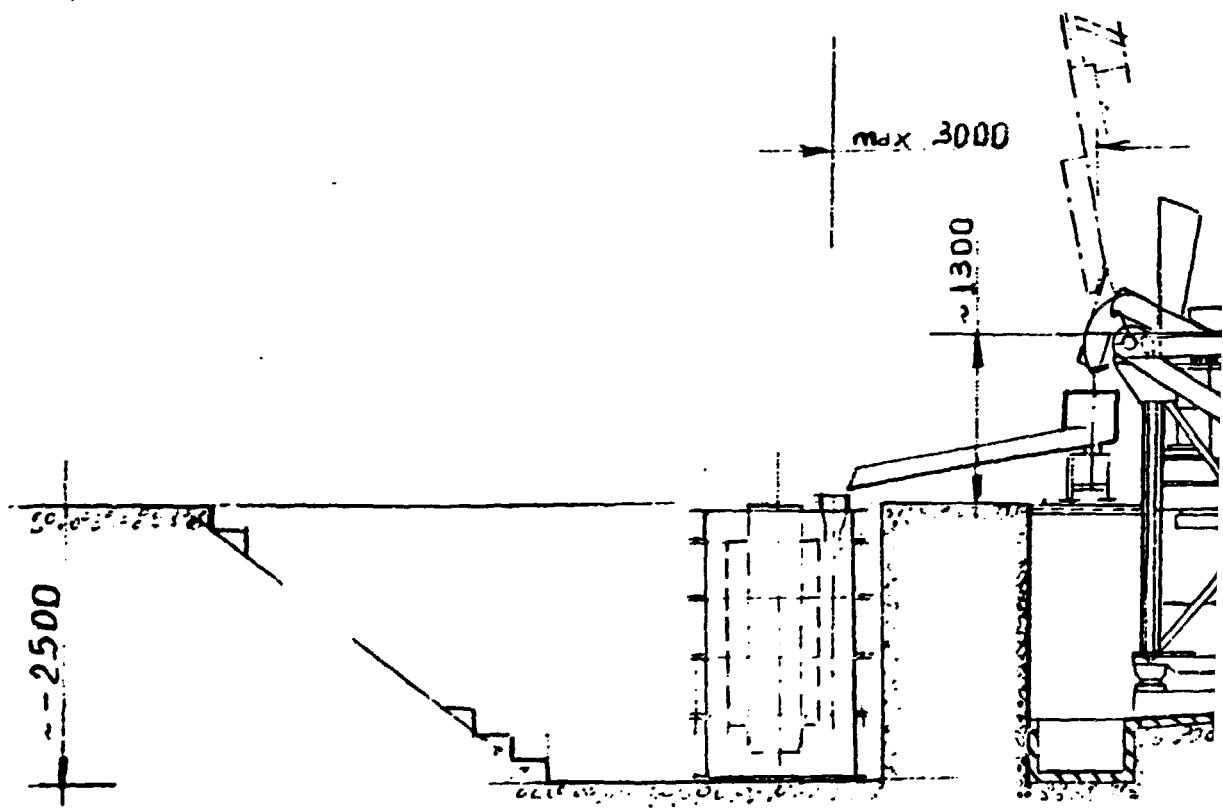
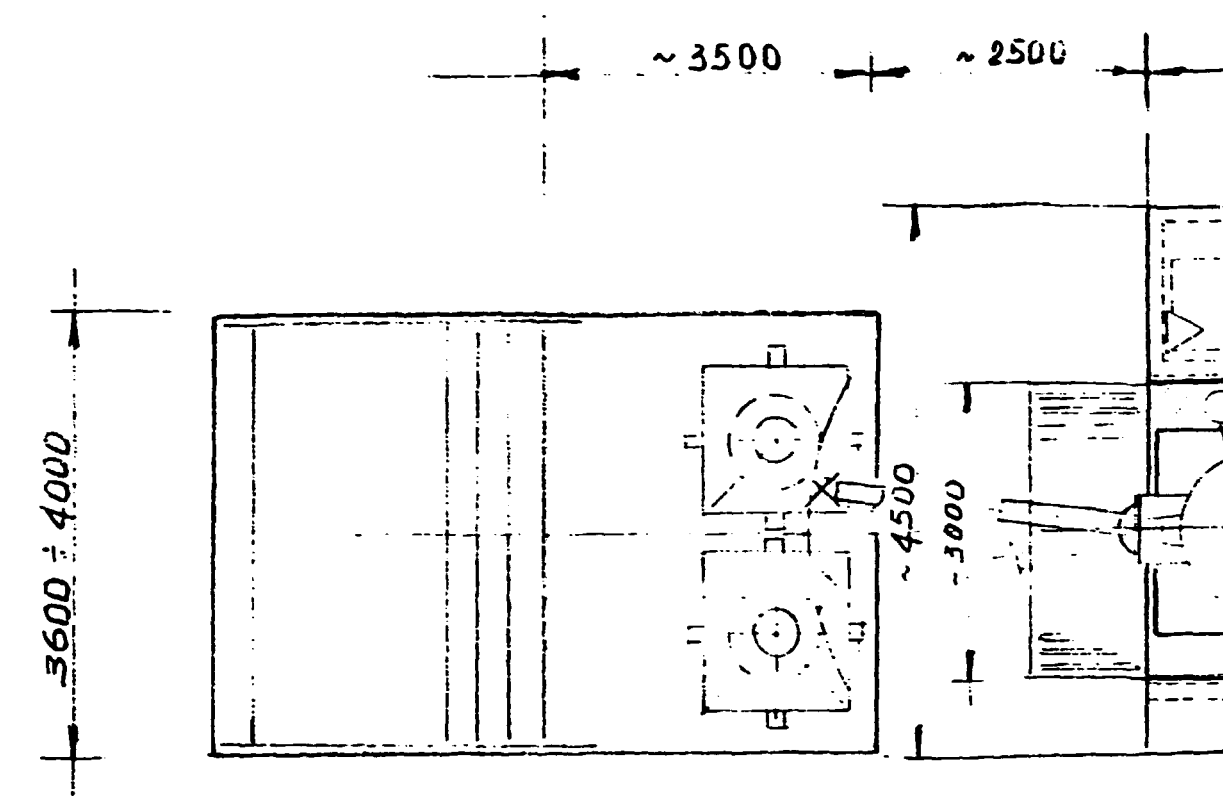
Tav. 2 : Schema di formatura



PLAN "D"

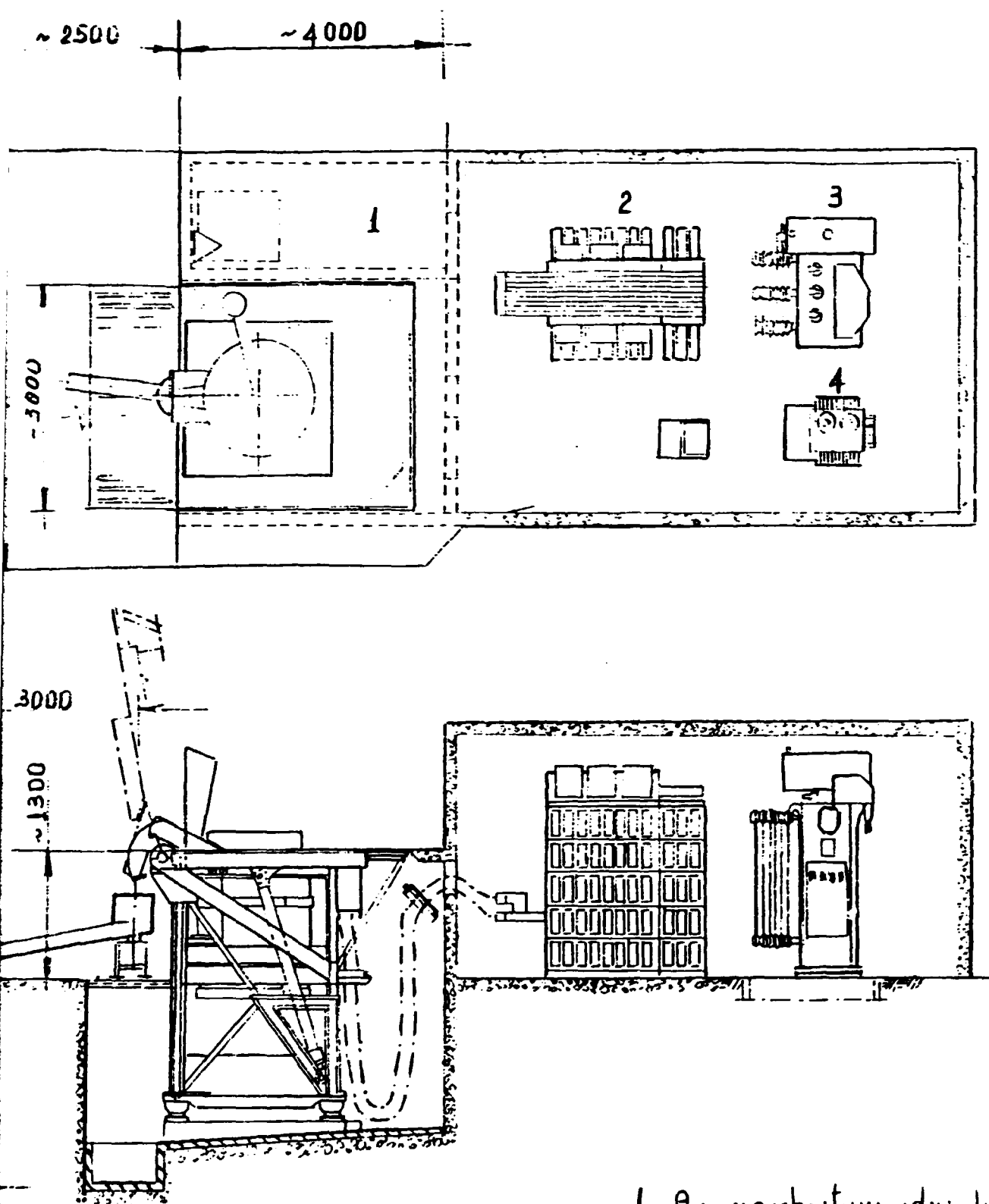
Tav. 3

Preparazione animad



SECTION 1

PLAN "E"



SECTION .2

- 1 Apparecchiatura idraulica
- 2 Batteria condensatori
- 3 Trasformatore
- 4 Reattore

Tav. 4: Schema installazione forno 8 tons e colata

ANNEXE 3

PRECIS DE FONDERIE

PRINCIPES FONDAMENTAUX (1/1)

1. DÉFINITION

La fonderie permet la réalisation de pièces mécaniques par remplissage d'une empreinte (1) avec un alliage métallique en fusion.

L'empreinte est conçue pour donner après solidification et refroidissement de l'alliage, une pièce dont la forme, les dimensions, l'état de surface, la compacité et les caractéristiques sont définies par un cahier des charges.

2. POSSIBILITÉS TECHNIQUES

- réalisation de l'empreinte selon des procédés de moulage dont le choix dépend principalement des paramètres :
 - alliage coulé,
 - forme de la pièce, dimensions, état de surface, précision,
 - série à fabriquer,
 - caractéristiques de la pièce en service,
 - prix de revient,
- conception de pièce remplissant économiquement de nombreuses fonctions,
- obtention de formes de pièces difficilement réalisables avec d'autres techniques,
- mise en œuvre d'alliages très variés, adaptés aux caractéristiques à obtenir, et parfois difficilement utilisables avec d'autres techniques,
- courts délais de fabrication, faible coût de production pour réaliser des pièces unitaires ou en petite série,
- mécanisation et automatisation de la production en série.

3. RÉALISATION DE LA PIÈCE DE FONDERIE

Principales phases de la gamme de fabrication :

3-1. **Élaboration d'un alliage métallique**, dans des fours de fusion, à partir d'alliages de première fusion (2), d'alliages de récupération recyclés (3), d'additions de produits spécifiques.

3-2. **Conception et fabrication d'un moule** réalisant la cavité de l'empreinte et permettant l'obtention de la pièce (5) après solidification de l'alliage.

Le moule réalisé selon un procédé de moulage, nécessite la mise en œuvre de matériaux de moulage avec des outillages, des matériels et des machines.

On distingue :

3-2-1. **Le moulage en moule permanent** : le moule rigide (le plus souvent métallique) est réalisé en une ou plusieurs parties démontables (4) pour extraire la pièce après solidification et refroidissement de l'alliage coulé dans le moule :

- réalisation de séries de pièces (amortissement de l'outillage et des machines) avec le même moule (5),
- longévité du moule dépendant de la nature de l'alliage injecté ou coulé et du matériau du moule,
- tracé spécifique des pièces : faible épaisseur des parois,
- emploi possible de noyaux en sable dans certains cas.

3-2-2. **Le moulage en moule non permanent** (ou en moule destructible) : le moule réalisé avec des matériaux à structure granulaire (généralement du sable siliceux), comprend une ou plusieurs parties. L'empreinte est faite avec un modèle donnant aux matériaux de moulage tout ou partie des formes de la pièce (4). Un système d'attaque permet le remplissage de l'empreinte et un système d'alimentation augmente la compacité de la pièce.

L'extraction de la pièce (5) nécessite la destruction du moule, les matériaux du moule étant généralement recyclés :

- emploi d'alliages à haut point de fusion, d'alliages ayant des contractions de solidification et des retraits importants (6),
- réalisation de pièces de grandes dimensions, de formes complexes en production unitaire ou en grande série.

3-3. **Parachèvement** : la pièce extraite du moule porte des appendices de coulée : système d'attaque (conduits de remplissage de l'empreinte) et système d'alimentation (masselottes) que l'on doit enlever :

- par cassage pour les fontes,
- par sciage, découpage ... pour les autres alliages

Les bavures formées par les jets ainsi que les différentes parties du moule sont enlevées par meulage, par découpage ou lors de la phase d'usinage des surfaces de référence.

3-4. **Mise au mille** : masse d'alliage coulé dans un moule pour obtenir 1000 g de pièce parachèvement.

3-5. **Contrôles** : toutes les phases de la fabrication comportent des contrôles.

- contrôle de l'élaboration de l'alliage : matières premières, composition chimique, températures, structures.
- contrôle de fabrication du moule : matériaux de moulage, assemblage des différentes parties du moule.
- contrôle de la qualité de la pièce de fonderie avec des contrôles destructifs : essais sur éprouvettes attenantes à la pièce ou des contrôles non destructifs : ressuage, magnétoscopie, radiographie, ultra-sons...

3-6. **Traitements thermiques**.

Selon l'alliage, le procédé de moulage employé, les caractéristiques à obtenir, la pièce moulée peut suivre des cycles de traitements thermiques :

- amélioration de la stabilité dimensionnelle.
- amélioration des caractéristiques en modifiant les structures de la pièce brute.

Nota : (1) Cavité réalisée avec un ou plusieurs matériaux

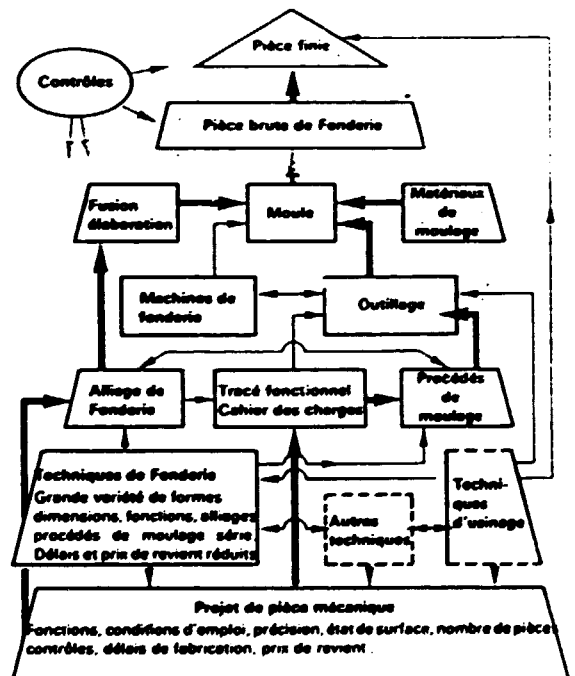
(2) Alliages provenant de la sidérurgie, de l'électrometallurgie

(3) Eventuellement affinés avec recyclage

(4) Les formes intérieures de la pièce sont généralement obtenues avec des noyaux.

(5) L'empreinte du moule peut comporter plusieurs empreintes de la même pièce afin de former une grappe de pièces.

(6) La structure granulaire permet la déformation du moule afin d'éviter les défauts dus à une trop grande rigidité du moule lors de la solidification de l'alliage.



De la conception à la réalisation de la pièce de fonderie

CLASSIFICATION DES PROCÉDÉS DE MOULAGE (1/1)

Type de moulage	Outillage donnant l'impression		Matériau du moule			État du moule	Rigidité	PROCÉDÉS DE MOULAGE ET DE MISE EN ŒUVRE						
			État initial du sable	au contact de l'ouillage	au départ de l'ouillage									
Moulage en moule non permanent	Modèle permanent	Moulage avec modèle simplifié	Outillage Froid	humide	durc	Séché	Rigide	Moulage par centrifugation sur couche de sable						
				humide plastique	Serré	étuvé	Rigide	Moulage par treusage						
		Moulage avec modèle	Outillage Froid	humide	durc	(1)	Rigide	Moulage en sable argileux étuvé						
						liquide		séché (1)	Plastique	Moulage en sable argileux à vert				
				Moulage avec plaque-modèle	Outillage Froid	humide plastique	Serré	inté	Très rigide	Moulage en sable silicate Na-CO ₂				
								humide	Rigide	Moulage en sable avec résines et catalyseur mélangés				
		Moulage avec boîte à noyau	Outillage Froid	humide	durc	(1)	Rigide	Moulage en sable liquide (2)						
								plastique	Serré	étuvé	Rigide	Moulage en moule céramique		
											Sec (3)	Très rigide	Moulage en sable au ciment	
				Chauffé	humide	Serré	étuvé	Rigide	Moulage en sable argileux étuvé					
	Sec							Très rigide	Plastique	Moulage en sable argileux à vert serré sous basse-pression				
									Rigide	Moulage en sable argileux à vert serré sous haute-pression (chasse)				
	Modèle non permanent	éliminé avant la coulée	Outillage Froid	durc	(1)	Rigide	Moulage en sable sans haut et dépression dans le sable							
							liquide	Serré	étuvé	Rigide	Moulage en carapace			
										plastique	Serré	étuvé	Rigide	Noyautage * sable silicate Na-CO ₂
							humide	Serré	étuvé				Rigide	Noyautage * sable avec résines et catalyseur mélangés
													Sec	Très rigide	Noyautage * sable avec résines et catalyseur gazeux
		éliminé à la coulée	Chauffé	durc	(1)	Rigide	Noyautage * céramique							
							liquide	Serré	étuvé	Rigide	Noyautage * sable argileux			
										humide ou liquide	Serré	étuvé	Rigide	Noyautage * sable à l'huile
Sec							Très rigide	Noyautage * procédé boîte chaude						
								Très rigide	Noyautage * carapace					
Moulage de précision à modèle perdu	éliminé à la coulée	durc	inté	Rigide	Moulage avec modèle fragmenté ou brulé avant la coulée									
					Sec (3)	Rigide	Moulage avec modèle gaséifiable (coulée en moule plein)							
Moulage en moule permanent	Régulation thermique du moule				Très rigide et structure compacte	Moulage avec matériaux ferro-magnétique et champs magnétique								
						Métal - graphite Noyau sable possible	Moulage par gravité							
						Métal	Moulage sous basse-pression							
						Métal - Graphite	Moulage sous pression chambre froide							
							Moulage sous pression chambre chaude							
	Moulage par centrifugation													
	Moulage par coulée continue													

* Les procédés de noyautage sont des procédés de moulage par le type de machine mettant en œuvre ces différents procédés.

(1) La réaction chimique de durcissement peut se prolonger dans le temps (progression vers l'intérieur du sable).

(2) Y compris moulage en moule en plâtre et procédé de mise en œuvre en phase liquide.

(3) Composée uniquement de sable ou de particules granulaires sans liant.

ALLIAGES DE FONDERIE (1/21)

GÉNÉRALITÉS (1/1)

1. ALLIAGE

On appelle **alliage** d'un métal donné un **alliage métallique** contenant au moins 50 % de ce métal. Le métal de base est celui dont la teneur est la plus forte (elle peut être inférieure à 50 % dans les alliages complexes).

Les éléments d'addition sont les métaux et les métalloïdes autres que le métal de base ajoutés afin d'en modifier les propriétés. Les autres éléments sont appelés **impuretés** (1).

2. STRUCTURES DE SOLIDIFICATION

— Les phénomènes de solidification des alliages de fonderie sont très complexes de par le nombre des composants et le changement d'état après la coulée dans le moule.

— Bien que les mécanismes de la solidification soient souvent théoriques et simplifiés, ce phénomène est fondamental pour les caractéristiques ultérieures de la pièce de fonderie.

— La structure finale de l'alliage solidifié et refroidi dans le moule dépend de la composition chimique et des conditions d'élaboration de l'alliage, des formes de la pièce (tracé), de ses conditions de refroidissement (2).

— Les éventuels traitements thermiques opérés sur la pièce moulée n'agissant que sur des transformations à l'état solide avec une cinétique basée sur la diffusion (3).

3. CONSTITUANTS

Durant la solidification différents constituants peuvent se former, selon la nature de l'alliage (composition chimique et teneurs) et les conditions de refroidissement

— **solution solide** : partie homogène formée par des composants dont l'un conserve son réseau cristallin (plus ou moins distordu par les composants) ; température de début de solidification différente de la température de fin de solidification. Ex. : l'austénite

— **composé défini** : combinaison chimique de différents corps simples, se solidifie à température constante, la quantité et la répartition (réseau ou cristaux isolés) influent sur les caractéristiques mécaniques : généralement cristaux durs et fragiles.

Exemples : Fe_3C , Fe_3P , Al_2Cu , Mg_2Si , Cu_3Sn .

— **eutectique** : agrégat très fin de deux constituants solidifiés en alternance (structure généralement lamellaire) ; se solidifie à température constante (inférieure à la température de solidification de chacun des constituants).

Il peut être composé de

• 2 corps simples

• 1 solution solide et un composé défini : Fe_3C et austénite formant à 1130°C un eutectique à 4,3 % C.

• 1 solution solide et un corps simple : Al-Si à 11,3 % Si

• 2 solutions solides

— Lorsque les métaux ne sont pas totalement miscibles (cupro-plomb) un brassage suivi d'une coulée et un refroidissement drastique dans un moule métallique permet d'obtenir un mélange homogène.

4. GERMINATION

— Dans chaque zone d'alliage liquide à gradient de température important (refroidissement de l'alliage), une cristallisation débute autour d'un germe (d'origine encore mal connue) dont la croissance dendritique s'effectue en solidifiant progressivement l'alliage liquide l'entourant (constitution de l'édifice cristallin)

— le nombre de centres de germination varie avec la vitesse de refroidissement et en raison inverse de la surchauffe (4) (phénomène lié à la surfusion de l'alliage)

— Des additions à l'état liquide peuvent modifier notablement le nombre et la nature des germes (5)

5. SOLIDIFICATION

Le processus se poursuit à partir de chaque centre de germination au détriment de l'alliage liquide, qui, arrivé au voisinage de la température de solidification se trouve confiné dans les zones entre les dendrites qui s'enchevêtrent (espace interdendritique).

A ce stade ultime de la solidification, les dendrites limitent leur croissance par les interfaces ou se trouvent rejetés les éléments ne pouvant s'intégrer au réseau cristallin : inclusions, impuretés, composés définis ou eutectiques à l'état liquide, se solidifiant ultérieurement (6).

Les interfaces forment les limites des grains.

6. DIMENSIONS DU GRAIN

L'obtention de caractéristiques mécaniques maximales conduit à rechercher des grains de petite taille (grains fins). Dans un volume donné, plus les centres de germination seront nombreux et plus les dendrites se limiteront mutuellement sur une courte distance (7).

7. REFROIDISSEMENT À L'ÉTAT SOLIDE

Durant la phase de refroidissement de la pièce solidifiée dans le moule, la plupart des alliages de fonderie (ferreux, cuivreux, alliages d'aluminium...) subissent des transformations à l'état solide jusqu'à une température située au-dessus de la température ambiante : obtention de structures brutes de coulée (sans recours aux traitements thermiques).

Ces transformations suivent les lois de la diffusion à l'état solide (cinétique de diffusion) :

— variation de solubilité des constituants formés (8)

— formation d'un eutectode : agrégat très fin formé à l'état solide à partir de deux constituants, il se forme à température constante. Structure généralement lamellaire (9).

8. TRAITEMENTS THERMIQUES

— L'application de cycles thermiques appropriés aux pièces de fonderie parachèvement permet d'obtenir des propriétés particulières (intéressant tout ou partie des pièces) que l'on ne peut pas obtenir brutes de coulée

— L'établissement des gammes de traitements thermiques est issu principalement de la connaissance des diagrammes d'équilibre, de transformations continues et isothermes ainsi que de l'expérience acquise pour un alliage de composition chimique et un type de pièce connus.

9. CONTROLES

- Contrôles d'élaboration de l'alliage.
- Contrôles à l'état liquide avant coulée.
- Contrôle de l'alliage de la pièce.

(1) Les alliages métalliques sont une des familles constituant les matériaux employés en construction mécanique. Par la suite le terme matériau désignera des éléments formant le moule, la pièce moulée étant réalisée avec un alliage métallique

(2) Ces connaissances sont issues de la mesure : analyse chimique, analyse thermique thermovision infra-rouge du moule... ou bien sont empiriques

(3) Toutefois pour certains alliages ces traitements modifient profondément les caractéristiques mécaniques :

— trempe des alliages ferreux

— traitements de malléabilisation des fontes blanches par contre les dimensions et la forme du graphite dans les fontes à graphite sont très peu affectées par des traitements thermiques : c'est à la solidification qu'elles ont été fixées

(4) Intervalle de température entre la température de coulée et la température de fin de fusion de l'alliage.

(5) — Inoculation des fontes à graphite lamellaire et sphéroïdal

— traitement de sphéroïdisation de la fonte

— modification des alliages aluminium-silicium.

(6) Dans les fontes phosphoreuses l'eutectique ternaire Fe_3P , Fe_3C , Fe (steadite) ne se solidifie qu'à 950°C, le reste de l'alliage étant totalement solidifié à 1100°C

(7) Pour un volume d'alliage donné, la surface totale des interfaces est augmentée avec le nombre de grains : les impuretés (dont la quantité n'a pas changé) sont désamies et présentent moins de solution de continuité : les caractéristiques mécaniques sont améliorées

(8) Entraîne des précipitations (formation secondaire) sur des constituants (formation primaire)

(9) Exemple : Perle pour les fontes : alternance de lamelle de ferite (solution solide de fer et de carbone) et de cémentite (composé défini Fe_3C)

ALLIAGES DE FONDERIE (2/21)

PROPRIÉTÉS DE FONDERIE (1/2)

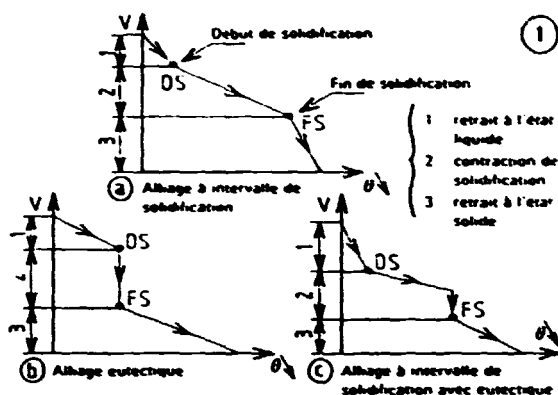
1. GÉNÉRALITÉS

- Particularités des alliages de fonderie :
- élaboration ou fusion pour atteindre l'état liquide.
 - solidification dans le moule.
 - refroidissement dans le moule.

Dans ce processus de double changement d'état physique solide-liquide-solide suivi d'un refroidissement, de nombreux phénomènes interviennent, principalement chimiques, physiques, thermiques. Ces phénomènes conditionnent les moyens à mettre en œuvre pour obtenir une pièce de fonderie dont la qualité est conforme au cahier des charges.

2. ÉLABORATION DE L'ALLIAGE

- choix des composants en fonction des propriétés à obtenir, ou fusion de lingots d'alliage défini (1).
- règles de fusion et matériel spécifiques à chaque alliage.
- éventuellement traitements à l'état liquide par addition de très faible pourcentage d'éléments afin de modifier la structure de l'alliage à la solidification :
 - traitement de modification des alliages aluminium-silicium.
 - traitement d'inoculation et de sphéroïdisation des fontes.



Variation volumique des alliages après la coulée dans le moule (refroidissement)

3. COULABILITÉ

3-1. Aptitude de l'alliage de fonderie à remplir l'empreinte du moule (2).

Dépend des paramètres :

- nature de l'alliage : propriétés thermiques, composition chimique, viscosité, tension superficielle, intervalle de solidification (variation inverse).
- température de surchauffe (3) (variation de même sens).
- nature et température du moule (4).

3-2. Essai de coulabilité.

Différents essais avec des moules-éprovettes comparent soit des longueurs ou des hauteurs de canaux de section constante remplis par l'alliage, soit des propriétés physiques : viscosité, tension superficielle.

4. PHÉNOMÈNES SUIVANT LA COULÉE DU MOULE

Ils sont mis en évidence par des méthodes d'analyse thermique, des essais non destructifs ou destructifs et sont déterminants pour la qualité de la pièce.

4-1. Refroidissement à l'état liquide.

Une surchauffe de l'alliage assure le remplissage de l'empreinte en tenant compte des pertes thermiques durant le transfert depuis le lieu d'élaboration et la coulée (4).

- retraits de l'alliage à l'état liquide : diminution de volume pendant toute la durée du refroidissement de l'alliage liquide jusqu'à la fin de la solidification (5).

4-2. Solidification.

- Solidification à température constante pour les métaux purs et les eutectiques, avec un intervalle de solidification pour les autres alliages.
- Chaleur latente de solidification devant être dissipée dans le moule.

- contraction de solidification : l'arrangement du réseau cristallin entraîne une diminution de volume de l'alliage (5) se solidifiant.

anomalies : le bismuth subit une expansion la germination du graphite dans les fontes compensent en partie la contraction de solidification.

valeurs (*) prises en compte pour réaliser l'ouillage du moule :			
valeurs (*) prises en compte pour réaliser les systèmes d'alimentation en alliage liquide :		(2)	
ALLIAGES	Retrait à l'état liquide + contraction de solidification (%)	(2) - pourcentage de retrait à l'état solide (%)	
Alliages d'aluminium	Alliages Al-Cu	7 à 8	1,2 à 1,4
	Alliages Al-Mg	7 à 8	1,2 à 1,4
	Alliages Al-Si	(e) 3,5 à 5	1,1 à 1,3
	Alliages Al-Zn	8	1,5
Alliages de cuivre	Cupro-Aluminiums	4	1,8
	Bronzes (a)	4,5	1,2 à 1,4
	Laitons (b)	6,5	1,5
	Laitons haute résistance	7,5	1,7
Alliages ferreux	Aciers moulés non alliés	(e) 5 à 7	2 à 2,4
	Aciers moulés alliés	7 à 10	2,2 à 2,4
	Fontes G.L.	(c) (e) 0,5 à 3	0,5 à 1,2
	Fontes G.S.	(d) (e) 3 à 6	1 à 1,7
	Fontes alliés	(e) 6 à 8	1,5 à 2
Alliages de magnésium	4	5	
Alliages de zinc	5	0,4 à 0,5	

(a) cupro-stano (b) cupro-zinc (c) graphite lamellaire (d) graphite sphéroïdal (e) selon la composition chimique (*) valeurs moyennes

- (1) Lots de lingots livrés avec une analyse chimique.
- (2) Pour un alliage donné, il faut que le tracé de la pièce (épaisseurs, dimensions, formes) et la conception du moule (système d'attaque, d'alimentation) permette ce remplissage.
- (3) Intervalle de température au-dessous de la température de fin de fusion de l'alliage.
- (4) En coulée sous pression, la surchauffe est faible, la pression continue au remplissage de l'empreinte et à son alimentation.
- (5) La conception du moule doit permettre une alimentation en alliage liquide pour combler le déficit volumique.

ALLIAGES DE FONDERIE (3/21)

PROPRIÉTÉS DE FONDERIE (2/2)

4-3. Retassure (fig. 1 et 2).

Cavité se formant à l'extérieur ou à l'intérieur des pièces durant la phase de solidification. Ne se produit que si aucun système d'alimentation en alliage liquide ne vient combler le déficit volumique ou s'il est insuffisant.

Elle est due aux effets conjugués du retrait à l'état liquide et de la contraction de solidification de l'alliage.

On distingue :

- retassure globale : localisée dans des zones peu nombreuses à l'extérieur ou à l'intérieur de la pièce.
- retassure intercrystalline (ou microretassure) : les centres de cristallisation croissant au sein de l'alliage gênent l'alimentation des zones liquides intercrystallines isolées, qui présenteront chacune, un déficit volumique élémentaire à la fin de la solidification.

Ces microretassures seront d'autant plus petites et plus nombreuses que la vitesse de solidification de l'alliage sera grande (augmentation du nombre de centres de cristallisation). La dissémination des microretassures dans l'alliage augmente les caractéristiques mécaniques coulée en moule métallique ou sur refroidisseurs.

- Facteurs favorisant la retassure
 - importance de la surchauffe, de la vitesse de coulée,
 - retrait à l'état liquide,
 - contraction de solidification,
 - intervalle de solidification (fig. 1 a),
 - anisotropie de refroidissement de la pièce (fig. 2).
- Suppression ou limitation de la retassure

La qualité de la pièce moulée nécessite une compacité maximale : elle est obtenue en orientant la solidification de l'alliage vers un système d'alimentation en alliage liquide prolongent les formes de la pièce à alimenter (masselotte p. 69 et fig.) et en modifiant l'anisotropie de refroidissement de la pièce (refroidisseur p. 69).

4-4. Crique (fig. 3).

Fissure se produisant dans des zones en cours de solidification, entourées de zones solidifiées effectuant un retrait à l'état solide (voir § 4-7), ce retrait produit un déplacement des zones en cours de solidification entraînant la décohésion (retrait gêné).

Elle peut être interne ou déboucher en surface. Elle est associée à la retassure et dépend de l'alliage (fig. 3, p. 3). Un tracé de pièce (p. 24) et une conception de moule judicieux (p. 68), évitent les criques.

4-5. Soufflure.

Cavité formée dans l'alliage en cours de solidification, due à des gaz provenant :

- soit du moule lors de la réaction moule-alliage à la coulée,
- soit de gaz dissous dans l'alliage élaboré (origine des charges, mode de fusion), la solubilité des gaz diminuant lors du refroidissement.

Le choix des charges, des règles de fusion et la bonne conception du moule évitent les soufflures.

4-6. Ségrégation.

Hétérogénéité chimique se produisant à la solidification. D'origine métallurgique, variation des solubilités des différents composants des alliages, inclusions insolubles, elle dépend des alliages, des conditions d'élaboration, des conditions de remplissage de l'empreinte (turbulences).

Selon les alliages :

- l'agitation du bain d'alliage avant coulée, les règles de fusion, la conception du système d'attaque réduisent la ségrégation.
- graphite des fontes facilitant l'usinage,
- alliages de frottement biphasés.

4-7. Retrait à l'état solide (valeurs numériques p. 4).

Diminution de volume pendant le refroidissement de l'alliage depuis la fin de la solidification jusqu'à la température ambiante.

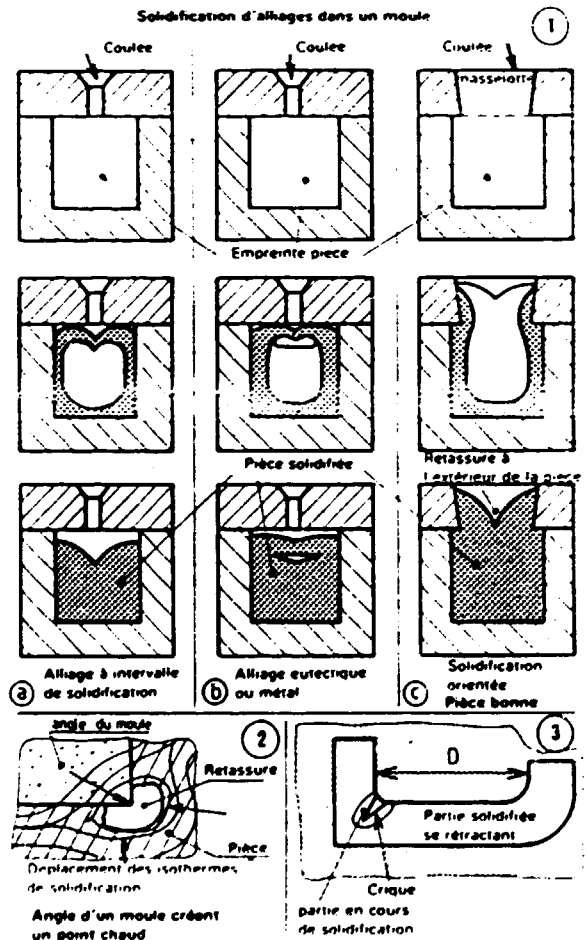
L'anisotropie de la pièce qui se refroidit, les variations dimensionnelles plus ou moins limitées par la structure de moule (retrait gêné) rendent complexes les évaluations du retrait à prendre en compte pour réaliser une empreinte (dépend de l'alliage, du tracé de la pièce, de la conception du moule p. 68).

4-8. Structures brutes de coulée.

Elles sont observées (micrographie, microscopie électronique...) dans l'alliage à la température ambiante et dépendent

- de la nature de l'alliage et son élaboration (composition chimique, influence d'éléments en faible teneur, traitements à l'état liquide).
- du tracé de la pièce (dimensions, épaisseurs).
- de la conception du moule (vitesse de refroidissement).

4-9. Contraintes résiduelles : Le retrait gêné et l'anisotropie de refroidissement de la pièce de fondene créent des contraintes internes. Selon leur intensité elles déforment la pièce ou créent des ruptures (tracé p. 24). Un traitement thermique de stabilisation limite l'évolution des déformations lors des phases d'usinage de la pièce ou pendant sa durée de service.



ALLIAGES DE FONDERIE (4/21)

DÉSIGNATION (1/3)

NF A 02-005, A 32-051, 054

1. ACIERS MOULÉS

Les aciers moulés, alliés ou non alliés, se distinguant des mêmes aciers corroyés par l'adjonction, à la droite de leur symbole, de la lettre M précédée d'un tiret : - M.

1-1. Aciers moulés d'usage général (NF A 32-051)

Les nuances d'aciers moulés d'usage général sont classées selon les valeurs minimales associées de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction et suivant des indices.

- le premier chiffre désigne la limite d'élasticité minimale, exprimée en MPa ;
- le deuxième chiffre désigne la résistance minimale à la traction, exprimée en MPa ;
- la lettre M précédée d'un tiret indique qu'il s'agit de produits moulés, selon la norme NF A 02-005.

Pour chaque nuance, la qualité est assortie d'un indice correspondant aux caractéristiques garanties suivantes :

- Indice 1 : caractéristiques définies par l'essai de traction : R_m , R_{el} , A % ; Z % ;
- Indice 2 : caractéristiques identiques à celles de la qualité 1, plus composition chimique ;
- Indice 3 : caractéristiques identiques à celles de la qualité 2, plus résilience KV à la température ambiante ;

Exemple de désignation : Acier moulé de la nuance 280-480 - M d'indice 2 : 280 - 480 - M 2.

1-2. Aciers moulés de construction non alliés et faiblement alliés aptes aux traitements thermiques NF A 02-005 NF A 32-054

1-2-1. Aciers moulés non alliés.

Aciers qui sont en principe destinés à n'être utilisés qu'après avoir subi un traitement thermique, ayant pour but de leur donner, avec une certaine structure, des caractéristiques précises correspondant à leurs conditions d'emploi.

Ils sont livrés avec garantie de régularité de réponse aux traitements thermiques.

La désignation de ces aciers est basée sur la teneur en carbone.

Série XC :

Aciers dont l'étendue de la teneur en carbone est étroite pour chaque nuance et dont les teneurs maximales en soufre et en phosphore sont réduites, en vue de la fabrication de pièces de qualité particulière.

- symbole XC suivi
- un nombre égal à 100 fois la teneur moyenne centésimale en carbone.
- éventuellement la lettre S impliquant une garantie de soudabilité.
- éventuellement, un groupe de lettre spécifiant l'emploi de l'acier.
- la lettre M précédée d'un tiret.

Exemple : XC 42-TS - M : acier moulé à 0,42 % C pour trempé superficielle.

1-2-2. Aciers moulés alliés.

Est considéré comme acier allié, tout acier qui comporte au moins une addition d'élément d'alliage dont la teneur limite à prendre en considération (voir § 1-2-2-1), est égale ou supérieure à la teneur limite indiquée au tableau 1 p. 8 pour l'élément considéré.

1-2-2-1. Teneurs à prendre en considération.

Les teneurs doivent être exprimées avec le même nombre de décimales que celui qui est indiqué au tableau 1.

Pour les éléments définis par une fourchette il faut considérer la valeur minimale de cette fourchette.

Pour les éléments définis par une valeur minimale il faut considérer cette valeur minimale.

Pour les éléments définis par une valeur maximale il faut considérer 70 % de cette valeur, sauf pour le manganèse pour lequel il faut considérer une limite de 1,80 %.

1-2-2-2. Aciers dont aucun élément d'alliage ne dépasse la proportion de 5 % en masse.

Leur désignation comprend généralement :
- la teneur en carbone en pourcentage multipliée par 100. C'est un groupe de 1, 2 ou 3 chiffres qui forme l'en-tête de la désignation ;

- une suite de lettres qui rappelle le ou les éléments d'addition principaux, ceux qui confèrent à l'acier ses propriétés particulières (voir tableau 5, p. 8). Ces symboles sont rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes et, en cas d'égalité de teneurs, dans l'ordre alphabétique ;

- un ou deux nombres (rarement trois) à un ou deux chiffres chacun (les groupes suivant le premier ont toujours deux chiffres dont au besoin un zéro initial). Ils rappellent les teneurs des éléments les plus importants par leur action. Ces nombres sont égaux aux teneurs en % correspondantes, multipliées par les coefficients 4 ou 10 suivant l'élément. Ils sont rangés dans le même ordre que les symboles du groupe précédent (tableau 2, p. 8).

- la lettre majuscule S dans le cas où l'acier peut être considéré comme soudable à lui-même par les procédés usuels de soudure autogène ou à l'arc électrique, compte tenu des précautions classiques dans la technique du soudage.

Exemple : 32 NCD 14 - M : acier moulé faiblement allié : C : 0,3 - 0,35, Si \leq 0,6, M \leq 0,8 ; S \leq 0,035, P \leq 0,04, N : 3-4, Cr : 0,8 - 1,2, Mn : 0,3 - 0,6.

1-2-2-3. Aciers dont un élément d'addition au moins dépasse 5 % en masse.

Leur désignation abrégée comprend :

- la lettre initiale Z qui rappelle la règle appliquée à la formation des groupes de nombres du paragraphe ci-après ;
- la teneur en carbone en pourcentage multipliée par 100 ;
- le ou les symboles des éléments d'alliage présents classés dans l'ordre décroissant des teneurs ;
- un ou des groupes de nombres de deux chiffres qui sont égaux aux teneurs moyennes % en ces éléments, classées dans l'ordre des symboles en lettres précédents (en général un ou deux groupes, exceptionnellement trois).

Exemple : Un acier moulé, austénitique au manganèse, dont la teneur en carbone est comprise entre 1,0 et 1,45 % et dont la teneur en manganèse est comprise entre 11,0 et 14,5 % est désigné par : Z 120 M 12 - M.

1-3. Alliages apparentés aux aciers.

Certains alliages forment le prolongement naturel de certaines familles d'acier (la teneur en fer n'est pas prépondérante).

On écrit : successivement :
- le symbole, toujours suivi d'un tiret, de l'élément de base (celui qui est prépondérant en masse) ;

- des groupes composés de lettres et de chiffres représentant chaque élément présent par son symbole abrégé (voir tableau 5) suivi de sa teneur en centièmes pour cent, si l'élément est fondamental ; ou, au contraire, seulement par le symbole de l'élément sans indication de teneur lorsque celle-ci est faible tout en ayant une influence marquée sur le comportement du produit ;

- lorsque la teneur en carbone doit être précisée, elle est donnée par un nombre égal à 100 fois sa teneur en pourcentage et située après le tiret, mais avant les groupes précédents.

Exemple : alliage de nickel : Ni : 45 %, Cr : 22 %, Mn : 9 %, C : 0,8 %, présence de Co, et W (Fe reste \approx 22 %) N-08 C 22 Fe 22 09 KW.

ALLIAGES DE FONDERIE (5/21)

DESIGNATION (2/3)

NF A 02-0000 A32-101, 201, 301, 401, 701, 702

2. FONTES

2-1. Fontes non alliées.

Fontes qui n'ont pas été l'objet d'addition intentionnelle d'éléments d'alliage et dont les éléments ont des teneurs inférieures à celles du tableau 4 p. 8.

2-1.1. Fontes à graphite lamellaire (NF A 32-101).

Les fontes non alliées à graphite lamellaire (1) sont désignées par le symbole Ft (fonte-traction) suivi

- du nombre représentant leur résistance minimale à la traction en MPa
- d'une lettre indiquant le type d'éprouvette choisi (cette indication doit être obligatoirement portée sur la commande) voir tableau 3 p. 8.

Exemple : Ft 350 C :

Fonte non alliée à graphite lamellaire ayant une résistance minimale à la traction de 350 MPa, déterminée à partir d'une éprouvette brute de \varnothing 20 mm.

2-1-2. Fontes à graphite sphéroïdal (NF A 32-201).

Les fontes non alliées à graphite sphéroïdal sont désignées par le symbole FGS (fonte à graphite sphéroïdal) suivi de 2 groupes de chiffres séparés par un tiret, représentant :

- la valeur minimale de la résistance à la traction MPa
- l'allongement minimal en pour cent.

Exemple : FGS 500-7 :

Fonte non alliée à graphite sphéroïdal ayant une résistance minimale à la traction de 500 MPa et un allongement minimal de 7 %.

2-1.3. Fontes blanches (NF A 32-401).

Chaque qualité est désignée par les lettres FB.

FBO : Fonte blanche non alliée

FBA : Fonte blanche faiblement alliée.

2-2. Fontes alliées (Tableau 4, p. 8).

2-2.1. Fontes austénitiques à graphite lamellaire et à graphite sphéroïdal (NF A 32-301).

- indication symbolique de la forme du graphite, suivi d'un tiret L = graphite lamellaire, S = graphite sphéroïdal

- désignation symbolique abrégée des éléments d'alliage principaux classés par teneur décroissante (tableau 5 p. 8)
- teneur moyenne en pour cent, de ces mêmes éléments classés dans le même ordre que les symboles.

Exemples : L-NUC 15 6 3 : fonte austénitique à graphite lamellaire, 15 % Ni ; 6 % Cu ; 3 % Cr.

2-2.2. Fontes blanches alliées (NF A 32-401).

Chaque qualité est désignée par les lettres FB suivies :

- des symboles chimiques internationaux (tableau 5 page 8) indiquant les éléments d'alliage spéciaux,
- des chiffres indiquant leur teneur moyenne (multipliée par 100).

Le cas échéant la désignation est complétée par HC (haut carbone) ou BC (bas carbone) pour distinguer la nuance de l'alliage dans une même famille.

Exemples :

• FB Ni 4 Cr 2 BC :

Fonte blanche alliée d'une teneur en carbone variant 2,7 à 3,2 %, Ni de 3 à 3,5 %, Cr de 1,5 à 2,5 %.

• FB Ni 4 Cr 2 HC :

Car la teneur en carbone est différente de la précédente \rightarrow C de 3,2 à 3,6 %.

2-3. Fontes malleables.

2-3-1. Malléable à cœur blanc (NF A 32-701) :

- Symbole MB

- 2 groupes de chiffres séparés par un tiret indiquant :

- la résistance à la traction en MPa *
- l'allongement minimal en pour cent **.

Exemple :

• MB 380-12 :

Fonte malléable à cœur blanc de 380 MPa de résistance minimale à la traction, sur une éprouvette de \varnothing 12 (allongement après rupture \geq 12 %).

2-3-2. Malléable à graphite nodulaire ferritique et perlitique (NF A 32-702) :

- Symbole MN

- suite ** identique à § 2-3-1, malléable à cœur blanc.

Exemple :

• MN 380-18 :

Fonte malléable à graphite nodulaire ferritique de 380 MPa de résistance minimale à la traction sur une éprouvette de \varnothing 15 mm (allongement après rupture \geq 18 %).

3. ALUMINIUM, ZINC, MAGNESIUM ET LEURS ALLIAGES (NF A 02-004)

Métal pur : symbole (tableau 5) suivi d'un indice de pureté

Alliage : successivement :

- symbole du métal de base (tableau 5) suivi d'un tiret,
- symbole des éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes ;
- nombre indiquant la teneur de l'élément d'addition placé immédiatement après chaque lettre désignant l'élément.

Exemple : A-S 13 : alliage aluminium à 13 % silicium.

On peut désigner également le mode d'obtention et le traitement thermique éventuel (tableau 6, p. 8).

Exemple : A-U 5 GTY 33 : alliage aluminium à 5 % cuivre (avec un peu de magnésium et de titane < 0,3 %) trempé et revenu.

4. CUIVRE, NICKEL ET LEURS ALLIAGES (NF A 02-009)

Désignation identique au § 3, mais seuls les symboles chimiques internationaux sont utilisés.

Exemple : Cu Pb10 Sn 10 : alliage de cuivre : 10 % Plomb, 10 % Etain, 80 % Cu.

Nota

(1) appelées également fontes grises

* Valeur mesurée sur une éprouvette \varnothing 9 mm, \varnothing 12 mm ou \varnothing 15 mm

** Valeur mesurée sur une éprouvette \varnothing 15 mm

Ces éprouvettes étant côtelées à part et ayant subi le même cycle thermique que la pièce à contrôler

ALLIAGES DE FONDERIE (6/21)

DÉSIGNATION (3/3)

5. TABLEAUX

Éléments d'alliage	Teneurs limites - % ①
Aluminium	0.10
Bismuth	0.10
Bore	0.008
Chrome (1)	0.30
Cobalt	0.10
Cuivre (1)	0.40
Manganèse	1.60
Molybdène (1)	0.08
Nickel (1)	0.30
Niobium (2)	0.05
Plomb	0.40
Sélénium	0.10
Silicium	0.50
Tellure	0.10
Titane (2)	0.05
Tungstène	0.10
Vanadium (2)	0.10
Zirconium (2)	0.05
Lanthanides	0.05
Autres (sauf Carbone, Phosphore, Soufre, Azote et Oxygène)	0.05

(1) Lorsque ces éléments se trouvent en combinaison par deux, trois ou quatre dans l'acier envisagé il y a lieu de considérer simultanément :
- les teneurs limites pour chacun de ces éléments.
- la teneur limite pour l'ensemble de ces éléments prise égale à 70 % de la somme des teneurs limites indiquées pour chacun des deux, trois ou quatre éléments en présence.

(2) La règle ci-dessus s'applique également aux combinaisons de ces éléments.

Les fontes alliées sont celles dont les teneurs en éléments d'alliage dépassent les taux ci-après ②

Silicium : 5 %	Nickel	0.30 %
	Chrome	0.20 %
	Cuivre	0.30 %
	Titane	0.10 %
Manganèse : 1,5 %	Vanadium	0.10 %
	Molybdène	0.10 %
	Aluminium	0.10 %

Toutefois, dans le cas où plusieurs de ces éléments sont présents simultanément, les fontes sont considérées comme alliées lorsque la somme des fractions obtenues en portant comme dénominateur les chiffres ci-dessus et comme numérateur le valeur des teneurs de chaque élément contenu, est supérieure à 1 %. Dans le calcul précité, il n'est pas tenu compte des éléments d'alliage dont la teneur est inférieure ou égale aux teneurs indiquées plus haut.

Éléments d'alliage	Symbole chimique international	Éléments d'alliage	Symbole chimique international
Aluminium	A	Nickel	N
Antimoine	R	Niobium	Nb
Azote	Az	Phosphore	P
Béryllium	Be	Plomb	Pb
Bismuth	Bi	Silicium	Si
Bore	B	Sodium	Na
Cadmium	Cd	Soufre	S
Calcium	Ca	Strontium	Sr
Chrome	C	Tellure	Ta
Cobalt	K	Terrae Rares	TR
Cuivre	U	Titane	Ti
Étain	Sn	Thorium	Th
Fer	Fe	Tungstène	W
Lithium	Li	Vanadium	V
Magnésium	Mg	Zinc	Zn
Manganèse	Mn	Zirconium	Zr
Molybdène	D		

Barreau	Diamètre brut de coulée (mm)	Épaisseur déterminée de la pièce : E (mm) ④
A	9 ⁺¹ ₀	E < 6
B	13 ⁺¹ ₀	6 ≤ E < 9
C	20 ⁺² ₀	9 ≤ E < 13
D	30 ⁺² ₀	13 ≤ E < 22
E	50 ⁺³ ₀	22 ≤ E < 40
S (1)	-	E ≥ 40

(1) Les dimensions du barreau S sont à convenir par accord entre les parties.

Éléments d'alliage	Symbole chimique international	Désignation symbolique alliage	Facteur multiplicateur	Observations ⑤
Aluminium	Al	A	10	Bore. - Le plus souvent, on signale seulement sa présence sans rappeler sa teneur %. Lorsque celle-ci est très supérieure à la proportion courante, il est nécessaire de le rappeler en clair. Exemple : acier à 4 % de bore. Azote. - Lorsqu'une addition d'azote doit figurer à la composition de base elle est signalée par le symbole Az. Les autres éléments chimiques, d'ailleurs rarement utilisés en additions volontaires dans les fontes, sont représentés par leur symbole chimique international.
Bore	B	B	-	
Chrome	Cr	C	4	
Cobalt	Co	K	4	
Cuivre	Cu	U	-	
Magnésium	Mg	G	-	
Manganèse	Mn	M	4	
Molybdène	Mo	D	10	
Nickel	Ni	N	4	
Niobium	Nb	Nb	10	
Plomb	Pb	Pb	10	
Silicium	Si	S	4	
Soufre	S	F	10	
Titane	Ti	T	10	
Tungstène	W	W	10	
Vanadium	V	V	10	

Mode d'obtention	Traitement thermique	⑥	
Non défini	Y0	Aucun traitement ou traitement non spécifié	
Lingot	Y1	Recuit	
Sable	Y2	Trempé	
Technique de fonderie	Coquille	Y3	Trempé et revenu
	Sous-pression	Y4	Trempé et mûri
	Coulée continue	Y7	Stabilisée
Centrifugation	Y8	Trempé et stabilisée	
Suivant prescription	Y9	Suivant prescription	
Y5 et Y6 ne concernent pas le fondé		7 et 8 non attribués	

Exemples de désignation :

- Pièce moulée, coulée en sable trempé et revenu Y 23
- Pièce moulée, sous pression, sans traitement Y 40
- Pièce par centrifugation, avec recuit Y 81

ALLIAGES DE FONDERIE (7/21)

ACIERS MOULÉS (1/5)

NF A 32-051, 052, 053

1. ACIERS MOULÉS D'USAGE GÉNÉRAL (NF A 32 - 051)

DOMAINE D'APPLICATION

S'applique aux pièces moulées en acier d'usage général destinées aux diverses branches de l'industrie et, notamment, de construction mécanique. Ces pièces sont habituellement utilisées à des températures comprises entre la température ambiante et 200 °C.

Nuances	Caractéristiques minimales garanties						A titre indicatif
	Limite d'élasticité (2) R_{eL} MPa min	Résistance à la traction R_m MPa min	A % minimale min	Z % min	KV J min	Durée HBS	
230 - 400 - M 1 230 - 400 - M 2 230 - 400 - M 3	230	400	25	45	- - 35	120 - 165	
280 - 480 - M 1 280 - 480 - M 2 280 - 480 - M 3	280	480	20	30	- - 28	145 - 190	
320 - 560 - M 1 320 - 560 - M 2 320 - 560 - M 3	320	560	15	25	- - 22	165 - 215	
370 - 650 - M 1 370 - 650 - M 2 370 - 650 - M 3	370	650	10	20	- - 16	195 - 240	

(1) Valeurs mesurées à la température de référence 23 °C ± 5 °C.

(2) Si la limite d'élasticité apparente (limite inférieure du palier d'écoulement) est difficile à saisir, on aura recours à la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % ($R_{p0.2}$).

2. ACIERS MOULÉS MAGNÉTIQUES (NF A 32-052)

Caractéristiques mécaniques à titre indicatif (1) (*) à la température ambiante:

Nuances	R_{eL} MPa ou N/mm ²	R_m MPa ou N/mm ²	A % ($L_0 = 5d$)	Résistance au choc (KV) Energie J
M 10 - M	160	320	25	30
M 20 - M	220	440	22	25
M 30 - M	250	500	18	20
M 40 - M	280	560	15	15
M 20 S - M	290	500	18	15

(1) Si nécessaire les valeurs à garantir doivent faire l'objet d'un accord entre le producteur et son client.

(*) Dans une nuance à basse teneur en carbone, il est usuel de rechercher de bonnes propriétés mécaniques avec des caractéristiques magnétiques acceptables. Dans une nuance à haute teneur en carbone, il est usuel de rechercher de bonnes propriétés mécaniques avec des caractéristiques magnétiques acceptables.

3. ACIERS MOULÉS POUR EMPLOI AUX BASSES TEMPÉRATURES (NF A 32 - 053)

Nuances	Composition chimique (à titre indicatif) %							Caractéristiques mécaniques (à titre indicatif) à la température ambiante					Résistance au choc (3)	
	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	R_m N/mm ²	R_{eL} N/mm ²	A % ($L_0 = 5d$)	Z %	KV J	Température	KV J
FA-M	0,25 (1)	0,50	1,00	0,035	0,040	-	-	380-530	200	18	26	- 30	18	
FB-M	0,25 (1)	0,50	1,20	0,035	0,040	≤ 1,00	-	450-600	230	16	23	- 45	18	
FC-M	0,25 (1)	0,50	1,50	0,035	0,040	≤ 1,00	-	620-670	280	16	23	- 45	20	
FBI-M	0,22	0,50	1,50	0,035	0,040	0,5-2	-	450-600	230	18	26	- 60	18	
FCI-M	0,25 (1)	0,50	0,80 (2)	0,035	0,040	-	0,45-0,65	450-600	230	18	26	- 60	18	
FC2-M	0,25 (1)	0,50	0,80 (2)	0,035	0,040	2,5-4	-	450-600	230	18	26	- 70	20	
FC2-1-M	0,20	0,50	0,80	0,035	0,040	3-4	1-2	700-850	500	12	18	- 70	40	
FC3-M	0,15	0,50	0,80	0,035	0,040	3,5-4,5	-	450-600	230	18	26	- 100	20	

(1) En cas de spécification relative au soudage, le taux de carbone ne devra pas dépasser 0,23 %.

(2) En présence d'un faible taux de carbone, on peut admettre des taux de manganèse supérieurs à 0,80 sans toutefois dépasser 1,50 %.

(3) Seuls les essais de résistance au choc sont effectués à basse température.

ALLIAGES DE FONDERIE (8/21)

ACIERS MOULÉS (2/5)

NF A 32-054

4. ACIERS MOULÉS DE CONSTRUCTION NON ALLIÉS ET FAIBLEMENT ALLIÉS APTES AU TRAITEMENT THERMIQUE (NF A 32-054).

4-1. Caractéristiques mécaniques à la température ambiante mesurées sur des lingots-échantillons de 28 mm d'épaisseur.

Nuances	Caractéristiques mécaniques minimales					à titre indicatif	Traitement thermique	
	R _{p0,02} (MPa) (1)	R _m (MPa)	A %	Z % (2)	KV (J) (4)		trémp (°C) (3)	revenu (°C)
XC 42 - M	330	640	13	18	16	190	930-980 N	sans
20 M 6 - M	310	510	16	30	25	150	950-1000 N	sans
	300	480	18	35	30	140	950-1000 A	600-650
	400	550	18	35	28	160	950-1000 L	600-650
30 M 6 - M	350	580	16	30	24	160	910-980 A	600-650
	420	620	14	30	24	180	910-980 L	600-650
22 MD 5 - M	350	500	18	35	28	145	950-980 A	650-700
	450	600	16	35	28	170	950-980 L	650-700
33 MD 6 - M	400	600	16	32	24	180	910-980 A	600-650
	600	750	12	30	22	220	910-980 L	600-650
12 MOV 6 - M	400	500	18	35	30	150	950-980 A	640-660
30 MV 6 - M	450	620	14	26	20	185	930-980 A	640-660
	500	650	12	24	20	195	930-980 L	640-660
25 CD 4 - M	400	600	15	30	25	180	890-950 A	600-650
	600	700	10	25	22	220	890-980 L	600-650
35 CD 4 - M	520	750	12	20	20	240	880-940 A	600-650
	650	800	10	18	18	250	880-940 L	600-650
42 CD 4 - M	570	770	8	15	15	245	870-930 A	600-650
	700	850	7	12	12	260	870-930 L	600-650
35 CD 12 - M	700	900	9	25	15	280	930-980 A	600-650
25 NCD 2 - M	380	620	17	35	24	190	880-920 A	600-650
	600	720	15	20	30	220	880-920 L	600-650
30 NCD 8 - M	500	720	15	30	25	230	820-880 A	600-650
	650	850	12	25	22	260	820-880 L	600-650
20 NCD 12 - M	650	750	14	25	30	240	820-880 L	600-650
	32 NCD 14 - M	1 000	1 100	7	20	20	320	820-880 A ou L	550-600
		700	900	9	25	25	280	820-880 A ou L	600-680

(1) Dans tous les cas où l'acier présente un phénomène d'écoulement, on pourra assimiler la limite minimale du point d'écoulement R_{p0,02} à la valeur conventionnelle R_{p0,02}.

(2) En option Z % ou KV (J) par accord à la commande.

(3) N = Normalisation ;
A = Normalisation ou trempé à l'eau suivie de revenu ;
L = Trempé liquide (eau ou huile) suivie de revenu.
Un traitement préalable d'homogénéisation est recommandé pour les nuances les plus alliées (1 000 - 1 100 °C).

(4) La valeur retenue est la moyenne de trois résultats, aucune valeur n'étant inférieure aux deux tiers de la valeur minimale prévue.

4-2. Nuances pour trempé après chauffage superficiel.

Nuances (1)	Grossueur de grain	Durées minimales de la couche de trempé superficiel (2)	
		°C	HV
XC 42 TS - M	5 à 8	51	520
30 M 6 - M	5 à 8	44	430
33 MD 6 - M	5 à 8	46	460
25 CD 4 TS - M	5 à 8	39	380
35 CD 4 TS - M	5 à 8	47	470
42 CD 4 TS - M	5 à 8	51	520
30 NCD 8 TS - M	5 à 8	44	430
20 NCD 12 TS - M	5 à 8	36	350
32 NCD 14 TS - M	5 à 8	45	450

(1) Les teneurs résiduelles suivantes ne doivent pas être dépassées :
- cuivre 0,20 % pour toutes nuances
- nickel 0,25 % pour toutes nuances
- chrome 0,15 % pour XC 42 - M
- molybdène 0,05 % pour XC 42 - M
- chrome + nickel + molybdène < 0,35 % pour XC 42 - M

(2) Valeurs réalisables après trempé superficiel, après élimination éventuelle de la couche décarburée.

ALLIAGES DE FONDERIE (9/21)

ACIERS MOULÉS (3/5)

NF A 32-055

5. ACIERS MOULÉS SOUDABLES POUR CHAUDIÈRE ET APPAREIL À PRESSION (NF A 32-055)

5-1. Caractéristiques mécaniques à température ambiante.

Désignation	Limite d'élasticité MPa min.		R _m MPa min. (1)	A % L _g = 5,65 · S ₀ min. (1)	Z % min. (3)	Énergie de choc KV J min.	Traitement thermique Ce ré (°C)
	R _{0,002}	R _{0,01}					
A 42 C - M	230		450-570	22	40		Normalisé ou trempé 890-980
A 42 P - M	230		450-570	22	40		Revenu 600-700
FB - M	230		450-570	16	25		
A 48 C - M	260		520-640	18	30		
A 48 P - M	260		520-640	18	30		
FC - M	260		520-640	16	25		
FC 2 - M	230		450-600	18	30		Trempé 820-870
20 D 5 - M	250		450-600	21	33	25	Revenu 590-660
18 CD 2 05-M	300		500-650	18	30	20	Normalisé ou trempé 900-960
15 CD 5 05 - M	300		500-650	18	30	20	Revenu 630-710
15 CD 9 10 - M	275		550-650	17	28	20	Normalisé
15 CDV 4 10 - M	350		600-700	15	24	20	Normalisé ou trempé 900-960
15 CDV 9 10 - M	350		600-700	15	24	20	Revenu 600-700
Z 15 CD 5 05 - M	420		630-780	16	25	20	Normalisé ou trempé 930-970
Z 6 CND 13 04 - M	450		700-850	13 (2)	21	20	Revenu 680-750
Z 4 CND 17 04 - M	600		800-1000	13 (2)	21	25	Normalisé ou trempé 950-1050
Z 2 CN 18 10 - M	180	200	400-600	35			Trempé 1000-1050
Z 6 CN 18 10 - M	200	220	450-650	30			Revenu 600-650
Z 6 CN Nb 18 10 - M	200	220	450-650	30			Revenu 500-630
Z 2 CND 18 12 - M	180	200	400-600	40			
Z 6 CND 18 12 - M	200	220	450-650	35			
Z 6 CND Nb 18 12 - M	200	220	450-650	35			
Z 6 CNDU 20 08 - M	320	350	600-800	15			Hypertrempé 1050-1100
Z 6 CNDU 25 20 04 - M	170	190	450-650	30			Hypertrempé 1100-1150

- (1) Sur demande, le produit de la résistance à la traction exprimée en N/mm² par l'allongement à la rupture peut être garanti supérieur à 10 500, ces deux grandeurs étant mesurées sur la même éprouvette (voir arrêté du 25 juillet 1943 et circulaire du 20 juin 1958).
- (2) Sur demande, cette valeur peut être garantie supérieure à 14 % (voir réglementation précitée).
- (3) Les valeurs de striction mentionnées ne sont vérifiées qu'après accord à la commande.

5-2. Caractéristiques* de rupture par fluage

Nuance	Contraintes moyennes (MPa)												
	Essai de 10 000 h						Essai de 100 000 h						
	450	475	500	525	550	575	600	450	475	500	525	550	575
18 CD 2 05 - M	290	235	175	120				250	180	125	80		
15 CD 5 05 - M			180		75					130		50	
15 CD 9 10-M		250	190	150	110	85			180	135	105	75	
15 CDV 4 10-M		305	255	215	165	125	85		250	195	150	110	60
15 CDV 9 10-M													85 (565°)

5-3. Caractéristiques* mécaniques particulières à chaud ou à froid.

Désignation	Énergie de choc KV J Min. (°C)	Limite d'élasticité (N _{0,002} MPa)					Température habituelles d'emploi (°C)
		200	160	200	250	300	
A 42 C - M	20 (0)	210	200	190	175	155	200 à 300 ambiante
A 42 P - M	20 (- 20)						0 à - 45
FB - M	18 (- 45)						200 à 300 ambiante
A 48 C - M	20 (0)	240	230	220	205	185	0 à - 45
A 48 P - M	20 (- 20)						0 à - 45
FC - M	20 (- 45)						0 à - 70
FC 2 - M	20 (- 70)						

* Données à titre indicatif.

ALLIAGES DE FONDERIE (10/21)

ACIERS MOULÉS (4/5)

NF A 32-056, 071

6 ACIERS MOULÉS INOXYDABLES (NF A 32-056)

Caractéristiques mécaniques de base (valeur minimales sur lingot-échantillon)

Désignation	Traitement thermique de référence (°C) (pour information)	Limite d'élasticité		R _m N/mm ² ou MPa	A %	Énergie de choc Joules	Dureté HB (à titre indicatif)
		R _{e0,02} N/mm ² ou MPa	R _{e0,01} N/mm ² ou MPa				
Aciers martensitiques							
Z 12 C 13 - M	Trempé 950-1 050° A revenu 675-750° Recuit 1 050° revenu 700°	400	430	600	14	15	180
Z 28 C 13 - M		—	—	—	—	—	350-400
Z 6 CN 13 02 - M	Trempé 950-1 000° revenu 600° Trempé 950-1 000° revenu 700° Trempé 950-1 000° revenu 600°	400	430	600	13	15	180
Z 12 CN 13 02 - M		350	380	550	12	15	170
Z 6 CND 13 04 - M		450	480	700	13	20	200
Z 4 CND 17 04 - M	Trempé 1 050° H ou A revenu 600°	550	580	800	13	25	250
Z 4 CNU 17 04 - M et Z 4 CNUD 17 04 - M	Trempé 1 050° revenu 450° revenu 600°	—	—	1 300	—	—	400
		550	580	800	13	25	240
Aciers austéno-ferritiques							
Z 25 CND 25 09 - M	Hypertrempé 1 100°	300	320	600	6	—	180
Z 6 CNDU 20 08 - M	Hypertrempé 1 100-1 150°	320	350	600	15	—	180
Aciers austénitiques							
Z 2 CN 18 10 - M	Hypertrempé 1 050-1 100° Hypertrempé 1 050-1 100° Hypertrempé 1 050-1 100°	180	200	400	35	—	—
Z 6 CN 18 10 - M		200	220	450	30	—	—
Z 6 CND 18 10 - M		200	220	450	30	—	—
Z 2 CND 18 12 - M	Hypertrempé 1 050-1 100° Hypertrempé 1 050-1 100° Hypertrempé 1 050-1 100°	180	200	400	40	—	—
Z 6 CND 18 12 - M		200	220	450	35	—	—
Z 6 CNDNb 18 12 - M		200	220	450	35	—	—
Z 8 CN 25 20 - M	Hypertrempé 1 050-1 100°	200	220	450	30	—	130
Z 6 NCDU 25 20 04 - M	Hypertrempé 1 050-1 100°	170	190	450	30	—	130

7. ACIERS MOULÉS AUSTÉNITIQUE AU MANGANÈSE * (NF A 32-071)

Désignation de l'acier	Composition chimique, en %					Observations
	Carbone	Manganèse	Phosphore	Soufre	Phosphore	
Z 120 M 12 - M	1,0 à 1,45	11,0 à 14,5	≤ 1,0	≤ 0,06	≤ 0,10	sauf + phosphore ≤ 0,14

* Domaine d'application : élaboration de pièces qui employées dans des conditions provoquant l'écrasement par choc ou par pression, résistent de ce fait parfaitement à l'usure.

ALLIAGES DE FONDERIE (11/21)

ACIERS MOULÉS (5/5)

NF A 32-057

8. ACIERS MOULÉS RÉFRACTAIRES (NF A 32-057)

Caractéristiques mécaniques à la température ambiante (1)
(Valeurs minimales)
(par prélèvements dans des lingots échantillons de 28 mm d'épaisseur)

8-1. Domaine d'application

Aciers et alliages réfractaires moulés d'usage général utilisés à des températures supérieures à 650° C pour leur résistance à l'oxydation et à la corrosion par les gaz chauds et présentant, de plus, des caractéristiques mécaniques acceptables (tableaux 1 et 2).

Ces aciers et alliages contiennent du chrome ou du chrome et du nickel, avec éventuellement du cobalt.

8-2. Classification

Les aciers et alliages réfractaires moulés peuvent se diviser, d'après leur structure, en deux classes.

- classe I : martensitiques et ferritiques
 - martensitiques : 13 % chrome, % C > 0,10 %
 - ferritiques : % chrome > 22 %, % C < 0,20 %

- classe II : austénitiques et austénoferritiques
 - contiennent principalement du nickel et du chrome ou du cobalt et du chrome, ou du nickel, du cobalt et du chrome.

Désignation	(2) R _p 0,002 MPa	(2) R _m MPa	(2) A %	Dureté HRC
Z 25C13 - M	750	500	12	180
Z 40C28 - M	-	400	-	160
Z 30CN26.05 - M	250	550	8	200
Z 25CN20.10 - M	240	450	15	170
Z 40CN25.12 - M	240	500	8	200
Z 40CN25.20 - M	200	400	8	180
Z 40NC35.15 - M	200	400	4	180
Z 45NCW45.25 - M	200	400	4	180
Z 50NC60.15 - M	-	400	-	180
Z 40 CNK20.20.20 - M	320	400	6	200
NC 50 - M	300	500	4	180
KC 30 Fe 20 - M	350	540	3	220

(1) Ces caractéristiques ne sont garanties qu'en cas de spécification à la commande. Les valeurs indiquées sont normalement obtenues à l'état brut de coulée ; elles peuvent être modifiées notablement par traitement thermique.
(2) Ces valeurs sont mesurées sur éprouvette proportionnelle de 10 mm de diamètre (K = 5,65).

Caractéristiques mécaniques à chaud (à titre indicatif) (Valeurs moyennes)
Charge occasionnant MPa : - en 100 et 1 000 h la rupture
- en 10 000 h un allongement de 1 %

Classe	Température Durée en h	à 600 °C			à 700 °C			à 800 °C			à 900 °C			à 1 000 °C			à 1 100 °C			Température maximale d'utilisation en continu oxydante (°C)		
		100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000	100	1000	10000			
I	Z 25C13 - M	120	75	35	28	21	8	10	7	3										800		
I	Z 40C28 - M		40	20	25	21	6	12	11	3	7	5	1	5							1 100	
I	Z 30CN26.05 - M				60		25	45		15	25		8	15	5						1 100	
II	Z 25CN20.10 - M				120	80	60	60	50	35	30	30	20								900	
II	Z 40CN25.12 - M				100	80	60	70	50	35	45	30	20	26	17	10	12	6	3,5		1 100	
II	Z 40CN25.20 - M					80	60	80	50	35	47	30	20	28	17	10	17	6	3,5		1 150	
II	Z 40CN30.20 - M							80	50	35	42	27	20	25	16	10					1 150	
II	Z 40NC35.15 - M					80	60	90	50	35	48	30	20	28	17	12		6	3,5		1 150	
II	Z 45NCW45.25 - M							80			45	24		22	15				7		1 200	
II	Z 50NC60.15 - M					80	60		50	35		30	20		17	12		6	3,5		1 100	
II	Z 40CNK20.20.20 - M		(b)	(b)		(b)	(b)		(b)	(b)		(a)	(a)		(a)	(a)					1 150	
II	NC 50 - M				400	365		250	210		135	100		80	62	27		32	17		1 150	
II	KC 30 Fe 20 - M							115	65	20		35	12	40	25	3		20		6	1 150	
II	KC 30 Fe 20 - M							250	155		187	108		75	87	53		40	54	26	25	1 200

(a) Valeurs sur Z 50 NCX 35 25 20 à 6 % Mo
(b) Valeurs sur ASTM A 567 grade 3 (20 20 20 à 0,20 % C max)

ALLIAGES DE FONDERIE (12/21) ALLIAGES D'ALUMINUM (1/1)

NF A 57-702, 703

1. PIÈCES COULÉES PAR GRAVITÉ (NF A 57-70 2)

Élément principal d'alliage	Désignation	Mode de Coule (1)	Rm (Mpa)		Rm,2 (Mpa)		A %		Durée (MBS)		propriétés et emplois *	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)		
-	A7	Y20	80*	-	30*	-	30*	-	17*	-	Bonne conductibilité thermique et électrique. Appareils ménagers, électriques diversifiés.	
	A5	Y30										
	A4											
Civre	A-U4 NT	Y20	160	230	120	160	0,5*	-	70	85	Bonne aptitude à l'usage construction mécanique : automobile, aviation, chariot de lev. Appareils électriques, appareils de motoristes.	
		Y30	180	270	140	190	0,5*	-	80	95		
	A-U5 GT	Y20	-	300	-	200	-	5	-	90		
		Y30	-	330	-	200	-	8	-	90		
	A-U 85	Y20	150	-	110	-	0,5*	-	75	-		Bonne aptitude au moulage, à l'étanchéité, à l'usage Construction mécanique, fabrication de pièces moulées.
		Y30	180	-	120	-	0,5*	-	80	-		
Silicium	A-S 4G	Y20	140	230	80	180	1	1	50	85	Bonne aptitude au moulage, au soudage, au polissage, à la résistance, à la corrosion atmosphérique. Tous usages.	
		Y30	170	240	90	180	2	1	60	85		
	A-S 5U	Y20	150	-	90*	-	1	-	65*	-		
		Y30	180	-	110*	-	2	-	70*	-		
	A-S 7G	Y20	140	230	80	180	2	1,5	55	75		Bonne aptitude au moulage, au soudage, à la résistance, à la corrosion atmosphérique, constructions mécaniques, électrique, navale, industrie chimique.
		Y30	170	250	90	180	4	3	60	80		
	A-S 10G	Y20	150	230	90	180	3	1	55	75		Bonne aptitude au moulage, au soudage, à la résistance, à la corrosion atmosphérique. Tous usages.
		Y30	170	250	110	180	4	1,5	65	80		
	A-S 12 UN	Y30	-	190	-	150	-	0,5*	-	85		Pièces de moteurs thermiques et de compresseurs.
	A-S 13	Y20	160	-	70	-	4	-	50	-		Bonne aptitude au moulage à l'étanchéité, au soudage, à la résistance, à la corrosion atmosphérique.
		Y30	170	-	80	-	5	-	60	-		
	Magnésium	A-G 3T	Y20	160	-	60	-	7	-	50		-	Bonne aptitude à l'usage, au soudage, au polissage, à la résistance, à la corrosion marine, à l'aviation. Constructions automobile, navale, machines, industrie chimique, électronique, aérospatiale.
Y30			170	-	70	-	7	-	60	-		
A-G6		Y20	160	-	90	-	4	-	60	-		
		Y30	180	-	100	-	4	-	65	-		
Manganèse*	A-M4*	Y30	110	-	80	-	2	-	40	-	Pièces soumises à la chaleur, broyeur de ciment.	
Zinc	A-Z 5G	Y20	-	190	-	130	-	4	-	60	Bonne aptitude à l'usage, au polissage, à l'endossement, construction mécanique, électrique automobile, cycle.	
		Y30	-	210	-	130	-	4	-	65		

* Non normalisé, donné à titre indicatif.

(1) État brut de fonderie Y20 : moulage sable (sans traitement thermique) Y30 : moulage coquille.

(2) Après traitements thermiques.

2. PIÈCES MOULÉES SOUS PRESSION (NF A 57-703)

Élément principal d'alliage	Désignation	Mode de Coule (1)	Rm (Mpa)	A %	propriétés	Emplois habituels
-	A-5	Y 40	90*	25*	Bonne conductibilité thermique et électrique.	Pièces de moteur électrique, appareils ménagers.
Silicium	A-S9 U3	Y 40	200	0,5 - 1,5	Excellente aptitude au moulage sous pression.	Construction mécanique, pièces complexes.
	A-S9 G	Y 40	180	1	Résistance à la corrosion atmosphérique, bonne aptitude au moulage sous pression.	Pièces exposées aux agents atmosphériques, appareils ménagers.
	A-S 12	Y 40	180	1,5		
Magnésium	A-G 6	Y 40	220	3	Excellente résistance à la corrosion.	Pièces exposées à l'atmosphère marine, pièces de décoration.
	A-G 10	Y 40	230	2		

* Non normalisé, donné à titre indicatif.

(1) État brut de fonderie Y40 moulage sous pression.

ALLIAGES DE FONDERIE (13/21)

ALLIAGES DE CUIVRE (1/1)

NF A 53-703 / 707 / 709

1. CUPRO - ALUMINIUM (coulée par :) NF A 53-709

Désignation	Mode de coulé (1)	Rm MPa	Rp 0,2 MPa	A %	Dureté HBS	Propriétés (2)	Emplois (2)
Cu Al 5	Y 30	500	-	20	-	Très bonnes caractéristiques mécaniques Très bonne résistance à la corrosion	- industrie chimique - robinetterie - haute température - pièces d'usure et éléments machines-outils - engrainages
Cu Al 9 Fe 3	Y 20 Y 30	500 500	130 -	15 20	-		
Cu Al 11 Fe 3	Y 20	-	-	5	180		
Cu Al 9 Ni 3 Fe	Y 20 Y 30	500 600	180 -	18 20	-	Excellentes caractéristiques mécaniques Excellente résistance à la corrosion en milieu marin Bonne aptitude au polissage Soudabilité avec lui-même et avec acier A 37 ou A 42	- industrie chimique, cryogénique, mécanique, navale, ductiles jusqu'à - 200°C - fontaines, pompes, robinetterie, hélices - roue et vis sans fin
Cu Al 9 Ni 5 Fe	Y 20	630	240	12	-		
Cu Al 11 Ni 5 Fe	Y 20	-	-	6	196		

2. BRONZES ET BRONZES AU PLOMB (cupro-étains et cupro-plomb-étains) NF A 53-707

Désignation	Mode de coulé (1)	Rm MPa	Rp 0,2 MPa	A %	Dureté HBS (2)	Propriétés (2)	Emplois (2)
Cu Pb 5 Sn 5 Zn 5	Y 20, Y 30 Y 70, Y 80	200 250	90 100	12 12	80	Excellente étanchéité de l'alliage Excellentes propriétés de fonderie Bonne usabilité Bonnes propriétés de frottement	Industries électrique, mécanique, navale Pompes, robinetterie industrielle et domestique
Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4	Y 20, Y 30 Y 70, Y 80	220 260	100 120	12 12	-		
Cu Sn 8	Y 20 Y 30 Y 70, Y 80	250 220 270	130 130 130	16 12 10	- - -	Excellente étanchéité de l'alliage Bonne usabilité Bonnes propriétés de frottement	Pièces frottantes dans le matériel roulant des chemins de fer
Cu Sn 12	Y 20 Y 30 Y 70, Y 80	240 270 270	130 150 150	5 3 5	90		
Cu Pb 10 Sn 10	Y 20 Y 70, Y 80	180 220	80 140	7 6	-	Bonne résistance à l'usure Très bonne usabilité Antiriction Résistance à l'acide sulfurique	
Cu Pb 20 Sn 5	Y 20 Y 70	150 180	60 80	5 7	-		

3. LAITONS (cupro-zinc) NF A 53-703

Désignation	Mode de coulé (1)	Rm MPa	Rp 0,2 MPa	A %	Dureté HBS	Propriétés (2)	Emplois (2)
Cu Zn 19 Al 8	Y 20	750	500	8	220	- excellente usabilité - excellente étanchéité de l'alliage - très bonne aptitude au polissage	- industries électrique, mécanique, navale - robinetterie - pompes
Cu Zn 23 Al 4	Y 20	500 (3)	250	8	160		
Cu Zn 30 Al Fe Mn	Y 40	-	-	-	-		
Cu Zn 33 Pb	Y 20	180 (2)	-	12 (2)	-		
Cu Zn 40	Y 30 Y 40	340 -	- -	8 -	- -		

4. MAILLECHORTS (cupro-zinc-nickels)

Désignation	Composition chimique %	Mode de coulé (1)	Rm MPa (2)	Rp 0,2 MPa (2)	A % (2)	Dureté HBS (2)	Propriétés (2)	Emplois (2)
Cu Zn Ni 13	58 Cu 29 Zn 13 Ni	Y 20	450	250	12	80	Bonne résistance à la corrosion Industrie alimentaire Pièces de décoration, pièces d'optique de chirurgie	
Cu Zn Ni 18	58 Cu 24 Zn 18 Ni	Y 20	250	180	30	55		
Cu Zn Ni 22	56 Cu 22 Zn 22 Ni	Y 20	40	200	20	70		

(1) États bruts de fonderie (sans traitement thermique)

Y 20 moulage sable Y 30 moulage coquille Y 70 coulée continue Y 80 centrifugation

(2) Rm normale donnée à titre indicatif

(3) Après traitement thermique

ALLIAGES DE FONDERIE (15/21)

FONTES (2/5)

NF A 32-301

2. FONTES ALLIÉES

2.1. Fontes austénitiques à graphite lamellaire et à graphite sphéroïdal (NF A 32-301).

2.1.1. Fontes austénitiques à graphite lamellaire.

Type de fonte	Rm MPa (1)	Résistance à la compression MPa (1)	A % (1)	Dureté HB (1)	Module d'élasticité E GPa (1)	Propriétés	Emplois
L - N M 137	140*-220	630-840	-	120-150	70-90	Non magnétique.	Moulages non magnétiques comme couvercles sous pression pour groupes de générateurs à turbine, boîtiers pour disjoncteurs, flasques, bornes et douilles d'isolateurs
L - N U C 15 6 2	170*-210	700-840	2	140-200	85-105	Bonne résistance à la corrosion, en particulier contre les alcalis, acides dilués, eau de mer et solutions salines; très bonne résistance à la chaleur, bonnes propriétés anti-friction, forte dilatation à la chaleur; non magnétique si faible teneur en chrome.	Pompes, vannes, pièces de fours, douilles, porte-segments pour pistons en métal léger, moulages non magnétiques.
L - N U C 15 6 3	190-240	860-11000	1-2	150-250	98-113	Meilleures résistances à la corrosion et la chaleur que la qualité L - N U C 15 6 2.	Pompes, vannes, pièces de fours, douilles, porte-segments pour pistons en métal léger
L - N C 20 2	170*-210	700-840	2-3	120-215	85-105	Semblable à L - N U C 15 6 2, mais meilleure résistance à la résistance par les alcalis, bonne résistance à la chaleur et propriétés anti-friction. A un coefficient élevé de dilatation thermique; est non magnétique, si le chrome est maintenu à un bas niveau.	Comme pour L - N U C 15 6 2, mais préférable pour les pompes à alcalis, chaudières pour alcalis caustiques, l'industrie du savon, de l'alimentation, de la soie artificielle et des matières plastiques. Convient partout où d'une façon générale on exige des matériaux exempts de cuivre
L - N C 20 3	190*-240	860-1100	1-2	160-250	98-113	Comme L - N C 20 2, mais plus résistante à l'érosion, à la chaleur et au gonflement.	Comme L - N C 20 2, mais préférée pour les applications à température élevée
L - N S C 20 5 3	190*-280	860-1100	2-3	140-250	110	Bonne résistance à la corrosion même vis-à-vis d'acide sulfurique dilué. Meilleure résistance à chaud que L - N C 20 2 et L - N C 20 3.	Pièces de pompes, pièces couplées de vannes pour fours industriels.
L - N C 30 3	190*-240	700-910	1-3	120-215	98-113	Résistant à la chaleur et au choc thermique jusqu'à 800° C; bonne résistance à la corrosion, aux températures élevées, excellente résistance à l'érosion dans la vapeur humide et les boues salines, dilatation thermique moyenne.	Pompes, chaudières, vannes, pièces de filtres, conduits de fumées, enveloppes de turbo-compresseurs
L - N S C 30 5 5	170*-240	560	-	150-210	105	Particulièrement résistante à la corrosion, l'érosion et la chaleur, dilatation thermique moyenne	Pièces de pompes, pièces couplées pour vannes des fours industriels
L - N 35	120*-180	560-700	1-3	120-140	74	Résistant au choc thermique, faible dilatation thermique	Pièces avec stabilité dimensionnelle pour machines-outils, instruments scientifiques, moules de verrerie

* Caractéristiques minimales imposées.

(1) Valeurs données à titre indicatif

ALLIAGES DE FONDERIE (16/21)

FONTES (3/5)

NF A 32-301

2-1-2. Fontes austénitiques à graphite sphéroïdal

Type de fonte	Rm MPa	R _{0,2} MPa	A %	Energie de choc KCU ₂ J	Résistance KCU de J/cm ² *	Propriétés	Emplois
S - N M 137	390	210	15	-	-	Non magnétique, semblable à L - N M 137, mais à caractéristiques mécaniques améliorées.	Pièces coulées non magnétiques - Exc. couvercles sous pression pour groupes de générateurs à turbine, boîtiers pour disjoncteurs, flasques, bornes et douilles d'isolateurs.
S - N C 20 2	370	210	7	16	2	Semblable à L - N C 20 2 en ce qui concerne la composition, les résistances à la corrosion et à la chaleur, mais étant donné la formation de graphite sphéroïdal, possède des caractéristiques mécaniques améliorées. Bonne propriété anti-frottement, dilatation à chaud élevée. Non magnétique à faible teneur en chrome.	Pompes, vannes, compresseurs, bagues, enveloppes de turbocompresseurs, conduits de fumées, montages non magnétiques.
S - N C 20 3	390	210	7	-	-	Semblable à S - N C 20 2, mais meilleure résistance à l'érosion et à la chaleur.	Pompes, vannes, compresseurs, bagues, enveloppes de turbocompresseurs, conduits de fumées.
S - N S C 20 5 2	370	210	10	-	-	Bonne résistance à la corrosion même vis-à-vis de l'acide sulfurique dilué. Très bonne résistance à chaud. Caractéristiques mécaniques meilleures que celles de L - N S C 20 4 3.	Pièces de pompes, vannes, pièces pour fours industriels sujettes à de fortes sollicitations mécaniques.
S - N 22	370	170	20	24	3	Forte dilatation, résistance à la corrosion et à la chaleur, plus faible que S - N C 20 2. Forte dilatation thermique. Bonne résistance au choc au-dessous de - 100 °C. Non magnétique.	Pompes, vannes, compresseurs, bagues, enveloppes de turbocompresseurs, conduits de fumées, pièces non magnétiques.
S - N M 23 4	440	210	25	28	3,5	Dilatation exceptionnellement élevée. Bonne résistance jusqu'à -196 °C. Non magnétique.	Pièces pour l'industrie de réfrigération utilisables jusqu'à - 196 °C.
S - N C 30 3	370	210	7	-	-	Semblable à L - N C 30 3, mais meilleures caractéristiques mécaniques, spécialement résistante aux chocs thermiques, très bonne résistance à la chaleur par addition de 1 % en masse de molybdène.	Pompes, chaudières, vannes, pièces de litres, conduits de fumées, enveloppes de turbocompresseurs.
S - N C 30 1	370	210	13	-	-	Semblable à S - N C 30 3; bonnes propriétés anti-frottement.	Pompes, chaudières, pièces de litres, conduits de fumées, enveloppes de turbocompresseurs.
S - N S C 30 5 5	390	240	-	-	-	Propriétés semblables à celles de L - N S C 30 5 5 mais caractéristiques mécaniques améliorées. Bonne résistance à la chaleur par addition de 1 % en masse de molybdène.	Pièces de pompes, vannes, pièces pour fours industriels sujettes à de fortes sollicitations mécaniques.
S - N 35	370	210	20	-	-	Faible dilatation thermique semblable à celle de L - N 35; étant donné la présence de graphite sphéroïdal plus résistant au choc thermique et meilleures caractéristiques mécaniques.	Pièces avec stabilisateurs pour machines-outils, instruments scientifiques, moules de verrerie.
S - N C 35 3	370	210	7	-	-	Semblable à S - N 35, mais avec résistance à la chaleur accrue, spécialement par addition de 1 % en masse de molybdène.	Pièces d'enveloppes de turbine à gaz, moules de verrerie.

* Caractéristiques minimales imposées.

ALLIAGES DE FONDERIE (17/21)

FONTES (4/5)

NF A 32-401

2-2. Fontes bainitiques.

Éléments d'alliage	Type de graphite	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	A %	Dureté HB	Propriétés	Emplois
Ni-Mn	L S	350-550 400-1300	300-500 350-900	900-1300 900-1400	- 4-1	250-320 250-380	Excellente résistance à l'oxydation et aux fortes pressions de contact.	Engrenages, arbres de transmission, etc.

2-3. Fontes ferritiques au silicium.

Éléments d'alliage	Type de graphite	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	A %	Dureté HB	Propriétés	Emplois
5 à 7 % Si	L S	150-300 350-680	-	620-1000 -	- 10-1	180-290 220-340	Bonne résistance mécanique, oxydation réduite jusqu'à 800 °C.	Pièces soumises à des températures thermiques importantes.
14 à 18 % Si	L	90-130	-	-	-	350-500	Bonne résistance à l'action des acides basiques forts.	Pièces de l'industrie chimique.

2-4. Fontes perlitiques.

Éléments d'alliage	Type de graphite	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	A %	Dureté HB	Propriétés	Emplois
Ni-Mn Cr-Mn, Mn Cr-Ni	L	300-420	-	800-1400	-	240-280	Amélioration des caractéristiques mécaniques, diminution de la sensibilité à l'épaisseur.	bâts, Carter-cylindres, tambours et disques de frein.
Ni-Cr-Mn	S	750-1200	600-1000	1000-1500	5-1	250-300	Amélioration de l'étanchéité.	Chambres de moteur, pompes.
Cr, Cu, Ni	L S	250-350 600-750	- 450-600	800-1400 1000-1500	- 10-4	180-280 200-300	Amélioration de la résistance à la corrosion.	Mécaniques pièces de chaudière, meule de verre.

2-5. Fontes martensitiques.

Éléments d'alliage	Type de graphite	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	A %	Dureté HB	Propriétés	Emplois
Ni-Cr	L S	320-450 1000-1300	- 750-1000	1000-1500 1000-1600	- 4-1	350-450 350-500	Bonne résistance mécanique, bonnet des pressions de contact élevées.	Cylindres de machine, arbres, pièces de moteur et de compresseur.

2-6. Fontes austénitiques à carbures de chrome (fontes blanches alliées).

Éléments d'alliage	Structure	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	Dureté HB	Propriétés	Emplois
5 à 10 % Cr	Pas de graphite, le chrome est presque totalement à l'état de carbures, avec le carbone de la fonte (teneur élevée pour une fonte blanche).	300-550	-	-	300-400	Bonne résistance à l'abrasion, aptitude au polissage.	Industrie minière, pièces soumises à l'abrasion.
400-750							
400-600							
12 à 18 % Cr						Excellente résistance à l'abrasion et à l'oxydation à chaud.	Pièces sollicitées en régime intermittent.
20 à 30 % Cr							

2-7. Fontes ferritiques au chrome (fontes blanches alliées).

Éléments d'alliage	Structure	Rm MPa	Re MPa	Résistance à la compression MPa	Dureté HB	Propriétés	Emplois
28 à 35 % Cr	- forme - peu de carbures (besse teneur en carbone) - peu de graphite	300-500	150-200	700-800	200-350	Inoxydables, résistance mécanique jusqu'à 900 °C.	Industrie alimentaire, pièces très sollicitées thermiquement.

2-8. Fontes martensitiques à carbure (fontes blanches alliées).

Résistance élément d'alliage	Structure martensitique avec carbures	Rm MPa	Réaction à la compression MPa	HB	Propriétés	Emplois
Ni-Cr	- en totalité dans la pièce ou superficiellement (trempe) - pas de graphite	280-450	1600-2000	550-730	Résistance à l'usure même à 700 °C, résistance aux chocs.	Industrie minière Sidérurgie

ALLIAGES DE FONDERIE (18/21)

FONTES (5/5)

NF A 32-701, A 32-702

1. FONTES MALLEABLES

1-1. Généralités.

Les fontes malleables sont des alliages à base de fer et de carbone qui se présentent à l'état brut de coulée avec une structure exempte de graphite, le carbone étant sous forme combinée.

La structure finale est obtenue ultérieurement par des traitements thermiques. Ce n'est qu'après ces traitements que la fonte malleable est obtenue.

1-2. Fonte malleable à cœur blanc (NF A 32-701).

1-2-1. Terminologie.

La fonte malleable à cœur blanc est un alliage à base de fer et de carbone qui se présente à l'état brut de coulée avec une structure exempte de graphite lamellaire, le carbone étant sous forme combinée. La structure à cœur blanc est obtenue ultérieurement par un processus dans lequel la décarburation joue un rôle essentiel. Cette décarburation est pratiquement totale pour des pièces d'épaisseur inférieure à environ 6 mm et elle est encore suffisante lorsque l'épaisseur est inférieure à environ 12 mm pour permettre l'usinage jusqu'à cœur ; pour les pièces plus épaisses, la décarburation n'étant pratiquement pas réalisée au même degré, on obtient des structures plus complexes comprenant notamment des nodules de graphite et de la perlite. La dureté ainsi que la résistance mécanique du métal augmentent de la paroi vers le centre.

1-2-2. Caractéristiques mécaniques mesurées sur éprouvettes coulées à part.

Nuances	Diamètre de l'éprouvette en mm d	Résistance minimale à la traction R _m (MPa)	Limite conventionnelle minimale d'élasticité à 0,2 % R _{0,02} (MPa)	Allongement minimal pour cent après rupture A %	Dureté Brinell HBS	Constituents principaux de la structure	Propriétés et emplois
MB 380-12	9	320	170	15	≤ 200	ferrite	Grande ductibilité avec de bonnes caractéristiques mécaniques, pièces de mécanisme, quincaillerie, raccords hydrauliques basse pression.
	12	380	200	12		ferrite + à cœur, perlite et nodules de graphite.	
MB 400-5	9	360	200	8	≤ 220	ferrite	Aptitude à la dérivatisation à chaud, pièces de tuyauterie, construction mécanique et électrique.
	12	400	220	5		ferrite à cœur	
	15	420	230	4		perlite et nodules de graphite.	
MB 450-7	9	400	230	10	≤ 220	ferrite	ferrite + à cœur, perlite et nodules de graphite.
	12	450	260	7			
	15	480	280	4			

3-3. Fontes malleables à graphite nodulaire ferritiques et perlitiques (NF A32-702).

3-3-1. Terminologie.

Les fontes malleables à graphite nodulaire ferritiques et perlitiques sont des alliages à base de fer, de carbone et de silicium qui, à l'état brut de coulée, ont une structure exempte de graphite lamellaire, le carbone étant généralement sous forme combinée :

- la structure ferritique a une matrice composée essentiellement de ferrite ; le carbone est présent sous forme de nodules de graphite,
- la structure perlitique a une matrice dans laquelle le carbone se présente partiellement en nodules de graphite et partiellement en produits de transformation de l'austénite principalement en perlite.

Le traitement thermique de malleabilisation modifie peu la composition chimique.

3-3-2. Caractéristiques mécaniques mesurées sur éprouvettes coulées à part.

Nuances	Diamètre de l'éprouvette en mm d	Résistance minimale à la traction R _m (MPa)	Limite conventionnelle minimale d'élasticité à 0,2 % R _{0,02} (MPa)	Allongement minimal pour cent après rupture A %	Dureté Brinell HBS	Constituents principaux de la structure (1)	Propriétés et emplois
MN 350-10 MN 380-18 (2)	15 15	350 380	230 250	10 18	≤ 150 ≤ 156	ferrite ferrite	Grande ductibilité, construction mécanique, pièces de sécurité industrie automobile, camions, mécanisme agricole matériel ferroviaire.
MN 450-6 MN 550-4 MN 650-3 MN 700-2	15 (3) 15 (3) 15 (3) 15 (3)	450 550 650 700	290 350 430 530 (4)	6 4 3 2	150-210 180-240 210-270 240-290	ferrite + perlite ferrite + perlite perlite perlite ou structure de revenu	Caractéristiques méca élevées, résistance à l'usure. Pièces sollicitées par des contraintes et du frottement, composants dans l'hydraulique haute pression.

(1) Dans toutes les nuances d y e, en plus, présence de nodules de graphite

(2) Un essai de Ramon par choc peut être demandé pour cette seule nuance MN 380-18

(3) Les diamètres s'entendent pour des éprouvettes non usées. Leur surface est repolissée à la meule ou à la lime. Toutefois, pour les fontes malleables perlitiques et dans le cas de pièces devant subir un usinage important, il peut être intéressant d'utiliser une éprouvette usinée afin d'éliminer toute influence de peau de par la présence du liseré décarbure. La forme et les dimensions de cette éprouvette usinée, à partir d'un barreau de 19 mm de diamètre maximal, devront faire l'objet d'un accord entre les parties.

(4) Si, avant le revenu, cette ductilité a été obtenue par trempe à l'air ou lieu de trempe à l'huile, la valeur minimale de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % est réduite à 480 MPa

ALLIAGES DE FONDERIE (19/21)

ALLIAGES DE MAGNESIUM – ALLIAGES DE ZINC (1/1)

NF A 55-010

1. ALLIAGES DE MAGNESIUM

Caractéristiques mécaniques minimales

Élément alliage	Désignation	État	Résistance à la traction R_m (1)	Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % en MPa (2) $R_{p0,2}$	Allongement par cent après rupture A	Dureté H.E. (2)	Propriétés - emplois (2)
Aluminium et zinc	G-ABZ	Y20	160	75	2,0	55	- Excellente coulabilité. Construction aéronautique : pièces de turbopropulseur et de structures, éléments de suspension, carter. - Outillage divers portable
		Y24	230	75	7,0	55	
		Y23	230	100	2,0		
Aluminium et zinc	G-ASZ	Y20	160	80	2,0	60	- Très bonne coulabilité, pièces complexes construction automobile - Outillage divers portable
		Y24	230	100	7,0		
		Y23	230	110	2,0		
		Y30	170	90	2,0		
	G-A6Z3	Y20	160	75	3,0	55	Pièces peu sollicitées.
alliages contenant du zirconium	G-Z5Zr	Y25	235	140	5,0	65	Bonnes caractéristiques mécaniques. Aéronautique : roues et pièces résistantes de formes simples
	G-Z4TRZr (*)	Y25	200	135	2,5	70	Bonne coulabilité, alliage étanche : carters de fluides.
	G-TR3Z2Zr (*)	Y25	140	100	3,0	55	Alliage étanche, résiste au fluage jusqu'à 250 °C industries aéronautiques.
	G-Z6Th2Zr	Y25	240	150	5,0	70	Alliage étanche, bonnes caractéristiques mécaniques pièces résistantes de formes complexes
	G-Th3Z2Zr	Y25	190	100	4,0	55	Alliage étanche, résistance au fluage jusqu'à 350 °C carters et pièces de moteur d'avion
	G-Zr	Y25	160	40	15,0	50	Bonne capacité d'amortissement des vibrations : bâtis, socles de machines ou d'appareils soumis à des vibrations
G-Ag3TRZr (**)	Y23	240	170	3,0	75	Bonne résistance mécanique jusqu'à 200 °C, pièces très sollicitées soumises à des échauffements temporaires	

(1) états brut de fonderie : Y20 : moulage en sable.
(sans traitement thermique) Y30 : moulage en coquille (gravité).
Y40 : moulage sous-pression

états après traitements thermiques :

Y23 : moulage en sable, trempé et revenu.
Y24 : moulage en sable, trempé et mûr
Y25 : moulage en sable, stabilisé.

(2) à titre indicatif.

- * TR : terres rares du type cérium + lanthane
- ** TR : terres rares du type thulium + praséodyme (didyme).

2. ALLIAGES DE ZINC (moulage sous pression) NF A55-010

Élément principal d'alliage	Désignation	Mode de coulée (1)	Rm MPa (2)	A % (2)	Dureté HB (2)	Température d'utilisation °C (2)	Propriétés - emplois (2)
Aluminium	Z-A4G	Y40	240-280	2,5-3,5	80	< 120	Très bonne coulabilité construction mécanique, quincaillerie, pièces de décoration carburateurs, poignées, boîtiers, socles, supports, bâtis
Aluminium cuivre	Z-A4U1G	Y40	290-330	1-2,5	90	< 120	Très bonne coulabilité pièces exposées au frottement, bagues, engrenages, paliers

(1) état brut de fonderie Y40 : moulage sous-pression.
(2) donnée à titre indicatif

ALLIAGES DE FONDERIE (20/21)

ALLIAGES SPÉCIAUX (1/1)

Ils sont employés pour réaliser des pièces sollicitées d'une manière inhabituelle ; parmi les nombreuses familles d'alliages spéciaux, quelques alliages industriels sont donnés à titre d'exemple.

1. ACIERS SPÉCIAUX

- Acier réfractaire Z 25 CNWS 20.08 - Rm = 700 MPa ; Rp0.2 = 300 MPa ; A = 35 %
- Acier maraging Z 03 NKD 18 - Rm = 1 400 MPa ; Rp0.2 = 1 200 MPa ; A = 5 %
- Z 05 CNU Nb 17.04 - Rm = 1 200 MPa ; Rp0.2 = 1 000 MPa ; A = 5 %

2. ALLIAGES DE COBALT

- alliage réfractaire soumis à la fatigue C = 0,2-0,5 % ; Mn < 1 % ; Si < 1 % ; Ni = 9-11 % ; Cr = 22-30 % ; W = 7-8 %
- alliage résistant à l'usure C = 1-2 % ; Mn < 1 % ; Si < 1 % ; Ni < 3 % ; Cr = 27-33 % ; W = 7-18 %

3. ALLIAGES DE CUIVRE (cupro-alliages)

- cupro-aluminium complexes : en manganèse (Mn = 1-15 %) : engrenages, rotors de pompes, en magnésium (Mg = 0,5 %) : résistance à la corrosion en cobalt : outils d'emboutissage pour acier inox 18-10
- cupro-béryllium : Be = 1-2,5 ; Rm = 1 000 MPa ; Rp = 800 MPa ; A = 1-3 % ; HB = 380 → pièces très sollicitées ayant une bonne conductivité électrique ; matrices, moules pour matières plastiques et alliages à bas point de fusion.
- cupro-chrome : Cr = 0,5-1 % ; Rm = 200-400 MPa ; Rp = 100-250 MPa ; A = 50-20 % ; HB = 100-150 → pièces nécessitant de bonnes caractéristiques mécaniques et une excellente conductivité électrique.
- cupro-cobalt : Co = 2,6 % ; Be = 0,40 ; Rm = 640 MPa ; Rp = 320 MPa ; A = 10 % ; HB = 220 → excellentes caractéristiques mécaniques et excellente conductivité électrique.
- cupro-nickel :
 - 30 % Ni ; Rm = 400 MPa ; Rp = 180 MPa ; A = 45 % ; HB = 75 → résistance à la corrosion marine
 - 20 % Ni ; Al = 3 % ; Mn = 5 % ; Rm = 700 MPa ; Rp = 800 MPa ; A = 10 % → bonne résistance méca jusqu'à 450 °C
- cupro-manganèse : Mn = 40-45 % ; Al = 1,8-2,5 % → capacité d'amortissement très élevée.
- cupro-plomb : Pb jusqu'à 50 % : pièces de frottement.
- cupro-silicium-nickel :
 - Si = 2,5 % ; Fe = 0,5-3 % ; Zn < 3 % ; Mn = 1,5 % ; Rm = 380 MPa ; A = 18 % ; HB = 100 → bonnes caractéristiques mécaniques à température élevée (400 °C) et en milieu oxydant
 - Si = 4,5 % ; Mn = 1,2 % ; Rm = 400 MPa ; Rp = 220 MPa ; A = 1,5 % ; HB = 100

4. ALLIAGES D'ÉTAIN

Sn = 80-90 % ; Sb = 7-13 % ; Cu = 3,7 % ; Pb = 1-3 % → frottements avec charges élevées et chocs.

5. ALLIAGES DE NICKEL

- alliages réfractaires résistant à la fatigue, à la corrosion, à l'oxydation : Rm = 1 000 MPa ; Rp = 800 MPa ; A = 3 % ; C = 0,02-0,1 % ; Mn < 0,1-0,5 % ; Si < 0,1-0,5 % ; Cr = 8-20 % ; Mo = 1,5-6 % ; Al, Ti, Nb, V.
- alliages renforcés par des fibres : environ 40 % du volume de l'alliage est occupé par des fils de tungstène (Ø = 0,2 mm) → résistance ou fluage multipliée par 2 ou 3.
- alliages nickel-cuivre : Ni > 50 % ; Sn = 4-5 % ; Si = 1-6 % ; Rm = 400-600 MPa ; Rp = 230-600 MPa ; HB = 150-400 → très grande durabilité à froid.
- alliages nickel-chrome :
 - Cr = 50 % ; Rm = 500-700 MPa ; Rp = 350-550 MPa ; A = 20 ; HRC = 25
 - Cr = 60 % ; Rm = 770-1 100 MPa ; Rp = 590-700 MPa ; HRC = 36 → pièces soumises aux sollicitations mécaniques, à la corrosion et à l'oxydation.
- alliages nickel-silicium : Si = 10 %
- alliages nickel-cobalt : Co = 10-20 % ; Cr = 10-20 % ; Nb = 2 % ; Ta = 1 % ; W = 2,5-10 % → excellente résistance à la chaleur (jusqu'à 1 000 °C par périodes intermittentes).
- alliages « monels » : Ni = 60-67 % ; Cu = 30 % ; Al = 2,7 % ; Mn = 0,4-1 % ; Si = 0,2-4 % ; Rm = 1 000-1 500 MPa ; Rp = 1 200 MPa ; A = 30 % ; HB = 400 → moules pour verrerie, résistance aux acides, industrie alimentaire.

6. ALLIAGES DE PLOMB

- alliage plomb-étain-antimoine : Sn = 8-10 % ; Sb = 13-15 % ; Zn = 0,3-1,5 % ; Cd = 0,3-0,7 % → pièces de frottement : paliers lisses.

7. ALLIAGES DE TITANE

- TA6V4 : C ≤ 0,15 ; Fe < 0,3 ; Al = 5,5-6,7 ; V = 3,5-4,5 ; Rm > 900 MPa ; Rp > 800 MPa ; A > 6 % .
- TA5E2 : bonne soudabilité.

Alliages utilisés principalement dans l'industrie aéronautique, résistant à la corrosion marine et à l'oxydation jusqu'à 700 °C. Peuvent être matricés après la coulée d'une préforme.

ALLIAGES DE FONDERIE (21/21)

EMPLOI SELON LES PROCÉDÉS DE MOULAGE (1/1)

Technique	Matériau du moule	Procédés de moulage	Alliages d'aluminium	Alliage de cuivre		Alliages ferreux					Alliages de magnésium	Alliages de zinc			
				Laitons	Sables d'alliages	Aciers	Sables	Foyers	Foyers	Foyers			Foyers	Foyers	
															Alu
MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT	Modèle permanent	Outils froid	Sable dur: au contact de l'outillage	Sable à vert versé sous haute pression	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
					Éluage	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
					Frittage	Moulage en moule ceramique	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu
						Réaction chimique pouvant se poursuivre	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu
					Silicate de Sodium - CO ₂	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
					Sable aggloméré à froid	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
	Outils chaud	Sable à vert versé sous haute pression	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu				
		Boite chaude carapace	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu				
	Modèle non permanent	élimine avant la coulée	Frittage	Moulage de precision à modèle perdu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
					Moulage avec mo- dèle fragmen- té ou brisé avant la coulée	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
	éliminé à la coulée			Moulage avec mo- dèle gazéfi- able (en moule plein)	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu			
MOULAGE EN MOULE PERMANENT	Sans modèle	Outils régulés thermiquement		Métal à couler directement dans le sable	Coulée par gravité	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
					Moulage sous basse pression	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
					Métal	Moulage sous pression	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
						Chambre froide	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
					Chambre chaude	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu		
					Métal Graphite	Moulage par centrifugation	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	
Moulage par coulée continue	Alu	Alu	Alu	Alu		Alu	Alu	Alu	Alu						

emploi
spécifique

emploi
courant

emploi
moins courant

emploi
particulier

TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (1/10)

RÈGLES GÉNÉRALES (1/1)

1. DESSIN DE DÉFINITION DE LA PIÈCE DE FONDERIE

C'est le cahier des charges du produit et un document de réception de la pièce finie.

– Il définit complètement les dimensions et les exigences dans l'état de finition prescrit.

– Il comporte :

- la désignation de l'alliage (éventuellement sa composition chimique → comportement dans le milieu ambiant : corrosion...),
- les traitements thermiques ou autres opérations réalisées sur la pièce,
- les spécifications des caractéristiques mécaniques de l'alliage et les moyens et méthodes de contrôle,
- les tolérances dimensionnelles,
- l'état géométrique des surfaces.

2. DESSIN DE LA PIÈCE BRUTE DE FONDERIE

Réalisé à partir du dessin de définition de la pièce de fonderie (S1) sur lequel ont été tracé :

– les dépouilles, les surépaisseurs d'usinage, les modifications de forme permettant d'améliorer la compacité de l'alliage ou la réalisation du moule (voir § 3),

– les cotes et tolérances dimensionnelles de fonderie,

– les surfaces de référence permettant la mise en position et le serrage de la pièce lors de la première phase d'usinage (points de départ d'usinage).

Ce plan sert de référence au contrôle de la pièce brute.

3. ÉTUDE DE MOULAGE

– Elle sert d'élément de réflexion pour l'établissement du dessin de la pièce brute afin de pouvoir réaliser une pièce (ou plusieurs simultanément) conforme au cahier des charges.

– Elle permet de faire l'étude de l'outillage et de lancer sa fabrication.

4. RÈGLES RÉSUMÉES

Ces règles s'appliquent au tracé de la pièce brute comprenant toutes les sujétions d'obtention : orientation de la solidification par variation d'épaisseur, surépaisseurs d'usinage...

Elles prennent en compte les propriétés de l'alliage moulé et le procédé de moulage retenu pour la fabrication.

Ces recommandations permettent d'élaborer un tracé optimal de la pièce de fonderie aux plans économique et qualité de la pièce conformément au cahier des charges :

– compacité maximale de l'alliage,

– formes, dimensions, l'état de surface, précision de la pièce,

– structure fonctionnelle la plus allégée compte tenu des impératifs de résistance mécanique, de déformation, de fabrication de la pièce → nature de l'alliage

→ quantité de pièce

→ procédé de moulage.

– prix de revient minimal de la pièce finie en réduisant

• les difficultés de moulage,

• le parachèvement,

• l'usinage.

Ces règles concernent particulièrement :

4-1. Conception initiale de la pièce.

– Envisager des pièces multiples simples et économiques, assemblées, plutôt qu'une pièce monobloc imposant une technique qui ne serait pas la mieux appropriée à l'alliage employé, à l'état de surface, à la précision dimensionnelle de la pièce (analyse de la valeur).

– Prévoir des éléments facilitant les manutentions et la stabilité des pièces importantes.

4-2. Qualité de la pièce de fonderie.

– Épaisseurs régulières adaptées à l'alliage et à la technique de moulage* (voir p. 31), sinon utiliser des raccords progressifs aux variations d'épaisseur (p. 27 à 30).

– Arrondis et congés, afin d'éviter les angles vifs extérieurs et surtout intérieurs (voir les sujétions sur l'étude de moulage).

– Orienter la solidification vers le système d'alimentation en alliage liquide (en relation également avec la conception du moule : conductibilité thermique du moule).

Toutefois, s'il subsistait des parties isolées les alimenter indépendamment (tenir compte des sujétions dues aux trous ne pouvant venir de fonderie) :

– éviter les grandes parois horizontales (évacuation des gaz mal aisée, échauffement des parois du moule, contraction de solidification difficilement alimentée → défauts,

– rechercher le tracé limitant les contraintes résiduelles dues au retrait de l'alliage à l'état solide, lors du refroidissement de la pièce dans le moule (éviter la « gêne au retrait », en relation avec les matériaux de moulage),

– éviter les tracés créant des anisothermies de refroidissement.

4-3. Conception du moule.

– Rechercher des dispositions facilitant le moulage.

– Tracer des surfaces en dépouille lorsque cela n'entraîne pas de préjudice pour les fonctions de la pièce.

– Limiter le nombre de surface de joint du moule (une seule surface en moulage en série et en sous-pression).

– Les surfaces de joint seront des formes géométriques facilement réalisables (si possible des plans ou une suite de plans).

– Nombre de noyaux minimal et stables dans le moule avant et pendant la coulée (le même noyau peut réaliser plusieurs pièces placées dans la même empreinte (disposition recherchée en moulage en série).

– Réaliser des ouvertures dans les parois noyautées, afin d'augmenter la stabilité des noyaux, de faciliter l'évacuation des gaz produits après la coulée, et de faciliter l'extraction du sable après la solidification de l'alliage (débouillage des noyaux).

– Éviter les grandes parois nécessitant de la dépouille (surtout si elles sont verticales).

4-4. Techniques de moulage.

– Moulage en sable : formes extérieures simples et formes données par des noyaux pourront être complexes.

– Moulage en moule permanent par gravité (coquille) : formes extérieures complexes si nécessaire, formes intérieures simples (toutefois un noyau en sable pour formes intérieures complexes est envisageables : *exemple* : culasse avec noyau de circulation d'eau).

– Moulage sous-pression : une seule surface de joint, des noyaux latéraux sont possibles (contre-dépouille) mais compliquent le moule.

4-5. Parachèvement.

– Le démassement ne doit pas être gêné par les formes de la pièce.

– Éviter les bavures sur les formes complexes à élaborer (ou inaccessibles).

– Orientation de bavures vers les surfaces à usiner (de préférence perpendiculaires ou obliques).

4-6. Usinage.

– Les surfaces à usiner seront continues plutôt qu'isolées ou dans des surfaces différentes.

– Les surfaces de référence sur la pièce brute servant à mettre en position la pièce lors des usinages, doivent impérativement être choisies dans des parties de moule invariantes ou ayant le moins de variation.

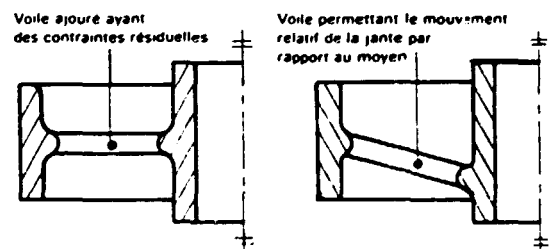
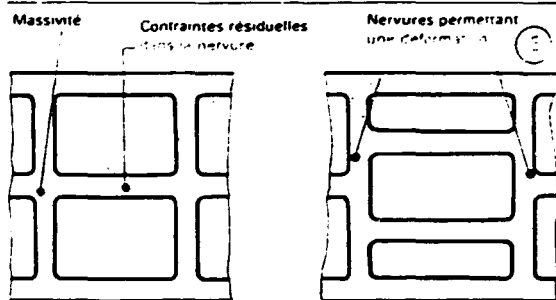
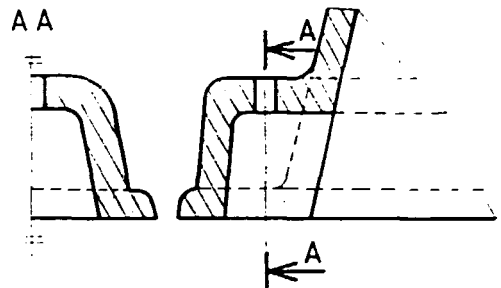
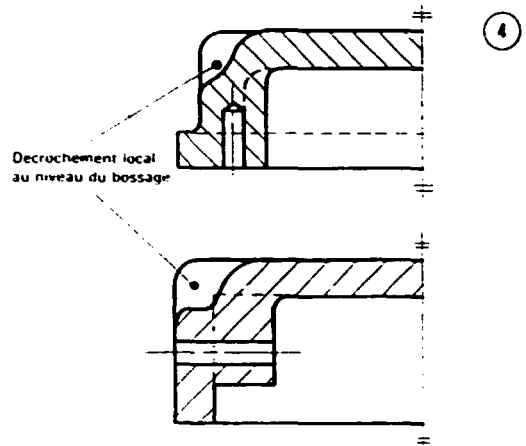
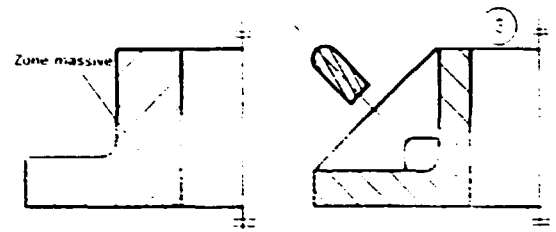
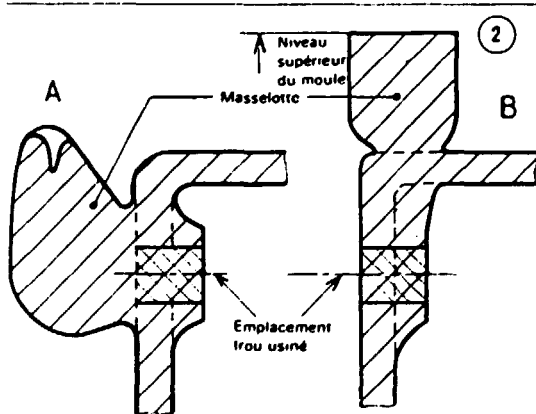
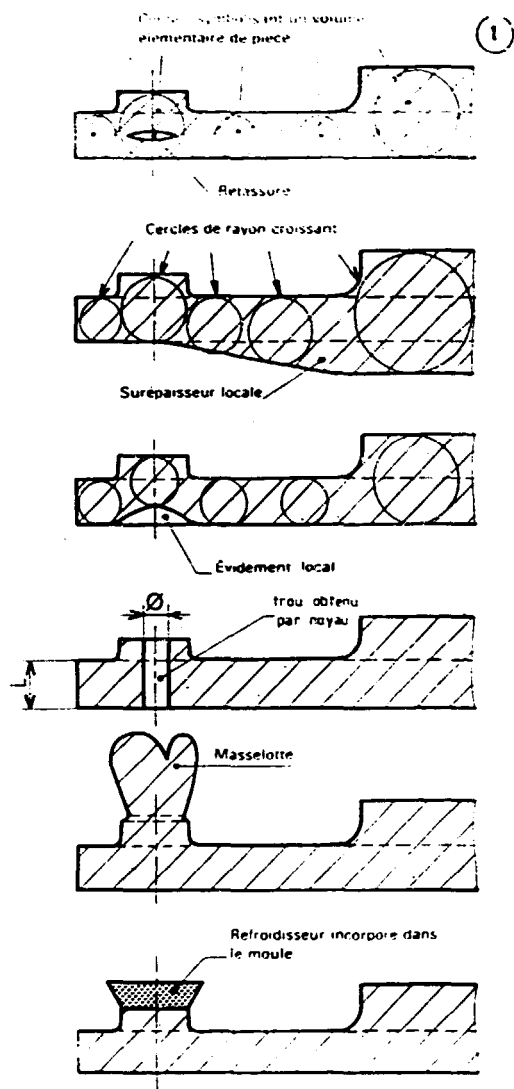
– Prévoir des dégagements d'outils sur la pièce brute.

– Obtenir par usinage les trous dont les diamètres sont trop faibles pour venir de fonderie (voir p. 32).

Note : * il faut tenir compte des tolérances dimensionnelles et des surépaisseurs d'usinage, compte tenu de l'alliage, de la technique de moulage, de la classe des outillages.

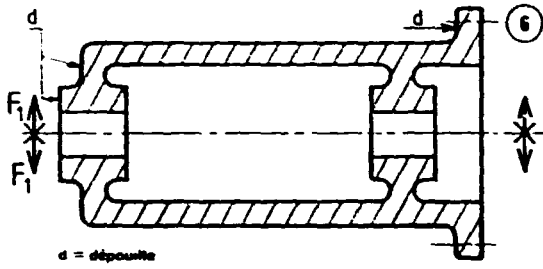
TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (2/10)

TRACÉS RECOMMANDÉS (1/2)

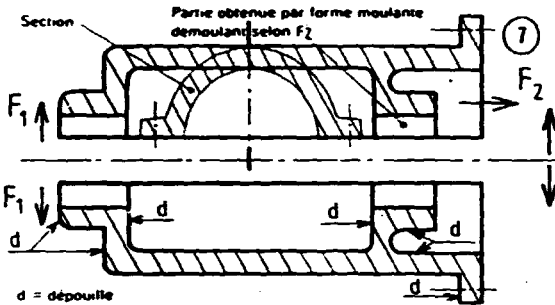
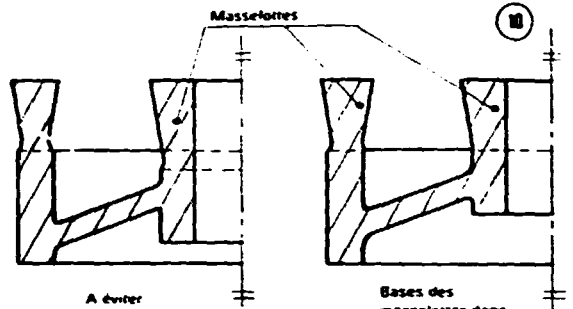


TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (3/10)

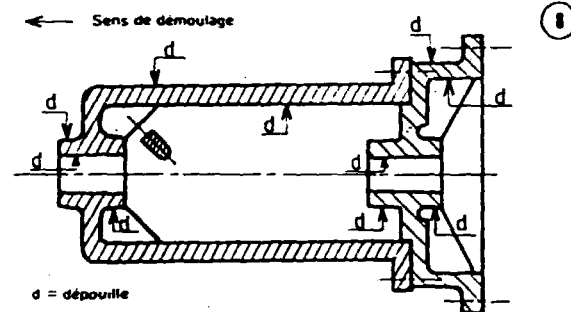
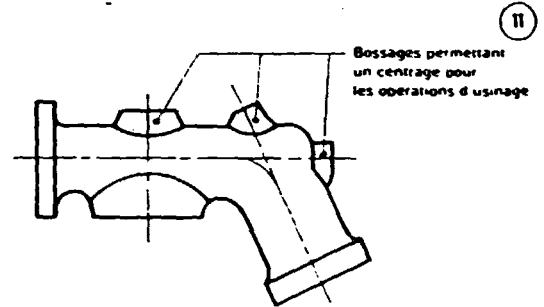
TRACÉS RECOMMANDÉS (2/2)



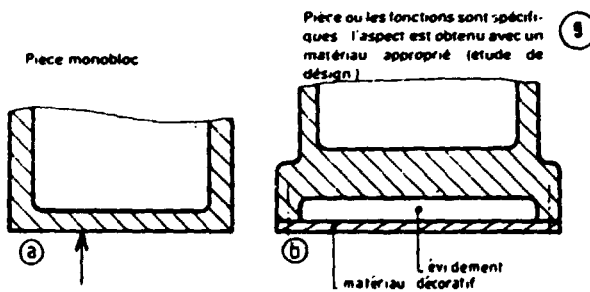
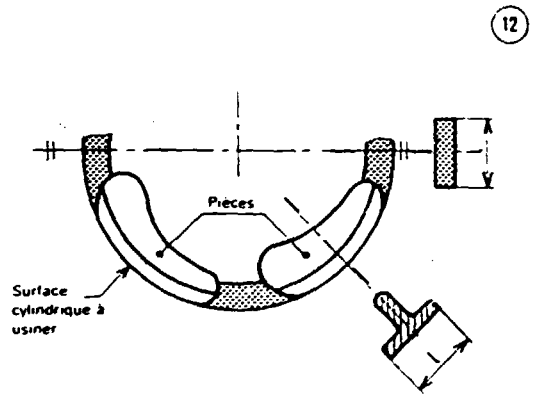
$d =$ dépouille
Pièce non réalisable sans un noyau intérieur en sable → moulage en moule non permanent



$d =$ dépouille
Pièce réalisée par assemblage de 2 demi-pièces identiques, sans noyau intérieur → moulage possible en moule permanent (coquille)

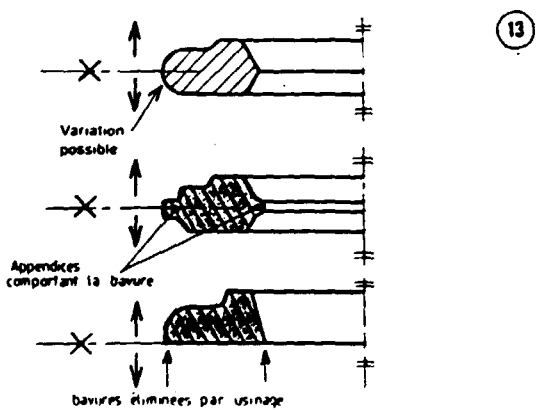


$d =$ dépouille
Pièce réalisée par assemblage de 2 parties obtenues sans noyau et sans démoulage oblique → moulage possible en sous-pression → allègement par réduction des épaisseurs et nervurage



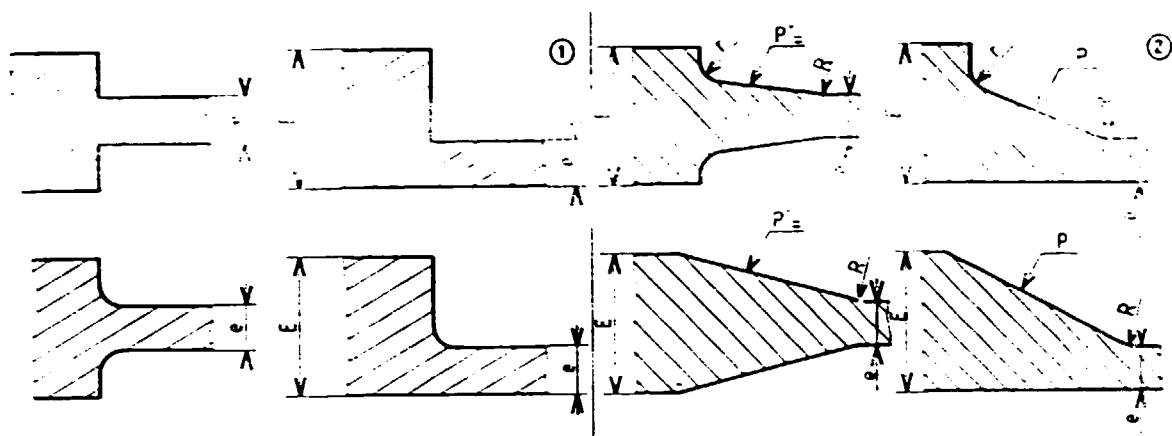
Surface de grande étendue pour laquelle il est difficile d'avoir une bonne planéité et une faible rugosité sans une préparation onéreuse

L'évidement d'accès facile permet de dissimuler des composants fonctionnels. Cette conception laisse une grande liberté de création esthétique

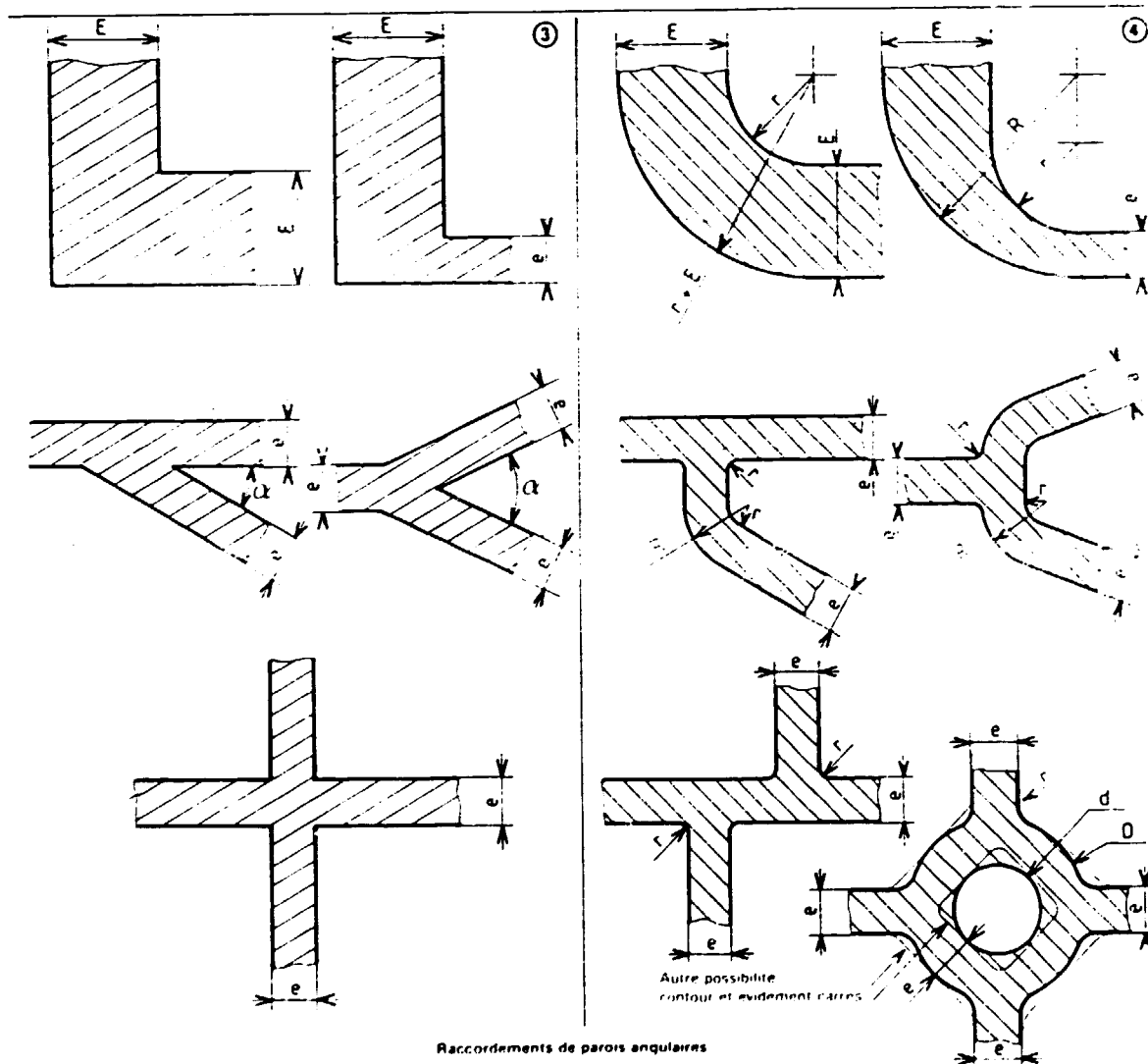


TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (4/10)

RACCORDEMENTS DE FEROIS (1/4)



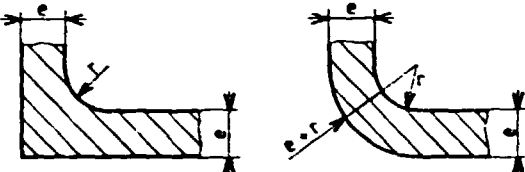
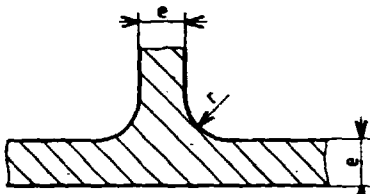
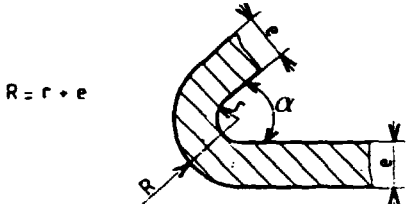
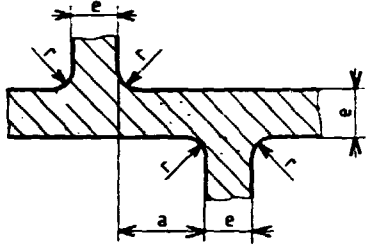
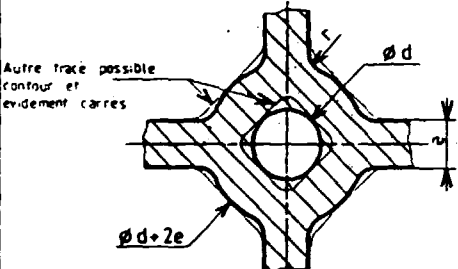
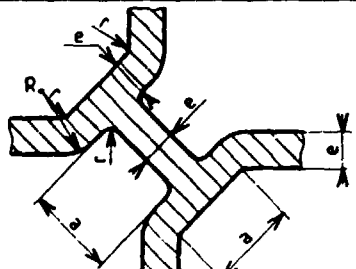
Raccordements de parois longitudinales



Raccordements de parois anquaires

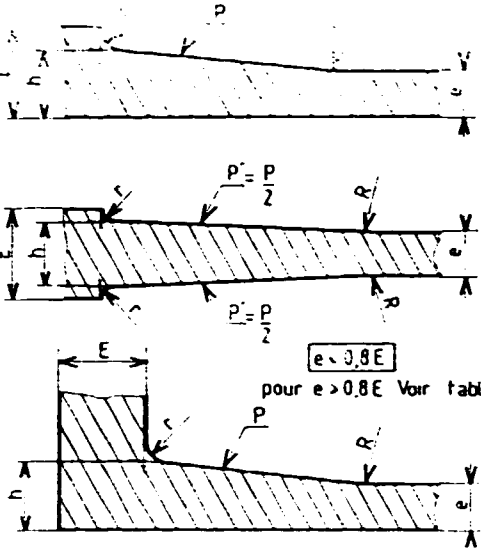
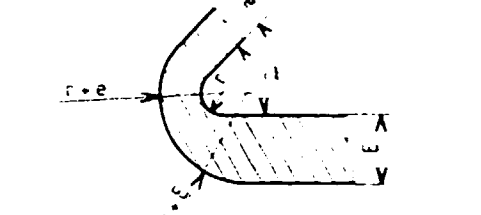
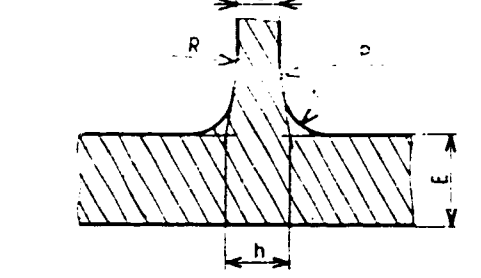
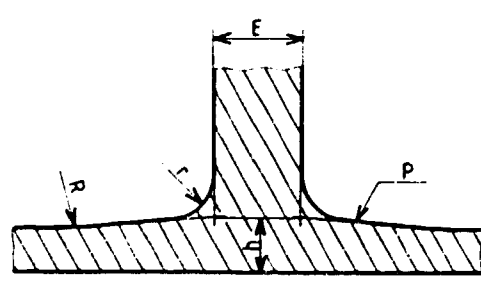
TRACÉS DES PIÈCES DE FONDERIE (5/10)

RACCORDEMENTS DE PAROIS (2/4)

TABLEAU 1 Type de la brasure	Alliages d'aluminium Alliages de magnésium Alliages de zinc	Aciers moulés (1) Cupro-aluminium (2) Alliages de cuivre (3) (sauf bronze)	Fonte à graphite lamellaire (1) Fonte à graphite sphéroïdal (2) Bronze (3)
	$0,4e \leq r \leq e$ Sous-pression : $r \geq e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} r = e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array} \right\} r = 0,4e$ $2 \quad r = 0,8e$
	$r = e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} r \rightarrow \text{tableau 4}$ $3 \quad r = 0,4e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array} \right\} r = 0,4e$ $2 \quad r = 0,8e$
 <p>$R = r + e$</p>	$r = e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right\} r = 1,5e$ $C \left\{ \begin{array}{l} r < 60^\circ \quad r \geq 10 \\ 60^\circ < r < 90^\circ \quad r \geq e \\ e > 40 \quad r = 1,5 \end{array} \right.$ (mm)	$r < 60^\circ \quad r > 10 \dots e$ $60^\circ < r < 90^\circ$ $\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} r \geq e$ (mm)
	$a \geq 2e$ $r = e$ Sous-pression : $a = 0$ possible	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a \geq 2e \\ r \rightarrow \text{tableau 4} \\ a \geq 2e \\ r = e \end{array}$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a \geq 2e \\ r = 0,4e \\ a \geq 2e \\ r = 0,8e \end{array}$
 <p>Autre trace possible contour et évidement carrés</p> <p>$\phi d + 2e$</p>	$r = e$	$\text{parois } e \geq 12$ $\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} d \geq 4e \\ r \rightarrow \text{tableau 4} \end{array}$ (mm)	$\text{parois } e \geq 12$ $\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} d \geq 20 \\ r = 0,25e \end{array}$ (mm)
	$a \geq 2e$ $r = e$ $R = 2e$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a \geq 4e \\ r \rightarrow \text{tableau 4} \\ R = r + e \end{array}$	$a \geq 25$ $R = 1,3e$ $\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = 0,3e \\ r = 0,8e \end{array}$ (mm)

TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (6/10)

RACCORDEMENTS DE PAROIS (3/4)

TABEAU 2 Type de la liaison	Alliages d'aluminium	Aciers moulés (1) Cupro-aluminium (2) Alliages de cuivre (3) (sauf bronze)	Fontes à graphite lamellaire (1) Fontes à graphite sphéroïdal (2) Bronze (3)
	$h = \frac{e + E}{2}$ $r = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5E$	$h = 0,6E$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r =$ tableau 4 2) $p = 15\%$ $h = \frac{e + E}{2}$ <ol style="list-style-type: none"> 3) $r = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5E$	$E \geq 25$ $r \geq 4$ $R = 5E$ $p = 10\%$ $h = \frac{E + e}{2}$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r = 0,3E$ 3) $r = 0,8E$ (mm)
	$r = \frac{E + e}{2}$	$r = \frac{E + e}{2}$	<ol style="list-style-type: none"> 1) $r = 10$ 2) $r = 10$ 3) $r = \frac{E + e}{2}$ (mm)
	$r = 0,6E$ $r = e$ $h = \frac{E + e}{2}$ $p = 10\%$ sous-pression : $p = 0$ $e > 0,6E$ $p = 0$	$E \geq 25 \text{ ou } e > 0,6E$ $h = \frac{E + e}{2}$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r = 0,6E$ 2) $p = 8\%$ $R = 5E$ 3) $r = 0,3E$ $R = 10E$ $e > 0,6E$ $p = 0$ (mm)	$E \geq 25 \text{ ou } e > 0,6E$ $h = \frac{E + e}{2}$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r = 0,3E$ 2) $p = 10\%$ 3) $r = 0,8E$ $p = 10\%$ $e > 0,6E$ $p = 0$ (mm)
	$E \geq 1,6e$ $r = e$ $h = \frac{E + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5e$ Sous-pression $P = 0$ $0,3 < \frac{e}{E} < 0,4$	$E \geq 1,6e$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r =$ tableau 4 2) $h = 0,6E$ 3) $p = 8\%$ $R = 5E$ 	$E \geq 1,6e$ $h = \frac{E + e}{2}$ $p = 20\%$ $R = 10E$ <ol style="list-style-type: none"> 1) $r = 0,3E$ 2) $r = 0,8E$

TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (7/10)

RACCORDEMENTS DE PAROIS (4/4)

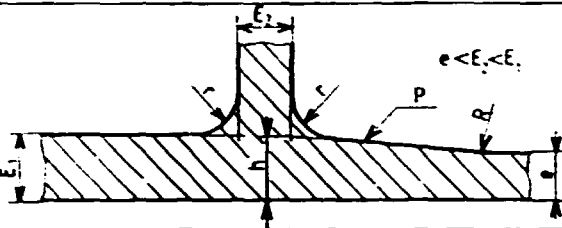
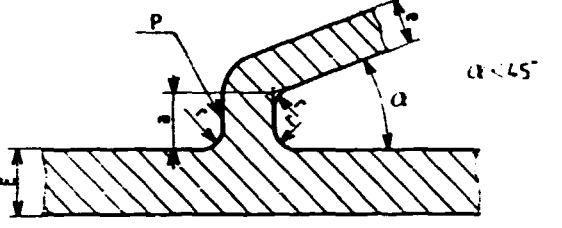
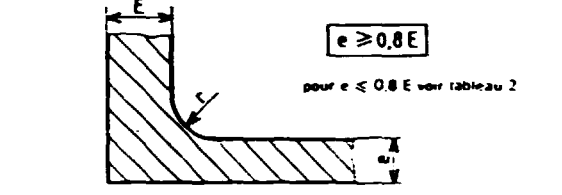
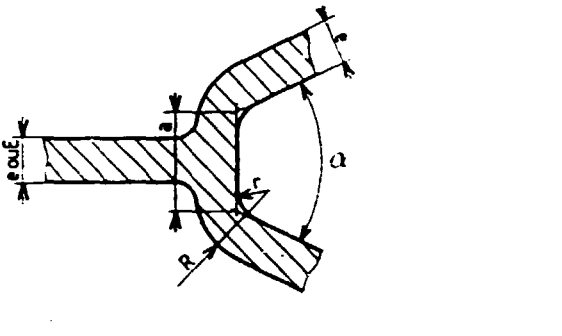
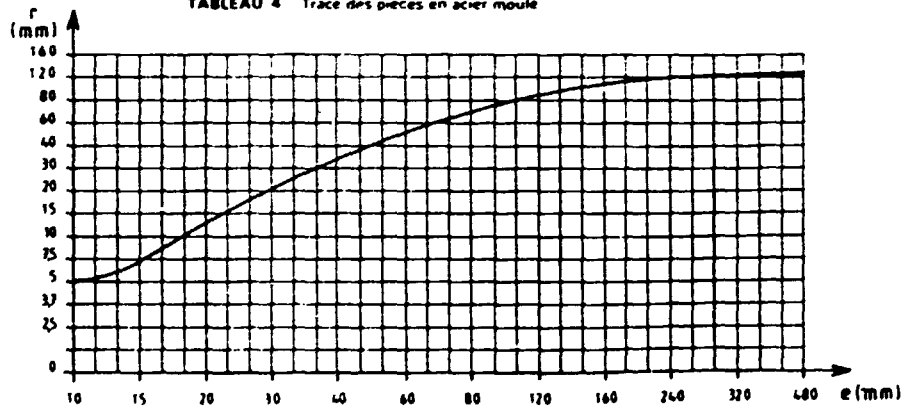
TABLEAU 3 Type de la soudure	Aluage d'aluminium	Aciers moulés (1) Cuivre-Aluminium (2) Aluages de cuivre (3) (sauf bronze)	Fontes à graphite lamellaire (1) Fontes à graphite sphéroïdal (2) Bronze (3)
 <p style="text-align: center;">$e < E_2 < E$</p>	$h = \frac{E + e}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5E$ $r = e$	$E_2 > 25 \text{ mm}$ \rightarrow tableau 4 1) $h = 0.6 E_2$ 2) $p = 8\%$ $R = 5 E_2$ $r = 0.4 E_2$ 3) $h = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5 E$	$h = \frac{E_2 + e}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5 E_2$ $\frac{1}{2} r = 0.4 E_2$ $3) r = 0.8 E_2$
 <p style="text-align: center;">$\alpha < 45^\circ$</p>	$a \geq E + e$ $p = 10\%$ $a \geq E + e$ $r = e$	$a \geq E + e$ 1) \rightarrow tableau 4 2) $p = 15\%$ 3) $\frac{1}{2} r = 0.3 E$ $p = 10\%$	$a \geq E + e$ $p \geq 10\%$ $a \geq E + e$ $\frac{1}{2} r = 0.3 E$ $3) r = 0.8 E$
 <p style="text-align: center;">$e \geq 0.8 E$</p> <p style="text-align: center;">pour $e \leq 0.8 E$ voir tableau 2</p>	$r = e$ Sous pression $0.5 \leq \frac{e}{E} \leq 0.6$	1) \rightarrow tableau 4 2) \rightarrow tableau 4 3) \rightarrow tableau 4	$E \leq 25$ $r \geq 4$ $\frac{1}{2} r = 0.4 E$ $2) r = 0.8 E$ mm
 <p style="text-align: center;">$e = E$</p>	$e = E$ $a \geq 4e$ $\frac{1}{2} r = e$ $2) R = 2e$ $a = 0$ possible $\rightarrow r > e$ $R = r + e$	$e = E$ $a \geq 4e$ $\frac{1}{2} r = e$ $2) R = 2e$ $e < E$ $3) a = 0$ possible $\frac{1}{2} r > e$	$e = E$ autres aciers $e = E$ $a = 0$ possible $E \leq 25 \text{ mm}$ et $e > 0.6 E$ $r \geq e$ $R = r + e$ $\alpha < 60^\circ \rightarrow r \geq 10$ $\frac{1}{2} r = 0.3 E$ $2) r = 0.8 E$ $E > 25 \text{ mm}$ ou $e < 0.6 E$ $r \geq e$, $R = r + \frac{E - r}{2}$ $\alpha < 60^\circ \rightarrow r \geq 10 \text{ mm}$

TABLEAU 4 Trace des pièces en acier moule



TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (8/10)

ÉPAISSEURS - DIMENSIONS (1/1)

1. ÉPAISSEUR MINIMALE (Tableaux 1 à 4)

L'épaisseur minimale est fonction
 - de l'alliage mis en œuvre
 - de la technique de moulage employée
 - des dimensions de la pièce
 - de la situation du faîte (bordure, angle, etc.)
 - des difficultés de remplissage, risques de reprises...

2. ÉPAISSEUR MAXIMALE

Les limites sont imposées généralement par
 - la recherche d'une pièce de masse minimale satisfaisant aux conditions de résistance (tracé de sections ayant une surface minimale et un moment quadratique optimal)
 - la conception d'une pièce économisant la matière
 - la recherche de la compacité maximale de la pièce : les épaisseurs faibles n'ont pas les impératifs d'alimentation des pièces épaisses
 - les capacités des moyens de fusion, de manutention, d'usinage.

3. SURÉPAISSEUR D'USINAGE (fig. 5)

Dépend de l'alliage, du procédé de moulage et des dimensions de la pièce (tolérances).

Elle permet d'assurer la présence de matière afin d'avoir une épaisseur de copeau supérieure au copeau minimum pour les surfaces devant être usinées (géométrie, état de surface, tolérance).

4. DÉPOUILLE

- Nécessité par l'extraction du modèle en moulage en moule non permanent
 - ou par l'extraction de la pièce du moule en moulage permanent.

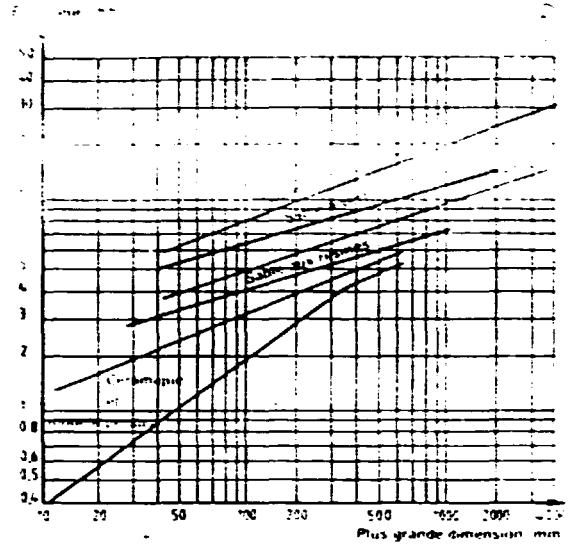
Elle s'ajoute à la surépaisseur d'usinage (elle est enlevée sur les surfaces usinées et subsiste sur les surfaces non fonctionnelles géométriquement).

Nota : • des noyaux extérieurs peuvent éliminer la dépouille
 • une étude de moulage judicieuse reporte la dépouille sur les surfaces non fonctionnelles
 • le moulage à modèle perdu peut se faire sans dépouille.

5. DIMENSIONS

Les limites sont imposées par la technique de moulage, par les possibilités de manutention, d'usinage.

Le recours à des pièces composites (de même alliage ou d'alliages différents) assemblées par diverses techniques (boulons, soudage, collage...) permet des combinaisons très variées.



Épaisseurs minimales des pièces en acier

Alliages	mini absolu (mm)	0,5 (longueur + largeur)					
		≤ 250	500	750	1 000	1 500	2 000
Fontes	3	4	5	6	8	10	12
Aluminium	3	3,5	4	5	6	7	8
Cuivre	2,5	3	4	5	7	8	10

Épaisseurs minimales en moulage en sable

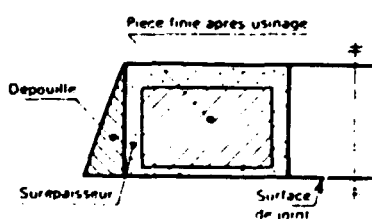
Alliages	③		
	Coquille gravité	Centrifugation	Coulée continue
Alliages d'aluminium	2,5 mm	-	-
Alliages cuivreux	2,5 mm	10 mm	5 mm
Fonte	3 mm	3 mm	5 mm

Épaisseurs minimales en moulage en moules permanents par gravité et centrifugation

Alliages	④			
	Zinc (mm)	Aluminium (mm)	Magnésium (mm)	Cuivre (mm)
< 50 mm	0,4 - 0,8	0,8 - 1	1 - 1,5	0,8 - 1,5
50 à 100 mm	1 - 1,5	1,5 - 2	1,5 - 2	2 - 2,5
100 à 250 mm	1,5 - 2	2 - 2,5	2 - 2,5	2,5 - 3
> 250 mm	2 - 2,5	3 - 3,5	2,5 - 3	3 - 3,5

Épaisseurs minimales en moulage sous pression (mini absolu et mini habituel)

Nota : les valeurs de ces différents tableaux sont données à titre indicatif, des valeurs différentes peuvent être obtenues après mise au point (surtout en sable).



⑤

TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (9/10)

TROUS BRUTS DE FONDERIE

1. GÉNÉRALITÉS

Il y a une limite minimale à la réalisation de trous bruts de fondere, lorsque les diamètres sont petits ou la longueur grande par rapport au diamètre.

- Création localement de zone anisotherme : la chaleur apportée par l'alliage liquide entourant le noyau ne peut s'évacuer aisément et la solidification de cette zone se fait isolément du reste de la pièce, le noyau créant un point chaud, une retassure peut alors se produire.
- Durcissement du noyau en sable suite à l'élévation thermique et difficulté de déburrage.
- Evacuation difficile des gaz du noyau en sable lors de la réaction alliage liquide-noyau et risque d'inclusion de bulles de gaz dans l'alliage.
- Usure prématurée des broches des moules métalliques.
- La résistance mécanique du noyau.
- La coulabilité de l'alliage.

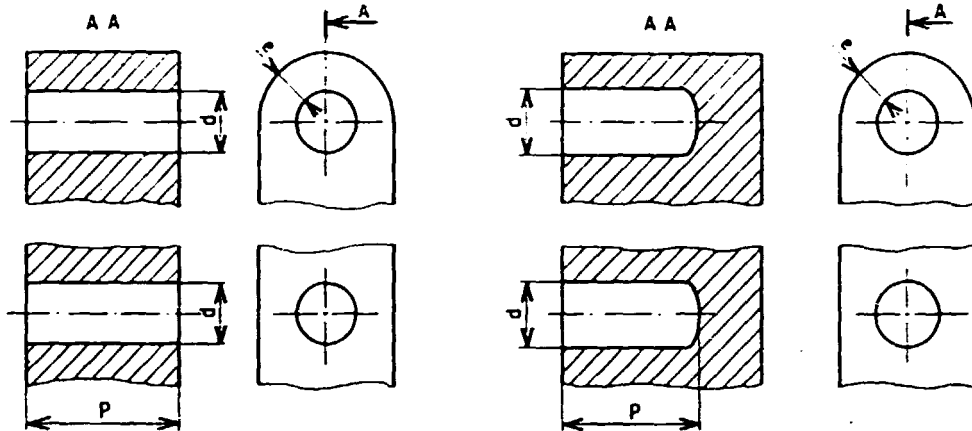
2. TABLEAUX

Les tableaux 1 à 5 donnent les dimensions minimales généralement adoptées selon les alliages et les procédés de mise en œuvre.

Toutefois l'emploi de dispositifs particuliers ayant fait l'objet de mise au point préalable permet d'obtenir des trous de diamètres plus faibles ou de longueurs plus grandes :

- refroidisseurs,
- circuits d'eau ou de fluides divers,
- caloduc,
- matériaux bons conducteurs de la chaleur,
- matériaux réfractaires...

Tableau 1 : Alliages cuivreux et ferreux coulés en sable per gravité		①
Alliages cuivreux	$d \geq 8 \text{ mm}$ $P \leq 10 d$ avec $P \leq 250 \text{ mm}$	$d \geq 8 \text{ mm}$ $P \leq 5 d$ avec $P \leq 50 \text{ mm}$
Alliages ferreux	$d \geq 8 \text{ mm}$ $d > 2e \rightarrow L \geq d$ $2e < d < 3e \rightarrow L < 3d$ $d \geq 3e \rightarrow L$ ne dépend que de la résistance mécanique du noyau et de la coulabilité de l'alliage	$d \geq 10 \text{ mm}$ $d < 2e \rightarrow P \leq 0,5 d$ $2e < d < 3e \rightarrow P \leq 2 d$ $d \geq 3e \rightarrow P$ ne dépend que de la résistance mécanique des noyaux et de la coulabilité de l'alliage



Alliage cuivreux	$d \geq 5 \text{ mm}$; dépointe $\geq 2\%$ $P \leq 5 d$ avec $P \leq 125 \text{ mm}$	$d \geq 5 \text{ mm}$; dépointe $\geq 2\%$ $P \leq 3d$ avec $P \leq 25 \text{ mm}$	②
------------------	---	---	---

③	④	⑤																																										
 $d > 2e$ Formes en ailettes Moulage en sable	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">$4 < d < 6$</td> <td style="text-align: center;">$\leq 4 d$</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$6 < d < 12$</td> <td style="text-align: center;">$\leq 6 d$</td> <td style="text-align: center;">1,5 à 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$12 < d < 25$</td> <td style="text-align: center;">$\leq 8 d$</td> <td style="text-align: center;">1 à 0,8</td> </tr> </table> Alliages d'aluminium coulés en coquille per gravité	$4 < d < 6$	$\leq 4 d$	2	$6 < d < 12$	$\leq 6 d$	1,5 à 2	$12 < d < 25$	$\leq 8 d$	1 à 0,8	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Al, Mg</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">115</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: center;">6 d</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Zamak</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">115</td> <td style="text-align: center;">150</td> <td style="text-align: center;">6 d</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Laiton</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">45</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">3 d</td> </tr> </table> Profondeur max des trous selon les diamètres Alliages d'aluminium, de magnésium, de zinc et laiton coulés sous pression	Al, Mg	8	13	15	25	40	50	80	115	150	6 d	Zamak	10	15	20	25	40	50	80	115	150	6 d	Laiton	-	-	8	10	15	20	28	45	70	3 d
$4 < d < 6$	$\leq 4 d$	2																																										
$6 < d < 12$	$\leq 6 d$	1,5 à 2																																										
$12 < d < 25$	$\leq 8 d$	1 à 0,8																																										
Al, Mg	8	13	15	25	40	50	80	115	150	6 d																																		
Zamak	10	15	20	25	40	50	80	115	150	6 d																																		
Laiton	-	-	8	10	15	20	28	45	70	3 d																																		

TRACÉ DES PIÈCES DE FONDERIE (10/10)

TRACÉS FACILITANT L'USINAGE (1/1)

1. BOSSAGES

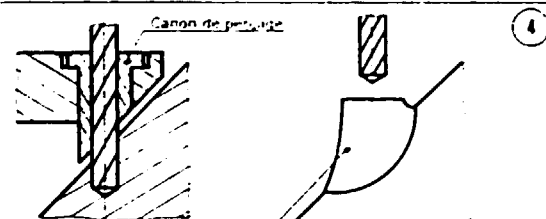
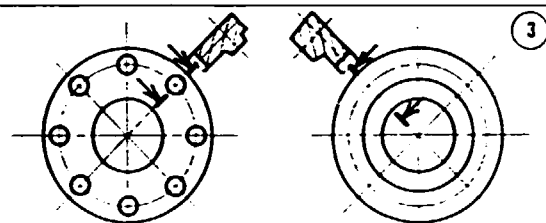
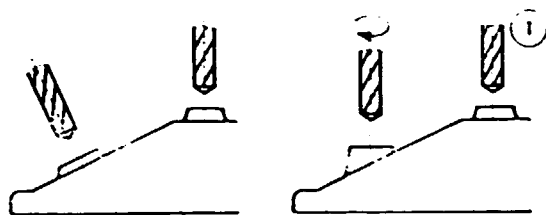
– Les axes des bossages seront de préférence perpendiculaires ou parallèles à l'axe de l'outil d'usinage, lorsque la pièce est disposée sur la table de la machine (fig. 1).

– Les usinages seront dans le même plan afin de limiter le nombre de réglages (fig. 2).

– Il est préférable de remplacer une série de bossages par une surface continue (annulaire ou rectiligne) (fig. 3).

– Un bossage évite l'emploi d'un canon de perçage sur des surfaces obliques (fig. 4), il permet un centrage sur une surface oblique (fig. 4).

– Un bossage non justifié est remplacé par une surépaisseur usinée avec un foret à lamer (fig. 6), par tournage ou fraisage.



2. CONTINUITÉ D'USINAGE

– Un chambrage peut éviter un démontage pour usinage et assurer une concentricité supérieure lorsque des alésages sont coaxiaux (fig. 7).

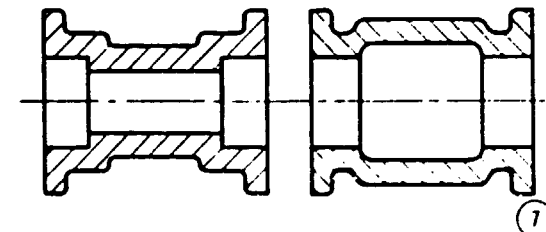
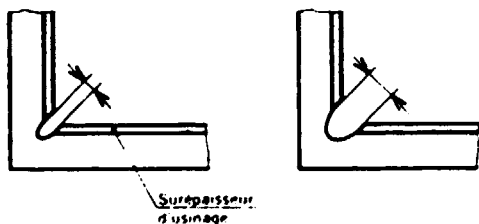
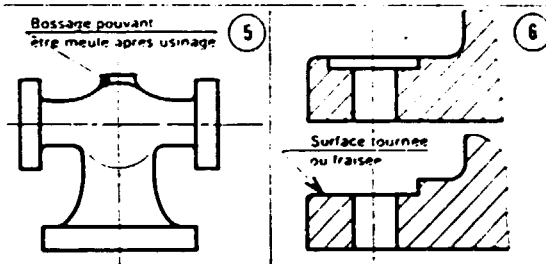
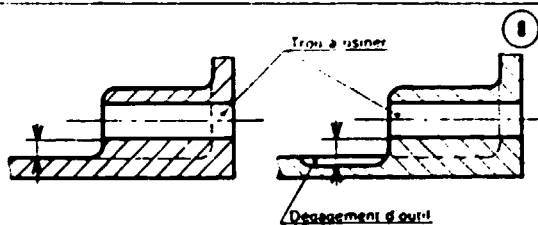
– Une ouverture ménagée dans une paroi permet d'utiliser une barre d'alésage sans porte-à-faux, l'ouverture pouvant être obturée par la suite.

3. DÉGAGEMENTS D'OUTILS

Ils permettent de limiter l'usinage à la zone considérée sans usiner les parties voisines de la pièce.

Les dégagements d'outils doivent être conçus en prenant en compte les surépaisseurs d'usinage : ils seront aussi larges que possible avec des surfaces très arrondies (sinon création de concentration de contraintes) (fig. 8).

Nota : les trous bruts de fonderie devant ensuite être usinés seront éloignés des parois voisines afin de pallier les éventuelles excentricités dues au retrait ou aux tolérances de moulage (variations également possibles pour des bossages qui peuvent ne pas être tous percés dans leur axe).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (1/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (1/26)

1. GÉNÉRALITÉS

1-1. **Moule non permanent** : structure principalement réalisée avec des matériaux de moulage, composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte.

Cette empreinte correspond à la pièce brute, en tenant compte :

- du système d'attaque permettant de remplir l'empreinte sans préjudice pour les matériaux du moule ni pour la qualité de la pièce ;
- du système d'alimentation compensant la contraction de solidification ;
- du retrait à l'état solide.

Généralement les formes intérieures des pièces sont données par des noyaux (emploi parfois de noyaux extérieurs) qui sont des éléments de moule réalisés séparément avec un outillage spécial (boîtes à noyaux).

Après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute solidaire du système d'attaque et du système d'alimentation.

L'enlèvement des matériaux de moulage adhérent à la pièce, ainsi que des systèmes d'attaque, de remplissage, et des bavures (provenant du jeu entre les différentes parties du moule) constitue le parachèvement.

Le moule est détruit dans la phase de fabrication de la pièce.

La réalisation d'une autre pièce (ou groupe de pièces dans une même empreinte) conduit à la fabrication d'un autre moule.

1-2. Matériaux de moulage (p. 66).

- Ils doivent se mettre en œuvre facilement, réaliser et conserver les formes de la pièce à obtenir.
- Résister à l'action mécanique et thermique de l'alliage coulé, et permettre le remplissage.
- Ne pas gêner le retrait de l'alliage à l'état solide (craques).
- Se désagréger après solidification de la pièce.
- Permettre le recyclage des éléments non détruits.

1-3. Procédés de moulage.

Mettent en œuvre les matériaux de moulage à l'aide de machines et de matériels.

Leur condition d'emploi dépend du cahier des charges de la pièce à réaliser et de l'équipement de l'atelier (sauf dans le cas d'un équipement conçu pour une fabrication définie).

Plusieurs procédés peuvent conduire à des résultats techniquement identiques, mais de prix de revient différents.

2. MOULAGE AVEC MODÈLE PARTIEL

Ces procédés peuvent parfois être remplacés par des procédés avec modèle polystyrène (p. 53).

2-1. Moulage par troussage.

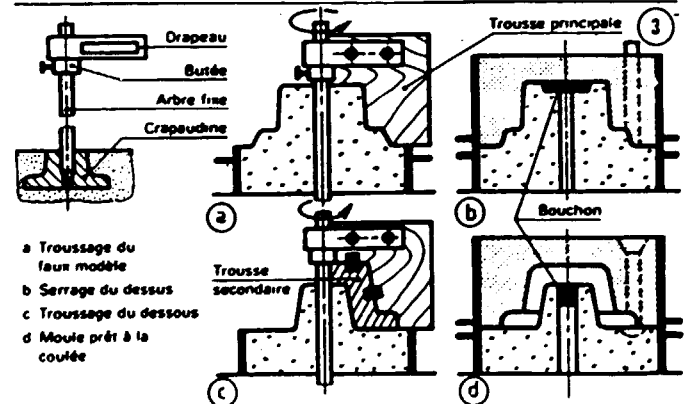
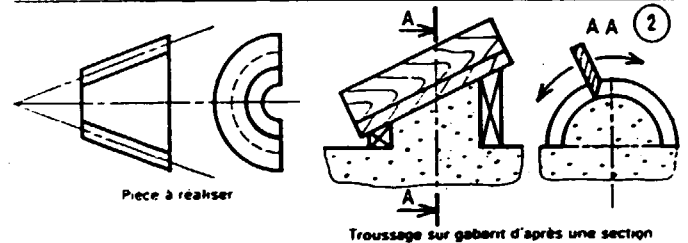
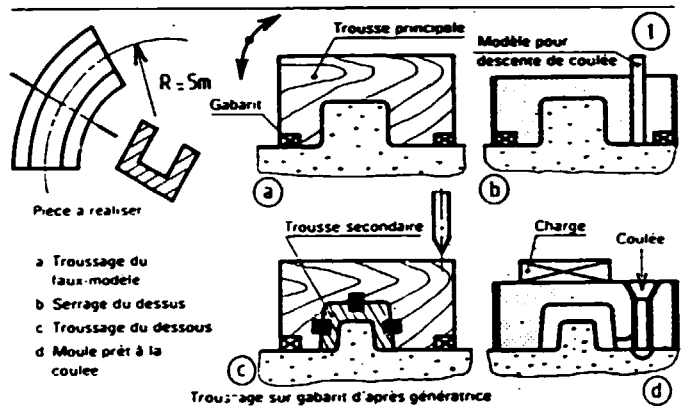
- Troussage sur gabarit pour des pièces dont les surfaces principales sont définies par des génératrices (fig. 1) ou des sections (fig. 2).
- Troussage autour d'un axe, vertical ou horizontal pour les pièces dont les surfaces principales sont de révolution (fig. 3).
- Troussage autour d'un axe vertical et sur gabarit pour des pièces dont les surfaces principales sont hélicoïdales.

2-1-1. Principe.

- La forme de l'empreinte est obtenue en raclant le matériau de moulage déposé en excès dans un châssis (p. 60) à l'aide de pièces en bois et en métal découpées selon le profil de la pièce à réaliser.
- Emploi pour réaliser soit un moule ou une partie du moule, soit un faux modèle en sable sur lequel est moulée l'empreinte (fig. 3a).

2-1-2. Caractéristiques.

- Coût très faible du modèle en moulage unitaire
- Haute qualification du personnel
- Réalisation de moulages de grande dimension (> 1 m).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (2/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (2/26)

2-2. Moulage avec carcasses et galettes.

Des sections droites du modèle, montées sur une ossature, permettent de trousser des surfaces enveloppes complexes.

2-2-1. Moulage avec modèles carcasses.

Les modèles sont composés d'une ossature et doivent être remplis, soit de sable de moulage, soit de plâtre pour réaliser les surfaces extérieures (fig. 1).

L'ossature est réalisée avec des éléments plats représentant les sections droites extérieures longitudinales et transversales.

Réalisation du moule (fig. 2).

- Moulage du châssis de dessous en prenant la carcasse garnie comme modèle (fig. 2a).
- Extraction de la carcasse.
- Garnissage de l'empreinte avec des galettes de sable, de bois ou de polystyrène : ces galettes ayant l'épaisseur de la pièce (fig. 2b).
- Moulage du châssis supérieur en se servant de l'empreinte inférieure garnie de galettes comme modèle (contre-moulage) (fig. 2c).
- Ouverture du moule, lissage de l'empreinte supérieure, enlèvement des galettes de l'empreinte inférieure.
- Remoulage et fermeture du moule (fig. 2d).

Caractéristiques.

- Réalisation de surfaces gauches complexes avec des éléments simples de modèle.
- Haute qualification du personnel.

2-2-2. Moulage avec modèles squelettes.

Les modèles composés de sections simples transversales et longitudinales définissent des éléments de surfaces extérieures et des éléments de surfaces intérieures (pas de recours aux galettes du moulage avec carcasse) (fig. 3).

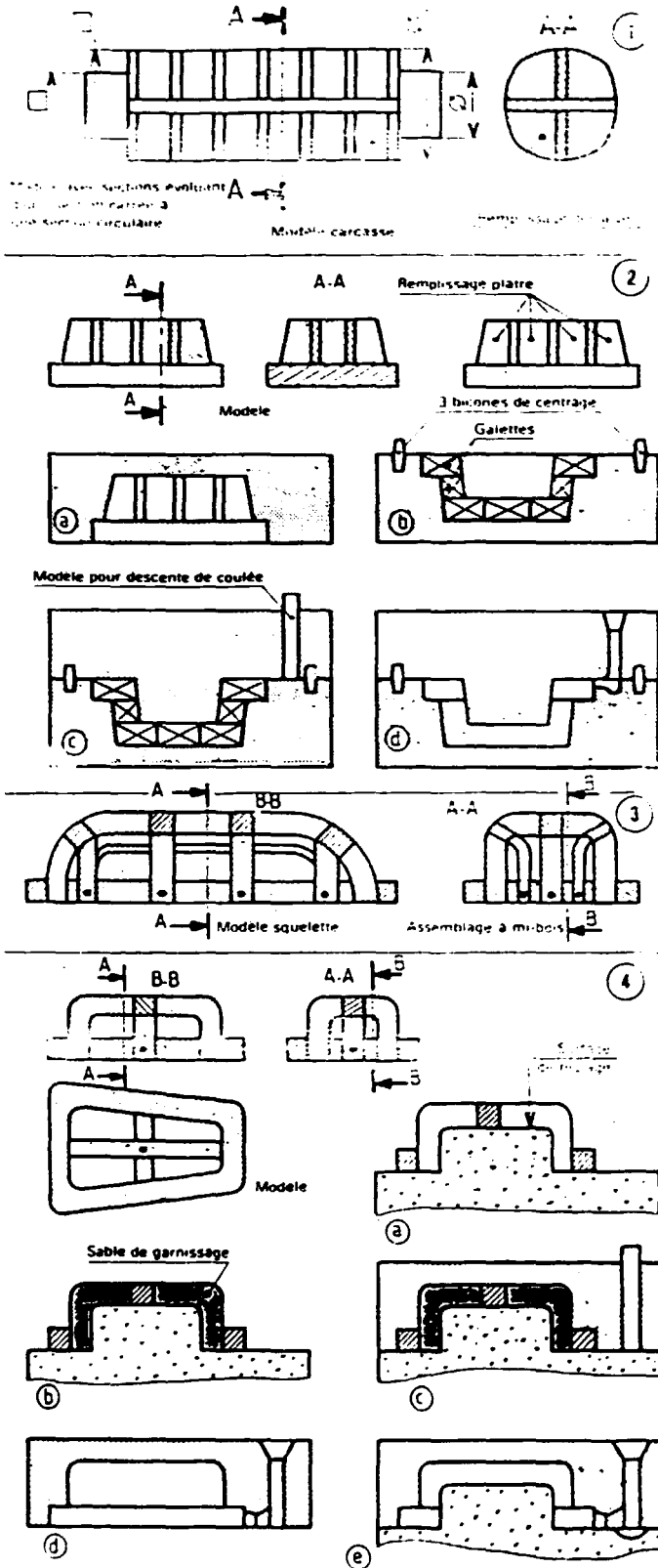
Réalisation d'un moule (fig. 4).

- Fabrication du dessous en remplissant l'intérieur du modèle-squelette (fig. 4a).
- Garnissage des espaces entre les éléments du modèle (épaisseur de la pièce) et lissage (correspond à la surface extérieure de la pièce) (fig. 4b).
- Serrage du châssis supérieur en prenant la surface précédente comme modèle (fig. 4c).
- Démoulage du modèle en entraînant le sable de garnissage (fig. 4d).
- Fermeture du moule (fig. 4e).

Caractéristiques.

- Réalisation de formes intérieures et extérieures avec le même outillage simple
- Pièces unitaires de grandes dimensions et de formes simples
- Haute qualification du personnel.

Note : chaque partie de moule représente une masse importante de sable nécessitant des armatures et des ancrages (poids propre et poussée métalostatique).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (3/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (3/26)

3. MOULAGE AVEC MODELE PERMANENT

- Les formes de la pièce à obtenir sont données par le modèle (fig. 1).
- Il a les dimensions de la pièce, augmentées de la valeur du retrait de l'alliage employé.
- Lorsque les formes intérieures de la pièce ne peuvent être obtenues avec le modèle : emploi de noyau en sable (p. 37) réalisés dans des boîtes à noyaux. Dans ce cas le modèle comprend les portées de noyaux (fig. 2).
- Emploi de chape lorsqu'il y a des parties démontables (p. 38).
- Les systèmes d'attaque et d'alimentation r.e sont pas donnés par le modèle mais réalisés par le mouleur.

3-1. Dépouille.

Le sable serré autour du modèle s'oppose à son extraction (fig. 3) :

- par frottement (fonction de la granulométrie et de l'état de surface du modèle).
- par contre-dépouille lorsqu'une section du modèle est supérieure à la section de l'empreinte de la surface du moule.
- l'extraction est facilitée par l'ébrantage du modèle (déformation).

L'entraînement de sable est évité en inclinant les surfaces du modèle obliquement par rapport au sens de démoulage (1) : C'est la dépouille (fig. 4).

- Valeur dépendant de la classe des modèles (p. 61).
- S'ajoute généralement aux dimensions de la pièce sans dépouille (fig. 5).
- Peut être diminuée avec un outillage approprié (fig. 6).

3-3. Modèles.

3-3-1. Modèles enlevés : en bois tendre non vernis

- Ne comportent pas de plaque d'ébrantage : dépouille supérieure à 2 %.
- Souvent monobloc : le mouleur doit rechercher la surface de joints.
- Les parties démontables sont simplement vissées sur le modèle principal.
- Ne comportent ni congé, ni raccordement de surface ceux-ci étant taillés par le mouleur : témoins de congé ou peinture noire sur le modèle (largeur = rayon) ou cotations du plan de pièce brute.

3-3-2. Modèles légers : en bois tendre et mi-dur pour les parties fragiles, vernis.

- Plaque d'ébrantage : dépouille normale 2 %.
- Souvent coupés suivant la surface de joint.
- Les congés sont en partie réalisés avec du cuir ou du plastique collé.

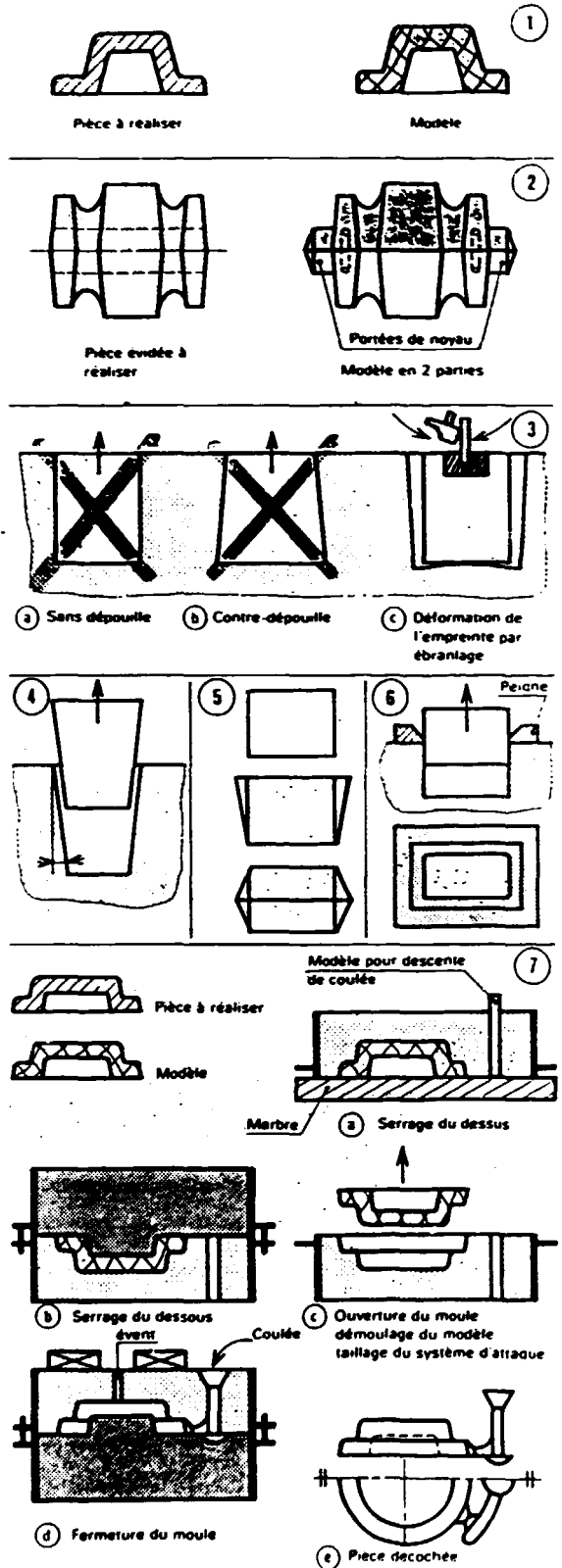
3-3-3. Modèles soignés : voir moulage avec plaque-modèle (p. 36).

3-4. Fabrication du moule (fig. 7).

- Serrage d'un moule sur une fausse partie si la surface de joint du modèle n'est pas plane.
- Retournement du moule et serrage de l'autre partie du moule.
- Ouverture et démoulage du modèle. Les éléments de modèle en contre-dépouille sont démoulés séparément après extraction du modèle principal.
- Réalisation des systèmes d'attaque et d'alimentation par taillage.

3-5. Caractéristiques :

- Fabrication de pièces unitaires de toutes dimensions.
- Nécessite une main-d'œuvre qualifiée.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (4/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (4/26)

4. MOULAGE AVEC PLAQUE-MODÈLE

- Moulage de pièces de la petite série à la très grande série selon la conception des plaques-modèles.
- Le modèle n'a qu'une surface de joint de moulage.
- Chaque demi-modèle est monté sur une plaque (fig. 1) : principal en bois, plastique, marbre métallique ou bien en fonte avec la plaque (grande série).
- Les empreintes ne pouvant être obtenues avec les 2 plaques modélées, sont réalisées par des noyaux donnant des formes intérieures ou extérieures (contre-dépouille de la pièce à réaliser).
- Dans ce cas les portées de noyau sont réalisées par les plaques-modèles.
- Les plaques-modèles peuvent comporter les modèles réalisant les empreintes des systèmes d'attaque et d'alimentation.
- Emploi en moulage mécanique.

4-1. Classes des modèles.

4-1-1. Modèles soignés : petite série jusqu'à 500 pièces.

- Les modèles sont coupés selon la surface de joint de moulage et sont montés sur des panneaux en bois ou plastique ou sur des marbres métalliques.
- Chaque demi-modèle monté sur panneau peut comporter les systèmes d'attaque et d'alimentation et les goujons de repérage.

Note : la qualité des matériaux du modèle permet de conserver les tolérances dimensionnelles initiales après stockage : emploi pour des petites séries successives et même pour des pièces unitaires répétitives.

4-1-2. Modèles très soignés : série de 1 000 pièces.

- Les parties fragiles ou soumises à l'usure peuvent être réalisées en métal et remplacées
- Les modèles peuvent être en bois dur verni, en bois imprégné de résine, en matière plastique surmoulée, grattés, usinés.
- Les plaques comportent des bagues et des goujons de centrage.

4-1-3. Modèles de grande production : série de 10 000 pièces.

- Modèles métalliques usinés, en bois imprégné de résines, ou en matière plastique (stratifiés ou coulés sur armatures métalliques) montés sur marbre.

4-1-4. Les modèles de très grande production avec interchangeabilité : séries supérieures à 10 000 pièces.

- Modèles en fonte, en fer ou en acier, renforcés dans les zones d'usure par des parties en acier traité.
- Ils peuvent comporter des dispositifs pneumatiques, mécaniques ou électriques (chauffage).
- Remplacement des parties usées (forme) ou ne respectant plus les tolérances définies (précision).

4-2. Types de plaque-modèle.

Selon la forme de la pièce et le type de production :

- plaque-modèle simple (fig. 2) : 1 plaque, 1 machine,
- plaque-modèle double (fig. 3) : 2 plaques, 2 machines,
- plaque-modèle double face (fig. 4) : 1 plaque, 1 machine,
- plaque-modèle réversible (fig. 5) : 1 plaque, 1 machine, le moule est réalisé avec 2 demi-moules identiques,
- plusieurs modèles de pièces peuvent être montés sur la plaque-modèle, reliés aux mêmes systèmes d'attaque et d'alimentation : moulage en grappe (fig. 6).

Les grappes de pièce peuvent être obtenues également en superposant plusieurs moules, réalisant la descente de coulée.

- l'assemblage de plusieurs moules disposant leurs surfaces de joint verticales afin d'être coulés, réalise le moulage en presse (fig. 8).

4-3. Moulage en châssis.

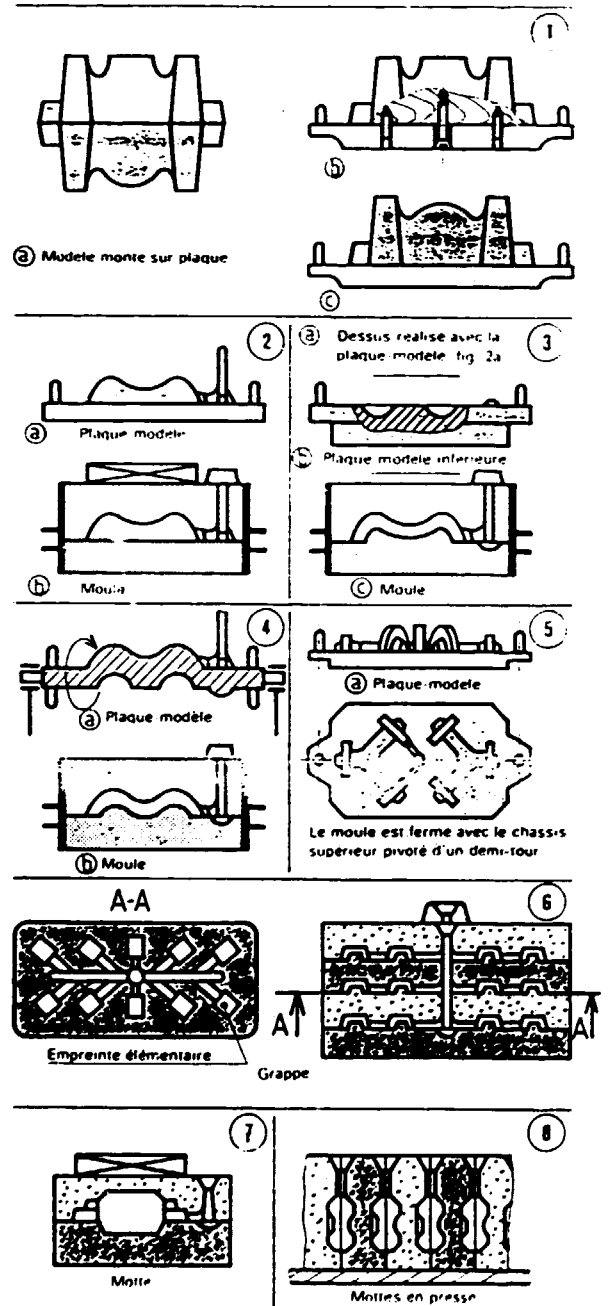
Les châssis (p. 60) sont montés sur les plaques-modèles et centrés par des bagues.

La fermeture du moule se fait à l'aide de broches de guidage amovibles.

4-4. Moulage en mottes (fig. 7 et 8).

La cohesion du sable moulé serré sous haute pression (ou sable aggloméré à froid (p. 47)), est suffisante pour conserver la stabilité du moule au démoulage et à la coulée.

Éventuellement une frette assure un maintien latéral de la coulée.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (5/39) PROCÉDÉS DE MOULAGE (5/26)

5. MOULAGE AVEC NOYAUX

Noyau : Structure en matériau de moulage, réalisée indépendamment du moule et donnant après remoulage (mis en place dans le moule) des reliefs permettant d'obtenir des formes intérieures et extérieures de la pièce brute. La stabilité est assurée par des pointes.

Les noyaux peuvent être assemblés entre eux avant ou après remoulage.

5-1. Conditions d'emploi.

- Réalisation de formes intérieures (fig. 1 et 2).
- Obtention de parois sans dépouille (fig. 2, 3, 4).
- Limiter ou éviter des démontages de modèle.
- Mise en plaque-modèle de pièces complexes en moulage mécanique : réalisation de l'empreinte dans un moule sans chape (p. 39).
- Simplification de la réalisation des modèles :
 - parties d'empreinte complexes données par des noyaux remoulés dans une empreinte simple.
 - renforcement d'un modèle présentant des zones fragiles, les noyaux bouchant les empreintes des renforts de modèle.
- mise en place d'insertions dans un moule (p. 49).
- faciliter le remoulage avec des noyaux berceaux (fig. 5)

5-2. Moulage partiel avec noyaux.

- **noyaux intérieurs :** obtention des évidements de la pièce brute ne pouvant venir naturellement avec le modèle ou la plaque-modèle (fig. 1 et 2)
- **noyaux extérieurs (ou de paroi)**
- Obtention de parties d'empreinte n'étant pas dans le sens du démoulage (fig. 4).
- Remplacement des chapes en moulage mécanique (fig. 3).
- Mise en position d'un ensemble de noyaux afin de faciliter le remoulage (noyau berceau) fig. 5.
- Remplacement de parties d'empreinte difficile à réaliser (relief donnant des lames de sable de moule) par des noyaux réalisés séparément et plus résistants (fig. 6a)

5-3. Moulage intégral avec noyaux. (fig. 5)

Les formes intérieures et extérieures de la pièce sont données par des noyaux.

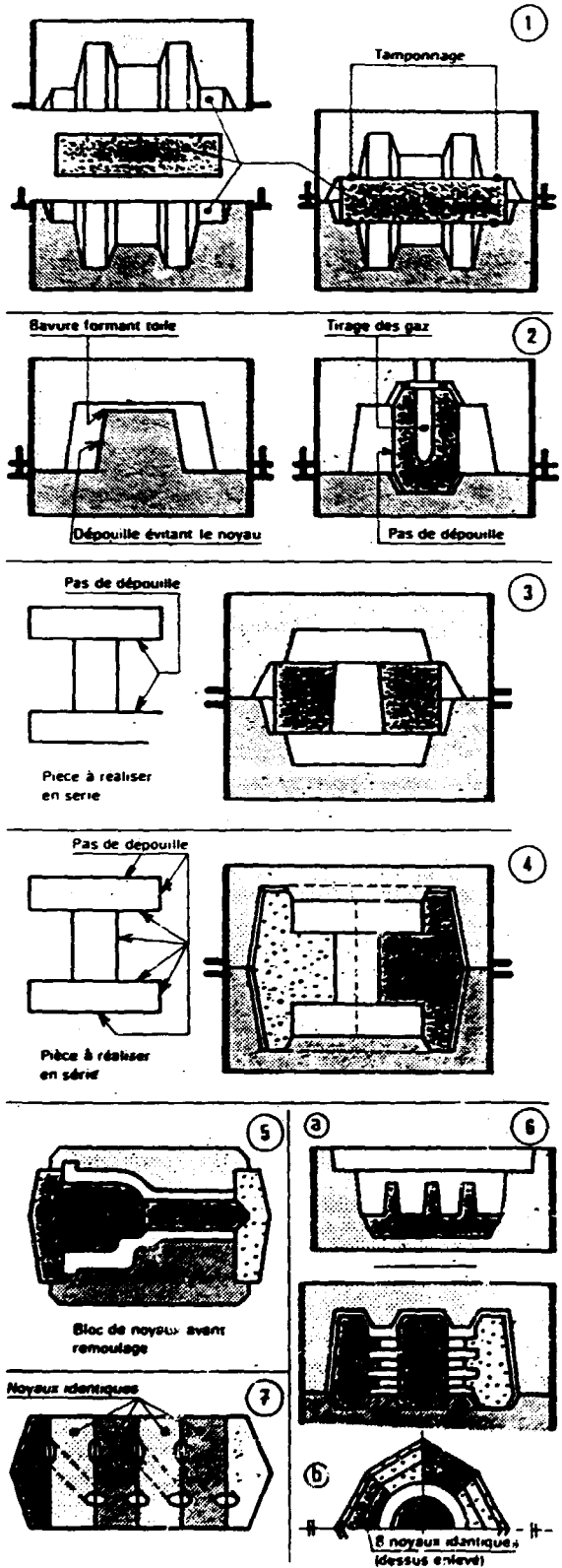
Le moule comporte les empreintes recevant les noyaux, son rôle est de les mettre en position avant la fermeture du moule, et de conserver cette position malgré les sollicitations mécaniques dues à la coulée de l'alliage.

Lorsque les pièces ont des formes modulaires : pompes à plusieurs étages, bâtis de machine, culasses, Carter-cylindres... ces formes sont obtenues en juxtaposant des noyaux réalisés avec le même outillage (fig. 6b, 7).

5-4. Propriétés.

- **Résistance mécanique :** le noyau ne doit pas subir d'altération lors des phases : fabrication, manutention, remoulage, attente avant coulée, coulée.
- **A la fin de la solidification le liant doit être détruit :** pas de gêne au retrait de l'alliage, à l'état solide (craques).
- **Perméabilité :** évacuation des gaz dus à la réaction moule-alliage lors de la coulée. Choix des liants pour limiter les gaz (1).
- **Résistance à la chaleur :** le noyau doit conserver les formes moulantes pendant la phase de solidification.
- **Pas de reprise d'humidité :** production d'hydrogène et d'oxygène gazant l'alliage coulé et diminuant les caractéristiques mécaniques de la pièce moulée.
- **Précision dimensionnelle et état de surface :** dépend du procédé de moulage choisi. Des enduits peuvent augmenter le gradient thermique lors de la solidification (fusion du sable et abreuvage év.).

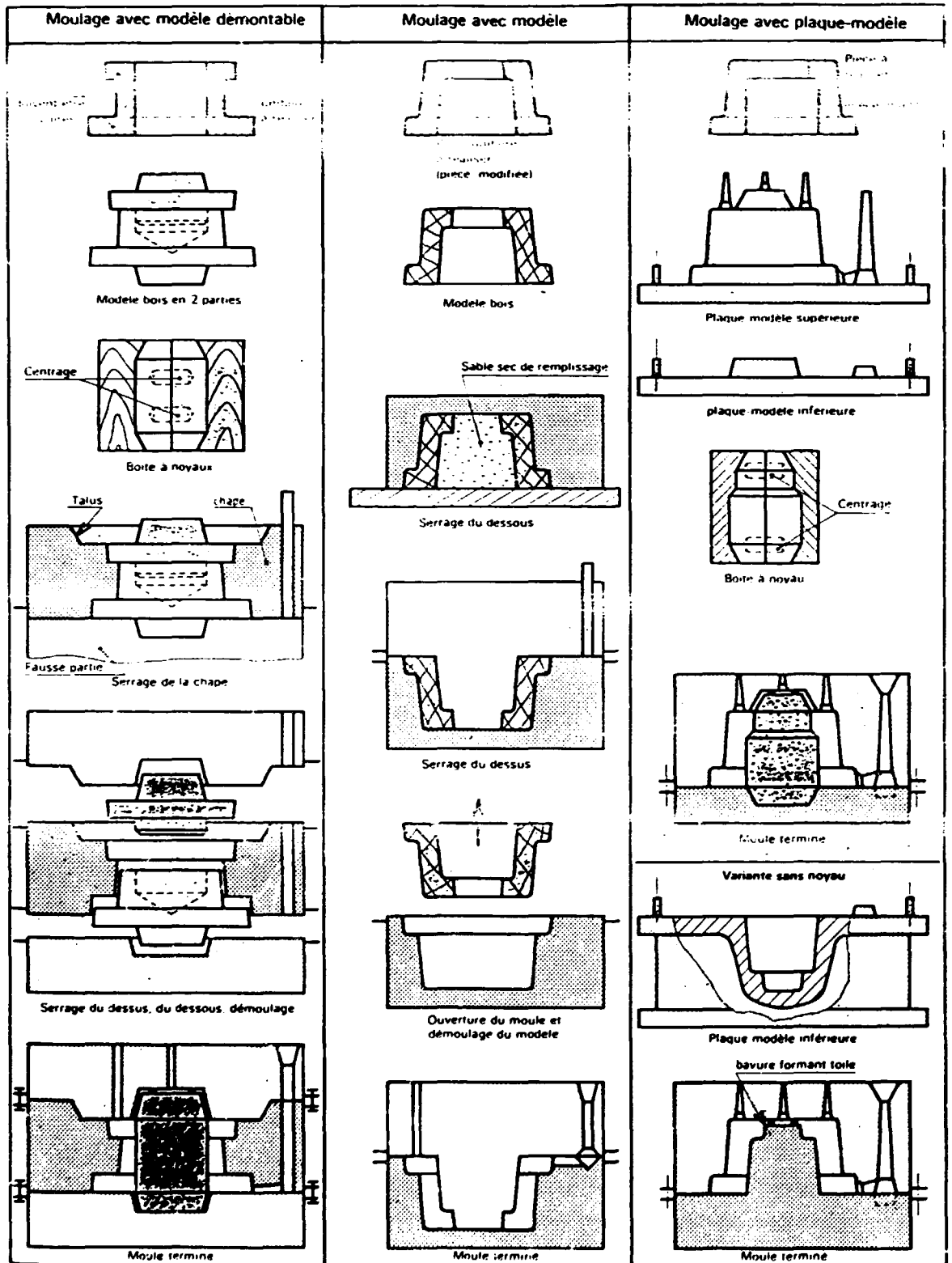
(1) des trages de gaz (évacués dans le noyau et débouchant dans des conduits du moule sont nécessaires (fig. 2)



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (6/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (6, 26)

5-5. Comparaison de gammes de moulage.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (7/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (7/26)

6. MOULAGE EN SABLE ARGILEUX

Le sable en contact avec l'alliage coulé doit être réfractaire, résister au choc thermique et ne pas présenter une trop forte dilatation thermique (destruction de parties de l'empreinte).

C'est le plus souvent un sable siliceux (le plus répandu et le moins cher).

Des propriétés spécifiques sont obtenues avec des sables spéciaux : alumine, bauxite, chamotte, chromite, olivine, zircon..., employés seuls mélangés à l'argile, ou en faible proportion avec un sable siliceux (p. 66).

La résistance mécanique de l'empreinte et la perméabilité du moule sont réalisées, pour un mode de serrage du sable et un alliage donnés, en adaptant :

- la granulométrie du sable : de 0,1 mm à 1 mm,
- la teneur d'argile : 3 à 15 %,
- la teneur en eau : 4 à 10 % (p. 67).

6-1. Moulage en sable à vert (1).

L'empreinte du moule est obtenue soit avec un *sable silico-argileux naturel* (provenant de carrières) soit avec un *sable de moulage synthétique*, préparé et dosé à partir des constituants : silice, sables spéciaux, argile, eau, adjuvants, ... (p. 67).

L'humidité du sable donne un gradient thermique important à la périphérie de l'alliage coulé (influence sur la structure de l'alliage, fig. 1).

Selon le matériel employé on distingue :

6-1-1. Le moulage à la main : pour les pièces unitaires ou de très petite série, le moulage étant avec modèle, ou sans modèle : *troussage*...

6-1-2. Le moulage mécanique : pour les pièces de petite série à la très grande série.

Le sable est serré mécaniquement contre une *plaque-modèle* selon plusieurs techniques : projection, vibration, pressage, soufflage.

Selon l'intensité de serrage du sable, le moule est réalisé par :

- *serrage basse pression* (fig. 2).

Le moule est plastique, et présente une *faible gêne au retrait* pour la pièce solidifiée dans le moule : emploi pour des alliages ayant un important retrait ou pour des alliages ou des tracés de pièce susceptibles de présenter des criques.

Ne convient pas pour les fontes G.S. (forçage du moule) moulage économique : simplicité du matériel et des machines.

Le serrage peut s'effectuer dans un châssis (p. 60) ou un châssis ouvrant donnant des mottes (p. 63).

- *serrage haute pression* (fig. 3).

Le moule a une plus grande rigidité et une meilleure précision dimensionnelle.

La cohésion supérieure à celle obtenue en serrage basse pression permet le moulage des fontes à graphite sphéroïdal sans avoir de forçage de l'empreinte lors de la phase de solidification.

La résistance mécanique du sable serré permet la réalisation de *mottes rigides* et permet l'augmentation du taux d'utilisation de la surface de joint.

6-2. Moulage en sable à vert séché, grillé, flambé.

Le séchage superficiel de l'empreinte accroît la dureté du moule et diminue le gradient thermique de l'alliage coulé au contact du moule.

Emploi d'air chaud, rayonnement infra-rouge, rayonnement électromagnétique (micro-ondes), couches flambantes, flamme...

6-3. Moulage en sable étuvé.

Le passage du moule dans une étuve ou un four élimine plus complètement l'humidité du sable.

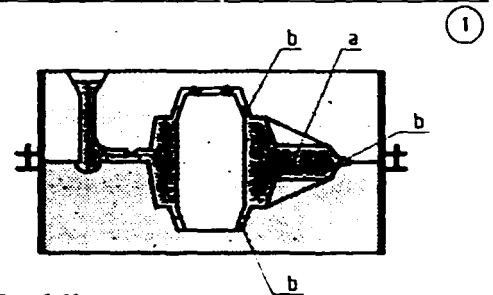
Le moule a perdu sa plasticité il est devenu rigide.

- Emploi pour la coulée de grosses pièces exerçant de fortes pressions métallostatiques sur les parois du moule et pour des alliages sensibles à la présence d'eau (l'hydrogène et l'oxygène peuvent modifier les caractéristiques mécaniques : aciers inoxydables...).

- Risques de déformation des surfaces de joint et des portées de noyaux.

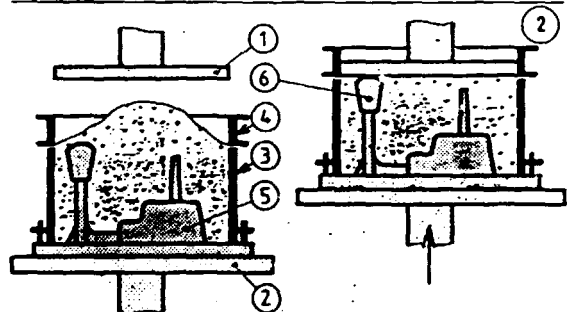
On peut souvent lui substituer des procédés de durcissement du sable au contact de l'outillage (p. 46-50).

(1) Le sable ne subit pas d'action thermique de durcissement.



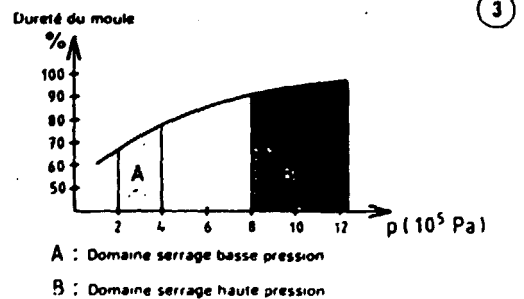
a: Fonte Ft 25

b: bavures trempées



1: Plateau fixe
2: Plateau mobile
3: Châssis

4: Réhausse
5: plaque-modèle
6: modèle à ressort pour entonnoir de coulée



A : Domaine serrage basse pression

B : Domaine serrage haute pression

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (8/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (8/26)

7. MOULAGE EN SABLE AGGLOMÉRÉ CHIMIQUEMENT

L'agglomération des grains de sable se fait avec des produits dont le durcissement est obtenu par une réaction chimique.

- Selon la nature des produits la réaction chimique se fait à température ambiante : *prise à froid* ou sous l'effet de la chaleur : *prise à chaud*.

- Selon la technique de moulage, la réaction chimique de durcissement se fait *au contact de l'outillage* (modèle, plaque-modèle, boîte à noyau...) ou après le démoulage : *en dehors de l'outillage* (étuvage, frittage, ...). Les produits mélangés au sable donnant un durcissement à froid donnent un *sable autodurcissant*.

L'association d'un produit et d'une technique de moulage donne quatre types de procédés.

7-1. Procédés de durcissement à froid.

Avant démoulage le sable est durci au contact de l'outillage dans lequel il a été mis en œuvre par projection, remplissage, serrage ou soufflage.

Le durcissement final est obtenu avant démoulage du modèle, ou peut se poursuivre après démoulage lorsque la cohésion initiale est suffisante.

La précision des empreintes et des noyaux est celle de l'outillage : pas de modification dimensionnelle due à la température, mais possibilité selon les produits d'avoir une altération des propriétés si le temps de stockage est trop long (influence du degré hygrométrique).

7-1-1. Moulage en sable au ciment.

7-1-1-1. Principe.

Le ciment est employé en substitution de l'argile comme liant (1) :

Le sable malaxé avec du ciment et de l'eau est projeté ou serré contre l'outillage (modèle, plaque-modèle, boîte à noyau).

- Début de prise au contact de l'outillage avant démoulage.
- Durcissement du moule ou du noyau après démoulage.
- Séchage à l'air chaud, éventuellement pour réduire la teneur en eau avant coulée.

7-1-1-2. Matériaux de moulage.

- Sable silicieux (2) ou sable à propriétés spécifiques : chamotte, chromite, zircon (p. 67).
- 6 à 12 % de ciment (3) selon la teneur en ciment et l'aptitude au moulage recherchée (4).
- 2 à 4 % d'adjuvants : noir minéral, brai, farine de bois pour faciliter le débouillage ; accélérateurs de prise, réducteurs de la teneur en eau pour ajuster le temps de prise à la production.

7-1-1-3. Outillage.

- Identique à celui du moulage en sable argileux mais les modèles en bois, sensibles à l'humidité doivent être protégés par des vernis à base de résines époxydes ou polyuréthanes (réaction du ciment avec les autres vernis).
- La faible énergie de serrage permet d'utiliser des modèles en polystyrène.
- Outillage de moulage en mottes (procédé bien adapté).
- Immobilisation des modèles durant la phase de prise du sable.

7-1-1-4. Fabrication du moule.

- Malaxage (2 à 3 min) de sable, ciment, eau et adjuvants.
- Temps d'utilisation du sable préparé : 1 à 4 h selon la composition.
- Projection ou serrage du sable contre le modèle ou dans la boîte à noyau.
- Mise en place d'armatures pour les gros noyaux.
- Moulages importants :
 - couche de contact contre le modèle, de 8 à 12 mm d'épaisseur, avec du sable neuf,
 - remplissage du châssis avec du sable recyclé lié au ciment.
- La fluidité du sable préparé permet un transport pneumatique (lit fluidisé) pour approvisionner la machine à mouler.
- Démoulage du modèle après un début de prise de 1 min à quelques heures suivant l'importance du moule et le type de fabrication (unitaire ou série).
- Durcissement du moule en dehors de l'outillage de 24 h à plusieurs jours selon la composition du sable et les caractéristiques à obtenir (dureté finale).
- Remmoulage et fermeture du moule juste avant la coulée.
- Eventuellement séchage à l'air chaud (> 120°) pendant plusieurs heures afin de réduire la teneur en eau (réaction moule-alliage).

7-1-1-5. Caractéristiques.

- Simplicité de la préparation du sable.
- Emploi possible de sable humide (ne nécessite pas de séchage après lavage des éléments argileux).
- Mise en œuvre facile avec un outillage simple (pas de châssis en moulage par motte, sablerie réduite).
- Moule rigide : diminution du forçage de l'empreinte.
- Temps d'utilisation suffisant pour permettre la réalisation de moules complexes (troussage, confection de noyau serré sur place).
- Bonne précision dimensionnelle.
- Bonne perméabilité.
- Moule réfractaire (surtout avec couches ou zircon ou sable à la chronite).
- Procédé permettant la coulée de tous les alliages :
 - alliages ferreux : débouillage aisé car destruction du liant avec la température de coulée élevée,
 - autres alliages : adjuvants facilitant le débouillage pour éviter les criques (gêne au retrait à l'état solide de la pièce),
 - nécessité d'un système d'attaque évitant l'érosion du sable : busettes en produits réfractaires et attaques en source multiples,
 - importance des enduits évitant l'érosion de l'empreinte et limitant la réaction moule-alliage.
- Séchage à l'air chaud pour la coulée d'alliages sensibles à la dissolution d'oxygène ou d'hydrogène.
- Nécessité d'armatures pour les gros noyaux.
- Emprise au sol importante (temps de durcissement).

(1) Le ciment entré dans la composition d'autres procédés comme le procédé au sable liquide (p. 44).

(2) Teneur en argile < 0,5 % (sable levé) sinon diminution des propriétés réfractaires.

(3) Caractérisé par le module hydraulique $(CaO/SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ compris entre 1,6 et 2,2.

- Portland à prise lente (2 h) et durcissement rapide.

- Portland à prise plus rapide (3 h).

- Ciment aluminé (ou fondu) à prise lente, durcissement rapide réfractaire de 1200°C à 2000°C selon composition.

- Ciment prompt.

Mélange possible entre les ciments pour obtenir des propriétés spécifiques (selon la compatibilité).

(4) Le rapport eau/ciment = 1 en général donne un excès d'eau nécessaire à la réaction de prise et de durcissement, facilitant la mise en œuvre du sable.

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (9/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (9/26)

7-1-2. Procédé silicate de sodium - CO_2 .

Connu également sous le nom de procédé Carsil.

7-1-2-1. Principe.

Du sable siliceux est mélangé à un liant à base de silicate de sodium.

L'outillage (châssis, boîte à noyau) est rempli avec le sable préparé, puis du gaz carbonique est injecté à travers le sable : la réaction chimique du silicate de sodium et du gaz carbonique forme un gel de silice qui agglomère les grains de sable.

7-1-2-2. Matériaux de moulage.

- Sable siliceux ($H_2O < 0,5 \%$, argile $< 1 \%$).
- 3 à 4 % silicate de sodium de module (SiO_2/Na_2O) entre 2 et 3.
- 0,5 à 1 % d'adjuvants facilitant le débouillage : farine de bois, sucre, brai, noir minéral, huile minérale.
- Gaz carbonique provenant de bouteilles sous pression, ou d'unités de fabrication disposées près du chantier de moulage.

7-1-2-3. Outillage.

- Le modèle (bois, plastique, métal selon la série) doit présenter un bon état de surface et une dépouille supérieure à la normale.
- Les boîtes à noyaux doivent avoir des joints étanches pour la phase de soufflage du CO_2 , les boîtes en auge sont bien adaptées (démoulage sans dépouille ou avec contre-dépouille).

7-1-2-4. Fabrication du moule.

- L'outillage est rempli par gravité (serrage à la main), par projection ou par soufflage.
- Pour les gros moules le sable ou silicate est limité à une couche de contact de 30 à 60 cm d'épaisseur, le remplissage du châssis étant complété par un autre sable de moulage.
- Le durcissement du moule se fait par gazage au CO_2 , le sable étant dans l'outillage (procédé de prise en boîte à froid). Possibilité de réaliser des mottes (moule rigide).

7-1-2-5. Coulée du moule.

- Doit se faire dans les heures qui suivent la fabrication : une reprise d'humidité du sable durci altère la cohésion du sable et augmente considérablement la réaction moule-alliage lors de la coulée.

7-1-2-6. Caractéristiques.

- Facilité de mise en œuvre du sable préparé.
- Outillage pouvant être simple.
- Procédé pouvant être mécanisé et automatisé.
- Empreinte précise (procédé de prise à froid au contact de l'outillage).
- Bonne perméabilité.
- Moule rigide : coulée de la fonte à graphite sphéroïdal.
- Recyclage à plus de 50 % du vieux sable.
- Temps réduit d'utilisation du sable préparé.
- Débouillage difficile avant mise au point de la composition du sable avec des adjuvants (risque de criques).
- Difficulté de stockage (reprise d'humidité).

7-1-3. Procédé silicate de sodium - poudre de silicium.

Dérivé du procédé silicate de sodium - CO_2 , poudre à teneur élevée en silicium mélangée avec le sable et le silicate de sodium réagit avec celui-ci en formant un gel de silice.

Réalisation de gros moulage (sable autodurcissant) mais le temps de prise est supérieur au procédé silicate - CO_2 .

La réaction chimique fortement exothermique produisant de l'hydrogène nécessite des mesures de sécurité.

Nota : Procédés sables liquides ou silicate de sodium (p. 44).

Divers produits réagissent avec le silicate de sodium pour former un gel de silice, l'incorporation d'un agent tensio-actif (entraîneur d'air) donne au sable la viscosité d'un coulis.

Méthode d'injection :

- Durcissement à l'aiguille (fig. 1). Un tube ou une série de tubes de $\varnothing 5$ mm et percés de trous à leur surface est enfoncée de place en place (intervalle de 150 à 200 mm) dans le sable sans toucher le modèle (moule de grande épaisseur) le durcissement se fait sur un rayon de 100 mm pour un gazage de 30 s. env. à une pression de 0,5 bar.

Difficulté de gazer les très gros noyaux.

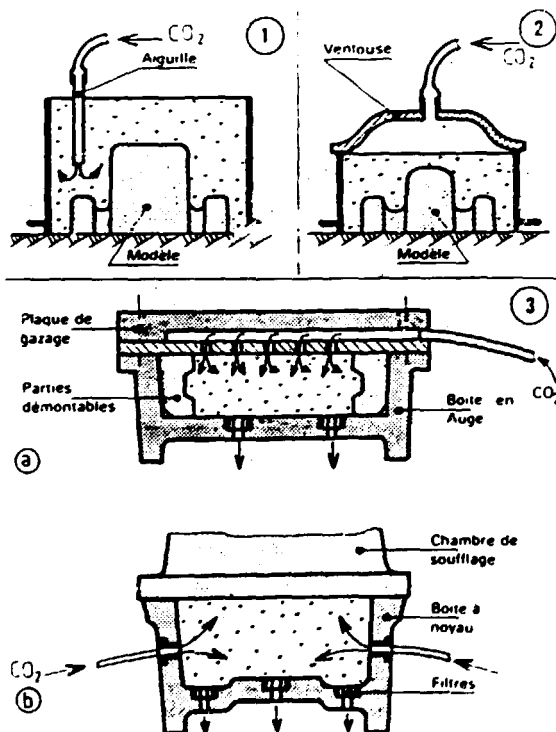
- Durcissement à la ventouse (fig. 2). Pour des moules d'épaisseur inférieure à 300 mm, une membrane souple épousant la partie supérieure du moule permet de gazer toute la masse de sable en une opération (toutefois si la surface est importante la ventouse sera déplacée afin de gazer la totalité du moule).

Un courant gazeux doit s'établir dans le sable (le CO_2 remplace l'air).

- Durcissement avec plaque ou boîte de gazage (fig. 3). La fabrication en série de noyaux ou de moules soufflés par la technique du soufflage permet de remplacer la plaque de soufflage d's la machine obturant la boîte, par une plaque de gazage, le CO_2 traversant le sable et l'air restant entre les grains de sable sortant par les filtres de la boîte. (Certains filtres nécessaires au soufflage du sable peuvent perturber le gazage en créant un cheminement préférentiel nuisant à la régularité du courant gazeux).

Temps de prise :

- Dépend du module du silicate de sodium, de la pression et de la durée d'injection du gaz carbonique réglable de quelques secondes à plusieurs minutes.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (10/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (10/25)

7-1-1. Procédés de durcissement avec résines et catalyseur.

- Le sable mélangé avec les résines et le catalyseur est durci au contact de l'outillage avec réaction de polymérisation (sable autodurcissant).
- Le sable mélangé avec les résines est placé au contact de l'outillage et un catalyseur gazeux traverse le sable en provoquant la réaction de polymérisation (en usage de mise en œuvre avec le procédé silicate de soude - CO₂, mais le gaz catalyseur ne doit pas pouvoir se répandre dans l'atmosphère s'il présente des risques de toxicité).

7-1-4-1. Sable aux résines furaniques.

Principe :

- Les résines furaniques à prise à froid se polymérisent en présence d'un catalyseur à température ambiante.
- Mélangées au sable, elles forment un sable autodurcissant à froid au contact de l'outillage.

Matériaux de moulage :

- Sable siliceux lavé et sec.
- 1 à 2 % résines furaniques (1) en phase liquide.
- 0,2 à 0,4 % catalyseur (2) en phase liquide.

Outillages :

- Ceux du moulage à la main et du moulage mécanique
- Ils restent au contact du sable pendant la phase de durcissement de 1 à 40 min selon la nature des résines.
- La faible force de serrage ou de projection permet d'utiliser des modèles, des plaques-modèle ou des boîtes à noyau en matériaux peu onéreux : bois, plâtre, résines

Préparation du sable :

- Le type de fabrication et le temps de durcissement du sable préparé conduit à 2 genres de mélangeurs continus :
 - temps de prise supérieur à 30 min, ou production continue : le sable est mélangé avec les résines et le catalyseur incorporés à l'aide de pompes-doseuses dans le mélangeur à vis, ensuite au distribution pneumatique.
 - temps de prise inférieur à 30 min ou fabrication discontinue (le sable ne doit pas durcir dans la vis de l'appareil) : mélangeur à 2 vis comportant chacune la moitié du sable avec addition de résine dans l'une et de catalyseur dans l'autre.
- Le mélange final des 2 parties de sable ainsi préparées se fait juste à la sortie de l'appareil pour remplir par gravité ou légère projection le châssis ou la boîte à noyau.

Fabrication des moules et des noyaux :

- Le sable préparé est serré, projeté ou soufflé contre l'outillage.
- Le procédé permet la mécanisation et l'automatisation avec chantier de moulage ou carrousel.
 - moules avec châssis,
 - mottes,
 - noyaux.

- Moulage unitaire de très grosses pièces avec des modèles non permanents (polystyrène) détruits à la coulée ou fragmentés et brûlés avant la coulée.

Caractéristiques :

- Facilité de mise en œuvre, mais produits onéreux.
- Moulage de très grosses pièces unitaires ou pièces moyennes en petite série.
- Outillage facilement réalisé.
- Emploi possible de modèle non permanent (sauf matière du modèle en bois rigide).
- Moule rigide (pas de forçage).
- Précision dimensionnelle (procédé de prise à froid de l'outillage).
- Coulée de tous les alliages (réaction moule-alliage avec un excès de catalyseur).
- Débourage facile.

7-1-4-2. Procédé Ashland.

Principe :

- Le sable mélangé successivement à 2 résines en solution est soufflé dans une boîte à noyau.
- Un catalyseur gazeux traversant le sable provoque très rapidement le durcissement du noyau en formant une résine uréthane solide (3), l'outillage spécifique et les précautions d'emploi de ce procédé le réservent aux fabrications sérielles (étanchéité de l'outillage).

Matériaux de moulage :

- Sable siliceux lavé et séché.
- 0,6 % solution phénolique (aptitude au soufflage).
- 1 % solution isocyanate.
- 0,3 % catalyseur triéthylamine ou mélange avec diméthyléthylamine entraîné par un gaz inerte : air, CO₂, azote...

Matériel et outillage :

- Outillage étanche (pas d'évacuation de gaz catalyseur dans l'atmosphère).
- Matériaux peu onéreux du fait de l'absence de chauffage : résines synthétiques moulées à froid.
- Choix de l'emplacement des filtres de gazage pour gazer rapidement la totalité du noyau (< 1 min).
- Installation de gazage et de lavage avec laveur à acide phosphorique.

Fabrication des noyaux :

- Temps d'utilisation du sable préparé : de 2 à 3 h.
- Soufflage du noyau.
- Début du cycle moulage :
 - gazage avec mélange gaz propulseur, gaz catalyseur,
 - durcissement du noyau en quelques dizaines de secondes,
 - lavage des circuits et du noyau avec de l'air afin d'éliminer le catalyseur résiduel,
 - lavage de l'excès dans une solution d'acide phosphorique ou brûlage.

Caractéristiques :

- Précision dimensionnelle (prise en boîte à froid).
- Perméabilité.
- Facilité de débourage.
- Cadence de production très élevée (> 200 soufflages/h).
- Outillage spécial et boîtes à noyau étanches.

(1) Produit à base d'alcool furfurylique, d'urée, de formol, de phénol.
(2) - Acides minéraux : solution d'acide phosphorique ou sulfonique.
- Acides organiques : acides sulfoniques.
- Mélange des 2 types d'acide
(3) Principe de production similaire au silicate de sodium - CO₂, mais emploi d'un autre outillage spécifique étanche.

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (11/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (11/26)

7-1-5. Moulage en sable liquide.

Procédé de fluidisation formant un coulis ou une barbotine afin de faciliter la mise en œuvre des matériaux de moulage enrobant le modèle.

Les reliefs du modèle sont épousés fidèlement sans serrage.

L'état de surface dépend de la granulométrie des matériaux de moulage et des adjuvants éliminant les bulles d'air à l'interface sable-modèle (densification).

7-1-5-1. Sable au silicate de sodium - silicate dicalcique (procédés Liass).

- **Matériaux de moulage** composition moyenne en masse :
 - sable siliceux avec une faible teneur en argile (< 1 %).
 - 5 à 7 % de silicate de sodium de module ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) voisin de 3 produisant l'écume.
 - 5 % de silicate dicalcique de module ($\text{SiO}_2/2\text{CaO}$) voisin de 2 produisant le durcissement.
 - 0,5 % d'un agent tensio-actif (entraîneur d'air).
- Après mélange des produits avec le sable la consistance d'un coulis est conservée une dizaine de minutes.

- **Outillage :**

- modèle permanent : revêtu de produits facilitant le démoulage (huiles, graisses... évitant l'adhérence du coulis sur le modèle).
- modèle non permanent :
 - coulée en moule plein : le modèle en polystyrène est revêtu avant emballage, d'enduits limitant la réaction moule-alliage lors de la coulée, et améliorant l'état de surface du modèle.
 - modèle éliminé avant la coulée : il est revêtu des mêmes produits que le modèle permanent.

- **Fabrication du moule :**

Le sable liquide est versé sur le modèle pour l'enrober (temps d'intervention limité à 10 min env).

La fidélité de reproduction des reliefs du modèle est augmentée en vibrant le modèle pendant le remplissage avec le sable liquide (suppression des bulles d'air à l'interface sable - modèle).

- **Démoulage du modèle :**

Le durcissement au contact du modèle est obtenu en 30 min environ (dépend de l'épaisseur du sable)

- démoulage du modèle permanent,
- fragmentation ou brûlage du modèle en polystyrène lorsque le moule est en plusieurs parties.

- **Caractéristiques :**

- Procédé permettant de faire des pièces de taille moyenne (1 m) mais surtout bien adapté à la production de grosses pièces.
- Mise en œuvre avec un outillage simple (pas de serrage).
- Possibilité de faire de très grosses pièces complexes avec des modèles en polystyrène (pas de serrage contre un modèle déformable).
- Procédé de prise en boîte à froid donnant une meilleure précision dimensionnelle que le moulage en moule étuvé.
- Bon état de surface de l'empreinte.
- Cependant coût plus élevé du sable préparé (50 %) peut être recyclé dans une nouvelle préparation).
- Coût réduit en limitant le sable liquide à un sable de contact sur le modèle, et en finissant de remplir le châssis avec un sable de moulage moins onéreux.
- Emprise au sol des moules, durant le durcissement.

7-1-5-2. Sable ou silicate de sodium - ciment.

Le ciment Portland comprend du silicate dicalcique (remplacement du silicate dicalcique onéreux, du procédé silicate de sodium - silicate dicalcique).

La réaction chimique entre les deux silicates provoque un gel de silice durcissant le moule.

- **Matériaux de moulage :**

Le sable siliceux (teneur en argile < 1 %) est mélangé avec :

- 5 % de silicate de sodium de module ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) voisin de 2 ;
- 2 % de ciment Portland riche en silicate dicalcique ;
- 6 à 10 % d'eau.

- **Moulage :**

La température ambiante agit sur la durée de la prise. En moyenne : durée d'emploi 10 min et démoulage 30 min après remplissage du châssis.

La mise en œuvre est identique au procédé silicate de soude - silicate dicalcique.

Pour les gros moulages, la couche de sable liquide est limitée à une dizaine de centimètres, le châssis étant comblé avec un sable de moulage ordinaire.

L'emploi de couche flambante sèche et durcit superficiellement l'empreinte.

- **Caractéristiques :**

Identiques à celles du procédé silicate soude - silicate dicalcique, avec en plus un sable liquide moins onéreux.

7-1-5-3. Sable ou silicate de sodium - laitier.

Un laitier (sous-produit de l'élaboration des alliages) d'indice de basicité (CaO/SiO_2) entre 1,3 et 1,5 remplace le silicate dicalcique.

Un agent tensio-actif donne la viscosité d'un coulis.

Caractéristiques voisines des procédés initiaux.

7-1-5-4. Moulage au plâtre.

- **Préparation d'une barbotine :** des adjuvants sont ajoutés au mélange plâtre fin et eau afin de limiter le retrait de séchage du plâtre, d'augmenter :

- les résistances mécanique et thermique du moule,
- la perméabilité,
- la conduction thermique (sable siliceux, refroidisseurs) ;

- **Réalisation du moule :** l'outillage est enduit de produits facilitant le démoulage (graisse, huile, graphite...) possibilité d'avoir un modèle en caoutchouc (faible dépouilles ou contre-dépouilles).

Selon la température de l'eau et les dosages : temps de prise de 10 à 20 min.

Après démoulage séchage de 200 à 800 °C.

- **Caractéristiques :** moulage de précision (J 12)

- Outillage simple.
- Précision dimensionnelle et état de surface excellents mais - faible perméabilité du moule et faible conductivité thermique du moule (influence sur la structure de l'alliage) ou bien emploi de refroidisseurs.
- Procédé limité aux alliages non ferreux.

7-1-5-5. Moulage avec produits céramiques.

- Moulage céramique (p. 52).
- Moulage de précision à modèle éliminé avant la coulée (p. 53).

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (12/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (12/26)

7-2. Procédés de durcissement à chaud.

Le sable enrobé d'un liant est serré ou soufflé dans une boîte à noyau ou contre une plaque-moûle.

Le chauffage du liant provoque le durcissement du sable enrobé de liant.

Le chauffage du sable enrobé de liant en dehors de l'outillage après démoulage.

Le sable enrobé de liant est mis en contact de l'outillage chauffé, sur lequel il durcit.

7-2-1. Durcissement en dehors de l'outillage.

7-2-1-1. Procédé à l'huile siccative amyliacée.

Employé pour la fabrication des noyaux.

Principe : Le sable est mélangé avec deux liants donnant :

- la cohésion à vert (p. 66).
- la cohésion finale après cuisson à 250° C.

Le temps du cycle de fabrication et la faible précision dimensionnelle font que ce procédé est progressivement remplacé par des procédés de prise en boîte à froid.

Matériaux de moulage :

- Sable siliceux sec.
- 1 % liant donnant la cohésion à vert : dextrine, amidon, glucose (cependant souvent nécessite d'armatures).
- 1 % liant donnant la cohésion finale : huile de lin, ou tout produit siccatif.

Matériel :

- Boîtes à noyau en bois, plastique, métal pour séries.
- Armatures (fig. 1a).
- Coquilles de séchage pour séries (fig. 16).
- Étuver.

Fabrication des noyaux :

- Le sable préparé est serré dans la boîte (moulage unitaire) ou soufflé dans la boîte à noyau (fig. 1c).

- Emploi d'armatures si la cohésion à vert n'est pas suffisante (évite les déformations avant cuisson) (fig. 1a).

- Élimination de bulles de gaz avec une aiguille ou des mèches faisant un évidement formant conduit, après étuvage.

- Démoulage du noyau sur une plaque ou une coquille de séchage si déformation (fig. 1d).

- Cuisson des noyaux à l'étuve durant 1 à 2 h selon la masse du noyau (fig. 1e).

Caractéristiques :

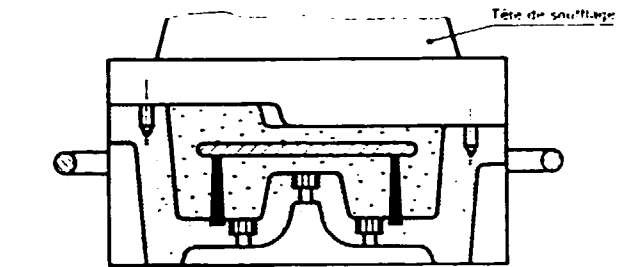
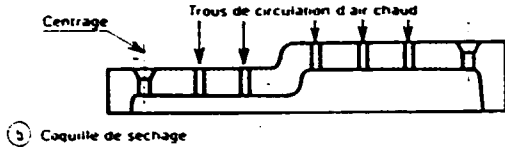
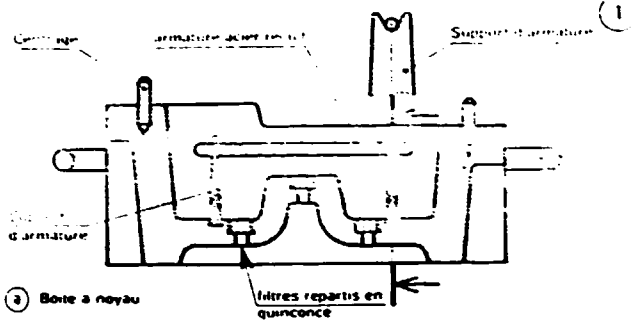
- Très bonne aptitude au soufflage du sable préparé.
- Grande cohésion du noyau durci par cuisson.
- Débourrage facile.
- Faible précision dimensionnelle : déformation au démoulage et à la cuisson, rapage des noyaux (fig. 1f).
- Dégagement gazeux important.

7-2-1-2. Procédé à l'huile de lin oxydée.

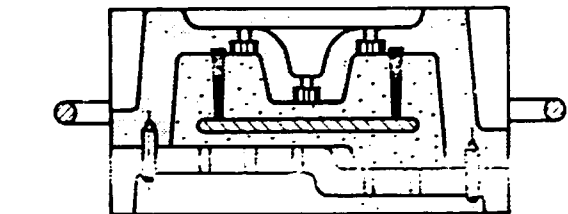
La cohésion à vert est augmentée en ajoutant 0,2 % de bioxyde de manganèse pulvérulent.

7-2-1-3 Procédé au sable à la résine.

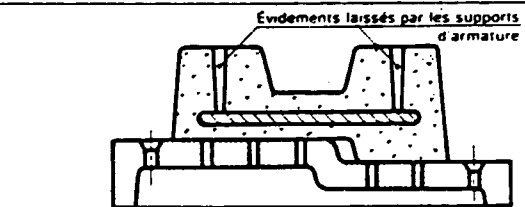
La polymérisation de résine (1,5 à 2 % urée formol) en quelques minutes permet un démoulage rapide mais ne dispense pas de la cuisson.



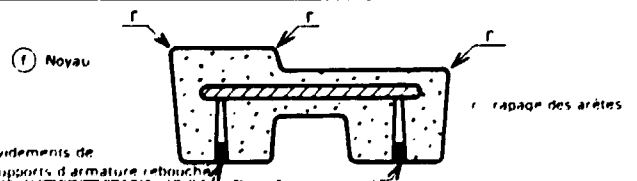
3) Soufflage du noyau
Mise en position coquille de séchage à la place de la tête de soufflage



4) Démoulage sur la coquille de séchage par retournement



5) Cuisson du noyau



6) Noyau

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (13/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (13/26)

7-2-2. Durcissement au contact de l'outillage chauffé.

7-2-2-1. Procédé boîte chaude.

Employé pour la fabrication des noyaux en série.

Principe :

Le sable mélangé à un liant thermodurcissable liquide est soufflé dans une boîte métallique chauffée vers 200 °C.

Au contact de l'outillage chauffé, le sable durcit sur une épaisseur fonction de la température et du temps de chauffage.

e = 10 mm environ, le noyau est démoulé (éjection).

Le durcissement pouvant se poursuivre vers l'intérieur du noyau par conduction thermique (éventuellement étuvage de 10 min).

Matériaux de moulage :

- Sable siliceux sec (humidité < 0,5 %).
- 2 % liant : à base de sucre, de résines urée-formol, de résines phénoliques, de résines furaniques.
- 0,5 % catalyseur (acide borique).

Outillage :

- Boîte en fonte à graphite lamellaire (Ft 25) stabilisée à 650 °C.
- Selon la conception de la machine à souffler, 2 types de conception :
 - buses de soufflage solidaires de la boîte donnant après démoulage des « carottes » caractéristiques (fig. 1).
 - buses de soufflage solidaires de la plaque de soufflage, la boîte comportant des orifices (p. 65).
- Température des boîtes > 200 °C : mécanisation des interventions et automatisation possible.
- L'usinage prend en compte les dilatations en service.

Fabrication des noyaux, sur des machines à 2 postes. Cycle :

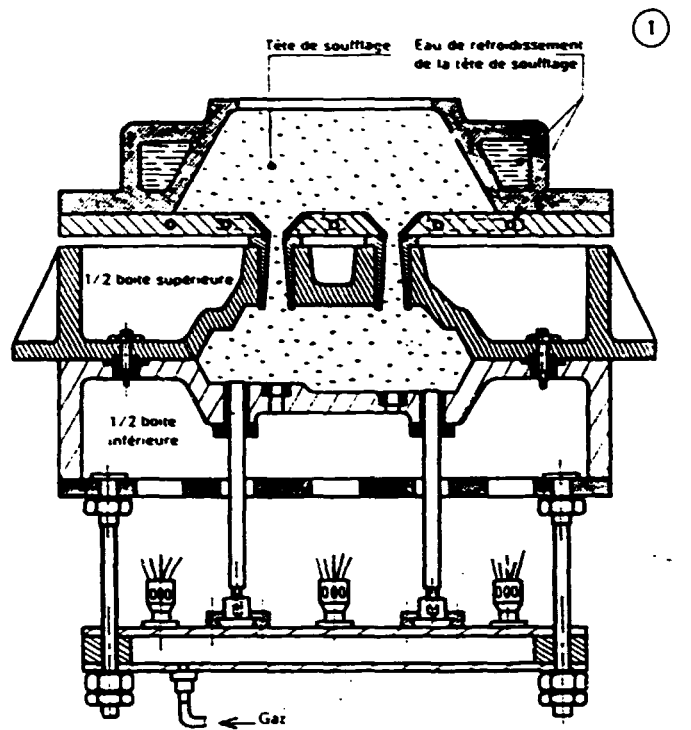
- Le sable préparé est soufflé dans la boîte préalablement chauffée (au gaz ou avec des résistances électriques incorporées).
- La boîte est transférée en dehors de la tête de soufflage pendant la progression de la chaleur dans le noyau.
- L'autre boîte venant d'éjecter un noyau, est transférée sous la tête de soufflage, afin d'être remplie.
- La 1^{re} boîte est alors ouverte et le noyau éjecté.
- La 2^e boîte est transférée en dehors de la tête de soufflage.
- La 1^{re} boîte retourne sous la tête de soufflage.

Caractéristiques :

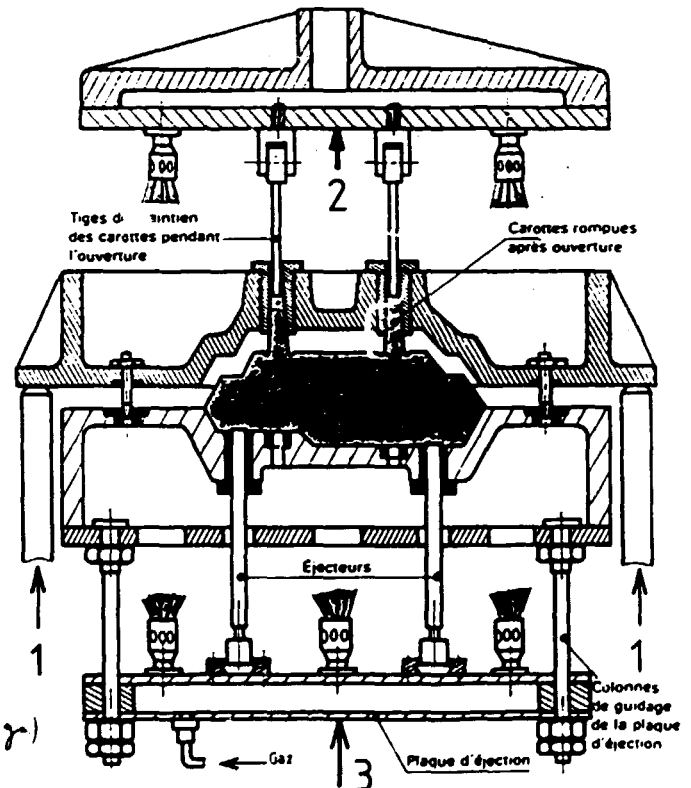
- Procédé de fabrication de noyaux en série.
- Machine à souffler spéciale avec tête de soufflage refroidie (évite le durcissement du sable dans la machine).
- Précision dimensionnelle (même pour noyaux importants).
- - Résistance mécanique élevée.
- Déburrage facile.
- Coût du sable élevé (noyaux évidés et collés pour les gros noyaux).

7-2-2-2. Moulage en carapacé (p. 50).

Le sable mélangé à des résines thermodurcissables forme des carapaces ou des noyaux dont l'épaisseur est celle du sable durci.



(a) Soufflage du noyau et translation au poste de cuisson



(b) Ouverture de la boîte (1), dégagement plateau porte tige (2) Ejection du noyau (3)

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (14/39) PROCÉDÉ DE MOULAGE (14/25)

MOULAGE EN SABLE SANS LIANT

Ces procédés sont peu développés.

8-1. Moulage par dépression dans le sable (moulage sous vide)

Le sable est serré par vibration sur une plaque modèle, puis conservée après démoulage entre deux films de matière plastique appliquant sur le sable la pression atmosphérique pendant qu'une dépression est appliquée dans le châssis entre ces deux films. Tous les alliages peuvent être coulés par ce procédé.

8-1-2. Gamme de fabrication (fig. 1) : Les plaques modèles ajourées sont montées sur des caissons déprimogènes reliés à une pompe à vide. Un film de matière plastique (de 50 μm à 100 μm d'épaisseur), préchauffé, est appliqué sur chaque plaque modèle par la pression atmosphérique.

Le sable est serré par vibration sur la plaque modèle, dans un châssis spécial pourvu d'orifices d'aspiration.

Après arasage de l'excédent de sable, un autre film de matière plastique est déposé à la partie supérieure du châssis, et le châssis est relié à la pompe à vide. La pression atmosphérique applique les films contre le sable.

La dépression dans les châssis sera conservée jusqu'à la fin de la solidification de l'alliage.

Des noyaux peuvent être remoullés avant fermeture du moule. Lors de la coulée, l'alliage détruit le film et applique la pression atmosphérique (plus sa pression interne) sur le sable.

Le décochage de la pièce est obtenu en reliant les conduits d'aspiration des châssis, à la pression atmosphérique.

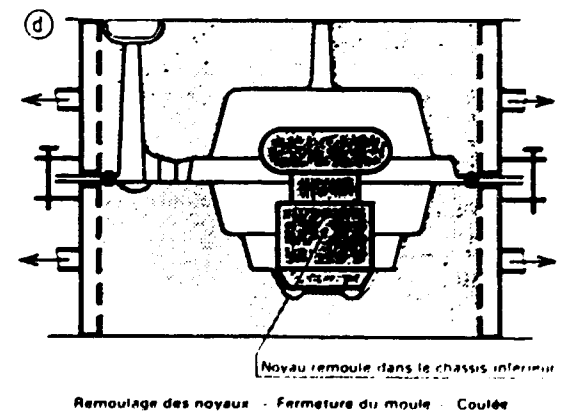
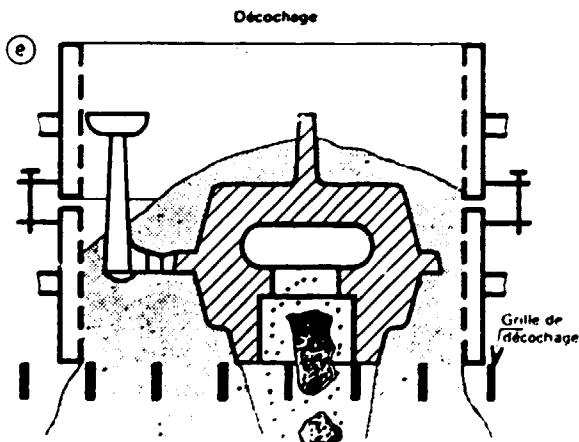
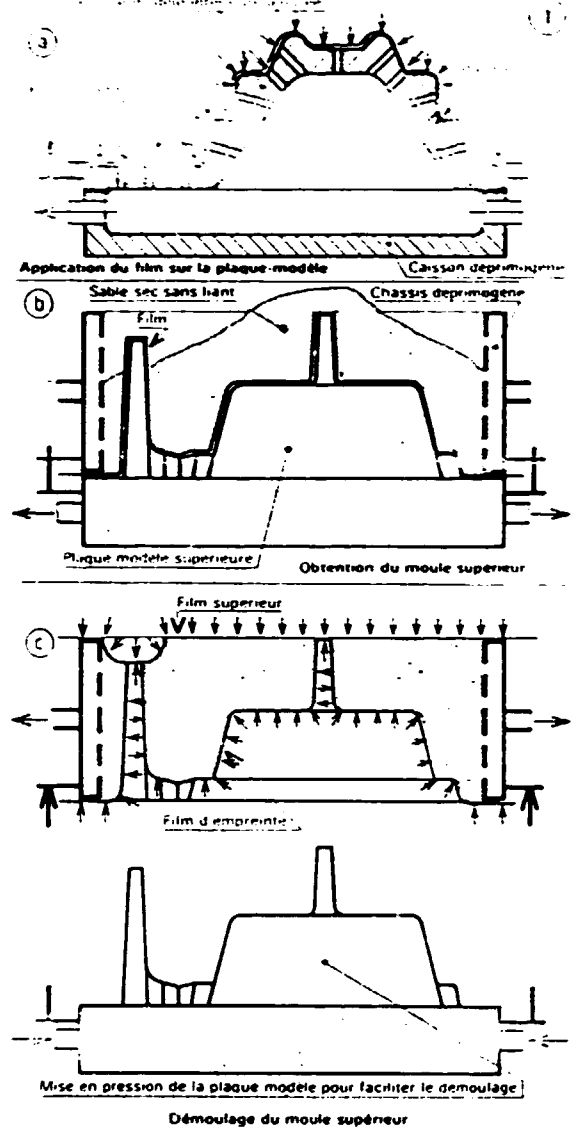
8-1-3. Avantages. Les plaques modèles sont protégées de l'érosion du sable. Elles peuvent être en plâtre, plastique...

Le sable, sans liant se met en place et se décoche très facilement, pas de préparation, recyclage presque intégral, emploi de sables à propriétés particulières (p. 67).

État de surface meilleur qu'en moulage sable à vert, cependant les reliefs prononcés et rapprochés sont difficiles à obtenir. Les moules peuvent être de grande dimension (plusieurs mètres) la limite étant donnée principalement par la capacité de la pompe à vide.

8-2. Moulage magnétique.

Un matériau de moulage magnétisable (grenaille de fer...) est serré sur un bac, autour d'un modèle non permanent (bois, polystyrène...). L'application d'un champ magnétique donne la cohésion au moule, pendant la coulée et la solidification. Le décochage s'effectue en annulant le champ magnétique.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (15/39) PROCÉDÉS DE MOULAGE (15/26)

9. MOULAGE PAR CENTRIFUGATION

9-1. Principe : Le moule est mis en rotation selon un cycle, pendant la coulée et la solidification de l'alliage (moule en sable réalisé avec un procédé donnant un moule rigide). Les parois du moule appliquent à l'alliage une accélération centripète de 15 à 30 fois l'accélération de la pesanteur.

La centrifugation se fait sur des machines à axe vertical, horizontal ou oblique.

9-2. Caractéristiques :

- Augmentation de la compacité des pièces : l'alimentation se fait avec l'alliage des couches internes non solidifiées. La solidification est orientée des parois extérieures vers le centre (mise au mille très faible, parachèvement réduit).
- Homogénéité de l'alliage : les inclusions sont rejetées vers le centre (masse volumique inférieure). Cependant risque d'hétérogénéité avec des alliages dont les constituants ont des masses volumiques très différentes.
- Emploi d'alliages à faible coulabilité (p. 4).
- Remplissage des zones peu épaisses de l'empreinte et bonne venue des détails du relief.
- Réalisation de pièces évidées ou tubulaires sans noyau, la forme de la cavité est déterminée par la surface libre de l'alliage liquide.

- forme cylindrique avec rotation d'axe horizontal.
- forme paraboloidale avec rotation d'axe oblique ou vertical (cependant emploi d'un noyau axial en sable afin d'avoir la forme voulue).

9-3. Possibilités techniques :

- Alliages :

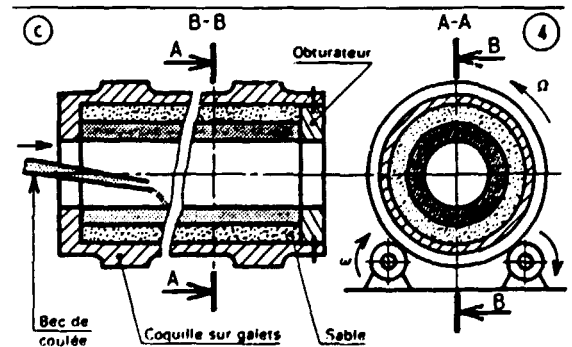
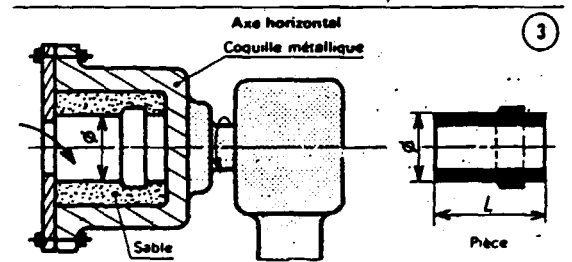
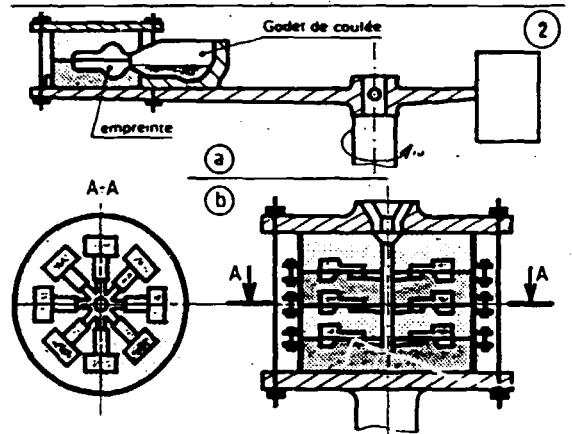
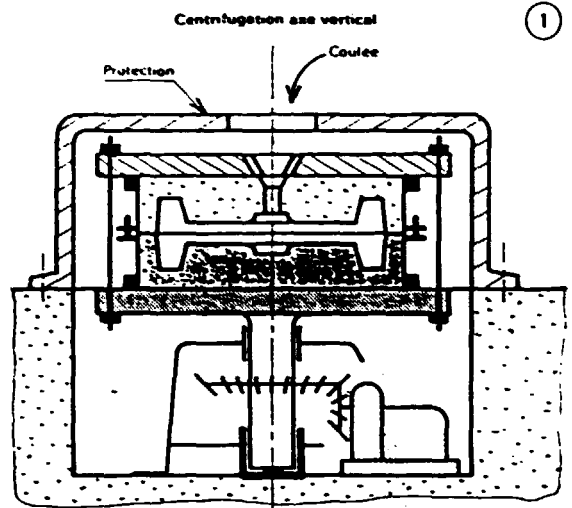
- emploi de tous les alliages, mais hétérogénéité de structure avec des alliages à faible miscibilité ou ayant des constituants de masses volumiques très différentes,
- procédé bien adapté aux alliages ayant une température de coulée élevée et une contraction de solidification importante (aciers).

- Moules : réalisés avec des procédés donnant des moules rigides.

- *pièces de révolution* (fig. 1) ($\varnothing > h$, jusqu'à $\varnothing = 3$ m), l'axe des pièces est confondu avec l'axe de rotation, possibilité d'employer des noyaux,
- *pièces n'étant pas de révolution* (fig. 2) ($L < 400$ mm) pièce unitaire (fig. 2 a) et série (2b) : moulées en grappe dans un moule ou dans des moules superposés, les pièces sont disposées symétriquement par rapport à l'axe de rotation (équilibrage),
- *pièces annulaires* (fig. 3) ($L < 1,5 \varnothing$ et $\varnothing < 400$ mm). L'empreinte est réalisée en serrant le sable autour d'un modèle placé dans la coquille métallique de la machine (moule). L'épaisseur de sable est fonction du diamètre extérieur de la pièce à obtenir. Un choix de diamètres de coquille permet de limiter l'épaisseur de sable à mettre en œuvre (20 à 50 mm). Rotation d'axe vertical, oblique ou horizontal.
- *pièces tubulaires* (fig. 4) ($L > 1,5 \varnothing$ jusqu'à $\varnothing = 2$ m, $L = 8$ m). L'empreinte est confectionnée par réglage de la surface (déplacement longitudinal d'une règle pendant la rotation de la coquille). Rotation d'axe horizontal. La coquille est entraînée par des galets, elle peut être refroidie par ruissellement d'eau.

Réalisation de pièces bimétalliques, en coulant à nouveau un autre alliage à l'intérieur de la première pièce.

Note : en remplaçant le sable par un potevage (quelques mm) effectuée directement sur la coquille, on réalise des séries de pièces coulées en moule permanent : tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal, chemises de moteur.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (16/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (16/26)

10. MOULAGE AVEC INSERTIONS

10-1. Principe.

Une pièce (métallique en général) est remoulée dans l'empreinte d'un moule, afin de rester prisonnière après la coulée. On réalise ainsi par moulage et insertion composite une pièce composite.

10-2. Possibilités techniques.

10-2-1. Extension des fonctions de la pièce : pièces composites brutes de coulée ayant des propriétés spécifiques sans avoir à réaliser ultérieurement des opérations d'usinage ou d'assemblage.

L'insertion peut intéresser une partie ou l'ensemble de la pièce selon sa fonction.

- poignées, anneaux de manutention, armatures... (fig. 1)
- coussinets, pièces d'usure...
- pièces normalisées, réalisées en série : vis, goujons, bagues, écrous, tubes... (fig. 2)
- ailettes de refroidissement : évite l'usinage et réduit la coupure thermique entre la pièce et les ailettes (1) (fig. 3).

10-2-2. Simplification de la fabrication de la pièce.

Insertions tubulaires : remplacent des noyaux fragiles.

- Évite l'usinage de trous de petit diamètre et grande longueur.
- Obtention de trous de petit diamètre dans des pièces en alliage difficilement usinable (fig. 4).
- Réalisation de circuit tubulaire complexe (fig. 5).

Insertions massives :

- Insertion dans des pièces en alliage difficilement usinable (fonte blanche...) de parties en alliage dont l'usinage est facile (fonte à graphite...).
- Refroidisseurs internes dans des zones mal alimentées (p. 69).
- Supports de noyaux.

10-3. Caractéristiques.

Les insertions doivent remplir les conditions suivantes :

- Assurer une liaison rigide avec l'alliage (le soudage est le cas idéal).
- Absence de réaction lors de la coulée (soufflures).
- Ne pas diminuer les caractéristiques mécaniques de la pièce moulée (modification locale du tracé : fig. 6).

Choix de l'alliage de l'insertion, est pris en compte :

- Température de fusion de l'insertion.
- Température de coulée de l'alliage.
- Transfert thermique (3) de l'insertion.
- Possibilité de former un alliage à point de fusion inférieur à celui de l'insertion (4).
- Vitesse de solidification de l'alliage dans le moule.
- Retrait à l'état solide de la pièce (5) (contraintes).
- Dilatation différentielle pièce-insertion (6).
- Résistance à la corrosion du couple pièce-insertion.

10-4. Réalisation de la pièce moulée insérée.

10-4-1. Préparation des surfaces insérées.

- Éventuellement usinage pour améliorer l'ancrage.
- Décapage mécanique, chimique ou électrochimique.
- Métallisation de la surface par aluminage, étamage, galvanisation, sherardisation.

10-4-2. Remoulage : les insertions sont chauffées au-dessus de 100 °C (condensation évitée), puis remoulée juste avant la coulée du moule.

Des dispositifs doivent assurer l'étanchéité durant le remplissage de l'empreinte (supports, emballage) (fig. 7).

10-4-3. Remplissage de l'empreinte : sans turbulence à faible vitesse (attaque en source), en disposant les attaques dans les zones insérées.

Pour l'insémination (16/49) réaliser l'insertion bimétal (plus fig. 8).

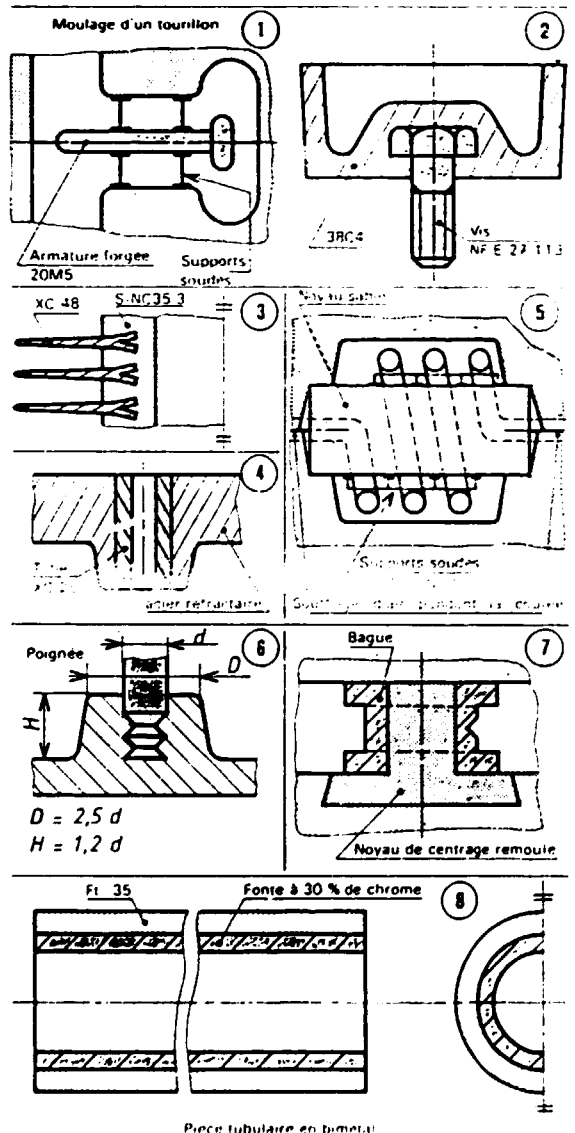
Attention à éviter les phénomènes de dilatation différentielle (1) Les ailettes obtenues par moulage ou soufflage dans un moule qui change de volume à la perte de sable fragile et se brisent sous l'effet thermique dus à leur échauffement.

(2) Le moulage donnerait une élévation thermique provoquant des chocs. (3) L'insertion doit avoir une grande capacité thermique : insertion massive, ou insertion tubulaire remplie de sable, ou refroidie par soufflage d'air pendant la coulée et la solidification.

(4) Ex. : une insertion en acier (fusion 1 530 °C) de petite dimension entourée d'un volume important de fonte (4 % C) coulée à 1 400 °C entrera en fusion lorsque le carbone qui diffuse dans l'acier, aura une teneur suffisante pour avoir l'état liquide (moins de 2 % C à 1 400 °C).

(5) L'échauffement de l'insertion au contact de l'alliage liquide, provoque une dilatation diminuant l'effet du retrait de la pièce.

(6) Cette condition peut interdire les traitements thermiques.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (17/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (17/26)

11. MOULAGE EN CARAPACE

Connu également sous le nom de « Procédé Croning », moulage en masques.

11-1. Principe : Le moule doit être en 2 parties (1 seul joint plan) et peut comporter des noyaux obtenus également par ce procédé. Chaque partie est obtenue avec une plaque-modèle chauffée (1 seule suffit si le moule est constitué par deux parties identiques) sur laquelle le matériau de moulage forme une croûte (carapace) épousant les reliefs de la plaque-modèle.

11-2. Cycle de moulage (avec machine à retournement).

Un bac contenant du sable enrobé de résines thermodurcissables est fermé à sa partie supérieure par une plaque-métallique chauffée entre 200 et 300° C (fig. 1 a et 1 b).

L'ensemble est retourné (fig. 1 c).

Au contact de la plaque-modèle, la résine devient pâteuse, les reliefs de la plaque-modèle sont épousés précisément par le sable enrobé, qui s'agglomère progressivement à partir de l'empreinte, selon une épaisseur fonction de la nature de la résine, de la température de la plaque-modèle et du temps de maintien (40 à 60 sec).

L'ensemble est retourné à nouveau dans la position initiale (fig. 1 d), le sable non aggloméré retombe dans le bac pour être utilisé ultérieurement et le sable aggloméré forme une carapace de d à 10 mm d'épaisseur. La plaque-modèle se dégage du bac.

La carapace est alors chauffée pour polymériser la résine et obtenir le durcissement final.

La carapace est démoulée de la plaque-modèle par des éjecteurs (fig. 1 e).

Une carapace peut comporter les 2 parties du moule (fig. 1 f).

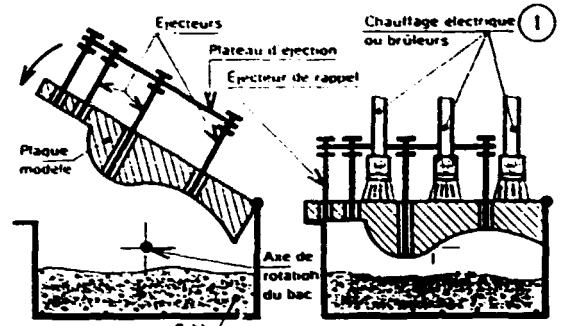
Les carapaces sont assemblées ou collées (fig. 1 g) afin de constituer un moule.

L'empreinte, le système d'attaque et éventuellement le système d'alimentation (évidements pour constituer les masselottes) sont réalisés par la carapace.

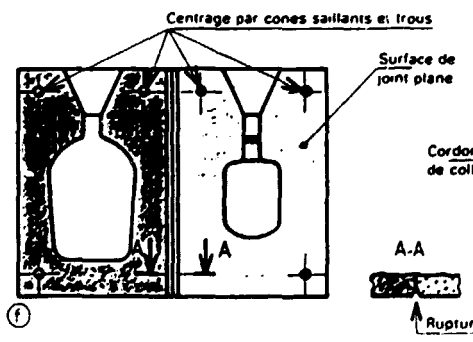
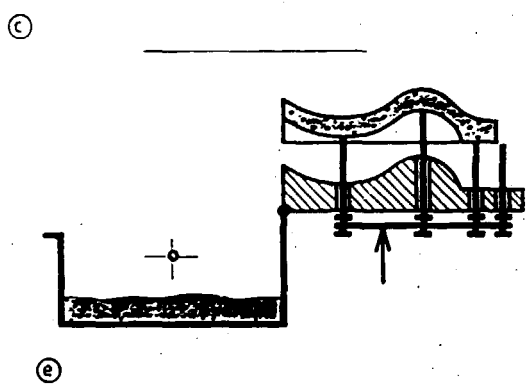
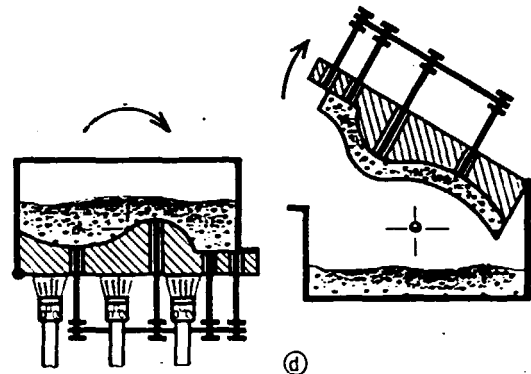
Selon sa conception le moule est coulé avec le plan de joint horizontal ou vertical. La stabilité est augmentée en plaçant les carapaces dans un bac rempli de sable ou de grenaille (fig. 1 h).

La mise en œuvre du sable enrobé au contact de l'outillage chauffé peut se faire par :

- Gravité et retournement (fig. 1);
- Soufflage (fig. 3);
- Tirage (fig. 4).



(1) places à la surface de joint et en dehors des surfaces moulantes



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (18/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (18/26)

11.3. Possibilités techniques.

- **Moulage de précision** : tolérance : qualité 13 à 14 selon les dimensions des pièces (précision diminuant avec la taille) et état de surface : Ra de 3,5 à 6,5 μm selon l'alliage coulé.

- L'usinage est réduit à faibles coefficients d'usinage (tableau 5).

- Coulé dans tous les alliages, surtout ceux difficilement coulables en moules métalliques en raison de leur température de fusion élevée (ex. : laiton, cuivre pur).

Cependant la vitesse de refroidissement de l'alliage est plus faible qu'en moule métallique (influence sur la structure de la pièce) :

- Procédé adapté aux séries supérieures à 500 pièces (outillage métallique en raison de la température $> 200\text{ }^\circ\text{C}$).

- Pièces de quelques grammes à plus de 100 kg pouvant avoir des épaisseurs très faibles (ex. : de l'ordre de 1 mm pour les extrémités d'ailettes de refroidissement).

- Obtention de carapaces d'épaisseur faible (4 à 10 mm) et de noyaux creux (bon rapport masse moule / masse alliage coulé) : économie de matière, facilité de manutention.

La conception du moule devra éviter la pénétration de l'alliage dans les évidements du noyau (fig. 2) :

- Moule complet réalisé par ce procédé (fig. 2).

- Formes compliquées surtout pour les noyaux, obtenues dans des boîtes métalliques démontables (pour les contre-dépouilles).

- Dimensions maxi des carapaces : 0,6 m environ, convient bien pour des pièces plates ou longues.

- Les petites pièces sont moulées en grappe, une carapace comportant ainsi plusieurs empreintes.

- **Moulage composite** :

- En moulage en sable à vert :

Une précision dimensionnelle et un état de surface meilleurs sont donnés par des éléments réalisés en moulage en carapace.

- En moulage métallique : simplification du moule en remplaçant les éléments mobiles par un noyau donnant une précision et un état de surface voisins.

- **Parachèvement réduit** : diminution des bavures : 1 seule surface de joint, noyaux complexes monoblocs.

11.4. Matériaux du moulage (p. 60).

- Sable siliceux ou à pouvoir de refroidissement plus élevé : chromite, olivine, zircon... (p. 67)

- Résines thermodurcissables devant fondre au contact de l'outillage chauffé, puis se polymériser pour avoir le durcissement final.

- Faible gêne au retrait à l'état solide diminuant les criques et les contraintes résiduelles.

11.5. Matériels et machines (p. 60).

- Outillage métallique : les plaques-modèles et les boîtes à noyaux doivent être chauffées (200 à 300 $^\circ\text{C}$).

Les machines sont :

- A retournement, le sable tombant par gravité,

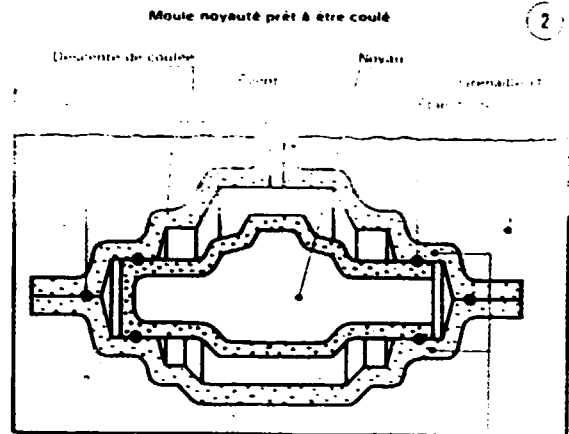
- A soufflage ou à tirage, le sable enrobé ayant une grande fluidité ; deux types d'outillage :

- Obtention directe de la carapace (fig. 3).

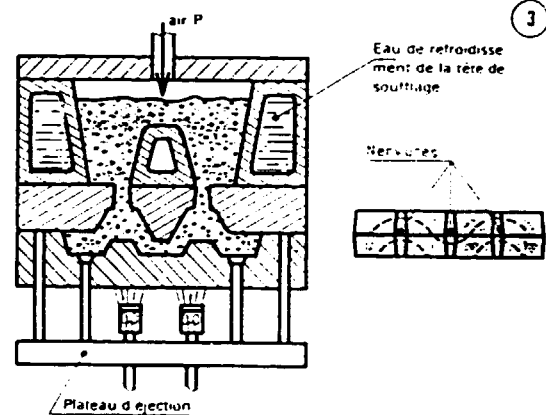
- Obtention de la carapace après séparation du sable non aggloméré (fig. 4).

Machine à coller les carapaces pour fermer le moule.

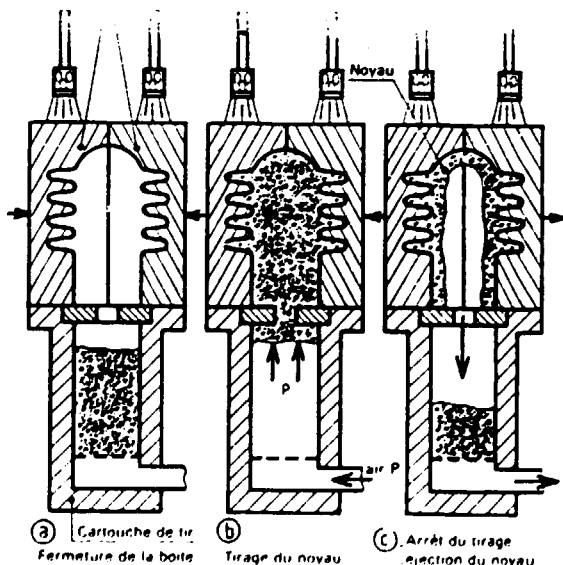
Le procédé peut être mécanisé et automatisé.



(2) La grenaille, outre le rôle de positionnement du moule pour la coulée, s'oppose aux mouvements des carapaces sous l'effet de la pression métallastatique de l'alliage.



(3) **Carapace d'arrivée**
Boîte à noyau



(4) **Chauffage sur la périphérie de la boîte**

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (19/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (19/26)

12. MOULAGE EN MOULE CÉRAMIQUE.

Procédé également connu sous le nom de procédé Shaw, procédé Unicast, procédé ceramics...

12.1. Principe : un coulis de produits réfractaires liés avec une solution à base de silicate d'éthyle est versé dans un moule contenant le modèle (fig. 1).

L'hydrolyse du liant produit un gel de silice, qui en quelques minutes durcit suffisamment le moule afin de démouler le modèle sans ébrantage (précision de l'empreinte) (fig. 2).

Selon le dosage des produits réfractaires et des composants du liant, le moule peut avoir une phase élastique pendant quelques minutes, permettant l'extraction d'un modèle ayant une dépouille inférieure à la dépouille normale (p. 68).

Durcissement du moule : le durcissement final du moule ne doit pas modifier les dimensions initiales, selon le procédé :

- Immersion du moule dans un bain chimique poursuivant la réaction d'hydrolyse dans l'épaisseur du moule puis séchage à l'air chaud ou grillage, ou
- Flambage de l'alcool éthylique produit par la réaction d'hydrolyse du silicate d'éthyle :

La réaction de combustion est amorcée avec une torche puis entretenue par l'alcool du moule migrant vers l'empreinte.

Par dissécaction du moule, il se forme en surface de l'empreinte et dans la masse du moule, un réseau tenu de microfissures ayant quelques μm de largeur, sans incidence sur l'état de surfaces des pièces coulées, et permettant :

- une meilleure perméabilité du moule,
- une stabilité dimensionnelle du moule (réduction de la dilatation du moule lors de la coulée de l'alliage).
- Une opération de frittage de la céramique vers $900\text{ }^\circ\text{C}$ (non réalisée avec des moules de grande dimension) augmente la résistance mécanique du moule et limite la réaction alliage-moule (neutralité chimique du moule).

12.2. Possibilités techniques : moulage de précision.

- **Moule :** obtention de rugosité R_a de 3 à $6\ \mu\text{m}$ avec un modèle $R_a < 3\ \mu\text{m}$.

- Emploi en moulage composite (p. 51) pour obtenir des parties de moule devant avoir des états de surface ou des précisions particulières, dans des moules réalisés avec d'autres techniques.

- En fabrication en série une préforme ou une coquille permet de limiter la quantité de produits céramiques à mettre en œuvre (coût élevé de ces produits) limitant le moule céramique à une carapace de 10 mm environ autour du modèle (fig. 2).

- Serrage d'un moule en chamotte liée ou silicate de soude sur la préforme.

- Montage sur une plaque-modèle après avoir démoulé la préforme.

- Coulée de la carapace en céramique qui adhère fortement à la chamotte (résistance mécanique).

- **Pièces :** procédé adapté aux pièces moyennes unitaires ou de petite série (masse maximale : 200 kg d'alliages ferreux, dimensions : 1,5 m maxi, au-delà précision difficile à obtenir). Tous alliages, particulièrement aciers.

- Selon l'outillage la précision dimensionnelle va de J15 (bois, plastique) à J13 (métal) avec un état de surface de 4 à $10\ \mu\text{m}$ selon les alliages coulés.

- Pièces de formes complexes précises avec un bon état de surface ne nécessitant pas d'usinage ou ne pouvant pas être usinées (fig. 3).

12.3. Matériaux : coût élevé.

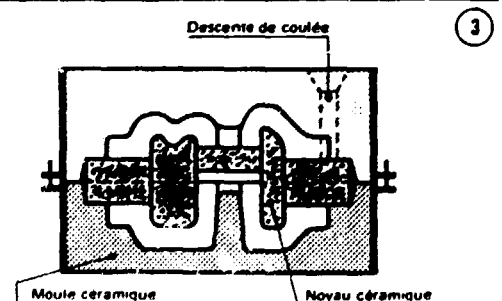
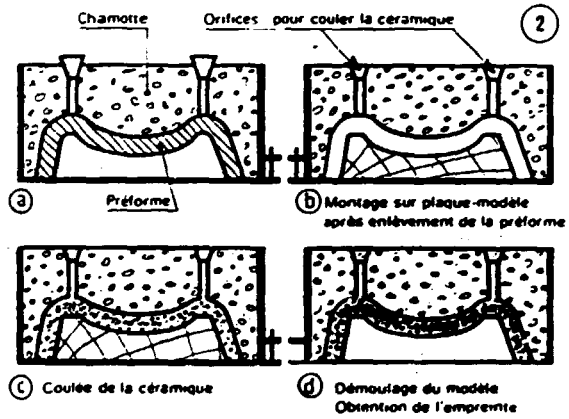
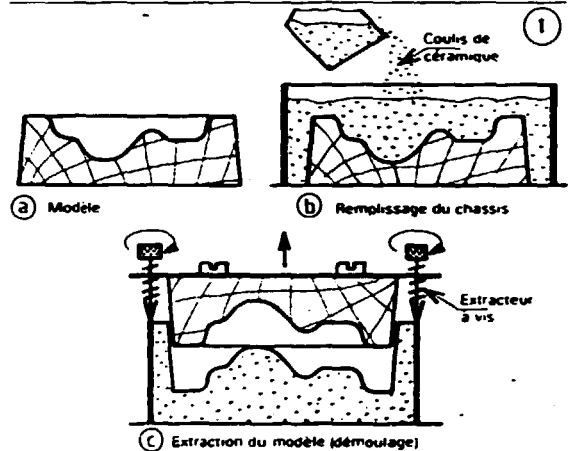
- **Produits réfractaires :** alumine, silice, sillimanite, zircon... à l'état pulvérulent ($10\ \mu\text{m}$ environ) mélangés à de la chamotte (p. 67) de granulométrie étalée jusqu'à quelques millimètres.

- **Liant :** silicate d'éthyle en solution alcoolisée avec un catalyseur et un agent mouillant.

12.4. Outillage : coût peut important.

- Les modèles sont réalisés avec des états de surface et une précision fonction de ceux de la pièce ou de la série de pièces à réaliser, dans des matériaux variés : bois, plâtre, matière plastique, laiton, acier.

- Pour les petites séries (20 à 100 pièces) renouvelables, réalisation d'une préforme ou d'une coquille moulée. Les noyaux de révolution peuvent être centrifugés (compacité).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (20/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (20/26)

13. MOULAGE AVEC MODÈLE NON PERMANENT

13-1. Principes.

Le moule est en une seule partie (sans surface de joint) et est réalisé autour d'un modèle sans limitation de moulage.

Le modèle comporte à la fois les formes de la pièce brute à obtenir, air si que les systèmes d'attaque, d'affinement (masselottes) et d'élimination du modèle (le système d'attaque a souvent ce rôle). Les critères de conception de la pièce sont différents des autres procédés de moulage : grande liberté pour le tracé de la pièce pourvu que la solidification de l'alliage dans le moule soit orientée (avec des masselottes éventuellement) (fig. 1).

La pièce moulée est obtenue dans un cycle de fabrication au cours duquel le moule et le modèle sont détruits (moulage à modèle perdu) (fig. 1).

13-2. Conditions générales d'emploi.

Ce procédé regroupe des techniques différentes selon la nature du modèle et le type du moule (modèle éliminé avant ou pendant la coulée, moule en sable siliceux ou en céramique) :

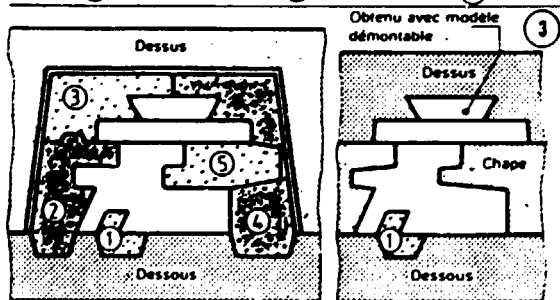
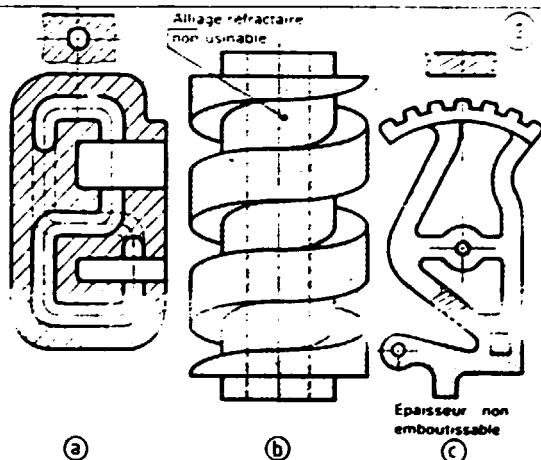
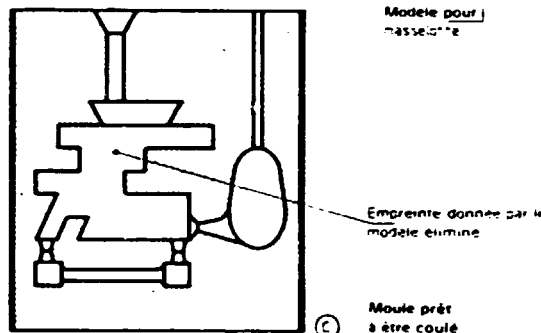
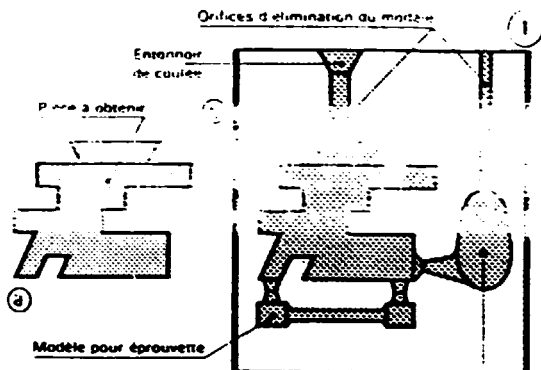
- réalisation de pièces ne pouvant être obtenues par d'autres procédés (usinage, forgeage...) (fig. 1),
 - en raison des surfaces impossibles à obtenir par des procédés conventionnels ou non conventionnels : électroérosion, usinage électrochimique... (fig. 2 a),
 - alliages difficilement usinables (alliages d'outil de coupe, alliages réfractaires...) (fig. 2 b).
- pièces pouvant être obtenues par d'autres procédés mais en donnant des caractéristiques moins bonnes ou des coûts plus élevés.

L'emploi du procédé permet :

- meilleure précision dimensionnelle en donnant des variations d'empreinte de moule réduites ou nulle (1 seule empreinte) (fig. 1),
- qualité de la surface moulée ne comportant ni bavures (1) ni coutures (2) dues à des surfaces de joints ou de noyaux, et réduisant le parachèvement ou l'usinage (fig. 1 et 2),
- réalisation d'une pièce unique même très complexe plutôt que plusieurs éléments assemblés,
- rapidité de production de pièces nécessitant un usinage long ou difficile (ex. : pièces complexes de très petite taille et d'une centaine de grammes) (fig. 2 c),
- simplification du moule lorsque l'obtention de l'empreinte avec d'autres procédés nécessite un grand nombre de parties (fig. 3),
- le coût d'un modèle permanent n'est pas justifié : pièces unitaires, prototypes (fig. 3 b),
- substitution d'un modèle non permanent aux procédés de moulage sans modèle dans des cas difficiles.

1) Minces lames d'alliage en saillie sur la pièce dues au décalage ou au jeu entre les différentes parties du moule

2) Les lames sont réduites à un bourrelet



a Moulage en série
1 surface de joint
5 noyaux
Dépouille faible ou nulle

b Moulage unitaire
2 surfaces de joint
1 noyau
Dépouille normale

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (21/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (21/26)

13-3. Moulage de précision avec modèle éliminé avant la coulée.

Ce procédé est développé avec des modèles ayant un excellent état de surface ($Ra \leq 1 \mu m$) et éliminés avant la coulée du moule, par fusion, dissolution, ou combustion.

Il est connu sous le nom de moulage à modèle perdu, ou moulage en cire perdue, même si le modèle est réalisé avec d'autres produits que la cire.

L'origine de ce procédé remonte à l'antiquité et permettait la réalisation d'œuvres d'art.

13-3-1. Conditions particulières d'emploi.

- Pièces exigeant un excellent état de surface $Ra : 2 \text{ à } 3 \mu m$ et une très bonne précision dimensionnelle : tolérances générales J 14 et J 12 pour des cotes particulières (précision de l'outillage, pas de gêne au retrait).
- Pièces sans bavures ni marque dont le parachèvement est limité au sectionnement des systèmes de remplissage et d'alimentation (masselottes).
- Tous les alliages peuvent être coulés (adaptation du réfractaire).
- Mise en œuvre d'alliages dont la coulabilité est augmentée par la possibilité de couler en moule chaud (de 900 à 1000 °C pour les alliages ferreux).
- Pièces en aciers spéciaux, en alliages réfractaires, en alliages à très grande dureté, non forgeables et difficilement usinables.
- Les pièces peuvent avoir des masses allant de quelques grammes à 30 kg environ, avec des formes très complexes.
- A partir de 100 moules (pouvant comporter plusieurs pièces en grappe) le prix du procédé peut être intéressant, la pièce unitaire a un prix de revient élevé par rapport au moulage en sable.
- Ce procédé peut être associé à des techniques facilitant le remplissage de l'empreinte, ou donnant de meilleures caractéristiques à la pièce :
 - coulée sous vide.
 - coulée avec une surpression.
 - coulée par centrifugation.

13-3-2. Matériaux.

Modèle : cire, matières thermoplastiques, matières pouvant s'éliminer par l'action d'un solvant, par fusion, par sublimation.

Moule : les matériaux et les liants seront d'autant plus réfractaires que la température de coulée de l'alliage sera élevée :

- Plâtre et sable siliceux pour les alliages à température de coulée inférieure à 1100 °C
- Produits réfractaires pour des alliages coulés à une température supérieure à 1100 °C : silice, zircon, produits céramiques, liants à base de silicate d'éthyle...

Le moule ne devra pas avoir de réaction chimique avec l'alliage coulé (ex. décarburation superficielle des aciers dans un moule oxydant).

Nota : Un procédé utilise le mercure congelé comme modèle a peu de développement : les opérations d'obtention du moule s'effectuent entre - 40 et - 60 °C.

13-3-3. Fabrication du modèle (fig. 14).

- En moulage unitaire : réalisation d'un modèle en cire.
- En série : il faut d'abord faire l'outillage donnant le modèle qui donnera l'empreinte du moule :

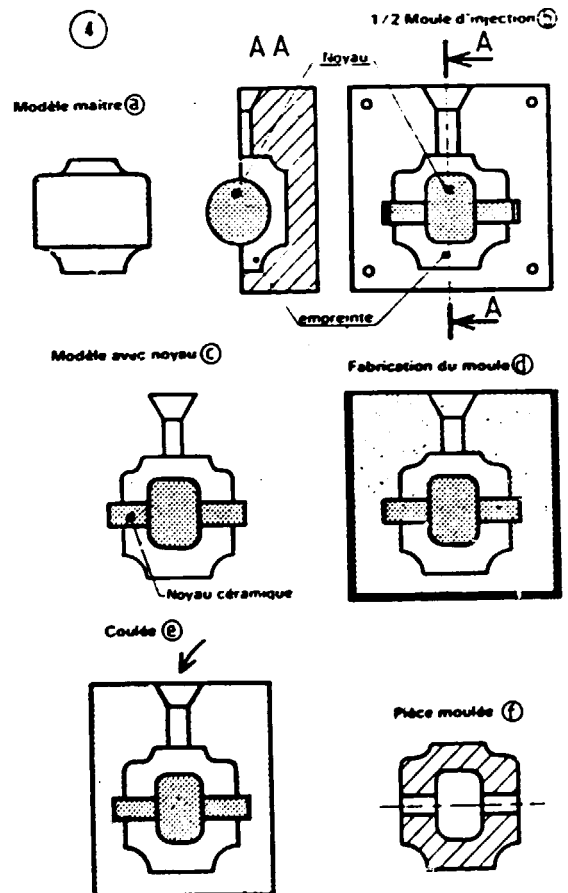
13-3-3-1. Fabrication d'un modèle-maitre métallique usiné et poli, qui est la réplique de la pièce à obtenir, en tenant compte :

- du retrait du matériau du modèle final.
- de la dilatation du moule préchauffé avant la coulée.
- du retrait à l'état solide de l'alliage de la pièce (fig. 4a).

13-3-3-2. Fabrication d'un moule d'injection : en prenant le modèle-maitre comme modèle, réalisation d'un moule en alliage sans retrait ayant un point de fusion supérieur à celui de la matière injectée (fig. 4 b).

Le moule peut également être obtenu par usinage et peut comporter plusieurs parties démontables (comme une boîte à noyau ou un moule métallique de fonderie).

L'emploi de noyaux en silice ou en céramique, remoulés dans le moule d'injection permet d'éviter les parties démontables du moule (fig. 4b, 4c).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (22/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (22/26)

13-3-3. Injection du modèle (fig. 5).

A l'aide de presses à injecter la cire ou les matières thermoplastiques, remplissage du moule d'injection pouvant comporter plusieurs empreintes.

Les petites pièces sont injectées par grappes pouvant comporter plusieurs systèmes d'attaque et de système de distribution de la matière.

En grande série on peut produire plus de 2 000 modèles/h.

13-3-3-4. Assemblage du modèle (fig. 6).

– **Modèles en cire** : les modèles élémentaires sont assemblés en grappe sur le système d'attaque, également en cire.

L'assemblage se fait avec un fer à larme chauffée.

Les masselottes sont rapportées sur les modèles par ce procédé (si elles ne sont pas injectées avec les modèles). Un modèle en cire pour éprouvette d'essais peut être soudé au fer, sur le modèle (fig. 1 b) :

– **Modèles en polystyrène ou en urée synthétique** : les modèles élémentaires sont injectés par grappe autour d'une partie du système d'attaque central (conduit élémentaire).

Les grappes sont ensuite superposées en emboîtant les conduits élémentaires, afin de former le conduit général à toutes les grappes.

Un entonnoir en céramique coiffe le haut du conduit central. On peut obtenir des grappes comportant une centaine de modèles.

13-3-4. Fabrication du moule (fig. 7 a).

Une carapace est réalisée autour du modèle selon deux procédés :

– Le modèle ou la grappe est trempé dans une préparation aqueuse à base de produits réfractaires (silice, zircon...) et de liant (plâtre, silicate d'éthyle...) selon l'alliage à couler, puis saupoudrage de produits réfractaires de même nature.

Sur le modèle, il se forme une carapace de quelques millimètres, le liant cristallise ou se polymérise.

L'ensemble est placé dans un châssis (cylindre de tôle d'acier inoxydable pour les grappes de révolution) rempli de produits réfractaires afin de consolider la carapace.

– Comme précédemment, la grappe est trempée puis saupoudrée de produits réfractaires, ces opérations étant répétées avec des produits de granulométrie croissante afin d'obtenir une carapace de 12 à 15 mm d'épaisseur offrant une résistance mécanique suffisante pour se dispenser d'un châssis.

13-3-5. Élimination du modèle (fig. 7 b).

Les moules sont retournés, entonnoir vers le bas, dans une étuve, un autoclave à vapeur, ou un four à micro-ondes afin d'éliminer les modèles en cire ou en urée ; ces produits étant récupérés dans des bacs afin d'être recyclés. L'évidement réalise l'empreinte. Les modèles en matière thermoplastique sont brûlés ou dissous par des solvants (vapeurs de trichloréthylène pour le polystyrène).

13-3-6. Frittage du moule.

Le moule est porté dans un four à 900 °C pendant une heure afin de réaliser le frittage des produits céramiques (durcissement du moule). Les résidus de modèle sont éliminés dans cette opération.

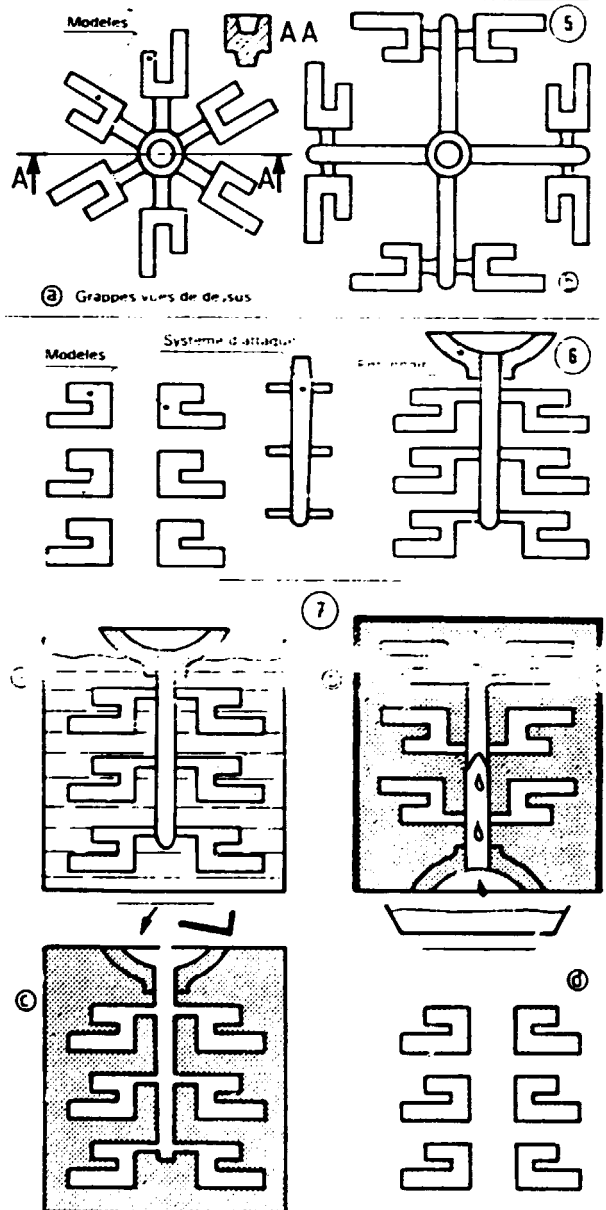
13-3-7. Couler le moule (fig. 7 c).

Le moule est préchauffé (900 à 1 000 °C pour les alliages terreux) : réduction du choc thermique lors de la coulée de l'alliage, et augmentation de la coulabilité (alliages à mauvaise coulabilité donnant des épaisseurs faibles et des porosités).

Le moule est tenu par gravité avec une partie de la pièce à couler pour le souder, à l'arc déversant l'alliage dans le moule fixé sur le four (suspension possible d'éléments dans la position basculée).

Le moule peut être centrifugé, la coulée peut aussi se faire sous vide.

La pièce est obtenue après décochage et séparation de la grappe, du système de remplissage et des masselottes (parachèvement) (fig. 7 d).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (23/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (23/26)

13-4. Moulage avec modèle éliminé à la coulée appelé aussi moulage à moule plein, à modèle gazeifiable.

13-4-1. Principe (fig. 8).

Le modèle réalisé en mousse de matière plastique rigide est emballé dans un sable autodurcissant. A la coulée du moule, le modèle est détruit au contact de l'alliage liquide, l'alliage prenant la place du modèle.

Note : en moulage magnétique, la cohésion du matériau de moulage est obtenue avec un champ magnétique (p. 47).

13-4-2. Conditions particulières d'emploi.

- Pièces unitaires pour lesquelles le coût d'un modèle permanent n'est pas justifié (facilité de réalisation du modèle sans parties démontables).
- Pièces de 20 kg à 30 t (la limite venant du manque de rigidité du modèle dans les très gros moulages).
- Coulée de tous les alliages, principalement les alliages ferreux (des défauts peuvent apparaître avec certains alliages, voir § 13-5).
- Possibilité d'attaques en source (difficile avec d'autres procédés).
- Parachèvement limité : pas de bavures, ni de coutures dues à des parties de moule différentes (moule en une partie).

13-4-3. Réalisation du modèle.

Selon l'importance des modèles, ils sont réalisés en 1 partie ou en plusieurs parties collées.

- Réalisation d'un bloc avec des plaques collées les unes aux autres, les formes sont obtenues par :
 - découpage avec un fil chaud,
 - usinage par fraisage à grande vitesse.
- Pour des modèles ou des parties de modèle (masselottes, conduits...) justifiant une petite série, réalisation d'un moule d'expansion (polystyrène) ou d'injection (polyuréthane) donnant directement le modèle (formes simples avec dépouille sinon parties démontables du moule).

13-4-4. Réalisation du moule.

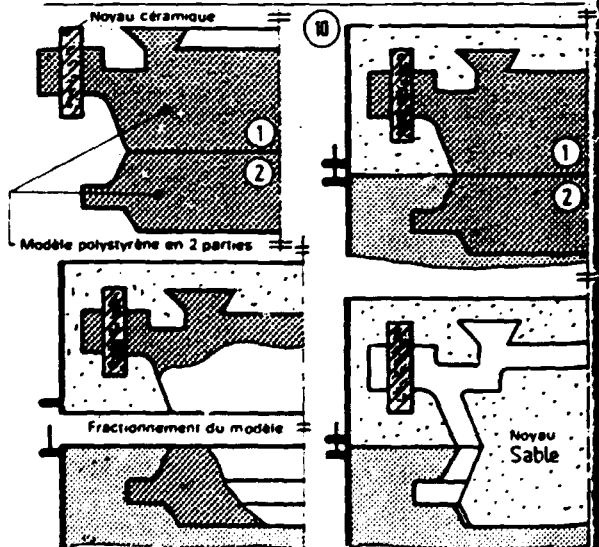
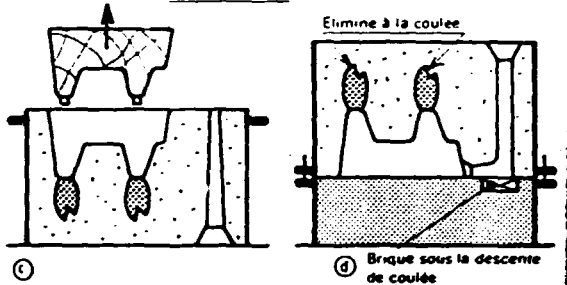
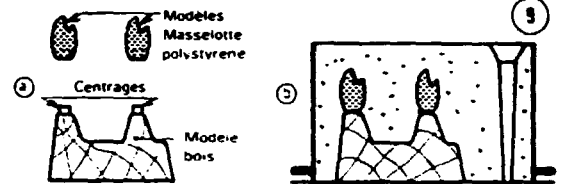
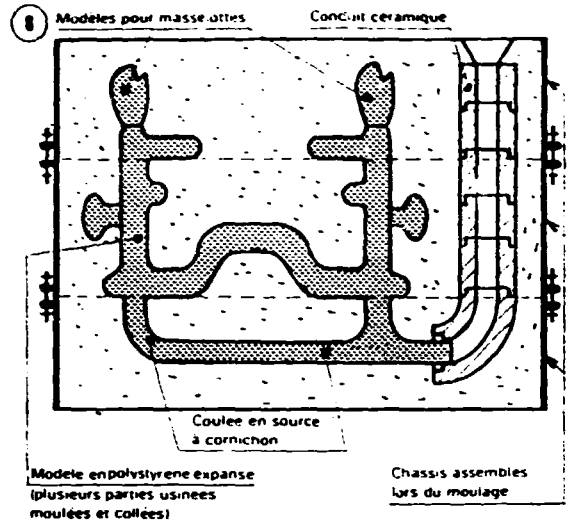
L'empreinte du moule n'étant pas accessible, c'est le modèle qui est enduit (voir p. 67) avec des couches améliorant l'état de surface du modèle et réduisant les réactions de l'alliage avec le sable de moulage.

Emballage sans serrage (modèle déformable) du modèle dans un sable aggloméré chimiquement à température ambiante (p. 41).

- Note : - la rigidité du modèle est augmentée en prenant des mousses à grande masse volumique (30 kg/m³ pour le polystyrène expansé),
 - la pesée du modèle permet de connaître la masse minimale d'alliage à couler dans le moule.

13-5. Moulage avec modèle partiellement éliminé à la coulée.

- La réalisation d'un modèle permanent peut être facilitée en rapportant sur celui-ci des parties en mousse de matière plastique restant dans l'empreinte après démoulage du modèle (zones à contre dépouille, parties complexes et fragiles) (fig. 9).
- La coulée d'alliages réagissant avec le modèle impose de concevoir un moule en plusieurs parties afin de pouvoir éliminer le modèle dans chacune d'elles (fragmentation, combustion). Selon l'accessibilité des parties de modèle on peut aller jusqu'à leur élimination totale (fig. 10).



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (24/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (24/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE		Outils **		Nature du moule		Matériaux de moulage						Mode de moulage	Type de surface	Type de pièce *		
		Froid	Chaud	Plastique	Plâtre	Sable mou	Sable dur	Sable dur et durci	Sable dur et durci avec colle	Céramique	Métaux			Autres	Unité	Petit	Gr.
Planche à trousser modèles simplifiés boîte à noyaux éventuellement	Troussage	▲		●	▲	●	▲	●	▲	▲	▲	≥	1,2,3			
	Centrifugation ***	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○		1,2,3		
Moulage avec modèle et boîte à noyaux	Moule	▲		▲	▲	●	▲	▲	▲	▲	▲	≥	1 à 3	2,3,4		
	Noyau	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	≥	2 à 3	2,3,4		
Moulage avec plaque-modèle	Moule	Châssis-motte sans serrage	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	1		2 à 5	3,4,5	
		Châssis-motte serrage B.P.	▲		▲	▲	●	▲	▲	▲	▲	1		2 à 5	3,4,5	
		Châssis-motte serrage H.P.	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	1		3,4	3,4,5	
		Carapace	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	1		3 à 5	3 à 5	
		Céramique	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	1		3,4		
Moulage avec boîte à noyaux	Noyau	Durci dans la boîte froide	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	≥	2,3,4	3,4	
		Durci hors de la boîte	▲		▲	▲	●	▲	▲	▲	▲	○	≥		3,4,5	3,4,5
		Durci dans la boîte chaude	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	≥		2 à 5	
		Carapace	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	≥		2 à 5	
		Céramique	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	≥		2 à 5	
Moulage avec modèle non permanent	Détruit avant la coulée	Moulage de précision à modèle perdu	●		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	○	3 à 5	3 à 5	4 à 5
		Moulage avec modèle fragmenté ou brulé	●		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	≥	1,2,3		
	Détruit à la coulée	Moulage avec modèle gaspifiable	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	1,2			
		<p>POSSIBILITÉS TECHNIQUES</p> <p>* TYPE DE PIÈCE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Très grosse (> 10 kg) 2. Grosse (> 100 kg) 3. Moyenne (> 10 kg) 4. Petite (0,5 à 10 kg) 5. Très petite (10⁻¹ à 0,5 kg) <p>** Matériel spécifique à une pièce donnée à l'exclusion des machines qui mettent en œuvre les outillages de production des moules et des noyaux.</p> <p>*** Centrifugation dans une coquille métallique garnie d'une couche de sable retirée immo avant chaque coulée.</p>														

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (25/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (25/26)

OUTILLAGE (1)	PROCÉDÉS DE MOULAGE	Caractéristiques de l'empreinte					Coût de l'ouillage	Nombre minimal de moules à réaliser	Coût total (3) d'un moule
		Forme typique	Dimensions maximales	État de surface (8)	Tolérances	Besoin avec les formes de la pièce en service (2)			
Planche à trousser modèles simplifiés, boîte à noyau éventuellement	Troussage							1	
	Centrifugation (5)			(6)		(7)		100	(3)
Modèle Boîte à noyaux	Sable avec kant argileux.							1	(3)
	Sable aggloméré chimiquement à froid							1	(3)
	Céramique							1	(3)
Plaque modèle Boite à noyaux	Moule	Sable aggloméré chimiquement à froid						100	(4)
		Sable argileux serré B.P.						100	(4)
		Sable argileux étuvé						100	(4)
		Sable argileux serré H.P.						1000	(4)
		Carapace						500	(4)
Boîte à noyaux	Noyau	Durci dans la boîte froide						100	(4)
		Durci hors de la boîte						100	(4)
		Durci dans la boîte chaude						1000	(4)
		Carapace						500	(4)
Modèle non permanent	détruit avant la coulée	Moulage de précision à modèle perdu						100	(4)
		Moulage avec modèle fragmenté ou brisé						1	
	détruit à la coulée	Moulage avec modèle gazéifiable						1	

(1) Matériel spécifique à une pièce donnée à l'exclusion des machines qui mettent en œuvre les outillages de production des moules et des noyaux.

(2) Obtenues éventuellement par usinage

(3) Y compris matériaux de moulage non recyclés. Il élimine si la série augmente

(4) Comme (3) plus la possibilité d'avoir plusieurs empreintes dans le moule.

(5) Garnissage en sable refait avant la coulée.

(6) Intérieur indépendant du moule.

(7) Épaisseur de la pièce brute indépendante du moule

(8) Varré dans le même sens que la finesse du sable, l'état de surface de l'outillage, la qualité des enduits

Forme	Complexe	En partie complexe	Révolution	Profonde	Relief complexe	Relief simple
Dimensions	≥ 5 m	5 à 2 m	2 à 1 m	1 à 0,6 m	0,6 à 0,3 m	< 0,30 m
Classe	Excellent	Très bon	Bon	Assez bon	moyen	Médiocre
Coût	Faible	Moyen	Élevé	Très élevé		

Compositif des procédés de moulage

2

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (26/39)

PROCÉDÉS DE MOULAGE (26/26)

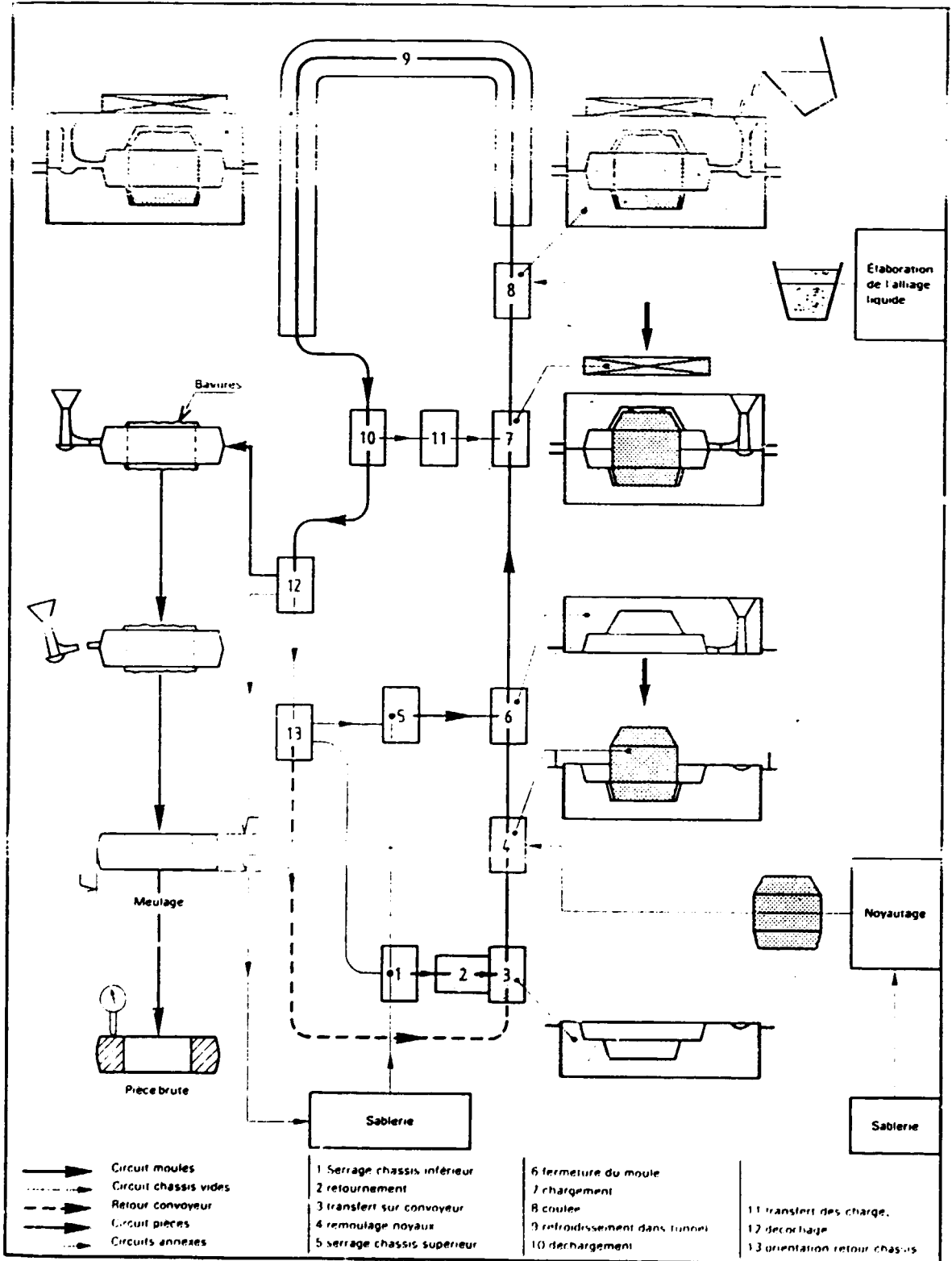


Schéma d'un chantier de moulage mécanique

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (27/39) MATÉRIELS ET MACHINES (1/6)

1. LES CHÂSSIS (fig. 1 à 6).

Le châssis est un cadre rigide devant contenir et maintenir le sable qui constitue le moule.

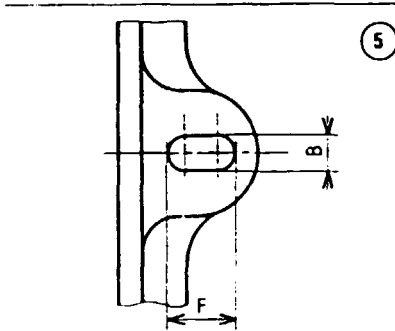
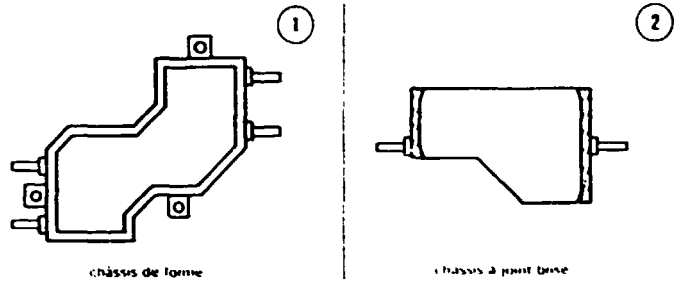
Les matériaux constitutifs sont : l'acier moulé, la fonte, l'acier profilé ou soudé, un alliage d'aluminium.

Les formes sont diverses : carrée, rectangulaire, ronde, polygonale, de forme quelconque ou « châssis » de forme.

Il existe deux types de châssis :

- les châssis pour moulage à la main (tab. 3)
- les châssis pour moulage mécanique (tab. 4)

Dimensions B et F des trous d'engouonnement. Entraxe A des trous. Diamètre des goujons D (fig. 5, tab. 6).



Longueur L	A (1)	B	F	D
250	320 ± 0,5	22 _{M8}	26 _{M11}	21,8 _{M7}
280	350 ± 0,5	-	-	-
315	385 ± 0,5	-	-	-
355	425 ± 0,5	-	-	-
400	470 ± 0,5	-	-	-
450	505 ± 0,5	-	-	-
500	570 ± 0,5	-	-	-
560	630 ± 0,5	-	-	-
630	700 ± 0,5	-	-	-
710	780 ± 0,5	-	-	-
800	870 ± 0,5	-	-	-
900	970 ± 0,5	-	-	-
1 000	1 070 ± 0,5	-	-	-
1 120	1 190 ± 0,5	-	-	-
1 250	1 350 ± 1	30 _{M8}	34 _{M11}	29,8 _{M7}
1 400	1 500 ± 1	-	-	-
1 600	1 700 ± 1	-	-	-
1 800	1 900 ± 1	-	-	-
2 000	2 100 ± 1	-	-	-
2 240	2 340 ± 1	-	-	-
2 500	2 600 ± 1,5	-	-	-
2 800	2 900 ± 1,5	-	-	-
3 150	3 250 ± 1,5	-	-	-

(1) L'un des trous est ovalisé.

NOTA : Ces dimensions sont données à titre indicatif.

Longueur L (1) des châssis rectangulaires	Largeur l des châssis rectangulaires, côtés des châssis carrés ou diamètre des châssis ronds												
	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
	Hauteur H (2)												
315	100												
400	125	125											
500	125	125	125										
630	125	160	160	160									
800	160	160	160	160									
1 000	160	160	160	200	200								
1 250	160	200	200	200	200	200							
1 600	200	200	200	200	200	250	250						
2 000	200	200	200	250	250	250	250	250					
2 500		250	250	250	250	250	315	315	315				
3 150			250	250	250	315	315	315	315	315			
4 000				315	315	315	315	315	315	400	400		
5 000					315	315	315	400	400	400	400	400	400

(1) Du côté des châssis carrés, ou diamètre des châssis ronds.
(2) En cas de nécessité, la hauteur est prise dans la série Renard R 10 parmi les nombres : 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500.

Châssis rectangulaires, carrés ou ronds, pour moulage mécanique.
Dimensions en mm.

Longueur L des châssis rectangulaires	Largeur l des châssis rectangulaires, côté des châssis carrés ou diamètre des châssis ronds																			
	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1 000	1 120	1 250	1 400	1 600	1 800	2 000	
	Hauteur (2)																			
250	100																			
280	100	100																		
315	100	100	100																	
355	100	125	125	125																
400	125	125	125	125	125															
450	125	125	125	125	125	125														
500	125	125	125	125	125	125	125													
560	125	125	125	125	125	160	160	160												
630	125	125	175	180	180	180	180	180	180											
710	125	125	160	160	160	160	160	160	160	160										
800	160	160	180	180	180	180	180	180	180	180	180									
900	160	160	180	180	180	180	180	180	180	200	200	200	200							
1 000	160	160	180	180	180	180	180	180	180	200	200	200	200	200						
1 120	160	160	180	180	180	180	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
1 250		180	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200				
1 400			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200			
1 600				200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250		
1 800					200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	
2 000						200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2 240							250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2 500								250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2 800									250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
3 150										250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

(1) Du côté des châssis carrés, ou diamètre des châssis ronds.
(2) En cas de nécessité, la hauteur est prise dans la série Renard R 10 parmi les nombres : 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500.
Les nombres en caractères gras correspondent aux dimensions recommandées.

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (28/39)

MATERIELS ET MACHINES (2/6)

2. MODELES ET PLAQUES-MODELES (tab. 1, fig. 2)

Le modèle d'une pièce donnée permet la confection d'une empreinte de celle-ci dans un matériau de moulage.

Il faut distinguer deux types de modèles :

- Le modèle.
- La plaque-modèle.

Le premier type peut être un modèle ne reproduisant qu'une partie des formes et comportant les portées de noyaux.

Dans ce type, on peut différencier quatre classes de modèle.

2-1. La planche à trousser.

La rotation autour d'un axe de cette planche, ou la translation sur des gabarits engendre les formes de la pièce. Ce modèle est en bois.

2-2. La carcasse et le squelette (fig. 4).

La carcasse est composée d'une ossature en bois garnie de sable de moulage pour matérialiser les formes extérieures. Le squelette permet la venue des formes intérieures et extérieures.

2-3. Le modèle destructible.

Ce modèle peut être constitué de blocs et de plaques, en polystyrène expansé, assemblés, collés et usinés. Il peut être en polystyrène injecté, en urée, en cire.

2-4. Le modèle au naturel (fig. 5).

C'est une réplique exacte de la pièce brute. Il peut être en deux parties, le modèle étant coupé au joint. Il est en bois vernis ou en plâtre.

Le deuxième type est un modèle qui détermine les formes de la pièce, le joint, le système de coulée et le système d'alimentation.

On peut différencier deux classes.

2-5. Le modèle monté sur plaque (fig. 8).

Ce modèle est soit en bois dur vernis ; soit en matière plastique (avec renforcement par du métal des parties soumises à l'usure) ; soit en métal (acier ou bronze). La plaque est en acier et les dimensions sont consignées tab. 2.

2-6. La plaque-modèle monobloc (fig. 6, 7).

Ce modèle peut être en alliage d'aluminium coulé puis gratté, en résine synthétique surmoulée sur un modèle, en résine stratifiée, en ciment coulé dans une frette métallique, en métal entièrement usiné.

La plaque-modèle peut être simple, double, double face, réversible.

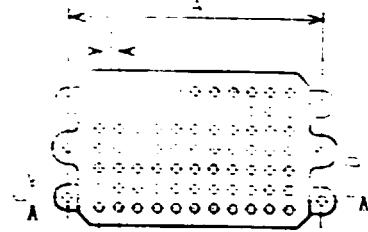
Le choix du modèle se fera à l'aide du tableau 3.

Modèles et plaques-modèles. Dépouilles

Application	Classe de modèle	Dimensions
Modèles sans dépouille	1	0' 12" 11"
Modèles avec dépouille minimum	1	0' 34" 23"
Modèles avec dépouille normale	2	1' 08" 45"
Modèles avec dépouille accentuée (1)	5	2' 51" 44"
Portées de noyaux	5	2' 51" 44"
	10	5' 42" 38"
	20	10' 18" 35"
Talus de plaque modèle	Pente min	50° 26' 33" 54"
	Pente max	100° 45°

(1) A n'envisager que pour des cas particuliers

PLAQUE-MODELE



nota : la figure n'est donnée ici qu'à titre indicatif

DIMENSIONS

Dimensions	Surface du joint de châssis S			
	S ≤ 25 dm ²	25 dm ² < S ≤ 100 dm ²	1 m ² < S ≤ 4 m ²	S > 4 m ²
C	25	50	100	200
D	4	6	10	16
A	Voir § 1, tableau 6			

TOLERANCES

Tolérance sur le diamètre D : H8.

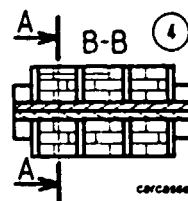
Tolérances sur la distance entre les axes de deux trous quelconques : + 0.1 mm
- 0

Tolérance de planéité de la surface d'appui des modèles = 0.1 mm par mètre.

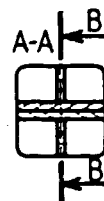
Nota : ces dimensions et tolérances sont données à titre indicatif.

Choix du modèle

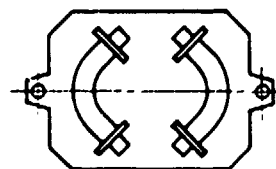
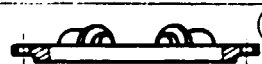
Classes de modèles	Tolérances			Nombre de pièces			Mode moulage	
	L	A	B	Unitaire	Petite à moyenne série	Grande série	Moulage à la main	Moulage mécanique
Planche à trousser	X			X			X	
Carcasse et squelette	X			X			X	
Modèle destructible	Polystyrène expansé	X		X			X	
	Cire, urée PS injecté			X	X	X	X	
Plaque-modèle		X	X			X		X



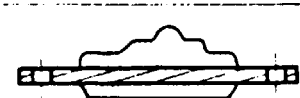
carcasse



modèle avec portées de noyaux



plaque modèle monobloc réversible



plaque modèle monobloc double face



modèle monté sur plaque

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (29/39)

MATÉRIELS ET MACHINES (3/6)

3. MACHINES A MOULER

Une machine à mouler effectue les deux opérations fondamentales pour la confection d'une empreinte : le serrage du sable et le démoulage du modèle. Les machines comportent donc un système de serrage et un dispositif de démoulage. Suivant la pression obtenue au joint du moule, on peut distinguer deux types de serrage.

- Le serrage sous basse pression de 1.5 à 5 bars.
- Le serrage sous moyenne et haute pression de 7 à 15 bars.

Les modes de serrage diffèrent suivant ces deux types de serrage, ainsi que la technologie des machines.

3-1. Serrage sous basse pression.

Les modes de serrage sont les suivants :

- *Par pression* (fig. 1). Le sable est serré entre la plaque-modèle et un plateau. C'est soit le plateau, soit la plaque-modèle qui se déplace. Afin que les efforts de compression soient uniformément répartis dans la masse de sable, il ne faut utiliser ce mode de serrage que pour des pièces au relief peu accentué.

- *Par secousses* (fig. 2). Serré par inertie, le sable s'écoule mieux. Les secousses peuvent avoir jusqu'à 20 mm d'amplitude à des fréquences de 350 coups/minute. La secousse peut être franche (la table retombe sur une masse fixe) ; la secousse peut être en l'air (la masse sur laquelle retombe la table est montée sur ressorts) ; dans ce cas, l'amplitude n'est que de 3 à 5 mm pour des fréquences semblables.

- *Par pression et secousses* (fig. 3). Les deux modes précédents sont associés et leurs qualités sont complémentaires. Pression et secousses peuvent être successives ou simultanées.

Dans ces machines, les pressions sont transmises par de l'air comprimé ou de l'huile.

- *Par projection du sable* (fig. 4). Le sable est mis en mouvement par une turbine qui le projette verticalement dans le châssis. Le remplissage et le serrage se font simultanément. La turbine est montée à l'extrémité de deux bras mobiles permettant le serrage des moules de grandes dimensions.

Des transporteurs alimentent la turbine en sable.

3-2. Serrage sous moyenne et haute pression.

Les modes de serrage sont différents et il faut également distinguer deux types de moulage : le moulage en châssis et le moulage en motte.

3-2-1. Moulage en châssis.

Les châssis utilisés doivent être très rigides, usinés sur les deux faces. Les dispositifs de repérage par douilles et goujons sont très précis.

• *Serrage par pistons presseurs* (fig. 5).

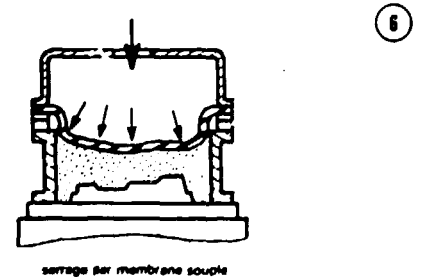
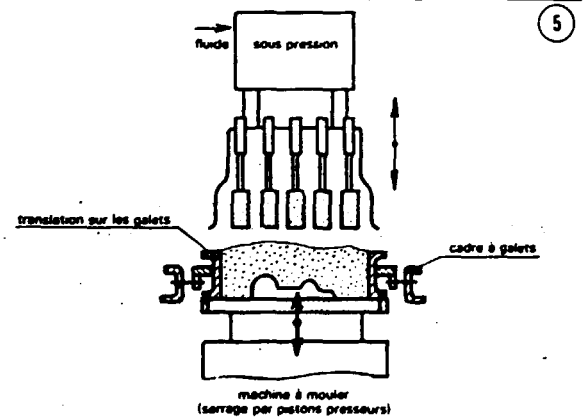
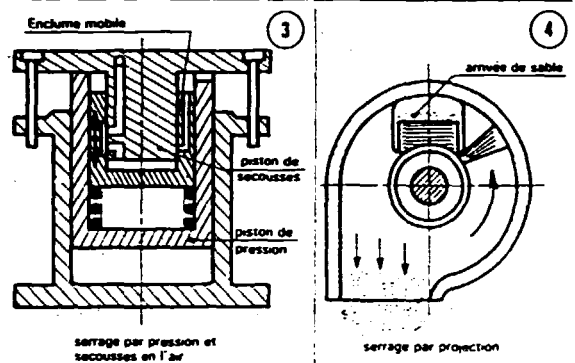
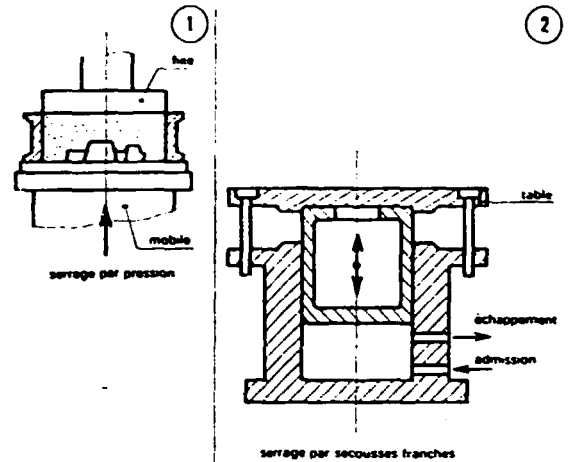
Ces pistons sont mécaniquement indépendants. Deux types de machine existent :

- soit la tête est motrice et les pistons descendent vers la table de moulage qui est fixe,
- soit la tête est résistante et c'est la table de moulage qui monte vers les pistons.

L'énergie est transmise par de l'huile sous pression.

• *Serrage par membrane souple* (fig. 6).

Une membrane souple, soumise à la pression d'un fluide, couvre toute la surface du châssis et provoque le serrage du sable. L'effort de serrage est plus régulièrement réparti sur toute la surface du modèle.



MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (30/39)

MATÉRIELS ET MACHINES (4/6)

2-2-2. Moulage en motte (fig. 1 et 2)

Dans le moulage en motte à joint vertical, la chambre réalisant la motte est remplie par soufflage. Sur deux pistons opposés sont montés les souffleurs.

Le serrage par pression est obtenu par un piston pastoral. Le rendement obtenu est 10 moules/heure.

La motte est ensuite poussée contre la précédente pour fermer le moule.

On peut réaliser ainsi jusqu'à 200 moules à l'heure. Dans le moulage en motte à joint horizontal, le serrage est obtenu par pression sur des plateaux ou par membrane souple. Le remplissage peut se faire par soufflage.

3-3. Dispositifs de démoulage.

On peut distinguer le démoulage direct et le démoulage après retournement.

Le **démoulage direct** (fig. 3) consiste à soulever le châssis, la plaque-modèle restant fixe, ou à abaisser la plaque-modèle, le châssis restant alors fixe. Un dispositif constitué de quatre chandelles ou d'un cadre à galets prend appui sur le châssis et le soulèvement se fait par vérin hydraulique. Le mouvement doit être parfaitement rectiligne et il est vertical.

Le **démoulage après retournement** (fig. 4, 5, 6) permet à l'empreinte du moule de se trouver dessus, la masse de sable la maintenant mieux en place. Pour obtenir cette position, l'ensemble châssis/modèle peut avoir un mouvement de rotation, de renversement ou de rabattement.

3-4. Choix des machines.

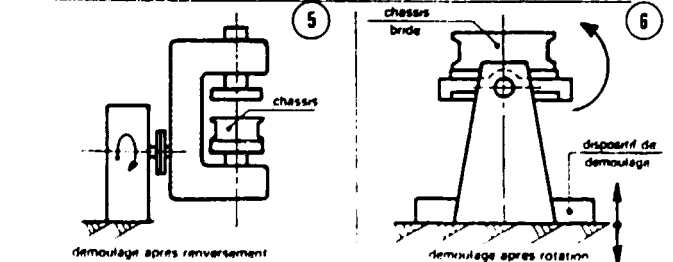
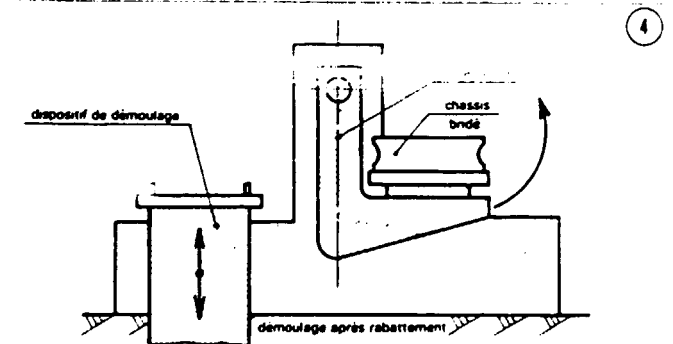
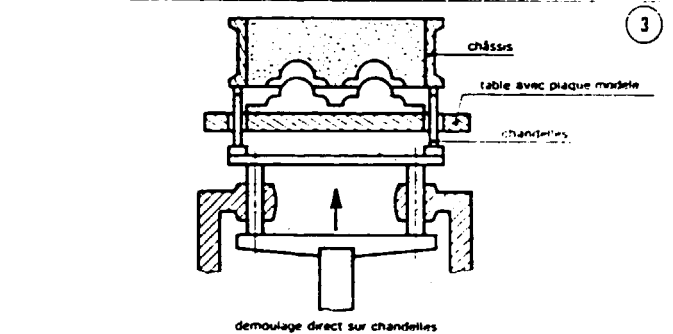
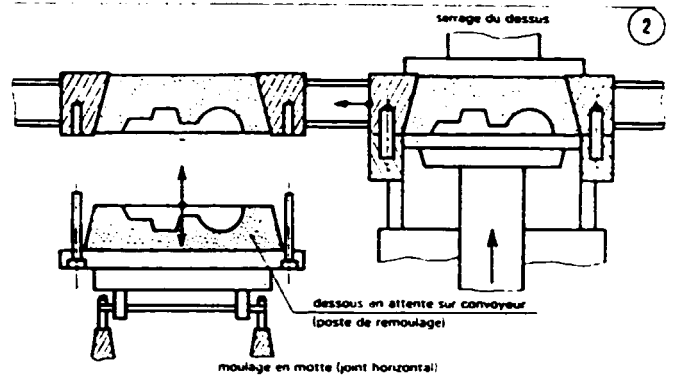
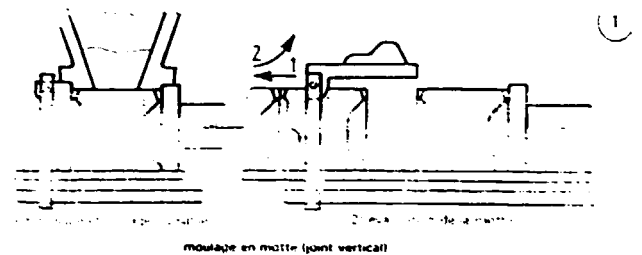
Étant donné l'importance de la durée de vie de la plaque-modèle, la cadence de production désirée, les dimensions des châssis, les frais de fonctionnement et d'entretien ; il s'agit de choisir simultanément un mode de serrage et de démoulage.

Si la pièce a un profil peu accentué et pour une cadence de 50 moules/heure en moyenne, on choisira le serrage par pression.

Dès que la pièce présente des reliefs accentués, il faut associer les secousses à la pression et les cadences peuvent être de 100 moules/heure en moyenne.

Le serrage haute pression permettra d'obtenir une plus grande précision dimensionnelle.

En ce qui concerne le démoulage, si celui-ci est fait directement, il est le plus rapide mais il demande des formes de pièces simples à dépouille accentuée. Si les reliefs sont marqués et les formes compliquées, un démoulage après retournement est recommandé.



MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (31/39)

MATÉRIELS ET MACHINES (5/6)

4. LES BOÎTES A NOYAUX

Une boîte à noyau est un modèle permettant la réalisation d'un noyau en sable. La conception de ce modèle doit être telle qu'elle permette l'introduction du sable, son serrage dans cette boîte et le déboîtage du noyau sans détérioration de celui-ci.

Suivant les matériaux de construction utilisés, on trouve trois types de ces modèles :

- les boîtes à noyau en bois,
- les boîtes à noyau métalliques,
- les boîtes à noyau en résine synthétique.

4-1. Les boîtes à noyau en bois.

Les bois utilisés sont des bois tendres, demi-durs ou durs. Les parties fragiles sont métalliques.

Les boîtes de ce type peuvent être classées suivant leur conception.

Les boîtes en forme de cadre (fig. 1). Très simple de conception, sans fond, la partie supérieure est troussée.

Les boîtes goujonnées (fig. 2). Elles sont en deux parties principales, centrées par des goujons. Des parties démontables annexes peuvent être utilisées.

Les boîtes en caisson (fig. 4). Les parties de la boîte sont démontables, centrées et maintenues dans un caisson constitué de quatre côtés assemblés sur un fond et goujonnées.

Les boîtes en auge (fig. 5). Les côtés du caisson sont obliques, ce qui permet un déboîtage rapide des parties démontables, sans être obligé de démonter la boîte.

4-2. Les boîtes à noyau métalliques.

Ces boîtes sont en fonte, en acier ou en alliage d'aluminium. Elles sont usinées dans la masse ou coulées et usinées partiellement. Ces boîtes sont utilisées sur des machines à noyautage (voir § 5) où le remplissage et le serrage du sable sont effectués par soufflage. Elles peuvent être classées suivant leur conception, comme les boîtes en bois.

Ainsi, il existe les boîtes en caisson, les boîtes goujonnées, les boîtes en auge.

La conception des boîtes pour noyau soufflé et pour noyautage en boîte chaude est particulière (fig. 3).

Ces modèles sont mécanisés et les différentes parties démontables sont repréées avec précision.

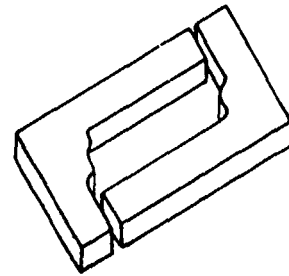
D'autre part, il faut prévoir les orifices de remplissage du sable ou cheminées de soufflage, ainsi que les filtres nécessaires à l'évacuation de l'air soufflé et de l'air contenu dans la boîte. Les boîtes chaudes, en fonte, seront d'épaisseur constante, cette épaisseur étant de 20 mm environ.

4-3. Les boîtes à noyau en résines synthétiques.

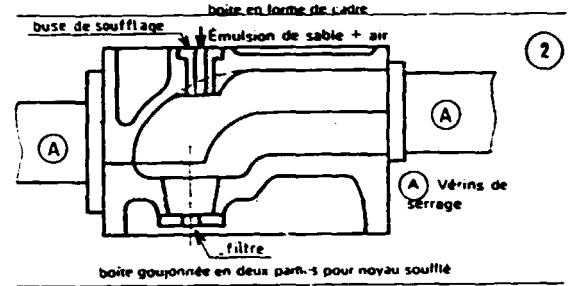
A partir d'un modèle de noyau exécuté au simple retrait, on peut reproduire en araldite un grand nombre de boîtes. Le prix de revient est moins élevé que celui des boîtes métalliques. Leur stabilité dimensionnelle est grande mais ces boîtes sont fragiles. C'est pour cela que souvent l'extérieur de la boîte est métallique : cette frette contient l'empreinte qui est en résine synthétique.

Le choix de la boîte à noyau se fera à l'aide du tableau suivant :

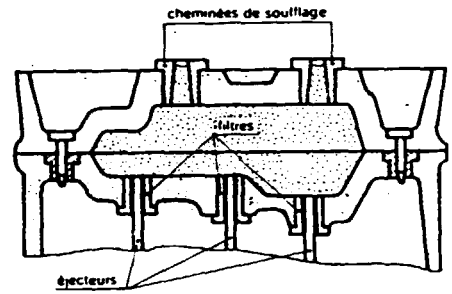
Type de boîtes	Clairance		Nombre de pièces			Noyautage	
	A	B	Unitaire	Petite à moyenne série	Grande série	Maint.	Machine
Boîtes en bois	X	X	X	X			X
Boîtes métalliques		X			X		X
Boîtes en résines synthétiques		X			X		X



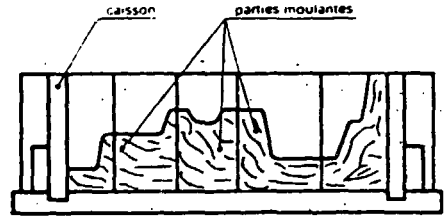
1



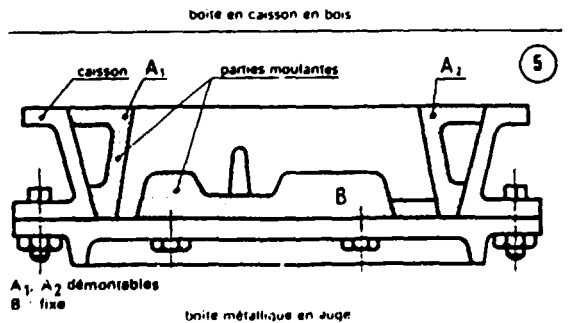
2



3



4



5

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (32/39)

MATÉRIELS ET MACHINES (6/6)

5. MACHINES DE NOYAUTAGE

La fabrication d'un noyau en sable implique une opération de remplissage de la boîte et une opération de serrage de ce sable. La technique la plus utilisée est celle qui consiste à remplir la boîte simultanément et à effectuer le soufflage de la boîte. Cette technique nécessite donc une machine robuste et une boîte à noyau robuste et précise.

Toutefois, on peut citer les machines à cartouches et à pression pour la fabrication des gros noyaux ; ces machines étant absolument identiques aux machines à mouler du même type.

5-1. Machines à souffler les noyaux (fig. 1).

La mise en œuvre de la technique de soufflage nécessite :

- la création d'une émulsion air/sable,
- l'injection de cette émulsion dans la boîte à noyaux,
- l'évacuation de l'air contenu dans la boîte et de l'air injecté.

L'opération de soufflage est effectuée lorsque la boîte à noyaux, repérée et fixée sur la table mobile de la machine a été plaquée fortement sur le plateau de soufflage qui constitue le fond du réservoir de la machine. Il existe des plaques universelles de soufflage : certains trous sont utilisés pour le soufflage et d'autres trous pour évacuer l'air ; les trous inutiles sont obturés. Les trous de soufflage sont usinés dans une douille. Les filtres sont des tamis à mailles, fentes ou trous calibrés pour ne laisser passer que l'air.

5-2. Machines à tirer les noyaux.

Avec ce type de machines, l'air n'est utilisé que pour pousser hors d'une cartouche la quantité de sable nécessaire au remplissage de la boîte. Il n'y a pas émulsion et l'air constitue un véritable piston. Il en résulte une moins grande consommation d'air, la possibilité d'utiliser un sable dont le corps à vert est plus important, et de réduire le temps de remplissage et de serrage.

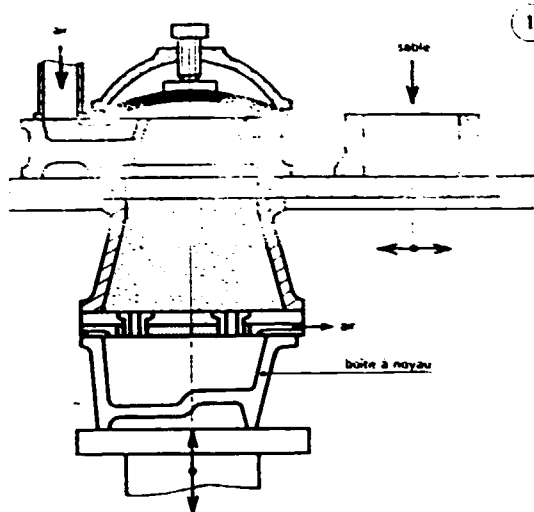
Par contre, on n'utilise ce procédé que pour des noyaux n'excédant pas 1 kg.

5-3. Machines pour noyautage en boîtes chaudes et en carapaces.

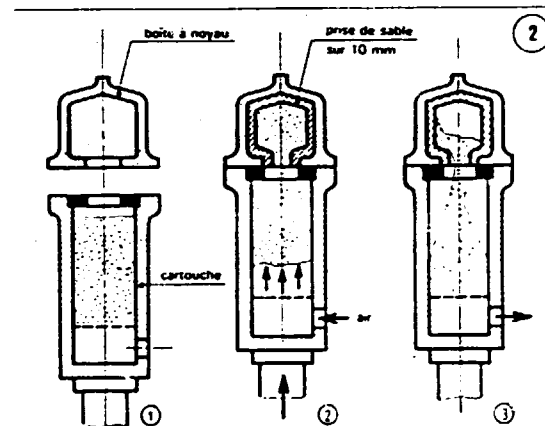
Le fait que le sable soit soufflé dans une boîte métallique portée à une température de 300 °C en moyenne impose des dispositifs de refroidissement du plateau de soufflage afin d'éviter la prise du sable dans le réservoir. Des dispositifs de chauffage de la boîte à noyau sont également nécessaires : on peut utiliser des brûleurs à gaz ou des résistances électriques incorporées.

Des machines permettent de souffler le sable de bas en haut. Lorsque le sable aggloméré est durci sur une épaisseur suffisante (environ 10 mm), on lâche la pression et le sable en excédent retombe dans le réservoir. On obtient des noyaux évidés, entraînant une économie de sable, une perméabilité accrue, un temps de prise plus court (fig. 2).

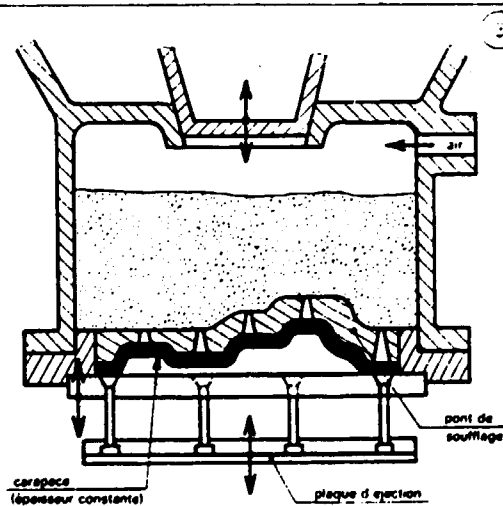
Le type de machine le plus répandu pour la confection des carapaces est celui où le sable, contenu dans un réservoir mobile, est déversé sur la plaque-modèle chaude (250 °C environ) pendant le temps nécessaire à la prise du sable sur 8 mm à 12 mm d'épaisseur. Le retournement inverse permet de récupérer le sable en excédent. Les carapaces sont collées sur des machines à touches qui maintiennent une pression le long du joint pendant l'opération d'assemblage et de collage (fig. 3)



machine à souffler (schéma de principe)



machine à tirer par le bas (schéma de principe)



machine à souffler les carapaces

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (33/39)

MATÉRIAUX DE MOULAGE (1/2)

NF X 11-500, 501, 504, 507

1. SABLES DE FONDERIE

1-1. Généralités (fig. 1).

Ils sont principalement constitués de sables siliceux ou de sables de minéraux réfractaires.

Les grains de sable enrobés de liant, après mise en œuvre par des matériels (serrage, soufflage...) constituent un édifice granulaire formant le moule.

Il ne sera pas fait de distinction entre sable de moulage pour les empreintes et sable de noyautage ; de nombreux procédés permettent avec le même sable de réaliser soit des empreintes, soit des noyaux.

Des propriétés particulières sont obtenues par adition d'ajuvants lors de la préparation du sable, ou par endusage des parties de moule en contact avec l'alliage liquide.

Recyclage : Le moule détruit après solidification de l'alliage met en œuvre, selon le type de fabrication et le procédé de moulage, une masse de sable représentant 5 à 30 fois la masse de l'alliage coulé dans le moule (fig. 1).

Une économie de matériaux est réalisée par recyclage des sables, après régénération et contrôle des caractéristiques.

1-2. Propriétés-Contrôle (fig. 2 et 3).

Les empreintes et les noyaux doivent résister aux diverses sollicitations (mécaniques, physiques, chimiques) durant le processus d'élaboration ainsi que lors de la coulée et de la solidification.

Par contre, durant le refroidissement et jusqu'au décochage, la cohésion des matériaux de moulage est recherchée afin d'éviter les contraintes internes dans la pièce moulée et faciliter son extraction.

Différents contrôles (par prélèvement ou en continu) permettent la mesure des caractéristiques des matériaux.

1-2-1. Cohésion.

La cohésion d'un sable de fonderie permet de conserver l'état de contrainte du sable après sa mise en œuvre. Elle est mesurée par des essais de compression, cisaillement, traction, flexion sur des éprouvettes normalisées.

Cohésion à vert pour un sable prêt à l'emploi.

Cohésion à sec après un cycle thermique.

1-2-2. Plasticité.

Sous l'action de pressions exercées par l'outillage sur le sable, son état de contrainte est modifié.

Le nouvel état subsiste après suppression de l'action de l'outillage (conservation de l'empreinte après démoulage).

La plasticité est caractérisée par l'*aptitude au serrage* celle-ci représentant la variation de densité apparente du sable.

1-2-3. Perméabilité.

Possibilité pour un élément de moule de se laisser traverser par un débit gazeux (indépendamment des événements et des tirages d'air pratiqués dans le moule).

Les gaz sont : l'air évacué du moule lors du remplissage de l'empreinte et les gaz produits par la réaction moule-alliage.

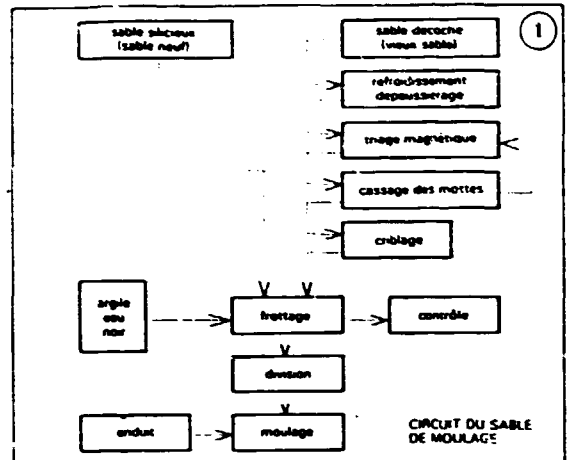
1-2-4. Granulométrie NF X 11 500, 501, 504, 507.

La forme des grains doit se rapprocher de la sphère, et au moins 50 % des grains doivent être compris dans trois tamis consécutifs.

La granulométrie est fonction de l'alliage moulé, de la perméabilité recherchée et de l'état de surface de la pièce brute (fig. 2 et 3).

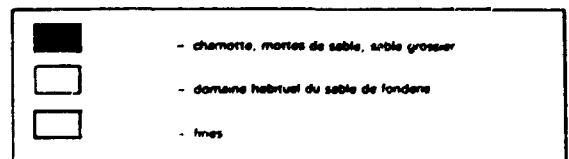
1-2-5. Autres propriétés.

- Résistance à la pénétration (dureté), résistance à la chaleur, moulabilité, aptitude à l'écoulement, comportement à la coulée et lors de la solidification.



DIMENSION NOMINALE		DIMENSION NOMINALE	
DE MAILLE		DE MAILLE	
Dimensions principales	Dimensions supplémentaires	Dimensions principales	Dimensions supplémentaires
mm		µm	
		800	900
		630	710
		500	560
		400	450
		315	355
		250	280
		200	224
		160	180
		125	140
		100	112
		80	90
		63	71
		50	56

Toutes les valeurs de ce tableau figurent dans la norme ISO 565 révisée en 1972.
 (*) Ces trois valeurs sont les valeurs arrondies des nombres normaux 25,5 - 31,5 et 32,4. Le nombre de chiffres significatifs de ces derniers ne correspondent pas à un sens physique réel.



MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (34/39)

MATÉRIAUX DE MOULAGE (2/2)

1-3 Sables silico-argileux naturels.

Principalement réservés à la réalisation des empreintes. Ils proviennent de carrières, la teneur des différents éléments peut être variable.

Leur utilisation est limitée à la réalisation de moules à vert et remplissage de moules à la résine synthétique.

1-4. Sables synthétiques.

Ils sont préparés par dosage d'éléments.

1-4-1. Sables silico-argileux synthétiques.

Le plus employé des sables de moulage, notamment en moulage mécanique à vert, basse pression et haute pression.

Du sable silicieux de granulométrie déterminée est enrobé d'argile dans un frotteur-malaxeur. L'eau est dosée et différents adjuvants peuvent être additionnés (fig. 3).

1-4-2. Sables réfractaires.

Ils remplacent la silice lorsque des propriétés spécifiques sont nécessaires (réactivité avec l'alliage, tenue thermique).

Leur coût est élevé :

- *Sable de chromite* : empreintes et noyaux sollicités thermiquement.
- *Sable de zircon* : bonne conductivité thermique, résiste aux chocs thermiques.
- *Sable d'olivine* : non-réactivité avec les aciers au manganèse.
- *Chamotte* : provient du calcinage de l'argile (40 % d'Al₂O₃), de granulométrie variable, est inerte chimiquement. Elle sert de matériau de remplissage en moule céramique.
- *Produits céramiques* : mélange de sables réfractaires, de sillimanite et d'alumine, de granulométrie très petite.

1-4-3. Liants minéraux.

- *Argile* : pouvoir agglomérant très variable selon la provenance, elle peut être calcique, sodique naturelle ou calcique activée pour être rendue sodique.

Les principales sont connues sous les noms de *bentonite*, *clarsol*, *collargine*.

Seule l'argile active agit directement sur la résistance mécanique et la plasticité.

- *Ciment* : en général ciment Portland.

Plâtre.

- *Silicate de soude* : caractérisée par son module choisi, voisin de 2,4.

- *Silicate d'éthyle* : température de fusion supérieure au silicate de soude (emploi avec produits céramiques).

- *Huiles minérales* : huiles siccatives pour le sable à l'huile et emploi pour fluidiser les sables soufflés.

1-4-4. Liants organiques.

- *Huile de lin* : emploi dans le sable à l'huile.

- *Amidon, dextrine, mélasse* : emploi pour donner du corps à vert.

- *Résines synthétiques* : urée, urée formol, résines turaniques, résines phénoliques.

Polymérisation par chaleur ou en présence d'un acide (acide phosphorique, acide sulfonique).

1-4-5. Adjuvants.

- *Non minéral* : emploi en moulage de fonte à vert. Création d'un effet endothermique avec la fonte, améliorant l'aspect superficiel de la pièce moulée, sans carburation de l'acier.

- *Oxyde de fer* : augmente la cohésion du sable silico-argileux.

En fonderie d'acier, il limite l'abreuvage et donne un meilleur état de surface aux pièces moulées.

- *Fleur de soufre et acide borique* en fonderie de magnésium.

- *Agents de débouillage* : sucre, huile, brou, farine de bois et tout corps se décomposant à la chaleur.

- *Agents de soufflage* : huiles, silicones.

2. ENDUITS (ou couche)

Limitent la réaction moule-alliage.

Enduits à base de graphite, de zircon, de farine de silice dilués dans un solvant (eau ou alcool), et appliqués à la surface des empreintes ou des noyaux (pinceau, pistolet trempé).

Ils sont ensuite séchés (à l'air, étuvage, flambage).

3. ISOLANTS

- Pulvérisation ou saupoudrage de talc, pétrole, silicone sur le modèle ou la plaque-modèle pour faciliter le démoulage.

- Saupoudrage de talc à la surface des joints en moulage à la main pour isoler des parties de moule.

Exemples de caractéristiques de sable de moulage vert en basse pression

Alliages moulés	Diamètre moyen des grains de sable μm	Tenue à l'air (%)	Teneur en eau (%)	Teneur en silice (%)	Teneur en argile (%)	Teneur en ciment (%)	Teneur en silicate de soude (%)	Teneur en silicate d'éthyle (%)	Teneur en huile (%)	Teneur en liant organique (%)	N/cm ²
Aciers	1	> 250	4 à 8	4 à 5	> 100	8					
	2	> 250	5 à 10	4 à 6	> 100	7					
	3	250 à 160	5 à 10	4 à 6	> 100	7					
Fontes	1	315 à 160	10 à 16	6 à 8	> 90	9					
	2	160 à 125	8 à 15	5 à 8	60 à 90	9					
	3	125 à 80	10 à 15	6 à 8	20 à 60	9					
Alliages cuivreux	1	80 à 63	10 à 20	4 à 6	15 à 30	8					
	2	80 à 63	10 à 20	4 à 6	15 à 30	8					
	3	80 à 63	10 à 20	4 à 6	15 à 20	8					
Alliages d'aluminium	1	125 à 80	8 à 14	5 à 8	> 30	9					
	2	80 à 63	8 à 14	5 à 8	> 30	9					
	3	80 à 63	6 à 14	5 à 8	> 30	9					

1 grosses pièces 2 pièces moyennes 3 petites pièces

MOULAGE EN MOULES NON PERMANENTS (35/39)

CONCEPTION DU MOULE (1/1)

1. CONCEPTION DU MOULE

La qualité et le prix de revient d'une pièce de fonderie pour un tracé donné, dépendent de la conception du moule.

2. RÈGLES GÉNÉRALES

2-1. Tracé de la pièce.

Les impératifs techniques et économiques : choix de l'alliage, précision dimensionnelle, état de surface, nombre de pièces, etc., qui ont conduit au choix d'une technique de fabrication imposent un tracé spécifique.

Les dépuilles seront fonction du résultat de l'étude de moulage et des conditions du cahier des charges (fig. 1 et 2) (des noyaux extérieurs permettent une dépouille nulle).

2-2. Dessin de moulage (ou étude de moulage).

Dessin de la pièce brute de fonderie comportant :

- les surépaisseurs d'usinage,
- les dépuilles résultant du choix de sens de moulage,
- les modifications de forme permettant d'améliorer l'alimentation de la pièce ou la réalisation du moule,
- les points de départ d'usinage, les plans de référence, les cotes et les tolérances.

Sur lequel sont tracés ou indiqués :

- les surfaces de joint,
- les noyaux avec les portées (fig. 3 à 6),
- le système d'alimentation de la pièce (ou des pièces),
- le système de remplissage du moule,
- les retraits,
- la technique de fabrication du moule permettant la fabrication des outillages,
- les matériaux constituant le moule,
- la masse d'alliage nécessaire à la coulée du moule.

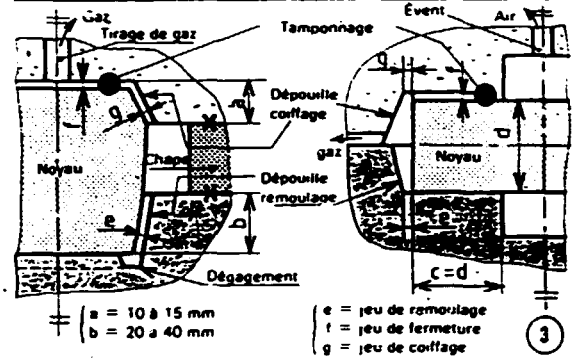
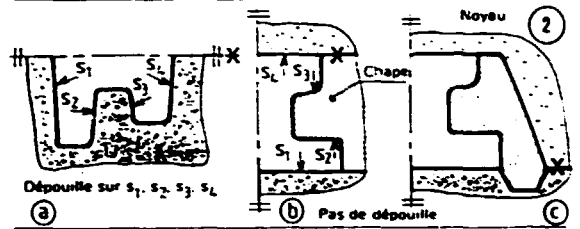
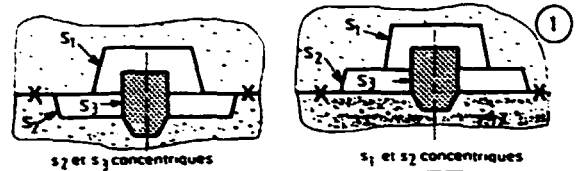
2-3. Choix d'un sens de moulage.

Il doit prendre en compte les conditions suivantes :

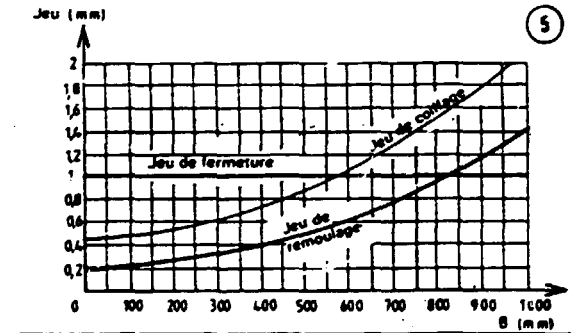
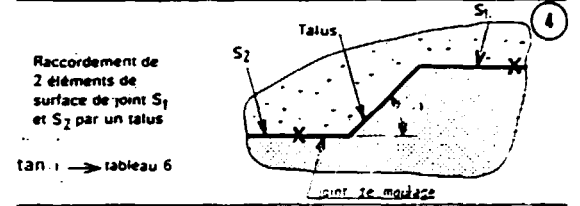
- moulage et démoulage simple,
- nombre de joints du moule minimal, de préférence plans et perpendiculaires au sens de démoulage,
- 1 seul joint en moulage mécanique (fig. 2 c),
- empreinte contenue le plus possible dans la même partie du moule (impératif pour conditions fonctionnelles : concentricité, régularité des épaisseurs...),
- surfaces requérant la qualité maximale, placées en position inférieure dans le moule,
- nombre minimal des parties de moule : chapes, noyaux,
- mise en place précise et stabilité des noyaux (remmoulés dans la partie inférieure du moule),
- remplissage et alimentation optimales : direction de la solidification de la pièce vers les systèmes d'alimentation et mise au mille minimale,
- évacuation des gaz dus à la coulée de l'alliage : air contenu dans l'empreinte et gaz de la réaction moule-métal (indépendance des circuits d'évacuation) (fig. 3),
- respect de la qualité précisée dans le cahier des charges : compacité, formes de la pièce, structures métallurgiques de l'alliage, caractéristiques mécaniques,
- recherche du parachèvement optimal : orientation des bavures vers les surfaces usinées, pouvant éventuellement être mécanisé.

3. MOULAGE MÉCANIQUE

- 1 seul joint de moulage (fig. 2 c),
- remmoulage des noyaux sur la chaîne de moulage dans le temps le plus court : emploi de noyau-berceau supportant un ensemble de noyaux,
- placer le nombre maximal de pièces dans le même moule.



Voir figures 5 et 6 pour valeurs numériques



PORTÉE DE NOYAUX	dépouille remoulage	dépouille coffrage	penté minimale	penté normale
TALUS				

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (36/39)

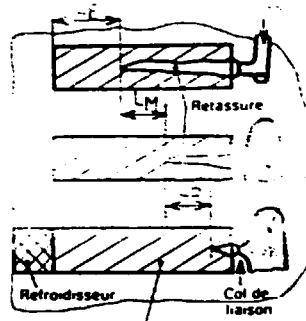
SYSTÈME D'ALIMENTATION (1/2)

1. GÉNÉRALITÉS

Le retrait de l'alliage à l'état liquide lors du refroidissement dans le moule et la contraction de solidification lors du changement d'état physique doivent être compensés par une alimentation de l'empreinte en alliage liquide.

Le système d'alimentation est défini en fig. 1.

Le système d'alimentation est composé de masses fluides et des cols de liaison, ainsi que des refroidisseurs ; leur rôle est d'éviter la formation de retassures afin d'obtenir la compacité optimale de la pièce, définie par le cahier des charges.



LE longueur de pièce compacte du à l'effet d'extrémité refroidissant

Le système d'alimentation est défini en fig. 1.

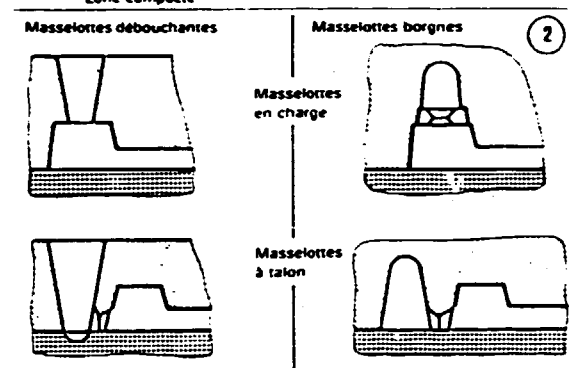
3. MASSELOTTE (fig. 2 à 4)

Cavité réalisée dans le moule et formant réservoir d'alliage liquide lors du remplissage (1) du moule. Elle restitue à l'empreinte, une partie de l'alliage liquide, afin de compenser les déficits (2) volumiques dus au refroidissement et à la solidification de l'alliage dans l'empreinte.

La liaison avec la pièce se fait par un col (3) facilitant la séparation ultérieure lors de l'ébarbage (4).

Nota :

- (1) Ne pas confondre avec l'alimentation.
- (2) Pour certains alliages des phénomènes liés à la solidification compensent tout ou partie des déficits volumiques : graphitisation des fontes à graphite lamellaire.
- (3) Cette striction peut être réalisée par un noyau en sable s'échauffant avec le passage de l'alliage lors du remplissage du moule, la masselotte est maintenue à l'état liquide et permet l'alimentation de l'empreinte.
- (4) Le masselottage augmentant la mise au môle (rapport de la masse de l'alliage coulé dans le moule avec la masse de la pièce ou des pièces après ébarbage) il faut rechercher le masselottage optimal afin de réaliser des économies de matière et d'énergie (une masselotte peut alimenter plusieurs pièces). Des produits exothermiques entourant la masselotte augmentent son rendement (fig. 4 a), de même la réalisation de points chauds maintenant l'alliage liquide et permettant l'application de la pression atmosphérique (fig. 4 b, c).



4. REFROIDISSEUR

4-1. Refroidisseur de surface (fig. 5 a).

Masse (fonte, cupro-aluminium, graphite) de dimension réduite, emballée dans le sable de moulage, dont une surface sert de surface moulante dans l'empreinte (la surface peut être plane ou complexe).

Leur rôle est de créer localement des vitesses de refroidissement supérieures à celles du sable de moulage :
 - soit pour obtenir la solidification de la pièce,
 - soit pour former une striction (point chaud) (fig. 5 b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z).

4-2. Refroidisseur interne (fig. 5 b, c).

Masse métallique disposée dans l'empreinte afin d'être noyée dans l'alliage après la coulée.

Il est employé lorsque les solutions employant des masselottes ou des refroidisseurs de surfaces ne peuvent être retenues, et sont placés de préférence dans les parties à usiner (percage, etc.).

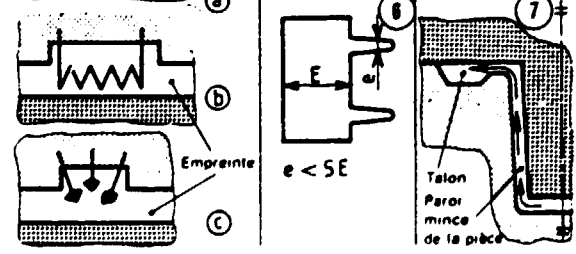
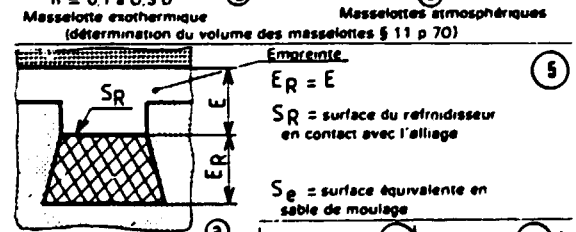
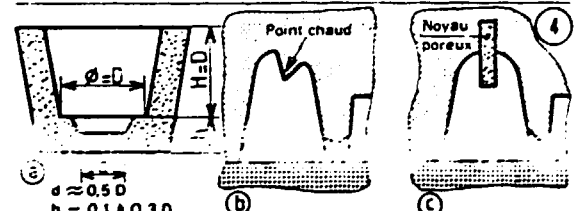
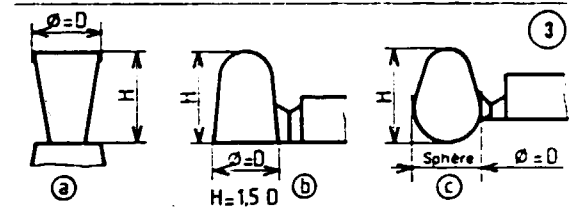
5. NERVURE DE REFROIDISSEMENT (fig. 6)

Localement la vitesse de refroidissement peut être augmentée en créant dans l'empreinte des évidements qui formeront ailettes de refroidissement après la coulée du moule.

Selon la fonction de la pièce ces nervures subsisteront ou seront enlevées par usinage.

6. TALON DE RÉCHAUFFAGE (fig. 7)

Dégorgeoir disposé à l'extrémité d'une paroi mince et recueillant l'alliage refroidi ayant initialement traversé et échauffé cette paroi. On obtient ainsi une vitesse de refroidissement homogène avec les autres parties de la pièce.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (37/39)

SYSTEME D'ALIMENTATION (2/2)

7. LONGUEUR D'ALIMENTATION

La compacité de la pièce est obtenue avec un alliage et une forme de pièces donnés (1) lorsque la disposition des masselottes donne des longueurs au plus égales à L_1 ou L_2 (fig. 8 a).

- Ces longueurs sont augmentées avec l'emploi de refroidisseurs.
 - Gain de L_1 avec un refroidisseur d'extrémité R_1 (fig 8 b).
 - Gain de $2(L_1 + L_2)$ avec un refroidisseur de paroi R_2 créant un effet d'extrémité (fig 8 b).
- D'une manière générale la compacité est augmentée en réduisant les longueurs d'alimentation :
- en rapprochant deux masselottes consécutives,
 - en rapprochant la masselotte de l'extrémité de la pièce
 - ou en employant des refroidisseurs externes ou internes ou en combinant masselottes et refroidisseurs.

8. MOULE DE REFROIDISSEMENT : MR.

$MR = a MG$ a : coefficient dépendant de l'alliage et des formes de la pièce (sert à déterminer les coefficients d'équivalences K tab 12)
 MG : module géométrique

$$MG = \frac{\text{volume d'une partie de la pièce}}{\text{surface de refroidissement de cette partie}} \quad (MG = \frac{V}{S})$$

- pour des sections constantes : $MG = \frac{\text{aire de la section}}{\text{périmètre}}$
- la fig. 9 donne les modules géométriques des volumes élémentaires permettant d'obtenir par interpolation ceux de volumes complexes
- en première approximation $a = 1$

9. TEMPS DE SOLIDIFICATION

$T = b MR^2$ b : coefficient dépendant des propriétés thermiques du moule et de l'alliage

(ce coefficient est rarement déterminé car c'est le rapport des temps de solidification qui est utilisé).

10. SOLIDIFICATION ORIENTÉE

La progression de la solidification doit s'effectuer à partir des régions à gradient thermique élevé vers les masselottes.

Les masselottes se solidifient en dernier afin de mettre en communication permanente la zone en cours de solidification avec l'alliage liquide de la masselotte (les temps de solidification et les modules de refroidissement doivent croître vers la masselotte).

11. DETERMINATION DU MASSELOTTAGE

- Analyser les formes de la pièce.
- Diviser en volumes simples (fig. 9 e) et substituer aux formes complexes des épaisseurs équivalentes ayant même temps de solidification (tableaux 10-11).
- La comparaison des modules de refroidissement des formes élémentaires ayant même module géométrique (tableau 12) permet de transformer les différentes parties de la pièce en volume équivalent ayant même temps de solidification (conversions réciproques entre barre, cylindre, plaque, sphère).
- Comparer les modules de refroidissement pour obtenir l'ordre de solidification des différentes parties.
- Disposer les masselottes dans les zones solidifiées en dernier.

Vérifier les longueurs d'alimentation (1).

Emploi de refroidisseurs pour augmenter ces longueurs ou modifier le module de refroidissement (fig. 5 et 8 b);

- Déterminer le module (M_m) de la masselotte, celle-ci devant se solidifier après la dernière partie de pièce alimentée $M_m \geq 1,2 M_p$

De : coefficient dépendant de l'alliage (1) et du type de masselotte
 Mp : module de la dernière partie de pièce solidifiée

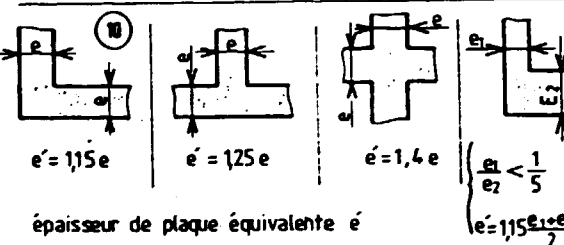
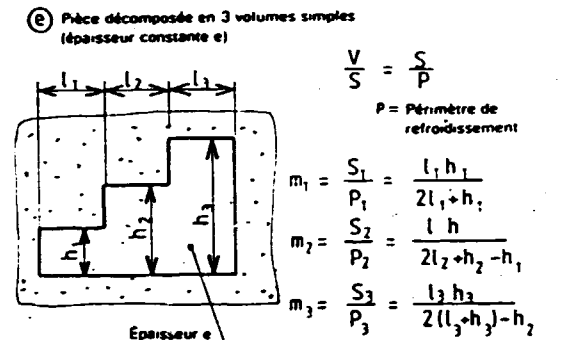
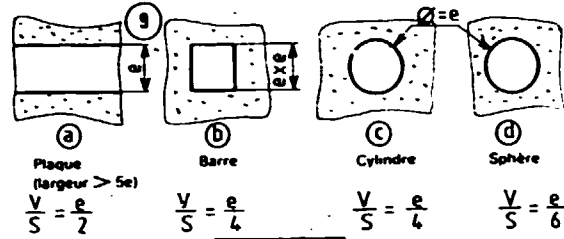
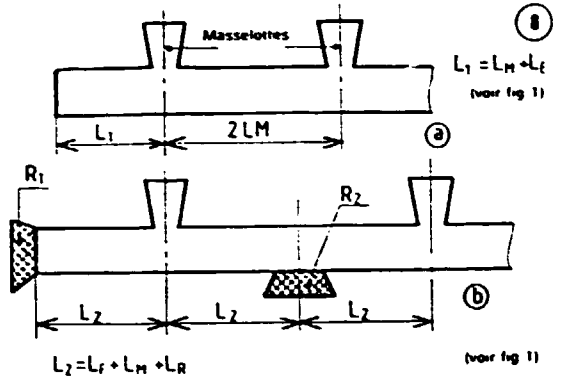
- Déterminer le volume de la masselotte V_m , afin de combler le déficit volumique de l'empreinte (de volume V_p)

$$\eta VM = rVp$$

η : rendement de la masselotte
 $\eta = 1/6$ masselotte non exothermique
 $\eta = 1/2$ masselotte exothermique
 r : retrait à l'état liquide + contraction de solidification (2)

- (1) Ces valeurs sont données pour chaque famille d'alliage.
 (2) Ne pas confondre avec le retrait à l'état solide de la pièce, dont il a été tenu compte pour réaliser les dimensions de l'empreinte.

Coefficient d'équivalence	⑫		
	$\frac{MR_p}{MR_s} = \frac{a_p}{a_s} = K_{ps}$	$\frac{MR_p}{MR_c} = \frac{a_p}{a_c} = K_{pc}$	$\frac{MR_s}{MR_c} = \frac{a_s}{a_c} = K_{cs}$
All. alu	1,25	1,2	1,1
All. cuivreux	1,5	1,25	1,15
All. ferreux	1,3	1,2	1,1



Épaisseur de pièce équivalente e		Conversion la forme du moule en sable		K	Surchauffe
Noyau plat	Cylindre	Sphère $\phi = d$	Noyau		
$e < d$	$e < 0,3d$	$e < 0,2d$		1	1
$d < e < 1,6d$	$0,3d < e < 0,5d$	$0,2d < e < 0,3d$		1,05	1,1
$1,6d < e < 1,9d$	$0,5d < e < 0,7d$	$0,3d < e < 0,4d$		1,1	1,2
$1,9d < e < 2,1d$	$0,7d < e < 0,9d$	$0,4d < e < 0,5d$		1,15	1,3
$2,1d < e < 2,3d$	$0,9d < e < d$	$0,5d < e < 0,6d$		1,2	1,4
$2,3d < e < 2,5d$	$d < e < 1,2d$	$0,6d < e < 0,7d$		1,3	1,6
$e > 2,5d$	$e > 1,2d$	$e > 0,7d$		1,4	2

MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (28/39)

SYSTEME D'ATTAQUE (1/2)

1. SYSTEME D'ATTAQUE (fig. 1 en 1/2)

Ensemble de conduits et d'évidements réalisés dans le moule afin d'assurer le remplissage (1) de l'empreinte (2) sans turbulence, sans entraînement d'impuretés, selon un temps de remplissage et un débit déterminés.

Il se compose généralement de :

- 1. une descente de coulée;
- 2. un ou deux niveaux (primaire, secondaire) ;
- 3. des abaques de coulée destinés à remplir dans l'empreinte de la pièce.

Il peut comprendre en outre des dispositifs particuliers :

- Un filtre pour engorger (3), la descente de coulée.
- Un dispositif de rétention de crasses.
- Un dispositif modifiant la dynamique de l'écoulement de l'alliage (élimination des surpressions transitoires et des variations de débit).

- (1) Ne pas confondre avec l'alimentation de l'empreinte.
- (2) Comprend à la fois la pièce et les masselottes (fig. 1 en gris).
- (3) Il faut que le niveau de l'alliage dans l'entonnoir s'établisse rapidement à un niveau stationnaire pendant la coulée : élimination des entraînements d'air et decantation des scories.

2. CONCEPTION DU SYSTEME D'ATTAQUE (fig. 2 à 5)

2-1. Orientation de l'empreinte dans le moule : l'empreinte de la pièce a été préalablement orientée dans le moule selon des critères de moulage et d'alimentation (économie et qualité du produit).

2-2. Conception du système d'attaque prenant en compte :

- Economie de matière : mise au mille minimale.
- Parachèvement : facilité d'ébarbage. Intervenir de préférence sur les surfaces devant être usinées.
- Forme de la pièce : considération de volume, de dimensions horizontales et verticales, situation des parties minces et des parties massives, sinuosités du parcours de l'alliage.
- Nature de l'alliage et conditions spécifiques de mise en œuvre.

- Alliages oxydables après fusion (principalement alliage d'aluminium de magnésium, de zinc) : coulée en source à vitesse réduite : $V < 1 \text{ m/s}$.

- Alliages à large front de solidification (alliages d'aluminium sauf AS13, bronze fonte à graphite lamellaire, attaque par les parties minces, trajet de l'alliage le plus réduit, temps de remplissage court, afin de ne pas échauffer les zones minces des attaques (sinon points chauds et défaut).

- Alliages à front de solidification étroit, ou se comportant comme tels (aciers, AS13, cupro-alu, cupro-nickels, fonte blanche, fonte à graphite sphéroïdal) : attaque par les masselottes et remplissage moins rapide afin d'obtenir une pièce grise.

• Caractéristiques des matériaux du moule : résistance aux chocs thermiques, à l'érosion, au rayonnement thermique ; dégradation des liants, déshydratation, dilatation (éviter les niveaux stationnaires de l'alliage).

3. TEMPÉRATURE DE COULÉE

Elle est obtenue en ajoutant à la température d'entrée de l'alliage dans l'empreinte de la pièce (1), la chute de température le long du système d'attaque.

(1) Elle est fixée par la nature de l'alliage et la massivité de la pièce.

4. TEMPS DE REMPLISSAGE

Il doit être le plus court sans créer de turbulence, expérimentalement :

$$1,4 \sqrt{M} < t < 1,8 \sqrt{M}$$

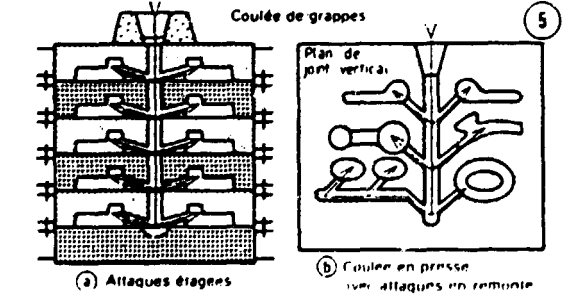
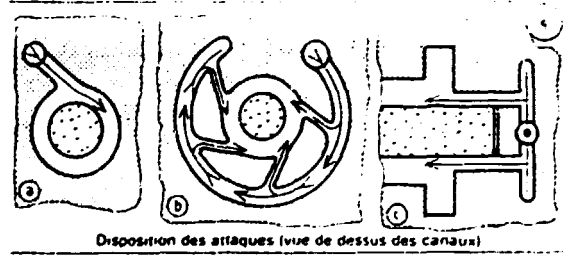
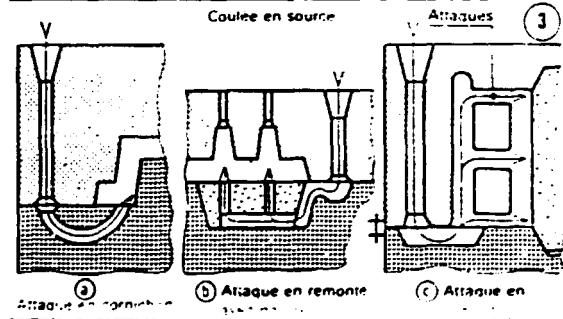
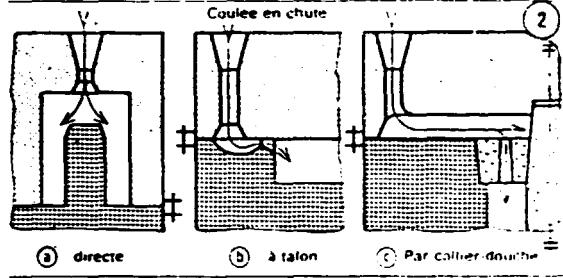
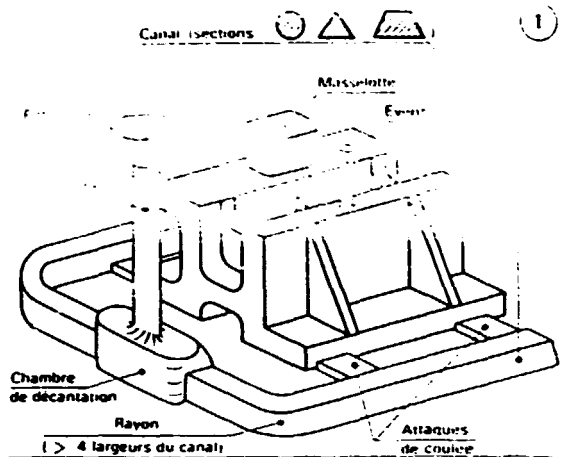
t : temps de remplissage (s)

M : masse de l'alliage coulé (kg)

Selon la nature et la masse de l'alliage, des abaques de coulée permettent la détermination de ce temps et des dimensions de la descente, des canaux et des attaques.

Généralement :

- Pièces complexes et d'épaisseur inégale : temps de remplissage très court (isothermie de l'alliage liquide dans le moule)
- Pièces simples ou d'épaisseur égale : temps de remplissage plus long : anisothermie pour orienter la solidification vers les parties où la pièce est attaquée.



MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT (39/39)

SYSTEME D'ATTAQUE (2/2)

5. DISPOSITION DES ÉLÉMENTS

5-1. Entonnoir de coulée, bassin de coulée (fig. 6).

Evasement de l'origine de la descente de coulée guidant l'alliage liquide dans la descente. Sa forme (polygonale, dissymétrique, parallélépipédique) ne doit pas créer de vortex ou de turbulence, le laitier ou les crasses surageant à la surface libre de l'alliage pendant le remplissage.

Un godet de coulée réalisé séparément du moule et disposé à la partie supérieure de la descente augmente la hauteur métallostatique.

5-2. Descente (fig. 1 et 7) : Conduit vertical dirigeant l'alliage vers les canaux, simple ou multiple, en général de section circulaire, sa forme doit éviter les décollements de la veine liquide (conicité, rayon de raccordements).

5-3. Filtres (fig. 8) : Noyau perforé disposé à la base de la descente ou à proximité afin de créer des pertes de charge dans l'écoulement de l'alliage et favoriser l'engorgement de la descente.

5-4. Canaux (fig. 9) : Conduits horizontaux (ou peu inclinés) dirigeant l'alliage vers les attaques.

« canal uniforme » : canal de section constante.

« canal dégressif » : canal de section décroissante après chaque attaque rencontrée dans le trajet de l'alliage. L'échelonnement des sections se fait par rapport à la section de descente.

5-5. Rétention des crasses (fig. 10).

- Par les canaux lorsque le moule est de faible hauteur.
- Par un bassin avec obturation temporaire jusqu'à l'établissement d'un niveau d'alliage permettant la décantation (fig. 6 a).
- Par des dispositions particulières d'évasements ou de conduits (fig. 10 b, d, e, 12 a).

5-6. Attaques (fig. 11) : Conduits courts, en général de section réduite et de forme plate reliant les canaux à l'empreinte de la pièce. Leurs dispositions dépendent de la forme de la pièce, de l'emplacement des masselottes, de la nature de l'alliage.

5-7. Events (fig. 1 et 12 b) : Conduits de faibles sections évacuant l'air de l'empreinte vers la partie supérieure du moule lors du remplissage.

Nota : En principe ces conduits ne servent pas à évacuer les gaz provenant de la réaction de l'alliage et des noyaux et doivent être indépendants (tamponnage des portées de noyaux).

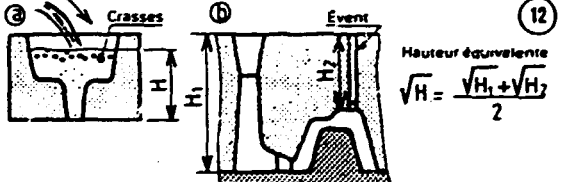
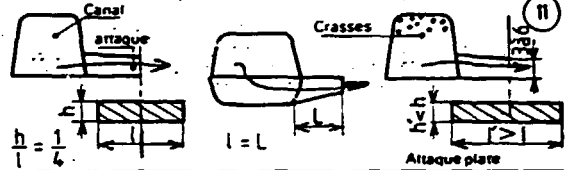
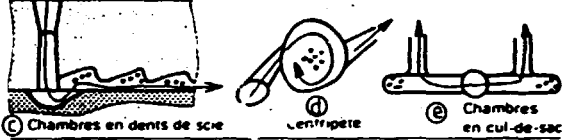
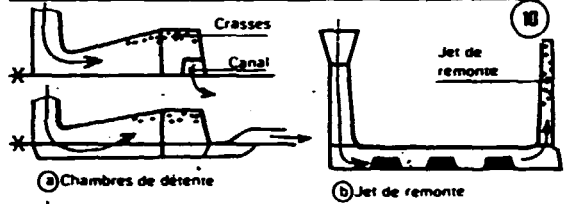
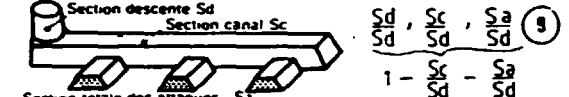
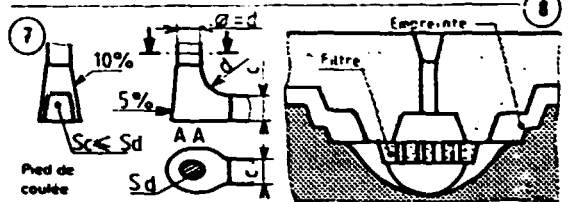
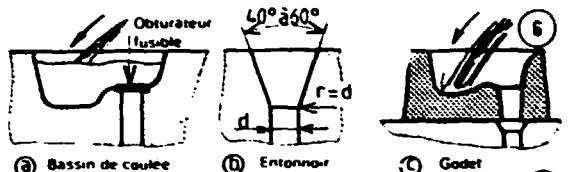
6. CALCUL DU SYSTEME D'ATTAQUE (fig. 12 et 13)

C'est le calcul initial de la section de descente S_d qui conduit à la détermination des autres éléments selon le type d'échelonnement choisi.

$$S_d = 7,1 K \frac{V}{t\sqrt{H}}$$

S_d (cm²) ; V : volume de l'empreinte (dm³) ; t : temps de remplissage (s) ; H (dm) (fig. 12) ; K : voir tableau 13.

- Emploi de lettre : $K' = 1,35 K$
- Attaques en face de paroi ou de noyau : $K' = 1,15 K$



<p>Coulée en presse n attaques</p> <p>$S_n = S \sqrt{\frac{H_1}{H_n}}$</p>	<p>(b) $R = \frac{d}{2}$</p> <p>$h_1 > 3d$</p> <p>$h_2 < 0,15m$</p> <p>$K = 1,1$</p>	<p>Canal section uniforme 1.2.1</p> <p>$K = 0,22 L + 1,8$</p> <p>$L = L_1 + L_2$</p> <p>Attaques</p>	<p>(e) Canal dégressif 1.1.1</p> <p>$L = L_1 + L_2$</p> <p>$K = 0,3L + 1,9$</p>
<p>(c) $S_3 = S \sqrt{\frac{H_1}{H_3}}$</p> <p>$S_2 = S \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}$</p> <p>$S_1 = \frac{S_d}{n}$</p> <p>$K = 2$</p>	<p>(c) $h > 0,15m$</p> <p>$K_1 = K = 2,3 + 0,3(n-2)$</p> <p>$h < 0,15m$</p> <p>$K = K_1 - 0,6$</p> <p>$S_a = 0,8 S_d$</p> <p>n attaques</p>	<p>Canal dégressif 1. √H · √H (pour alliages liquides oxydables)</p> <p>$L = L_1 + L_2$</p>	<p>(f)</p> <p>$H = 1dm (1.1.1) \quad K = 0,3L + 1,9$</p> <p>$H = 2dm (1.1.1.4) \quad K = 0,3L + 1,6$</p> <p>$H = 4dm (1.2.2) \quad K = 0,3L + 1,5$</p> <p>$H = 16dm (1.6.6) \quad K = 0,3L + 1,4$</p> <p style="text-align: center;">36</p>

- Emploi de filtre $K = 1,35 K$
- Attaques en face de paroi ou de noyau $K' = 1,15 K$

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (1/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

1. PRINCIPE

On réalise dans un creux, une forme d'alliage métallique liquide, qui donnera après solidification, une forme conjuguée de ce creux.

On réalise dans un creux, une forme d'alliage métallique liquide, qui donnera après solidification, une forme conjuguée de ce creux.

Pour vérifier ce principe, les opérations fondamentales sont :

- L'obtention de la forme dans ses dimensions sera l'opération de moulage. Le creux cherché peut être composé par un nombre illimité d'éléments tels que A B (forme F) ou A, B, C (forme F1) (v. fig. 1).

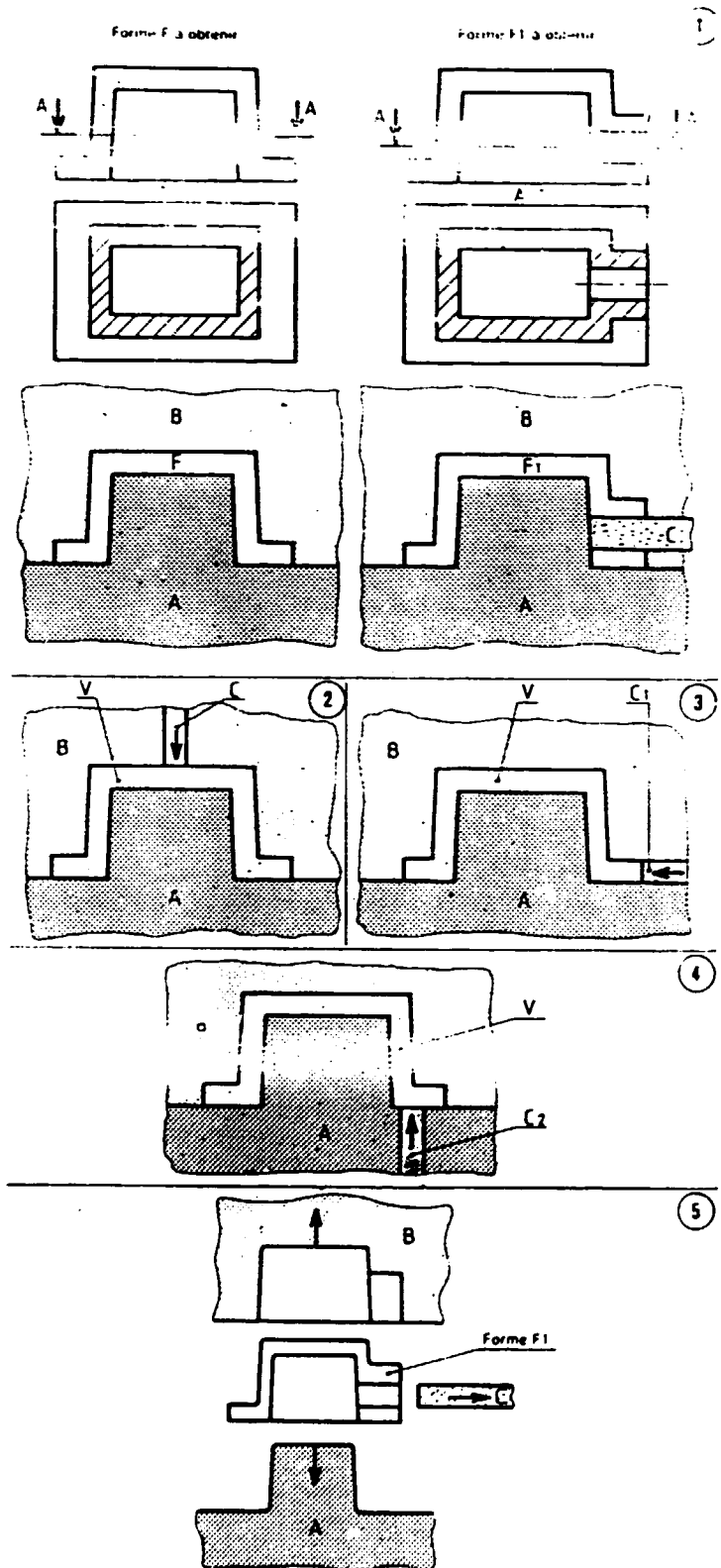
- La forme sera matérialisée par l'opération de remplissage du creux V : on peut remplir ce creux V suivant la direction verticale, de haut en bas, par un conduit tel que C (v. fig. 2) ou de bas en haut, par un conduit tel que C2 (v. fig. 4). On peut aussi remplir V par un conduit tel que C1, suivant la direction horizontale (v. fig. 3).

- La rigidité de la forme F ou F1 sera le résultat de la solidification de l'alliage métallique. Ce changement d'état implique une alimentation, en alliage liquide, du creux V, pour obtenir la compacité maximum de la forme. L'alimentation peut être assurée, le plus avantageusement, par les mêmes conduits C, C1, C2...

- La séparation de la forme F1 par rapport à A, B, C... est assurée par des mouvements relatifs de ces éléments. Cette opération sera appelée éjection (v. fig. 5).

Enfin, la permanence du moule sera réalisée si les éléments technologiques tels que A, B, C... sont réutilisables après obtention d'une forme F ou F1.

D'autre part, ils doivent retrouver, après l'opération d'éjection, leur position relative, tout en assurant la rigidité de l'ensemble technologique ABC.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (2/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

Ainsi, à partir du moment où la pièce, moulée et solidifiée, est dégagée de son empreinte sans destruction de celle-ci, on peut parler de moulage en moule permanent.

Le nombre de réutilisations possibles de ce même moule, donnant des pièces identiques dans l'intervalle de tolérance imposé déterminera le seul de rentabilité de cette technique :

Il existe un nombre minimum de réutilisations, variable suivant les procédés et en deça duquel les avantages apportés ne compensent pas le coût de fabrication et d'entretien du moule

D'autre part, la répétitivité des opérations fondamentales que sont le moulage, le remplissage, l'alimentation et l'éjection impose des contraintes techniques particulières pour la conception et la mise en œuvre des moules.

Le moulage : La permanence des formes et des dimensions de l'empreinte requiert une rigidité et une précision d'exécution telles que le choix des matériaux constitutifs s'en trouvera réduit aux matériaux rigides et réfractaires, et que les règles de conception seront celles appliquées en construction mécanique.

Le remplissage : Les échanges thermiques rapides, du fait du moule métallique, et les conditions d'écoulement qu'impose l'alliage, demandent de prendre en compte certaines règles de mécanique des fluides, tout en exploitant les résultats de l'expérience.

L'alimentation : Cette phase, essentielle pour la santé de la pièce moulée, est difficilement résolue théoriquement. Une approche expérimentale, basée sur des grandeurs physiques fondamentales, semble être la meilleure méthode pour définir le système d'alimentation.

L'éjection : La nécessité de ne pas détériorer le moule et la pièce, la répétitivité de cette phase et les efforts qu'elle peut nécessiter, imposent la mécanisation de l'opération d'éjection.

La technique de moulage en moules permanents regroupe plusieurs procédés :

- La coulée en coquille,
- La coulée sous pression,
- La coulée sous basse pression,
- La centrifugation,
- La coulée continue.

Les trois premiers procédés présentent des points communs quant à la conception générale des moules, à l'existence d'un cycle de moulage et à la notion de cadence de production.

Les deux autres procédés sont très spécifiques et leur étude détaillée montrera que le point commun avec les trois autres procédés est dans le fait que le moule est permanent.

Dans le tableau ci-dessous sont consignés les facteurs qui caractérisent les procédés et permettent, dans un premier temps, de les différencier rapidement.

Les chiffres indiqués dans les colonnes 4, 5 et 6 ont surtout une valeur relative et ne sont donnés que pour mieux différencier les procédés.

PROCÉDÉ	AGENT DE REMPLISSAGE ET D'ALIMENTATION	TYPE DE MOULE	PIÈCE MINIMUM	CADENCE DE PRODUCTION MOYENNE	DURÉE DE VIE MOYENNE DU MOULE	Poids possible maximum d'une pièce coulée
COULÉE EN COQUILLE	Action de la pesanteur (coulée par gravité)	Métallique. Noyaux en sable aggloméré possibles	2.000 pièces	15 pièces/heure	40.000 pièces	Possibilité technique en évolution continue. Voir étude détaillée de chaque procédé.
COULÉE SOUS PRESSION	Mise en pression du métal par piston	Entièrement métallique	20.000 pièces	(1) 50 injections à l'heure	70.000 injections (alliage d'alu)	
COULÉE BASSE PRESSION	Mise en pression du métal par air comprimé	Métallique Noyaux en sable aggloméré possibles	5.000 pièces	(1) 20 injections à l'heure	40.000 injections	
CENTRIFUGATION	Action de la force centrifuge	Métallique ou en graphite	Pièce unitaire possible	5 à 10 pièces à l'heure	Voir étude détaillée page 115	
COULÉE CONTINUE	Action de la pesanteur (coulée par gravité)	Fière métallique ou en graphite	Grande série nécessaire	350 mm de produit à la minute	Voir étude détaillée page 116	

(1) Une injection de métal peut donner plusieurs pièces, si le moule est à plusieurs empreintes

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (3/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

1. DÉFINITION

Le souci pour le fondeur, de pouvoir réutiliser plusieurs fois un même moule a fait rechercher la permanence de l'empreinte moulante. Les conditions thermiques très contraignantes imposées par le fait que l'alliage se trouve à l'état liquide, ont conduit à l'élaboration de moules permanents en terre cuite, en terre réfractaire, en terre réfractaire et en terre réfractaire.

On a donc connu des moules en pierre, matériaux rétractaire et rigide, des moules en terre cuite et progressivement les métaux sont devenus les principaux matériaux de constitution des coquilles.

L'introduction de l'alliage dans la coquille est déterminée par l'action de la pesanteur, ce qui a fait donner aussi le nom de coulée en coquille par gravité à ce procédé.

Les éléments qui constituent la coquille doivent permettre la réalisation des opérations de moulage, remplissage, alimentation et éjection. En fait, les coquilles conçues aujourd'hui sont de véritables machines où mécanisation et automatisation sont très poussées.

Pour mieux définir ce procédé, on peut donner les avantages techniques qu'il apporte par rapport au moulage en moules non permanents. Pour cela, il faut considérer que la permanence du moule, imposant les métaux comme matériaux constitutifs, entraîne les caractéristiques suivantes d'une coquille :

- Rigidité de l'empreinte,
- Grande précision dimensionnelle et d'état de surface des éléments moulants,
- Conductibilité thermique élevée des mêmes éléments (l'utilisation de noyaux en sable aggloméré est possible puisque la charge métallo-statique est la même qu'en moules non permanents, par contre ces noyaux ont une conductibilité thermique différente que le reste du moule).

Il en découle donc pour les pièces moulées :

- Un meilleur état de surface.

Il faut noter cependant que celui-ci n'est pas la réplique exacte de l'empreinte métallique puisque cette empreinte est recouverte d'un enduit protecteur (le botevade) qui affecte l'état de surface de la pièce.

- Des caractéristiques mécaniques de l'alliage plus élevées.

Ceci est la conséquence de la vitesse de refroidissement et de solidification plus élevée de l'alliage : le grain est plus petit et l'édifice cristallin s'en trouve consolidé. Par contre, des contraintes résiduelles à l'état brut de coulée demandent un traitement thermique de stabilisation de la pièce.

- Une plus grande précision des dimensions.

La rigidité de la coquille et les moyens d'usinage utilisés pour la fabrication de celle-ci expliquent cette caractéristique. D'autre part, certaines formes habituellement usinées sont obtenues brutes de moulage : trous de fixation et surfaces d'appui des têtes de vis en particulier. On peut noter aussi une réduction générale des surépaisseurs d'usinage.

Un avantage de ce procédé apparaît aussi au niveau de la mise en œuvre :

Le chantier de moulage en coquille est moins encombrant que le chantier de moulage en sable, pour une même fabrica-

tion. On peut même citer une seule usine qui utilise plusieurs tonnes de sable par heure, une manutention importante des châssis et des poids de charge. La dépense d'énergie est considérable. Nous verrons qu'un chantier de moulage en coquille est affranchi de ces contraintes.

La fabrication d'une pièce en coquille est soumise à de nombreux facteurs qui constituent une partie du cahier des charges de cette pièce.

La fabrication d'une pièce en coquille est soumise à de nombreux facteurs qui constituent une partie du cahier des charges de cette pièce.

- Caractéristiques mécaniques minimales.
- Alliage métallique composant la pièce.
- Précision dimensionnelle générale et particulière.
- Etat de surface.
- Importance de la série à fabriquer.

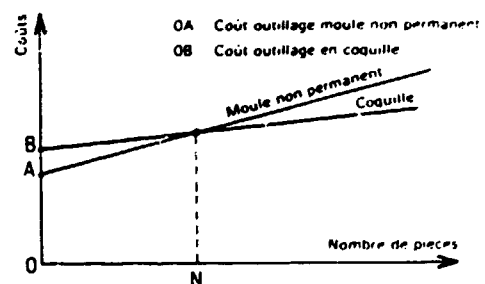
Ces facteurs sont à prendre en compte dès la conception de la pièce. Ils sont évalués conjointement par le bureau d'études et le bureau méthodes fonderie.

Parallèlement, il faut aussi évaluer les facteurs spécifiques à la fabrication d'une pièce moulée :

- Moyens de production de la fonderie et possibilités d'adaptation à la fabrication demandée.
- Dimensions de la pièce et complexité des formes.
- Coût de l'outillage.
- Coût d'entretien de l'outillage.
- Dépenses d'énergie.
- Importance relative de l'ébarbage.
- Importance relative de la main-d'œuvre à utiliser.

Ainsi, il s'agit d'optimiser tous ces éléments pour une pièce dont on connaît exactement la qualité demandée.

Si l'on représente l'évolution des coûts de fabrication, en fonction des séries de pièces fabriquées en moules non permanents et en coquille,



il apparaît un nombre N qui représente théoriquement la série minimum à partir de laquelle on peut envisager le moulage en coquille.

D'autre part, les coûts d'usinage sont plus faibles sur une pièce coulée en coquille.

Comme il a été écrit, ce nombre N est de l'ordre de 2.000 pièces en alliage d'aluminium.

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (4/26) (COULÉE EN COUILLE)

3. CONCEPTION D'UNE COUILLE

La conception d'une coquille doit être guidée par plusieurs impératifs qui découlent du principe même de la fonderie et du moulage en moule permanent :

- Créer des formes convexes et concaves ou, autrement dit extérieures et intérieures.
- Préserver l'intégralité des formes du moule et de la pièce lors de l'éjection de celle-ci.
- Remplir totalement d'alliage liquide la cavité moulante.
- Assurer la compacité optimum de la pièce lors du changement d'état liquide-solide de l'alliage.
- Permettre la fabrication du moule par moulage, déformation plastique et usinage dans des matériaux tels que la fonte et l'acier.
- Assurer des fonctions mécaniques (rotation et translation, centrage, lubrification et étanchéité) à des températures comprises entre 250 °C et 350 °C.

Ainsi, la coquille dans son ensemble doit assurer les fonctions essentielles que sont :

- le moulage,
- le remplissage,
- l'alimentation,
- l'éjection.

Avant d'étudier la conception de la coquille, plusieurs choix fondamentaux sont à faire :

a - Position de la pièce par rapport à la direction verticale.

Pour un tracé donné de pièce, ce choix va conditionner toute la conception de la coquille et optimiser plus ou moins les fonctions essentielles citées.

Examinons la figure 1 :

Pour cette pièce de révolution trois positions sont possibles :

Position 1 : Moulage, remplissage et éjection sont assurés convenablement mais l'alimentation risque de ne pas être efficace. Ebarbage aisé.

Position 2 : Moulage et éjection aisés, remplissage plus délicat, alimentation difficile. Ebarbage difficile.

Position 3 : Certainement la meilleure position. Le remplissage est très direct et l'alimentation parfaite. Ebarbage aisé.

b - Détermination et configuration des différents joints des parties mobiles.

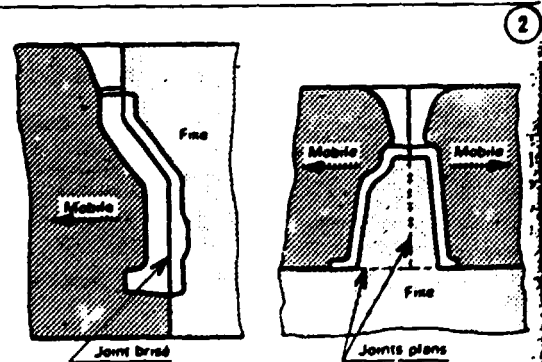
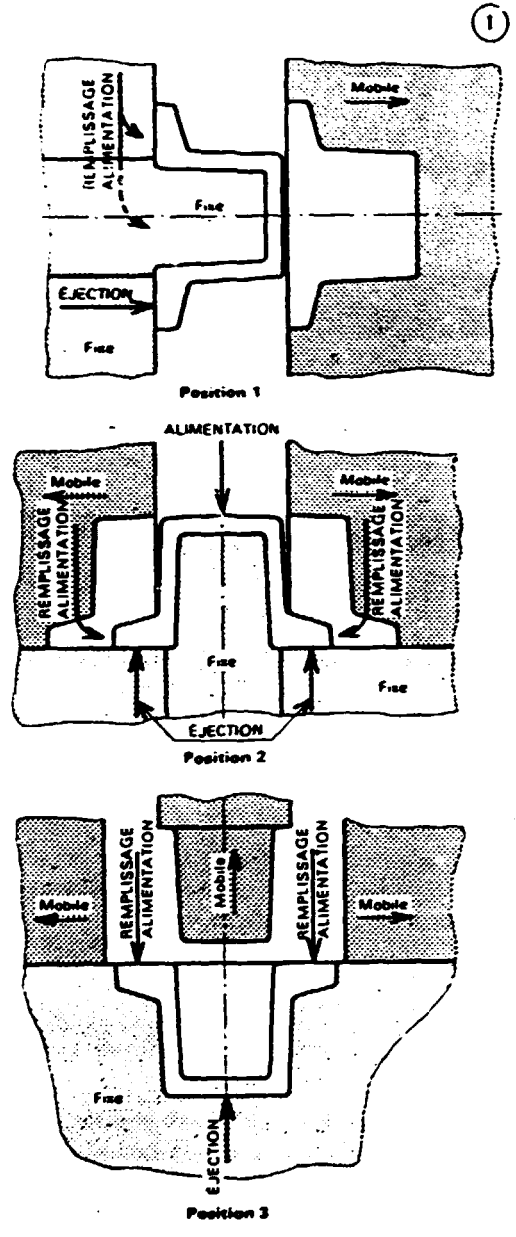
Les surfaces planes réalisent au mieux l'étanchéité de l'empreinte et sont obtenues économiquement (v. fig. 2).

Une surface dite brisée nécessite des ajustements successifs lors de la fabrication, pour une étanchéité pas toujours parfaite et un prix de revient plus élevé (v. fig. 2).

c - Détermination de la direction d'éjection de la pièce. Cette direction est perpendiculaire au joint sur lequel la pièce reste prisonnière à l'ouverture de la coquille. L'effort global d'éjection (jusqu'à 20kN pour des pièces complexes) doit être régulièrement réparti sur la pièce pour que celle-ci ait une translation parallèle à l'axe d'éjection.

d - Réduction de l'ébarbage de la pièce.

Un nombre minimum de joints diminue le nombre de bavures et le prix de revient de l'opération. D'autre part, le système de remplissage et d'alimentation étant placé sur des faces planes ne nécessitera pas un détourage pour son élimination. Un simple sciage conviendra.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (5/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

3-1. Eléments constitutifs d'une coquille.

Chaque élément doit permettre l'enchaînement logique des opérations qui constituent un cycle de fabrication :

– Mise en place des noyaux destructibles.

– Remplissage du moule.

– Remplissage.

– Solidification.

– Ouverture du moule.

– Éjection de la pièce.

(Ce cycle sera repris en détail dans le § 5-1).

D'autre part, les éléments constitutifs doivent permettre la réalisation des quatre opérations fondamentales déjà citées, à savoir : *Moulage – Remplissage – Alimentation – Éjection*.

3-1-1. La fonction moulage sera assurée par :

La semelle ; les chapes, les noyaux, les broches.

LA SEMELLE est le support des chapes et a plusieurs fonctions.

a – Elle peut uniquement supporter et guider les chapes si celles-ci comportent toute l'empreinte.

b – Elle peut en plus supporter et guider les chapes comporter une partie de l'empreinte. Cette partie, est rapportée pour faciliter son remplacement (ou sa réparation) car elle est plus sollicitée thermiquement que le reste de la semelle. Cette partie moulante rapportée est cylindrique ou prismatique. Elle est en relief (on l'appelle talus) et elle assure le centrage des chapes, c'est-à-dire le repérage du reste de l'empreinte (v. fig. 1).

c – Elle peut comporter toute l'empreinte, les chapes ayant une autre fonction que nous décrirons plus loin (v. fig. 2).

La semelle proprement dit est moulée en fonte grise lamellaire perlitique. La partie moulante peut être de même matériau ou en acier non allié tel que le X C 25 (1).

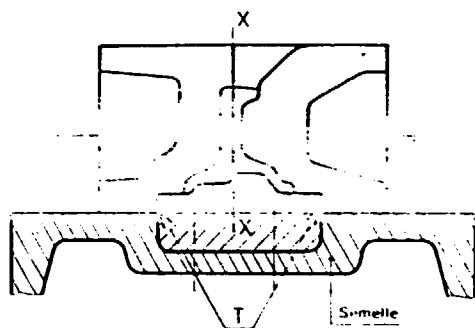
Elle est centrée et fixée par vis.

LES CHAPES donnent tout ou partie, des formes extérieures suivant la configuration de la semelle. Dans le cas « c » les chapes ne comportent que le système de remplissage et d'alimentation, ainsi que des noyaux éventuellement : elles sont appelées *chapes à jets*. Ces chapes particulières peuvent exister dans le cas « a » ou « b » et elles sont alors supportées et guidées par les chapes moulantes (v. fig. 3). Les chapes sont souvent mobiles bien que l'on puisse rencontrer le cas où une des chapes est fixée sur la semelle, l'autre étant mobile. La partie mâle du guidage est un lardon fixé sur la chape, la rainure correspondante étant usinée dans la semelle.

Il faut assurer le centrage relatif des chapes. Celui-ci est réalisé par deux ou trois goujons et bagues cylindriques suivant l'étendue du joint.

Pour les pièces de faibles dimensions et de peu de relief, les chapes seront usinées directement dans des blocs en fonte grise lamellaire perlitique. Pour tous les autres cas, on moulera les chapes qui seront ainsi tirées d'épaisseur.

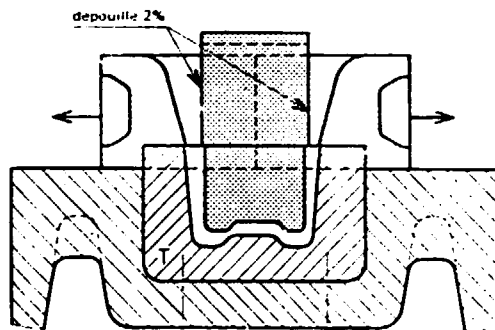
(1) *Note* : Les matériaux constitutifs d'une coquille seront donnés d'une manière plus détaillée dans le paragraphe 4.



La portée simultanée suivant le joint XX et le talus T est réalisée par ajustage lors de la mise au point de la coquille.

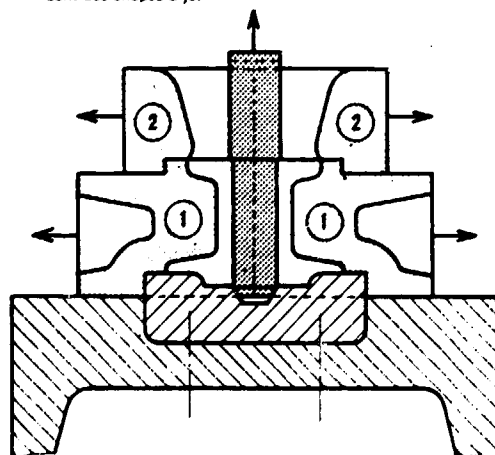
1

Le talus T porte toute l'empreinte. Les deux chapes ne portent que le système de remplissage et d'alimentation.



2

Les chapes 1 supportent et guident les chapes 2 qui sont des chapes à jet.



3

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (6/26)

(COULEE EN COUILLE)

LES NOYAUX sont les éléments moulants qui permettent l'obtention des formes intérieures et plus généralement, de toutes les formes en contre-dépouille. Qu'entend-on par forme en contre-dépouille dans le moulage en coquille ?

a) Par rapport à la direction de translation des chapes et à la direction d'éjection de la pièce, on peut trouver une troisième direction de démoulage d'une forme : celle-ci sera considérée en contre-dépouille (v. fig. 1, translation F4 en contre-dépouille par rapport à F1, F2 et F3).

b) On peut trouver une forme presque fermée ne permettant pas une translation du noyau : on peut dire que c'est une contre-dépouille absolue (v. fig. 2, forme intérieure).

Pour chacun de ces deux cas, la conception du noyau sera fondamentalement différente .

Dans le premier cas, le noyau peut être permanent dans le deuxième cas, il est obligatoirement destructible, c'est-à-dire en sable aggloméré à chaud ou à froid.

On verra qu'il faut tendre, dans le dessin des pièces coulées en coquille, à la suppression des noyaux en sable. En effet ceux-ci provoquent certains inconvénients :

- Hétérogénéité des matériaux constitutifs de la coquille, d'où une différence de dilatation et de conductibilité thermique.
- Introduction de sable à la mise en place du noyau et à l'éjection de la pièce.
- Cycle de moulage plus long.
- Parachèvement de la pièce plus onéreux (débouillage du noyau, désablage de la pièce). Par contre, ces noyaux sont compressibles et ils diminuent le risque de criques lorsque l'alliage est fragile à chaud.

Les conditions de positionnement et de tenue du noyau destructible dans la coquille sont les mêmes qu'en moule non permanent. Bien entendu, la précision des portées est plus grande puisque l'une des deux portées est usinée dans la partie métallique du moule.

Par contre les conditions de montage d'un noyau permanent sont particulières. Il faut assurer :

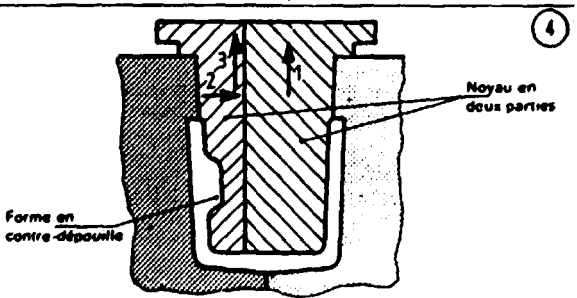
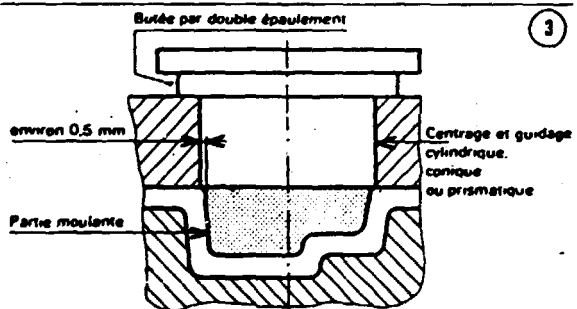
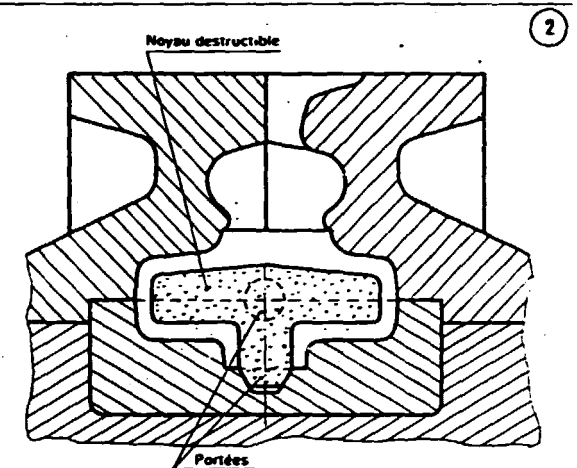
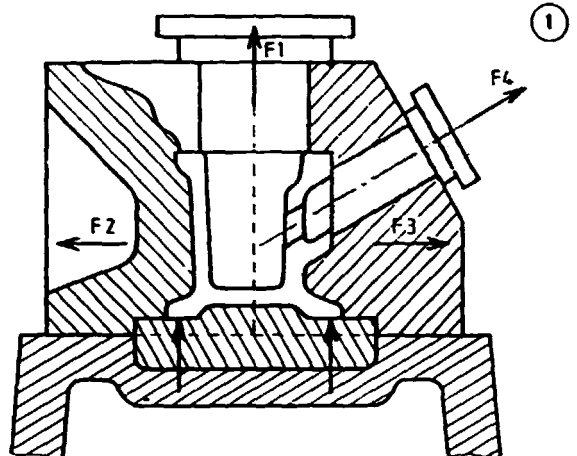
Le guidage et le centrage du noyau. Ces deux fonctions sont assurées par le corps cylindrique ou conique du noyau. Le diamètre de la partie guide sera plus grand, de quelques 1/10 mm, que la partie moulante pour compenser la différence de dilatation (v. fig. 3).

Une pénétration prismatique (en T ou en queue d'aronde) assure simultanément le guidage et le repérage du noyau si la forme moulante l'exige.

La butée du noyau est assurée par un double épaulement. Celui-ci permet de décoincer le noyau si nécessaire (v. fig. 3).

Il a été écrit qu'un noyau en sable provoquait des inconvénients, mais qu'il était parfois nécessaire pour obtenir une forme en contre-dépouille. On peut, dans certain cas, faire venir cette forme par un noyau permanent : celui-ci sera composé de plusieurs parties démontables dans un ordre déterminé (v. fig. 4).

Cette disposition ne peut être utilisée que pour de faibles amplitudes de la contre-dépouille, d'autre part elle coûte cher et augmente la durée du cycle de moulage.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (7/26)

(COULÉE EN COUILLE)

Les noyaux sont montés dans les différentes parties de la coquille :

Les noyaux sur chapes démontent vers le haut ou latéralement. Ils peuvent se trouver dans le joint des chapes ou dans une des chapes.

Les noyaux sur semelle sont fixes ou mobiles. Les conditions d'équilibre sont dues de l'équilibre du noyau, le guidage par le noyau et l'absence de noyau sur chape.

Les noyaux sur semelle sont fixes si leur hauteur est faible. En fait, ils feront partie du talus ou constitueront une partie moulante non monobloc afin de faciliter la fabrication et l'entretien de la coquille (v. fig. 2).

Les noyaux mobiles sur semelle sont montés comme les autres noyaux.

Le plus souvent leur mouvement est naturellement dirigé vers le bas de la semelle et nous verrons plus loin que cette partie de la coquille est occupée par d'autres éléments fonctionnels. Il s'ensuit que le compromis « Dessin de la pièce - position de moulage » doit être optimum pour éviter, si possible, ce genre de noyau.

Il est parfois nécessaire de concevoir les noyaux en plusieurs parties indépendantes et mobiles, même si la forme à mouler n'est pas en contre-dépouille (v. fig. 3).

Ceci pour plusieurs raisons.

- L'effort d'extraction du noyau est réparti sur les éléments de celui-ci et est moins élevé ; les risques d'arrachement du poteyage ou de la pièce sont moins grands.
- Les joints plus nombreux facilitent l'évacuation de l'air contenu dans l'alliage et l'empreinte.
- L'obtention de forme moulante complexe et la maintenance de la coquille sont facilitées comme il a été dit au sujet des noyaux sur semelle.

Les noyaux sont en fonte ou en acier.

LES BROCHES sont des noyaux dont la longueur est grande par rapport à la section. Celle-ci est généralement cylindrique, bien que toute autre forme puisse permettre l'acception du terme.

Pour des diamètres de l'ordre de 10 mm, la longueur de la broche peut atteindre 50 mm et on conçoit ainsi que ces éléments sont très sollicités thermiquement.

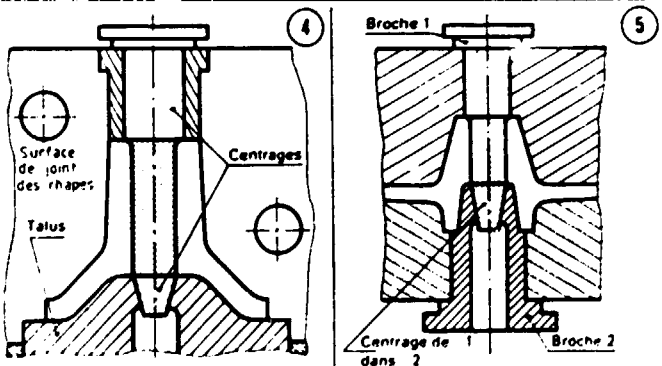
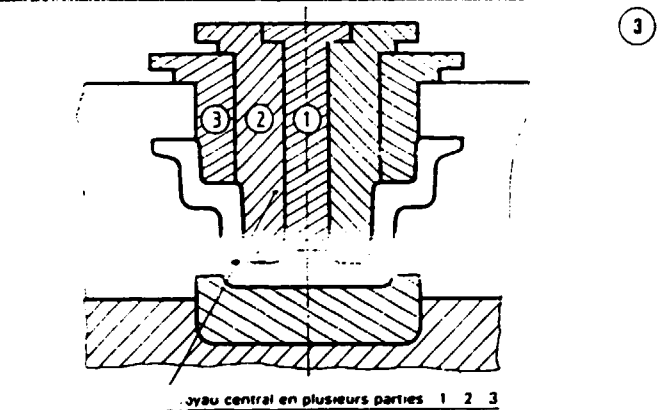
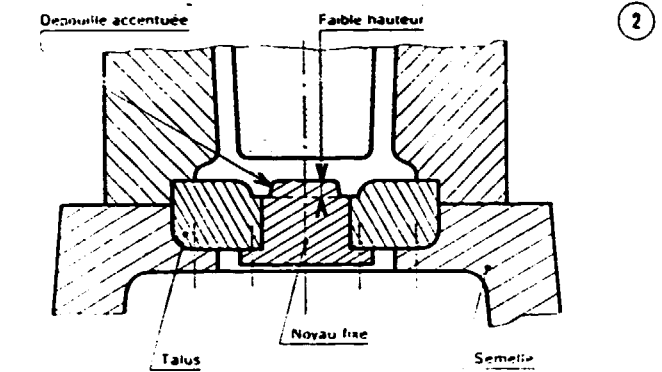
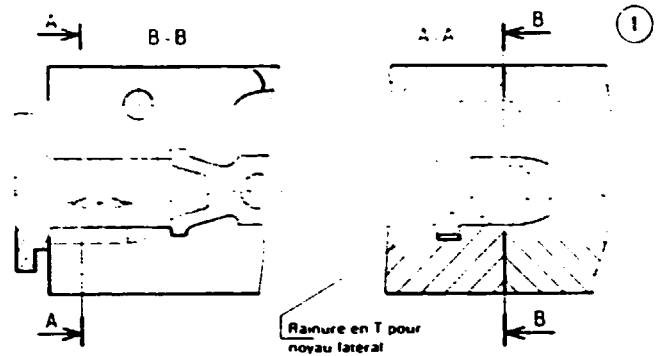
Les conditions de montage sont les mêmes que celles utilisées pour les noyaux.

Quelques conditions particulières sont à citer :

Une broche longue traversant l'empreinte sera centrée à ses deux extrémités afin de lui assurer une meilleure stabilité (v. fig. 4).

Deux broches co-axiales et longues peuvent être ajustées l'une dans l'autre si les dimensions le permettent. Ainsi on limite le rapport longueur/diamètre de chacune d'elle (v. fig. 5).

Ces éléments sont en acier spécial (voir paragraphe 4).



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (8/26) (COULÉE EN COQUILLE)

3-1-2. La fonction *Remplissage* sera assurée par des orifices et des conduits pratiqués généralement dans les chapes. L'opération consiste à amener dans l'empreinte la quantité d'alliage nécessaire à la venue totale des formes. Simultanément il faut remplir le système d'alimentation de la pièce.

Le système de coulée est composé :

- d'une descente de coulée,
- d'un canal (présence non systématique),
- d'une ou plusieurs attaques qui débouchent dans l'empreinte.

Ce système doit être le plus direct possible et assurer un débit constant d'alliage aux différentes attaques. On tend dans l'échelonnement des sections et le tracé des conduits à obtenir un écoulement le moins turbulent possible afin d'éviter au maximum les inclusions d'air et d'oxydes.

Il faut, pour obtenir une pièce complète :

- Etablir un remplissage continu dans un temps adapté à la pièce et à l'alliage coulé.
- Simultanément, évacuer l'air contenu dans l'empreinte.

Le temps de coulée étant fonction de la section d'attaque, de la vitesse à cette attaque et du volume à remplir ; pour une pièce donnée on pourra faire varier la section et/ou la vitesse, c'est-à-dire la hauteur de la descente de coulée. Mais cette hauteur est limitée afin de diminuer la turbulence de la veine liquide et la mise au mille. Donc pour que le temps de remplissage soit inférieur au temps de solidification de l'alliage, le débit est réglé par la section d'attaque.

C'est la mise au point de la coquille qui permet, par approximations successives, d'optimiser le système de remplissage dans ses dimensions et ses formes.

Simultanément au remplissage l'air contenu dans l'empreinte doit être évacué :

Les joints, fixes ou mobiles, des différentes parties constitutives offrent un jeu suffisant pour évacuer cet air. Toutefois, on peut augmenter le débit de fuite d'air par des saignées de 0,2 à 0,3 mm de profondeur sur 20 à 30 mm de largeur pratiquées sur ces joints (v. fig. 1).

Localement si l'obtention de la forme est perturbée une *goupille d'air* est montée sur l'élément moulant (v. fig. 2). A noter que la multiplication des parties composant un noyau crée des joints qui sont utilisés pour évacuer l'air.

La configuration du système de coulée est variable suivant la position des attaques par rapport à l'empreinte et à la verticale, nous trouvons :

La coulée en source (v. fig. 3).

La coulée en chute (v. fig. 4).

La coulée latérale (v. fig. 5).

La coulée en source.

Ce système comporte une descente de coulée ; un canal et une attaque.

- Peu de turbulence dans l'empreinte, évacuation de l'air aisée car le remplissage se fait de bas en haut.
- Mais le système de remplissage est long et de forte section pour éviter un refroidissement trop rapide de l'alliage ; les masselottes sont remplies par du métal froid ; la mise au mille est élevée.

C'est un type de coulée très peu utilisé en coulée en coquille.

La coulée en chute.

Le système de remplissage se réduit à la descente de coulée qui débouche le plus souvent dans une masselotte.

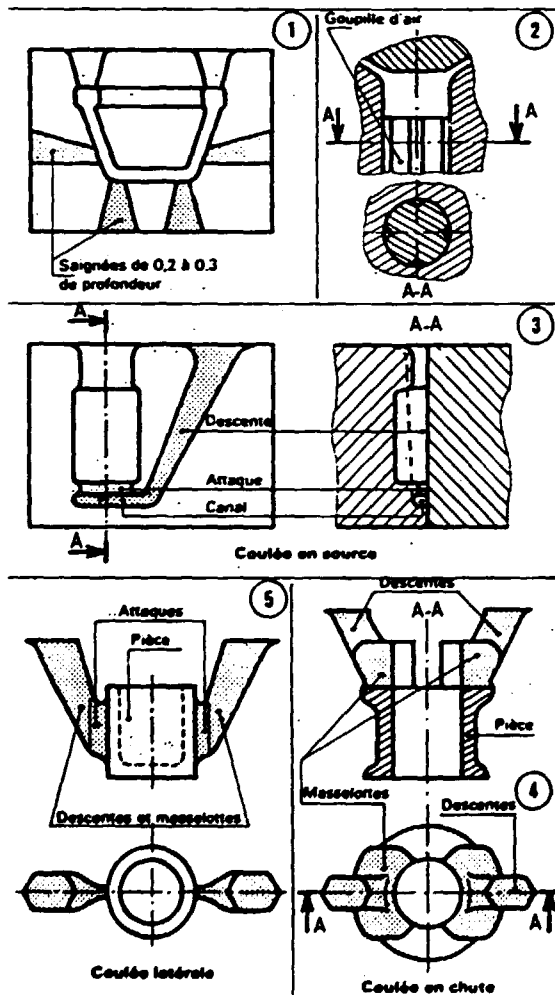
La solidification est convenablement dirigée, le système d'alimentation étant rempli en dernier par du métal chaud.

Par contre la chute directe de l'alliage dans l'empreinte provoque des gouttes froides, des entrainements d'air et une érosion plus rapide du poteyage.

La coulée latérale est un compromis des deux systèmes précédents : composé d'une descente et d'une attaque.

La solidification est correctement dirigée, la mise au mille limitée, la chute de l'alliage n'est pas directe.

Mais un déséquilibre thermique de la coquille peut être constaté : celle-ci s'échauffe davantage du côté de la coulée ; on place une coulée opposée à la première, systématiquement et on remplit alternativement par les deux systèmes. Ces deux derniers types de coulées sont les plus employés mais on verra que certaines précautions sont à prendre lors de la mise en œuvre du procédé.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (9/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

3-1-3. La fonction **Alimentation** est essentielle pour obtenir une pièce compacte, c'est-à-dire sans retassures. En fait, lors de la solidification, il faut compenser la diminution de volume de l'alliage qui passe de l'état liquide à l'état solide. Un apport de métal liquide est donc absolument nécessaire pour que la pièce ait le poids correspondant au volume de la cote et à la densité du métal au moment de la solidification.

La descente de coulée peut constituer la source de métal nécessaire à l'alimentation de la pièce (v. fig. 3, p. 80) ou cette descente arrive directement dans les masses dites (v. fig. 4, p. 80).

Pour les parties massives trop éloignées de la coulée, l'alimentation est assurée par des masselottes (v. fig. 1). Celles-ci sont taillées dans les chapés moulants ou les chapés à jets.

Globalement le système d'alimentation sera efficace :

- Si les masselottes sont en charge par rapport à la partie de pièce à alimenter.
- Si le module de refroidissement V/S des masselottes est supérieur à celui de la partie de pièce attenante.
- Si la solidification se termine dans les masselottes.

Cette dernière condition implique de régler l'évacuation de la chaleur apportée par le métal (v. étude plus détaillée paragraphe 5).

3-1-4. La fonction **Éjection** est assurée par l'opération qui consiste à extraire la pièce de la coquille ouverte. La pièce est à température élevée (400° C en moyenne) et de ce fait présente une faible résistance mécanique. L'effort d'éjection, qui peut atteindre 20 kN et résultant du serrage de la pièce sur les parties moulantes intérieures, doit donc être régulièrement réparti sur la pièce. La trajectoire de celle-ci doit être parallèle au sens des dépuilles. Un frottement intense accompagne cette opération.

Pour réaliser convenablement cette éjection, trois facteurs interviennent : La **dépuille**, le **potayage** et une **action mécanique**.

La **dépuille** est l'incrustation de métal dans le moule, qui est de 1 % à 3 %, elle varie suivant les régions de la pièce (v. fig. 2).

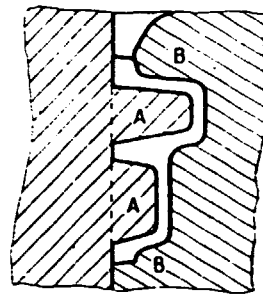
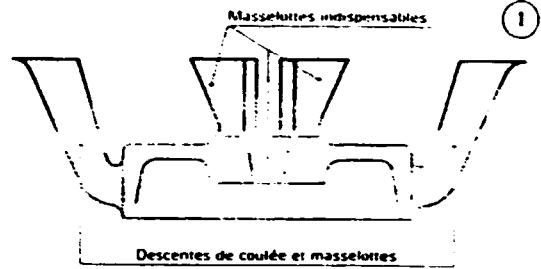
Le **potayage** (v. paragraphe 5) peut être considéré comme un agent de démoulage en empêchant les adhérences de métal sur l'empreinte.

L'**action mécanique** n'est pas toujours nécessaire. A l'ouverture de la coquille et suivant sa conception la pièce peut rester prisonnière sur le talus ou dans une des chapés (v. fig. 4).

Si la partie moulante intérieure sur laquelle serre la pièce est peu profonde, la prise de celle-ci peut se faire directement avec une pince manuellement ou mécaniquement (v. fig. 3).

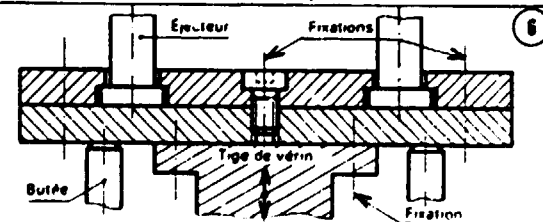
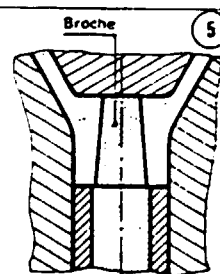
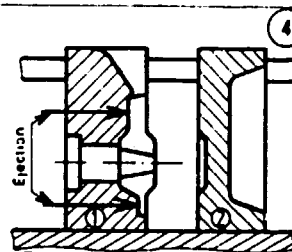
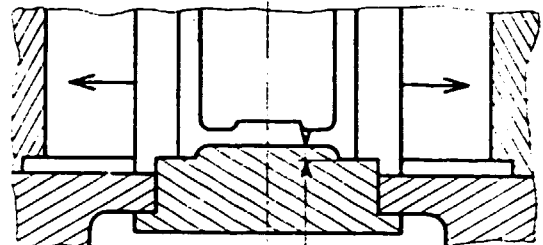
Dans le cas contraire il faut une action mécanique et prévoir des éjecteurs cylindriques, tubulaires, ou de forme adéquate à la pièce. Le diamètre moyen de ces éjecteurs est de 8 mm à 10 mm (v. fig. 5).

Ils sont maintenus par une double plaque d'éjection guidée sur des broches et mise en mouvement par un vérin hydraulique ou pneumatique (v. fig. 6).



A Forme en creux - Serrage - dépuille accentuée
B Forme en relief - décollement - dépuille min.

- Prise de pièce avec une pince
- Éjection non nécessaire



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (10/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

4. REALISATION DES COQUILLES

On conçoit que les différentes parties qui constituent une coquille sont soumises à des sollicitations thermiques et mécaniques élevées.

Il faut penser aussi :

- que suivant les alliages coulés ces sollicitations n'ont pas la même intensité.
- que les différents éléments constitutifs subissent des sollicitations d'intensité variable.
- qu'enfin, la permanence de ce moule implique de choisir des matériaux réfractaires, à caractéristiques mécaniques élevées et économiques.

En l'état actuel des choses, le compromis de toutes ces conditions est réalisé par les métaux qui sont donc les matériaux constitutifs des coquilles. Le tableau ci-dessous

donne, suivant l'alliage coulé et l'élément constitutif, le matériau et le traitement thermique qui donnent les meilleures garanties de fiabilité et de qualité.

La mise en oeuvre de ces matériaux est différente suivant les dimensions de la coquille et la nature du matériau utilisé.

D'une manière générale :

- On usine directement dans des blocs en fonte ou en acier forgé les petites coquilles pour des pièces dont le relief est peu accentué.
- On usine dans des blocs moulés, tirés d'épaisseur et nervurés les coquilles de grande dimension.

On conçoit que la coquille doit être d'épaisseur à peu près uniforme pour que la solidification de la pièce soit correctement dirigée et contrôlée.

Le traitement thermique que doit subir l'élément moulant est primordial pour sa tenue en service et sa longévité.

ALLIAGES COULÉS	ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS	MATÉRIAUX	TRAITEMENTS THERMIQUES	OBSERVATIONS
Alliages d'Aluminium	Semelle	Fonte lamellaire peritique C 28 ou 25 CD 4	Stabilisée	Moulée
	Talus		Trempé et revenu	
	Chapes	Fonte lamellaire peritique	Stabilisée	Usinée ou moulée et usinée
	Noyaux et broches	35 NC 15 ou Z 35 CD 5V 05	Trempé et revenu	
Laiton	Semelle	Fonte lamellaire peritique	Stabilisée	Moulée et usinée
	Chapes	ou 25 CD 4	Trempé et revenu	
	Noyaux et broches	35 NC 15 ou Z 10 CNS-25-20	Trempé	
	Semelle	Z 30 WC 09-03	Trempé et revenu	Parties très sollicitées thermiquement
Talus				
Cupro-Aluminium	Chapes			
	Noyaux et broches	Z 30 WC 09-03 ou Z 10 CNS 25-20	Trempé	
Fonte	Pour toutes parties moullantes	Fonte	Stabilisée	Fonte de même nuance que celle coulée
Pour tous les alliages	Ejecteurs et broches de rappel	16 NC 6	Cémenté	
	Doigts de démoulage			
	Goujons et bagues de centrage	Z 35 CDSV 05	Nitruré	
	Bâti	Fonte lamellaire		

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (11/26)

(COULÉE EN COQUILLE)

5. MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDÉ

5-1. Cycle de fabrication.

L'enchaînement logique des opérations mécaniques de fabrication d'une pièce nouvelle en coquille constitue un cycle de fabrication.

On considère le moule ouvert et en régime thermique établi :

1. Mise en place des noyaux destructibles éventuellement.
2. Fermeture du moule et verrouillage des éléments mobiles.
3. Remplissage de l'empreinte.
4. Refroidissement et solidification de l'alliage.
5. Ouverture du moule.
6. Ejection de la pièce.

La mise en place des noyaux destructibles peut se faire manuellement ou mécaniquement suivant la masse du ou des noyaux. On a déjà dit les inconvénients apportés par ces noyaux, mais certaines pièces coulées en coquille ne peuvent venir que grâce à ces noyaux (Ex : Culasse de moteur à refroidissement à eau).

La fermeture du moule est réalisée par la mise en mouvement des éléments mobiles, chapes, noyaux et broches. Des vérins pneumatiques ou hydrauliques montés sur le bâti de la coquille manœuvrent ces éléments et assurent leur verrouillage en position.

Le remplissage de l'empreinte est une opération délicate en fonderie et particulièrement en coulée par gravité.

Il faut entraîner le moins d'air possible avec l'alliage, ce qui implique d'engorger rapidement la descente de coulée. Il faut un écoulement le moins turbulent possible pour éviter une trop importante oxydation du métal : le basculement de la coquille au début du remplissage permet de rompre les bulles des coulées.

Actuellement le remplissage manuel est encore très employé car il est difficile mécaniquement de reproduire le geste adéquat d'un ouvrier coquilleur spécialisé. Des mécanismes automatiques de coulée existent quand même et les recherches se poursuivent dans ce domaine.

En coulée en coquille le refroidissement de l'alliage est rapide : le moule n'est pas complètement rempli que la solidification est déjà commencée. Le contrôle de ces deux phénomènes est indispensable pour obtenir une pièce complète et saine.

La bonne venue de la pièce demande de couler dans une coquille chaude (350 °C environ pour un alliage d'aluminium, 400 °C environ pour un cupro-aluminium).

La santé de la pièce demande de diriger la solidification vers les masselottes, c'est-à-dire obtenir la solidification des différentes parties dans l'ordre où elles sont alimentées

Ceci implique :

— Une trace de pièce conforme aux règles générales et spécifiques de tracé, règles qui sont détaillées dans cet ouvrage (v. chapitre 24).

— Une connaissance précise du régime thermique de la coulée, de la solidification et du refroidissement par un ou plusieurs procédés de refroidissement.

— La connaissance de l'épaisseur de la coquille : celle-ci doit avant absorber la chaleur latente et massique de l'alliage, on peut jouer localement sur l'inertie thermique du moule. L'épaisseur générale moyenne étant de 35 mm, il est recommandé d'amincir la coquille au droit des parties minces de la pièce et de l'épaissir dans le cas contraire.

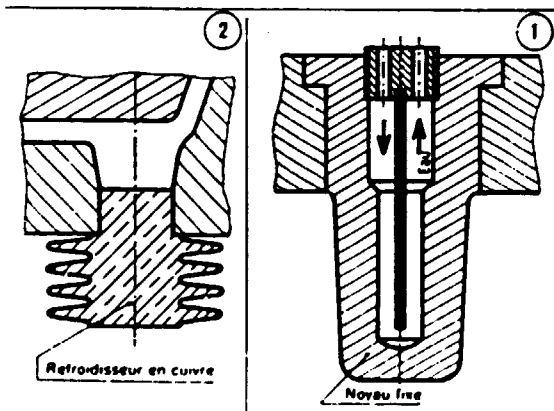
c) Par la mise en place d'un poteyage. Cet enduit a en fait un triple rôle : Protéger l'empreinte, régler le refroidissement, faciliter le démoulage. D'une épaisseur de 0,5 mm en moyenne, on utilise du poteyage blanc isolant et du poteyage noir conducteur. Le premier contient du blanc de Meudon et du kaolin, le second du graphite. Ainsi, suivant les régions de la coquille, les poteyages sont différents. Le « blanc » sera disposé sur le système de coulée et les masselottes ; le « noir » sur l'empreinte, les broches et les noyaux.

d) Par le refroidissement de certaines parties du moule surchauffées. On refroidit par circulation d'air comprimé sec ou humide, par circulation d'eau (v. fig. 1) par des refroidisseurs en cuivre (v. fig. 2) et par des caloducs utilisés depuis 1979.

L'ouverture du moule commence lorsque la pièce est suffisamment refroidie (entre 400 °C et 450 °C en moyenne). L'ordre de démoulage des éléments mobiles est primordial pour la tenue mécanique de la pièce. Les parties moulantes profondes, broches et noyaux, seront d'abord dégagées et les chapes finiront de dégager la pièce. Elle sera prise manuellement ou mécaniquement.

Si l'éjection est nécessaire, l'opération est rapide et constitue la dernière phase du cycle de moulage. L'enchaînement de toutes ces opérations est aujourd'hui automatique dans beaucoup de cas.

En conclusion, on peut dire que, dans la coulée en coquille, on dit qu'il n'y a pas théoriquement de limites inférieures et qu'à l'opposé, on coule des culasses de moteur à refroidissement à eau ou à air ; ainsi que des carters moteurs à refroidissement à air. Ces pièces sont en alliages d'aluminium.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (12/26) (COULÉE EN COQUILLE)

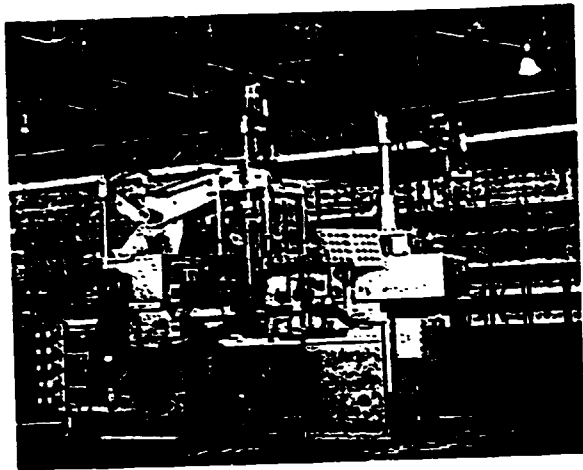
5-2. Chantier de moulage.

La coquille proprement dit est un moule qui doit être asservi à un ensemble mécanique qui permettra l'enchaînement logique des opérations du cycle de fabrication. L'ensemble s'appelle une coquilleuse (v. photos 2 et 3) ou un carrousel (v. photo 1).

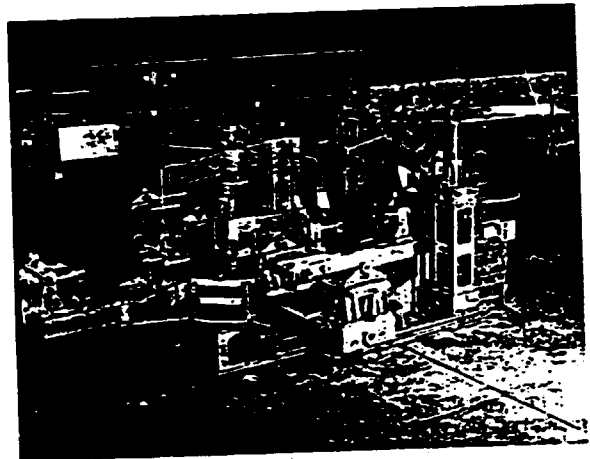
La coquilleuse est principalement constituée d'un bâti moulé, ou en construction soudée, supportant la coquille et les vérins de mise en mouvement des éléments mobiles du moule. Un bras mécanique pour transfert de pièce est prévu. Elle peut aussi comporter un système de coulée mécanique. Dans ce cas, le cycle de fabrication est entièrement automatique. L'atelier de moulage comporte plusieurs de ces machines en série, alimentées en alliage liquide par un four de maintien (un four pour deux machines très souvent).

Le carrousel est un plateau tournant de grand diamètre portant 5 ou 6 coquilles, suivant leur taille, et dont le mouvement rotatif est indexé sur des postes fixes de travail correspondant aux opérations du cycle de fabrication.

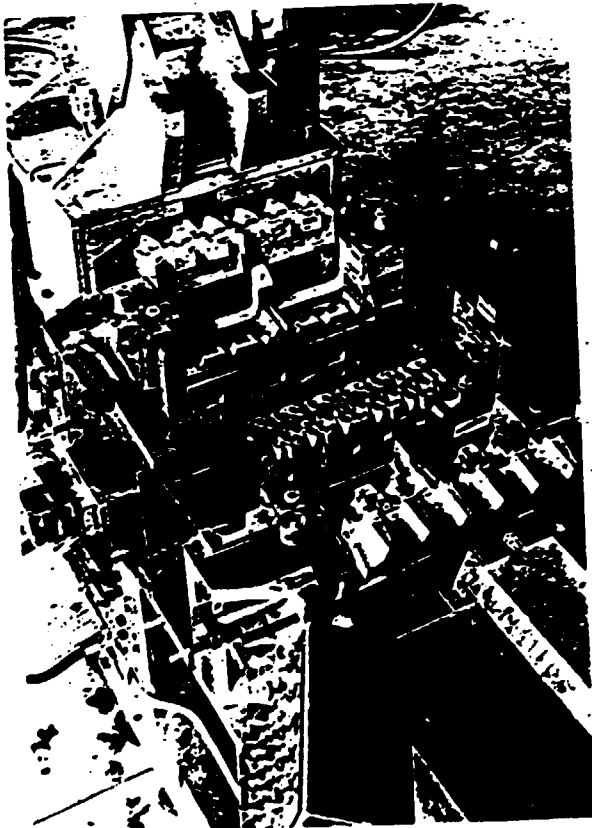
Cet ensemble complexe, entièrement automatisé, ne se conçoit que pour des fabrications en très grande série (Exemple : moulage en coquille de pistons en alliage d'aluminium pour moteur automobile).



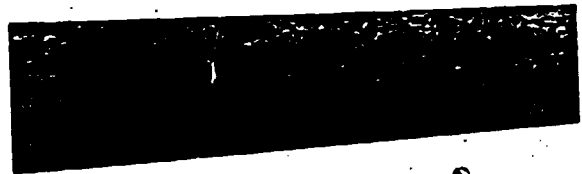
Coquilleuse automatique (cliché FATA)



Coquilles montées sur carrousel (cliché FATA)



Coquille ouverte (cliché FATA)



Pièce coulée en coquille (carrousel) (cliché FATA)

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (13/26)

COULÉE SOUS PRESSION

DÉFINITION

La différence fondamentale avec la coulée en coquille par gravité réside dans le mode de remplissage de l'empreinte et d'alimentation de la pièce :

En effet, en coulée sous pression l'alliage liquide est poussé par le piston dans l'empreinte (à une vitesse de 10 à 20 m/sec. en moyenne). Une surpression (pouvant dépasser 1000 bars) assure ensuite l'alimentation de la pièce en alliage liquide pendant la solidification.

De ce fait, les moules qui sont entièrement métalliques, subissent des efforts mécaniques et thermiques élevés.

La mécanisation de ces moules est totale.

Ils sont montés sur des machines spéciales automatiques qui fonctionnent suivant un cycle de fabrication réglable.

Les caractéristiques des pièces moulées par ce procédé permettent de mieux le situer :

— Grande précision dimensionnelle.

Le moule très rigide, très précis et les conditions de remplissage expliquent cet avantage. La tolérance d'une cote de 100 mm obtenue en coulée sous pression est de l'ordre de 0,5 mm. D'autre part, l'empreinte est nue, donc non enduite d'un poteyage comme en coulée en coquille et la pièce est la réplique exacte de l'empreinte métallique au retrait linéaire près.

— Un très bon état de surface est également obtenu du fait que l'empreinte est nue et que le degré de finition d'un moule est excellent :

— Suppression de certains usinages par obtention directe de la forme dans les tolérances fonctionnelles requises : en particulier, les trous de passage d'éléments de fixation et les surfaces d'appui de ces mêmes éléments sont brutes de fonderie.

— Obtention de pièces légères c'est-à-dire dont le tirage d'épaisseur est optimum. C'est la caractéristique la plus évidente des pièces coulées sous pression : la pièce est conçue sans masses inutiles de métal.

— Une mise au mille (rapport entre la masse de métal injecté et la masse de la pièce brute) très faible : en moyenne 1,3. Cet avantage est dû à l'absence de masselottes comme en coulée par gravité.

Ces caractéristiques mécaniques excellentes des pièces moulées sous pression (sans traitement thermique, sauf alliages coulés sous pression ne sont pas traités thermiquement).

Par exemple :

L'AS7G-Y33 (1) présente une résistance à la rupture de 200 N/mm² et l'AS9U3-Y40 (1) présente une résistance à la rupture identique.

(Ces deux alliages d'aluminium sont très utilisés respectivement en coquille et en sous pression).

Mais une remarque s'impose concernant la texture des alliages coulés sous pression : Etant donné les conditions de remplissage (v. p. 92) et la vitesse de refroidissement très élevée de l'alliage, celui-ci présente des micro-porosités dans la masse des parois, alors que l'extérieur de celles-ci présente une texture plus fine et plus compacte (v. fig. 1).

Ainsi, étant donné la pression d'alimentation très élevée et le compactage de l'alliage qui en résulte, et sans l'inconvénient (v. fig. 1) dû aux conditions de remplissage et de refroidissement, les alliages injectés sous pression pourraient présenter des caractéristiques mécaniques plus élevées.

CONDITIONS DE CHOIX DU PROCÉDÉ

Ce qui a été dit, d'une manière générale, à ce sujet pour la coulée en coquille est valable pour la coulée sous pression. Plus spécifiquement, les facteurs déterminants du choix de ce procédé sont :

— La possibilité de fabriquer :

— Les avantages techniques apportés aux pièces.

— Les moyens de production de la fonderie sous pression (notamment la vitesse de parc machine).

Une machine sous pression coûte, en achat, entre 1,5 et 3,5 millions de francs suivant sa force de fermeture.

Un moule sous pression coûte en fabrication entre 100.000 et 500.000 francs suivant les dimensions et la complexité des formes.

Il faut savoir que l'entretien de ce moule, pendant sa durée de vie, double pratiquement son prix initial.

La durée de vie d'un moule est variable suivant les alliages injectés :

75.000 à 130.000 pièces en alliages d'aluminium,

200.000 à 500.000 pièces en alliages de zinc,

20.000 à 50.000 pièces en laiton.

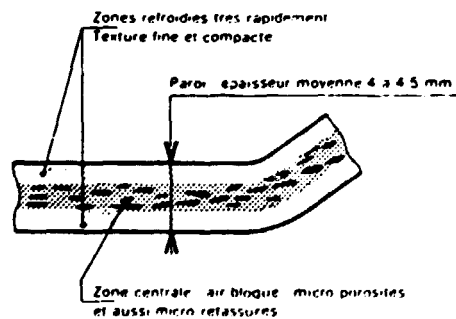
2-1. L'amortissement du prix du moule et de son entretien, la durée de vie de celui-ci exigent des séries à fabriquer importantes :

Une série de 20.000 pièces semble être un minimum pour que ce procédé soit rentable.

2-2. Applications : Ce procédé de moulage est très utilisé pour la fabrication de pièces en construction d'automobiles : carters de boîte de vitesses, carters de moteur, corps de carburateur sont des pièces coulées sous pression.

De nombreuses pièces d'appareils électroménagers sont également obtenues par ce procédé de moulage.

Y33 signifie : coulée en coquille, trempe et revenu
Y40 signifie : coulée sous pression, sans traitement thermique.



— Configuration schématique de la texture d'un alliage coulé sous pression

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (14/26)

(COULÉE SOUS PRESSION)

3. LES MACHINES A COULER SOUS PRESSION.

L'architecture générale de cette machine est la suivante :

Un bâti reposant sur le sol.

Deux plateaux fixes reliés par quatre colonnes.

Un plateau mobile supporté et guidé par les colonnes et le bâti.

Cet ensemble constitue une véritable presse à axe généralement horizontal. Il existe aussi des machines à axe vertical.

Une partie du moule est montée sur le plateau fixe côté injection, l'autre partie est montée sur le plateau mobile.

3-1. Cycle de fonctionnement.

Comporte quatre opérations principales :

- La fermeture du moule.
- L'injection de l'alliage.
- L'ouverture du moule.
- L'éjection de la pièce.

Quatre dispositifs particuliers assurent le déroulement logique de ce cycle :

- Un dispositif générateur d'énergie composé de moteurs et de pompes qui fournissent l'énergie sous forme de fluides comprimés (air - eau - huile).

- Un dispositif de fermeture et de verrouillage.

Le plateau mobile est mis en mouvement par un vérin et un système à genouillère empêche, d'une manière absolue, le recul de ce plateau lors de la mise sous pression de l'alliage.

- Un dispositif d'injection de l'alliage qui est placé derrière l'un des plateaux fixes et qui détermine le type de machine.

Il existe deux systèmes d'injection :

a) Le premier, constitué d'une chambre appelée Goose-neck, est continuellement immergé dans l'alliage en fusion contenu dans un four placé derrière le plateau de la machine :

Ce sont les machines à chambre chaude (fig. 1) (v. 3-4-1).

b) Le second système est constitué d'un cylindre (appelé conteneur) dans lequel coulisse un piston. Le four de maintien n'est pas intégré à la machine et l'alliage est déversé (manuellement ou mécaniquement) dans le conteneur avant chaque injection :

Ce sont les machines à chambre froide (fig. 2) (v. 3-4-2).

- Un dispositif d'éjection de la pièce est situé derrière le demi-moule mobile. Une double plaque portant les éjecteurs est mise en mouvement par un vérin.

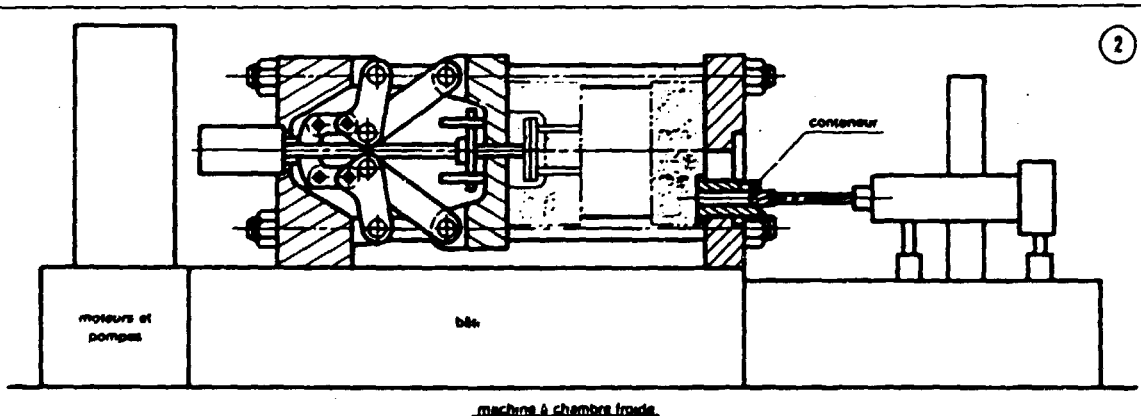
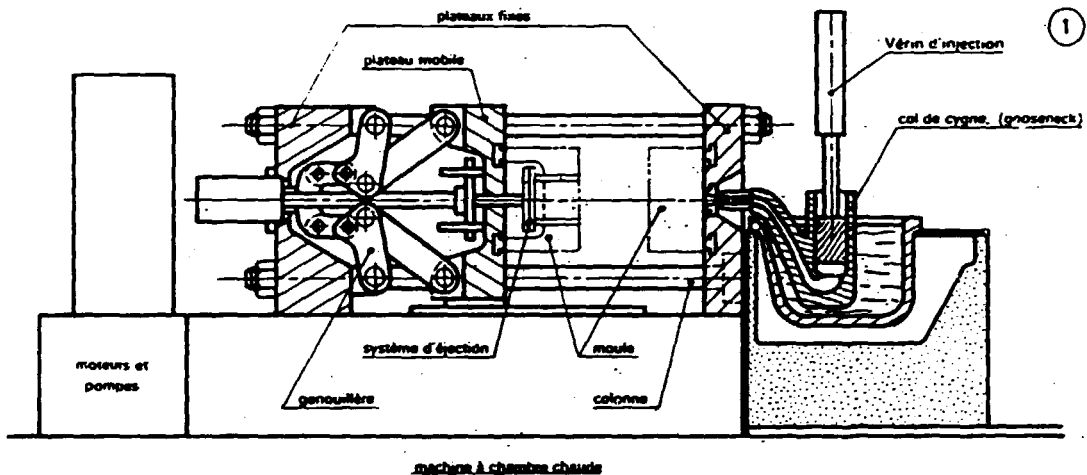
Ces machines sont également caractérisées par leur force de fermeture (pression totale au joint du moule).

La gamme des machines à chambre chaude va de 50 à 1200 kN.

La gamme des machines à chambre froide va de 500 à 30000 kN.

En outre on rappelle que :

Les alliages de zinc et de magnésium sont injectés par des machines à chambre chaude. Les alliages d'aluminium, de magnésium et le laiton sont injectés par des machines à chambre froide.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (15/26) (COULÉE EN COUILLE)

3-2. Le dispositif générateur d'énergie.

Les différentes phases du cycle de fonctionnement de la machine nécessitent une source d'énergie qui est sous la forme de fluides comprimés. L'ensemble de moteurs électriques et pompes ne fait pas partie de la machine. Des systèmes centralisés existent sur de très grandes machines existant.

Les fluides les plus utilisés sont :

L'huile et des fluides ininflammables. L'eau et l'air comprimé ne sont pratiquement plus utilisés.

Les fluides ininflammables sont :

- Les esters phosphoriques, chers mais possédant un très bon pouvoir lubrifiant.
- Les mélanges eau-glycol, moins onéreux, totalement ininflammables mais possédant un pouvoir lubrifiant inférieur à celui des esters.

3-3. Le dispositif de fermeture et de verrouillage.

Ce dispositif constitue la presse proprement dit et assure le support, le guidage, le mouvement et le verrouillage en position fermée, du plateau mobile de la machine.

Support et guidage sont assurés par des colonnes en acier, revêtues de chrome (il y a en général quatre colonnes) et par le bâti pour les grosses machines (glissières avec rattrapage de jeu par coins).

Ces colonnes constituent avec les deux plateaux fixes un ensemble rigide. L'espace existant entre le plateau mobile et le plateau fixe côté injection est réglable pour recevoir des moules d'épaisseurs différentes (v. tableau 4 et fig. 1).

Le mouvement assurant la fermeture et l'ouverture du moule est réalisé par un vérin hydraulique fixé derrière le plateau fixe. Ce vérin agit sur une genouillère qui assure le verrouillage du moule, c'est-à-dire empêche tout mouvement d'ouverture pendant la phase d'injection et d'alimentation.

La force globale de fermeture et verrouillage qui peut atteindre 20.000 kN sur les très grosses machines est encaissée par les colonnes.

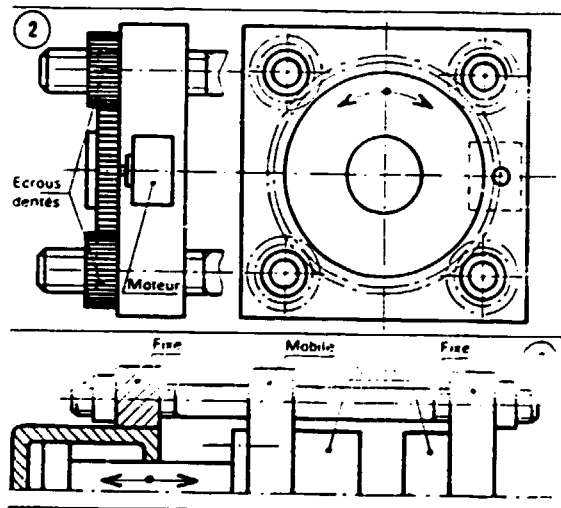
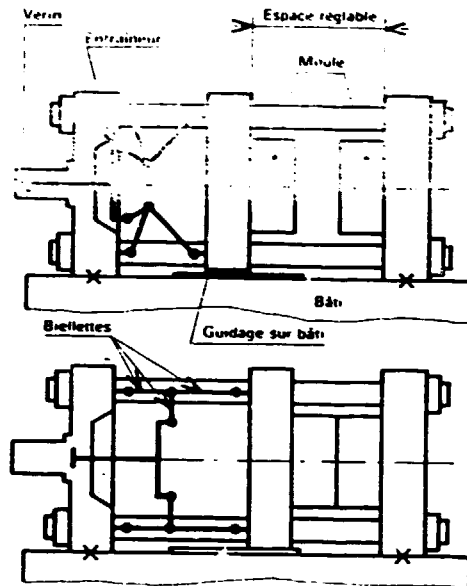
Ce système à genouillère permet un mouvement global rapide tout en assurant une approche lente en fin de fermeture, grâce à la démultiplication offerte par les bras de levier.

Le réglage de l'espace entre plateaux est réalisé en modifiant la longueur des colonnes. Les grosses machines sont équipées d'un système à roue dentée qui entraîne simultanément les quatre écrous arrière des colonnes (v. fig. 2).

Il existe aussi des systèmes de fermeture et de verrouillage par vérin hydraulique.

Un système ancien à un seul vérin de grand diamètre (v. fig. 3) et récemment un système à quatre vérins (un vérin par colonne). Ces systèmes offrent l'avantage de compenser automatiquement les dilatations et une adaptation instantanée aux différentes épaisseurs de moules.

Par contre, les surcharges sont moins bien encaissées et le verrouillage est moins absolu qu'avec un système à genouillère.



Exemple de caractéristiques de base d'une machine sous pression à chambre froide.

Force de fermeture en kN	16 000
Dimensions plateaux en mm	1850 x 1850
Espaces entre colonnes en mm	1150 x 1150
Diamètre de colonne en mm	250
Épaisseur mini-maxi du moule en mm	800-1200
Force d'éjection en kN	500
Course d'éjection en mm	260
Masse de la machine en tonnes	80

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (16/26)

(COULÉE SOUS PRESSION)

3-4. Le dispositif d'injection.

Il existe deux types de dispositif d'injection :

3-4-1. Dispositif à chambre chaude (fig. 1 p. 86).

Ce dispositif comprend :

- Un four de fusion à creuset disposé derrière le plateau fixe de la machine. Ce four est chauffé au gaz ou électriquement. Ce peut être aussi un four de maintien régulièrement alimenté en alliage liquide.
- Dans le creuset est immergée une chambre d'injection appelée Gooseneck. Cette pièce est sollicitée thermiquement, chimiquement et mécaniquement. Elle sera usinée ou moulée, en acier spécial au chrome molybdène.

Suivant la technique de fabrication, le conduit provoque plus ou moins de pertes de charge de l'alliage liquide (voir fig. 1 et fig. 2).

Les alliages d'aluminium qui dissolvent le fer à haute température, ne peuvent être injectés par ce dispositif. Par contre, les alliages de zinc (température de coulée : 420 ° C) et de magnésium (température de coulée : 650 ° C) sont injectés par ces machines. Ils n'ont aucune action chimique sur les alliages ferreux qui constituent le dispositif d'injection.

- Un vérin d'injection est fixé au gooseneck. L'ensemble est relié au plateau fixe par des supports sur lesquels il peut coulisser :

Les pressions d'injection sont comprises entre 50 et 300 bars.

- Une buse intermédiaire en acier au chrome-molybdène relie le nez de gooseneck à la buse d'injection montée dans le moule fixe.

3-4-2. Dispositif à chambre froide (fig. 2 p. 86).

Ce dispositif comprend (v. fig. 3).

- Un four de maintien placé à côté de la machine.
- Un cylindre en acier spécial au chrome molybdène appelé conteneur : c'est la chambre d'injection, non immergée dans l'alliage liquide, d'où l'appellation de ce dispositif.
- Un piston en acier au Cr-mo coulisse dans ce cylindre qui est rempli d'alliage, avant chaque injection, par un système mécanique.

Le conteneur est parfaitement centré par rapport à la buse d'injection (v. p. 91) car le piston coulisse, également dans cette pièce. L'ensemble est réglable en hauteur afin de placer convenablement l'axe d'injection par rapport à l'empreinte.

Il existe des machines à axe vertical mais elles sont très peu utilisées et tendent à disparaître.

Les pressions d'injection peuvent atteindre 1.000 bars.

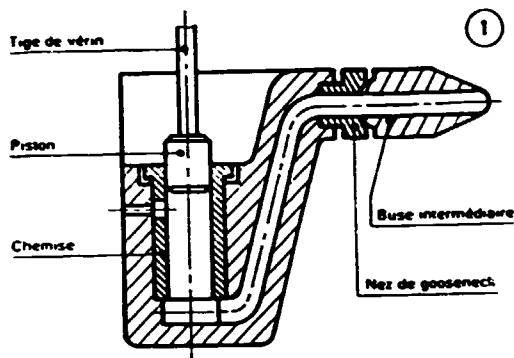
3-5. Le dispositif d'éjection.

Ce dispositif, placé derrière le plateau mobile, comprend :

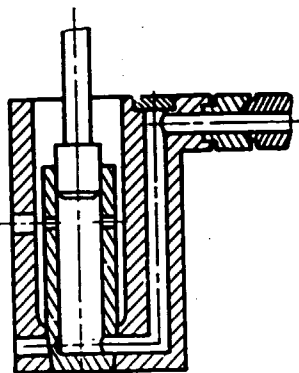
- Les éjecteurs (v. p. 92).
- La plaque d'éjection (v. p. 92).
- Le système de mise en mouvement de cet ensemble plaque-éjecteurs. Ce mouvement peut être réalisé par des butées fixes : celles-ci arrêtent la plaque d'éjection et le recul du plateau mobile permet aux éjecteurs de pousser la pièce hors du moule.

De nombreuses machines sont équipées d'un vérin hydraulique fixé derrière le plateau mobile (v. fig. 5).

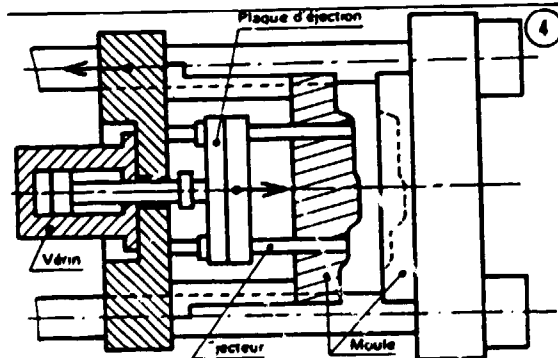
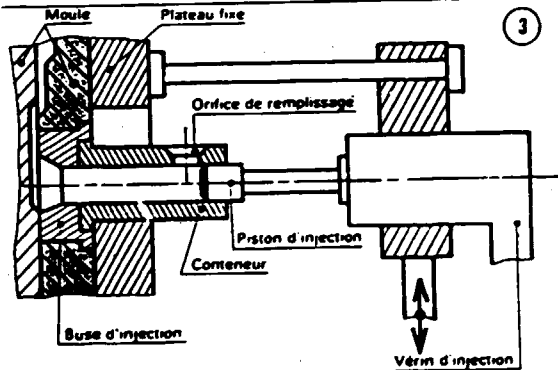
Ce système offre des possibilités de réglages plus nombreuses.



Gooseneck moulé



Gooseneck usiné



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (17/26) (COULÉE SOUS PRESSION)

4. CONCEPTION D'UN MOULE

4-1. Généralités.

Les moules montés sur les machines à chambre chaude et chambre froide sont conçus d'une manière semblable et sont principalement composés :

- D'un bloc monté sur le plateau fixe de la machine, côté injection.
- D'un bloc monté sur le plateau mobile.

Un moule est spécifique à une pièce, mais pour concevoir un moule sous pression, il faut au préalable, faire des choix techniques.

- Déterminer la configuration du joint des deux blocs principaux. Le joint plan est préférable au joint brisé. Par contre, le joint brisé peut éviter des noyaux latéraux mobiles. Ce joint doit être perpendiculaire à l'axe de la machine et passer par la plus grande dimension de la pièce si possible.
- Répartir les formes à mouler entre le bloc fixe et le bloc mobile (v. fig. 1).
- Positionner l'empreinte par rapport à l'axe d'injection. Cette position est nettement différente suivant le type de machine utilisée (v. fig. 2).

4-2. Éléments constitutifs d'un moule.

Les quatre fonctions (moulage, remplissage et alimentation, éjection) sont assurées par les éléments suivants :

4-2-1. Moulage.

L'empreinte permettant d'obtenir les formes de la pièce est constitué :

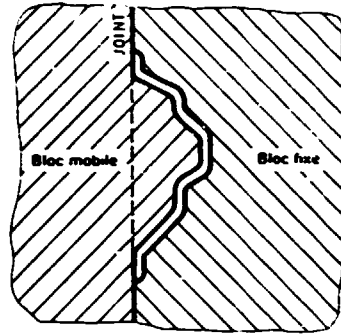
- D'un bloc fixe qui comprend une carcasse en acier moulé dans laquelle est centrée et fixée l'empreinte en acier spécial (voir page 93) (v. fig. 3). La carcasse peut recevoir des empreintes différentes et être considérée comme un élément standard. L'empreinte est monobloc, ou en plusieurs parties suivant la complexité des formes. Son démontage doit être aisé pour un remplacement éventuel. Cette partie du moule donne la presque totalité des formes extérieures de la pièce.
- D'un bloc mobile composé également d'une carcasse standard dans laquelle est montée l'empreinte donnant les formes intérieures qui sont parallèles à la direction d'éjection de la pièce. Cette empreinte est, elle aussi, monobloc ou morcelée. Cet ensemble est monté sur le plateau mobile de la machine par l'intermédiaire d'un socle appelé sommier et d'entretoises cylindriques ou prismatiques. Ces entretoises sont soudées à la carcasse ou fixées par vis. Ce peut être un ensemble carcasse-entretoises moulé (voir fig. 4).

A la fermeture du moule, le bloc mobile est centré sur le bloc fixe par des goujons et des bagues cylindriques ou par des colonnes prismatiques.

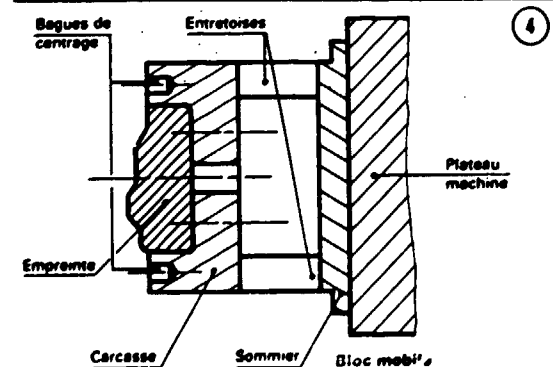
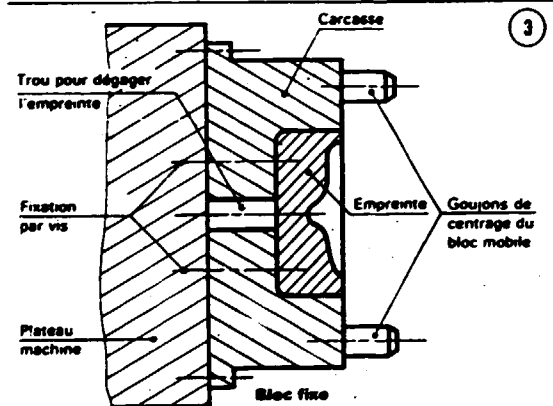
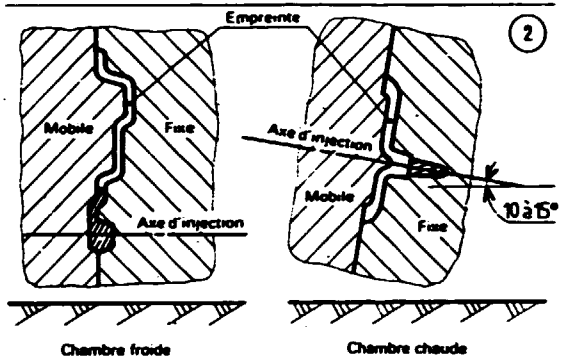
- De noyaux et de broches qui donnent les formes extérieures en contre-dépouille. La broche est un noyau de faible section et de grande longueur. Ces éléments sont très sollicités thermiquement, et il faut procéder à leur remplacement durant la vie du moule.

Il existe deux catégories principales de broches et noyaux :

- Broches et noyaux fixes.
- Broches et noyaux mobiles.



Les formes intérieures seront obtenues par le moule mobile.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (18/26)

(COULÉE SOUS PRESSION)

4-2-1. Broches et noyaux fixes : Sont des éléments qui démontent dans le sens d'ouverture du moule. Ces éléments seront facilement démontables car les sollicitations thermiques et mécaniques importantes nécessitent leur remplacement. Il est préférable de monter ces broches et noyaux sur le moule mobile, ceci facilitera l'entraînement de la pièce à l'ouverture du moule (voir fig. 1 et 2).

– Broches et noyaux mobiles :

Ces éléments sont indispensables pour la venue des formes qui ne sont pas parallèles au sens d'ouverture du moule.

Il faut réaliser deux fonctions pour ces éléments :

- Guidage et mise en mouvement,
- Verrouillage en position pendant l'injection.

Guidage et mise en mouvement.

Si l'élément est situé dans le plan de joint la partie moulante est rapportée sur un support appelé tiroir, qui coulisse dans une glissière (v. fig. 3).

Si l'élément est hors du joint, le tiroir sera guidé dans un alésage.

La mise en mouvement est assurée par des vérins hydrauliques ou des doigts de démoulage (v. fig. 3).

Verrouillage en position.

Pendant l'injection le noyau ou la broche, est soumis à une force importante qui tend à le faire reculer. Pour assurer la précision de la pièce moulée, on doit maintenir l'élément dans sa position de moulage :

- par la force du vérin dans le cas des petites broches ou des petits noyaux.
- par talon rapporté verrouillant le tiroir (voir fig. 4) dans les autres cas.

4-2-2. Remplissage et alimentation.

En coulé sous pression, les deux fonctions peuvent être associées dans cet ordre car la pression d'alimentation de la pièce pendant sa solidification passe par le système de remplissage.

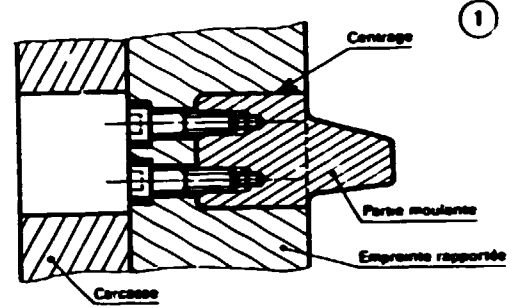
Ce système comprend :

- la carotte (métal solidifié dans la buse) en chambre chaude, ou la pastille en chambre froide.
- les canaux amenant le métal aux attaques de l'empreinte et qui régulent le débit et la vitesse de remplissage.
- les talons de lavage ou dégorgeoirs qui récupèrent le métal souillé (poteyage, oxydes...).
- les tirages d'air.

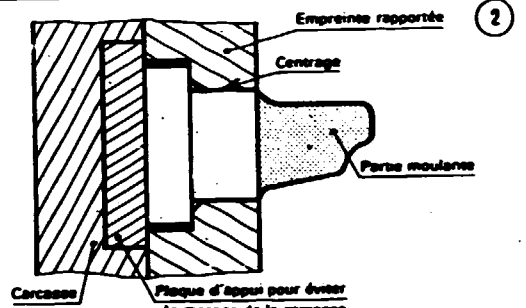
4-2-2-1. La carotte (v. fig. 5).

C'est le métal solidifié dans la buse d'injection montée dans le moule fixe en chambre chaude. Cette huse très sollicitée thermiquement est refroidie par un anneau de fluide (eau généralement). L'étanchéité avec la buse machine se fait par pousée de cette buse sur l'autre (s. axes en contact sphériques). Monté dans le moule mobile et dans l'axe de la buse d'injection, le diffuseur réduit la masse de la carotte et dirige le métal vers les canaux de remplissage.

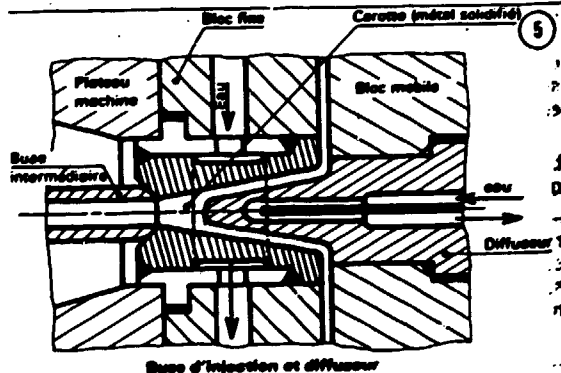
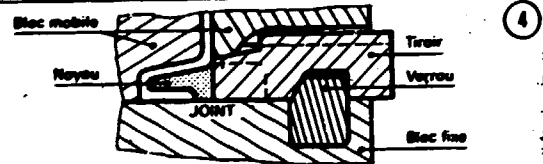
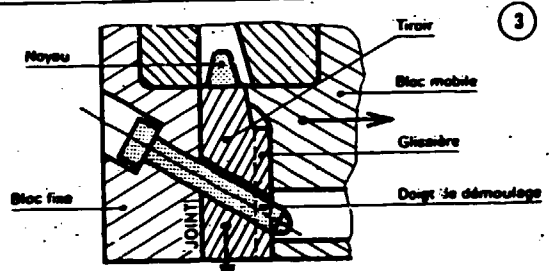
Ce diffuseur doit être refroidi par circulation d'eau.



Noyau fixe monté avec vie



Plaque d'appui pour éviter le meulage de la carcasse
Noyau fixe pénétrant entre carcasse et empreinte rapportée



Buse d'injection et diffuseur

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (19/26) (COULÉE SOUS PRESSION)

-2-2-2. La Pastille (v. fig. 1).

C'est le métal solidifié dans la buse d'injection montée dans le moule fixe en chambre froide. La buse est conçue de la même manière qu'en chambre chaude. Elle prolonge le conteneur avec lequel elle est parfaitement alignée.

Un diffuseur est monté dans le moule mobile dans l'axe de cette buse. Suivant l'épaisseur du moule fixe, ce diffuseur pénètre ou ne pénètre pas dans la buse (v. fig. 1).

-2-2-3. Canaux et attaques de coulée.

Le canal principal part du centre de la pastille et doit être aussi direct et court que possible afin de limiter les pertes de charge et thermiques. Pour ces mêmes raisons les canaux ne doivent pas être trop minces. Ce canal alimente des canaux secondaires qui se terminent par les attaques de coulée.

La position des attaques par rapport à la pièce est réglée par l'aspect thermique, les conditions d'écoulement et d'alimentation de la pièce.

D'une manière générale, on tend à placer les attaques sur les parties minces de la pièce ; mais une masse importante peut être alimentée par une attaque particulière.

Il faut remplir le moule dans un temps très court pour éviter une solidification prématurée, il faut limiter les pertes de charge dans le moule et l'écoulement doit être le moins turbulent possible (pour éviter l'oxydation du métal et la formation de gouttes froides).

En résumé, la position de l'attaque doit tenir compte de l'aspect thermique et de l'aspect dynamique.

-2-2-4. Les dégorgeurs et tirages d'air (v. fig. 9).

Les *dégorgoirs* sont à l'extérieur de l'empreinte et recueillent les premières veines de métal souillé d'oxydes et de gouttes froides. Leur emplacement idéal se fait à la mise au point du moule. Ils peuvent aussi, s'ils sont massifs, réguler la température du moule au droit des parties minces de la pièce.

Les *tirages d'air* sont nécessaires pour évacuer l'air de l'empreinte pendant le remplissage. Les jeux existant entre les parties mobiles (broches, noyaux, éjecteurs) suffisent en partie comme section de fuite. On peut réaliser, en plus, des saignées à l'extrémité des dégorgeurs et sur le joint du moule.

-2-2-5. Exemples de systèmes de remplissage.

Les quelques exemples qui suivent répondent aux exigences citées dans les paragraphes précédents :

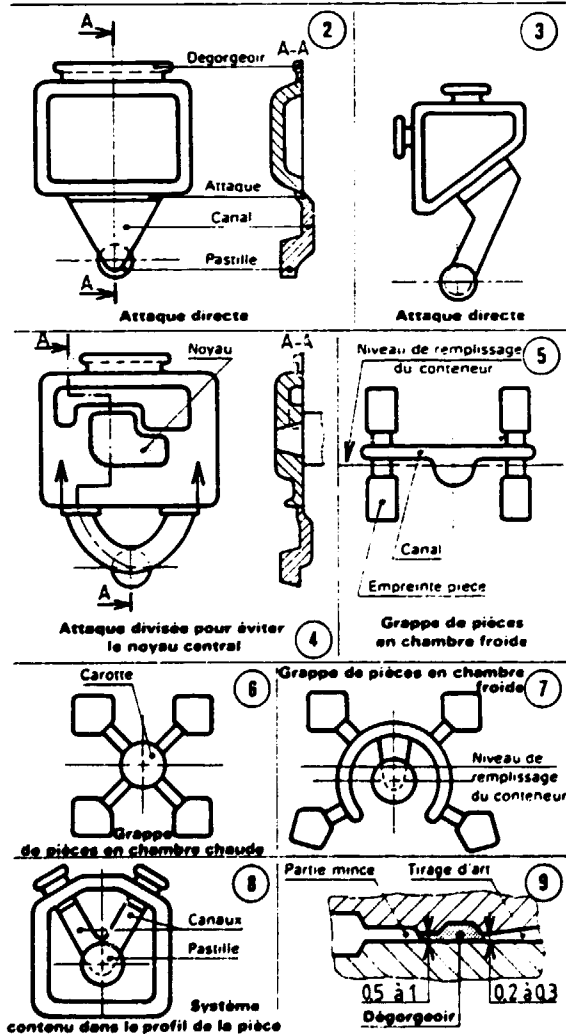
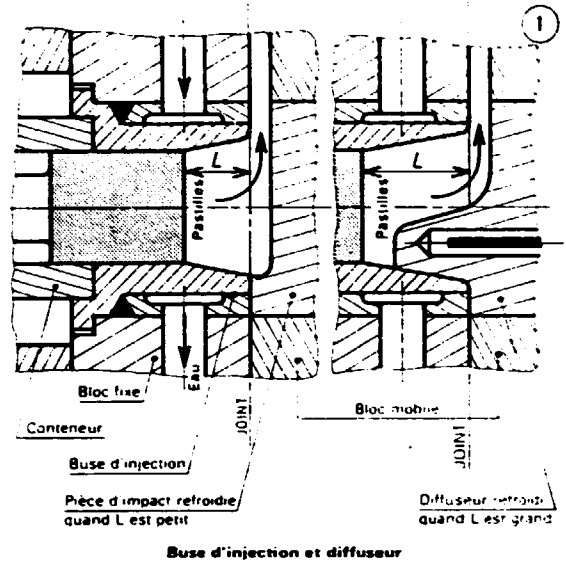
Fig. 2 et 3 : Tracé rectiligne et direct du canal. Eviter les courbes où on risque des entraînements d'air et des pertes de charge.

Fig. 4 : Attaque directe divisée pour éviter un noyau.

Fig. 5 et 7 : Coulée de grappes de pièces en chambre froide. La difficulté est de placer les empreintes de telle manière que le métal ne s'écoule pas du conteneur avant l'injection.

Fig. 6 : Grappe de pièces régulièrement réparties autour de la carotte en chambre chaude.

Fig. 8 : La pièce doit être assez grande pour contenir pastille, canaux et attaques. Remarque valable pour la chambre chaude.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (20/26) (COULÉE SOUS PRESSION)

4-2-2-6. Sections des canaux et attaques.

Le temps de remplissage t est un paramètre fondamental, ainsi que la vitesse à l'attaque v . t doit être plus court que le temps de solidification des parois les plus minces de la pièce.

v est fonction de l'épaisseur de la pièce. Ainsi les valeurs de t et v les plus couramment utilisées sont :

Épaisseur paroi en mm	Temps de remplissage en s	Vitesse à l'attaque en m/s
1 à 1,5	0,02 à 0,04	50 à 60
2 à 3,5	0,05 à 0,1	30 à 40
>3,5	0,1 à 0,4	10 à 20

Connaissant la masse d'alliage à injecter dans le temps t et à la vitesse v on peut calculer la section s des attaques. (A la mise au point du moule il arrive souvent que cette section soit modifiée légèrement).

L'épaisseur e des attaques sera : (v. fig. 1).

$e = 0,5$ à $1,5$ mm pour pièce en zamak,

$e = 2$ à $3,5$ mm pour pièce en alliages d'alu.

D'autre part, e sera d'autant plus faible que la pièce sera mince.

La section de canal la plus correcte est la forme trapézoïdale et l'échelonnement des sections de canaux ne doit pas provoquer de détente de l'alliage (v. fig. 1).

4-2-3. Éjection (v. fig. 2).

Ce système, placé dans l'évidement créé par les entretoises et le sommier, comprend :

– Les éjecteurs.

Leur position par rapport à la forme de la pièce doit permettre la répartition sur celle-ci de l'effort d'éjection qui peut atteindre 200 à 250 kN pour les très grosses pièces.

Il est recommandé d'en placer au droit des dégorgeoirs et des canaux d'alimentation.

Ils sont le plus souvent de section circulaire et leur tête est cylindrique. Si la pièce est trop mince au droit de l'éjecteur, la section de celui-ci est de forme (rectangulaire ou semi-circulaire).

Il existe aussi l'éjecteur tubulaire monté autour d'une broche ; mais le double ajustement sur broche et dans logement est difficile à maintenir en fonctionnement.

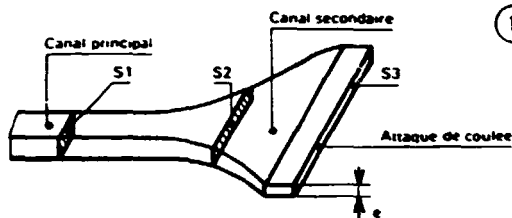
Le diamètre des éjecteurs varie de 2 mm à 10 mm.

Ils sont ajustés dans l'empreinte qu'ils traversent sur une longueur de 30 mm environ. Le jeu est de 0,03 mm à 0,05 mm (v. fig. 3).

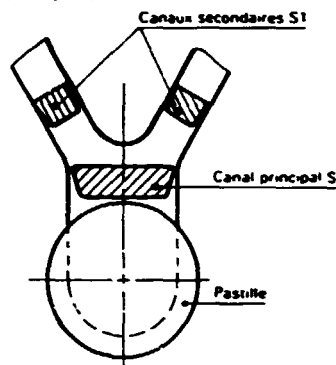
– Les plaques d'éjection.

La tête de l'éjecteur est logée entre les deux plaques fixées par vis. Guidées par des colonnes et des patins pour les gros moules, ces plaques portent, par mesure de sécurité, des éjecteurs de rappel qui les ramènent en arrière lors de la fermeture du moule. D'autre part, aucune éjection ne peut se faire pendant l'injection du métal.

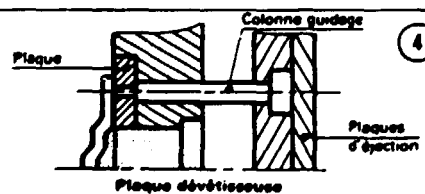
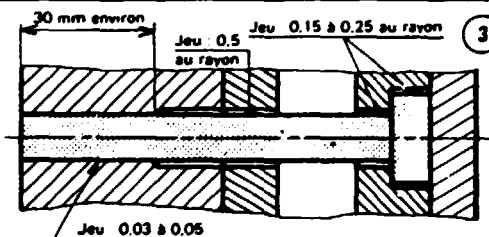
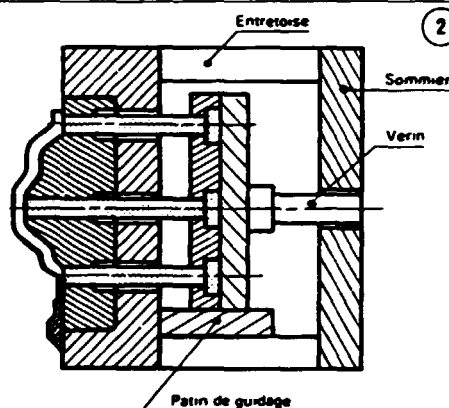
Il existe d'autres systèmes d'éjection, telle que la plaque déviateuse qui permet une éjection très bien répartie sur la pièce. Ceci est recommandé lorsque l'alliage tend à coller au moule (v. fig. 4).



Il faut que $S1 > S2 > S3$



Il faut que $S > 2 S1$



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (21/26) (COULÉE SOUS PRESSION)

-2-4. Matériaux de construction des moules.

Un moule pour la coulée sous pression fonctionne sous un état de contraintes thermiques et mécaniques élevées.

Le régime thermique discontinu de la surface du moule et sur quelques mm de profondeur, impose de brusques dilata-tions et contractions au matériau constitutif. Il s'ensuit une fissuration de l'empreinte, dont la trop importante propaga-tion détermine la fin de vie du moule. L'érosion de la surface du moule, par le métal liquide lors du rempage contribue également à la destruction du moule.

La durée de vie de ce moule conditionne la rentabilité du procédé étant donné le coût important de la fabrication et l'entretien du moule (v. § 2, p. 13).

Ces considérations impliquent l'utilisation de matériaux de grande qualité tels que les aciers alliés.

Il est souhaitable que les propriétés suivantes soient réunies : résistance au fluage à chaud, charge de rupture élevée, faible coefficient de dilatation, résistance à la corro-sion sous tension.

Les formes sont obtenues par les moyens d'usinage classiques et non conventionnels (électro-érosion par exem-ple). L'ébauche des gros blocs est moulée ou forgée. Les traitements thermiques de stabilisation, trempe et revenu, font partie de la gamme de fabrication.

Nuances d'acier	Alliages de Zinc	Alliages de Mg et d'Alu	Laiton	Observations
30 NC 15	•			Petites et moyennes séries d'alliages de Zn (jusqu'à 600 000 pièces)
Z35CDVS05	•	•		Grandes séries d'alliages de Zn (jusqu'à 2 ou 3 millions de pièces)
Z35KWC 05-04 et Z35CDKV03-03-02			•	Moule très sollicité thermiquement
42CD4 et XC38	•	•	•	Utilisés uniquement pour la fabrication des carrosses

Nuances d'acier recommandées, suivant les alliages injectés, pour la construction des différentes parties d'un moule.

MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDÉ

1-1 Cycle de fabrication.

Un cycle de fabrication comprend les phases suivantes, à partir du moule ouvert et en régime thermique établi :

1. Enduction du poteyage
2. Fermeture du moule
3. Injection de l'alliage dans le moule
4. Refroidissement et solidification de l'alliage
5. Ouverture du moule
6. Ejection de la pièce.

- Enduction du poteyage :

En fonderie sous pression, le poteyage a le rôle essentiel de faciliter le démoulage des pièces et de protéger l'empreinte contre les chocs thermiques. On demande au produit utilisé un pouvoir lubrifiant et isolant.

On n'utilise qu'un seul produit pour un moule (à l'inverse de la coulée en coquille) et l'épaisseur déposée se réduit à quelques 1/20 de mm. Ce dépôt est réalisé par pulvérisation manuelle ou mécanique avant chaque injection d'alliage. Ces produits sont à base de graphite. Ils sont aqueux ou huileux.

À la mise en route du moule, on détermine les endroits qui doivent être particulièrement poteyés pour éviter les risques de collage des pièces.

- Fermeture du moule :

La mise en place des différents noyaux mobiles se fait suivant un ordre déterminé qui est fonction de la forme de l'empreinte : le moule est un puzzle dont les éléments ont une position relative stricte.

Des électrovannes commandent les vérins hydrauliques qui actionnent les tiroirs. Simultanément, le plateau mobile vient plier le bloc mobile sur le bloc fixe. La force de fermeture est établie : les colonnes sont tendues, le moule est comprimé :

- Injection de l'alliage liquide dans le moule

Cette phase est précédée du remplissage de la chambre d'injection.

En chambre chaude, ce remplissage se fait par dépression, à la remontée du piston et en vertu du principe des vases communicants.

En chambre froide il faut transvaser l'alliage liquide du four de maintien dans le conteneur. Il faut que le dosage d'alliage soit régulier et éviter au maximum la formation et l'entraînement d'oxydes.

Cette opération est mécanisée et différents systèmes sont employés : il existe des dispositifs mécaniques remplissant le conteneur par gravité et des dispositifs pneumatiques qui exercent une faible pression à la surface du bain d'alliage. Le taux de remplissage du conteneur doit être de 75 % au moins.

À vitesse lente (1 m/s. à 2 m/s.) le piston d'injection repousse l'alliage au fond du conteneur et jusqu'aux attaches de coulée : À très grande vitesse (jusqu'à 10 m/s.) le piston injecte l'alliage dans le moule.

L'injection sous vide est une possibilité de ce procédé de moulage. On peut effectuer une mise en dépression autour du moule ou dans l'empreinte. L'installation correspondante est d'un prix élevé.

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (22/26) (COULÉE SOUS PRESSION)

5.1. (suite)

- Refroidissement et solidification de l'alliage.

Cette phase est essentielle pour la santé de la pièce. Elle présente un caractère très particulier en fonderie sous pression :

- Le moule, entièrement métallique, possède une capacité thermique et un coefficient de conductibilité élevés.
- La pression très importante appliquée au métal à la fin du remplissage améliore le contact métal/moule et la résistance thermique à ce niveau s'en trouve affaiblie.

Il s'ensuit un refroidissement et une solidification rapides de l'alliage.

La compensation du retrait de solidification se fait par une surpression (jusqu'à 1.000 bar) appliquée au métal pendant tout le temps de la solidification. Cette phase représente le masselottage tel qu'on le connaît en coulée par gravité.

La qualité optimum de la pièce et la cadence de production horaire la plus élevée possible demandent de contrôler l'évacuation de la chaleur apportée par le métal au moule.

Il faut réaliser l'équilibre thermique de ce moule. Ceci implique d'effectuer :

Un bilan thermique.

- La quantité de chaleur massique et latente contenue dans l'alliage constitue la quantité de chaleur Q_1 apportée à chaque injection.
- La quantité de chaleur dissipée par le moule sera Q_2 . Cette chaleur est évacuée par conduction dans le moule, par convection et rayonnement de ses faces extérieures.

Il n'y a pas, dans la plupart des cas, d'autre apport de chaleur que Q_1 et on a $Q_1 > Q_2 (1)$.

Un refroidissement du moule.

Étant donné l'inégalité (1), il faut refroidir le moule et évacuer une quantité Q_3 de chaleur par un fluide circulant dans des canaux (le plus souvent de l'eau) ou en utilisant des conducteurs de chaleur très puissants pour un petit volume, comme le *caloduc*.

L'équilibre thermique est réalisé lorsque la courbe de la fig. 1 est stabilisée pour une cadence maximum et régulière.

$$\text{On a alors } Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

C'est à la mise au point du moule que l'on règle le débit de fluide dans les canaux.

En général, on perce plus de canaux qu'il n'en faut et si nécessaire on en condamne certains. Cette méthode est empirique.

Dans le cas de moule simple, des codes de calcul sont utilisés pour régler le problème thermique que pose un moule sous pression.

- Ouverture du moule.

Il faut que la pièce reste sur le bloc mobile à l'ouverture du moule. Pendant la course d'ouverture, les différents noyaux mobiles sont mis en mouvement par les doigts de démoulage ou les vérins hydrauliques.

- Ejection de la pièce.

Cette dernière phase est rapide (quelques 1/10 de s) et permet à l'opérateur de prendre la pièce avec une pince.

Certaines machines sont équipées d'un robot qui prend la pièce éjectée et la dépose sur une presse qui découpe les attaques de coulée, les dégorgeoirs et les bavures qui peuvent exister.

5-2. Chantier de moulage.

Un chantier comprend plusieurs machines de type et de force de fermeture différents.

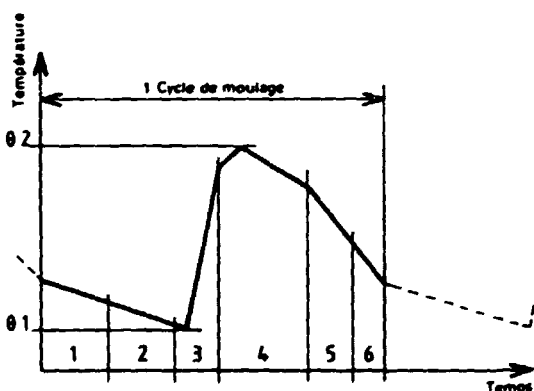
Une machine à chambre chaude a son four annexé au plateau côté injection. Ce four peut être à la fois de fusion et de maintien, pour les petites machines. Sinon il n'est que four de maintien alimenté régulièrement en alliage liquide provenant des fours de fusion.

Une machine à chambre froide est alimentée par un four de maintien placé à côté du système d'injection.

Sur certaines machines où de très grandes séries sont à effectuer, le cycle de moulage est entièrement automatique (v. page 168).

Cycle de fabrication :

- 1 Potavage
- 2 Fermeture
- 3 Injection
- 4 Solidification
- 5 Ouverture
- 6 Ejection



- Variation cyclique de température du moule à 1 mm de la surface de l'empreinte.
- $\theta_2 - \theta_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ à } 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ suivant les alliages et les pièces moulées.

MOULAGE EN MOULE PERMANENT (23/26)

(COULÉE SOUS BASSE PRESSION)

DÉFINITION (fig. 1 et 2)

Ce procédé est le plus récent des procédés de coulée en moules permanents.

Le moule est monté sur une machine spéciale qui permet la mise en mouvement des éléments mobiles. Un four étanche le maintient alimente le moule en alliage liquide.

Pour cela on soumet la surface du bain à une pression d'air de 0,1 à 0,2 bar qui pousse l'alliage de bas en haut. Le remplissage terminé on applique une surpression de masselottage de 0,4 à 0,5 bar.

Lorsqu'on supprime la pression, l'alliage liquide restant retombe dans le four et l'éjection de la pièce peut se faire.

CONDITIONS DE CHOIX DU PROCÉDÉ

Par rapport à la coulée en coquille et sous pression: ce procédé présente les caractéristiques essentielles suivantes :

- Les cadences de coulée sont plus élevées qu'en coquille gravité (le temps de remplissage du moule est compris entre 3 et 8 s.) d'où une plus grande productivité.
- Les caractéristiques mécaniques des alliages sont améliorées de 10 % environ et on peut traiter thermiquement les pièces.
- La précision dimensionnelle des pièces se rapproche de celle de la coulée sous pression (les conditions de remplissage et d'alimentation sont semblables à la coulée sous pression).
- La mise au mille est nettement moins élevée qu'en coquille. Elle est d'environ 1,3.
- L'investissement en machines est plus élevé qu'en coquille ainsi que le coût des outillages.

Ce procédé, en pleine expansion, est de plus en plus utilisé dans l'industrie automobile pour la fabrication de *culasse* en alliage d'aluminium (masse de 10 kg environ) ou de *carter* de transmission.

On peut considérer ce procédé comme une amélioration de la coulée par gravité.

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE INSTALLATION

Une installation comprend :

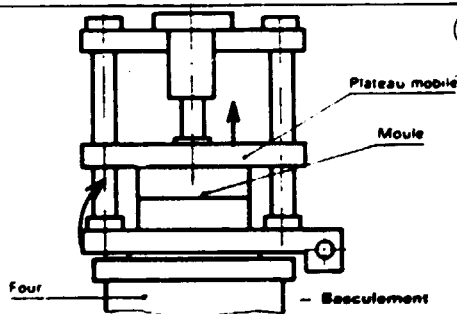
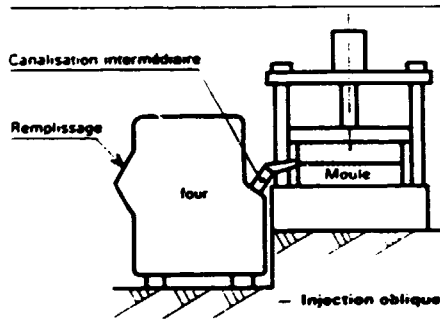
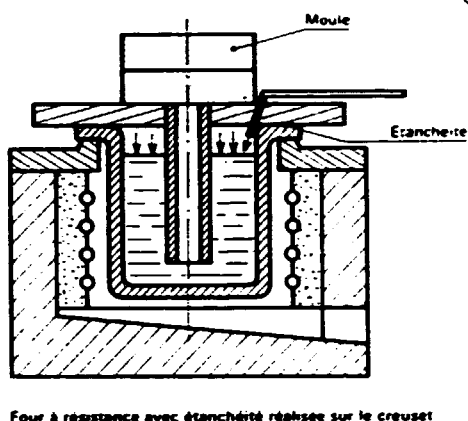
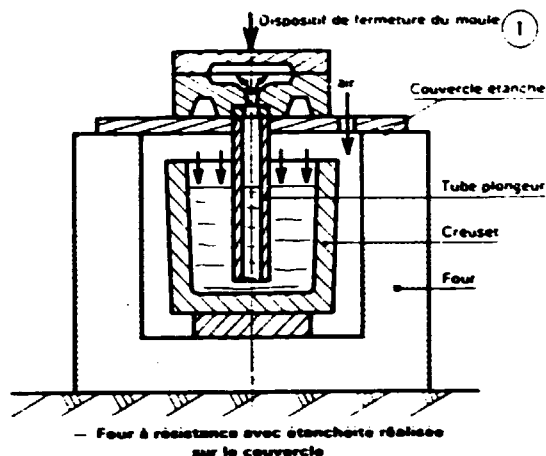
- Un four de maintien étanche,
- Une machine portant le moule,
- Un système d'injection,
- Un système de mise en pression,
- Un moule métallique ou semi-métallique.

1. Le four de maintien.

On utilise des fours à creuset en graphite chauffés électriquement : four à résistance, les fours à induction, sans creuset, sont utilisés pour des fabrications importantes et continues.

Quel que soit le type de four, celui-ci doit être étanche (pression intérieure pouvant atteindre 1 bar). Cette étanchéité est réalisée sur le creuset ou sur le four lui-même (fig. 1 et 2).

La capacité moyenne de ces fours est de 500 kg d'alliage d'aluminium



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (24/26)

(COULÉE SOUS BASSE PRESSION)

3-2. Machines

- Deux types de machines existent :
- les machines à injection verticale.
 - les machines à injection oblique.
- Elles sont caractérisées aussi par leur force de fermeture.

3-2-1. Machines à injection verticale (v. fig. 4, p. 95).

C'est le type le plus répandu et qui remonte à la création du procédé :

Le moule est directement placé au-dessus du four et il en résulte deux inconvénients :

La partie inférieure du moule est déséquilibrée thermiquement par rapport à la partie supérieure.

Les éléments mobiles et les éjecteurs ne peuvent être montés sur le moule inférieur car le four constitue un obstacle.

Le moulage de petites pièces aux formes simples est préférable sur ce type de machine.

Par contre ces machines sont très compactes.

La force de fermeture peut atteindre 200 kN.

3-2-2. Machines à injection oblique (v. fig. 3, p. 95).

Ce type de machine est de création récente (1972).

Le four est placé à côté de la machine et l'alliage est injecté par une canalisation intermédiaire réchauffée électriquement ou par des brûleurs à gaz.

Ces machines sont plus encombrantes que les précédentes.

Par contre toutes interventions sur l'alliage sont facilitées (affinage, désoxydation, etc.).

Les moules peuvent être plus complexes et comporter des éléments mobiles vers le bas.

La force de fermeture peut atteindre 300 kN.

3-2-3. Déplacement du moule.

Les déplacements relatifs du moule par rapport au four, en injection verticale peuvent être :

- un basculement (v. fig. 4 p. 95),
- une translation (v. fig. 1),
- une rotation (v. fig. 2).

Ces opérations sont nécessaires pour intervenir sur le creuset ou le four, ou pour changer et réparer les moules.

A noter que les machines à injection oblique sont à basculement.

3-3. Système d'injection.

Ce système est composé d'un tube plongeur et d'une buse appelée col d'alimentation qui assure la liaison entre tube et moule.

En outre la séparation entre métal liquide et solide se fait dans ce col.

Le tube est une pièce très sollicitée thermiquement et chimiquement.

Pour des raisons d'économie on a abandonné les matières très réfractaires mais chères (carbure de silicium, diborure de titane).

Les tubes sont en fonte grise moulée ou en acier étiré. Ils sont protégés toutes les 15 h à 20 h de fonctionnement, extérieurement et intérieurement.

La partie inférieure du tube est souvent amovible, car c'est la zone la plus sollicitée.

3-4. Système de mise en pression.

Le fluide de mise en pression est de l'air sec et dépoussiéré.

Un système programmable permet de contrôler l'opération de remplissage et d'alimentation du moule.

Cette opération comprend quatre phases :

- Remplissage rapide du tube jusqu'aux attaques de coulée du moule (1 à 2 s.).
- Remplissage lent du moule pour éviter turbulences et gouttes froides (5 s. en moyenne).
- Surpression de masselottage en fin de remplissage.
- Après solidification de la pièce, mise en dépression pour récupérer l'alliage liquide qui reste dans le haut du tube. (v. fig. 3).

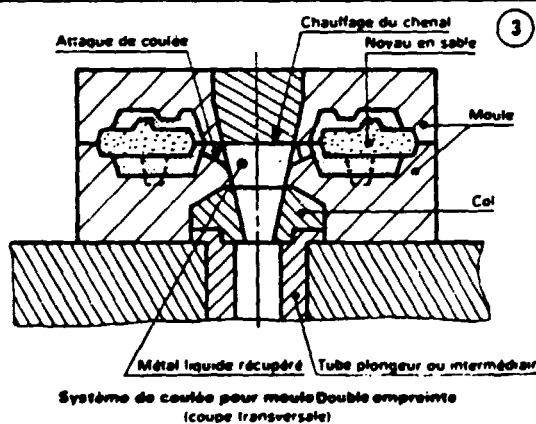
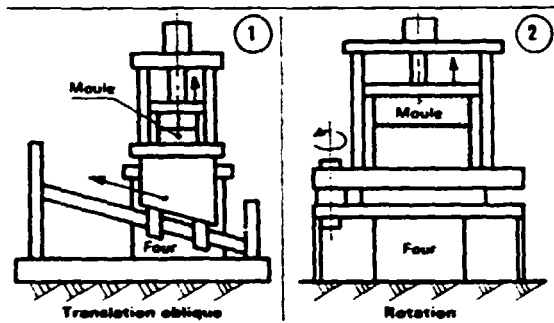
3-5. Le moule.

Le moule est composé des éléments suivants :

- Un bloc est bridé sur le plateau mobile de la machine.
- Un bloc est bridé sur la plateau fixe de la machine.
- Des noyaux métalliques et en sable aggloméré, fixes ou mobiles, complétant l'empreinte.
- Un système d'éjection, semblable à celui de la coulée sous pression, éjecte la pièce :
 - de bas en haut en injection oblique,
 - de haut en bas en injection verticale.
- Des canaux de refroidissement sont utilisés pour assurer l'équilibre thermique du moule.
- Des vérins hydrauliques assurent la mise en mouvement des éléments mobiles.

Les matériaux constitutifs utilisés sont la fonte perlitique pour les blocs, les aciers au chrome, pour les parties moulantes, le sable aggloméré pour certains noyaux.

Le moule est entièrement mécanisé et le cycle de fabrication est automatique.



MOULAGE EN MOULE PERMANENT (25/26) (CENTRIFUGATION)

NFA32-201 - A53-707

GÉNÉRALITÉS

La centrifugation en moules permanents est mise en œuvre avec un moule métallique ou en graphite.

Ainsi la même surface moulante permet la réalisation d'une centaine à plusieurs milliers de pièces.

Le moule est monté sur une machine à axe vertical, horizontal ou oblique.

Les accélérations appliquées à l'alliage coulé sont de plusieurs dizaines de g.

3. INTÉRÊTS DU PROCÉDÉ

Les caractéristiques de la centrifugation sont :

- La suppression de noyaux axiaux pour les pièces creuses de révolution.
- L'augmentation de la compacité de l'alliage.
- Une structure plus fine de l'alliage grâce au gradient de température important entre moule et alliage.
- La ségrégation centrale des éléments de faible masse volumique (oxydes, impuretés).
- La diminution de la mise au mille par la suppression presque systématique des systèmes de remplissage et d'alimentation.
- La réalisation, dans un même moule, de pièces en alliages composites centrifugés en couches successives. La couche précédente solidifiée sert alors de moule pour la suivante (bi-métal, multimétaux) et chaque alliage est employé spécifiquement en fonction de ses caractéristiques (v. fig. 1).

Il est à noter que le procédé offre peu d'intérêt pour les alliages à faible masse volumique : les vitesses de rotation du moule seraient nécessairement très et trop élevées.

MACHINES À CENTRIFUGER

Les efforts auxquels sont soumises ces machines sont très élevés. L'équilibrage des parties tournantes doit être parfait pour éviter les vibrations qui peuvent provoquer des criques dans la masse de l'alliage en cours de solidification.

3-1. Machines à axe vertical (v. fig. 3).

Un plateau tournant horizontal reçoit le moule qui est bridé sur celui-ci. Un capot de protection avec un trou central pour la coulée, coiffe l'ensemble. Un variateur de vitesse permet de régler l'accélération centrifuge suivant la pièce et l'alliage coulés.

3-2. Machines à axe horizontal (v. fig. 2).

Ces machines sont utilisées pour la centrifugation des tuyaux et tubes. Le moule est posé sur des galets dont certains sont moteurs. L'introduction de l'alliage se fait par une extrémité du moule.

3-3. Machines à axe incliné (v. fig. 4).

Ces machines sont utilisées pour la centrifugation de pièces creuses dont le diamètre est sensiblement égal à la longueur de la pièce alors que les pièces de grand diamètre sont coulées dans les machines à axe vertical.

L'inclinaison de l'axe de rotation est variable.

4. LES MOULES

4-1. Les moules métalliques.

Ces moules sont en acier moulé ou forgé, en fonte perlitique allié ou bien encore en cuivre pour une meilleure conductibilité thermique. Un enduit pulvérisé dans le moule avant la coulée (poteyage) protège celui-ci du contact direct de l'alliage.

Selon les dimensions et la cadence de production, le moule est refroidi extérieurement par air ou par aspersion d'eau.

Pour de grandes séries, la fabrication peut être automatisée.

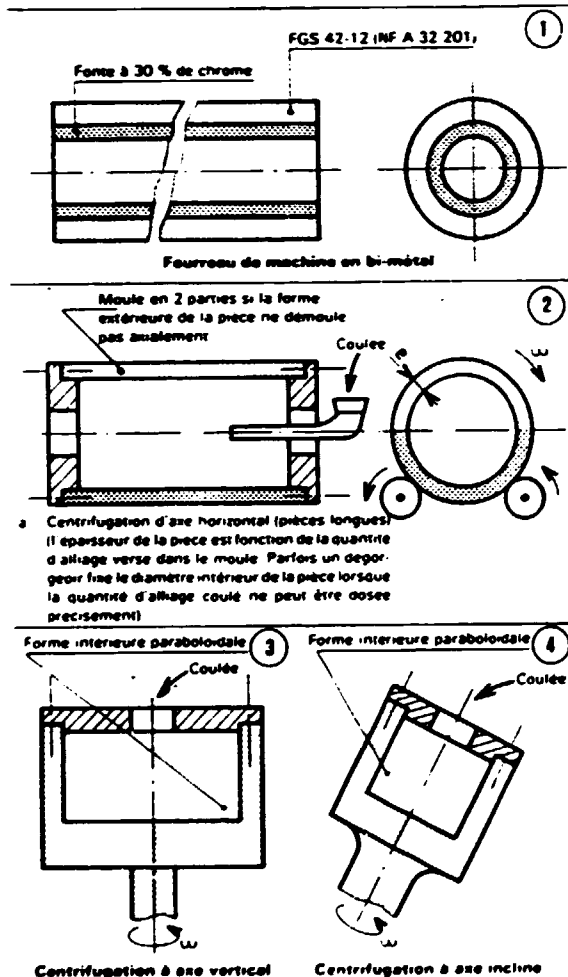
200 à 5.000 coulées peuvent être réalisées avec un même moule.

4-2. Les moules en graphite.

Ces moules usinés, sont placés dans une frette métallique. Ils présentent :

- une grande résistance aux chocs thermiques.
- une faible dilatation qui augmente la précision de la pièce moulée.

Ces moules sont d'un prix élevé et peuvent réaliser 50 à 200 coulées, selon la nature de l'alliage et le type de pièce centrifugée.



MOULAGE EN MOULES PERMANENTS (26/26) (COULÉE CONTINUE)

NF A53-707

1. GÉNÉRALITÉS

Cette technique, déjà utilisée en sidérurgie pour obtenir des produits longs, permet la réalisation de profils de sections planes ou creuses de forme très variée (v. fig. 1).

L'alliage en fusion contenu dans un four est admette, par gravité, dans une filière ou une coquille refroidie.

A la sortie, une couche solidifiée assure la tenue de l'ensemble, jusqu'à la fin de la solidification.

2. INSTALLATIONS

Une installation comprend :

- Un four de maintien,
 - Un moule métallique refroidi,
 - Un système de maintien et de traction du profilé.
- Cet ensemble peut être vertical, horizontal ou courbe (v. fig. 2).

Les deux dernières installations permettent de réduire la hauteur des infrastructures.

- Le four de maintien est fréquemment alimenté en alliage, afin de maintenir au-dessus du moule une hauteur à peu près constante d'alliage.
- Le moule est appelé coquille ou filière (v. fig. 3).

Il est en graphite aggloméré et usiné en acier ou en cuivre chromé pour la coulée continue de l'acier.

Plusieurs filières peuvent être montées sur un même four.

- A la sortie de la filière des galets soutiennent et guident le profilé déjà formé et régulent la vitesse d'extraction, afin de maintenir le front de solidification dans la filière.

Nota : Une surpression d'air ou de gaz inerte est parfois appliquée dans le four de maintien.

3. MISE EN OEUVRE

Les profilés formés sont extraits à vitesse constante, ou bien par à-coups, le front de solidification évoluant alors sur une hauteur de 20 à 80 mm dans la filière.

En plus du refroidissement primaire de la filière, un refroidissement secondaire du profilé augmente la vitesse de refroidissement. Il permet de régler la structure en homogénéisant les constituants formés (ségrégation limitée) et en augmentant la finesse de ces constituants, d'où un accroissement des caractéristiques mécaniques.

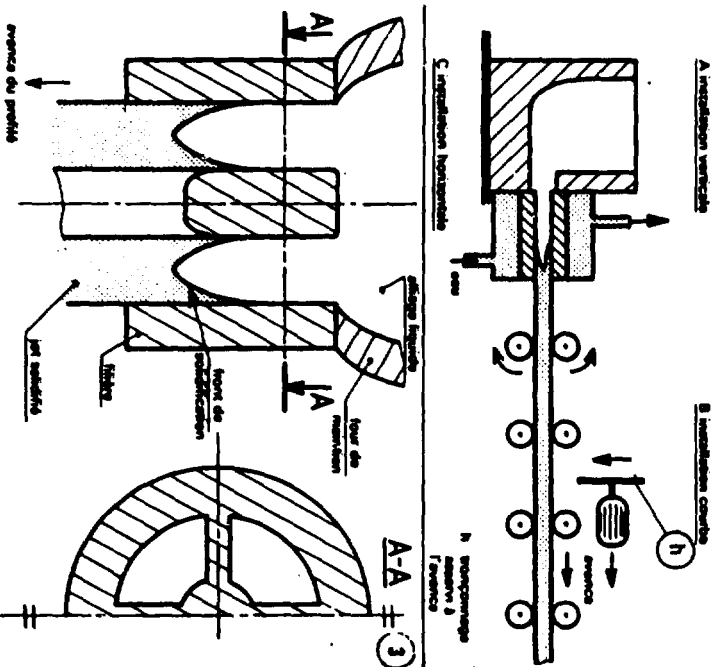
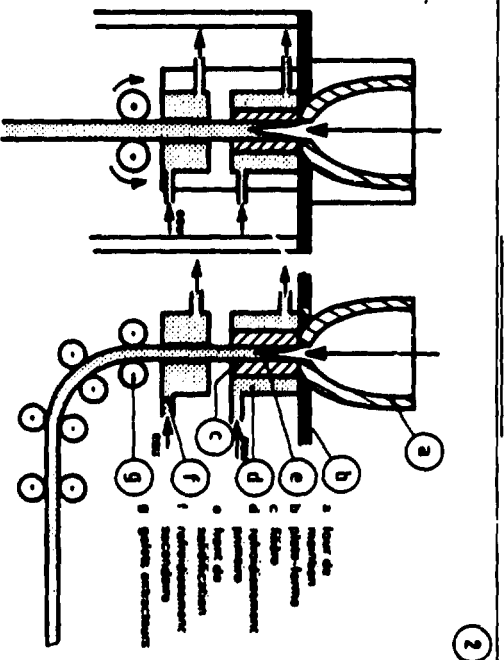
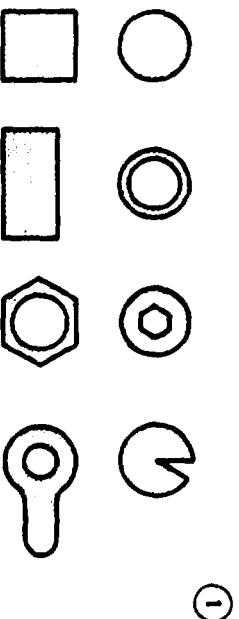
La section des profilés obtenus peut varier de $\varnothing 10$ à $\varnothing 400$ et toute forme de section équivalente.

Un tronçonnage en cours de production permet d'avoir les longueurs désirées jusqu'à 7 mètres (v. fig. 2h).

La vitesse de production est fonction de la nature des alliages, des dimensions et des formes de la section. Elle varie de 100 à 700 mm/min, selon les données.

Durée de vie d'une filière en graphite : jusqu'à 2t de bronze coulé.

Coquille en cuivre : jusqu'à 1500 t d'acier avant rechromage.



APPAREILS DE FUSION (1/8)

GENERALITÉS

Les fours de fusion de fonderie traitent des métaux déjà élaborés et provenant du traitement des minerais (v. fig. 1).

- Les métaux ferreux sont produits en sidérurgie.
- Les métaux non-ferreux sont obtenus par électrolyse, ou autre procédé électrique, et constituent l'électro-metallurgie.

Donc les fours de fonderie sont au moins des fours de 2^e fusion et permettent d'élaborer des alliages métalliques.

Le souci d'obtenir ces alliages présentant leurs caractéristiques de fonderie et mécaniques optimales, implique des conditions d'élaboration et de fusion rigoureuses.

Les appareils de fusion doivent permettre le respect de ces conditions. Leur choix en fonction du type d'alliage désiré, est déterminant.

Ainsi ces appareils doivent, en particulier :

- Réduire au maximum les risques d'oxydation et d'inclusion de gaz dans les alliages.
- Permettre le traitement métallurgique des alliages grâce à la régulation précise de la température et une homogénéité optimale de cette température dans l'enceinte du four.
- Consommer le minimum d'énergie (en particulier le calorifugeage doit être très efficace).
- Avoir une productivité la plus élevée possible.

2. LES FOURS DE FUSION

2-1. Le cubilot.

C'est un four vertical, du type à cuve, dans lequel les matériaux à fondre sont en contact direct avec le combustible.

C'est un appareil simple dont le rendement thermique est d'environ 40 %.

2-1-1. Description et dimensions (v. fig. 2).

Un cubilot est constitué des éléments suivants :

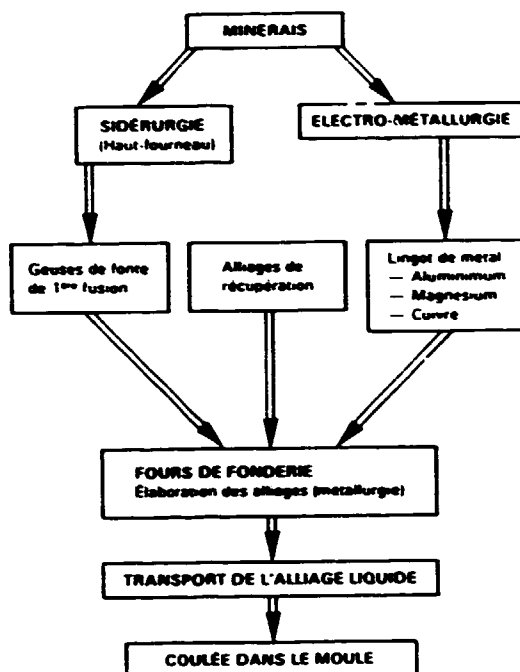
- Une virole en tôle d'acier formant une colonne cylindrique qui repose sur une plaque d'assise.
- Le gueulard qui est l'ouverture dans la virole, située à la partie supérieure de la colonne.
- Les tuyères situées à la base de la colonne. Elles amènent l'air à l'intérieur du cubilot pour la combustion du combustible.

Il existe les *tuyères jumelées auto-décrassantes*. Des morceaux de métal encore pâteux obturent parfois les tuyères. En obturant cette tuyère et en faisant passer l'air par l'autre tuyère, la tuyère encrassée se réchauffe et les matières infondues reviennent à l'état liquide (v. fig. 1 page 100).

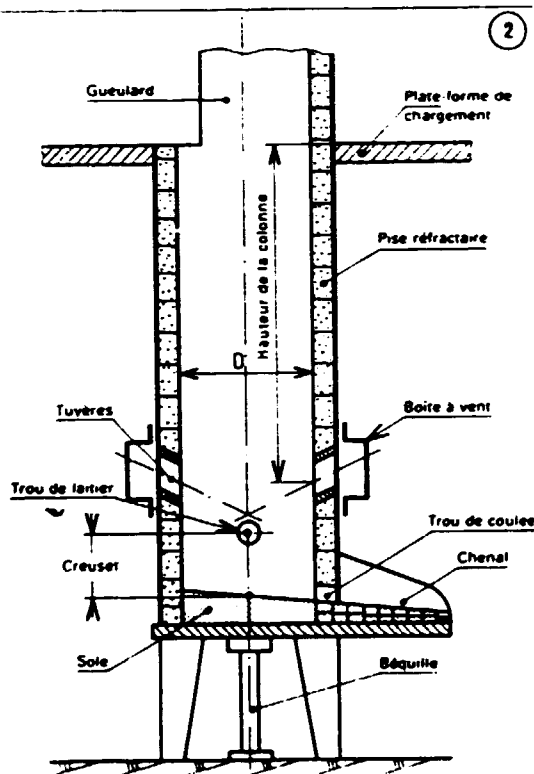
- La boîte à vent est un espace annulaire qui permet la répartition de l'air dans les tuyères. Des orifices, face aux tuyères disposés sur la boîte à vent permettent de suivre la fusion.

- Le creuset est situé à la base de la colonne. Il reçoit l'alliage liquide. On appelle hauteur du creuset la distance qui sépare la sole du trou de laitier.

La capacité du creuset est proportionnelle à cette dimension.



Position schématique des fours de fonderie dans l'élaboration des alliages métalliques



APPAREILS DE FUSION (2/8)

2-1-1. (Suite)

- Le trou de laitier. Cet orifice est situé sous les tuyères et permet l'évacuation du laitier qui surmarge le bain de fonte liquide dans le creuset. Son diamètre est d'environ 100 mm.
- La sole constitue le fond du creuset. Elle est en sable de moulage.
- Le trou de coulée est situé au niveau de la sole. Il est percé dans une brique réfractaire insérée dans le garnissage. Son diamètre est de l'ordre de 50 mm.
- Le chenal de coulée fait suite au trou de coulée. Il est constitué de tôle garnie de briques plates. Le chenal est en pente et le plus court possible pour réduire la chute de température de la fonte.
- le garnissage réfractaire est maintenu par la virole et l'ensemble constitue la colonne. Il est constitué de briques réfractaires de forme et réunies entre-elles au moyen d'un coulis réfractaire liquide. Un espace entre les briques permet leur dilatation. Celui-ci est garni de sable siliceux.

Les dimensions caractéristiques d'un cubilot sont le diamètre intérieur D et l'épaisseur du garnissage réfractaire E .

- Si p est la production horaire par dm^2 de surface de la zone de fusion, on a :

$$P \text{ horaire} = p \frac{\pi D^2}{4}$$

$p = 75 \text{ kg/dm}^2$ pour un cubilot à vent froid.

$$P \text{ horaire en kg} = 75 \frac{\pi D^2}{4} \approx 60 D^2$$

$$\text{et } D \text{ en dm} = \frac{\sqrt{p \text{ horaire en kg}}}{60}$$

- le garnissage est traversé par un flux de chaleur Q , en régime établi,

$$Q = \frac{\lambda}{E} \times \theta \text{ int.} - \theta \text{ ext.}$$

λ est le coefficient de conductibilité du garnissage.

E : épaisseur du garnissage.

$\theta \text{ int.}$: température intérieure : environ 1750°C .

$\theta \text{ ext.}$: température extérieure : environ 120°C .

Si le garnissage est trop épais il va s'échauffer, se ramollir et atteindre une épaisseur correspondant à son équilibre thermique. Cette épaisseur est de l'ordre de 170 mm.

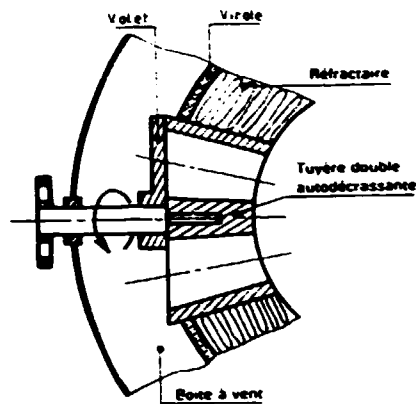
2-1-2. Types de cubilot.

- **Cubilot à avant-creuset.** Ce cubilot permet de maintenir une plus grande quantité de fonte liquide, entre deux piquées. D'autre part cette fonte n'est pas en contact du coke et ne se recarbone pas. Cet avant-creuset doit pouvoir contenir la production horaire de l'appareil. Le chenal de communication entre les deux creusets est le point faible de ce système (v. fig. 2).

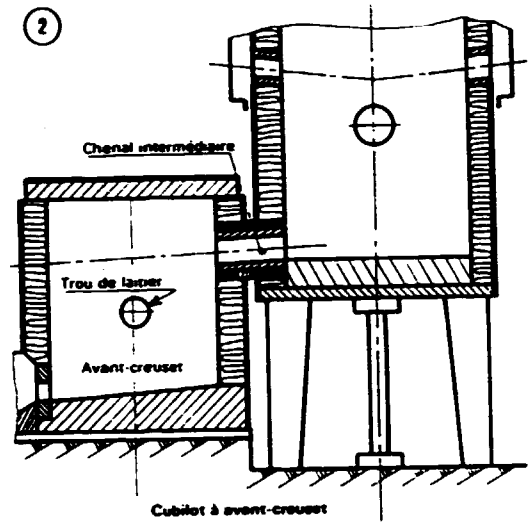
- **Cubilot à vent chaud.** Au lieu d'injecter par les tuyères un air à température ambiante (cubilot à vent froid) on injecte un air chauffé par un échangeur chauffé par les gaz chauds récupérés au gueulard. L'air chaud est à environ 400°C .

La zone de fusion est réduite d'où une usure moindre du garnissage.

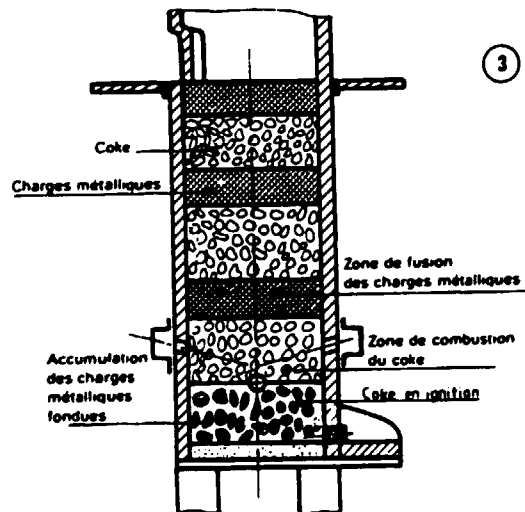
La production horaire est améliorée puisque $P = 75 D^2$, par contre le coût de l'installation est élevé.



Tuyère auto-dépassante



Cubilot à avant-creuset



Constitution des charges d'un cubilot

APPAREILS DE FUSION (3/8)

-1-3. Principe de fonctionnement.

Le combustible utilisé est le coke qui contient environ 88 % de carbone.

Les charges métalliques introduites permettent de recueillir au creuset de la fonte de 2^e fusion (v. p. 16).

La combustion du carbone du coke en présence de l'oxygène de l'air introduit par les tuyères fournit l'énergie calorifique nécessaire à la fusion des charges métalliques placées entre les charges de coke.

On peut considérer le fonctionnement d'un cubilot sous deux aspects :

a - Aspect thermique. (v. fig. 1).

Deux courbes fonctionnelles de température existent :

- La *courbe de température des gaz* qui délimite la zone de combustion du coke : $C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$ joules où il y a élévation de la température des gaz ; et la zone de diminution de température des gaz où $CO_2 + C$ (carbone du coke) $\rightarrow 2CO + Q$ joules.

La température des gaz baisse jusqu'au gueulard.

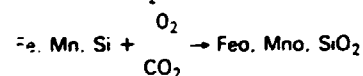
- La *courbe de température des charges métalliques* du gueulard à la sole, ces charges :

- s'échauffent au contact des gaz,
- passent dans la zone de fusion,
- traversent la pailleasse et s'échauffent encore,
- s'accablent dans le creuset où elles se refroidissent.

b - Aspect chimique :

Deux phénomènes se produisent :

- une *carburation* au contact du coke en ignition dans le creuset et la pailleasse.
- une *perte au feu* de certains composants (Fe, Si - Mn) au contact de l'oxygène de l'air, au niveau des tuyères et au contact du CO_2



1-2. Les fours à creuset.

Dans ces fours, le métal à fondre est contenu dans un creuset. Il se trouve ainsi protégé des flammes et des gaz de la combustion.

Les creusets sont :

- *en fonte ou en acier moulé* : Ils sont résistants et d'un prix peu élevé : ils peuvent être suspendus dans l'enceinte du four. Par contre ils doivent être potés régulièrement pour éviter toute action chimique de la part des alliages élaborés.
- *en graphite et en carborundum* : Ils sont réfractaires et leur conductibilité thermique est meilleure que les autres réfractaires.

Ils sont par contre fragiles, poreux et chers.

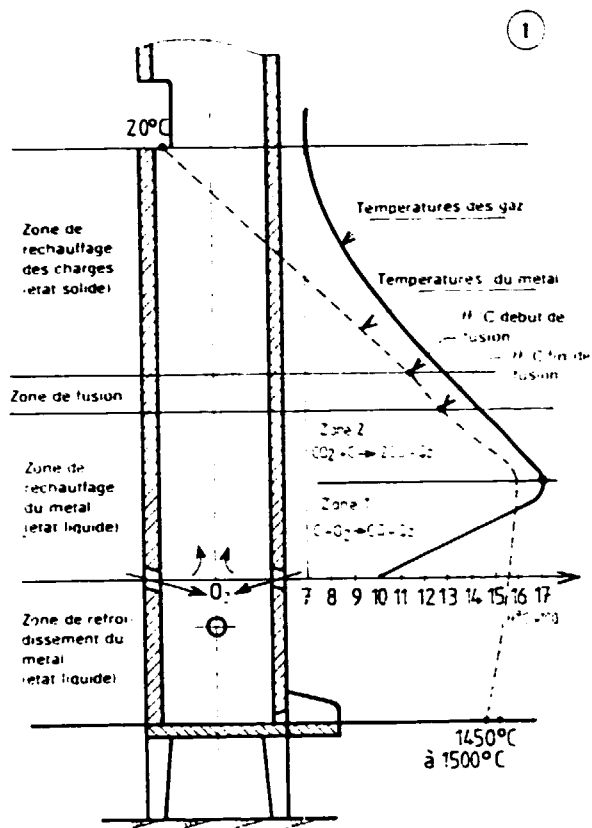
La forme générale des creusets est cylindrique mais le rapport entre la hauteur et le diamètre est variable suivant l'utilisation et le type d'alliage fondu.

1-2-1. Fours chauffés au mazout et au gaz (fig. 2)

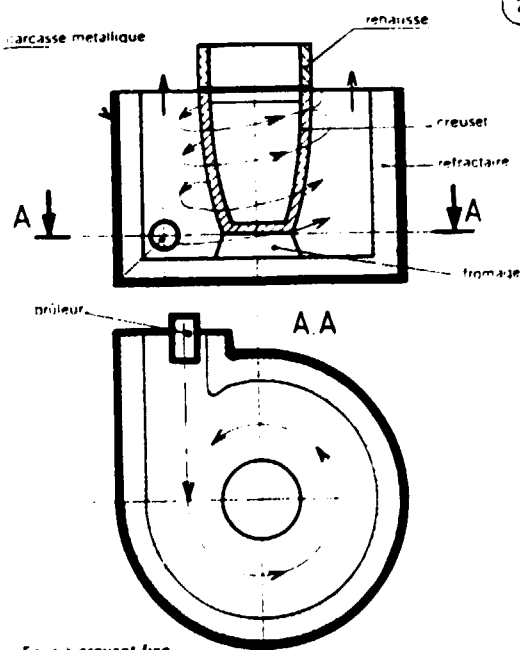
Une enceinte métallique maintient les matériaux réfractaires qui assurent le calorifugeage, et entourent le creuset.

Le brûleur, à gaz ou au mazout, doit avoir une position bien déterminée par rapport au creuset :

- La flamme du brûleur ne doit pas frapper le creuset afin d'éviter des points chauds locaux.



Aspect thermique du fonctionnement d'un cubilot à vent froid.



APPAREILS DE FUSION (4/8)

2-2-1. (Suite).

– La flamme doit être tangente au réfractaire de l'enceinte et le creuset est chauffé par convection et rayonnement du réfractaire.

D'autre part, le brûleur doit être incliné vers le haut pour éviter une accumulation de gaz dans le fond du four.

La flamme est soit oxydante, soit réductrice. La rehausse sert à maintenir la charge métallique pendant la fusion.

Leur capacité va de quelques kg à 500 kg.

Dans ce type de four il existe les fours fixes et les fours basculants.

2-2-2. Fours chauffés électriquement.

Les fours électriques présentent de nombreux avantages :

- pertes au feu réduites et constantes,
- obtention de hautes températures favorables pour amorcer les réactions chimiques d'affinage,
- risques d'oxydation et d'occlusion des gaz très diminués,
- régulation plus aisée de la température du bain.

2-2-2-1. Les fours à arc (v. fig. 1).

Ces fours sont composés :

- d'un creuset métallique garni d'un revêtement réfractaire généralement basique. Diamétralement opposés sont le bec de coulée et la porte de travail (chargement et décrassage),
- d'une voûte en briques réfractaires, mobile et comportant trois ouvertures pour le passage des électrodes,
- d'un dispositif de basculement pour coulée du métal ou évacuation des laitiers,
- de trois électrodes en graphite,
- d'un dispositif d'arrivée de courant et de régulation des électrodes pour équilibrage des phases pour un régime déterminé (v. fig. 2).

Les charges métalliques (composées de fonte liquide et de retours de fabrication) sont chauffées :

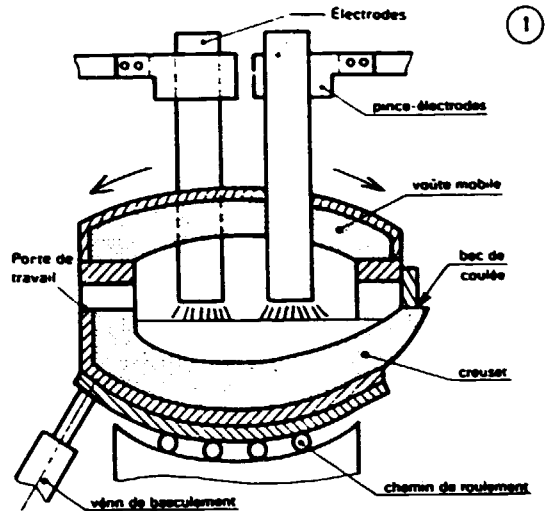
- par rayonnement de l'arc électrique,
- par échauffement direct dû au passage du courant dans la masse métallique,
- par convection et réverbération de la voûte.

Leur capacité peut atteindre 25 t d'acier liquide.

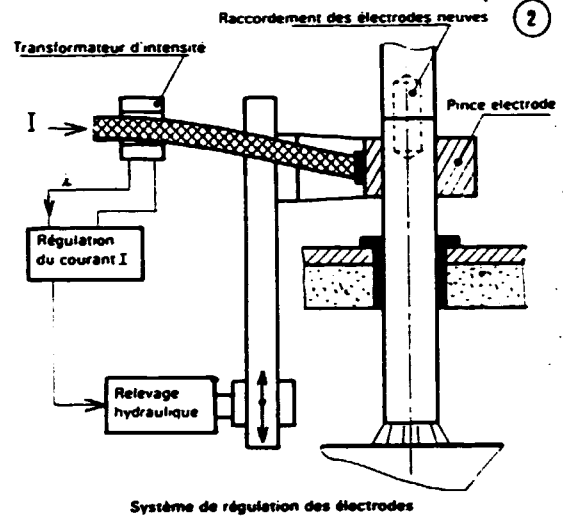
2-2-2-2. Les fours à induction.

Le chauffage par induction offre les avantages suivants :

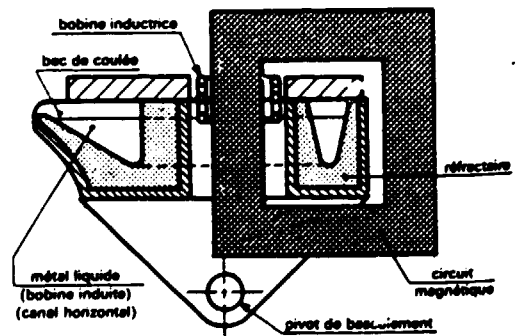
- Production directe de la chaleur dans la matière à chauffer : caractéristique remarquable qui le différencie de tous les autres modes de chauffage.
- Taux de puissance élevé dû à cette caractéristique.
- Obtention de très hautes températures (jusqu'à 3 000 °C).
- L'inertie thermique est faible puisqu'il n'y a que la matière à chauffer.
- La forme de la matière à chauffer est ramassée d'où une plus grande facilité de calorifugeage du four.
- Le réfractaire s'use moins vite car il est moins chaud.
- Fusion sous vide plus aisée et moins chère grâce à la forme compacte du four.
- Les capacités de ces fours vont de quelques kg à 25 tonnes.



Four à arcs type Héroult



Système de régulation des électrodes



Four à induction à canal horizontal

APPAREILS DE FUSION (5/8)

Les fours à induction sont conçus sur le principe suivant : si on fait circuler pendant un temps t , un courant I dans un conducteur de résistance électrique R , l'énergie dégagée dans ce conducteur a pour expression $W = RI^2t$. Cette énergie transformée en chaleur fait fondre la charge métallique qui constitue le conducteur.

En fait, on a la disposition de principe schématisée fig. 1.

On distingue deux types de fours à induction.

a. Fours à circuit magnétique fermé.

Ces fours fonctionnent comme un transformateur en court-circuit où la masse métallique représente la bobine induite.

• Le four à canal horizontal (fig. 3, p. 102) qui présente un rendement global de l'ordre de 65 %.

Communs à tous les fours à induction, deux phénomènes interviennent. Ce sont les effets de brassage et de pincement.

Le brassage est le résultat de l'opposition entre le courant primaire (bobine inductrice) et le courant secondaire (bobine induite). A ceci s'ajoute un effet thermo-siphon : la surface du bain est plus froide que l'intérieur du bain d'où établissement de courants de convection (v. fig. 2).

Ce brassage automatique du bain est favorable à son homogénéisation.

Le pincement est une contraction de la veine de métal liquide pouvant aller jusqu'à la rupture : les courants, de même sens, qui parcourent cette veine liquide font que les conducteurs électriques que constitue cette veine liquide l'attirent et provoquent une contraction. Celle-ci est proportionnelle à l'intensité du courant et inversement proportionnelle à la densité de l'alliage à fondre.

Ces fours ne peuvent fondre que des alliages à densité élevée et nécessitent un pied de bain (réserve de métal minimum permettant le fonctionnement).

• Le four à canal submergé (fig. 3 et 4).

Ce four présente les avantages suivants par rapport au four précédent.

Réduction de l'effet de pincement :

La pression métallostatique résultant de la position de la chambre par rapport au canal, supprime pratiquement ce défaut.

Le facteur de puissance du secondaire est plus élevé.

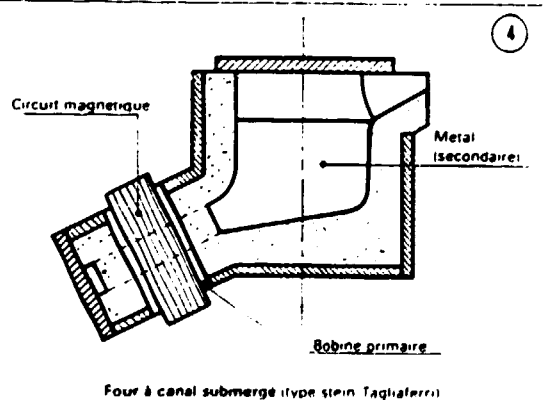
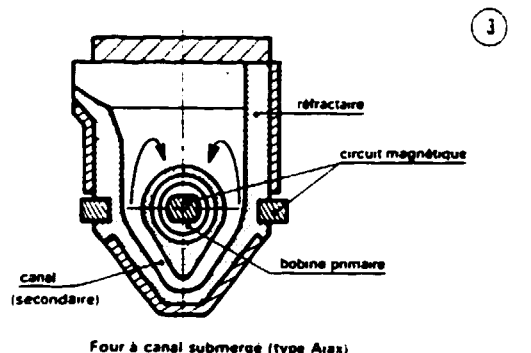
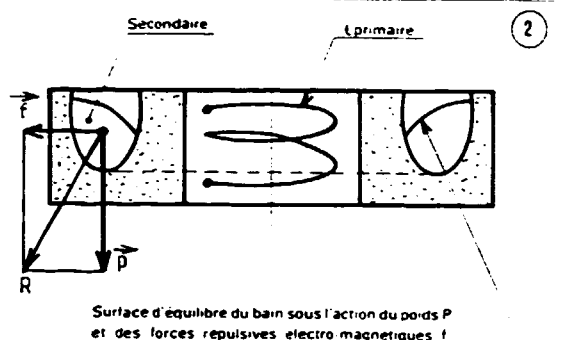
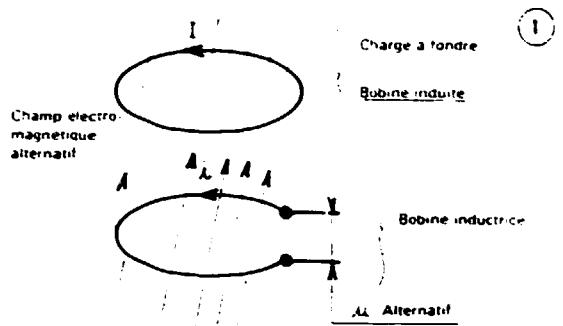
Le rendement global est plus grand, grâce à la forme plus compacte du canal.

L'effet de brassage existe toujours et favorise, grâce à la forme en V du canal, l'homogénéisation du bain liquide.

Tous les alliages peuvent être élaborés dans ces fours.

Le démarrage de ces fours s'effectue avec une réserve de métal liquide dans le canal secondaire. Il est possible, toutefois, d'amorcer la fusion avec une charge solide à condition que les circuits magnétique et électrique soient fermés.

Ces fours sont basculants. Ils basculent autour de leur centre de gravité ou du bec de coulée.



APPAREILS DE FUSION (6/8)

b. Fours sans circuit magnétique fermé.

La charge métallique à fondre est placée au centre d'une bobine inductrice. Le courant induit I dans la charge chauffe celle-ci et la fusion est obtenue (v. fig. 1 et 2).

– *Caractéristiques de fonctionnement :*

Le courant I se concentre en fait à la surface des masses métalliques (effet de peau ou effet Kelvin).

Les grandeurs qui interviennent pour obtenir $W = RI^2t$ maxi sont :

- la fréquence φ d'alimentation du courant.
- la perméabilité magnétique μ de la charge.
- la résistivité ρ de la charge.

Ainsi pour un diamètre d d'un bloc massif à fondre (d est alors égal au diamètre du four) on démontre que :

$$\varphi_{\text{mini}} > \frac{100 \rho}{\pi \mu d^2} \quad (1)$$

Par exemple, pour fondre un bloc de $\varnothing = d$

- en cuivre ($\rho = 1,7 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$) $\varphi > 160 \text{ Hz}$
- en acier ($\rho = 10,7 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$) $\varphi > 1100 \text{ Hz}$
- en graphite ($\rho = 10,7 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$) $\varphi > 6500 \text{ Hz}$

En réalité, la charge à fondre est constituée de morceaux de petite taille d . Il s'ensuit (voir (1)) que φ_{mini} sera d'autant plus grande que les morceaux à fondre seront petits.

- Le rendement global est très bon : 80 à 85 %.
- Le brassage existe toujours et homogénéise le bain d'alliage en fusion.

Il existe les fours à moyenne fréquence (M.F.) ou $\varphi = 10.000 \text{ Hz}$ à 20.000 Hz .

On peut fondre un grand nombre d'alliages dans ces fours (acier, cuivre, aluminium...).

2-3. Les fours rotatifs ou oscillants.

Ces fours permettent l'élaboration d'alliages spéciaux grâce aux hautes températures atteintes et au brassage du métal.

Ce brassage permet l'homogénéisation du bain et favorise l'évacuation des gaz.

La fusion est rapide grâce à la faible inertie thermique de ces fours et à leur rotation qui accélère les échanges thermiques.

On distingue :

2-3-1. Les fours à flamme (v. fig. 3).

– *Dispositions constructives.*

La virole métallique cylindrique, garnie d'un réfractaire, se termine par deux troncs de cône.

A une extrémité un brûleur introduit l'air et le combustible (charbon pulvérisé, mazout, huile, gaz).

L'air introduit peut être à température ambiante (air froid) ou à température élevée (air chaud) qui est atteinte par passage dans un récupérateur des gaz brûlés.

Air froid pour alliage à point de fusion relativement bas (bronze 1 200 °C).

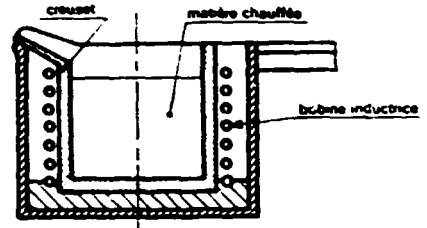
Air chaud pour aciers et fonte (1 650 °C – 1 500 °C).

Le changement se fait par le gueulard mobile ou par l'orifice du brûleur après dégagement de celui-ci.

La virole porte deux chemins de roulement.

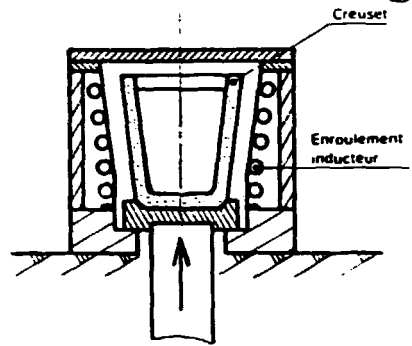
Certains fours sont basculants pour faciliter le chargement.

(1)

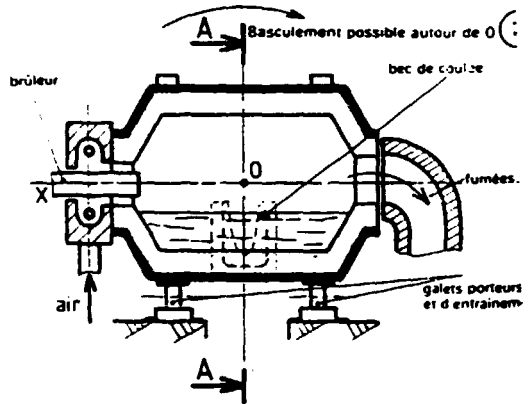


Four sans circuit magnétique fermé (schéma)

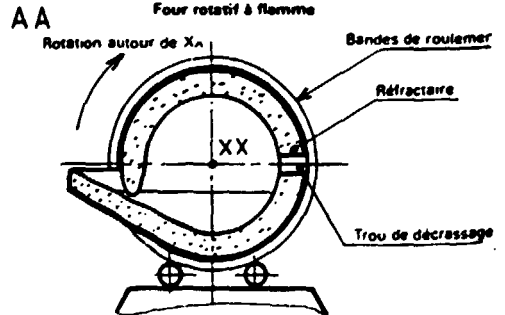
(2)



Four à induction M.F. avec éjection verticale du creuset.



Four rotatif à flamme



APPAREILS DE FUSION (7/8)

Fonctionnement

La charge s'échauffe rapidement puisque par la rotation, elle présente toute sa surface à la flamme.

Les premières gouttes de métal liquide se rassemblent sur une sole plus chaude qu'elles.

La fusion s'accélère grâce au mouvement relatif qui existe entre le réfractaire surchauffé et le métal : après rotation, la zone très chaude du réfractaire se trouve placée sous le bain.

L'usure du réfractaire est sensiblement uniforme.

3-3-2. Les fours électriques (v. fig. 1 et 2).

On distingue :

– Les fours à résistance rayonnante (v. fig. 1) où l'électrode en graphite est placée dans l'axe d'une cuve cylindrique, garnie d'un réfractaire. Les portes électrode sont refroidies par eau. La consommation d'électrode est importante.

Le chauffage de la charge se fait par convection et rayonnement et conduction (réfractaire-métal).

Le rendement est élevé et on peut fondre en atmosphère neutre (pas de présence de flamme).

Par contre, l'usure rapide de l'électrode nécessite une régulation de la tension.

Le chargement ne peut se faire que l'électrode enlevée. Les opérations métallurgiques sont très difficiles car il faut enlever l'électrode qui brûle rapidement à l'air.

La capacité de ces fours est faible (500 kg).

– Les fours à arc libre (v. fig. 2 et 3).

L'arc jaillit entre deux ou trois électrodes en graphite placées à l'intérieur d'une cuve cylindrique. C'est la chaleur dégagée par cet arc qui permet le chauffage et la fusion des charges métalliques.

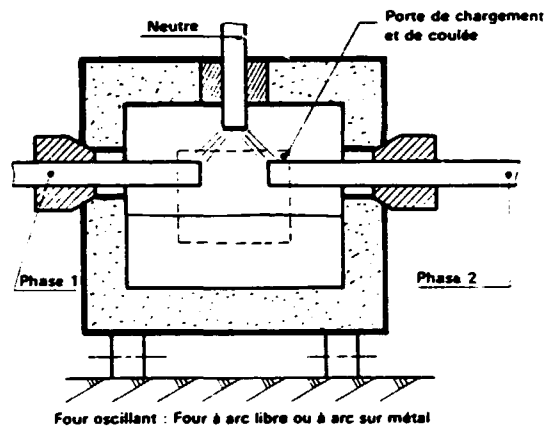
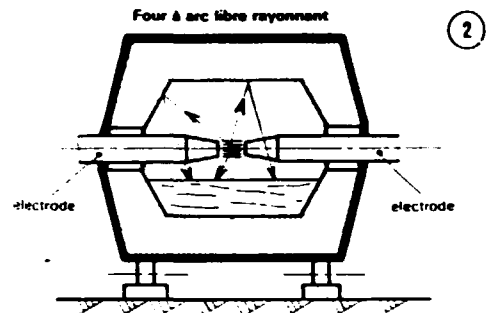
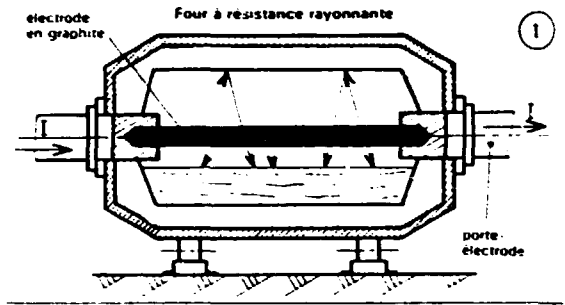
La chambre de fusion est plus courte que dans les autres fours de ce type car la source de chaleur est plus concentrée.

Le chauffage se fait par rayonnement et conduction entre réfractaire et métal.

Il faut compenser l'usure des électrodes par un système d'avance qui maintient la charge électrique constante (ce système est coûteux)

L'usure du garnissage est rapide.

Ce type de four (comme tous les fours à arc) est bruyant.



Alliages de fonderie		Fours de fusion						
		A cuve		A creuset		Rotatifs ou oscillants		
		Le Cubilot	Au mazout à gaz	A arc électrique	A induction		A flamme	Electrique
			B.F.	M.F. et H.F.				
Aciers de moulage				●	●	●		●
Fontes	Grises	●					●	●
	Spéciales			●	●	●	●	●
D'aluminium et de magnésium			●		●			
De cuivre	Laiton		●		●	●		
	Bronze					●	●	●
Capacité des fours		Jusqu'à 20 t/h	Jusqu'à 5 t	Jusqu'à 25 t	Jusqu'à 25 t		Jusqu'à 10 t	

3. TRANSFERT DE L'ALLIAGE LIQUIDE

Tous les alliages subissent une baisse de température pendant leur transport du four de fusion aux moules à couler.

La baisse de température se fait aux différentes étapes du transport de l'alliage liquide :

- à la sortie du four de fusion,
- dans le récipient qui reçoit l'alliage,
- pendant le transfert du récipient au poste de coulée,
- pendant la coulée même dans le moule.

Ainsi, la baisse de température d'une fonte, peut atteindre une centaine de degrés C.

Il faut donc faire subir le minimum de manutention à l'alliage et les récipients utilisés doivent être aussi chauds que possible, au moment de leur remplissage.

Le transport de l'alliage liquide peut se faire de deux manières.

3-1. Transport au creuset.

Le creuset qui a servi à la fusion sera sorti du four et transporté au poste de coulée.

On évite ainsi un transvasement et le creuset (c'est-à-dire le récipient) est très chaud.

Cette méthode n'est utilisée que pour de petites quantités de métal.

La manutention du creuset est faite à l'aide de *tenailles*, de *happes à main articulées*, de *brancards* (v. fig. 1).

De nombreuses précautions sont à prendre pour éviter la destruction du creuset surchauffé.

3-2. Transport à la poche.

Une poche est un récipient dans lequel est transvasé l'alliage du four, pour son transport au poste de coulée.

3-2-1. Description d'une poche (fig. 3).

Une poche est constituée d'une enveloppe de tôle, garnie intérieurement d'un réfractaire.

La forme générale est celle d'un tronc de cône.

Elle porte des axes de rotation pour son basculement lors du transvasement de métal.

L'épaisseur de cette enveloppe varie de 10 mm à 25 mm suivant la capacité des poches (5 t à 60 t d'alliages de fer).

Le garnissage réfractaire est soit :

- Un mélange de sable silicieux et de poussier de coke.
- Un revêtement en briques réfractaires de forme.

3-2-2. Différents types de poche.

- Poches à manche.

Ces poches d'une contenance de 5 à 25 kg sont manœuvrées et transportées par un seul homme.

Un manche de 1 m à 1,50 m permet la prise de la poche, grâce à un collier et sa manœuvre grâce à une poignée.

- Poches à brancard.

La contenance peut atteindre 500 kg.

Le brancard peut être *simple* ou *double*, suivant qu'il comporte à ses extrémités deux fourches que peuvent tenir deux hommes.

La poche est tenue par un collier central.

Les poches de grande capacité (plus de 500 kg) peuvent être déplacées sur un chariot avec leur brancard. Ces poches sont basculantes sur le chariot.

- Poches à balancier.

Les poches portent une ceinture en acier avec tounillons. Ceux-ci sont montés dans des paliers portés par un balancier accroché au pont roulant.

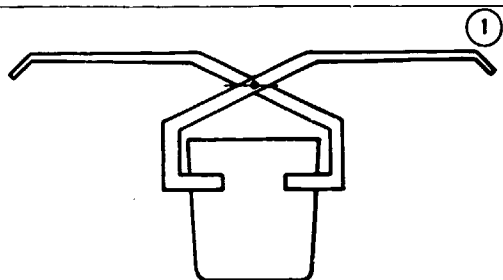
La manœuvre de basculement de ces poches peut se faire par un brancard par une fourche montée en bout des tounillons, par un volant mettant en mouvement un mécanisme à engrenages.

- *Poches tambour*. De très grande capacité (10 tonnes d'alliages de fer), elles sont transportées sur chariot ou par pont roulant.

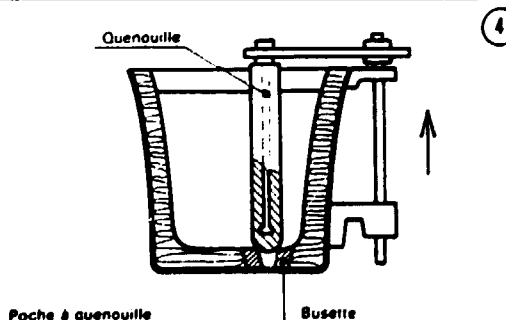
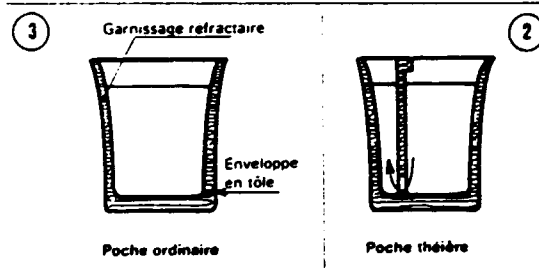
Quel que soit le type de poche, on trouve des dispositions constructives, permettant le décrassage du métal avant la coulée.

Les *poches théières* portent un barrage vertical qui descend très bas dans la poche (fig. 2).

Les *poches à quenouille*. Le fond de ces poches porte un orifice, obturé ou découvert à volonté, par un clapet réfractaire fixé à l'extrémité d'une tige métallique de manœuvre. C'est cet ensemble qu'on appelle quenouille. Ces poches n'ont pas à être basculées. Le métal coulé est plus chaud et très propre. Par contre, le réglage du débit n'est pas possible (v. fig. 4).



Transport d'un creuset avec happe articulée



Poche à quenouille

Busette

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (1/20)

GÉNÉRALITÉS (1/2)

ALLIAGES FERREUX

Alliages dont la teneur en fer est d'au moins 50 % et comportant généralement du carbone en plus d'éléments d'addition en quantité variable (silicium, manganèse, etc.).

Selon la teneur en carbone on distingue les aciers moulés et les fontes (diag. 2). Au-delà d'une teneur en éléments d'addition, obtention des aciers alliés moulés et des fontes alliées.

LE CARBONE

Même à faible teneur, le carbone a une importance primordiale dans les alliages ferreux :

- phénomènes liés à la vitesse de refroidissement de l'alliage dans le moule (tab. 1) ou lors de traitements thermiques (p. 120)
- solubilité du carbone dans le fer variable avec la température
- possibilité d'avoir soit du carbone à l'état combiné (Fe₃C soit à l'état libre sous forme de graphite (voir formes du graphite p. 118)
- obtention de structures de trempe bainitique ou martensitique

Il permet une très grande variété d'alliages selon les propriétés recherchées.

- Aciers : aciers hypoeutectoides C < 0,8 % C
- aciers eutectoides C = 0,8 % C
- aciers hypereutectoides C > 0,8 % C

Fontes : elles se présentent comme des alliages dont la matrice est celle d'un acier avec en plus soit des carbures soit du graphite. La structure étant fonction

- du % carbone
- de la vitesse de refroidissement de la pièce (épaisseur de la pièce et nature du moule) (tab. 2)

3. ALLIAGES INDUSTRIELS

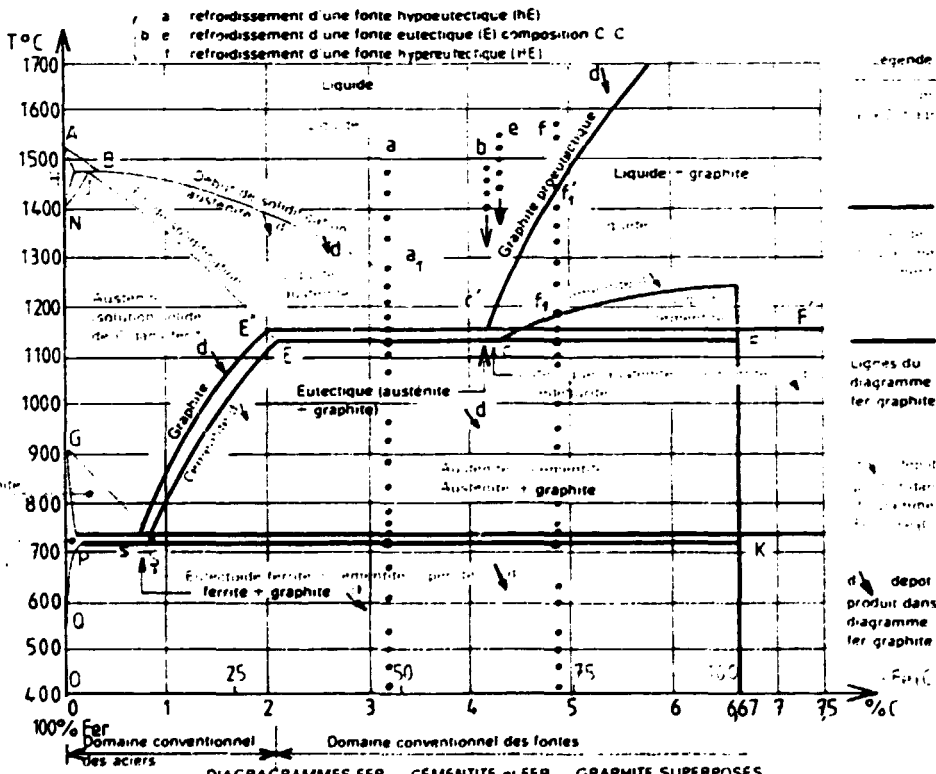
En plus du fer et du carbone les alliages ferreux contiennent des éléments en teneurs variables influençant les phénomènes de solidification (accroissement de la graphitisation par exemple) et les transformations à l'état solide (ex : fontes et aciers austénitiques)

Nota : Les diagrammes théoriques Fer-Graphite et Fer-cémentite sont une aide à la compréhension des phénomènes, mais sont insuffisants pour l'étude d'alliages industriels (nombreux éléments) et la considération de la vitesse réelle de refroidissement

Nature des phases selon θ	Vitesse de refroidissement de l'alliage dans le moule								
	Rapide			Moyenne			Lente		
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
Liquide	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉
liquide + solide	debut H ₁ E ₁	debut H ₂ E ₂	debut H ₃ E ₃	identique H ₄ E ₄	debut H ₅ E ₅	debut H ₆ E ₆	identique H ₇ E ₇ mais % différent	identique H ₈ E ₈ mais % différent	identique H ₉ E ₉ mais % différent
solide	Diminution de la solubilité du carbone dans Fe ₃ C								
Trans-formation à l'état solide	transformation de δ à 0,8 % C en ε						à 0,8 % C		
type de fonte	de H ₁ à H ₃ : H ₁ *** Cémentite + perlite (fonte blanche)			de H ₄ à H ₆ : H ₄ *** Graphite*** + perlite (fonte perlitique)			de H ₇ à H ₉ : H ₇ *** Graphite*** + ferrite (fonte ferritique)		

E : dépôt d'eutectique $\gamma + Fe_3C$
 F : dépôt d'austénite
 Fe₃C : dépôt de cémentite
 E : dépôt d'eutectoides
 F : dépôt de ferrite

G : dépôt de graphite
 * : passage au diag Fe-Fe₃C entre H₁ et H₂ selon vitesse de refroidissement
 ** : lamellaire ou sphéroïdal
 *** : obtention de bainite/martensite selon les conditions de refroidissement et l'addition d'éléments Ni, Mn, Cr



Legende (2)

--- Lignes du diagramme fer-graphite
 --- Lignes du diagramme fer-cémentite
 d : dépôt de produit dans le diagramme fer-graphite

DIAGRAMMES FER - CÉMENTITE et FER - GRAPHITE SUPERPOSES

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (2/20)

GÉNÉRALITÉS (2/2)

4 LES CONSTITUANTS DES ALLIAGES FERREUX

Après solidification et refroidissement à l'état solide, la cinétique de refroidissement de la pièce dans le moule, ou de la pièce au cours d'un cycle de traitement thermique produit différents constituants recherchés en raison de leurs propriétés spécifiques.

La lecture des diagrammes d'équilibre (p. 107), d'abaques prenant en compte les épaisseurs des pièces et la composition chimique (fig. 1), ou les variations de composition pour une même épaisseur (fig. 2), ou les courbes de traitement thermique (p. 126), indique séparément ou à la fois, les températures, les époques, ou les domaines de formation, les proportions des différents constituants les constituants fer-carbone : ils sont communs aux fontes et aux aciers, la différence venant des proportions respectives et de l'absence de graphite dans les aciers*

Austénite : solution solide d'insertion de carbone dans le fer (système cubique à face centrée) dont la solubilité du carbone décroît avec la température. En dessous de la ligne GS du diagramme (p. 107) l'austénite donne différents produits de transformation, stables ou hors d'équilibre selon la vitesse de refroidissement de la pièce dans le moule, ou de la pièce traitée thermiquement. Des éléments d'alliage déforment le domaine austénitique Fe-C théorique. Propriétés : R = 900 MPa ; dureté : 300 HB.

Cémentite : composé défini Fe₃C (6.67 % C), elle peut se former à différents stades du refroidissement selon la teneur en carbone de l'alliage et la cinétique de refroidissement. Transformation possible en austénite (acier) ou austénite + graphite (fonte) par traitements thermiques : Al et Si accélèrent la décomposition. Cr, Mo, la retardent. Rt de 180 à 200 MPa ; dureté 700 à 800 HB ; allongement et résilience très faibles.

Ferrite : solution solide de fer α (cubique centré) et de carbone à 0.02 % max avec d'autres éléments dans les alliages industriels dont le plus fréquent est le silicium (jusqu'à 10 %) qui modifie notablement les caractéristiques mécaniques de la ferrite.

ferrite à 0 % Si : Rt = 260 MPa, Al = 60 % HB = 70
à 1 % Si : 350 50 90
à 3 % Si : 500 30 140

Perlite : eutectode (agrigat biphasé) de teneur 0.8 % C forme de lamelles de ferrite et de cémentite en alternance (volume ferrite > 7 volumes cémentite). Les caractéristiques mécaniques varient avec la finesse de la perlite (distance entre 2 lamelles consécutives de cémentite) : 200 HB pour une distance de 0.4 μ m à 300 HB pour $\lambda = 0.25 \mu$ m.

Des éléments affinent la perlite (v. p. 116 fig. 2).

Constituants hors d'équilibre : constituants de trempe bainite et martensite (v. p. 85 à 88).

Autres constituants : ils proviennent principalement de combinaisons formées avec le manganèse, le soufre, le phosphore

- Mn + S \rightarrow MnS formant des inclusions sans incidence sur les propriétés mécaniques (v. fonte à graphite lamellaire p. 111).
- le phosphore à une teneur > 0.3 % forme un eutectique phosphoreux (fusion et solidification à 953 °C) pouvant créer des porosités (solution de continuité dans la matrice). Toutefois il peut être recherché en raison de sa grande dureté (fontes résistant à l'usure), mais diminue de la résilience.
- éléments à très faible teneur : il peuvent avoir un effet par le cumul des teneurs (v. fontes G.S p. 114).

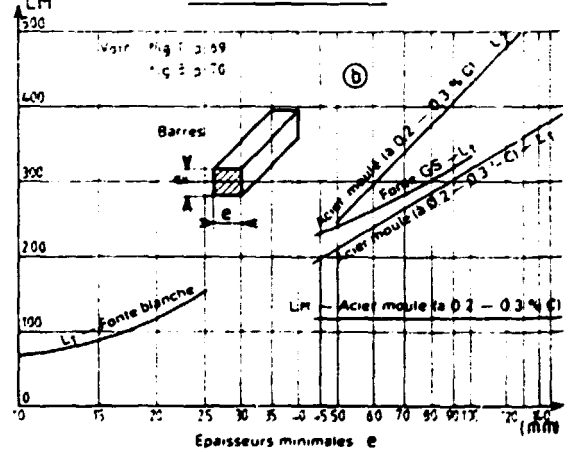
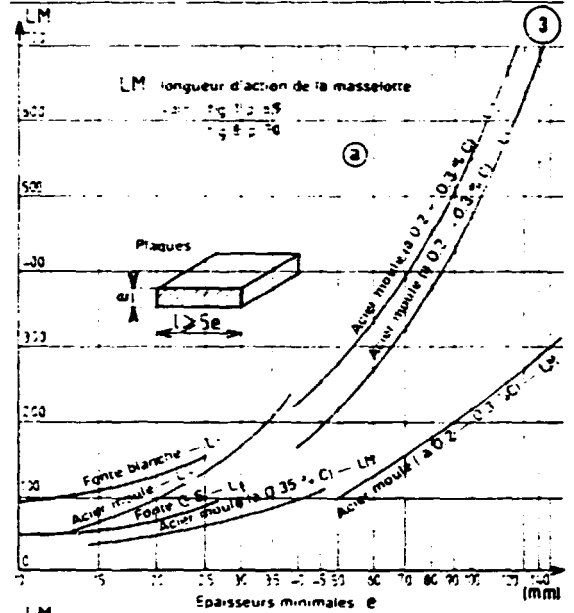
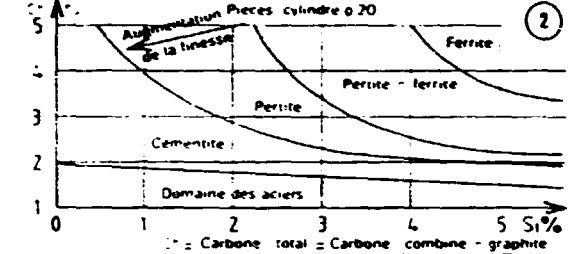
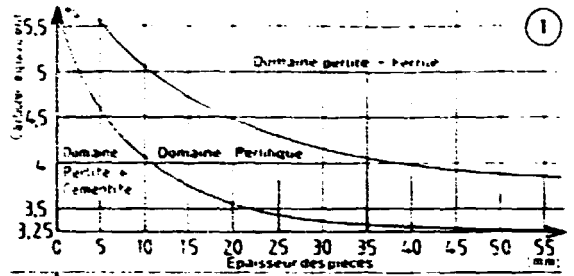
TEMPERATURE DE COULÉE

Elle est définie à partir de la température de début de solidification sur le diagramme fer-carbone (p. 107) qui est majorée d'une surchauffe tenant compte des moyens de fusion et des conditions de remplissage de l'empreinte (complexité du moule, épaisseur des pièces).

ALIMENTATION DES EMPREINTES DURANT LA SOLIDIFICATION

Les diagrammes 3a et 3b donnent les longueurs d'actions de masselotte afin de disposer la masselottage donnant la plus grande compacité économique aux pièces moulées.

* Dans les fontes à carbures également, mais leur haute teneur en carbone forme d'autres constituants carbures.



LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (3/20)

LES PIÈCES EN ACIERS MOULÉS (1/2)

GENERALITES

Les aciers moulés sont classés habituellement en fonction de leur condition d'utilisation (v. nomenclature et désignation p. 6 à 13). La température élevée de la coulée de l'alliage dans le moule, nécessite des matériaux appropriés.

La forte contraction de solidification nécessite un tracé correct de la pièce afin de diriger la solidification vers les masselottes. Une série de contrôles sont nécessaires afin de s'assurer de la qualité du produit moulé.

TRACÉ DES PIÈCES (v. p. 24 à 33).

CHOIX DE L'ALLIAGE

Une grande variété de nuances (p. 9 à 13 et 21) avec traitements thermiques possibles (p. 120) permet de satisfaire le cahier des charges de la pièce (fig. 1a et 1b).

ELABORATION DE L'ALLIAGE

-1. A partir de fonte liquide provenant de hauts-fourneaux par décarburation et oxydation des éléments autres que le fer dans des convertisseurs à soufflage d'oxygène, la composition visée est obtenue par addition d'éléments d'alliage.

-2. A partir de charges solides de provenance connue et composées d'alliage neuf, de retours de fabrication, de ferrailles de récupération, fondues dans des fours électriques à arc ou à induction, par bombardement d'électrons, sous l'air électro-conducteur.

Une analyse spectrométrique faite avant coulée permet la correction d'analyse.

CONCEPTION DU MOULE

La recherche de la compacité maximale de la pièce nécessite une solidification orientée de l'alliage : emploi de masselottes, refroidisseurs, modification du tracé de la pièce avec des surépaisseurs d'alimentation (fig. 2 et 3).

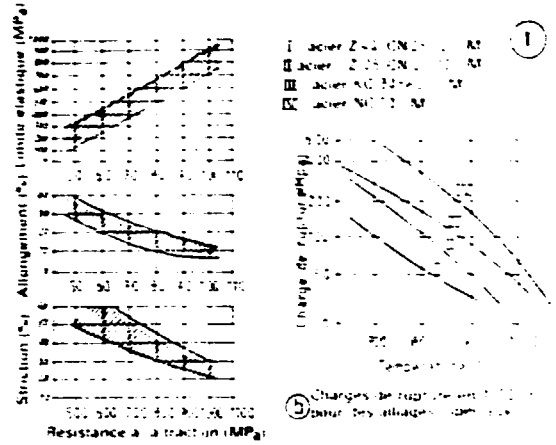
Les sections des canaux de remplissage seront circulaires ou de forme avoisinante (diminution des pertes thermiques), ils auront un tracé déformable après solidification, afin de ne pas créer de gêne ou retrait pour la pièce (risques de criques).

Choix de matériaux réfractaires, soit comme sable de contact recevant l'alliage liquide, soit comme matériau du moule : silice, chamotte, bauxite, chromite, olivine, etc. Ce tableau 4, donne les conditions habituelles d'emploi des différents procédés de moulage.

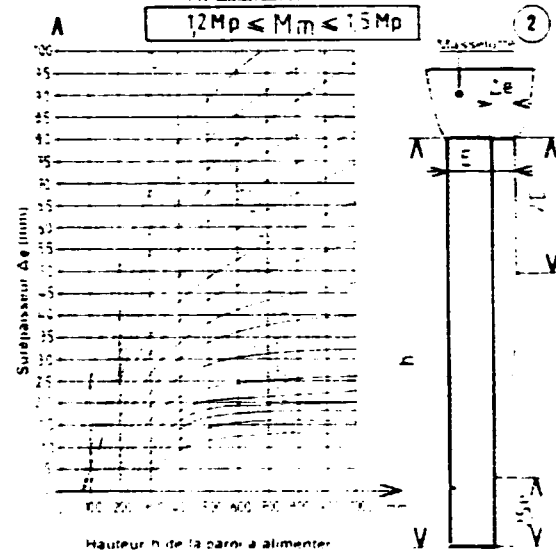
TRAITEMENTS THERMIQUES (v. p. 120)

CONTRÔLES

Ils peuvent être destructifs sur éprouvettes attenantes à la pièce ou non destructifs sur la pièce elle-même : contrôles externes et contrôles internes



(a) Caractéristiques mécaniques des aciers moulés fabriqués en allées à l'état normalisé et revenu.



(a) Caractéristiques mécaniques des aciers moulés fabriqués en allées à l'état normalisé et revenu.

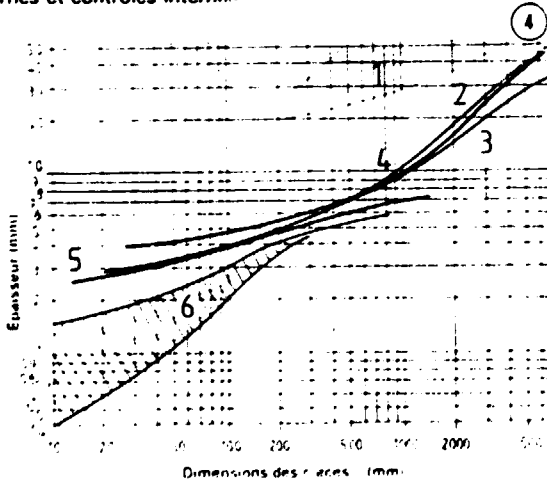
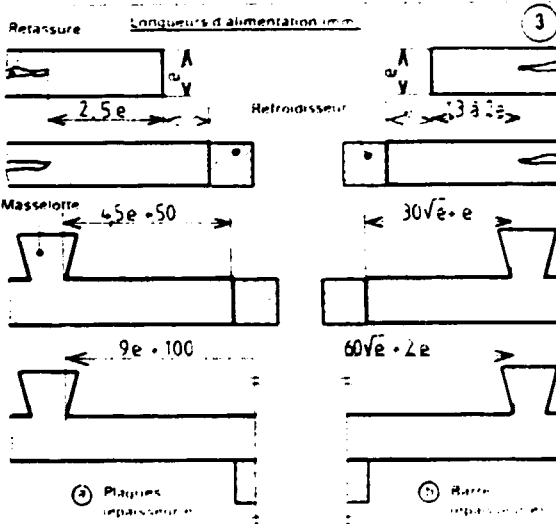


Tableau 4. Conditions habituelles d'emploi des différents procédés de moulage.



LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (4/20)

LES PIÈCES EN ACIER MOULÉ (2/2)

NF A 32-012

TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES ET SURÉPAISSEURS D'USINAGE POUR PIÈCES EN ACIER MOULÉ, BRUTES DE FONDERIE (Moulage en sable) (NF A 32-012).

Tolérances dimensionnelles

— La précision de l'exécution est fonction de l'outillage adopté. Il est difficile d'obtenir à priori une parfaite précision des cotes, seules les retouches successives du modèle et de l'outillage permettent d'approcher progressivement du résultat usé. La possibilité des mises au point et le degré de précision sont liés au nombre de pièces à produire avec l'outillage considéré. Il en résulte que les tolérances les plus larges s'appliqueront d'une façon générale aux pièces à exécuter en quantités restreintes.

— Toutes les cotes ne sont pas justifiables des mêmes tolérances.

- Classe de tolérance L (tab. 1) : dimensions non accompagnées de leurs tolérances de fonderie.
- Classe de tolérance A (tab. 2) : procédés de fabrication nécessitant des soins particuliers.
- Classe de tolérance B (tab. 3) : la mise au point de l'outillage et de la fabrication est liée à l'acceptation de pièces-types.
- Tolérances P (tab. 1, 2, 3) : s'appliquent aux cotes de certaines parties de pièce pour lesquelles les tolérances sont fonction de leurs seules dimensions propres : épaisseur de parois, toiles, nervures, diamètres de bossage, etc.

Remarque : il est possible :

- soit de resserrer les tolérances sur certaines parties de la pièce
- soit de mesurer les tolérances dimensionnelles et les surépaisseurs d'usinage (conditions spéciales de réalisation, d'usinage, prise en compte de l'usure du modèle, nécessité de mascloter, etc.)

2. Surépaisseur d'usinage.

Les valeurs de surépaisseur d'usinage sont comptées sur chaque face à usiner, vers l'extérieur de la partie solide de la pièce. La dépouille s'ajoute aux surépaisseurs d'usinage.

Tableau valable pour les seuls cotes affectées de la tolérance précisée sur les dessins de la pièce usinée, applicable en particulier aux pièces exécutées à l'aide de modèles en bois fixes sur plaques, modèles en plâtre, etc.

Tolérances « A »

(2)

Cotes nominales de référence de (exclu) à (inclus)	Plus grande dimension de la pièce						
	de (exclu) à (inclus)	250	250 1 000	1 000 au-delà	250	250 1 000	1 000 au-delà
	à (inclus)	Surépaisseurs d'usinage (1) (2)			Tolérances dimensionnelles ± mm (2) (3)		
	40	5	5,5	6	1	1,5	2
40	65	6	6	6,5	2	2	2,5
65	100	6	6	6,5	2	2	2,5
100	160	6	7	7	2	3	3
160	250	6	7	7	2	3	3
250	400	—	7	8	—	3	4
400	630	—	8	9	—	4	5
630	1 000	—	10	10	—	6	6
1 000	1 800	—	—	12	—	—	8
1 800	2 500	—	—	15	—	—	11

(1) Sauf convention contraire, le surépaisseur d'usinage des faces de départ à retourner pour l'établissement du dessin de la pièce brute de fonderie sera prise égale à 4 mm.
 (2) Pour les axes, entr'axes, surfaces cylindriques, le surépaisseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre dans la case correspondant à la cote de l'axe ou plan de référence le plus éloigné.
 (3) S'il y a lieu, la tolérance de l'épaisseur de la face de référence est de 3 mm minimum.

Tolérances P₁ spéciales, applicables pour certaines parties de pièces en fonction de leurs propres dimensions

de (exclu)	à (inclus)	P ₁ ±	P ₁	de (exclu)	à (inclus)	P ₁ ±	P ₁
	16	2	+3 0	100	160	5	+6 0
16	40	3	+4 0	160	250	6	+7 0
40	100	4	+5 0				

Tableau valable pour les cotes des pièces exécutées avec des modèles courants et pour les cotes fondamentales des pièces soumises aux tolérances A ou B.

Tolérances « L »

(1)

Cotes nominales de référence de (exclu) à (inclus)	Plus grande dimension de la pièce						
	de (exclu) à (inclus)	250	250 1 000	1 000 au-delà	250	250 1 000	1 000 au-delà
	à (inclus)	Surépaisseurs d'usinage (1) (2)			Tolérances dimensionnelles ± mm (2) (3)		
	40	6	6	8	2	2	4
40	65	6	6	9	2	2	5
65	100	6	7	10	2	3	6
100	160	7	7	10	3	3	6
160	250	8	8	10	4	4	6
250	400	—	9	11	—	5	7
400	630	—	10	12	—	6	8
630	1 000	—	11	14	—	7	10
1 000	1 800	—	—	17	—	—	13
1 800	2 500	—	—	20	—	—	16

(1) Sauf convention contraire, le surépaisseur d'usinage des faces de départ à retourner pour l'établissement du dessin de la pièce brute de fonderie sera prise égale à 4 mm.
 (2) Pour les axes, entr'axes, surfaces cylindriques, le surépaisseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre dans la case correspondant à la cote de l'axe ou plan de référence le plus éloigné.
 (3) S'il y a lieu, la tolérance de l'épaisseur de la face de référence est de 3 mm minimum.

Tolérances P₂ spéciales, applicables pour certaines parties de pièces en fonction de leurs propres dimensions

de (exclu)	à (inclus)	P ₂ ±	P ₂	de (exclu)	à (inclus)	P ₂ ±	P ₂
	16	2	+3 0	100	160	5	+6 0
16	40	3	+4 0	160	250	6	+7 0
40	100	6	+5 0				

Tableau valable pour les seuls cotes affectées de la tolérance précisée sur les dessins de la pièce usinée, applicable en particulier aux pièces exécutées avec des outillages précis : modèles métalliques, plaques modèles et procédés de fabrication mécaniques.

Tolérances « B »

(3)

Cotes nominales de référence de (exclu) à (inclus)	Plus grande dimension de la pièce						
	de (exclu) à (inclus)	250	250 1 000	1 000 au-delà	250	250 1 000	1 000 au-delà
	à (inclus)	Surépaisseurs d'usinage (1) (2)			Tolérances dimensionnelles ± mm (2) (3)		
	40	4	4	5	1	1	2
40	65	4	4	5	1	1	2
65	100	4	4	5	1	1	2
100	160	4	5	5	1	2	2
160	250	6	6	7	2	2	3
250	400	—	6,5	7	—	2,5	3
400	630	—	7	8	—	3	4
630	1 000	—	8	9	—	4	5

(1) Sauf convention contraire, le surépaisseur d'usinage des faces de départ à retourner pour l'établissement du dessin de la pièce brute de fonderie sera prise égale à 3 mm, lorsque cette face sera liée à une cote de référence inférieure ou égale à 160 mm et à 4 mm au-dessus.
 (2) Pour les axes, entr'axes, surfaces cylindriques le surépaisseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre dans la case correspondant à la cote de l'axe ou plan de référence le plus éloigné.
 (3) S'il y a lieu, la tolérance de l'épaisseur de la face de référence est de 3 mm minimum.

Tolérances P₃ spéciales, applicables pour certaines parties de pièces en fonction de leurs propres dimensions

de (exclu)	à (inclus)	P ₃ ±	P ₃	de (exclu)	à (inclus)	P ₃ ±	P ₃
	16	2	+3 0	100	160	4	+6 0
16	40	2	+4 0	160	250	5	+7 0
40	100	3	+5 0				

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (5/20)

LES PIÈCES EN FONTE À GRAPHITE LAMELLAIRE (1/3)

GÉNÉRALITÉS : fontes appelées fontes grises ou GG.
Alliages fer-carbone-silicium (principalement) dans lesquels, après solidification de la fonte dans le moule, le graphite se présente sous forme d'amas représentant des lamelles disséminées dans la matrice.
Désignation et différentes nuances p. 16 à 20.

TARBOUR ÉVANOUISSEMENT

Permet de situer qualitativement la fonte sur le diagramme fer-carbone théorique en tenant compte du silicium et du phosphore :

$$C_T = C_c + \frac{1}{3}(Si + P) \quad \text{avec } C_T = C_g + C_c$$

C_c : carbone total ; C_g : carbone graphique ; C_c : carbone combiné

TRACE DES PIÈCES : voir p. 23 à 32.

ELABORATION DE L'ALLIAGE

Matière première : en proportions variables, fontes neuves (jeunes) retours de fabrication, fontes de récupération, ferrailles. La composition chimique visée est obtenue par l'addition de ferro-alliages (ferro-manganèse) pour annihiler l'action du soufre en formant le composé MnS.

Fours de fusion : le plus répandu est le cubilot, cubilot en duplex avec une poche mélangeuse en fabrication série.

Traitement à l'état liquide : inoculation au ferro-silicium (0,3 à 0,7 % Si) afin d'obtenir un grand nombre de germes de solidification (graphite fin et bien reparti (résistance mécanique optimale, suppression du graphite de surfusion). Effet d'évanouissement 15 à 20 minutes après le traitement (coulée des moules avant ce temps).

CHOIX D'UNE STRUCTURE

Il dépend de la composition chimique (C, Si, principalement, qui doit être ajustée en fonction de l'épaisseur des pièces, et de la nature des matériaux de moulage (vitesse de refroidissement, sensibilité à l'épaisseur). Elle peut être modifiée ultérieurement par traitement thermique (cependant le graphite reste inchangé).

TECHNIQUE DE MOULAGE

- Emploi possible de toutes les techniques de moulage en moules non permanents. La plus répandue est le moulage en sable silico-argileux (fig. 1 et 2).

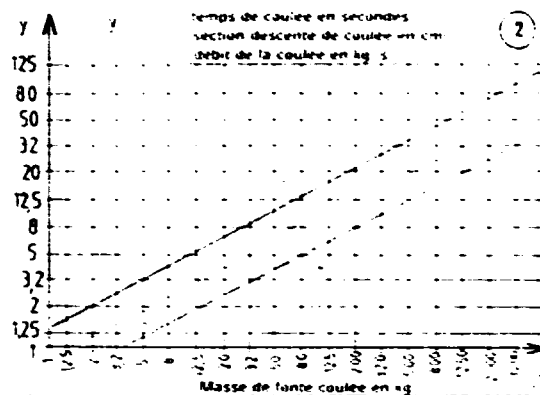
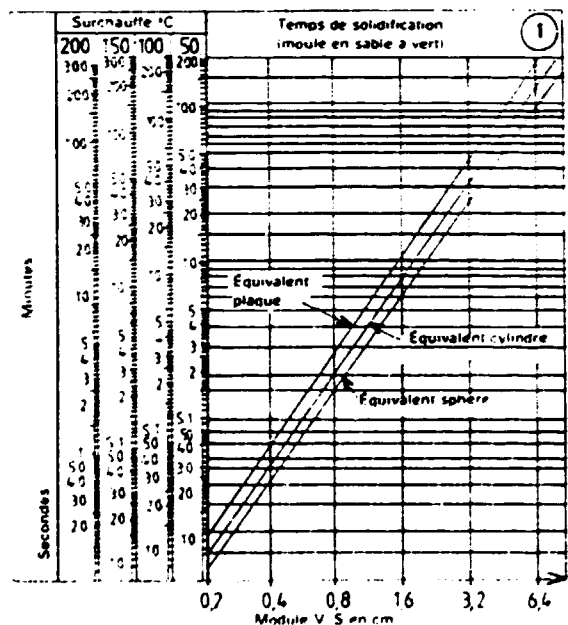
- Pour des compositions eutectiques ou hypereutectiques, l'expansion graphique à la solidification rend le masselottage inutile (v. p. 4 les valeurs des variations volumiques de l'alliage après la coulée).

TRAITEMENTS THERMIQUES (v. p. 88).

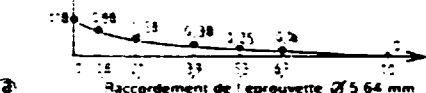
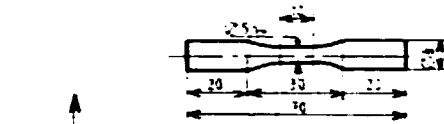
Les structures brutes de coulée sont recherchées par raison d'économie, cependant obtention de structures particulières par traitements thermiques.

CONTRÔLES

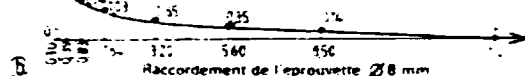
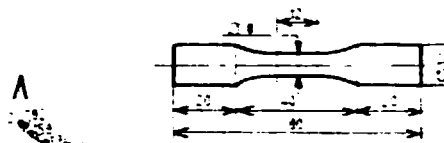
Essai de la traction sur éprouvette (fig. 3) et de dureté sur les pièces.



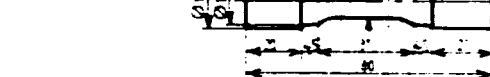
Epruvette usinée à partir du barreau brut de 9 mm de diamètre (3)



Epruvette usinée à partir du barreau brut de 13 mm de diamètre (4)



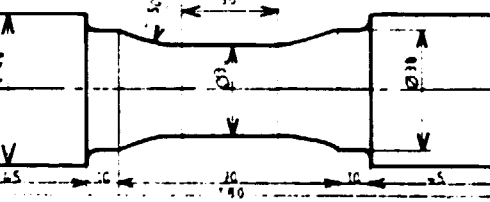
Epruvette usinée à partir du barreau brut de 20 mm de diamètre (5)



Epruvette usinée à partir du barreau brut de 30 mm de diamètre (6)



Epruvette usinée à partir du barreau brut de 50 mm de diamètre (7)



(1) Voir le choix des éprouvettes selon la nuance de la fonte et l'épaisseur de la pièce p. 14

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (6, 20)

LES PIÈCES EN FONTE A GRAPHITE LAMELLAIRE (2, 3)

NF A 32-011

9. TOLERANCES DIMENSIONNELLES ET SUREPAISSEURS D'USINAGE POUR PIÈCES MOULÉES EN SÉRIE EN FONTE GRISE NON ALLIÉE (NF A 32-011)

9-1. Tolérances dimensionnelles :

— La précision des cotes est fonction de l'outillage : il est difficile d'obtenir à priori une parfaite précision des cotes, seules les retouches successives du modèle et de l'outillage permettent d'approcher progressivement du résultat visé.

— Toutes les cotes d'une pièce ne sont pas justifiables des mêmes tolérances.

- Classe de tolérance L (tab. 1) : cotes non fondamentales pour la fonction même de la pièce.
- Classe de tolérance A (tab. 2) : pièces pour lesquelles sont prévus des outillages tels que : modèles en bois fixes sur plaques, modèles en plâtre, etc.
- Classe de tolérance B (tab. 3) : pièces pour lesquelles sont prévus des outillages tels que : modèles métalliques, plaques-modèles et procédés de fabrication mécanique.
- Tolérance spéciale P (tab. 1, 2, 3) : s'applique aux cotes de certaines parties de pièce pour lesquelles les tolérances sont fonction de leurs seules dimensions propres : épaisseur de parois, toiles, nervures, diamètres de bossages, rayon de congé de raccordement, etc.

Remarque : il est possible

- soit de resserrer les tolérances sur certaines parties de la pièce
- soit de majorer les tolérances dimensionnelles et les surepasseurs d'usinage (conditions spéciales de réalisation d'usinage prise en compte de l'usure du modèle)

9-2. Surepasseur d'usinage.

Les valeurs de surepasseur d'usinage sont comptées sur chaque face à usiner vers l'extérieur de la partie solide de la pièce. La dépouille s'ajoute aux surepasseurs d'usinage.

Fonte grise non alliée - Tolérance « L »

Ce tableau est plus particulièrement applicable aux pièces pour lesquelles sont prévus des outillages tels que modèles métalliques, plaques-modèles, procédés de fabrication mécanique.

①

Surepasseurs d'usinage et tolérances dimensionnelles, en millimètres

Cotes nominales de référence	Plus grande dimension de la pièce								P				
	de l'extérieur				à l'intérieur								
	100	160	250	630	100	160	250	630					
de l'extérieur	à l'intérieur		Surepasseurs d'usinage				Tolérances dimensionnelles						
			en millimètres (1)		en millimètres (2)		en millimètres						
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	1
25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000		1,5
40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000			2,5
63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000				4
100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000					
160	250	400	630	1000	1600	2500	4000						
250	400	630	1000	1600	2500	4000							
400	630	1000	1600	2500	4000								
630	1000	1600	2500	4000									
1000	1600	2500	4000										
1600	2500	4000											
2500	4000												

(1) Seul convention contraire le surepasseur d'usinage des faces de départ à retravailler pour l'établissement du dessin de produit fini sera prise égale à 3 mm pour les pièces dont le plus grande dimension est supérieure à 250 mm et à 2 mm pour celles dont le plus grande dimension est inférieure à 250 mm.

(2) Pour les axes avec deux surfaces cylindriques le surepasseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre sur la ligne et dans la colonne correspondant à la cote de référence la plus élevée.

Fonte grise non alliée - Tolérance « B »

Ce tableau est plus particulièrement applicable aux pièces pour lesquelles sont prévus des outillages tels que modèles métalliques, plaques-modèles, procédés de fabrication mécanique.

③

Fonte grise non alliée - Tolérance « A »

Ce tableau est plus particulièrement applicable aux pièces pour lesquelles sont prévus des outillages tels que modèles en bois fixes sur plaques, modèles en plâtre, etc.

②

est valable pour les seules cotes affectées de la tolérance précisée sur les dessins de définition

est valable pour les seules cotes affectées de la tolérance précisée sur les dessins de définition

Surepasseurs d'usinage et tolérances dimensionnelles, en millimètres

Cotes nominales de référence	Plus grande dimension de la pièce												P	
	de l'extérieur						à l'intérieur							
	100	160	250	630	1000	1600	100	160	250	630	1000	1600		
de l'extérieur	à l'intérieur		Surepasseurs d'usinage						Tolérances dimensionnelles					
			en millimètres (1)			en millimètres (2)			en millimètres					
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000		
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	1	
25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000		1,5	
40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000			2,5	
63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000				4	
100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000						
160	250	400	630	1000	1600	2500	4000							
250	400	630	1000	1600	2500	4000								
400	630	1000	1600	2500	4000									
630	1000	1600	2500	4000										
1000	1600	2500	4000											
1600	2500	4000												
2500	4000													

(1) Seul convention contraire le surepasseur d'usinage des faces de départ à retravailler pour l'établissement du dessin de produit fini sera prise égale à 3 mm pour les pièces dont le plus grande dimension est supérieure à 250 mm et à 2 mm pour celles dont le plus grande dimension est inférieure à 250 mm.

(2) Pour les axes avec deux surfaces cylindriques le surepasseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre sur la ligne et dans la colonne correspondant à la cote de référence la plus élevée.

Surepasseurs d'usinage et tolérances dimensionnelles, en millimètres

Cotes nominales de référence	Plus grande dimension de la pièce												P	
	de l'extérieur						à l'intérieur							
	100	160	250	630	1000	1600	100	160	250	630	1000	1600		
de l'extérieur	à l'intérieur		Surepasseurs d'usinage						Tolérances dimensionnelles					
			en millimètres (1)			en millimètres (2)			en millimètres					
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000		
16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	1	
25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000		1,5	
40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000			2,5	
63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000				4	
100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000						
160	250	400	630	1000	1600	2500	4000							
250	400	630	1000	1600	2500	4000								
400	630	1000	1600	2500	4000									
630	1000	1600	2500	4000										
1000	1600	2500	4000											
1600	2500	4000												
2500	4000													

(1) Seul convention contraire le surepasseur d'usinage des faces de départ à retravailler pour l'établissement du dessin de produit fini sera prise égale à 3 mm pour les pièces dont le plus grande dimension est supérieure à 250 mm et à 2 mm pour celles dont le plus grande dimension est inférieure à 250 mm.

(2) Pour les axes avec deux surfaces cylindriques le surepasseur d'usinage et la tolérance dimensionnelle sont à prendre sur la ligne et dans la colonne correspondant à la cote de référence la plus élevée.

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (7/20)

LES PIÈCES EN FONTE À GRAPHITE LAMELLAIRE (3/3)

10. ETUDE DE CAS

10-1. Moulage unitaire.

La pièce à réaliser (fig. 1), ayant 6 nervures radiales équidistantes, ne peut pas être directement moulée avec seulement 2 châssis, l'axe étant dans le plan de joint. L'emploi d'un 3^e châssis (chape) s'impose : il y aura alors 2 surfaces de joint qui formeront les plans des surfaces de bride à usiner.

Des 2 sens de moulage possible donnant l'axe de la pièce vertical, la solution retenue présente légèrement plus de surfaces usinées vers le bas du moule (fig. 2).

D'autre part, le noyau ① est plus stable.

L'outillage est restreint : le noyau ① est réalisé dans une boîte en 2 parties.

10-2. Moulage en série.

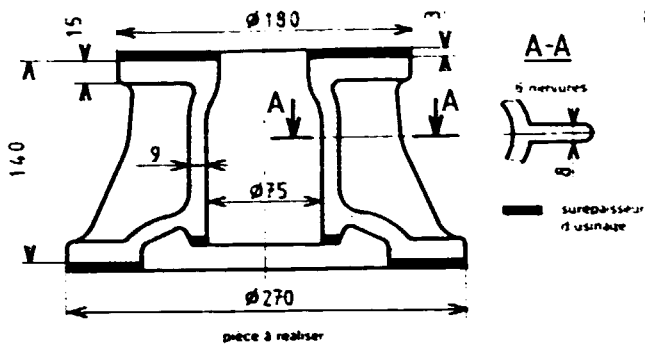
Le moule ne devant comporter que deux châssis, la chape du moulage unitaire sera remplacée par un noyau extérieur ②.

La recherche d'un noyau de moindre volume conduit à adopter le sens opposé à celui défini fig. 2 (avec cependant un peu plus de surfaces usinées placées vers le haut).

Un talon formé dans le noyau ② permettra de loger la descente de coulée (érosion de sable limitée) ainsi que le noyau filtre, le chenal demi-circulaire et les 2 attaques de coulée étant réalisés sur la face inférieure du noyau ②.

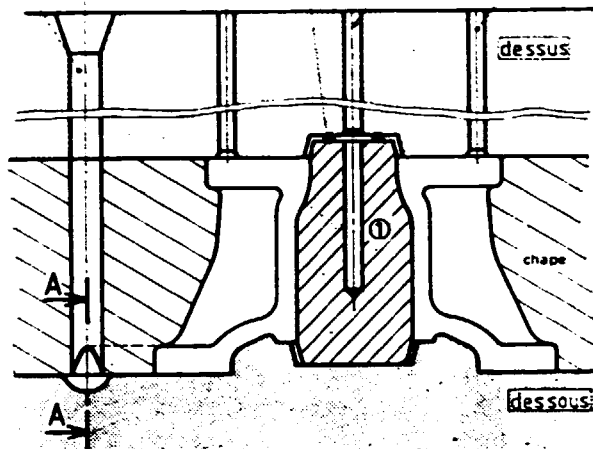
Des nids à sable réalisés dans le dessous du moule recueillent le sable désagrégé éventuellement lors du remoulage des noyaux.

Nota - Le coût de fabrication serait diminué en supprimant le noyau ②. Il faudrait alors modifier les formes de la pièce afin que l'empreinte de la pièce soit donnée uniquement par 2 châssis (collaboration entre Bureau d'Etudes et Bureau des Méthodes).

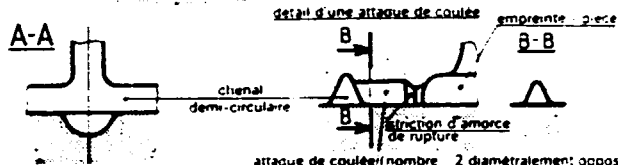


①

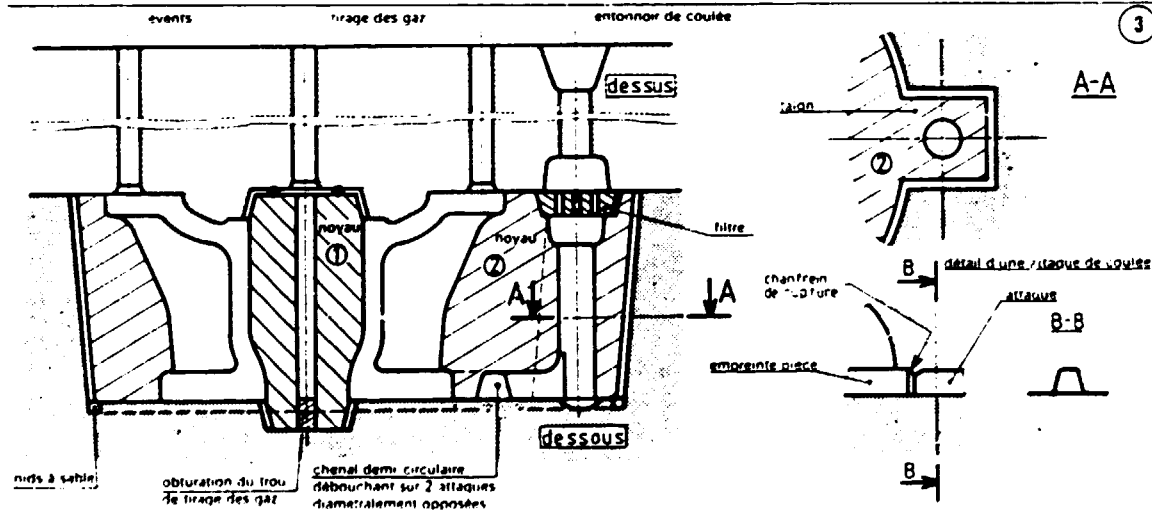
descente de coulée cordon d'étanchéité tirage des gaz du noyau events



②



attaque de coulée (nombre 2 diamétralement opposées)



③

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (8/20)

LES PIÈCES EN FONTE À GRAPHITE SPHÉROÏDAL (1/1)

NF A 32-201

1. GÉNÉRALITÉS (fontes appelées fontes GS)

Ce sont des fontes dans lesquelles, après solidification de la fonte dans le moule, le graphite se présente sous forme de sphéroïdes compacts, plus ou moins réguliers et disséminés dans la matrice. (v. p. 119).

La forme sphéroïdale ne crée pas des concentrations de contraintes contrairement au graphite lamellaire et les solutions de continuité du graphite sont très inférieures à celles du graphite lamellaire. Ainsi les fontes GS peuvent avoir un allongement appréciable.

2. DÉSIGNATION - NUANCES (v. p. 16 à 19)

3. ÉLABORATION DE L'ALLIAGE

3-1. Elle est globalement identique à celle des fontes à graphite lamellaire avec cependant les différences essentielles :

- choix des matières premières contenant peu de soufre et exemptes d'éléments « poisons » : plomb, titane, bismuth, antimoine (teneurs maximales de 0,005 à 0,01 %)
- traitement de sphéroïdisation, en plus du traitement d'inoculation à l'état liquide comme pour les fontes à graphite lamellaire.
- incorporation dans la fonte liquide de magnésium ou de cérium (de 0,025 à 0,08 %). Ce traitement est fait soit dans la poche d'alliage avant la coulée des pièces, soit dans des convertisseurs, soit directement dans le moule après mise au point du système particulier de remplissage de l'empreinte (fig. 1).

3-2. Fours de fusion : Four électrique à induction (pas d'enrichissement en soufre) ou cubilot associé à une installation de désulfuration avant traitement de sphéroïdisation.

Nota : ce traitement ne s'applique valablement que lorsque la fonte a une teneur en soufre < 0,015 %, sinon elle doit être préalablement désulfurée.

3-2. Fours de fusion : Four électrique à induction (pas d'enrichissement en soufre) ou cubilot associé à une installation de désulfuration avant traitement de sphéroïdisation.

4. CHOIX D'UNE STRUCTURE

Identique aux pièces en fonte à graphite lamellaire, elle est obtenue soit brute de coulée soit par traitement thermique, cependant le graphite restant inchangé (un taux de sphéroïdisation insuffisant ne peut plus être modifié).

5. TECHNIQUE DE MOULAGE

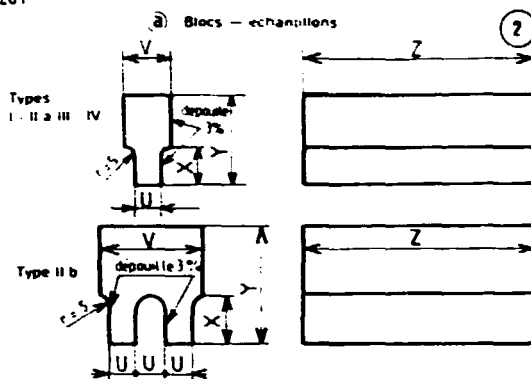
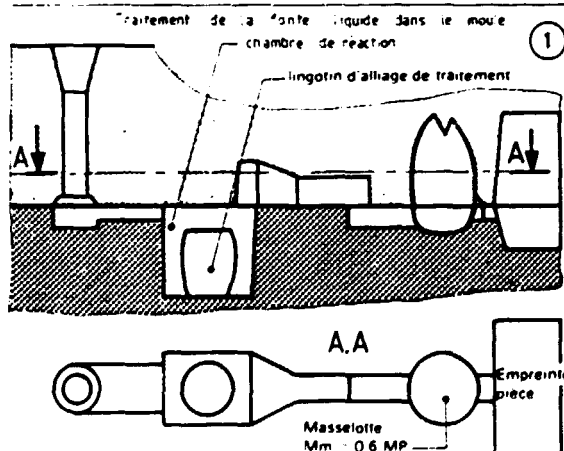
La solidification des fontes GS comporte une phase d'expansion volumique risquant de créer un forçage de l'empreinte (modification de l'empreinte initiale). Emploi de moules rigides : sable silico-argileux serré sous haute pression, sable lié avec des résines, moule métallique avec couche de sable ou poteyage (pouvant être centrifugés).

6. TRAITEMENTS THERMIQUES (v. p. 120)

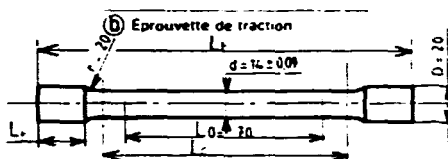
Comme pour les fontes à graphite lamellaire, les traitements thermiques n'agissent que sur la matrice (et non sur le graphite), obtention de structure entièrement ferritique, martensitique, bainitique.

7. CONTRÔLES

Essais sur éprouvettes coulées à part (fig. 2a à 2d). Contrôle non destructif de structure : nature de la matrice et forme sphéroïdale du graphite.



Types	I	II a	II b	III	IV
Reperes					
U	12	25	25	50	75
V	40	55	90	90	125
X	30	40	40	60	65
Y	80	100	100	150	165
Z	En fonction de la longueur de l'éprouvette				



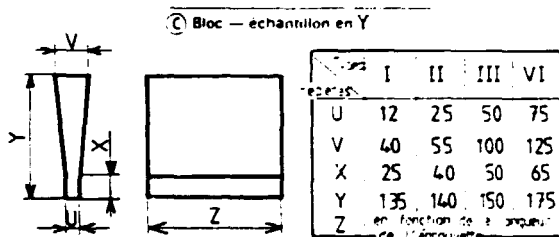
Nota : Le mode d'amarrage des têtes d'éprouvettes ainsi que leur longueur L_r sont laissés à l'agrément des utilisateurs.

L_0 = longueur initiale entre repères (ici $L_0 = 5d$)

d = diamètre initial de l'éprouvette.

L_c = longueur de la partie calibrée $L_c > L_0$ selon agrément des utilisateurs (en principe $L_c = L_0 + d$)

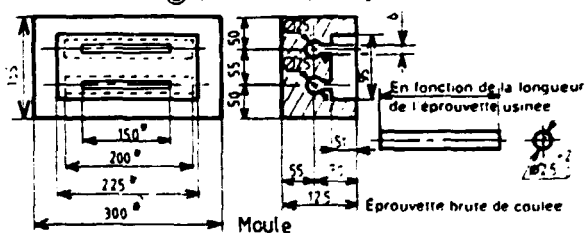
L_r = longueur totale de l'éprouvette selon L_c et L_f



L'épaisseur de la couche de sable entourant le bloc à la coulée sera

- de 40 mm minimum pour les types I et II
- de 80 mm minimum pour les types III et IV

2d) Éprouvette de Lynchburg



(*) Ces dimensions sont données à titre indicatif, elles correspondent à une éprouvette brute de coulée de 200 mm de longueur.

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (9/20) LES PIÈCES EN FONTES ALLIÉES ET EN FONTES BLANCHES (1/2)

NF A 32-401

GÉNÉRALITÉS

-1. Les pièces en fontes alliées sont réalisées avec une fonte comportant des additions intercessionnelles d'éléments d'alliage.

Les fontes alliées sont celles dont les teneurs en éléments d'alliage dépassent les taux ci-après :

Silicium.....	5 %
Manganèse.....	1,5 %
Nickel.....	0,30 %
Chrome.....	0,20 %
Cuivre.....	0,30 %
Titane.....	0,10 %
Vanadium.....	0,10 %
Molybdène.....	0,10 %
Aluminium.....	0,10 %

Toutefois, dans le cas où plusieurs de ces éléments sont présents simultanément, les fontes sont considérées comme alliées lorsque la somme des fractions obtenues en portant comme dénominateur les chiffres ci-dessus et comme numérateur la valeur des teneurs de chaque élément contenues, est supérieure à 1 %. Dans le calcul précité, il n'est pas tenu compte des éléments d'alliage dont la teneur est inférieure au tiers des taux-limites indiqués plus haut.

Le carbone de la fonte peut se présenter soit sous forme de graphite lamellaire : fontes alliées à graphite lamellaire, soit sous forme de sphéroïdes de graphite : fontes alliées à graphite sphéroïdal soit sous forme de carbures, sans graphite : fontes blanches alliées.

-2. Les pièces en fontes blanches sont obtenues soit dans des moules donnant à l'alliage une grande vitesse de refroidissement (pièce peu épaisse, moule métallique, en graphite) soit en ajoutant des éléments favorisant la formation de carbures, soit en combinant les deux.

Le carbone se présente sous la forme combinée : carbure sans graphite (d'où le nom de fonte blanche, de la couleur de la cassure).

Les pièces peuvent être en fontes blanches alliées ou non alliées.

3 LES PIÈCES EN FONTES ALLIÉES

2-1. Désignation - Nuances : voir p 17 et 18

2-1-1. Pièces en fontes austénitiques.

Les fontes austénitiques constituent une gamme de fontes dans lesquelles la matrice métallique a été rendue austénitique par une addition suffisante d'éléments d'alliages qui abaissent au-dessous de la température ambiante le domaine

de transformation gamma-alpha propre aux alliages fer-carbone. Ces fontes conviennent à la production de pièces coulées de tous genres.

Généralement un minimum de 20 % de nickel est nécessaire pour couler des pièces qui soient entièrement austénitiques dans des conditions normales. On peut remplacer jusqu'à un tiers du nickel par du cuivre dans les variétés à graphite lamellaire ; dans les variétés à graphite sphéroïdal, on ne peut guère dépasser 3 à 4 % de cuivre sous peine de précipiter du cuivre libre dans la structure. Dans certaines variétés, une partie du nickel peut être remplacée par du manganèse et ce jusqu'à la limite où l'effet de stabilisation des carbures par le manganèse rend les pièces dures et non usinables.

Ce groupe de fontes possède une résistance à chaud et à la corrosion fortement améliorée, par rapport à la fonte à graphite lamellaire. Il présente aussi une bonne résistance à l'usure et à l'érosion. On peut introduire jusqu'à 5 % de chrome dans les fontes austénitiques ; cet élément exerce un effet favorable en augmentant davantage encore les résistances à l'usure, à la corrosion et à la chaleur. Par contre, la quantité de chrome qui peut être tolérée est limitée par la tendance de cet élément à augmenter la dureté, par suite de la formation de carbures avec abaissement simultané de la ténacité et de la ductilité.

Comme dans les autres fontes à graphite, du carbone libre est présent dans la structure et ce, sauf traitement spécial du métal liquide, sous la forme de lamelles de graphite. Tout comme d'autres fontes à graphite, la plupart des fontes austénitiques sont sensibles au traitement par lequel le graphite peut être rendu sphéroïdal ou nodulaire avec amélioration substantielle des caractéristiques mécaniques. Il faut remarquer cependant que cette modification n'est pas appliquée normalement aux fontes austénitiques contenant des quantités importantes de cuivre, puisque l'addition du magnésium nécessaire pour amorcer la formation de graphite sphéroïdal provoque au-delà d'une certaine limite la formation de cuivre libre dans la structure.

2-1-2. Pièces en fontes bainitiques.

La matrice bainitique peut être obtenue brute de coulée ou par traitement thermique isotherme, c'est principalement une combinaison de molybdène et de nickel qui permet l'obtention de la matrice bainitique (fig. 1 a, 1 b, p. 116).

2-1-3. Pièces en fontes perlitiques (fig. 2, p. 116).

Selon le type de graphite recherché (lamellaire ou sphéroïdal) on ajoute à la fonte de base un élément ou une combinaison d'éléments favorisant la formation de perlite sans provoquer la formation de carbures (diminution de l'usinabilité et des caractéristiques mécaniques autres que la dureté).

2-1-4. Pièces en fontes martensitiques.

La structure martensitique est obtenue par traitements thermiques

- trempé suivi d'un refroidissement rapide (dans l'air liquide par exemple) : application généralement comme traitement de surface, la dureté de la pièce dépend de la température de trempé (fig. 3, p. 116).

- trempé martensitique : la trempé après austénitisation est interrompue au-dessus de la température de début de formation de la martensite, maintien isotherme, puis trempé à l'air

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (10/20) LES PIÈCES EN FONTES ALLIÉES ET EN FONTES BLANCHES (2/2)

3. LES PIÈCES EN FONTES BLANCHES (NF A 32-401)

3-1. Désignation – Nuances : voir p. 16.

FB : fonte blanche ; O : non alliée ; A : faiblement alliée
BC : bas carbone ; HC : haut carbone

Désignation	C	Si	Mn	HBW (3)	Structure
Fontes blanches non alliées FB O	2,7 - 3,9	0,4 - 1,5	0,2 - 0,8	350 - 500	cémentite et perlite
Fontes blanches modérément alliées FB A	2,7 - 3,9	0,4 - 1,5	0,2 - 0,8	400 - 600	cémentite (alliée) perlite fine
Fontes blanches alliées FB N4 Cr2 BC (1) FB N4 Cr2 HC (1)	2,7 - 3,2 3,2 - 3,6	0,2 - 0,8 0,2 - 0,8	0,3 - 0,7 0,3 - 0,7	450 - 650 500 - 700	cémentite (alliée) martensite austénite résiduelle
FB Cr9 Ni5	2,5 - 3,6	1,5 - 2,2	0,3 - 0,7	550 - 750	carbures, austénite, constituants intermédiaires
FB Cr12 Mo Ni FB Cr15 Mo Ni FB Cr20 Mo Ni FB Cr26 Mo Ni	2,0 - 3,6 2,0 - 3,6 2,0 - 3,6 1,5 - 3,5	0,2 - 0,8 0,2 - 0,8 0,2 - 1,2 0,2 - 1,2	0,5 - 1,0 0,5 - 1,0 0,5 - 1,5 0,5 - 1,5 (2)	500 - 800 500 - 800 500 - 800 450 - 650	carbures de Cr martensite ou austénite et autres constituants intermédiaires

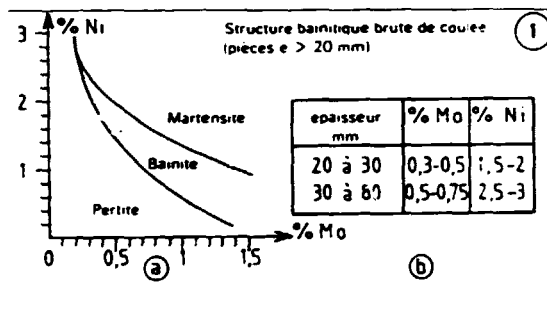
(1) Pour ces alliages, le Ni peut être remplacé partiellement par du Cu.

(2) Dans le but d'obtenir une structure austénitique écrouissable, la teneur en Mn peut aller jusqu'à 4,0 %.

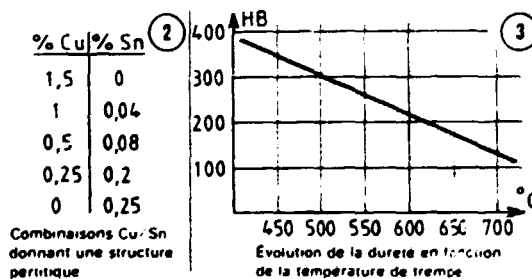
(3) Les valeurs de dureté les plus élevées s'entendent pour des pièces de faible épaisseur et/ou moulées en coquille.

Traitements thermiques possibles

Nuances	Durcissement	Adoucissement (pour usinage)	Traitement d'amélioration de la ténacité aux chocs répétés	Relaxation
FB O FB A	-	-	-	(7)
FB N4 Cr2 BC FB N4 Cr2 HC	-	-	(5)	(7)
FB Cr9 Ni5	(1)	-	(6)	-
FB Cr12 Mo Ni FB Cr15 Mo Ni	(2)	(3)	-	(7)
FB Cr20 Mo Ni FB Cr26 Mo Ni	(2)	(4)	-	(7)



- (1) Conditionnement de l'austénite par maintien à température convenable. Transformation de l'austénite ainsi homogénéisée, par refroidissement contrôlé à l'air, ou dans le four (formation de constituants intermédiaires).
- (2) Mise en solution de carbures et homogénéisation de l'austénite à haute température. Formation de constituants intermédiaires par trempe à l'air.
- (3) Mise en solution de carbures dans l'austénite à haute température. Formation de perlite par maintien dans le domaine de températures convenables. Refroidissement à l'air, ou dans le four.
- (4) Mise en solution de carbures dans l'austénite à haute température. Formation de perlite, contrôlée par refroidissement lent.
- (5) Revenu de la martensite et de l'austénite à température intermédiaire. Deuxième revenu à plus basse température.
- (6) Conditionnement et homogénéisation de l'austénite par maintien à température convenable. Transformation par refroidissement contrôlé. Revenu.
- (7) Maintien dans un domaine de température limité supérieurement par les risques de graphitisation, ou de transformation structurale. Refroidissement lent et contrôlé.



LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (11/20)

LES PIÈCES EN FONTE MALLÉABLE (1/1)

A 32-701, 702

FONTES MALLÉABLES

1-1. Les fontes malléables sont obtenues par traitements thermiques de pièces dont la structure est blanche, brute de coulée (v. la désignation et les caractéristiques, p. 20).

Toute l'épaisseur des pièces devra posséder cette structure blanche initiale (absence de graphite primaire) : en outre, les constituants carbonés devront pouvoir se décomposer lors du cycle thermique (limitation de la teneur des éléments stabilisant les carbures).

Malléabilisation par décarburation : la pièce placée dans un milieu oxydant subit une décarburation partielle ou totale (malléable à cœur blanc).

Malléabilisation par graphitisation : lors du traitement thermique, le carbone précipité à l'état de graphite (malléable à cœur noir ferritique ou perlitique) (v. le chap. Graphite dans les fontes, p. 83).

1-2. Malléable à cœur blanc (dite Européenne, Réaumur NF A 32-701) (MB).

• Les pièces ont de 3 à 12 mm d'épaisseur (la décarburation serait trop longue : risques d'oxydation importants si les pièces étaient plus épaisses).

Le traitement thermique en atmosphère contrôlée d'oxyde de carbone vers 1 000 °C décompose la cémentite puis il se produit une décarburation progressant de la périphérie vers le cœur de la pièce.

Après traitement, la structure est constituée de ferrite, parfois de perlite avec ou sans nodules de graphite selon l'épaisseur du moulage.

- Cycle :
 - chauffage à 1 000 °C pendant 50 à 100 h.
 - refroidissement lent (5 à 10 °C/h) jusqu'à 660 °C.
 - refroidissement rapide (30 °C/h) jusqu'à la température ambiante.

1-3. Malléables à graphite nodulaire ferritiques et perlitiques (NF A-32-702) (MN).

1-3-1. Malléable à graphite nodulaire ferritique (dite Ferritique à cœur noir ou encore « Américaine »).

Au lieu d'une décarburation comme pour la malléable à cœur blanc, le traitement thermique produit une précipitation *in situ* du carbone sous forme de graphite en nodule (ceci étant obtenu sans quitter l'état solide). Aussi ce procédé est-il bien adapté aux grosses pièces. La fonte est ferritique avec des nodules de graphite.

- Cycle : il dépend essentiellement de la composition chimique de la fonte.

- Pour une fonte à 2,4 % C et 1,2 % Si
- chauffage à 900 °C pendant 15 h
- refroidissement très lent (2 °C/h) entre 740 et 680 °C
- refroidissement rapide (100 °C/h) jusqu'à la température ambiante.

1-3-2. Malléable à graphite nodulaire perlitique.

• La structure ferrito-perlitique ou perlitique peut être obtenue par traitement après austénitisation de la matrice (cycle A), ou directement par traitement des pièces brutes de coulée (cycle B).

- Cycle A (exemple)
 - chauffage 4 h à 800 °C
 - trempé à l'huile
 - revenu de 1 h à 700 °C
- Cycle B (exemple)
 - chauffage de 15 h à 1 000 °C
 - trempé à l'air
 - chauffage de 2 h à 800 °C
 - trempé à l'huile
 - revenu à 630 °C

2 ÉLABORATION DE L'ALLIAGE (fig. 1)

2-1. Charges : la moitié est constituée de retours de fabrication : masselottes, jets et attaques de coulées. L'autre moitié est réalisée avec des ferrailles de récupération, tôle, soit avec des gueuses d'hématite (fonte neuve sans soufre ni phosphore). La composition chimique finale est réalisée avec des ferro-alliages.

Les charges doivent être exemptes de chrome même à faible teneur. Le chrome stabilisant les carbures (dans le cas de la fonte blanche la cémentite) la décomposition de la cémentite sera très lente. peu de graphite précipité sous forme de nodules. traitement plus long

2-2. Fusion : généralement le cubilot, mais aussi le four réverbère, le four à induction.

3. FABRICATION DES PIÈCES

Les pièces sont obtenues à partir de la coulée de moule en sable ou de coquille métallique.

Le masselottage est important (mise au mille) à cause de la contraction de solidification non compensée par l'expansion graphitique comme dans le cas des fontes à graphite de solidification (v. p. 73 diag. 3a, 3b).

4. FOURS DE TRAITEMENTS THERMIQUES

Fours à combustible solide, liquide ou gazeux et à atmosphère contrôlée : Co + Co₂, H₂ + H₂O pour la fonte malléable à cœur blanc.

5. BRASAGE, SOUDAGE

Les malléables peuvent être brasées.

La malléable à cœur blanc peut être soudée notamment à l'arc électrique dans les parties suffisamment décarburees (jusqu'à une épaisseur de 6 mm).

6. ÉPROUVETTES DE CONTRÔLE (fig. 2).

Les éprouvettes sont coulées à part dans des moules en sable analogues à ceux des pièces avec l'alliage provenant d'une des poches utilisées pour la coulée des pièces dans les mêmes conditions de moulage et à la même température.

Elles subissent en même temps que les pièces qu'elles caractérisent, les mêmes cycles thermiques et sont placées dans les fours au voisinage de celles-ci.

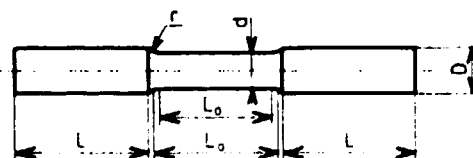
MB	is traitement	MN
Fonte de base	L résiduel	C 2,1 à 2,9 %
C : 2,9 à 3,3 %	e < 4 mm : 0,1 %	Si : 1,4 à 1
Si : e < 4 mm : > 0,7	à e > 12 mm : 1 %	C + Si compris entre 3,5 et 3,9
à e > 12 < 0,45		
P < 0,1 % ; S : 0,1 à 0,2 % ; Mn = 1,7 % + 0,15		
Composition chimique		

Dimensions des éprouvettes de traction

Diamètre	Tolérances sur le diamètre	Section nominale	Dimensions des têtes (1)		Longueur initiale entre repères	Longueur minimale de la partie calibrée	Rayons de raccordement des têtes à la partie calibrée
			Diamètre	Longueur			
d	d	S _n	D	L (2)	L ₀ = 3d	L _c	r
9	± 0,7	63,6	13	40	27	30	6
12	± 0,7	113,1	16	50	38	40	8
15	± 0,7	176,7	19	60	45	50	8

(1) Les têtes peuvent être modifiées, si besoin est pour pouvoir s'adapter à la machine d'essai.

(2) La longueur minimale de L doit correspondre à la longueur totale des mâchoires de la machine d'essai utilisée.



LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (12/20)

LE GRAPHITE DANS LES FONTES (1/2)

NF A 32-100

1. DESIGNATION DE LA MICROSTRUCTURE DU GRAPHITE DANS LES FONTES

L'examen au microscope des alliages fer-carbone montre que le graphite existant dans ces alliages peut être classé d'après :

- sa forme (désignée par des chiffres romains).
- sa répartition (désignée par des lettres majuscules).
- ses dimensions (désignées par des chiffres arabes).

1-1. Examen.

L'examen du graphite au microscope ou par toute autre méthode est généralement effectué sur la section polie non attaquée d'un échantillon.

- Examen de toute la surface polie (recherche d'hétérogénéité).

- Comparaison de la forme et de la répartition du graphite avec les images types des tableaux 1 et 2.

- Détermination au grossissement 100 des dimensions des particules de graphite.

1-2. Forme du graphite (tab. 1).

Six images-types représentent les principaux types de graphite observables dans les fontes

Nota : d'autres formes de graphite se présentent soit occasionnellement, soit lors de recherches entreprises pour développer des alliages nouveaux.

1-3. Répartition du graphite (tab. 2)

Les images types correspondent au graphite de la forme I ; il n'est pas usuel de se référer à des images-type pour désigner la répartition d'autres formes du graphite.

Nota : il n'y a pas de grossissement de référence pour l'examen de la forme et de la répartition du graphite.

1-4. Dimensions du graphite (tab. 3 p. 119)

Pour un grossissement de 100, les dimensions des particules ont été définies de telle sorte que leur dimension moyenne soit réduite de moitié chaque fois que l'on passe d'un rang au suivant.

1-5. Désignation du graphite

1-5-1. Pour caractériser le graphite observé on utilise respectivement dans l'ordre suivant :

- les chiffres romains du tableau 1 pour la **forme**
- les lettres majuscules du tableau 2 pour la **répartition**
- les chiffres arabes du tableau 3 pour la **dimension** (p. 119).

Exemple : graphite type I A 4 :

- graphite forme I
- répartition A
- au grossissement 100 dimension maximale du graphite de 12 à 25 mm.

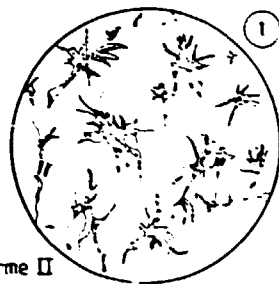
1-5-2. Si le graphite observé a des dimensions couvrant deux dimensions-types ou plus, on peut toutes les indiquer, en soulignant par exemple la dimension prédominante.

1-5-3. Des structures complexes comprenant différentes sortes de graphite peuvent être définies en estimant les pourcentages des différents types de graphite.

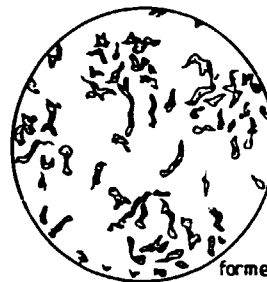
Nota : les diagrammes d'images-types n'indiquent que les contours et non la structure du graphite.



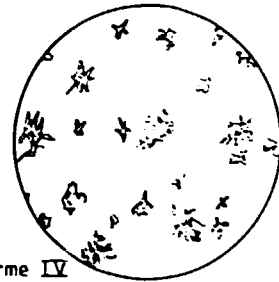
forme I



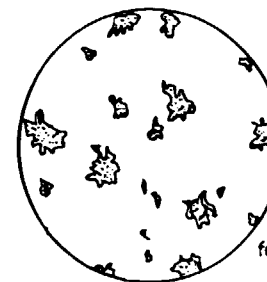
forme II



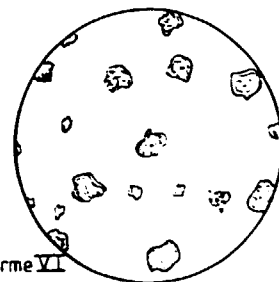
forme III



forme IV



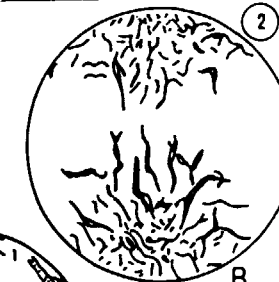
forme V



forme VI



A



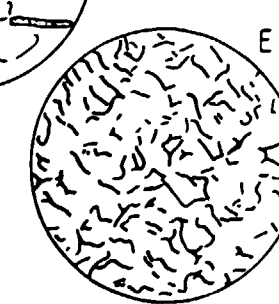
B



C



D



E

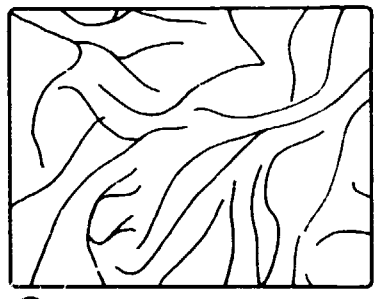
LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (13/20) LE GRAPHITE DANS LES FONTES (2/2)

2. DIAGRAMMES DE RÉFÉRENCE
POUR LES DIMENSIONS DU GRA-
PHITE (Tab. 3)

N°	Dimensions des particules grossissement 100	Dimensions réelles (3)
1	> 100 mm	> 1 mm
2	50 à 100 mm	0,5 à 1 mm
3	25 à 50 mm	0,25 à 0,5 mm
4	12 à 25 mm	0,12 à 0,25 mm
5	6 à 12 mm	0,06 à 0,12 mm
6	3 à 6 mm	0,03 à 0,06 mm
7	1,5 à 3 mm	0,015 à 0,03 mm
8	< 1,5 mm	< 0,015 mm



1



2



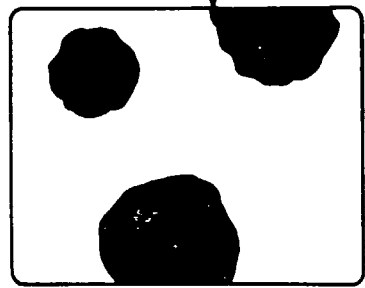
3



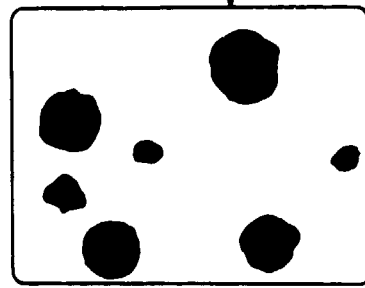
4



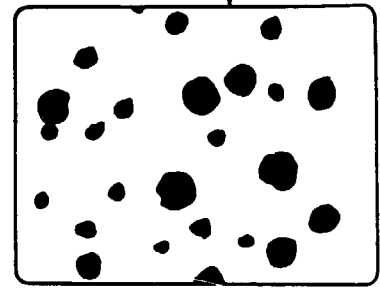
5



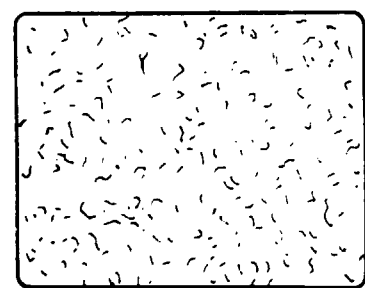
6



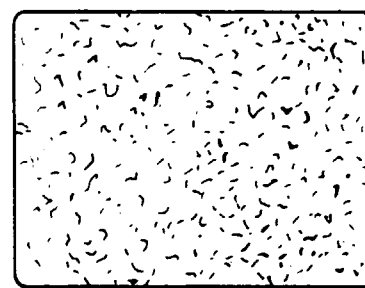
7



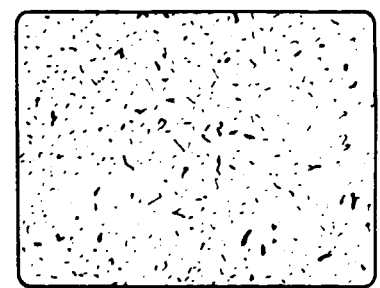
8



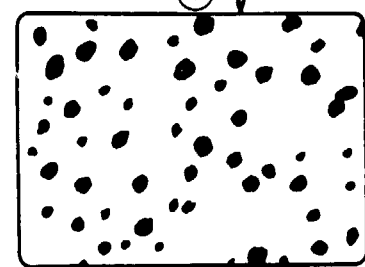
6



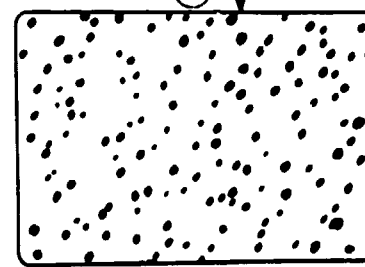
7



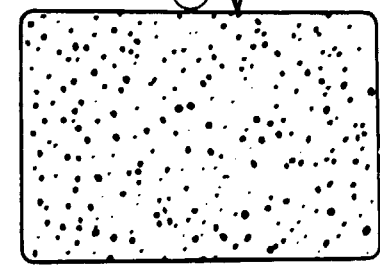
8



6



7



8

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (14/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES – GÉNÉRALITÉS (1/7)

NF A02-010

1. BUT

L'application aux pièces de fonderie parachevées de cycles thermiques appropriés, permet d'obtenir des propriétés spécifiques adaptées à un emploi déterminé.

Le traitement thermique, simple ou complexe, peut en général, à la fois ou séparément :

– Produire des modifications de la nature des constituants, sans changement dans la composition chimique globale moyenne. Ces constituants peuvent être en équilibre ou hors d'équilibre en fin d'opération. (Transformations allotropiques, mises en solution solide, précipitations, etc.).

– Entraîner des modifications structurales de la dimension, de la forme et de la répartition des constituants, sans en modifier la nature (exemple : recuit de coalescence).

– Utiliser certaines actions chimiques ou physico-chimiques pour augmenter ou réduire la teneur du métal en certains éléments, ou pour éventuellement modifier la nature de certains constituants, sous l'influence d'un milieu extérieur approprié (solide, liquide ou gazeux) ou de la pression de ce milieu (exemples : cémentation, chromisation).

– Conférer des propriétés particulières aux couches superficielles de la pièce traitée (exemple : trempé superficielle).

– Modifier la répartition et l'intensité des contraintes résiduelles (exemple : recuit de détente).

Le traitement thermique pourra être :

– général lorsqu'il est appliqué à l'ensemble de la pièce,
– local ou partiel lorsqu'il est appliqué seulement à une partie ou à certaines parties de la pièce mais non à son ensemble.

2. FACTEURS INTERVENANT DANS LE TRAITEMENT THERMIQUE

2.1- En général un traitement thermique sera défini simultanément par sa classe :

- recuit,
- trempé,
- revenu,
- traitements thermo-chimiques de diffusion,
- traitements divers.

et par l'indication des cycles thermiques subis.

Il faudra tenir compte de :

– l'effet de masse :

dans chaque cas particulier, les conditions de traitement doivent être fixées en fonction non seulement des propriétés du métal, mais encore des dimensions de la pièce (effet de masse) ainsi que des caractéristiques (conductivité thermique, température, agitation, etc.) des milieux de chauffage ou de refroidissement. En particulier, pendant un refroidissement, les variations instantanées de la température qui déterminent le résultat, dépendent de l'ensemble de ces conditions. Elles peuvent localement ne pas atteindre la vitesse de refroidissement nécessaire pour obtenir l'effet désiré (loi de refroidissement critique de trempé : v. chap. 5-21)

– la durée de mise en température : temps écoulé entre le début du chauffage et le moment où l'on estime que la température recherchée est atteinte, à cœur ou dans la partie de la pièce qui doit être traitée.

– la durée du maintien à la température prévue : comptée à partir du moment où le cœur de la pièce ou la partie non directement chauffée atteint cette température.

2-2. Austénisation.

Opération par laquelle l'acier est amené de façon plus ou moins complète à l'état austénitique, c'est-à-dire à l'état de solution solide du carbone ou d'autres constituants dans le fer à l'état γ .

Elle comprend un chauffage avec un maintien de durée suffisante. La température de ce maintien sera :

– dans le cas des aciers hypoeutectoïdes généralement au-dessus de A_c (v. chap. 8-1),

– dans le cas des aciers hypereutectoïdes au-dessus de A_{c_2} (chap. 8-1) si l'on recherche une austénisation complète, ou seulement au-dessus de A_c (chap. 8-1) si une austénisation incomplète est compatible avec la suite du traitement thermique.

Elle est dite complète lorsque la matrice est en équilibre à l'état austénitique.

Elle est dite partielle si à côté de la phase γ subsiste une proportion plus ou moins importante de phase α laquelle peut être réduite par un traitement approprié.

Elle est dite incomplète lorsque la mise en solution des carbures ou d'autres constituants n'a pas atteint l'équilibre ou n'est pas souhaitée (exemple : aciers à coupe rapide).

3. PHÉNOMÈNES LIÉS AUX TRAITEMENTS THERMIQUES

3-1. Surchauffe :

Chauffage effectué dans des conditions de température et de durée telles qu'il se produit un grossissement exagéré du grain, sans altération prononcée des joints, généralement accompagné d'une dégradation des propriétés mécaniques. Un métal surchauffé peut être régénéré par un traitement thermique et/ou une déformation plastique appropriée.

3-2. Brûlure :

Chauffage ayant entraîné une altération prononcée des joints de grains telle que la régénération du métal soit devenue impossible.

3-3. Décarburation (ou recarburation).

Elle peut être générale ou limitée aux couches superficielles.

3-4. Graphitisation : précipitation du carbone combiné, sous forme de graphite.

3-5. Tapure :

Fissuration provoquée dans le métal par les effets immédiats ou différés d'un chauffage ou d'un refroidissement.

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (15/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES – GÉNÉRALITÉS (2/7)

NF 02-010

-1. Le recuit a pour but séparément ou simultanément :

- a) de détruire les effets sur la structure : de la solidification, d'une déformation plastique, d'un soudage, d'un traitement thermique antérieur ;
- b) de mettre le métal dans un état adouci défini ou de tendre vers cet état si la structure a été perturbée par les traitements antérieurs ;
- c) de provoquer la formation de structures favorables à l'usinage ou à la déformation à froid ;
- d) de provoquer la formation d'une structure déterminée en vue, par exemple, d'un traitement thermique ultérieur ;
- e) d'éliminer ou de réduire les contraintes propres ;
- f) d'atténuer les hétérogénéités de la composition chimique du métal.

Le cycle thermique comporte :

- un chauffage jusqu'à une température dite température de recuit, déterminée en vue du but à atteindre ;
- éventuellement un maintien isotherme, ou des oscillations autour de cette température ;
- un refroidissement à l'air calme ou suivant une loi imposée.

4-2. Types de recuits

4-2-2. La température maximale atteinte se place au-dessus ou à l'intérieur de l'intervalle critique (chap. 8-2). On distingue :

4-2-2-1. Le recuit (proprement dit) (fig. 1, p. 126).

Il comporte successivement :

- un chauffage et un maintien à la température de recuit ;
- un refroidissement lent, spécialement à travers le domaine de transformation.

Ce traitement est dit de recuit complet. C'est généralement celui que désigne le mot « recuit » employé seul.

4-2-2-2. Le recuit de régénération ou d'affinage structural.

Chauffage un peu au-dessus de la limite supérieure de transformation et sans maintien prolongé, suivi d'un refroidissement à vitesse convenable, en vue d'affiner ou de régulariser le grain de l'acier.

La normalisation (v. chap. 7-1) des aciers à bas carbone peu ou non alliés est souvent assimilée à un recuit de régénération suivant.

4-2-2-3. Le recuit en vue du grossissement du grain.

Recuit effectué à température élevée (nettement au-dessus de A_c) avec un maintien de durée suffisante

4-2-2-4. Le recuit isotherme (fig. 5, p. 126)

Il comporte successivement :

- un chauffage d'austénisation,
- un refroidissement approprié jusqu'à une température où se produit la transformation en ferrite et agrégats de cémentite, mais qui exclut la formation des constituants intermédiaires (bainites) et, a fortiori, celle de la martensite.

- un maintien de durée convenable pour une transformation complète ou suffisante, ou pour coalescer la cémentite,
- un refroidissement quelconque jusqu'à la température ambiante.

4-2-3. La température atteinte est, en principe, au-dessus de l'intervalle critique. On distingue :

4-2-3-1. Le recuit de coalescence.

Il comporte successivement :

- un chauffage juste au-dessus de la température de transformation A_c ;
- un maintien prolongé à cette température (ou, éventuellement, une série de refroidissements et de réchauffages entre deux températures voisines situées de part et d'autre de A_c ;
- un refroidissement à vitesse convenable.

Ce traitement permet au métal d'atteindre un équilibre structural comportant des modifications de la forme et des dimensions de constituants fins dispersés (exemple : sphéroidisation de la cémentite).

Remarque. - Un traitement analogue effectué à température convenable sur certains aciers inoxydables est dit recuit de stabilisation (v. chap. 7-6-2)

4-2-3-2. Le recuit d'adoucissement ou d'amélioration de l'usinabilité.

Recuit effectué quelques dizaines de degrés au-dessus de A_c , en vue d'améliorer l'usinabilité ou l'aptitude à la déformation à froid.

4-2-3-3. Le recuit de détente.

Chauffage avec ou sans maintien et suivi d'un refroidissement à vitesse convenable dont le but est le relâchement plus ou moins complet des contraintes résiduelles dues à la solidification ou aux opérations thermiques ou mécaniques ou de soudage antérieures.

4-2-3-4. Le recuit de relaxation.

Ce recuit est dit de relaxation, lorsque la température atteinte est supérieure à celle du début du fluage, mais reste inférieure à A_c ; elle permet le relâchement des contraintes résiduelles de caractère macroscopique.

4-2-3-5. Le recuit de restauration.

Recuit effectué au-dessous de A_c , en vue de restaurer au moins partiellement les propriétés physiques ou mécaniques, sans modification apparente de la structure : diminution de la dureté, de la résistivité, de l'écroissage, etc.

4-2-3-6. Le recuit de recristallisation.

Recuit effectué au-dessus d'une température dépendant de la nuance d'acier et de son degré d'écroissage, en vue de remplacer la structure distordue ou écroûie par un travail mécanique, par une nouvelle structure à grains reformés.

4-2-3-7. Le recuit de diffusion, le recuit d'homogénéisation.

Expressions quelquefois utilisées pour désigner le traitement défini.

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (16/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES – GÉNÉRALITÉS (3/7)

NF 02-010

5-1. TREMPER

5-1. En général la trempe consiste à soumettre le métal à un cycle thermique comprenant successivement :

1. Un chauffage destiné à mettre certains constituants en solution solide dans la phase stable à haute température (austénisation).

2. Un refroidissement de mode approprié effectué à partir d'une certaine température dite température de trempe jusqu'à une autre température plus basse et pouvant être différente de la température ambiante.

La trempe est souvent la première étape d'un traitement plus complexe comportant ensuite un ou plusieurs revenus (chap. 6). L'ensemble de ces traitements a pour but une amélioration des caractéristiques du métal traité, telle que, par exemple, une meilleure résilience pour une résistance déterminée.

Effets de la trempe

La trempe peut produire l'un des effets suivants :

La solution solide stable à chaud subit pendant le refroidissement un changement de phase pratiquement total s'accompagnant d'un accroissement notable de la dureté (trempe martensitique, trempe bainitique).

La solution solide ne se transforme que partiellement au refroidissement en constituants durs. Un ou des traitements thermiques complémentaires pourront produire un nouvel accroissement de dureté soit en parachevant la transformation, soit en provoquant la précipitation de composants moins solubles à froid (durcissement secondaire).

La solution solide stable à chaud ne subit pratiquement aucune transformation jusqu'à la température ambiante. Il y a en général adoucissement du métal (trempe des aciers austénitiques, hypertrempe).

Pour certains aciers un rechauffage subséquent à température moyennement élevée peut produire un durcissement secondaire.

Le terme trempe employé sans qualificatif désigne généralement le durcissement dû à la formation de constituants martensitiques.

5-2. Loi de refroidissement.

Relation liant au temps les températures successives des différents points d'une pièce immergée dans un milieu donné et de température fixée, mais inférieure à celle qui a été atteinte pendant le chauffage.

5-2-1. Loi de refroidissement critique.

On appelle loi de refroidissement critique pour un constituant déterminé, la loi de refroidissement la moins sévère qui rende possible la formation exclusive de ce constituant à partir de l'austénite (fig. 2, p. 126).

On distingue :

- la loi de refroidissement critique de trempe (martensitique) par laquelle la formation de constituants intermédiaires (perlite, bainite, etc.) est juste évitée et celle de la martensite rendue possible (courbe 1, fig. 2, p. 126).

- la loi de refroidissement critique bainitique correspondant aux conditions limites de refroidissement pour lesquelles la formation de perlite ou de constituants proeutectoides est évitée et celle de la bainite rendue possible (courbe 2, fig. 2, p. 126).

5-3. Aptitude à la trempe.

Cette aptitude, liée aux conditions de trempe, est caractérisée par :

- l'intensité du durcissement, grandeur qui exprime les possibilités maximales de durcissement. Elle dépend principalement de la quantité de carbone mise à chaud en solution solide ;

- la pénétration de trempe (trempabilité) qui est représentée par les variations de la dureté, de la surface au cœur. Elle est influencée par les quantités de carbone et de constituants de l'alliage, mises en solution solide par l'austénitisation et, dans certains cas, par la grosseur du grain austénitique.

5-4. Types de trempe.

Le constituant principal désiré peut être du type martensitique ou bainitique ou, pour certaines nuances, austénitique. La loi de refroidissement peut être continue ou discontinue. Ceci fait apparaître :

5-4-1 les trempes martensitiques.

Le constituant final principal est la martensite.

5-4-1-1 : le refroidissement est continu jusqu'à une température inférieure à M_f (ou voisine de M_f) (v. chap. 8-1). C'est le traitement désigné par l'expression courante de trempe.

Le cycle thermique comprend :

- un chauffage d'austénitisation,

- un refroidissement assez rapide pour exclure à la fois la transformation supérieure de l'austénite dans le domaine perlitique et la transformation intermédiaire dans le domaine bainitique (courbe 1, fig. 4).

5-4-1-2 : le refroidissement est effectué de façon discontinue (trempe différée martensitique, trempe interrompue, trempe étagée, trempe en deux temps) (fig. 3). L'interruption du refroidissement s'est produite dans une zone de température et pendant un temps tel que l'austénite n'a pas subi de modification décelable pendant cet arrêt.

Le cycle thermique comprend successivement :

- un chauffage d'austénitisation,

- un refroidissement dont la loi comporte des vitesses supérieures à la vitesse critique de trempe jusqu'à une température déterminée voisine de M_s (température d'apparition de la martensite),

- un maintien pendant une durée suffisante pour que l'équilibre thermique de la pièce soit approché, mais assez courte cependant pour que l'austénite ne se transforme pas de façon sensible,

- un refroidissement jusqu'à la température ambiante, suivant des conditions déterminées pour que la formation de martensite soit quasi-totale.

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (17/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES - GÉNÉRALITÉS (4/7)

NF 02-010

4-2. Les trempes bainitiques.

Le constituant final principal est la bainite. La loi de refroidissement est telle que sont évitées la transformation supérieure austénite-perlite et de même, au moins partiellement, la transformation inférieure austénite-martensite (fig. 6, p. 126).

Le cycle thermique comprend successivement :

- un chauffage d'austénisation,
- un refroidissement suffisamment rapide pour éviter un début de transformation dans le domaine perlitique,
- dans le domaine bainitique (zone de températures supérieures à la température M_s du début de la formation de la martensite) le cycle thermique pourra se poursuivre par l'une des deux variantes ci-après :

a) un ralentissement du refroidissement, puis, quand la transformation intermédiaire est suffisamment avancée, un refroidissement quelconque jusqu'à la température ambiante (courbe 2, fig. 4, p. 126) :

b) un maintien à température constante, puis, quand la transformation intermédiaire est terminée, un refroidissement quelconque jusqu'à la température ambiante (fig. 6, p. 126).

Remarques :

- Bien que les deux méthodes ci-dessus permettent d'obtenir après traitement des duretés analogues sur des pièces identiques, il ne s'ensuit pas que les résultats seront généralement les mêmes en ce qui concerne les autres caractéristiques du métal traité.

- La variante a) est généralement suivie d'un revenu, la variante b) au contraire s'utilise sans revenu.

5-4-3. La trempe des aciers austénitiques (hypertrempe).

Traitement dont le but est de maintenir l'austénite à la température ambiante en empêchant toute transformation au cours du refroidissement. Ce traitement n'est applicable qu'aux aciers pour lesquels le début de la transformation martensitique (M_s) se situe au-dessous de la température ambiante.

Le cycle thermique comprend successivement :

- une austénisation,
- un refroidissement dont les vitesses permettent d'éviter toute séparation de phases.

On emploie aussi quelquefois cette expression pour désigner un traitement au cours duquel, à côté de l'austénite (en proportion prédominante) apparaissent des quantités non négligeables de martensite.

5-4-4. Le durcissement secondaire.

Augmentation de dureté qui peut avoir pour origine :

- la formation de martensite (trempe secondaire) à partir d'austénite résiduelle. Cette martensite se forme soit pendant le maintien à la température de revenu, soit au cours du refroidissement qui suit ce maintien, soit enfin lors d'une réfrigération à plus ou moins basse température ;
- la précipitation de constituants durs (carbures en particulier),
- une séparation des phases (composés intermétalliques) à partir d'une solution solide instable, dont la matrice peut être austénitique, ferritique ou martensitique (le phénomène n'est pas toujours décelable par observations en microscope optique).

5. REVENU

6-1. Traitement thermique effectué sur un produit à l'état trempé en vue de modifications lui conférant les caractéristiques d'emploi désirées. Ce traitement provoque la formation d'une structure plus proche de l'état d'équilibre physico-chimique que celle obtenue par la trempe. L'ensemble des deux opérations se désigne par « trempe et revenu ».

Le cycle thermique comporte successivement :

- un réchauffage jusqu'à une température déterminée mais inférieure à celle de A_c ,
- un ou plusieurs maintiens à une ou des températures déterminées,
- un ou des refroidissements jusqu'à la température ambiante par un mode approprié ou suivant une loi fixée.

En règle générale, le revenu se traduit :

- soit par un adoucissement qui conduit à une amélioration des caractéristiques de ductilité,
- soit par un durcissement secondaire.

6-2. Revenu de détente ou de stabilisation (Relaxation).

Son but principal est le relâchement plus ou moins complet des contraintes résiduelles (contraintes propres) dues à la trempe. Il peut entraîner de faibles modifications de dureté et/ou de structure. La température de traitement adoptée est inférieure à celle du dernier traitement thermique subi.

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (18/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES - GÉNÉRALITÉS (5 7)

N° 02-010

7. TRAITEMENTS THERMIQUES DIVERS

7-1. Normalisation.

Expression utilisée couramment pour désigner un traitement comportant un chauffage d'austénisation (v. p. 120) suivi d'un refroidissement à l'air calme.

Dans le cas des aciers au carbone ou faiblement alliés, il est destiné à produire une structure aussi voisine que possible de la perlite fine. Dans le cas des aciers alliés à faible teneur en carbone, il peut provoquer en même temps la formation d'une structure bainitique ou quelquefois martensitique.

Le terme est souvent utilisé pour désigner un recuit de régénération (v. ch. 4-222) lorsqu'il s'applique à des pièces non nécessairement surchauffées mais pouvant présenter une structure grossière.

Par suite de l'influence des dimensions et de la forme de la pièce sur la loi de refroidissement l'état final peut, pour une même nuance d'acier, varier plus ou moins en fonction de ces facteurs géométriques.

7-2. Modification de la grosseur de grain.

Exemples : régénération ou affinage structural, d'acier surchauffé, recuit en vue du grossissement du grain.

7-3. Traitement d'homogénéisation ou de diffusion.

(appelé parfois recuit d'homogénéisation ou de diffusion).

Traitement à une température et pendant une durée telle que la diffusion soit suffisante pour atténuer les hétérogénéités de composition chimique du métal qui ont été produites par une opération antérieure effectuée à très haute température : cémentation, solidification après moulage, etc. Le refroidissement est ensuite effectué suivant une loi convenable.

7-4. Malleabilisation.

Ces traitements s'appliquent surtout aux fontes.

a) Malleabilisation par décarburation

Traitement thermique effectué en vue de la décarburation partielle ou totale par un milieu oxydant convenable (procédé Réaumur de fabrication de la fonte malleable).

b) Malleabilisation par graphitisation

Traitement thermique d'un produit de composition convenable effectué suivant un cycle déterminé en vue d'obtenir la précipitation plus ou moins complète du carbone à l'état de graphite (fonte malleable à cœur noir dite « américaine »).

7-5. Vieillessement.

Variation en fonction du temps, à la température ambiante ou au cours d'un léger chauffage, des propriétés du métal

ayant subi un traitement préalable : trempe ou et écrouissage.

Le vieillissement est dit

- naturel ou spontané,

s'il se produit à la température ambiante et sans intervention d'autre facteur (il est quelquefois appelé, improprement, revenu spontané).

- artificiel ou accéléré.

s'il est hâté par un chauffage à une température modérée ou par une réfrigération ou par des oscillations de température (à l'intérieur d'un intervalle pouvant ou non englober la température ambiante) ou par une action mécanique, ou toute autre combinaison de ces moyens.

Le but de ce traitement est d'obtenir rapidement des modifications de propriétés qui ne se seraient produites spontanément à la température ambiante qu'au bout d'un temps plus long.

7-6. Stabilisation des dimensions et des propriétés.

7-6-1. Chauffage ou refroidissement, à une température définie ou suivant des cycles thermiques déterminés, pour obtenir la stabilité des dimensions par la réduction des contraintes propres et la réalisation d'un état structural et physico-chimique stable à la température d'emploi (jauges, calibres, pièces mécaniques, etc.).

7-6-2. Recuit de stabilisation.

Recuit pratiqué sur certains aciers en vue de coalescer ou d'agglomérer des précipitations fines (exemple : recuit des aciers inoxydables stabilisés chimiquement au titane ou au niobium pour coalescer les carbures précipités).

7-7. Traitement par le froid (réfrigération).

Traitement comportant un refroidissement, parfois très au-dessous de la température ambiante, destiné à provoquer ou à compléter une transformation.

7-8. Milieu où s'effectue le traitement.

Tous les traitements décrits ci-dessus peuvent être effectués dans le vide ou dans des milieux d'activité différente : gazeux (air, mélange de gaz ou de vapeurs), liquides (eau, huile, métal ou sels fondus), solides pulvérulents (sable, ciment, tournures, poudres fluidisées). La nature particulière du milieu doit être précisée.

7-8-1. Atmosphère contrôlée.

Atmosphère de l'enceinte de traitement dans laquelle des concentrations de température et pression des divers constituants, gaz ou vapeurs, sont maintenues entre des limites fixées de façon à favoriser ou à éviter certaines réactions de ces constituants avec le métal traité (réduction, oxydation, carburation, décarburation, etc.).

LES PIÈCES EN ALLIAGE FERREUX (19/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES - GÉNÉRALITÉS (6/7)

NF 02-010

8. POINTS ET INTERVALLES DE TRANSFORMATION

On distingue :

Les définitions ci-après ne s'appliquent, en toute rigueur, qu'aux aciers au carbone ou faiblement alliés. La nature et la cinétique des transformations, les températures où elles se produisent, peuvent être profondément modifiées par la présence d'éléments d'alliage en quantités notables.

A_{cm} : température d'équilibre de la transformation.

A_{cm} : température à laquelle la mise en solution de la cémentite est complète dans les conditions du chauffage utilisé.

$A_{r_{cm}}$: température à laquelle la précipitation de la cémentite commence dans les conditions du refroidissement utilisé.

A_4 : température d'équilibre austénite - fer δ .

8-1. Point de transformation ou point critique avec changement de phase.

M_5 : température à laquelle la transformation de l'austénite en martensite commence au refroidissement.

Température à laquelle se produit, au cours du chauffage ou du refroidissement d'un acier, un changement de phase ; cette température s'appelle également température de transformation ou température critique.

M_6 : température à laquelle la transformation de l'austénite en martensite est pratiquement complète au refroidissement.

Les zones de transformation au refroidissement sont quelquefois désignées par les symboles suivant :

Points critiques principaux :

Ar' - domaine de transformation perlitique,

A_1 : température de l'équilibre austénite - ferrite + cémentite : l'austénite commence à se former au chauffage et achève de se décomposer au refroidissement en formant le mélange ferrite + cémentite de composition eutectoïde.

Ar'' - domaine de transformation intermédiaire,

Ar''' - domaine de transformation martensitique.

On distingue :

8-2. Intervalle critique (ou zone critique).

A_{e1} : température d'équilibre de la transformation.

Zone de températures dans laquelle se produisent les transformations. Elle est comprise entre les points A_1 et A_3 ou entre A_1 et A_{cm} .

A_{c1} : température à laquelle l'austénite eutectoïde commence à se former dans les conditions du chauffage utilisé.

Ar : température à laquelle la transformation de l'austénite eutectoïde en ferrite + cémentite se termine au cours du refroidissement utilisé.

8-3. Transformations sans changement de phase.

A_3 : température d'équilibre austénite - ferrite dans le cas d'acier hypoeutectoïde, au-dessus de laquelle l'austénite seule est stable et au-dessous de laquelle la ferrite apparaît progressivement.

Transformation magnétique (point de Curie) de la ferrite.

On distingue :

Température à laquelle la ferrite passe pendant le chauffage de l'état ferromagnétique à l'état non ferromagnétique et réciproquement. Ce point de transformation a été autrefois appelé point A_2 .

A_{e3} : température d'équilibre de la transformation

A_{c3} : température à laquelle la transformation ferrite \rightarrow austénite est complète dans les conditions du chauffage utilisé.

Transformation magnétique (point de Curie) de la cémentite.

A_{r3} : température à laquelle l'austénite commence à se transformer en ferrite au refroidissement.

Température à laquelle la cémentite passe de l'état ferromagnétique à l'état non ferromagnétique et réciproquement. Ce point est appelé quelquefois A_0 .

A_{cm} : température de l'équilibre austénite - cémentite dans le cas des aciers hypereutectoïdes, au-dessus de laquelle l'austénite seule est stable et au-dessous de laquelle la cémentite apparaît progressivement.

LES PIÈCES EN ALLIAGES FERREUX (20/20)

TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES - GÉNÉRALITÉS (7/7)

NF 02-010

9. TRANSFORMATIONS CONTINUES

Recuit : (proprement dit) (fig. 1) refroidissement suffisamment lent pour que la transformation de l'austénite en ferrite et cémentite soit totale.

Courbes de refroidissement critique (fig. 2), elles correspondent aux refroidissements les plus lents qui permettent d'éviter tout début de transformation.

- Courbe 1 : refroidissement critique martensitique.
- Courbe 2 : refroidissement critique bainitique.

Trempe différée martensitique (fig. 3).

Refroidissement plus rapide que le refroidissement critique jusqu'à une température juste supérieure à Ms suivi d'un maintien isotherme juste suffisant pour tendre vers l'équilibre thermique de la pièce, tout en évitant, autant que possible, la traversée du domaine bainitique ; puis refroidissement achevé à travers le domaine martensitique.

Courbes de refroidissement montrant deux des résultats possibles de la trempe.

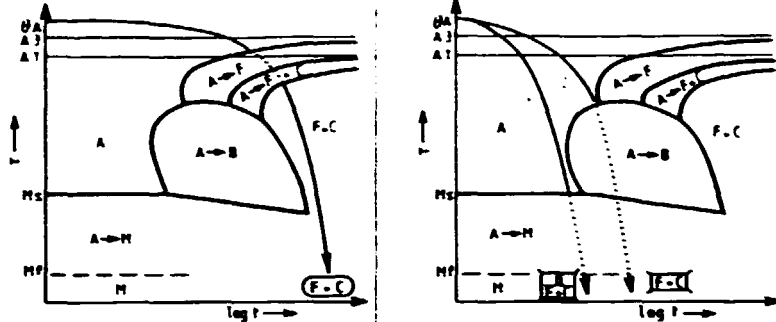
- Courbe 1 : martensite pure.
- Courbe 2 : mélange martensite - bainite dans lequel la proportion de martensite sera d'autant plus faible que la durée de traversée du domaine austénite bainite aura été plus longue (cependant en pratique la structure obtenue ne sera jamais totalement bainitique).

10. TRANSFORMATIONS ISOTHERMES.

Recuit isotherme (fig. 5).
Refroidissement au-dessous de l'intervalle critique suivi d'un maintien suffisamment long dans la zone de transformation de l'austénite en ferrite et cémentite pour permettre à ces transformations de se produire complètement. Le refroidissement est ensuite achevé de façon quelconque.

Trempe bainitique (fig. 6).
Elle comporte un refroidissement plus rapide que le refroidissement critique bainitique jusqu'à une température supérieure à Ms suivi d'un maintien isotherme dans le domaine bainitique pendant un temps suffisant pour permettre la transformation bainitique. Le refroidissement et ensuite achevé de façon quelconque.

Diagrammes continus

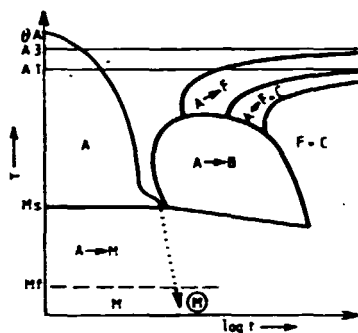


Courbes limites de refroidissement critique

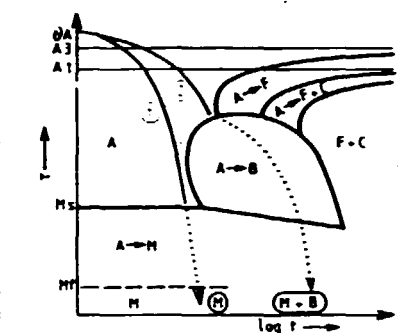
- ① de trempe
- ② bainitique

① Recuit

②

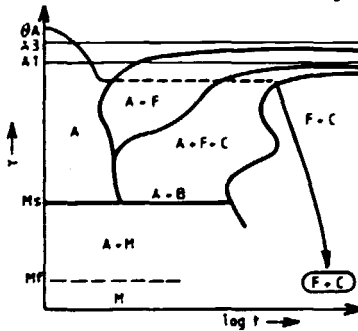


③ Trempe différée martensitique

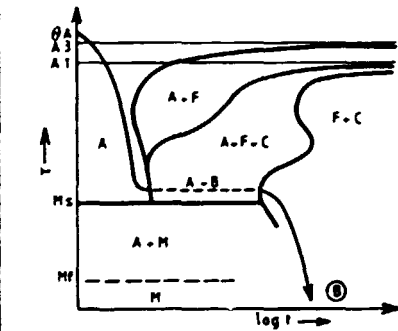


④ Trempe
① martensite pure
② martensite + bainite

Diagrammes isothermes



⑤ Recuit isotherme



⑥ Trempe bainitique

Légende des diagrammes		theta A	température d'austénitisation
—	courbe Temps - Température - Transformation	A	austénite
—	courbe de refroidissement	F	ferrite
.....	zone de transformation continue	C	cémentite
- - - - -	zone de transformation isotherme	B	bainite
T	température	M	martensite
log t	logarithme du temps	(M)	produit final obtenu
		[F-C]	produits dont la formation a été empêchée

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (1/19)

NF A 57-702

1. LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

1-1. Généralités.

La métallurgie de l'aluminium comprend deux opérations principales :

• Préparation d'alumine à partir de minerai : Le minerai, ou bauxite, est attaqué par de la soude. Seule l'alumine est dissoute, les impuretés étant séparées par filtration.

L'hydrolyse de l'aluminate de soude formé donne un précipité d'alumine hydraté qui est séché et calciné.

• Cette alumine anhydre, mise en solution à 10 % environ dans la cryolithe fondue constitue un électrolyte.

L'électrolyse s'effectue dans des cuves de 30 000 à 100 000 ampères.

L'aluminium obtenu est versé dans des fours de 25 à 50 tonnes pour le séparer, par décantation, des impuretés qu'il contient (sels provenant du bain).

Le métal est coulé en lingots.

L'aluminium ainsi obtenu contient du fer et du silicium qui sont des impuretés. Leur teneur totale définit le titre de l'aluminium. Celui-ci est au moins de 99 %.

Il existe un aluminium de très grande pureté (titre : 99,99 %) appelé aluminium raffiné, obtenu par raffinage électrolytique de l'aluminium à 99 %.

1-2. Propriétés principales de l'aluminium.

Propriétés physiques :

Structure cristalline cubique à faces centrées

Masse volumique à 20 °C	2,7 g/cm ³
Température de fusion	660 °C
Chaleur de fusion	385 J/g
Coefficient de dilatation de + 20 °C à + 500 °C	27,7 × 10 ⁻⁶
Contractions en volume :	
- retrait à l'état solide	1,8 %
- à l'état liquide	6,6 %
- de solidification	5,6 %
Capacité thermique massique moyenne	0,98 J/g/°C
Conductivité thermique à 20 °C	2,17 Ω/cm/°C
Résistivité électrique à 20 °C	2,8 × 10 ⁻⁸ Ω cm

Propriétés chimiques :

L'aluminium présente un bon comportement avec l'eau et notamment avec l'eau de mer (en particulier les alliages Al Mg)

Le comportement en présence de quelques acides minéraux (chlorhydrique, sulfurique) ou organiques (trichloracétique) est mauvais.

Il faut noter aussi l'attaque violente par la soude, la potasse et quelques sels.

Il faut éviter le contact en atmosphère humide entre l'aluminium et le cuivre (action électrochimique).

1-3. Familles d'alliages d'aluminium de fonderie.

La norme NF A57-702 définit les cinq familles d'alliages suivantes :

- L'aluminium non allié.
- Les alliages au cuivre.
- Les alliages au silicium.
- Les alliages au magnésium.
- Les alliages au zinc.

Il existe, en outre, un alliage Alu-Manganèse qui n'est pas compris dans cette norme.

L'addition d'un autre métal va modifier considérablement les propriétés de l'aluminium, en les améliorant dans la plupart des cas.

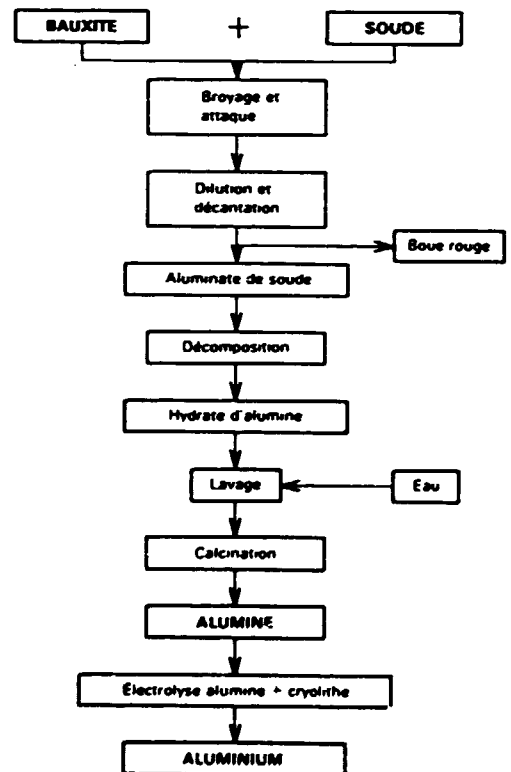
Ainsi, les propriétés de fonderie : coulabilité, criquabilité, aptitude à la retassure ont des valeurs nettement différentes de l'aluminium pur.

Les caractéristiques mécaniques sont très nettement augmentées.

Quelques propriétés physiques et chimiques (coefficient de dilatation, conductivité thermique et électrique, résistance à la corrosion) sont modifiées.

Aux métaux d'addition de base (Cu-Si-Mg-Zn) sont ajoutés en faibles proportions (0,1 à 3 %), des métaux tels que le fer, le manganèse, le nickel, le titane, le silicium, le magnésium.

Fabrication de l'aluminium (procédé BAYER)



LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (2/19)

NF A 57-702

①

La mesure des propriétés de fonderie se fait dans les éprouvettes mises au point par le Centre Technique de l'Aluminium.

Ces éprouvettes sont en fonte ou en acier.

– L'éprouvette de coulabilité (v. fig. 1) est une spirale que l'alliage doit remplir par gravité. La mesure, en cm, de la spirale obtenue quantifie la coulabilité de l'alliage :

– L'éprouvette de criquabilité (v. fig. 2) comporte une série de 6 barreaux de différentes longueurs. L'indice de criquabilité est la somme des notes qualitatives de l'aspect de la crique, par barreau.

Par exemple :

Rupture complète $i = 1$, amorce de rupture d'un seul côté : $i = 0,4$, etc.

I varie de 0 à 6.

– L'éprouvette de retassure (v. fig. 3) permet d'évaluer par rapport à la contraction globale, le pourcentage de chaque forme de retassures :

macroretassure interne et externe

microretassure

affaissement et poquette.

1-3-1. Aluminium non allié.

Trois nuances d'aluminium non allié sont données par la norme NF A 57-602.

A 7 à 99,7 % d'aluminium

A 5 à 99,5 % "

A 4 à 99 % "

Cette norme ne spécifie aucune caractéristique mécanique, mais on peut citer les chiffres moyens suivants :

$R = 80$ à 100 MPa

LE (à 0,2 %) = 30 à 40 MPa

$A\%$ = 25 à 30 .

Dureté Brinell : 15 à 20 .

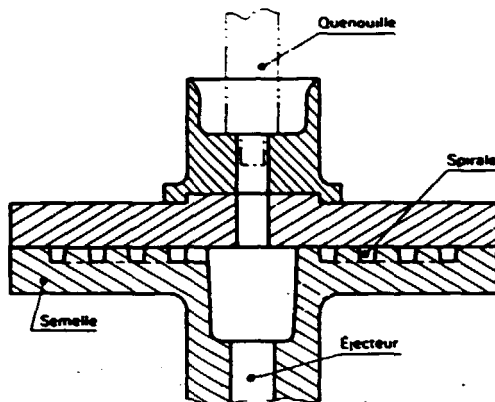
Module d'élasticité : $67\ 500$ MPa.

L'aluminium pur présente une grande criquabilité à chaud, une coulabilité inférieure à ses alliages et une aptitude à la retassure importante.

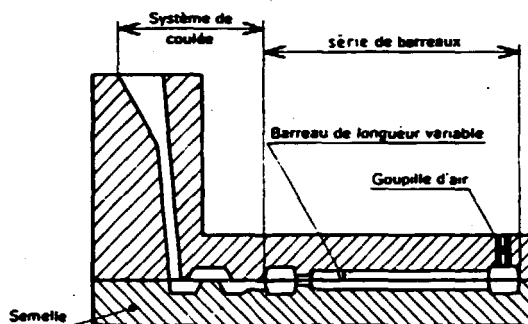
C'est pour ces raisons que l'aluminium non allié est peu utilisé en fonderie.

Sa très bonne résistance chimique générale et surtout sa grande conductibilité thermique et électrique font qu'on l'utilise surtout dans certaines applications de l'industrie chimique ou électrique (rotor du moteur asynchrone).

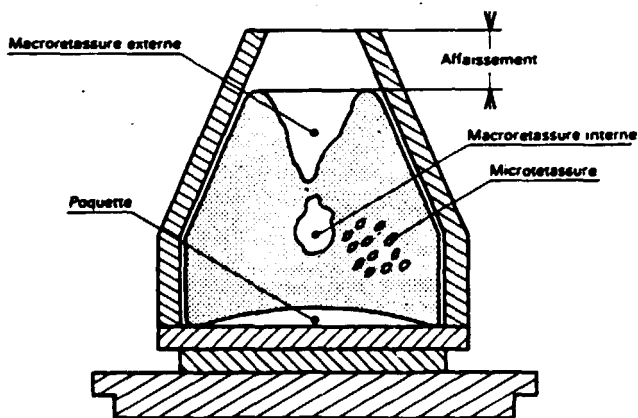
En ce qui concerne les impuretés courantes de l'aluminium, le silicium est celle qui abaisse le plus la conductibilité électrique.



Epreuve spirale de coulabilité (d'après modèle C.T. Alu.)



Epreuve de criquabilité (d'après modèle C.T. Alu.)



Epreuve de retassure (d'après modèle C.T. Alu.)

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (3/19)

1-3-2. Alliages Aluminium-Cuivre.

L'examen du diagramme d'équilibre Al-Cu montre l'existence d'une solution solide α contenant jusqu'à 5,65 % de Cu à la température eutectique (548 °C). En fait, le diagramme est très complexe à partir de 60 % de cuivre, mais simple dans la partie qui intéresse les alliages industriels qui ne contiennent pas plus de 10 % à 12 % de cuivre.

L'eutectique correspond à 33 % de Cu à une température de 548 °C.

On note l'existence d'un composé défini Al_2Cu pour 54,1 % de Cu. L'existence de la solution solide β est probable.

A partir de 548 °C la solubilité du cuivre dans l'aluminium diminue avec la température pour arriver à 0,3 % de Cu à 20 °C.

Ainsi, les alliages industriels Al-Cu ont tous, comme base, la solution solide α jusqu'à 5 % de Cu. Au-dessus de cette teneur, les alliages sont également constitués de l'eutectique $\alpha + \beta + Al_2Cu$.

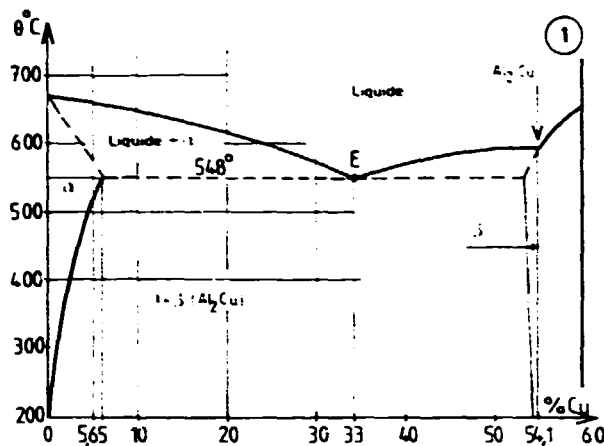


Diagramme d'équilibre Al. Cu.

Influences du cuivre :

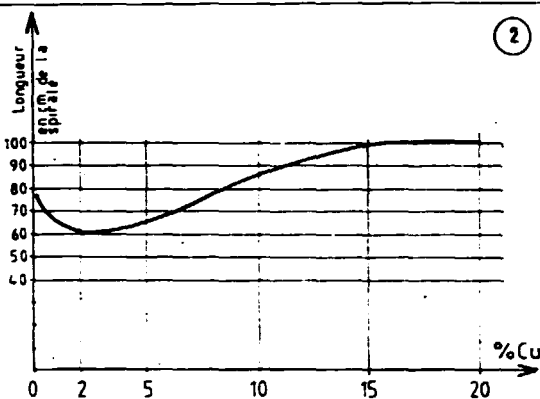
Le cuivre augmente très nettement les caractéristiques mécaniques et principalement la dureté.

Les Al-Cu ont une très mauvaise tenue à la corrosion aqueuse, surtout à l'eau de mer.

La coulabilité est améliorée par rapport à l'aluminium pur pour des taux de Cu atteignant 7 à 8 % (v. fig. 2).

La criquabilité est importante : en effet les Al-Cu sont fragiles à chaud et particulièrement les alliages contenant jusqu'à 5 % de Cu (grand intervalle de solidification) (v. tableau 1 p. 130).

Le tableau 2 page 130 permet de constater que la contraction globale des Al-Cu est une des plus fortes, ainsi que l'affaissement (à cause également du grand intervalle de solidification).



Courbe de coulabilité des Al Cu (D'après C.T. Aluminium)

1-3-3. Alliages Aluminium-Silicium.

Le diagramme Al-Si est simple dans son ensemble :

On note l'existence de deux solutions solides :

La solution α , riche en aluminium et qui contient 1,65 % maxi de Si à 577 °C pour arriver à 0,1 % à 0,2 % à 20 °C.

La solution β contenant jusqu'à 97 % de Si.

Il existe un eutectique Al-Si ($\alpha + \beta$) à 11,7 % de Si à 577 °C.

Les alliages hypoeutectiques sont constitués de α et de l'eutectique $\alpha + \beta$.

Les alliages hypereutectiques ou hypersiliciés, sont constitués d'eutectique $\alpha + \beta$ et de β .

La faible solubilité du Si dans l'aluminium et un phénomène de surfusion, font que le Si (ou β) de l'eutectique forme des cristaux polyédriques importants qui rendent l'alliage fragile et difficilement usinable.

Pour cette raison, tous les alliages Al-Si (sauf ceux à Si inférieur à 5 %) doivent subir un traitement de modification ou d'affinage.

Ce traitement consiste à incorporer dans l'alliage avant la coulée, une faible proportion de sodium (0,05 % à 0,1 %), d'antimoine (0,2 % environ) ou de strontium (0,1 % environ) (voir micrographies p. 131).

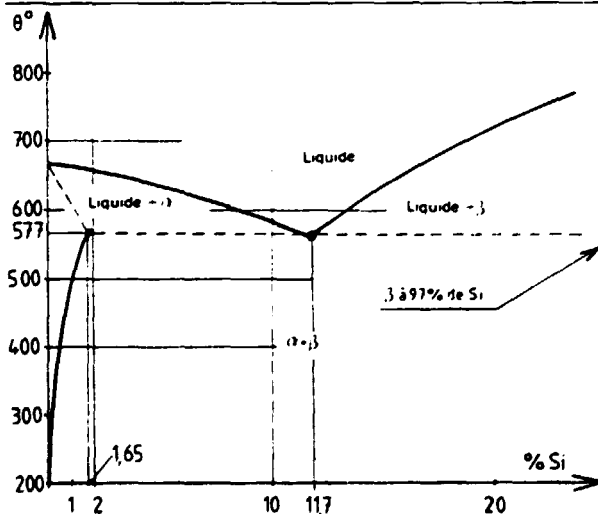


Diagramme d'équilibre Al Si

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (4/19)

L'un ou l'autre de ces éléments finement divisé dans le liquide, envahirait les grains de Si et bloquerait leur croissance.

Le strontium, très efficace mais volatile, a une action brève (20 min environ).

L'antimoine, moins efficace, a une action permanente.

Le sodium a une action de 2 h environ.

En ce qui concerne les alliages hypersiliciés (13 % < Si < 22 %) on utilise le phosphore pour les affiner : Un composé P. Al se forme et constitue un grand nombre de germes pour le Si.

Ainsi, après modification, on obtient une structure eutectique fine avec des grains de silicium libre, petits et bien répartis.

La limite élastique et la résistance à la rupture peuvent être majorées de 15 % par le traitement de modification, l'allongement par contre peut être multiplié par trois (v. tableau 3).

Influences du silicium.

Le silicium améliore nettement la coulabilité (v. fig. 4) bien que la modification ait une influence néfaste sur celle-ci.

Le Si diminue la cripabilité et l'aptitude à la retassure (v. tableaux 1 et 2).

Le coefficient de dilatation est abaissé par l'apport du silicium.

D'une manière générale, les Al-Si sont les alliages d'aluminium qui présentent les meilleures propriétés de fonderie.

1

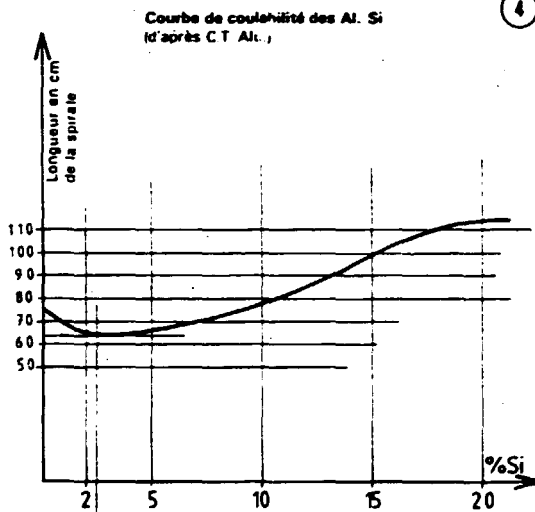
Cripabilité des alliages d'aluminium
(D'après éprouvette de C.T. Al.)

Famille	Alliages	Intervalle de solidification en °C	Indice de cripabilité
Al	A 5	0	4,60
Al Si	A - S2GT A - S7G A - S13	635 - 560 610 - 570 0	3,90 0 0
Al Cu	A - U5GT A. U85	640 - 550 615 - 515	4,6 3,6
Al Mg	A - G3T A - G6 A - G10	640 - 590 640 - 570 610 - 520	4,2 3,5 2,2
Al Zn	A - Z5G	660 - 600	5,4

2

Aptitude à la retassure des alliages
d'aluminium (d'après éprouvette de C.T. Al.)

Famille	Alliages	Contraction globale en % du volume	Macro-retassures int. et ext. en %	Micro-retassures en %	Affaissements et poquettes en %
Al	A5	10	53		47
Al - Si	A - S2GT	9,9	3,9	10,1	86
	A - S7G	8	1,3	13,7	85
	A - S10G	6,5	62	0	38
	A - S13	6,4	48	0	52
	A - S22U	5	61	0	39
Al - Cu	A - U5GT	10,3	3	17	80
	A - U85	9,3	0	9	91
Al - Mg	A - G3T	9,6	22	16	62
	A - G6	10,7	3	22	75
Al - Zn	A - Z5G	9,8	33	9	58



3

Influence de la modification sur la coulabilité
(D'après C.T. Al.)

Alliage	Etat	Indice en cm
AS 13	non modifié	98
	modifié	84
AS 7 G	non modifié	70
	modifié	67
AS 10 G	non modifié	81
	modifié	73

3

Influence de la modification au Na sur les caractéristiques mécaniques de quelques alliages Al - Si
(D'après C.T. Al.)

Alliage	Etat	R _e 10 ³ Pa	R _m 10 ³ Pa	A %
A - S 13	non modifié	8,5	13	3
	modifié	11	18	9
A - S10G avec T. Th.	non modifié	22,7	25,5	1
	modifié	22,6	28,7	3,6
A - S7G avec T. Th.	non modifié	19	26	4
	modifié	19,3	28	5

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (5/19)

1-3-4. Alliages Aluminium - Magnésium.

Le diagramme d'équilibre Al-Mg est simple dans la partie qui intéresse les alliages industriels (Mg \leq 12 %).

On trouve une solution solide α qui contient jusqu'à 15 % de Mg à 450 °C. La concentration de Mg dans l'aluminium varie avec la température (% de Mg à 20 °C).

Il existe un eutectique à 34,5 % de Mg à 450° C qui est constitué de α et β qui aurait pour base le composé Al_3Mg_2 .

Ainsi les alliages industriels Al-Mg ont tous pour constituant la solution solide α , mais la variation importante de solubilité du Mg et sa faible vitesse de diffusion à l'état solide, font que les alliages contenant plus de 6 % de Mg ne sont pas homogènes bruts de coulée : on trouve α et l'eutectique $\alpha + \beta$. Un traitement d'homogénéisation est nécessaire à ces alliages afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques.

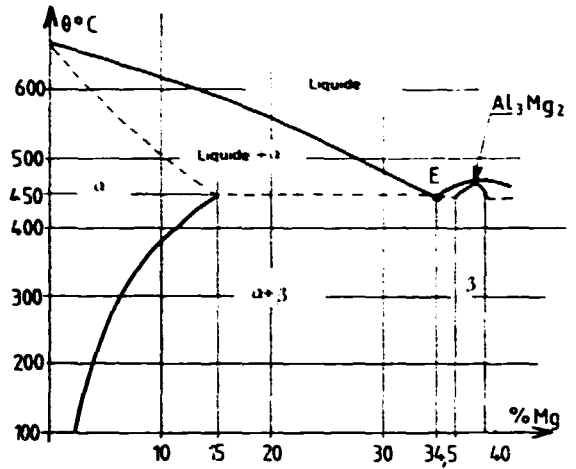


Diagramme d'équilibre Aluminium Magnésium

Influences du magnésium.

La coulabilité de ces alliages est sans doute la moins bonne des quatre familles. Les indices de coulabilité varient de 57 cm à 60 cm selon les alliages.

La crijabilité est plus élevée que les Al-Si, elle est équivalente à celle des Al-Cu (v. tableau 1 p. 130). L'aptitude à la retassure n'est pas bonne non plus.

En fait les Al-Mg ont de médiocres propriétés de fonderie.

L'addition de magnésium améliore l'usinabilité mais surtout confère à ces alliages une très grande résistance à la corrosion.

1-3-5 Alliages Aluminium-Zinc.

Les alliages binaires Al-Zn ne sont pas utilisés à cause de leurs médiocres propriétés de fonderie et mécaniques.

Seul l'alliage ternaire Al-Zn-Mg est utilisé en fonderie. Sa très grande fragilité à chaud (v. tableau 1 p. 130) et sa mauvaise coulabilité rendent délicate sa mise en œuvre. Les caractéristiques mécaniques sont élevées après traitement thermique.

1-3-6. Alliages Aluminium - Manganèse.

L'alliage le plus utilisé est celui à 4 % de Mn. Propriétés de fonderie médiocres et faibles caractéristiques mécaniques. Par contre il possède une très grande résistance à la chaleur.



Cristaux de Si polyédrique



Dendrite de sol sol α

Eutectique fin $\alpha-\beta$

B/

A/

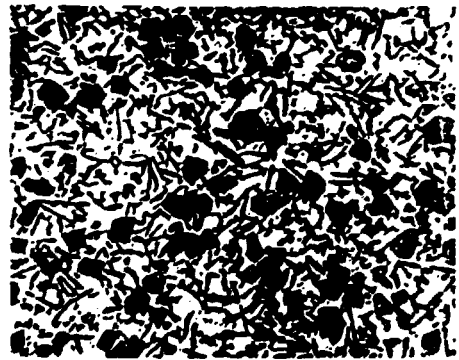
Micrographies d'un AS-13

A/ non modifié

B/ modifié par traitement au sodium



C/ non modifié



D/ modifié au phosphore

Micrographies d'un alliage hyperstic (20% de Si)

1-4. Fusion des alliages d'aluminium.

1-4-1. Alliages de 1^{re} et 2^e fusion.

— On appelle alliages de 1^{re} fusion, les alliages élaborés à partir d'aluminium pur et auquel sont incorporés des éléments d'alliage. Ceux-ci sont à l'état pur ou sous forme d'alliages-mères.

Un alliage-mère est un alliage d'Al et d'un composant à fort pourcentage. Par exemple, alliage-mère Al-Cu à 33 % ou 50 % de cuivre.

— On appelle alliages de 2^e fusion ou d'affinage, les alliages obtenus en refondant des chutes de tôle, des copeaux, des pièces de mécanique rebutées...

Ces éléments doivent être soigneusement classés par composition et sont épurés pour éliminer oxydes, impuretés et gaz dissous. La composition de l'alliage est finalement obtenue par addition d'alliages-mères ou d'éléments à l'état pur.

1-4-2. Règles d'élaboration des alliages d'Al.

Pour que l'alliage prêt à être coulé soit conforme au cahier des charges, il faut maîtriser les paramètres suivants :

• a - *Composition.* Il faut tenir compte de l'influence de certains éléments qui ne sont pas forcément les composants de base.

Le fer est nuisible car il forme avec Al un composé Al_2Fe , à structure en aiguilles, qui diminue la résistance à la rupture et l'allongement. Il provoque aussi des porosités. La teneur max est de 0,1 %.

Mais au taux de 1 % environ c'est un composant secondaire qui améliore les caractéristiques à chaud.

Le cuivre et le silicium doivent être dosés avec grande précision pour les alliages traités thermiquement. Cu et Si croissants abaissent le point de fusion et il y a risque de « brûlure » de l'alliage lors du traitement d'homogénéisation.

Le magnésium est très oxydable et il faut ajuster son dosage (0,05 % environ) pour tenir compte de cette perte. D'autre part, un excès de Mg donne des duretés élevées et abaisse le A %. Dans le cas contraire, la dureté est trop faible.

Le titane permet d'obtenir une structure très fine. Mais au-delà de 0,4 % il forme un composé dur avec Al qui diminue l'usinabilité :

• b - *Oxydation de l'alliage liquide*

Les alliages d'Al sont très oxydables. L'alumine Al_2O_3 , formé par oxydation de l'Al au contact de l'air ne décante pas dans les bains. Si elle est introduite dans le moule, elle provoque des porosités et des points durs dans les pièces. Les Al-Mg sont les plus sensibles à l'oxydation.

• c - *Absorption des gaz*

Al et ses alliages dissolvent facilement les gaz, et en particulier l'hydrogène. Tout contact avec des éléments humides crée une oxydation d'Al et l'absorption d'hydrogène. La solubilité des gaz diminue avec la température et ceux-ci peuvent rester prisonniers et provoquer des porosités (soufflures) et microporosités (piquées).

• d - *Grossissement du grain* par refusions nombreuses, surchauffes des bains ou maintien prolongé à l'état liquide. Il faut pratiquer des opérations d'affinage.

1-4-3. Conduite de la fusion.

La maîtrise des règles d'élaboration implique :

- d'utiliser des matières premières sèches et non oxydées,
- de fondre rapidement sans surchauffe ni maintien prolongé à haute température,
- d'éviter toutes traces d'humidité sur les outils, le creuset et les charges ; d'éviter tout contact direct entre le métal et les gaz de combustion.

D'autre part, pour être bien conduite la fusion des alliages d'Al demande :

a) *Des traitements à l'état liquide*

Ces traitements se font avec des flux sous forme de sels complexes et de gaz agissant par barbotage. Ce sont :

• La protection du bain contre la formation d'alumine. La couverture de la surface du bain d'un flux à base de cryolithe est efficace. La première couche d' Al_2O_3 , formé suffit aussi à protéger la surface du bain.

• La désoxydation dans la masse même du bain par incorporation de fluorures qui dissolvent l'alumine. Ces flux, de faible densité, remontent à la surface chargés d'alumine.

• L'affinage de la structure afin d'obtenir un grain fin à la solidification. On ajoute au bain du titane, du zirconium ou du phosphore. Les composés entre Al et ces éléments créent un grand nombre de germes de solidification des composants (v. p. 130).

• Le dégazage par incorporation de flux chlorés ou fluorés. Les gaz dégagés se combinent avec l'hydrogène tout en créant une agitation mécanique qui accélère le phénomène. Le sel le plus utilisé est l'hexachloréthane dont le rendement est assez faible (30 % à 40 %). Un barbotage d'azote (gaz inerte vis-à-vis des alliages d'Al.) est aussi très utilisé et efficace.

• La modification (v. p. 129 - 1-3-3).

b) *Des contrôles des opérations de fusion*

Il existe des éprouvettes de texture qui permettent de vérifier le degré d'affinage par examen macrographique de la cassure d'un barreau coulé avant et après traitement.

L'état de gazage peut être contrôlé qualitativement par examen du plan de coupe d'une éprouvette.

Enfin le contrôle de composition est fait par analyse spectrographique.

c) *Le choix des appareils de fusion*

On cherche à fondre le plus économiquement possible pour une qualité optimum de l'alliage. Cette remarque et les considérations précédentes font que les appareils de fusion les plus appropriés pour les alliages d'Al, sont les fours électriques à induction à moyenne fréquence (fours à creuset) (v. chapitre : « Appareils de fusion »). La fusion de nuit est préférable car les tarifs sont plus bas. Les fours à flamme (au mazout ou à gaz) peuvent entraîner le gazage des alliages et sont moins recommandés.

Seules les fonderies intégrées utilisent des fours de grands tonnages (10 à 20 tonnes).

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (7/19)

1.5. Traitements thermiques des pièces.

Économiquement, il est souhaitable de ne pas être obligé de traiter thermiquement les pièces.

Mais les conditions de refroidissement et de solidification des pièces dans le moule font que le diagramme d'équilibre n'est plus suivi.

Les structures obtenues peuvent être hétérogènes à température ambiante et il est indispensable de faire subir aux pièces des cycles thermiques qui vont optimiser les caractéristiques mécaniques de l'alliage :

- Ainsi, on peut obtenir :
- une augmentation de l'allongement A % au détriment de la résistance mécanique. C'est le traitement d'adoucissement.
 - une augmentation de la résistance au détriment de l'allongement, c'est le traitement de durcissement.

Les pièces de fonderie en alliage d'Al. subissent les traitements thermiques suivants :

- La stabilisation.
- Le traitement de durcissement après trempe.

1.5-1. La stabilisation.

Ce traitement consiste à maintenir entre 200 °C et 300 °C pendant 4 à 10 heures les pièces brutes de coulée. Le refroidissement doit être lent (hors ou dans le four).

Ce traitement consiste à maintenir entre 200 °C et 300 °C pendant 4 à 10 heures les pièces brutes de coulée. Le refroidissement doit être lent (hors ou dans le four).

Ce traitement permet d'éliminer les tensions internes résultant d'une gêne au retrait, dans le moule. Il est également pratiqué sur les pièces qui doivent travailler à chaud : l'alliage acquiert la structure qui correspond à sa température d'utilisation, on évite ainsi des variations dimensionnelles en service.

1.5-2. Le traitement de durcissement.

1.5-2-1. Principes :

La trempe de certains alliages d'aluminium s'accompagne d'un durcissement structural, ou par précipitation.

Pour que ce durcissement se produise, il faut trois conditions :

- L'existence d'un diagramme d'équilibre entre Al et un de ses éléments d'addition (Si - Cu - Mg...) et que la solubilité de cet élément diminue avec la température (v. fig. 1 diagramme partiel Al - Cu - ligne EF),
- La possibilité de formation de précipités à partir de la solution solide, sursaturée après la trempe.
- Qu'il y ait liaison cohérente entre le réseau cristallin des précipités et celui de l'aluminium.

Le tableau 2 donne les précipités à partir de la solution solide sursaturée à la température ambiante.

On verra page 134 que tous les alliages d'Al n'acquiescent pas un durcissement structural bien que répondant à ces trois conditions.

Il faut également que l'addition de Mg aux familles Al-Si et Al-Mg permet la formation de précipités à partir de la solution sursaturée.

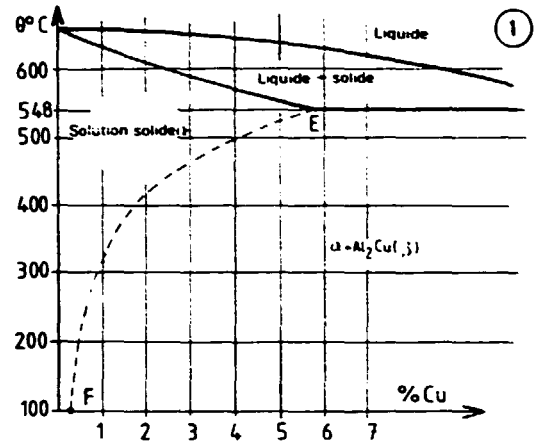
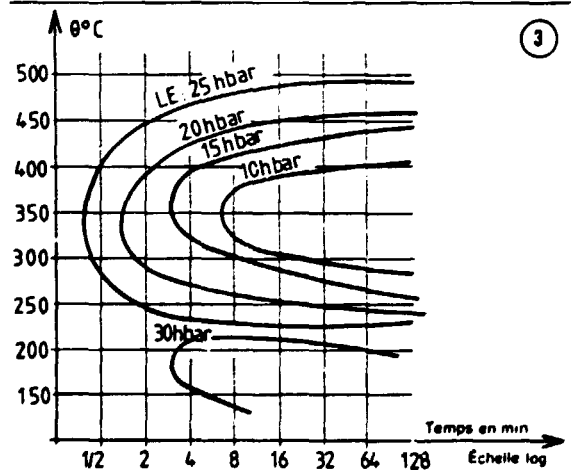


Diagramme d'équilibre partiel Al - Cu

Alliages	Précipités en dessous de la ligne EF	Teneur en élément d'addition	
		à température eutectique	à température ambiante (20 °C)
Al-Si	Solution solide β riche en Si	1,7 % à 575 °C	0,1 %
Al-Cu	Al ₂ -Cu	5,65 % à 548 °C	0,3 %
Al-Mg	Al ₃ -Mg ₂	15 % à 450 °C	2 %
Al-Zn	Solution solide	65 % à 440 °C	10 %
Al-Si (Mg)	Mg ₂ -Si		
Al-Zn (Mg)	Mg Zn ₂		



Courbes de niveau de limite élastique (TTP)

1-5-2-2. Processus du traitement.

Celui-ci comprend trois phases :

- la mise en solution,
- la trempe,
- la maturation et le revenu.

1^{re} phase :

Elle se produit à température élevée, variable suivant les alliages (450 °C à 550 °C.). Il faut dissoudre le maximum de soluté dans l'Al. Simultanément la solution solide est homogénéisée.

Influence de la température (v. fig. 1)

Celle-ci doit être suffisante pour saturer totalement la solution solide. Elle doit être très proche de la température de solubilité maxi et toute surchauffe peut avoir de graves conséquences pour l'alliage : une fusion locale de celui-ci aux joints de grains entraîne la décohésion partielle de l'ensemble. Pour ces raisons la température de mise en solution est parfois plus basse de 30 °C à 50 °C que la température de solubilité maxi. La tolérance est de l'ordre de ± 5 °C.

Influence de la durée de mise en solution.

On constate, avec les alliages d'Al, que la durée est pratiquement indépendante de la température.

La fig. 2 montre que, pour un temps donné, la solution solide est saturée en soluté quelque soit la température : pour un taux donné de soluté correspondant à la température de mise en solution, les caractéristiques mécaniques ne varient pas après un certain temps de mise en solution.

La durée est variable :

Suivant la technique de moulage : structure plus ou moins fine de l'alliage.

Suivant l'épaisseur des pièces.

Suivant la composition de l'alliage : les vitesses de diffusion à l'état solide sont différentes suivant le soluté (Si-Mg-Cu-Zn...).

2^e phase :

C'est le refroidissement très rapide de la pièce par trempe. Cette phase permet le maintien, à température ambiante, de la solution solide sursaturée.

La fig. 3 p. 133 montrent les courbes Temps - Température. Propriétés : Les courbes d'égales caractéristiques mécaniques délimitent des zones de température qu'il faut passer très vite si l'on ne veut pas abaisser les propriétés après trempe. On arrive ainsi à déterminer une vitesse critique de trempe.

Cette vitesse varie suivant :

- Les alliages : Les Al-Zn-Mg sont auto-trempants (20 °C/s) les Al-Cu demandent une grande vitesse de trempe (400 °C à 500 °C/s).

- L'épaisseur des pièces :

Elle est plus faible à cœur qu'en surface malgré l'excellente conductibilité thermique des alliages Al.

- Le fluide de trempe :

Dans un ordre croissant de la vitesse nous avons : air, eau bouillante, huile, eau froide (20 °C.). Bien entendu, une grande vitesse de trempe crée des contraintes dans les pièces qui peuvent se libérer à l'usinage ou en service.

3^e phase :

La solution solide sursaturée va rejeter son soluté : ce retour à l'équilibre peut se faire :

- à température ambiante : c'est la maturation. Plusieurs jours (5 en moyenne) sont nécessaires pour obtenir un durcissement structural.

- à une température plus élevée : c'est le revenu qui accélère la précipitation. Température comprise entre 150 °C et 250 °C pendant 6 à 10 heures.

Le mécanisme de durcissement structural est complexe :

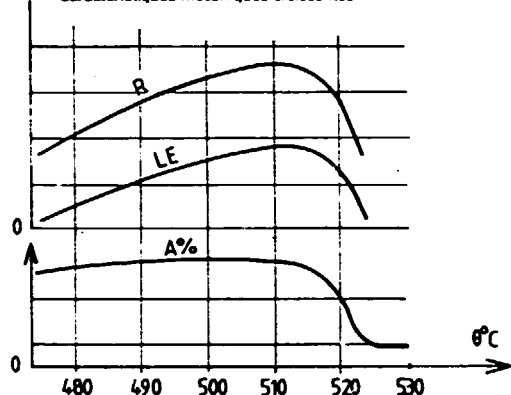
Dans un premier stade il y a précipitation d'agrégats de soluté qui se localise dans des zones appelées « zones de Guinier-Preston ». On constate très bien ces rassemblements d'atomes dans les Al-Cu. Moins bien dans les autres familles d'alliages.

La maturation permet d'atteindre ce premier stade qui donne un durcissement par déformation du réseau cristallin de la solution solide : ainsi les mouvements de dislocation progressent plus difficilement.

Dans un deuxième stade, et si on pratique le revenu, après formation des zones de Guinier Preston, celles-ci sont remplacées par des phases plus ou moins cohérentes avec la matrice d'Al. Ce sont les précipités Al₂Cu, Mg₂Si, etc...

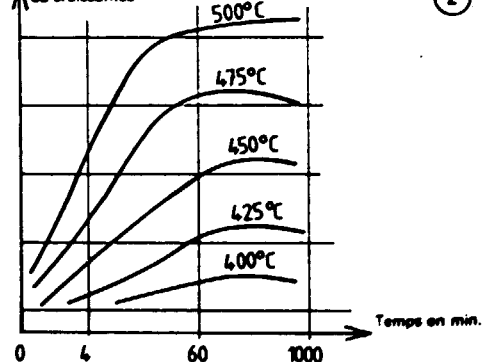
Qualitativement, on constate que la précipitation de phase métastable donne à l'alliage un plus grand durcissement structural que les zones de Guinier-Preston.

Caractéristiques mécaniques croissantes



Influence de la température de mise en solution sur les caractéristiques mécaniques (pour un Al-Cu.)

LE croissantes



Influence de la durée de mise en solution sur la limite élastique d'un Al-Cu.

TRAITEMENTS THERMIQUES TYPES

FAMILLES D'ALLIAGES	DÉSIGNATION	STABILISATION		DURCISSEMENT STRUCTURAL					
		en °C ± 5	Durée en heures	MISE EN SOLUTION		TREMPE	MATURATION	REVENU	
				Température en °C ± 5	Durée en heures	Milieu de trempe	Durée en Jours à 20 °C	Durée en heures	Température en °C ± 5
Al-Cu	A-U4NT			515 °	6		5		
	A-U5GT			530 °	6		5		
Al-Si et Al-Si (Mg)	A-S2GT			540 °	4	eau froide*		6	160 °
	A-S4G			540 °	4	eau froide		5	150 °
	A-S5U3			510 °	5	eau froide	5	10	170 °
	A-S7G			540 °	8	eau froide		4	160 °
	A-S7G03			540 °	8	eau froide		4	160 °
	A-S7G06			540 °	10	eau froide		6	170 °
	A-S9KG			540 °	6	eau froide		16	165 °
	A-S10G			540 °	6	eau froide		10	160 °
	A-S10UG	210 °	8						
	A-S12UN	210 °	8						
	A-S20U	200 °	8						
A-S22UNK	320 °	4							
Al-Zn (Mg)	A-Z5G	180 °	10	450 °	4	air	30		

* Note : eau froide = eau à 20 °C

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (10/19)

NFE 04-121

2. LES TECHNIQUES DE MOULAGE SPECIFIQUES.

Les alliages d'aluminium peuvent être coulés dans des moules non-permanents : ce sont les techniques de moulage en sable ; dans des moules permanents : ce sont les techniques de moulage en moules métalliques :

- Coulée en coquille.
- Coulée sous basse-pression.
- Coulée sous-pression.

— Le choix de ces techniques est fait en fonction du prix de revient et des possibilités techniques : le nombre de pièces à fabriquer et la fonction mécanique de la pièce sont déterminants.

— le choix étant fait, la mise en œuvre correcte de la technique de moulage implique des règles spécifiques de conception de la pièce ainsi que des dispositions constructives particulières au niveau des moules et des machines.

2-1. Moulage en sable des alliages d'aluminium.

2-1-1. Prix de revient et possibilités techniques.

Le moulage en sable est la technique de moulage la plus ancienne ; elle est souple dans son application et permet de réaliser des pièces de toutes dimensions, à l'unité ou en série.

Les critères de choix énoncés page 75, permettent d'évaluer pour une même pièce la série à partir de laquelle le moulage en sable n'est plus envisageable. A partir de 2 000 à 3 000 pièces on peut choisir le moulage en coquille. Ceci veut dire que le moulage en sable est réservé pour de faibles séries et pour des fabrications très diverses. Le changement de plaque-modèle est rapide sur une machine à mouler et la fabrication par campagnes est très recommandée :

Les possibilités techniques sont limitées par les propriétés de fonderie et mécaniques des alliages ainsi que par la nature et la conception du moule.

Poids et dimensions des pièces.

On peut couler des pièces très lourdes (jusqu'à 800 kg) et très complexes.

Épaisseur minimum des pièces. Il existe une épaisseur minimum, fonction de la coulabilité et de la nature du moule, qu'on ne peut dépasser. (v. fig. 1).

Précision dimensionnelle.

Les tolérances linéaires, de planéité (1) de coaxialité (1) sont fonction de la position de la cote dans le moule et de la valeur nominale de cette cote (v. tableaux 2-3-4). D'une manière générale le moulage en sable offre une moins grande précision dimensionnelle que les techniques en moules permanents.

(1) Suivant définition de la norme NF E 04-121

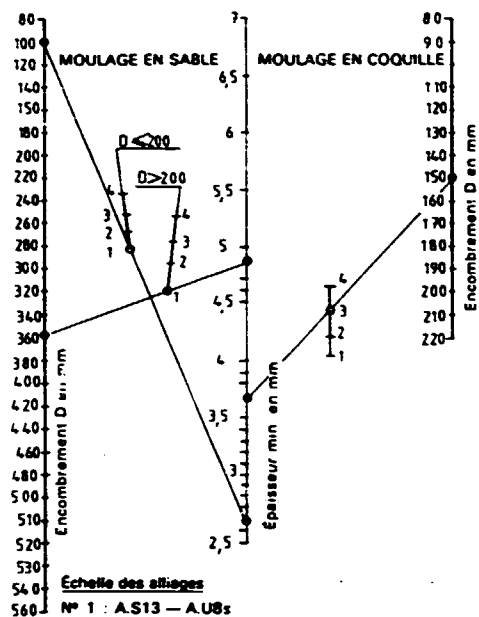
2-1-2. Conception des pièces.

Aux règles générales de tracé des pièces moulées (v. p. 124) doivent être apportées des dispositions particulières au moulage en sable des alliages d'aluminium.

La pièce doit satisfaire le cahier des charges fonctionnel et les exigences de la fonderie.

- Dépouille
- Surépaisseur d'usinage
- Épaisseurs
- Formes intérieures et extérieures.

Abeque de ROINET



Echelle des alliages

- N° 1 : A.S13 — A.U8
- N° 2 : A.S5U — A.S10G — A.S4G
- N° 3 : A.U4NT — A.U5GT — A.G4Z — A.Z5G
- N° 4 : A.G3T — A.G6 — A.G11

Cote d'encombrement D :

— pour un rectangle $D = \frac{L-1}{2}$

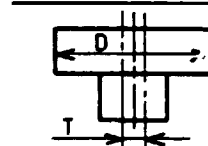
— pour une surface quelconq. je. on calcule les cotes du rectangle équivalent

Tolérances linéaires \pm mm $\Delta L = K1 + K2D$ pour $L < 1000$

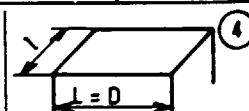
D : Cote nominale

L : Plus grande dimension de la pièce

Type de cote D	$\Delta L \pm$ mm
A : Cotes obtenues dans une même partie de moule.	$K1 = 0,5$ $K2 = 2/1000$
B : Cotes obtenues par deux parties de moule.	$K1 = 0,75$ $K2 = 2,5/1000$
C : Cotes obtenues par trois parties de moule.	$K1 = 1$ $K2 = 3/1000$



Coaxialité on prend pour D le plus grand diamètre en cause. On applique les formules du tableau 2 et on double la valeur obtenue pour avoir T



Planéité on prend pour D le plus grande dimension de la surface

Tolérance en mm
 $0,6 + \frac{2D}{1000}$

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (11/19)

Dépouille :

Il faut un minimum de dépouille aux plans perpendiculaires au plan de joint.

Il est admis que le minimum soit de $1^{\circ}30'$ pour le moulage en série (plaque-modèle) et 2° pour le moulage à la main (moulage unitaire).

Dans le tracé de la pièce, cette dépouille doit être prévue et cotée.

Surépaisseur d'usinage :

Toutes les parties de la pièce devant être usinées, doivent comporter un excédent de métal par rapport à l'épaisseur minimum. En moulage sable, on ajoute 2 mm à la demi-tolérance de la cote D considérée.

Épaisseur :

En fonction d'une cote d'encombrement D et de l'alliage coulé, l'abaque de ROINET (fig. 1, p. 136) permet de déterminer l'épaisseur minimum à donner à la pièce. Le maximum est déterminé par la résistance mécanique nécessaire, mais ne peut raisonnablement dépasser 25 mm sans risques de défauts rédhibitoires.

En ce qui concerne les différences d'épaisseurs (v. fig 1) les masses isolées sont particulièrement proscrites du fait de l'important retrait de solidification et du retrait à l'état solide, des alliages d'aluminium (v. fig. 3 : types de raccordement pour éviter les masses).

Trous bruts de fonderie

Diamètre en mm	Trous borgnes	Longueur en mm	Trous débouchants	Longueur en mm
	\varnothing 10 mm		10	\varnothing 10 mm	10
\varnothing 20		30	\varnothing 20	50
\varnothing 25		50	\varnothing 25	100

Nota : Ces valeurs recommandées sont liées à la résistance du noyau et à sa position de remoulage.

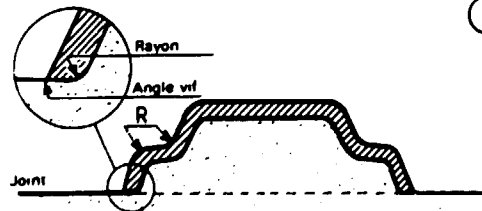
Formes extérieures et intérieures

D'une manière générale, il faut, en moulage en sable, reporter les complexités de forme indispensables à l'intérieur des pièces (v. fig. 2).

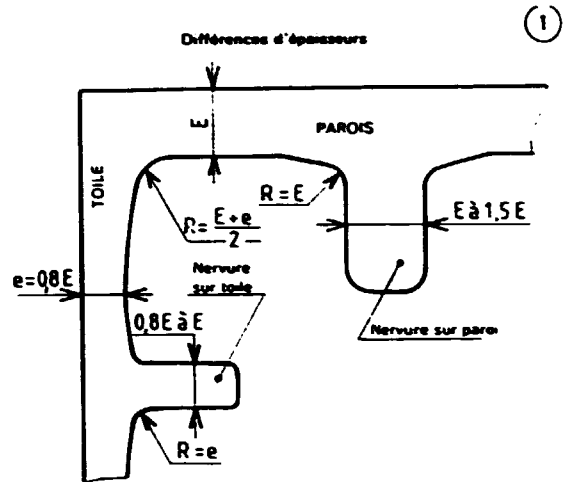
On voit que la forme extérieure sans contre-dépouille viendra naturellement par démoulage du modèle. La forme intérieure en contre-dépouille peut être obtenue par des noyaux.

Modèle le plus simple possible et minimum de noyaux intérieurs, c'est le meilleur compromis pour un prix minimum des outillages.

La grande criquabilité à chaud des alliages d'Al impose obligatoirement des rayons de raccordement entre parois, toiles et nervures (v. fig. 1-3). Sauf le long du plan de joint (v. fig. 4 et 5).

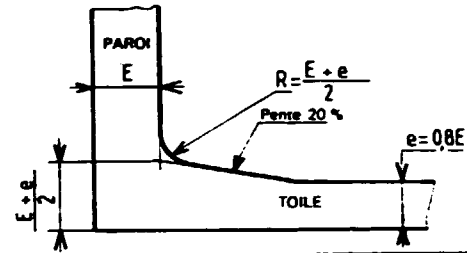


5



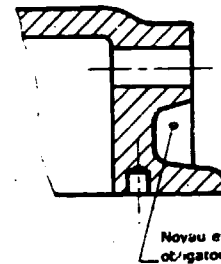
1

Nota : La nervure ne doit pas se solidifier trop rapidement et créer des contraintes à sa base.

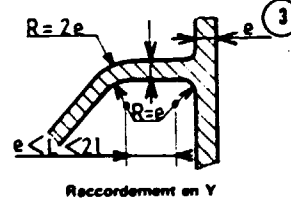
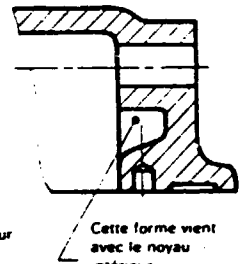


2

Mauvais tracé

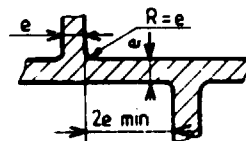


Bon tracé

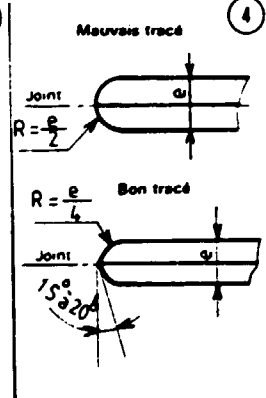


3

Raccordement en Y



Double raccordement en T



4

2-1-3. Conception du moule.

La coulée en moule non permanent des alliages d'Al implique le choix :

- du matériau de moulage.
- du matériau de noyautage.
- du système de remplissage.
- du système d'alimentation.

Matériau de moulage.

Les alliages d'Al, peu résistants à chaud et ayant un fort retrait, on utilise un sable silico-argileux humide (sable à vert) qui donne un moule compressible.

Taux d'humidité : 4 % à 6 %.

Taux d'argile : 10 % à 15 %.

Indice de finesse AFS : 120 à 150.

Granulométrie régulière pour avoir le maximum de perméabilité (indice AFS : 30 à 40) aux gaz et à l'air que l'Al dissout facilement.

Matériau de noyautage.

Plus que le moule, les noyaux doivent :

- être très compressibles,
- dégager peu de gaz à la coulée,
- être très perméables.

On peut donc utiliser du sable à vert pour les gros noyaux (inconvenient : armatures souven nécessaires).

Mais les techniques de noyautage en boîte chaude et froide sont plus utilisées.

Le procédé d'agglomération au silicate de soude + CO₂ n'est pas recommandé car les noyaux obtenus sont trop durs. Il faut proscrire aussi toute addition dans le sable d'adjuvants facilitant le débouillage ou améliorant l'état de surface, et qui dégagent à la coulée un important volume de gaz.

Système de remplissage.

On adopte la coulée en source pour la coulée des alliages d'Al (v. fig. 1).

Le système comprend :

- la descente de coulée avec entonnoir ou bassin,
- un chenal simple ou double,
- des attaques de coulée.

Un remplissage non turbulent est indispensable pour limiter l'oxydation et l'absorption des gaz par l'Al.

La section de la descente sera dégressive (v. fig. 1) et relativement faible pour faciliter l'engagement ($\varnothing = 15$ à 30 mm).

La section du chenal sera trapézoïdale avec congés. La fig. 2 montre l'emplacement d'un filtre, avec redan, pour bloquer les crasses.

La section des attaques sera rectangulaire : épaisseur 3 à 6 mm ou 2 à 3 mm pour une seule attaque en bavure.

Calcul des coulées.

Si Sd, Sc et Sa sont les sections de la descente, du chenal et des attaques on doit avoir :

$$S_c = 1,2 \text{ à } 2 S_d$$

$$S_a = 2 \text{ à } 3 S_d$$

Le graphique 4 donne la fourchette de débit à la descente en fonction du poids du métal à couler. Ce graphique tient compte du type de coulée, de la surchauffe et du temps de refroidissement jusqu'au liquidus.

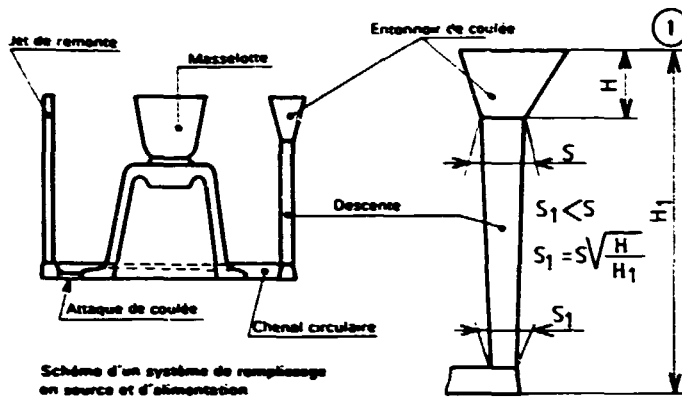
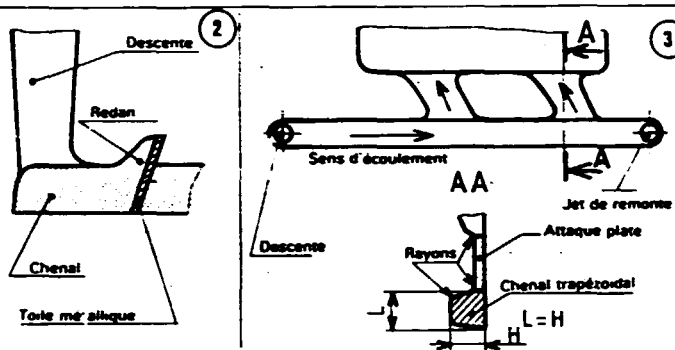
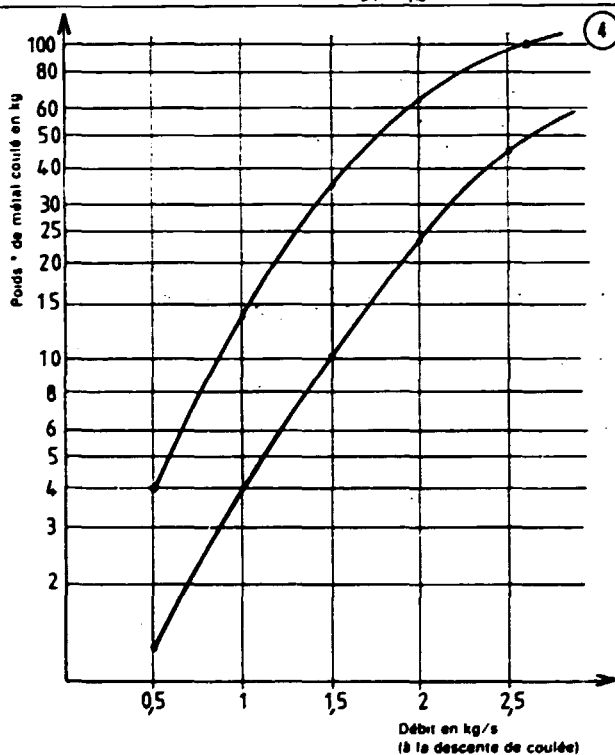


Schéma d'un système de remplissage en source et d'alimentation



* Note : Ce poids est égal au poids de la pièce brute multiplié par la mise au mille. Prendre celle-ci égale à 2.



Fourchettes des débits à adopter en fonction du poids de métal à couler

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (13/19)

Système d'alimentation.

Pour que la pièce solidifiée soit la plus compacte possible, il faut l'alimenter continuellement en alliage liquide pendant la solidification de l'alliage.

Ceci implique :

De diriger la solidification des parties les plus minces vers les parties les plus épaisses.

De placer des refroidisseurs qui contrebalancent l'effet des quelques masses isolées dans la pièce.

De placer des masselottes sur les parties se solidifiant en dernier.

Refroidisseurs.

L'action d'un refroidisseur est déterminante pour diriger la solidification convenablement (v. fig. 1).

Son épaisseur est au moins égale à l'épaisseur de la partie considérée.

Ils sont en fonte ou en acier.

Leur surface striée facilite l'évacuation des gaz pouvant se produire à l'interface refroidisseur-métal.

Masselottes.

Il faut successivement :

– Placer les masselottes sur les dernières parties solidifiées. Ceci implique, en particulier, de connaître la longueur d'alimentation d'une masselotte pour en déterminer le nombre (v. fig. 2).

- Calculer le module de refroidissement de la partie de pièce.

- Calculer le module de la masselotte :

$$\text{module masselotte} \geq 1,3 \text{ module pièce}$$

- Calculer le volume de la masselotte :

$$\text{volume masselotte} \geq 0,5 \text{ volume pièce}$$

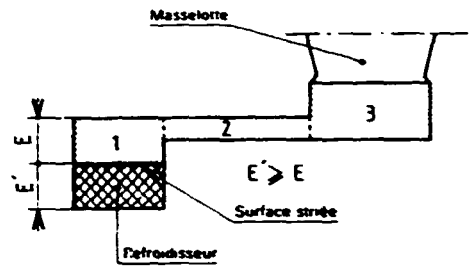
ou

$$\text{volume masselotte} \geq 0,2 \text{ volume pièce}$$

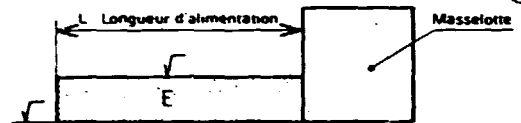
pour masselotte avec manchon exothermique.

- Donner les formes et les dimensions aux masselottes (v. fig. 3).

A noter que la hauteur de la masselotte doit être plus élevée que la hauteur de la partie de pièce alimentée.



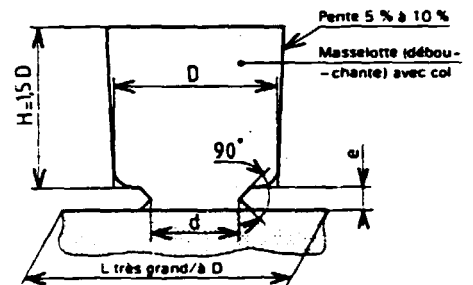
Solidification bien dirigée 1 → 2 → 3 grâce au refroidisseur



Pour $E \leq 50$ on a :

$$L = 15 E \text{ pour les Al-Si et Al-Cu}$$

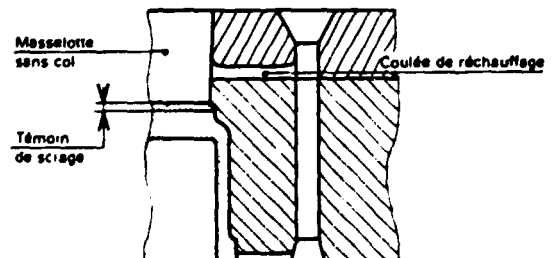
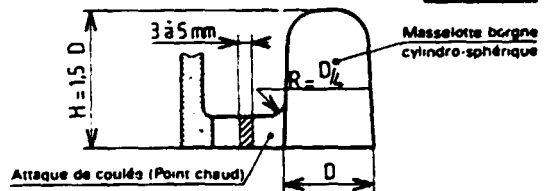
$$L = 10 E \text{ pour les Al-Mg}$$



On doit avoir dans ce cas :

$$d = 0,4 D$$

$$e = 0,1 D$$



2-2. Moulage en coquille des alliages d'aluminium.

2-2-1. Prix de revient et possibilités techniques.

Le moulage en sable nécessite des transports importants de matériel et de châssis. La surface de chantier et la main-d'œuvre nécessaires sont également importants.

Les alliages d'Al solidifiés dans un moule en sable présentent une structure grossière qui altère leurs caractéristiques mécaniques (brutes de coulée).

Étant donné la température de coulée (650 °C à 700 °C), relativement faible de ces alliages, on a pu envisager la coulée par gravité dans une coquille métallique.

Durée de vie du moule. Malgré le poteyage, la dissolution du fer par l'Al liquide limite autant, et sinon plus que les contraintes thermiques, la durée de vie d'une coquille. Suivant la précision recherchée, le poids et la forme des pièces, on peut couler 60 000 à 90 000 pièces dans un moule ; compte tenu aussi de l'entretien de celui-ci.

Poids et dimensions des pièces.

On peut couler des pièces pesant jusqu'à 25 kg et de formes complexes grâce à la possibilité d'utiliser des noyaux en sable agglomérés.

Choix des alliages.

On peut théoriquement couler tous les alliages d'Al bien que ceux qui présentent une grande criquabilité et une coulabilité médiocre soient difficiles à mettre en œuvre. C'est le cas de certains Al-Cu ; des Al-Zn et des Al-Mg.

Épaisseur minimum des pièces.

Le minimum possible (voir abaque de ROINET, p. 136) représente une possibilité technique bien que ce soit la résistance de la pièce qui détermine l'épaisseur minimum.

Précision dimensionnelle.

Celle-ci est plus grande qu'en moulage en sable (v. tableaux 1, 2 et 3).

2-2-2. Conception des pièces.

Les règles générales de tracé (v. p. 24) sont appliquées mais la coquille étant un moule métallique, donc plus rigide qu'un moule en sable, il faut faire les remarques suivantes :

- Il y a répétitivité du moulage : Il faut rechercher des formes simples pour éliminer le plus possible les parties moulantes mobiles.
- Les modifications des formes seront plus coûteuses et difficiles : cette technique est moins souple que le moulage en sable.
- Le moule est bon conducteur de la chaleur et la solidification est rapide : elle doit être très bien dirigée.
- Le moule permanent implique une opération de démoulage de la pièce.

Épaisseurs des pièces.

A fonction égale, les meilleures caractéristiques mécaniques de l'alliage permettent des épaisseurs plus faibles qu'en moulage en sable. Il ne faut pas dépasser 20 mm car il faut le moins possible de masses et de variations d'épaisseurs (v. fig. 4).

Surépaisseur d'usinage:

On ajoute 1 mm à la demi-tolérance de la cote D considérée.

Dépouille.

Elle est variable suivant les régions de la pièce (v. fig. 1 p. 141). La pièce après solidification, serre fortement la partie B et se décolle légèrement de la partie A.

Tolérances linéaires \pm mm

$$\Delta L = K1 + K2D \text{ pour } L < 1000$$

D cote nominale

L plus grande dimension de la pièce

Type de cote D	$\Delta L \pm$ mm
A : Cotes obtenues dans une même partie	$K1 = 0,2$ $K2 = 1,5/1000$
B : Cotes obtenues par deux parties de moule	$K1 = 0,3$ $K2 = 2/1000$
C : Cotes obtenues par trois parties de moule	$K1 = 0,4$ $K2 = 2,5/1000$

2

3

Planité : On prend pour D la plus grande dimension de la surface.
Tolérance en mm
 $0,4 + \frac{1,5 D}{1000}$

Coaxialité : On prend pour D le plus grand diamètre en cause
On applique les formules du tableau 1 et on double la valeur obtenue pour avoir T.

Mauvais tracé

Bon tracé

Endement

R

1

2

3

Pente 15°
R = e

La solution 3 est la meilleure

1

2

La solution 2 est meilleure (tracé plus souple)

2-2-2. (Suite).

Trous bruts de fonderie.

Il existe une valeur minimum de dépouille et une longueur maxi de trou en fonction du diamètre de celui-ci. On ne peut obtenir économiquement des trous dont le ϕ est inférieur à 4mm. (v. tableau 4 p. 144).

Formes extérieures et intérieures.

A l'inverse du moulage en sable, les difficultés nécessaires de forme doivent être reportées à l'extérieur de la pièce. La fig. 3 a montre que la contre-dépouille intérieure nécessite un noyau en sable (non souhaitable).

La fig. 3b montre un tracé semblable, sans contre-dépouille.

Toutefois, on peut obtenir des formes intérieures en contre-dépouille en utilisant des noyaux métalliques en plusieurs parties. (v. fig. 2). Cette disposition coûte cher et ralentit la cadence de fabrication. Elle n'est à adopter que pour des formes fonctionnelles indispensables (ex. piston).

Dans le but de simplifier le moule il est parfois possible de ne pas utiliser de noyau :

La fig. 4b montre que deux parties moulantes suffisent pour obtenir la forme demandée.

Appui des éjecteurs.

L'effort d'éjection est transmis par les éjecteurs qui poussent la pièce en différents points. La surface d'appui des éjecteurs peut être comprise dans le profil de la pièce. Parfois des bossages de ϕ 10 mm à 12 mm sont nécessaires pour créer un appui.

L'éjecteur laisse une trace sur la pièce, en creux ou en relief, de 0,5 mm en moyenne.

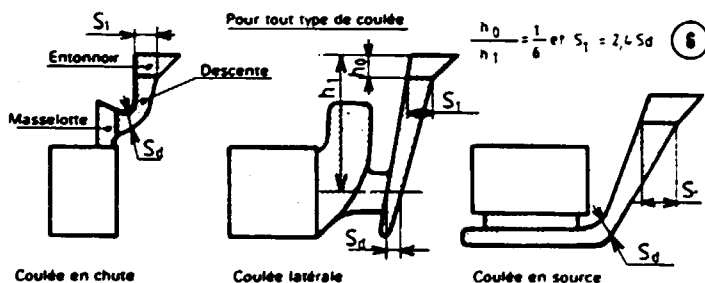
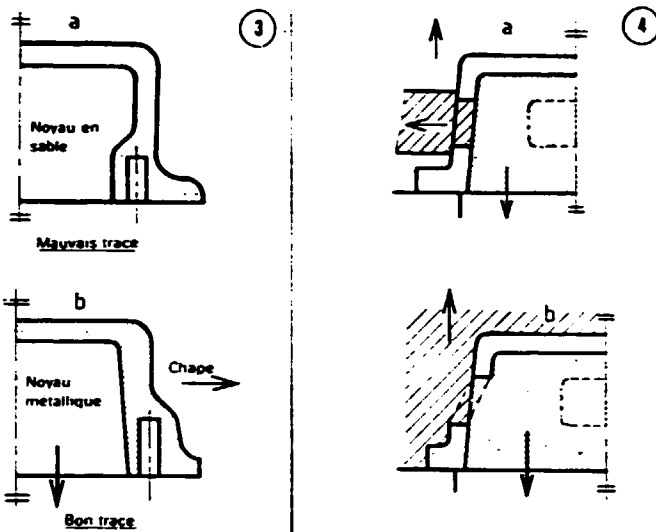
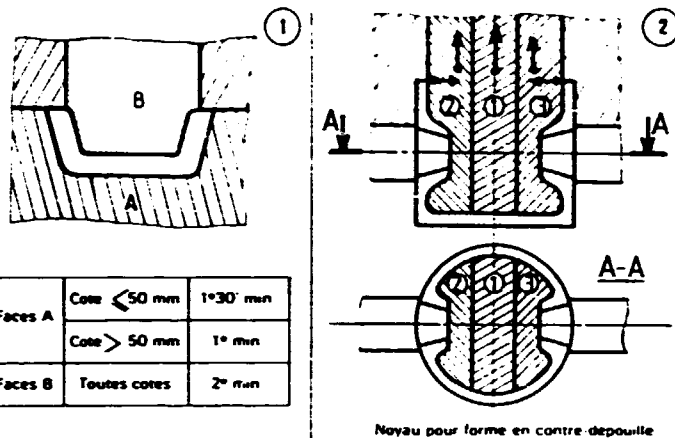
2-2-3. Conception du moule.

Les règles particulières de conception concernent le système de remplissage qui doit tenir compte, dans son tracé et ses dimensions, des propriétés de fonderie des alliages d'Al, en particulier de la coulabilité.

En fonction des familles d'alliages et de l'épaisseur mini des parois, on peut déterminer un temps de remplissage (v. tableau 5) qui tient compte du tracé du système de coulée (v. fig. 6).

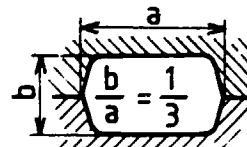
Les règles générales de masselottage sont à prendre en compte en sachant que la masselotte est recouverte d'un enduit réfractaire (potayage) qui ralentit sa solidification.

Pour le choix des matériaux constitutifs (v. p. 82).



Type de Coulée	Al, Cu, Al, Mg	Al, Si
	Al, Zn	Al, Cu, Si
	T en s e en mm	T en s e en mm
en chute	T : e	T : e - 1
Latérale	T : e - 1	T : e
en source	T : e - 2	T : e - 1

Section recommandée de descente et d'entonnoir de coulée



2-3. Moulage sous basse pression des alliages d'aluminium.

2-3-1. Généralités

Les avantages du procédé (v. p. 113) seront effectivement obtenus lorsque certaines contraintes seront surmontées :

a) Il faut assurer une solidification très bien orientée car le remplissage et l'alimentation se font par le même orifice.

b) Il faut filtrer l'alliage au niveau du remplissage pour éviter toute introduction d'oxydes en particulier.

La conception générale des pièces sera telle que la condition « a » sera réalisée par une étude précise sur les échanges thermiques entre pièce et moule.

On rejoint certaines règles de tracé des pièces coulées sous pression, mais avec des épaisseurs moyennes de 5 mm : Ainsi les masses ne seront pas isolées mais placées vers les attaques de coulée ; il faut que la solidification progresse des parties les plus éloignées de la pièce vers le système d'alimentation (v. fig. 1).

2-3-2. Conception du moule.

Cette technique impose de résoudre les points suivants lors de la conception du moule :

- Position de la pièce.
- Système de remplissage et d'alimentation.
- Tirages d'air.
- Ejection de la pièce.
- Equilibre thermique.

- Position de la pièce dans le moule.

Le remplissage se faisant de bas en haut et l'attaque servant de masselotte, il faut disposer les masses en bas du moule et tenir compte des conditions d'éjection.

- Système de remplissage et d'alimentation.

Suivant la complexité de la pièce on remplira et on alimentera par une seule attaque ou carotte, ou par un chenal reliant plusieurs attaques (v. fig. 2) à section trapézoïdale.

Le remplissage se fera à des vitesses faibles (0,1 à 0,5 m/s) sans dépasser 1,2 m/s. pour éviter les turbulences et la formation de mousse et d'oxydes.

Le temps de remplissage doit être inférieur au temps de solidification de la partie la plus mince.

- Tirages d'air.

Alors qu'en coquille par gravité le basculement et la multiplication des faux-joints facilitent l'évacuation de l'air, en coulée basse pression il faut multiplier les fraisages sur les joints disponibles (joints de chape et de guidage des noyaux). On pratique des saignées de 0,3 à 0,5 mm de profondeur et de 10 à 30 mm de largeur. Le volume d'air à évacuer est important car il faut ajouter celui du tube plongeur et de liaison.

- Ejection de la pièce.

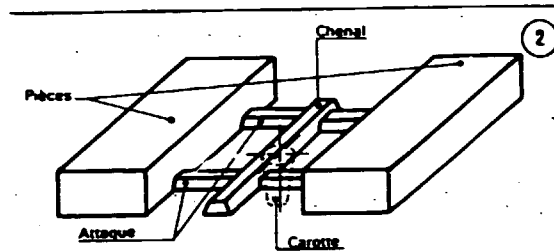
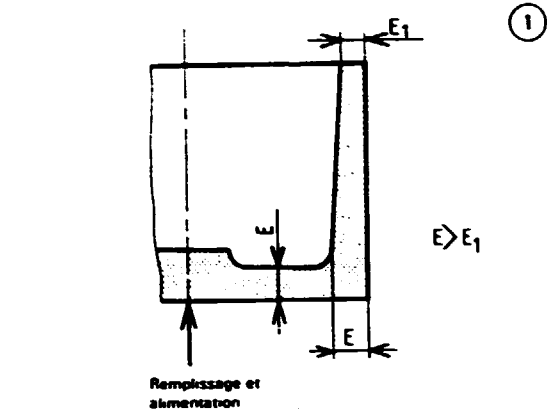
Les problèmes que posent cette opération sont semblables à ceux de la coulée sous pression.

Le jeu de montage des éjecteurs est de 0,25 mm en moyenne. Ils sont cylindriques ou prismatiques et leur nombre et répartition sur la pièce ne doit pas provoquer de déformation de celle-ci à l'éjection.

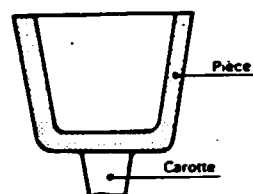
- Equilibre thermique.

Le moule est un échangeur de chaleur. Le cycle thermique est sensiblement la même sûre qu'en coulée sous pression.

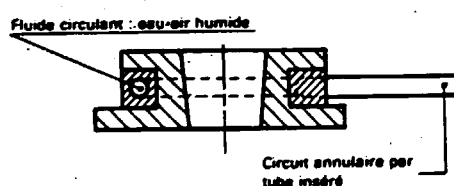
L'équilibre thermique est réalisé en refroidissant ou en réchauffant le moule.



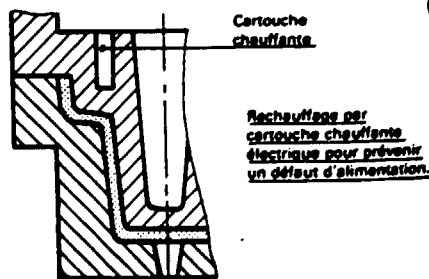
Chenal et plusieurs attaques (moulu à deux empreintes)



Une seule attaque par la carotte



Refroidissement d'une carotte d'injection



LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (17/19)

2-4. Moulage sous pression des alliages d'aluminium.

2-4-1. Prix de revient et possibilités techniques.

Ce procédé ne peut être appliqué que pour des séries importantes à fabriquer. Un moule peut supporter 75.000 à 130.000 injections avant son rebut. Il faut penser aussi que le coût d'entretien du moule est sensiblement égal à son coût de fabrication.

Durée de vie du moule.

La solidification d'une couche très mince, est pratiquement instantanée et aussi l'attaque chimique des aciers constitutifs par l'Al. liquide est moins déterminante que les contraintes thermiques, sur la durée de vie d'un moule.

Poids et dimensions des pièces.

Les pièces les plus grosses injectées sont des carters moteurs pesant jusqu'à 20 kg. On peut aussi injecter des pièces de quelques dizaines de grammes.

Choix des alliages.

Les très bonnes propriétés de fonderie des Al-Si font que ce sont ces alliages qui représentent 90 % environ du tonnage injecté :

L'A-U10S4, grâce au Si, est le seul des Al-Cu. à être utilisé normalement.

Les alliages A-G6 et A-G10 sont difficiles à mettre en œuvre.

Choix des machines.

Il faut déterminer le type et la force de fermeture de la machine. Pour ce choix, il faut prendre en considération :

- la nature de l'alliage,
- les formes et dimensions de la pièce.

Les alliages d'Al. sont injectés *uniquement dans les machines à chambre froide* en raison de l'agressivité chimique de l'Al. sur les alliages ferreux qui constituent le système d'injection en chambre chaude. La force de fermeture peut atteindre 30 MN (3 000 tonnes) pour une pièce type carter.

Epaisseur mini des pièces.

Les valeurs données *tableau 1* représentent un minimum obtenu économiquement. On peut descendre à des valeurs plus faibles dans certains cas particuliers.

Précision dimensionnelle.

Cette technique de moulage grande série offre la plus grande précision dimensionnelle.

Tolérances dimensionnelles : *Tableau 2.*

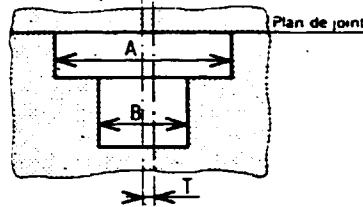
Concentricité : *tableau 3.*

Planéité : *tableau 4.*

Faux parallélisme : *tableau 5.*

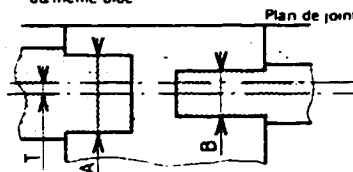
Dimensions en mm. des pièces	Epaisseur mini des parois en mm	Types de cotés et L mm	Tolérances $\pm \Delta L$ mm
20 x 20	1 à 1,5	A $3 \leq L1 \leq 0$ $20 < L2 \leq 100$ $100 < L3 \leq 300$	0,1 0,1 à 0,25 0,25 à 0,40
100 x 100	1,5 à 2	B - L1 - - L2 - - L3 -	0,15 0,15 à 0,35 0,35 à 0,75
200 x 200	2 à 2,5	C - L1 - - L2 - - L3 -	0,15 0,15 à 0,45 0,45 à 0,80
300 x 300	2,5 à 3		
Très grosses pièces	4 à 4,5		

Formes moulées par parties fixes du même bloc



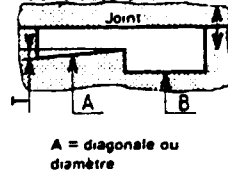
A ≤ 20 mm	T ₁ = 0,1
A > 20 mm	T ₂ = T ₁ + 0,015 par 25 mm

A et B moulées par 2 parties mobiles du même bloc



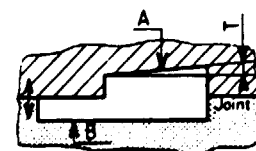
A + B ≤ 75 mm	T ₁ = 0,4
A + B > 75 mm	T ₂ = T ₁ + 0,08 par 25 mm

Faux parallélisme entre A et B moulées par le même élément de moule



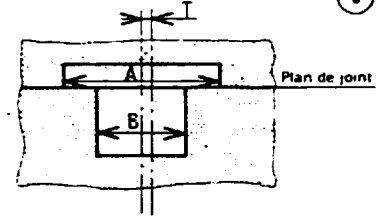
A ≤ 75 mm	T ₁ = 0,13 mm
A > 75 mm	T ₂ = T ₁ + 0,04 par 25 mm

Faux parallélisme entre A et B moulées dans les deux blocs du moule.



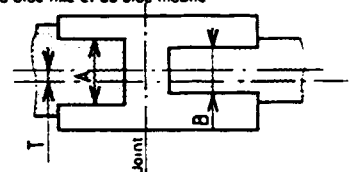
A ≤ 75 mm	T ₁ = 0,2 mm
A > 75 mm	T ₂ = T ₁ + 0,04 par 25 mm

A et B situées de part et d'autre du joint



A ≤ 75 mm	T ₁ = 0,3
A > 75 mm	T ₂ = T ₁ + 0,04 par 25 mm

A et B moulées par 2 parties mobiles solidaires du bloc fixe et du bloc mobile



A + B ≤ 75 mm	T ₁ = 0,6
A + B > 75 mm	T ₂ = T ₁ + 0,1 par 25 mm

Dimension de la pièce diamètre ou diagonale	Tolérance en mm.
- jusqu'à 75 mm	0,3
- au-delà de 75 mm	0,3 + 0,08 par 25 mm

LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (18/19)

2-4-2. Conception des pièces.

L'injection très rapide du métal (0,05 à 0,1 s) et la solidification presque instantanée d'une mince couche imposent :

- Un nombre très limité de parties massives.
 - Des variations très restreintes d'épaisseur. (v. fig. 1).
- Suivant les types de raccordement, le rapport e/e_1 varie.
- D'éviter les changements brutaux de direction.
 - les angles vifs qui rendent le moule fragile et perturbent l'écoulement du métal.

Le démoulage mécanique de la pièce impose également des règles de tracé pour les appuis d'éjecteur qui peuvent être des bossages spéciaux. (v. fig. 2).

L'épaisseur mini fixée en fonction de la coulabilité de l'alliage est souvent dépassée par les conditions de résistance de la pièce en sachant que les alliages injectés sous pression, ont des caractéristiques mécaniques plus élevées qu'en moulage en sable. Mais au-delà de 7 mm d'épaisseur le risque de micro porosités et micro retassures est nettement augmenté.

Surépaisseur d'usage.

Aussi faible que possible, celle-ci doit être de 0,3 mini pour éviter les usures d'outil. Cette surépaisseur varie ensuite suivant le type de cotes A-B-C (v. tableau 2 p. 143).

Dépouille.

Les alliages d'aluminium ont tendance à coller au moule et pour éviter des arrachements, il faut une dépouille qui varie suivant la profondeur de la pièce (v. tableau 3).

Trous bruts de fonderie.

Cette technique de moulage très précise permet de faire venir de nombreux détails de forme dont des trous de fixation. Ces trous peuvent être débouchants ou borgnes.

Pour la bonne tenue des éléments moulants, il existe des rapports diamètre/profondeur (v. tableau 4) des dépouilles particulières (v. tableau 5) et un déport angulaire maxi. (v. tableau 6).

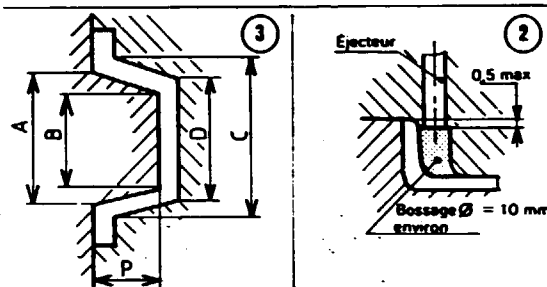
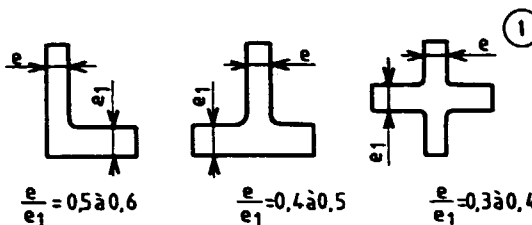
Formes extérieures et intérieures.

La règle donnée pour la coulée en coquille s'applique encore plus rigoureusement en coulée sous pression :

Difficultés de forme reportées à l'extérieur de la pièce pour des formes intérieures simples. Mais ces formes extérieures doivent permettre de limiter le nombre de plans de joint et d'éléments de moule obliques par rapport à l'axe d'ouverture de la machine (v. fig. 7).

Les formes intérieures ne peuvent être obtenues que par des noyaux métalliques à démoulage rectiligne. Une forme en contre-dépouille peut être théoriquement obtenue comme en coquille mais l'incidence de tels mécanismes sur la fiabilité du moule et la cadence de fabrication limite leur utilisation à des cas très rares.

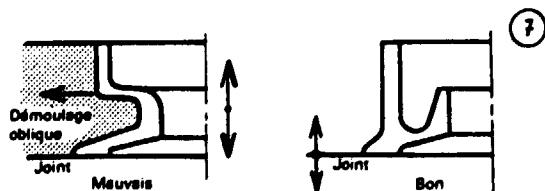
La forme fig. 4b p. 141 est très recommandée en coulée sous pression lorsqu'il faut faire venir une ou plusieurs ouvertures latérales. Ceci évite l'emploi de noyaux obliques.



Profondeur P de la pièce en mm.	Dépouille :	
	$\frac{A-B}{2}$	$\frac{C-D}{2}$
5	0,2	
10	0,5	
15	0,6	
20	0,7	
25	0,8	
> 25	0,8 par 25 mm	

Diamètre d min. des trous en mm	Profondeur H max. des trous en mm	Diamètre des trous en mm	Angle de dépouille
4	15	4	2°
5	18	5	1°45'
6	25	6	1°45'
10	45	10	1°
15	80	15	0°50'
20	115	20	0°40'
25	150	25	0°30'
> 25	6 x d	> 25	0°30'

\varnothing min. en mm.	Profondeur max. H en mm	Déport angulaire D max. en mm
4	15	0,1
5	18	0,12
6	25	0,20
10	45	0,30
20	115	0,50
> 25	6 x \varnothing	0,5 + 0,02 par 10 mm de profondeur



LES PIÈCES EN ALLIAGES D'ALUMINIUM (19/19)

2-4-3. Conception du moule.

Les règles particulières de conception du moule résident dans le choix des matériaux constitutifs et du système de remplissage et d'alimentation.

Bien sûr le choix initial déterminant est celui du type de machine : Les alliages d'aluminium sont toujours injectés dans des machines à chambre froide.

Choix des matériaux constitutifs : (v. p. 90).

• Système de remplissage et d'alimentation

Les attaques doivent être placées sur des parties minces de la pièce.

Si la pièce présente plusieurs parties massives il vaut mieux attaquer séparément ces masses et placer des dégorgeurs à la jonction des flots d'alliage.

Il faut éviter de multiplier les attaques afin de ne pas former trop d'alumine qui crée des reprises.

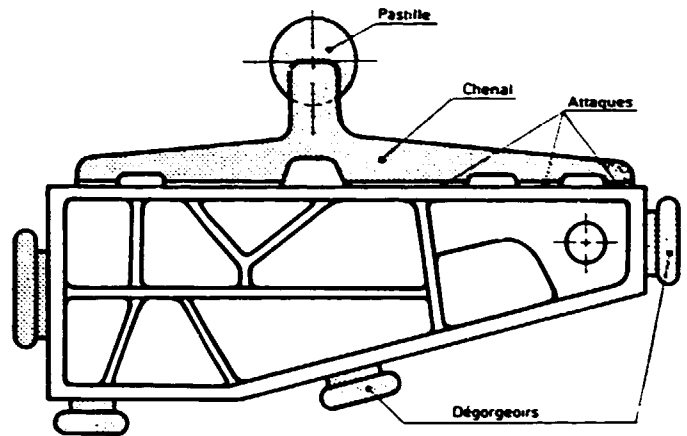
— L'épaisseur de ces attaques de coulée varie de 1 mm à 3 mm.

— La section des chenaux de coulée est trapézoïdale.

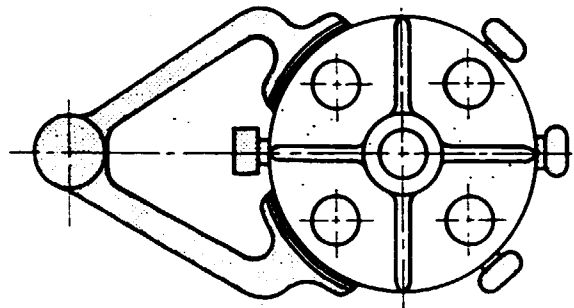
En ce qui concerne les paramètres d'injection ceux-ci varient avec la forme, les dimensions et l'épaisseur de la pièce.

Par exemple, une pièce du type carter, d'une épaisseur moyenne de 3 mm et de dimensions extérieures 250 mm X 150 mm, est injectée dans les conditions suivantes :

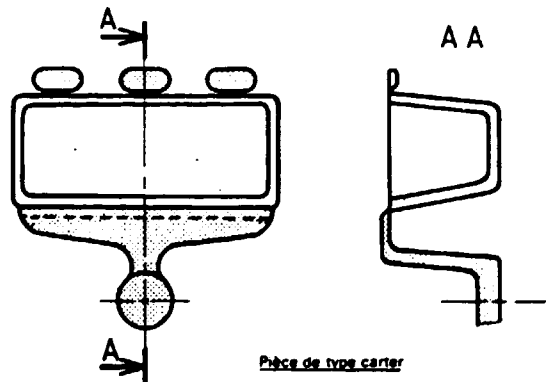
- épaisseur de l'attaque : 2 mm
- section de l'attaque : 300 mm²
- volume des dégorgeurs : environ 8 % du volume pièce :
- vitesse du piston d'injection : 4 m/s
- vitesse du métal à l'attaque : 50 m/s
- temps de remplissage de l'empreinte 0,10 s
- surpression après remplissage de l'empreinte : 700 bars.



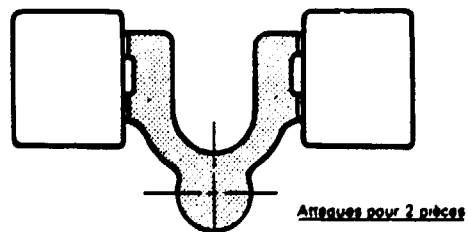
Pièce mince, étendue et très ajourée



Pièce de révolution



Pièce de type carter



Attaques pour 2 pièces

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE MAGNÉSIUM (1/3)

1. LES ALLIAGES DE MAGNÉSIUM.

1-1. Généralités.

Le magnésium n'existe dans la nature qu'à l'état de combinaisons : carbonates, oxydes, silicates, chlorures et sulfates.

Industriellement le magnésium est extrait de la magnésite, la dolomite et l'eau de mer qui est une réserve inépuisable.

En fait, c'est à partir de l'eau de mer et des minerais carbonatés que l'on obtient le magnésium.

La magnésie d'abord obtenue est traitée par *procédé électrolytique ou thermique*.

Le premier consiste à électrolyser le chlorure de Mg anhydre fondu.

Le second consiste à réduire la magnésie MgO à haute température (750 °C à 1150 °C suivant le réducteur utilisé : aluminium - carbone - carbure de calcium...).

1-2. Propriétés principales du magnésium

Propriétés physiques

Structure cristalline hexagonale compacte	
Masse volumique à 20 °C	1,74 g/cm ³
Température de fusion	650 °C.
Chaleur de fusion	356 J/g
Coefficient de dilatation de 20 °C à 500 °C.	29,9 × 10 ⁻⁶
Contraction de solidification	4,2 %
Retrait à l'état solide	1,8 %
Capacité thermique moyenne	1,03 J/g/°C.
Conductivité thermique à 20 °C.	1,55 Ω /cm/°C.
Résistivité électrique à 20 °C.	4,4 × 10 ⁻⁸ Ωcm

Propriétés chimiques

Le magnésium est très oxydable mais cette oxydation est très lente à température ambiante.

A partir de 70 °C. l'attaque du Mg par l'eau est rapide. Le magnésium est attaqué par presque tous les acides minéraux et les solutions salines, par contre il résiste bien aux bases.

1-3. Alliages de magnésium.

Le magnésium pur présente des caractéristiques mécaniques très médiocres et l'addition d'éléments d'alliage permet de multiplier par 2 à 3 ces caractéristiques.

Il existe des alliages classiques et spéciaux.

Alliages classiques :

Ce sont des alliages ternaires Mg, Al, Zn.

L'Al augmente la coulabilité et les caractéristiques mécaniques. Le Zinc agit surtout sur la ductibilité.

Le dosage des différents éléments est le suivant :

- magnésium : 85 % à 90 %
- aluminium : jusqu'à 10 %
- Zinc : jusqu'à 3 %
- manganèse : jusqu'à 0,5 %

Alliages spéciaux :

Ces alliages contiennent tous 0,6 % à 0,7 % de Zirconium. Ce métal diminue nettement la grosseur du grain de fonderie et permet d'obtenir des alliages qui résistent mieux aux vibrations et aux sollicitations élevées, à basse ou haute température (200 °C à 250 °C.)

1-4. Traitement thermique.

Celui-ci consiste, pour l'alliage G-Al en particulier, à une homogénéisation de la solution solide à 400 °C environ.

La trempe qui suit se fait à l'air.

Un revenu de 24 h à 48 h à 180 °C permet un durcissement structural.

1-5. Fusion

Celle-ci comporte plusieurs opérations qui sont :

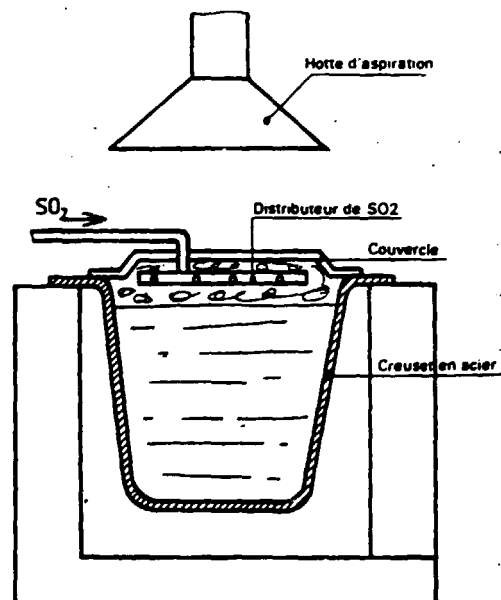
la protection du bain de l'action de l'oxygène. Un film protecteur de gaz inerte (azote - CO₂ - argon) de SO₂ ou d'hexafluorure de soufre est réalisé à la surface du bain. Les flux à base de sels ne sont pratiquement plus utilisés.

L'*affinage* du grain qui permet d'obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques. Un phénomène de nucléation peut être créé par :

- surchauffe du bain à 900 °C pendant 10. min avec refroidissement rapide jusqu'à 800 °C.
- apport d'éléments non solubles dans le magnésium liquide et créant des germes (Exemple : le carbone).
- addition de Zirconium.

Le *dégazage* car le magnésium absorbe facilement l'hydrogène. Le chlore gazeux est couramment utilisé et c'est par barbotage que son action est la plus efficace.

En ce qui concerne le matériel, les fours utilisés sont à creuset en acier chauffés au mazout, au gaz ou électriquement (fours à induction basse fréquence).



Installation de fusion du magnésium avec protection par SO₂

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE MAGNÉSIUM (2/3)

2. LES TECHNIQUES DE MOULAGE SPÉCIFIQUES

Les alliages de magnésium se moulent

- en sable
- en coquille par gravité et basse pression
- en sous-pression
- par les procédés à modèle perdu

Pour la mise en œuvre de ces alliages il faut tenir compte de leurs propriétés de fonderie :

La coulabilité est légèrement inférieure à celle des alliages Al-Si.

L'aptitude à la retassure est moins grande que celle des alliages d'Al mais la faible densité du Mg impose des masselottes très hautes et conduit à une mise au mille importante (3 à 5).

Le retrait à l'état solide de 1,2 à 1,3 % de ces alliages entraîne une criquabilité plus faible que celle des alliages d'Al.

2-1. Moulage en sable.

2-1-1. Possibilités techniques.

Ce procédé est appliqué pour de faibles séries de pièces.

- Poids et dimensions.

Les dimensions des pièces peuvent être très variées et leur masse peut être comprise entre quelques grammes et 300 kg.

- Épaisseur minimum des pièces : 4 mm
- Tolérance moyenne des dimensions : $\pm 0,7$ mm

2-1-2. Conception des pièces (v. fig. 1).

Les règles énoncées ci-après sont générales concernant les pièces en alliages de Mg, quel que soit la technique de moulage.

Épaisseur des parois : L'épaisseur moyenne est de 6 à 8 mm avec des parois de 12 mm pour les pièces de grandes dimensions.

Les masses ne seront pas isolées.

Le nervurage doit être important pour augmenter les moments d'inertie mais il faut éviter les croisements de nervures.

Les angles vifs sont à proscrire (défaut métallurgique, concentration d'effort, crique très probable).

Les formes intérieures sont en caisson ou nervurées.

2-1-3. Conception du moule.

Matériau de moulage et de noyautage

Les matériaux utilisés sont :

- les sables silico-argileux,
- les sables siliceux agglomérés au silicate et aux résines.

Les sables doivent contenir des inhibiteurs (soufre ou acide borique) qui fixent l'humidité et évitent ainsi l'oxydation du magnésium.

La perméabilité du moule doit être optimum :

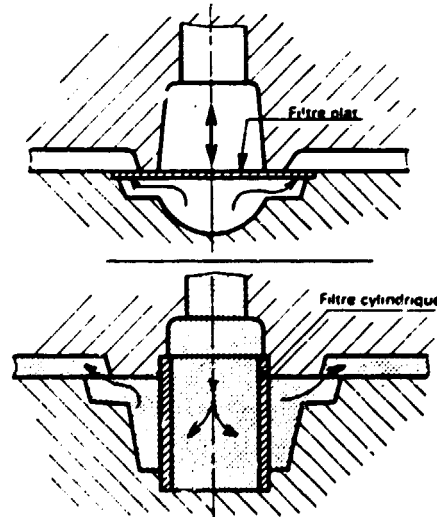
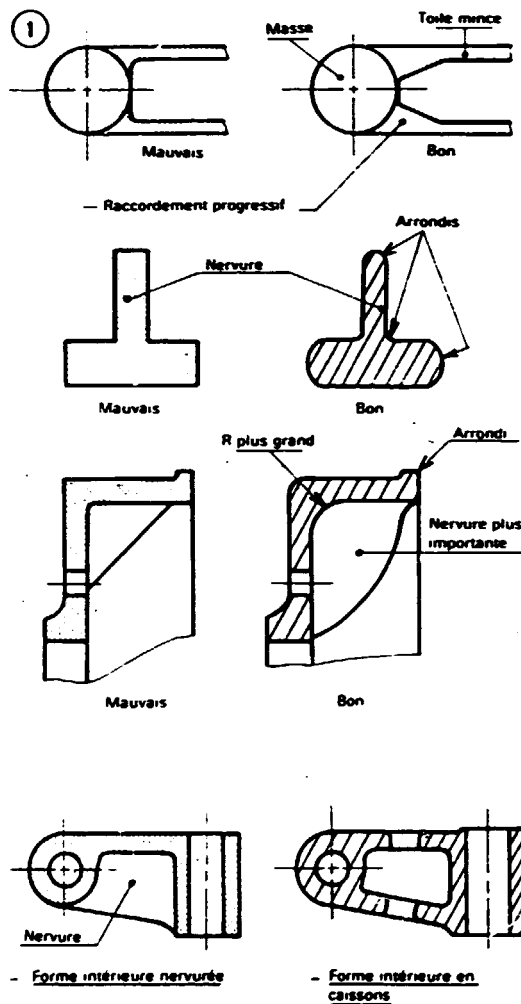
La granulométrie des sables doit être très régulière pour un indice de finesse moyen.

Remplissage et alimentation.

Le système de remplissage doit être tel que toute émulsion soit évitée au maximum :

- Descentes de coulée multiples,
- Filtres et changements de direction contribuent à freiner le métal (v. fig. 2).

Le masselottage est considérable du fait de la faible densité du Mg et de sa coulabilité moyenne.



LES PIÈCES EN ALLIAGES DE MAGNÉSIUM (3/3)

2-2. Moulage en coquille par gravité.

La conception de la coquille présente les particularités suivantes :

- L'épaisseur des éléments moulants sera plus faible que pour les alliages d'Al afin d'avoir une température de fonctionnement de la coquille plus élevée (300 °C en moyenne).
- Les tirages d'air, seront très nombreux.
- Les jets de coulée seront inclinés de 45° environ et pourront être munis de filtres.
- Le masselottage sera important avec isolation thermique efficace des masselottes (poteyage très réfractaire ou tôle mince de contact).
- Les poteyages contiendront un inhibiteur d'oxydation.
- Le bain d'alliage sera protégé de l'oxygène par du SO₂.

Conception des pièces

Le poids des pièces n'excède pas 10 kg.

L'emploi de noyaux en sable étant possible, les formes intérieures peuvent être complexes.

L'épaisseur mini des parois est de 4 mm (20 mm maxi).

Le diamètre mini des trous bruts de fonderie est de 8 mm.

La tolérance moyenne sur les dimensions est de ± 0,35 mm.

2-1. Moulage sous pression.

Les alliages de Mg se coulent généralement dans des machines à chambre froide.

La température de coulée (680 °C. à 750 °C.) de ces alliages a été un obstacle à l'utilisation des machines à chambre chaude.

Actuellement les deux types de machines sont utilisés.

En machine à chambre froide on peut injecter ces alliages à l'état pâteux (température de coulée : 600 °C.).

Grâce à leur faible densité, on obtient pour une pression donnée, une vitesse d'injection élevée (60 m/s en moyenne à l'attaque de coulée), d'autre part le cycle de fabrication sur machine à chambre chaude est plus court. On peut ainsi atteindre des cadences de 400 injections/heure.

Conception du moule.

C'est au niveau du système de remplissage et d'alimentation que se situent les particularités :

Il faut :

- Remplir le moule et en chasser l'air très vite.
- Eviter la rencontre de plusieurs jets d'alliage.
- Tenir compte de la solidification rapide de ces alliages (chaleur latente de fusion plus faible que pour les alliages d'Al).

Ainsi :

Le système de remplissage sera le plus court et le plus simple possible.

Les canaux seront à section trapézoïdale

La section sera concentrée : Rapport $\frac{b}{a} \leq 2,5$

L'attaque de coulée sera unique et large et son épaisseur ne dépassera pas 2 mm.

(v. figures ci-dessous pour quelques emplacements recommandés d'attaque de coulée).

La fatigue thermique des moules est moins grande que pour les alliages d'Al.

Il s'ensuit une durée de ceux-ci de 300.000 injections en moyenne.

Conception des pièces.

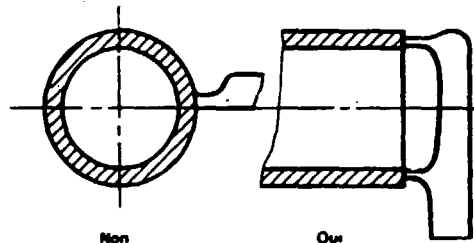
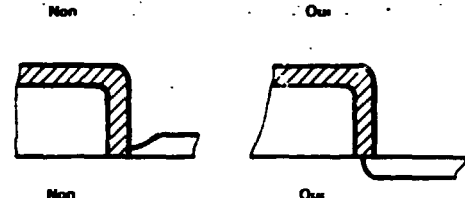
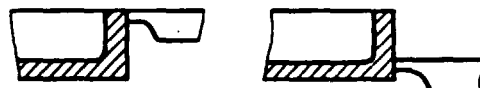
Les pièces en alliages de Mg coulées sous pression sont caractérisées par une épaisseur de paroi faible.

Cette épaisseur est comprise entre 1,8 mm et 3 mm.

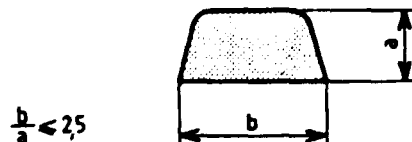
On peut couler des pièces de grandes dimensions :

exemple : capot moteur de 1,50 m X 1 m sur 0,50 m de hauteur.

Les dépouilles peuvent être plus faibles que pour les alliages d'Al car les alliages de Mg se décolent mieux de l'empreinte.



- Canaux à section trapézoïdale



LES PIÈCES EN ALIAGES DE CUIVRE (1/6)

NF A 53-707/A 53-751/A 53-703/A 53-709

1. LES ALIAGES DE CUIVRE

1-1. Généralités.

Il existe trois catégories de minerais :

- Les minerais sulfurés dont on tire 85 % du Cu utilisé dans le monde. Leur teneur en Cu varie entre 4 et 5 %.
- Les minerais oxydés dont la teneur en Cu varie entre 1 et 2 %. Elle peut atteindre 15 à 20 %.
- Les minerais de cuivre natif, d'origine éruptive. Le Cu se présente sous forme de fines particules. La teneur moyenne en Cu est de 1 %.

Suivant les minerais les modes de traitement diffèrent :

	Teneur en Cu en %	Mode de traitement
MINERAIS SULFURÉS	> 6	Fusion directe
	4 à 6	Enrichissement ⁽¹⁾ recommandé + fusion
	< 4	Enrichissement obligatoire + fusion
MINERAIS OXYDÉS CUIVRE NATIF	> 10	Fusion directe
	5 à 10	Enrichissement préalable + fusion (Fusion directe déconseillée)
	< 5	Enrichissement + fusion

(1) Note : L'enrichissement est une concentration en Cu du minerai (par flottation ou lavage) qui rend la fusion moins chère.

Le produit obtenu par ces traitements doit être affiné afin d'obtenir un cuivre pur (affinage par fusion ou électrolyse).

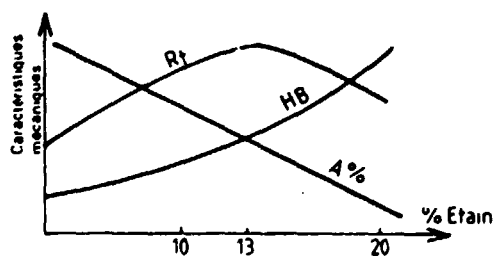
1-2. Propriétés principales du cuivre.

Propriétés physiques

Structure cristalline cubique face centrée	
Masse volumique à 20 °C	8,9 g/cm ³
Température de fusion	1083 °C
Chaleur de fusion	210 J/g
Coefficient de dilatation (+ 20 °C à + 500 °C)	16,4 x 10 ⁻⁶
Retrait à l'état solide	1,7 %
Capacité thermique moyenne	0,4 J/g/°C
Conductivité thermique à 20 °C	3,9 W/cm/°C
Résistivité électrique à 20 °C	0,017 x 10 ⁻⁶ Ω.m

Propriétés chimiques

La résistance aux atmosphères corrosives (industrielle - marine - rurale) est très bonne, et particulièrement en ce qui concerne les eaux de mer.



1-3. Familles d'alliages de cuivre

Les familles d'alliages de cuivre sont les suivantes :

- Cuivre-Étain ou Bronzes (NF-A 53-707 et A 53-751)
- Cuivre-Zinc ou laitons (NF A 53-703)
- Cuivre-Aluminium ou Cupro-Aluminium (NF A 53-709)
- Cupro-Alliages

D'autres éléments d'addition sont utilisés et ont une influence sur les caractéristiques de ces alliages.

Le plomb : incorporation homogène difficile à cause de sa densité : on pratique un brassage de l'alliage avant coulée ou on ajoute 1 % environ de nickel. Le Pb facilite l'usinage. Taux maxi : 2 %.

Le phosphore : désoxydant. Un excès de phosphore durcit l'alliage et le rend fragile.

Le silicium : désoxydant plus énergique, il augmente la coulabilité du cuivre et sa dureté.

Le manganèse : augmente la compacité des bronzes et les propriétés mécaniques des laitons jusqu'à un taux de 3 %.

Le nickel : augmente considérablement la dureté et l'inoxydabilité du cuivre. Il affine la structure des alliages.

Le fer : améliore les caractéristiques mécaniques mais crée des points durs dans les bronzes par formation d'un composé fer-étain.

1-3-1. Alliages cuivre-étain.

Ces alliages sont appelés bronzes. On distingue les bronzes binaires (Cu + Sn) et les bronzes spéciaux contenant soit du phosphore, du zinc ou du plomb.

Le diagramme d'équilibre (v. fig. 1) est complexe dans son ensemble. Selon la teneur en étain et la vitesse de refroidissement, les bronzes sont constitués d'une solide α ou d'un mélange $\alpha + \delta$. α est limitée à 5,7 ou 17 % d'étain.

δ est dure et fragile.

Influence de l'étain. Il augmente la coulabilité et permet, par la présence des deux constituants α et δ , des traitements thermiques.

Les caractéristiques mécaniques des bronzes binaires dépendent de la teneur en eutectoïde $\alpha + \delta$, donc de la teneur en étain (v. fig. 2).

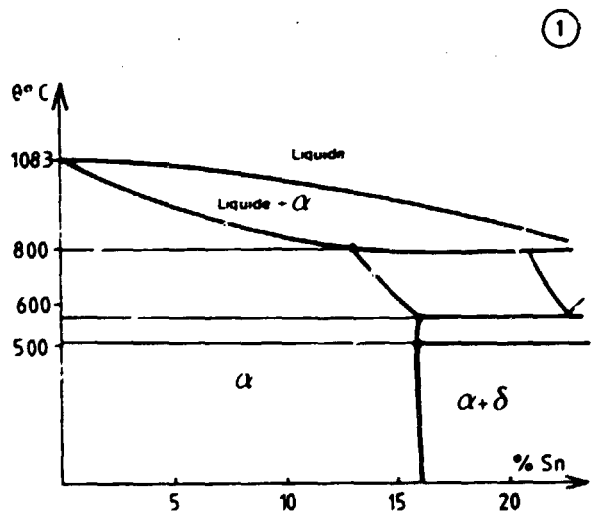


Diagramme d'équilibre Cuivre - Sn

LES PIÈCES EN ALLIAGE DE CUIVRE (2/6)

Bronzes spéciaux :

On distingue principalement :

Les bronzes phosphoreux.

Le taux de phosphore est compris entre 0,1 % et 0,5 %. Celui-ci augmente la dureté et améliore les qualités de frottement.

Les bronzes au zinc.

- Le zinc est un désoxydant.
- Il augmente la malléabilité et diminue les qualités de frottement.

Teneurs habituelles en zinc : 4 % à 5 %.

Les bronzes au plomb.

Le plomb n'est pas miscible à froid et très peu à l'état liquide dans le cuivre.

Si $Pb < 6\%$: L'usinage est facilité et on obtient une plus grande étanchéité des pièces.

Si $6\% < Pb < 30\%$: on obtient des alliages de frottement sous faible charge.

Il existe des bronzes au Pb et au Zn qui permettent l'obtention des pièces complexes et étanches aux fluides sous pression.

1-3-2. Alliages Cuivre-Zinc.

Ces alliages sont appelés laitons et seuls ceux contenant moins de 45 % de Zn sont utilisés industriellement.

Le diagramme d'équilibre (v. fig. 1) montre l'existence d'une phase α jusqu'à 33 % environ de Zn et d'une phase $\alpha + \beta'$ à température ambiante et jusqu'à 46 % environ de Zn.

La transformation réversible $\beta \rightleftharpoons \beta'$ se produit à 450 °C environ et très rapidement. La trempe ne peut empêcher cette transformation. La phase β' est dure et fragile.

Influence du zinc.

Le zinc augmente la coulabilité mais si le $Zn < 15\%$ les propriétés de fonderie sont médiocres.

On distingue :

1-3-2-1. Les laitons monophasés et biphasés.

Les laitons à une phase ($0\% < Zn < 36\%$) présentent des propriétés mécaniques croissantes avec la teneur en zinc. Ils ont une bonne résistance à la corrosion.

Les laitons à deux phases ($36\% < Zn < 45\%$) présentent également des propriétés mécaniques croissantes avec la teneur en zinc mais A % diminue. La teneur optimum en Zn d'un laiton binaire est d'environ 40 %.

1-3-2-2. Les laitons spéciaux.

Sont obtenus par incorporation d'un ou plusieurs éléments aux laitons binaires 60/40.

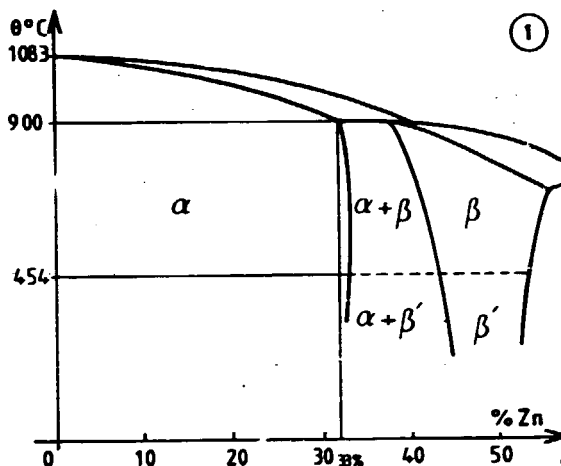
Certains de ces éléments augmentent la proportion de β' et se comportent comme du zinc. D'autres éléments augmentent la proportion de α et se comportent comme du cuivre.

Voir tableau ② :

- proportions des différents éléments,
- équivalent en Zn ou Cu de ces éléments,
- influences (connues) de ces éléments sur les propriétés des laitons.

Les laitons spéciaux avec un élément d'addition ont un titre fictif éloigné du titre réel optimum 60/40 et seules certaines propriétés mécaniques sont améliorées.

Les laitons spéciaux avec deux éléments d'addition ont un titre fictif proche de 60/40 et toutes les propriétés mécaniques sont améliorées.



- Diagramme d'équilibre Cuivre - Zn.

	Éléments d'addition						
	As	Bi	Pb	Sn	Sb	Ag	Au
Équivalent en Zinc	6	10	2	1	0,9	-1,2	0,5
Taux d'addition	0,5 à 7%	0,3 à 5%	0,5 à 1%	0,1 à 2%	0,1 à 4%	1 à 5%	0,5 à 6%
Rt	/	/	/	/	/	/	/
Rc	/	/	/	/	/	/	/
A %							
Résistance à la corrosion	/	/	/	/	/	/	/
Usinabilité				/			

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE CUIVRE (3/6)

1-3-3. Les cupro-Aluminium.

Ce sont des alliages binaires ou complexes. Ils contiennent jusqu'à 14 % d'aluminium. Le diagramme (v. fig. 1) montre l'existence d'une phase α jusqu'à 9 % d'Al à température ambiante. Au-dessus de ce taux, les alliages sont biphasés ($\alpha + \gamma 2$).

La transformation entectoïde $\beta \rightarrow \alpha + \gamma 2$ permet d'envisager des traitements thermiques.

Cupro-Alu binaires.

Les caractéristiques mécaniques (v. fig 2) augmentent avec le % d'Al pour les alliages monophasés.

Pour les alliages biphasés, la présence de $\gamma 2$ (phase dure et fragile) augmente R_t et R_e au détriment de A %.

Tous ces alliages sont particulièrement sensibles à la vitesse de refroidissement V_r : Si V_r est grande, les propriétés mécaniques augmentent considérablement.

Cupro-Alu complexes.

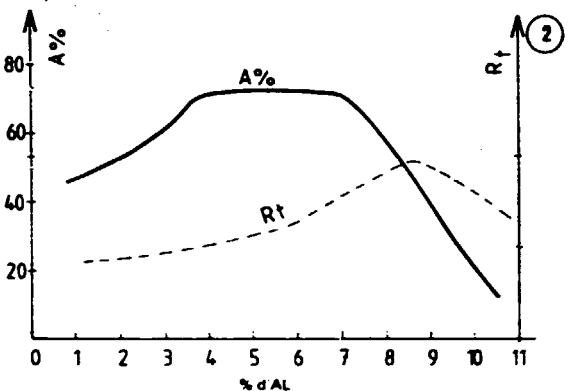
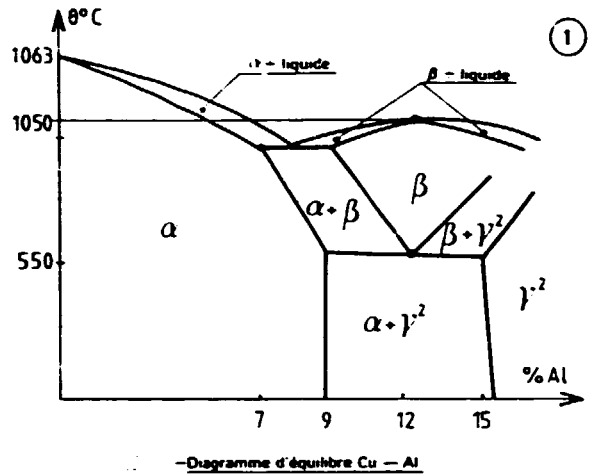
Pour les alliages monophasés on améliore les propriétés de α par addition de fer (1,5 à 3 %) ou de nickel (2 %).

Aux alliages, biphasés, on ajoute du manganèse, du fer, du nickel.

Le Mn élargit le domaine de la phase β et améliore les propriétés de fonderie (en particulier abaissement de l'aptitude à la crique).

Le Fe affine le grain et augmente R_t , R_e et la dureté.

Le Ni augmente R_e et améliore la solubilité du fer d'où amélioration de la résistance à la corrosion.



2. LES TRAITEMENTS THERMIQUES DES PIÈCES

Les alliages de cuivre peuvent subir des traitements thermiques qui sont, suivant les alliages :

Bronzes :

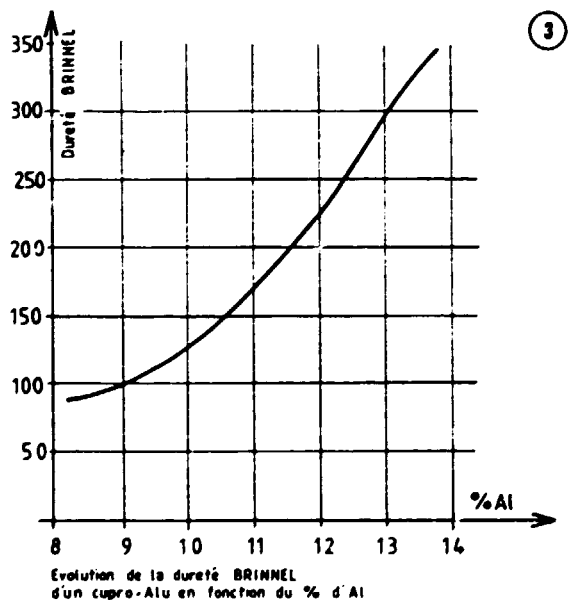
Le recuit d'homogénéisation est le plus fréquent. Il permet la disparition du constituant dur et fragile δ . Ce traitement permet aussi un adoucissement des bronzes ayant subi une vitesse de refroidissement trop grande. Le traitement de trempé (500 °C à 600 °C) augmente R_t et A % (R_t est doublée pour les bronzes dont $Sn > 8\%$).

Laitons :

Le traitement de trempé n'apporte pas d'amélioration des caractéristiques mécaniques car le zinc ne présente pas de variation de solubilité dans le cuivre. La trempé ne peut empêcher la transformation de la phase β en phase β' , dure et fragile, à température ambiante.

Cupro-Aluminium

Le traitement de temps et revenu n'améliore pas les caractéristiques mécaniques des alliages binaires. Les cupro-Alu complexes sont plus intéressants à ce sujet.



LES PIÈCES EN ALLIAGES DE CUIVRE (4/6)

3. FUSION DES ALLIAGES DE CUIVRE

D'une manière générale, le cuivre et ses alliages dissolvent très facilement les gaz et en particulier l'hydrogène.

Il s'ensuit que les opérations de fusion comprennent :

- une période d'oxydation pour fixer l'hydrogène qui peut être dissous ainsi que le soufre dont l'affinité avec le cuivre est grande. (Le soufre provient des combustibles solides, liquides ou gazeux utilisés dans les fours de fusion).
- une période de réduction des oxydes ainsi formés.
- un dégazage de l'hydrogène restant.

Elaboration des laitons.

- Si Zn > 20 % il y a peu de problèmes concernant la dissolution du soufre, de l'hydrogène et de l'oxydation du cuivre.

En effet le Zinc réduit le Cu_2S et Cu_2O . L'hydrogène ne peut être dissous car à haute température (1 100 ° C et plus) la tension élevée des vapeurs de zinc chasse l'hydrogène par balayage mécanique.

- Si Zn < 20 %, la protection par les vapeurs de zinc n'est pas absolue et il y a risque de formation de Cu_2O . On ajoute au bain du cupro-phosphore qui permet de fixer l'oxygène.

Elaboration des bronzes.

Après fusion en atmosphère légèrement oxydante, il faut désoxyder. L'étain ne réduit pas le Cu_2O . Il faut donc employer un réducteur qui est généralement le zinc.

L'étain ne réduit pas le Cu_2S et il faut désulfurer par un autre corps, le magnésium par exemple.

Les oxydes formés ($SnO - ZnO$) seront scorifiés en utilisant un flux acide.

Fonction des flux.

a) Protection du bain.

A l'exception des bains de cupro-Aluminium qui se recouvrent d'une pellicule d'alumine, il n'y a pas d'auto-protection pour les laitons et les bronzes contre l'oxydation.

On protège ces alliages par une couverture de poussier de charbon de bois.

b) Rôle de fondant du laitier.

c) Scorification des oxydes.

Cu_2O peut être réduit par un cupro-phosphore mais pas le ZnO et le SnO . Ces oxydes basiques sont fondus dans un laitier acide composé d'acide borique ou de silice.

d) Action chimique sur l'alliage.

On utilise un flux oxydant (le bioxyde de manganèse) pour limiter la dissolution de H_2 . La désulfuration est obtenue avec du carbonate de soude, de potasse ou du magnésium.

Fours de fusion.

Les types utilisés sont variés ainsi que les combustibles. On trouve le coke - la houille - le gaz - le bois - l'huile lourde - l'énergie électrique.

Fours à creuset.

On utilise les fours basculants dont la virole est en tôle d'acier garnie de réfractaire.

(Fours Piat - Rousseau - Morgan).

Chauffage au coke et à l'huile lourde.

Fours sans creuset.

On utilise les fours Charlier : cylindre horizontal monté sur tourillons ou galets, à fonds démontable.

Sont chauffés au gaz ou au mazout.

Les fours reverbères sont également utilisés pour d'importantes quantités à fondre. Ils sont chauffés au bois ou à la houille.

Fours électriques.

Plus précis dans la régulation des températures et plus réguliers dans leur marche. Les pertes au feu sont minimum et constantes. On utilise surtout les fours à sole. Parmi ceux-ci on trouve :

- les fours à résistance,
- les fours à arc indirect,
- les fours à induction basse et haute fréquence.

Les creusets des fours sont en plombagine, en graphite ou en acier. Ces derniers doivent être protégés (poteyage).

Leur capacité est mesurée en « points » ; le point étant le volume d'1 kg de bronze liquide.

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE CUIVRE (5/6)

4. LES TECHNIQUES DE MOULAGE SPÉCIFIQUES

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour la coulée des pièces en alliages de cuivre.

- Le moulage en sable.
- La coulée en coquille par gravité.
- La coulée sous pression.
- La centrifugation.
- La coulée continue.

Le tableau ① permet de situer les possibilités de ces techniques quant aux épaisseurs mini/maxi des pièces, leur poids et les tolérances dimensionnelles.

	Techniques de moulage ①				
	Sable	Coquille	Sous-pression	Centrifugation	Coulée continue
Épaisseur mini	2,5 mm	3 mm	1 à 1,5 mm	10 mm	$10 < \delta < 100$
Épaisseur maxi	Pas de limite	50 mm	5 à 7 mm	100 mm	
Masse maxi des pièces	$10 \cdot 10^3$ kg et plus	5 kg	5 kg	$5 \cdot 10^3$ kg	Longueur variable
Tolérance moyenne en mm	± 1	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$		

4-1. Tracé des pièces.

Les pièces en alliages cuivreux n'exigent pas des règles de tracé très particulières. Les règles générales sont à appliquer strictement. Il faut noter que le retrait à l'état solide est élevé (1,7 % en moyenne) et que certains alliages (les laitons) sont fragiles à chaud (criquabilité augmentée).

Ainsi les règles concernant le raccordement des toiles et parois seront appliquées rigoureusement.

Les règles spécifiques concernent :

- Les trous bruts de fonderie : voir tableau ②.
- Les dépouilles :
2,5 % à 3,5 % en moulage sable
1,5 % mini en coquille par gravité.

4-2. Moulage en sable.

Les alliages cuivreux sont coulés dans des moules en sable silico argileux humide (sable à vert).

Les bronzes plus particulièrement ont une forte tendance à l'abreuvage à cause de leur faible tension superficielle.

Les sables de moulage doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Teneur en argile : 10 à 12 %.
- Indice de finesse A.F.A. : 100 à 120.
- Perméabilité : 25 unités A.F.A. mini.
- Humidité : 5 % maxi.

Pour limiter l'abreuvage on pulvérise sur l'empreinte de l'huile de lin ou de l'huile lourde mélangée à de la plombagine.

En ce qui concerne le noyutage, le problème est l'abreuvage et on évitera au maximum ce défaut par :

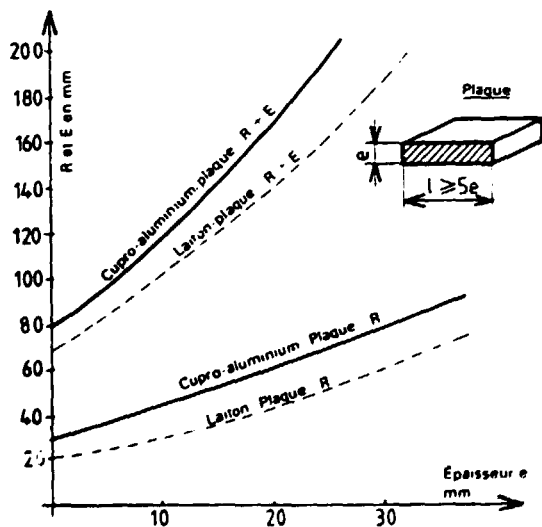
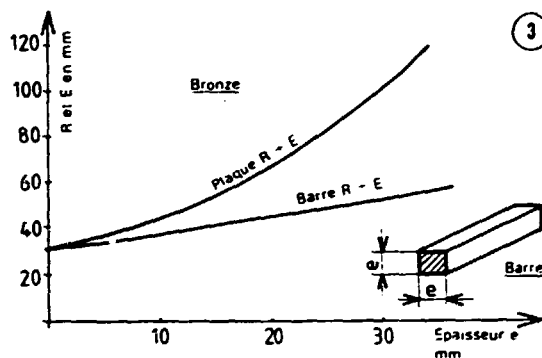
- l'emploi de sable à indice de finesse élevée.
- induction d'une couche sur le noyau.

Remplissage et alimentation.

Les cuivreux ont un retrait de solidification élevé, ce qui nécessite un masselottage important (mise au mille moyenne : 2).

Il faut prévoir une masselotte (borgne ou à jour) sur chaque attaque de coulée. Les rayons d'action R des masselottes et l'effet d'extrémité E pour des barres et plaques, sont donnés sur la fig. 3.

	Trous borgnes		Trous débouchants ②	
	Sable	Coquille	Sable	Coquille
ϕ mini	8 mm	5 mm	8 mm	5 mm
Longueur maxi	$5 \times \phi$ 50 mm maxi	$3 \times \phi$ 25 mm maxi	$10 \times \phi$ 250 mm maxi	$5 \times \phi$ 100 mm maxi



LES PIÈCES EN ALLIAGES DE CUIVRE (6/6)

4-3. Moulage en coquille.

Parmi les alliages de cuivre, ce sont les laitons et les cupro-aluminium qui sont surtout coulés en coquille.

Matériaux constitutifs d'une coquille.

Étant donné la faible température de coulée des laitons (950 °C à 980 °C) qui permet de limiter l'oxydation du zinc, il n'est pas nécessaire d'utiliser des aciers fortement alliés.

Ainsi on choisit parmi :

- la fonte grise lamellaire perlitique pour fabriquer les chapes, semelle et parties peu sollicitées thermiquement ;
- des aciers spéciaux type 25CD4 pour les broches et noyaux.

Les laitons dissolvent le fer à haute température et de ce fait la durée de vie d'une coquille (malgré la protection du poteyage) est de 10 000 pièces en moyenne.

Les cupro-aluminium sont moins agressifs et les coquilles peuvent durer jusqu'à 20 000 pièces en moyenne.

Système de remplissage et d'alimentation.

Le laiton est sensible à l'oxydation, à la retassure et il est fragile à chaud.

La coulée en source est préférable mais il faut basculer la coquille pendant le remplissage pour avoir le moins de turbulences possible et un remplissage continu.

Le masselottage doit être important (hauteur de charge des masselottes : 70 mm environ).

Les tirages d'air doivent être nombreux et constitués de saignées de 0,2 mm à 0,3 mm de profondeur.

4-4. Centrifugation.

Les pièces tubulaires et de révolution peuvent être obtenues par centrifugation de l'alliage, dans des moules métalliques dont l'axe de rotation est horizontal ou vertical.

On peut ainsi couler des tubes de 70 mm à 900 mm de diamètre et pesant 7 à 8 tonnes.

Les alliages cuivreux centrifugés sont les bronzes phosphoreux, les cupro-aluminium, les laitons 60/40.

Le moule est en acier ou en fonte réfractaire.

Les bronzes sont coulés entre 1 250 °C et 1 300 °C ; les cupro-aluminium entre 1 050 °C et 1 100 °C et les laitons entre 900 °C et 925 °C. La coquille est à une température moyenne de 250 °C à 350 °C.

4-5. La coulée continue.

Différents procédés existent. Les machines sont en général verticales et utilisent des coquilles ou filières en cuivre ou en graphite refroidies par circulation d'eau. La vitesse d'extraction peut atteindre 600 mm/min.

Différents profilés sont obtenus : barres et tubes jusqu'à 250 mm de diamètre. Jets creux rectangulaires de 30 mm X 100 mm.

4-6. La coulée sous pression.

Les laitons sont pratiquement les seuls alliages cuivreux à être coulés sous pression. Les laitons utilisés contiennent 58 à 60 % de cuivre.

La température d'injection de ceux-ci est basse (900 °C environ), ce qui fait que les laitons sont injectés à l'état pâteux. Ainsi l'action de dissolution du fer est moindre que celle des autres alliages cuivreux.

L'état pâteux et le retrait de solidification important font que les pressions atteintes à l'injection sont très élevées (1 000 bars à 1 200 bars).

Étant donné les conditions thermiques et mécaniques d'injection, les machines utilisées sont uniquement des machines à chambre froide.

Les moules sont en acier spécial au chrome, molybdène, vanadium (v. page 93).

La conception des pièces doit tenir compte des possibilités techniques du procédé pour les alliages cuivreux.

- Épaisseur des parois en fonction de la plus grande dimension de la pièce L.

L < 50 mm	e = 0,8 à 1,5 mm
50 < L < 100	e = 2 à 2,5 mm
100 < L < 250	e = 2,5 à 3 mm
L > 250	e = 3 à 3,5 mm

- Dépouille : 1 % en moyenne

- Trous bruts de fonderie :

φ en mm	Trou borgne			Trou débouché
	5 mm	6	8	
Longueur L max en mm	8	12	20	+ 20 à 50 %

Nota : Au-dessus de φ = 8 mm prendre L max = 30.

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE ZINC (1/5)

NF A 55-010

1. LES ALLIAGES DE ZINC

1-1. Généralités.

Le zinc se présente dans la nature à l'état de composés sulfurés (blendes) ou oxydés (calamines).

Les deux grands procédés utilisés pour la production du zinc sont :

- L'extraction par voie thermique.
- L'extraction par voie humide.

Le second procédé est le plus utilisé et représente environ 75 % de la production totale.

Extraction par voie humide.

La blende est grillée et transformée en oxyde de zinc ZnO. Cet oxyde est dissous par l'acide sulfurique H₂SO₄. La solution de sulfate de zinc obtenue est électrolysée. Le zinc se dépose sur une cathode en aluminium.

Les opérations sont les suivantes :

- Grillage du ZnS pour le transformer en ZnO.
- Mise en solution du ZnO dans H₂SO₄.
- Purification de la solution obtenue.
- Électrolyse.
- Refonte des cathodes de zinc décollées de la cathode support en aluminium poli.

Extraction par voie thermique.

Le minerai de zinc, grillé, est réduit par le carbone ou l'oxyde de carbone à haute température. La température de réduction très élevée (1 100 °C environ) fait que le métal est à l'état de vapeur qui est ensuite condensée.

1-2. Propriétés des alliages de zinc.

Propriétés physiques.

Structure cristalline hexagonale compacte	6,6 à 6,7
Masse volumique	104,6 J/g
Chaleur de fusion	26×10^3
Coefficient de dilatation par 0 °C	0,4 à 0,5 %
Retrait à l'état solide	0,4 J/g/°C
Capacité thermique massique	1,13 W/cm/°C
Conductivité thermique à 20 °C	0,06 Ω m
Résistivité électrique à 20 °C	380 °C à 390 °C
Intervalle de solidification	

Propriétés chimiques.

Le zinc est un métal réducteur, sauf vis-à-vis de l'aluminium et du magnésium.

Il est dissous par les acides avec dégagement d'hydrogène. Ne s'oxyde pas dans l'air sec.

Dans l'air humide, il se couvre d'une mince couche d'hydrocarbonate de zinc, insoluble.

Il est insensible à la plupart des substances organiques.

1.3. Familles d'alliages de zinc.

Le zinc pur n'est pas utilisé en fonderie car il présente des caractéristiques mécaniques médiocres et il attaque et dissout le fer, ce qui rend impossible sa mise en œuvre en fonderie sous pression en chambre chaude.

Les principaux éléments d'addition sont l'aluminium, le cuivre et le magnésium.

Tous les alliages industriels ont pour principal élément d'addition l'aluminium.

Influences des éléments d'addition.

L'aluminium :

C'est le premier élément d'alliage. Il améliore la coulabilité et diminue l'effet de dissolution du fer. Améliore nettement la charge de rupture et la résilience (v. fig. 1).

Teneur optimale : 3,5 à 4,5 %.

Le cuivre :

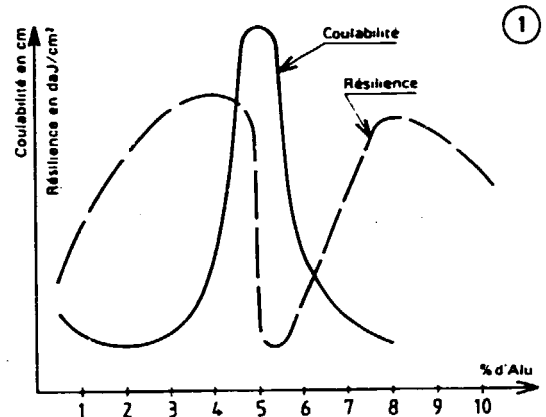
N'est présent que comme 2^e élément d'alliage. Il augmente la dureté et la charge de rupture. Par contre, le cuivre, à partir de 1 % provoque des variations dimensionnelles des pièces après vieillissement.

Teneur maxi : 1 %.

Le magnésium :

Améliore la dureté et la charge de rupture.

Diminue la température critique de rupture fragile. Taux : 0,03 à 0,06 %.



Influence de l'aluminium sur la coulabilité et la résilience d'un alliage de zinc

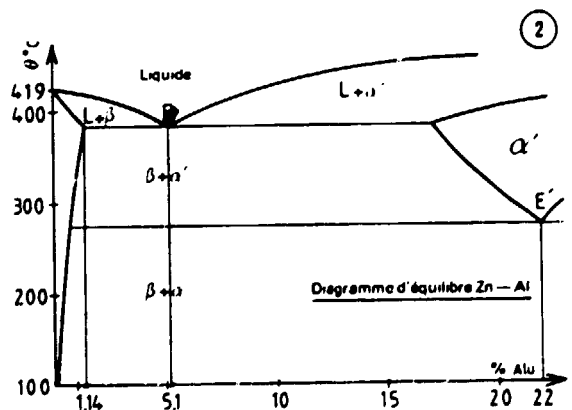
1-3-1. Alliages de zinc industriels.

Les alliages Zamak.

Ces alliages contiennent jusqu'à 4,3 % d'aluminium, du cuivre et du magnésium.

La norme NF A 55-010 définit les compositions des alliages zamak 3 et zamak 5.

Le diagramme binaire Zn-Al est simple : on trouve une solution solide β saturée d'Al (1,14 %) à température eutectique et un agrégat eutectique $\beta + \alpha'$ à 382 °C pour 5,1 % d'aluminium. Il existe un eutectoïde à 275 °C pour 22 % d'Al.



LES PIÈCES EN ALLIAGES DE ZINC (2/5)

Caractéristiques mécaniques des alliages de Zamak

Propriétés	Zamak 3	Zamak 5
Résistance à la traction	260 à 300 MPa	300 à 340 MPa
Limite élastique	250 à 290 MPa	290 à 330 MPa
Module d'élasticité	85.000 MPa	96.000 MPa
Allongement	5 à 8 %	3 à 6 %
Résilience	10 à 12 daJ/cm ²	11 à 13 daJ/cm ²
Résistance à la compression	540 MPa	600 MPa
Résistance à la fatigue (10 ⁷ cycles)	48 MPa	57 MPa
Dureté vickers	80 à 90	85 à 95

Ces propriétés sont affectées par l'élévation de la température : par exemple, lorsque la température passe de 20 °C à 100 °C la résistance à la traction diminue de 30 %.

Par contre, ces alliages peuvent être utilisés sans inconvénient aux basses températures.

- L'alliage Iizro 12

Les alliages zamak sont difficiles à mettre en œuvre en moulage en sable.

L'alliage Iizro 12 a été mis au point pour le remplacer dans ce domaine.

Il contient :

- 11 % à 13 % d'Al
- 0,5 à 1,25 % de Cu
- le reste en zinc.

Il est constitué de l'eutectique $\alpha + \beta$ et de la solution solide α' riche en Al qui subit une transformation eutectoïde.

Cet alliage est très peu influencé par la vitesse de refroidissement. Peu de variations des caractéristiques métallurgiques (grosseur du grain constante) et mécaniques.

La coulabilité est excellente.

- Les alliages de frottement.

Les compositions de ces alliages sont notées ci-dessous.

- Zinc 55 % à 65 %
- Aluminium 30 % à 40 %
- Cuivre 2,5 % à 5 %

Certains éléments - silicium, beryllium, titane - en très faible quantité, affinent le grain de ces alliages et augmentent leur dureté :

Leur faible densité permet leur utilisation pour les pièces en mouvement et subissant un frottement important (doublées-paliers).

Caractéristiques physiques de ces alliages.

Masse volumique	: 4 à 5 g/cm ³
Intervalle de solidification	: 460 à 540 °C
Retrait à l'état solide	: 0,8 à 1,5 %
Coefficient de dilatation par °C	: 23×10^{-6}
Température limite d'emploi	: 100 °C

Caractéristiques mécaniques de ces alliages.

Résistance à la traction	: 280 à 350 MPa
Limite élastique à la traction	: 200 à 230 MPa
Limite élastique à la compression	: 400 à 440 MPa
Allongement	: 2 à 6 %
Dureté Brinell	: 90 à 120

- Les alliages Kayem.

Dérivés des zamak, la teneur plus élevée en magnésium (jusqu'à 2 %) est le seul facteur qui différencie les deux alliages.

Le magnésium permet de durcir ces alliages.

Les Kayem 1 et 2 sont utilisés pour la fabrication par moulage d'outillages de presse, poinçons et matrices et de moules pour l'injection des matières plastiques. Le kayem 2 résiste moins bien aux chocs que le kayem 1.

Caractéristiques physiques et mécaniques.		
	Kayem 1	Kayem 2
Masse volumique	6,7 g/cm ³	6,6 g/cm ³
Intervalle de solidification	380 °C - 390 °C	353 °C - 360 °C
Retrait à l'état solide	80,6 à 1 %	0,6 à 1 %
Coefficient de dilatation	28×10^{-6}	28×10^{-6}
Résistance à la traction	230 MPa	190 MPa
Résistance à la compression	800 MPa	680 MPa
Résilience	5,5 daJ/cm ²	1,3 daJ/cm ²
Allongement	1 à 2 %	0,5 %
Dureté Brinell	100 à 110	140 à 150

1-4. Traitement thermique.

Les alliages de zinc ne subissent pas de traitement de durcissement par trempe.

Par contre, pour accélérer la libération de contraintes internes résultant des conditions de moulage et de solidification des pièces on pratique un traitement de stabilisation si des tolérances dimensionnelles très serrées sont exigées.

Ce traitement consiste :

- en un réchauffage à l'air à une température de 100 °C environ ;
- en un maintien de 6 h à cette température ;
- en un refroidissement à l'air libre.

1-5. Fusion.

Les fours à gaz ou à mazout sont principalement utilisés.

Les alliages de zinc dissolvent le fer, ce qui oblige à utiliser des creusets en graphite ou en carborundum, ou des creusets en acier ou en fonte protégés.

Les retours de fabrication peuvent être utilisés dans la préparation des charges jusqu'à une proportion ne dépassant pas 50 %.

Le même lot d'alliage peut être refondu plusieurs fois sans qu'il y ait détérioration des caractéristiques mécaniques.

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE ZINC (3/5)

2. TECHNIQUES DE MOULAGE SPÉCIFIQUES.

2-1. Généralités.

Les techniques de moulage utilisées pour la mise en œuvre des alliages de zinc sont :

- Le moulage en sable,
- Le moulage en coquille par gravité,
- Le moulage sous pression.

2-2. Moulage en sable.

L'alliage Ilzro 12 permet de fabriquer les pièces prototypes des pièces en zamak coulées sous pression. L'insensibilité de cet alliage à la vitesse de refroidissement permet de le mettre en œuvre en moulage en sable à vert ou étuvé ; en moulage en plâtre ou en céramique.

Les Zamak ne sont pas mis en œuvre en moulage sable à cause de la surchauffe nécessaire à la bonne tenue des pièces et altérant leurs caractéristiques mécaniques.

Les alliages Kayem sont mis en œuvre de façons différentes selon qu'il s'agit de fabriquer des matrices de découpage ou des outils d'emboutissage et moules d'injection de matière plastique.

- *Fabrication des matrices de découpage.*

Le moule est constitué par un simple cadre métallique et du poinçon en acier qui sert de noyaux. On coule à découvert sans masselotte et système de coulée.

- *Fabrication des outils d'emboutissage et moules d'injection des matières plastiques.*

A partir d'un modèle en bois, ou du prototype de la pièce à obtenir, on réalise un moule en sable ou en plâtre.

Le sable est fin (indice AFA : 130-140)

Teneur en argile : 15 à 17 %

Teneur en eau : 6 %.

Après fabrication de l'empreinte dans un seul châssis, car la coulée se fait à découvert, le moule est séché superficiellement.

Un poteyage à base de graphite ou de plombagine est recommandé avant coulée de la pièce.

Un sable au silicate de soude durci au CO₂ peut être également utilisé.

Le moulage en plâtre permet une meilleure tenue des détails de forme et un état de surface amélioré. La faible conductibilité thermique du plâtre en est la cause.

Le plâtre de moulage, très fin, est mélangé avec certains produits réfractaires (amiante, silice ou kaolin).

Après séchage à l'air pendant une douzaine d'heures, le séchage est terminé dans une étuve (15 h environ à 200° C pour un moule de 100 mm d'épaisseur).

2-3. Moulage en coquille

a) Pour des petites et moyennes séries, le Zamak 5 peut être mis en œuvre par cette technique.

Le zamak 3 a une moins bonne coulabilité que le zamak 5 et sa mise en œuvre en coquille est délicate.

Ainsi on obtient des pièces dont l'alliage présente des caractéristiques mécaniques intéressantes :

- Résistance à la traction : 250 MPa
- Allongement : 6 à 8 %
- Dureté Brinell : 95.

Les coquilles sont en fonte grise lamellaire perlitique ; noyaux, broches et parties très sollicitées sont en acier spécial à 50 % de chrome. Le moule sera poteyé.

L'alliage sera coulé à 430° C (450° C. maxi) dans une coquille préalablement chauffée et maintenue à une température de 100° C à 250° C.

La coulée est en chute directe avec basculement de la coquille pour limiter les entraînements d'air et les turbulences.

b) L'alliage Ilzro 12 est également coulé en coquille pour fabriquer des pièces qui seront ensuite coulées sous pression pour assurer une grande série.

La modification de tracé des pièces n'est pas nécessaire : on ajuste la température de coulée de l'alliage en fonction de l'épaisseur de la pièce (v. tableau 1).

En effet (v. tableau 2) les caractéristiques mécaniques de cet alliage sont assez peu affectées par la température de coulée.

Les coquilles sont en fonte grise perlitique avec certaines parties en acier. Pour de petites séries, on peut utiliser des coquilles en alliage d'aluminium.

La température de fonctionnement moyenne des coquilles est de 300° C pour des pièces minces (épaisseur ≤ 4 mm).

Température de coulée en fonction de l'épaisseur de la pièce en ° C.	Epaisseur de la pièce en mm.
650 à 700	< 1
600 à 650	1
550 à 600	2
500 à 550	4
475 à 500	6

Température de coulée en ° C	Charge de rupture MPa	Limite élastique N/mm ²	Allongement %
450	315	200	3,5
500	320	190	3,5
600	310	200	3,5
700	290	195	1

LES PIÈCES EN ALLIAGES DE ZINC (4/5)

2-4. Moulage sous pression

2-4-1. Généralités.

Comme pour les alliages d'Aluminium, ce procédé ne peut être rentable que pour la fabrication d'une grande série de pièces.

Seuls les alliages zamak sont coulés sous pression étant donné leur grande coulabilité. La température d'injection relativement basse (400° C à 420° C) limite l'usure des moules et pour de très petites pièces, les moules peuvent supporter jusqu'à 1.000.000 d'injections. La durée de vie moyenne d'un moule est de 500.000 injections.

Poids et dimensions des pièces.

On peut injecter des pièces de quelques grammes jusqu'à plusieurs kg et de grandes dimensions : cadre de téléviseur - grille de calandre - élément de capot.

Les corps de carburateur, aux formes complexes sont les pièces de mécanique types pour l'utilisation du zamak et du moulage sous pression.

Choix des alliages.

Les zamak 3 et 5 sont injectés sous pression bien que le zamak 3 soit recommandé pour presque toutes les applications, étant donné sa meilleure stabilité dimensionnelle et sa meilleure résistance à la corrosion.

Choix des machines.

On utilise les machines à chambre chaude, qui permettent d'atteindre des cadences de production élevées (jusqu'à 1 000 injections/heure pour des pièces de quelques grammes).

Précision dimensionnelle.

Tolérances dimensionnelles : v. tableau 1.

Concentricité : v. tableau 3 p. 143.

Planéité : v. tableau 4 p. 143.

Faux parallélisme : v. tableau 5 p. 143.

2-4-2. Conception des pièces.

Épaisseur des parois : v. tableau 2.

La grande coulabilité des alliages zamak permet d'injecter des pièces à parois minces.

Les épaisseurs varient avec les dimensions des pièces.

Surépaisseur d'usinage.

Celle-ci est généralement très faible.

Elle varie de 0,2 à 0,5 mm.

Dépouille.

Suivant la profondeur de la pièce, la dépouille varie.

Une dépouille générale de 0,75 à 1 % est recommandée, avec un minimum admissible de 0,5 %.

Trous bruts de fonderie.

Le tableau 3 donne la conicité de ces trous en fonction du diamètre.

Le tableau 4 donne la longueur maxi des trous borgnes et débouchants en fonction du diamètre : v. tableau 6 p. 144 pour départ angulaire.

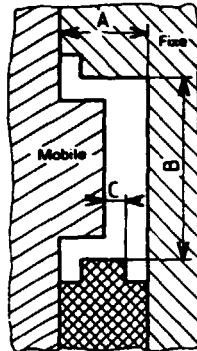
Formes extérieures et intérieures.

Toutes les règles spécifiques à la coulée sous pression des alliages d'Al. sont appliquées pour les zamak.

Formage à froid des pièces.

Le zamak 3 en particulier a une très bonne malléabilité qui permet de lui faire subir des déformations importantes.

Ainsi on peut finir la forme d'une pièce par cintrage pour amplifier le moulage de celle-ci et diminuer son prix de revient.



	Types de cotes et L mm	Tolérances ①
		± Δ L mm
A	3 ≤ L1 ≤ 200	0,05
	20 ≤ L2 ≤ 100	0,05 à 0,15
	100 ≤ L3 ≤ 300	0,15 à 0,30
B	L1	0,1
	L2	0,1 à 0,25
	L3	0,25 à 0,60
C	L1	0,1
	L2	0,1 à 0,35
	L3	0,35 à 0,70

Dimensions en mm des pièces	Épaisseur mini des parois en mm ②
20 x 20	0,8 à 1
100 x 100	1,2 à 1,5
200 x 200	1,5 à 1,8
300 x 300	2 à 2,5

Diamètre d des trous en mm	Profondeur H des trous en mm	Conicité C en mm ③
3 4	24 33	0,1
5 6 7	47 57 67	0,2
8 9 10	80 90 100	0,3
11 à 20 > 20	10 d 12 d	$\frac{C}{H} = 0,3 \%$

β des trous en mm	Longueur maxi en mm ④										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11 à 20	β > 20	
Trous borgnes	9	20	30	45	60	75	90	100	10β	12β	
Trous débouchants	24	37	47	57	70	80	90	100	10β	12β	

LES PIÈCES EN ALLIAGE DE ZINC (5/5)

2-4-3. Conception du moule.

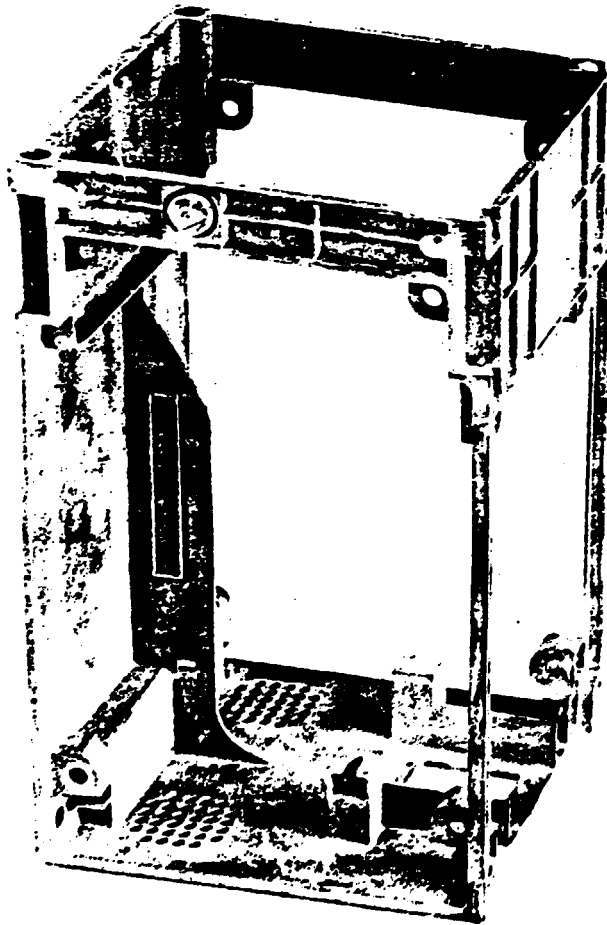
Un moule pour injection des Zamak sous pression est caractérisé par les matériaux constitutifs utilisés : v. tableau 1.

D'autre part, le système de remplissage et d'alimentation est caractérisé par sa configuration et les valeurs suivantes :

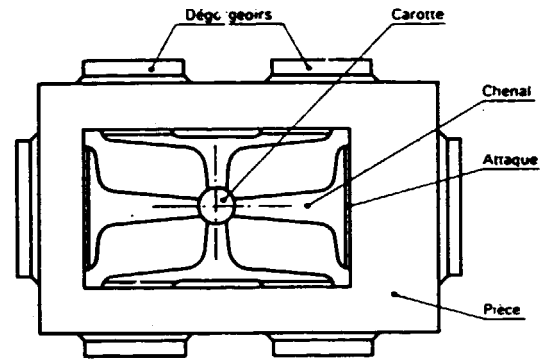
Épaisseur de l'attaque de coulée : 1 mm pour des pièces de 2 à 3 mm d'épaisseur ; et 0,4 à 0,5 mm pour des pièces de 0,8 mm à 1 mm d'épaisseur.

V. ci-contre quelques exemples de tracé du système d'alimentation, suivant la forme de la pièce.

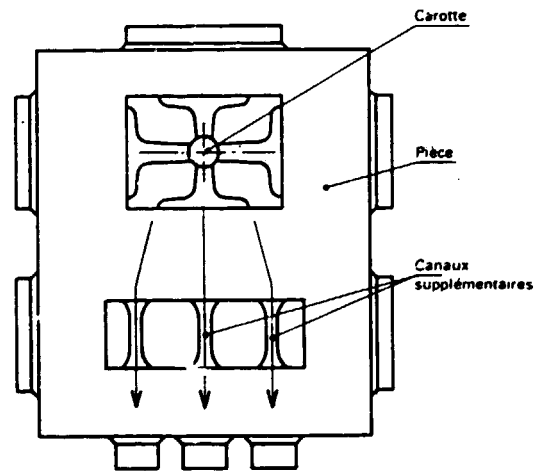
Matériaux constitutifs recommandés	Types de pièces et valeur de la série à fabriquer. ①
C 35 d	Petites séries pour pièces simples
16 NC 6 et 25 CD 4	Séries moyennes et spécifications normales quant aux tolérances.
Z 35 CDSV 0.5 et Z 35 CDSW 0.5	Grandes séries. Parties de moule très sollicitées thermiquement.



cléché CENTRE TECHNIQUE DU ZINC



Alimentation centrale pour pièce présentant une grande ouverture.



Alimentation pour pièce présentant plusieurs ouvertures.

CONTRÔLE DES PIÈCES DE FONDERIE (1/5)

1. GÉNÉRALITÉS

Il s'agit d'exposer les moyens et méthodes de contrôle de qualité du produit moulé.

Il est bien entendu que pour arriver à ne rebuter qu'un nombre minimum de pièces (pour assurer le prix de revient minimum), il faut contrôler toutes les phases de la fabrication d'une pièce de fonderie :

- Etude de moulage,
- Fabrication des outillages,
- Elaboration de l'alliage liquide,
- Moulage,
- Coulée,
- Décochage des pièces,
- Parachèvement des pièces

Contrôle de la pièce de fonderie.

Nous examinerons successivement :

- Les principaux défauts de fonderie motivant le rebut d'une pièce.
- Les contrôles non destructifs des pièces.

2. DÉFAUTS DE FONDERIE.

2-1. Retassure.

Ce défaut se caractérise par une cavité interne ou externe à paroi rugueuse.

La cause principale est le retrait à l'état liquide et le retrait de solidification.

Le mécanisme de formation de ce défaut est le suivant :

La solidification commence le long des parois du moule et progresse vers le centre de la pièce.

Chaque couche solidifiée a subi d'abord le retrait liquide puis, surtout, le retrait de solidification. Le métal liquide alimente les couches en cours de solidification, mais plus la solidification progresse, plus le volume restant à combler augmente et ceci par l'addition des retraits. Ce volume peut être débouchant ou interne suivant le type d'alliage (à intervalle de solidification ou eutectique) et la configuration de la pièce.

Ce défaut peut être également causé par un tracé defectueux de la pièce et par un système d'alimentation insuffisant : mauvais emplacement de celui-ci et volume des masselottes insuffisant.

2-2. Crique.

C'est un défaut de surface qui se produit pendant la solidification de la pièce et qui a l'aspect d'une fissure dirigée dans un sens perpendiculaire à celui du retrait à l'état solide.

La cause principale est donc le retrait linéaire, ou à l'état solide des parties déjà solidifiées et qui n'a pu s'effectuer librement par suite d'un obstacle qui est la partie moulante correspondante.

Pour remédier à ce défaut :

- Augmenter la résistance à chaud de l'alliage par action sur la composition chimique.
- Modifier le tracé de la pièce.
- Modifier le tracé du moule et/ou les matériaux de moulage ou leur composition.

2-3. Soufflures et piqures.

Ce sont des cavités internes ou externes provoquées par un dégagement gazeux à travers l'alliage encore liquide.

Les origines peuvent être :

- Alliage gazé pendant l'élaboration et les manutentions qui libère les gaz pendant la solidification,
- Dégagement de vapeur d'eau du sable,
- Entraînement d'air à la coulée et mauvais tirage d'air dans le moule,
- Réactions moule - métal.

2-4. Abreuvage et métallisation.

Il s'agit d'une pénétration de l'alliage dans le sable. Le degré maximum d'abreuvage est la métallisation totale du moule.

Les causes sont :

- Un sable à trop forte granulométrie et pas assez réfractaire,
- Un serrage insuffisant du sable et un système de coulée créant un point chaud,
- Température de coulée élevée,
- Alliage trop fluide par présence d'éléments (exemple : phosphore dans les bronzes).

2-5. Reprise.

Ce défaut est le résultat d'une mauvaise soudure de deux veines de métal arrivant de deux directions différentes. Evidemment, la pièce peut se rompre à cet endroit précis.

Les causes sont :

- Une température de coulée trop basse,
- Coulabilité insuffisante de l'alliage,
- Mauvais tracé de la pièce,
- Débit d'alliage dans le moule trop faible.

2-6. Gales et Dartres.

La silice du sable de moulage se dilate et la couche superficielle de l'empreinte se déforme, se soulève et permet à l'alliage de passer en dessous. Des inclusions de sable dans la pièce sont possibles.

Les causes sont :

- Le sable est trop plastique,
- Le serrage du sable est trop important,
- Surchauffe d'une paroi du moule.

2-7. Trempe partielle.

Pour les pièces en alliages ferreux, une partie de structure est blanche.

Les causes sont un refroidissement trop rapide d'une partie de la pièce (mauvais tracé ou emplacement defectueux d'un refroidisseur) ou une composition chimique incorrecte (par exemple : taux de silicium trop bas pour une fonte gris)

CONTRÔLE DES PIÈCES DE FONDERIE (2/5)

NF A 04-305

3. CONTRÔLES NON DESTRUCTIFS

On entend par contrôles non destructifs l'ensemble des contrôles ayant pour objet de révéler les défauts non détectables par un simple examen visuel, la pièce ne subissant aucune altération.

Les types de contrôle non destructifs sont les suivants :

- Contrôle par ressuage
- Contrôle par ultra-sons
- Contrôle par induction
- Contrôle radiométralographique
- Contrôle magnétoscopique

3-1. Contrôle par ressuage

Ce type de contrôle est applicable à tous les alliages, afin de détecter les défauts débouchant à la surface de la pièce.

Un liquide tensio-actif ou coloré contenant des substances fluorescentes est appliqué sur la surface à contrôler.

Selon la nature et le type de fabrication à contrôler, le liquide est appliqué par immersion, au pinceau, au pistolet.

Après élimination du liquide de la surface, les défauts constituent des réserves de liquide perceptibles à l'œil nu en lumière blanche ; ou en lumière ultra-violette dans le cas d'emploi de liquide fluorescent.

Globalement, cette méthode peut détecter des défauts débouchant en surface de l'ordre du centième de millimètre.

3-2. Contrôle par ultra-sons (NF A 04-305).

Un faisceau d'ultra-sons est envoyé dans la pièce au moyen d'un palpeur. Ce faisceau est réfléchi par la face opposée et l'écho est recueilli par un palpeur récepteur (le même palpeur peut servir à l'émission et à la réception).

Tout défaut rencontré par le faisceau produira une réflexion parasite détectée sur l'oscillographe par une vague située entre la courbe représentant l'onde émise et l'onde réfléchie.

Cette méthode peut s'appliquer à tous les alliages. Mais ce contrôle est d'une application délicate : on risque ainsi de prendre des réflexions parasites sur des parois inclinées pour des défauts.

Les contours déchiquetés d'une retassure ne donnent pas une image bien nette sur l'oscillographe.

On peut donc dépister des défauts qui seront ensuite mieux définis par radiographie par exemple.

Dans le cas d'une fabrication en série, cette méthode est bien adaptée car, après étalonnage sur des pièces, des mesures comparatives peuvent être effectuées.

La profondeur maxi d'investigation est de 300 mm.

- Contrôle de nodularité des Fontes GS par U.S.

La nodularité est le rapport du nombre des sphéroïdes de graphite au nombre total de particules de graphite.

Par exemple : Par micrographie, on compte sur un échantillon.

24 sphéroïdes et 6 pseudo-lamelles

$$\text{nodularité} : \frac{24}{24 + 6} = 80 \%$$

La nodularité doit être $\geq 85 \%$ pour les pièces de sécurité (bras de suspension automobile, Porte-fusée, etc.).

Ce contrôle est un contrôle indirect.

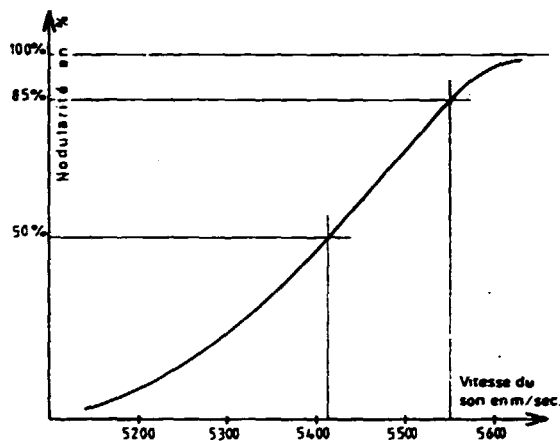
Ce n'est pas la nodularité qui est mesurée directement mais la vitesse du son dans la fonte G.S.

Cette grandeur est influencée par la forme du graphite, donc par la nodularité.

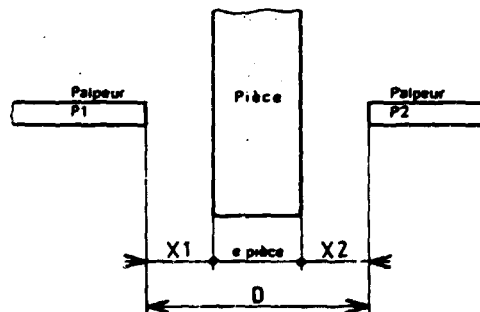
Il faut que la section examinée présente des faces parallèles.

Il existe une relation entre la nodularité et la vitesse du son (voir courbe ci-dessous).

Cette relation a été obtenue en coulant des éprouvettes à nodularité différente et en la mesurant sur chacune d'elle par micrographie et ultra-sons.



Mesure par U.S. de l'épaisseur d'une pièce.



Ce contrôle s'effectue en immersion dans l'eau.

Celle-ci sert d'agent de transmission des U.S. entre P1, P2 et la pièce (vitesse de propagation dans l'eau du son ≈ 1450 m/s, dans l'air ≈ 330 m/s).

P1 mesure $\times 1$ - P2 mesure $\times 2$

La distance D entre palpeurs est connue et
E pièce = $D - (\times 1 + \times 2)$.

LE CONTRÔLE DES PIÈCES DE FONDERIE (3/5)

(NF A 04 - 304)

3-3. Contrôle par induction et résistance

S'applique à tous les alliages et en particulier ce contrôle peut remplacer le contrôle magnétoscopique pour les alliages non magnétiques.

Le contrôle par induction consiste à placer la pièce dans l'axe d'un solénoïde, créant un champ d'induction.

La pièce est alors le siège de courants induits dont la réaction sur un enroulement secondaire permet de mesurer le flux.

Après étalonnage de l'appareil, pour une même série de pièces, on décelera les pièces produisant un flux différent de la pièce étalon.

Les défauts décelés seront superficiels, tels que des criques.

Le contrôle par résistance, moins utilisé, consiste à envoyer un courant au moyen de deux électrodes. Avec deux autres électrodes on mesure entre ces points la différence de potentiel sur un galvanomètre. Cette ddp, sera influencée par une variation de résistivité ou de section de passage du courant dû à un défaut.

3-4 Contrôle radiométrallographique.

Les pièces à contrôler sont placées dans un champ électromagnétique de rayons α ou γ selon que l'installation est fixe ou mobile.

Principe : Les rayonnements α ou γ pénètrent les métaux d'autant plus aisément que la longueur d'onde du faisceau incident est faible. Pour les temps de pose c'est l'intensité du rayonnement qui intervient.

Ainsi les rayons α ont des longueurs d'onde et des intensités plus grandes que celles des rayons γ : ils sont donc moins pénétrants que ces derniers mais permettent des expositions plus courtes.

Cependant ces rayonnements sont, en partie, absorbés par les métaux et d'autant plus que le nombre atomique du métal est grand et que son épaisseur est importante (Pour les alliages, chaque composant agit indépendamment des autres).

On peut classer ainsi les principaux métaux de base des alliages dans l'ordre de pénétration décroissante : magnésium, aluminium, fer, nickel, cuivre. Les métaux très opaques serviront de protection sous des épaisseurs assez faibles (tungstène, plomb).

Les lacunes au sein des alliages, et qui sont les défauts à déceler (soufflures - retassures-inclusions) diminuent l'épaisseur traversée par le rayonnement et diminuent localement l'opacité de la pièce : L'intensité du rayonnement ayant traversé la pièce sera variable avec le nombre et l'étendue des défauts.

Les variations d'intensité sont enregistrées sur un film photographique disposé sur la face de sortie du rayonnement ayant traversé la pièce et les défauts apparaissent en noir sur le négatif.

L'emploi d'indicateurs de qualité d'image (NF A 04 - 304) superposés à la pièce radiographiée permet de chiffrer le pouvoir global de détection des défauts.

Des radiographies de la même pièce prises sous différents angles mettent en évidence les plus grandes dimensions des défauts et permettent la localisation de ceux-ci.

Pour des pièces d'épaisseur variable, l'emploi de cales compensant les différences d'épaisseur permet de simplifier la lecture du cliché :

Applications : Il s'agit de connaître les profondeurs maxima de pénétration des rayonnements α et γ suivant les alliages et les types d'installation ou isotopes.

Potentiel en kV du champ accélérateur	Épaisseur maximum traversée en mm
150	60
300	100
600	150
1000	200
2000	250

Isotope	Durée de vie	Énergie en MeV	Épaisseur en mm traversée	
			Alliages de Fer	Alliages d'Al
Cobalt 60	5,5 ans	1,3	30 à 150	—
Thulium 170	129 jours	0,08	5 à 20	10 à 50
Indium 192	74 jours	0,6	10 à 20	30 à 120
Césium 137	30 ans	0,6	20 à 70	50 à 160
Tantale 182	111 jours	1,2	30 à 150	—
Cérium 144	290 jours	2,2	> 150	—

3-5. Contrôle magnétoscopique.

Applicable aux alliages ferromagnétiques.

Les pièces sont placées dans un champ magnétique.

Tous défauts (criques- soufflures de surface) provoquent une fuite magnétique.

La détection peut être faite :

— soit par une liqueur magnétique appliquée sur la surface à contrôler (NF A04-101),

— soit par une poudre magnétique déposée sur la surface.

Le champ magnétique est créé par un électro-aimant ou par la circulation d'un courant électrique alternatif dans la pièce.

Cette méthode est appliquée pour détecter les défauts de surface à 10 mm maxi de profondeur.

La pièce sera démagnétisée à l'issue de l'épreuve.

CONTRÔLE DES PIÈCES DE FONDERIE (4/5)

NF A04-101

Tableau synoptique des méthodes de magnétisation (NF A04-101)

1. — MAGNÉTISATION SANS CIRCULATION DE COURANT DANS LA PIÈCE

Repère	Nature de circuit magnétique	Nature du flux magnétique	Outils nécessaires	Avantages et inconvénients	Exemples d'emploi
1.1 1.11	Continu	Ouvert			
1.111			Bobines magnétisantes dont la pièce constitue le noyau, et dont les enroulements sont alimentés en courant continu de forte intensité.	Abstraction faite des extrémités des pièces, donne un champ uniforme dont l'intensité peut être aussi élevée qu'on le désire. Consommation importante d'énergie.	Recherche des défauts transversaux sur pièces longues, tubes, arbres profilés.
1.112			Électro-aimant à circuit ouvert (dit pôle mobile).	Utilisables quelles que soit les formes et même sur de grosses pièces, la consommation d'énergie restant modérée. Magnétisation non uniforme et quasi imprévisible, donc nécessitant un contrôle attentif même nonobstant l'emploi indispensable de pièces polaires de forme. La zone d'action du pôle mobile est essentiellement conditionnée par la section de son noyau qui doit être en relation avec l'épaisseur de la paroi à examiner.	Recherche locale des défauts accusés sur pièces de grand encombrement ne pouvant être placées sur les machines.
1.12		Fermé			
1.121			Spires enroulées autour de la pièce constituant par elle-même un circuit magnétique fermé.	Permet de produire un champ d'uniformité convenable et d'intensité élevée, la consommation d'énergie restant modérée. Ne convient que pour la détection des défauts ayant une orientation déterminée par rapport aux formes de la pièce.	Recherche des défauts longitudinaux sur pièces creuses : anneaux, viroles, arbres creux, tubulures...
1.122			Machine fixe à culasse rigide dont la pièce vient fermer le circuit magnétique. Pour les pièces de petites dimensions aimants permanents.	Se prête très bien au contrôle en série. Nécessite des pièces polaires de forme, dont l'emploi n'évite pas toujours l'apparition de fuites magnétiques perturbatrices.	Recherche de tous défauts sur pièces de volume compatible avec les dimensions de la machine.
1.123			Électro-aimant mobile à culasse articulée, dont la pièce vient de fermer le circuit magnétique.	Utilisable même pour les formes complexes et les encombrements importants. Nécessite des pièces polaires de forme, dont l'emploi n'évite pas toujours l'apparition de fuites magnétiques perturbatrices.	Recherche de tous défauts sur toutes pièces si complexes qu'en soient les formes : nœuds de charpente tubulaire soudés.
1.2	Alternatif		Tous les dispositifs étudiés en 1.1 peuvent être utilisés avec flux magnétique alternatif.	Les pièces s'échauffent sous l'effet des courants de Foucault, ce qui peut interdire la préparation des surfaces par peinture.	Méthode à ne considérer que comme un procédé de fortune, pour le cas où l'on ne peut disposer du flux magnétique continu.
1.3	Impulsion de courant (continu)		Tous les dispositifs étudiés en 1.1, peuvent théoriquement être utilisés avec impulsion de courant.	Nécessairement limitée aux matériaux présentant un magnétisme rémanent suffisant.	Méthode peu usitée.

II. — MAGNÉTISATION PAR CIRCULATION DE COURANT DANS LA PIÈCE

Repère	Nature de courant	Outils nécessaires	Avantages et inconvénients	Exemples d'emploi
2.1	Circulation permanente de courant continu.	Génératrice de courant continu fournissant de 500 à 5 000 ampères.	Méthode extrêmement générale, valable pour tout point de toute pièce. Le champ magnétique n'est pas uniforme dans l'épaisseur, ce qui limite la profondeur de détection. Le contact des électrodes avec la pièce doit être excellent pour éviter les risques de brûlures des surfaces par le passage du courant.	Recherche sur toutes pièces de tous défauts à l'exception des plus profonds.
2.2	Circulation permanente de courant alternatif.	Transformateur branché directement sur le réseau pour la fréquence industrielle ; génératrice spéciale pour les autres fréquences.	Comme pour 2.1 le caractère superficiel de la méthode étant accentué et la profondeur-limite de détection devenant de ce fait de l'ordre du millimètre pour la fréquence de 50 Hz. Pour les fréquences plus fortes, la méthode ne répond pratiquement plus au but assigné aux épreuves magnétoscopiques.	Recherches des défauts superficiels sur toutes pièces.
2.3	Impulsion de courant (continu)	Appareillage spécial (par exemple à décharge de condensateur).	Nécessairement limitée aux matériaux qui comme les aciers de construction présentent un magnétisme rémanent suffisant, permet d'obtenir alors un effet important sans échauffement des pièces.	Recherche des criques et tapures sur des séries de petites pièces, traitées et rectifiées.

Avec les procédés sans circulation de courant, il convient que le champ magnétique ne soit pas orienté parallèlement à la grande dimension des défauts. Avec les procédés par circulation de courant, il convient que la direction du courant ne soit pas orientée perpendiculairement à la grande dimension des défauts. Il suit de là que si l'on opère avec un seul et même procédé de magnétisation, il est généralement nécessaire de procéder à deux épreuves successives faites dans deux directions différentes. Mais on peut aussi, en principe tout au moins, opérer en une seule fois, par combinaison de deux méthodes aboutissant à la réalisation d'un champ magnétique à direction oscillante. Dans ce cas, il importe de ne pas perdre de vue que la sensibilité en profondeur n'étant pas la même pour les deux méthodes, les images magnétiques obtenues peuvent avoir des significations variables selon la direction des défauts observés.

CONTRÔLE DES PIÈCES DE FONDERIE (5/5)

4. CONCLUSION.

Le tableau ci-dessous donne les principales méthodes de contrôle non destructif à utiliser en fonction des alliages. Les défauts détectés à coup sûr sont également consignés dans ce tableau.

Les différentes méthodes utilisées ont des prix (investissement et gestion) différents, et dans un ordre croissant de prix on peut classer les méthodes ainsi :

Resuage – Induction ou Résistance – Magnétoscopie – Ultra-sons – Rayons γ – Rayons X.

Définition des défauts :

E : externe (débouchant à la surface).

I : interne (> 10 mm de la surface).

S : superficiel (< 10 mm de la surface).

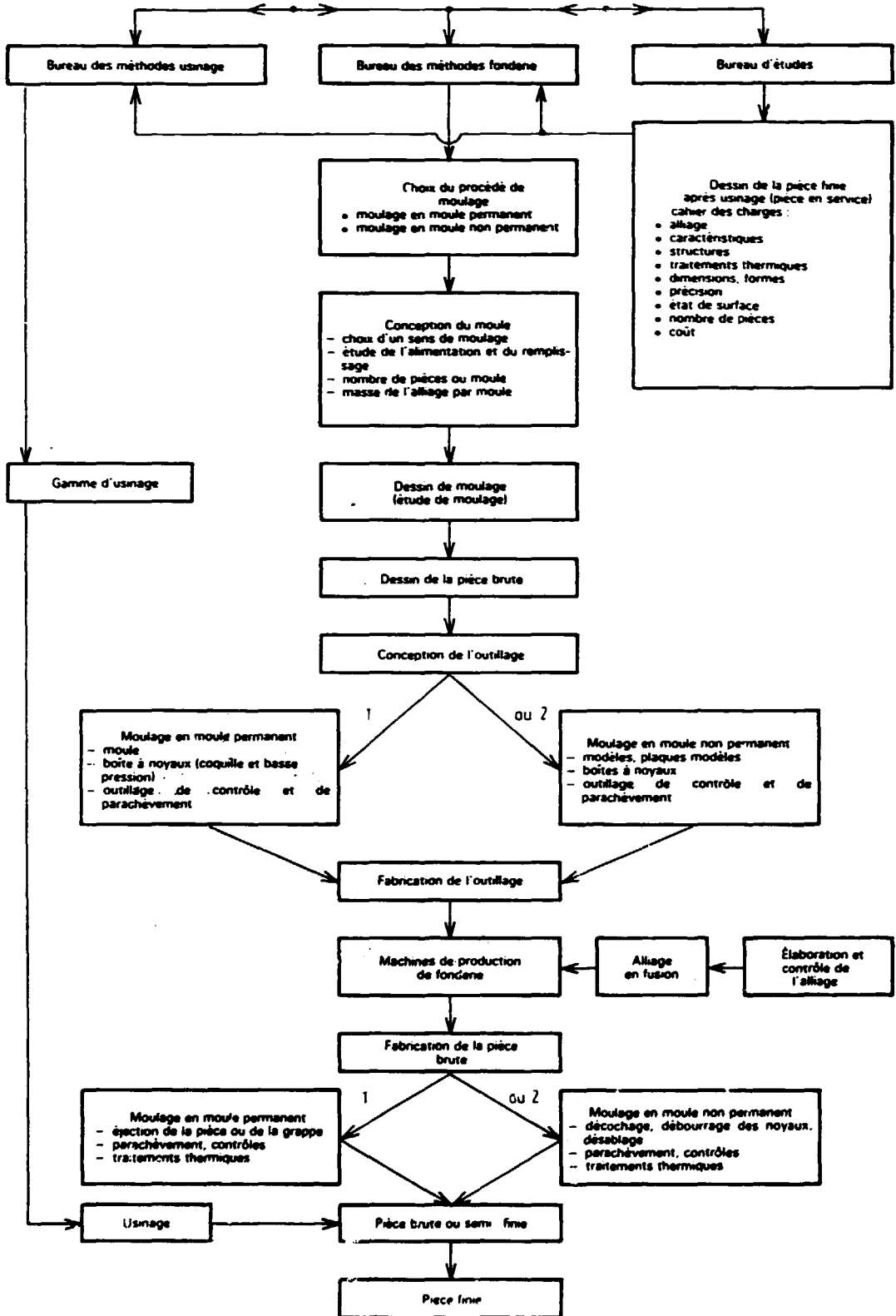
P : plan (petite dimension par rapport aux deux autres : crique).

V : en volume (retassure – soufflure)

- ALLIAGES	MÉTHODES DE CONTRÔLE					
	Resuage	Induction ou Résistance	Magnétoscopie	Ultra-sons	Rayons γ	Rayons X
Aciers magnétiques	E.P.	—	E.P. S.P. S.V.	I.P.	S.V. I.V.	S.V. I.V.
Fontes magnétiques	E.P.	—	E.P. S.P. S.V.	I.P.	Idem	Idem
Aciers non magnétiques	Idem	—	—	Idem	Idem	Idem
Fontes non magnétiques	Idem	—	—	Idem	Idem	Idem
Alliages cuivreux	Idem	E.P. S.P. S.V.	—	Idem	Idem	Idem
Alliages d'Al. et de Mg	Idem	—	—	Idem	Idem	Idem

FABRICATION DES PIÈCES DE FONDERIE (1/2)

ORGANIGRAMME (1/1)



FABRICATION DES PIÈCES DE FONDERIE (2/2)

POSSIBILITÉS TECHNIQUES (1/1)

Technique	Outillage	Procédé de moulage	Reperes	Alliages ferreux							
				Alliages d'aluminium	Alliages de cuivre	Aciers moulés	Fontes G.L. et G.S.	Fontes malléables	Alliages de magnésium	Alliages de zinc	
MOULAGE EN MOULE PERMANENT	Modèle permanent	Moulage en sable silico argileux à vert	1 2 3 4	A-B-C 2 t ± 1.5 12	A-B-C 1.5 t ± 1.7 20	A-B-C 100 kg ± 3 25	A-B-C 1 t ± 2 20	B-C 100 kg ± 1.5 20	A-B 300 kg ± 0.8 10	A 50 kg ± 0.5 10	
		Moulage en sable aggloméré à froid par des liants chimiques	1 2 3 4	A-B-C 2 t ± 1.2 12	A-B-C 50 t ± 1.5 20	A-B-C > 100 t ± 1.5 25	A-B-C > 100 t ± 1.5 20				
		Moulage en carapace	1 2 3 4	B 20 kg ± 0.6 4	B 100 kg ± 0.5 5	B-C 200 kg ± 0.7 8	B-C 400 kg ± 0.6 7		B 15 kg ± 0.6 4		
	Modèle non permanent	éliminé avant la coulée	Moulage avec modèle fragmenté ou brûlé avant la coulée ou gazéifié à la coulée	1 2 3 4	A 100 kg ± 1 9	A 5 t ± 1.2 12	A 30 t ± 2 15	A 30 t ± 1.5 12			
			éliminé avant ou à la coulée	Moulage de précision à modèle perdu	1 2 3 4	B-C 5 kg ± 0.3 1.5	B-C 50 kg ± 0.4 1.6	B-C 100 kg ± 0.5 2	B-C 100 kg ± 0.4 1.6		B 1.5 kg J 14 1.5
	MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT	Pas de modèle Outillage chauffé par l'alliage coulé		Moulage en coquille par gravité	1 2 3 4	B-C 30 kg ± 0.8 2	B 30 kg ± 1 3		B 100 kg ± 1.5 5	B 30 kg ± 1.2 5	B 10 kg ± 0.8 2	B 30 kg ± 0.6 1.5
Moulage sous basse pression			1 2 3 4	C 50 kg ± 1 2							
Moulage sous pression			1 2 3 4	C 50 kg ± 0.3 1.5	C 20 kg ± 0.4 2					C 15 kg ± 0.3 1.5	C 50 kg ± 0.2 1
Moulage centrifugation			1 2 3 4		A-B 20 t ± 0.8 4	B 200 t ± 1.5 10	B-C 50 t ± 1.2 6				
Moulage par coulée continue			1 2 3 4		B-C ° ± 0.6 10	C ° ± 0.8 15	C ° ± 0.8 12				

- Reperes 1 → type de la fabrication : A = unitaire, B = moyenne série, C = série
 2 → masse maximale de la pièce ou de la grappe de pièces, ° = tronçonné à la demande
 3 → précision dimensionnelle (mm) obtenue habituellement sur une pièce de 200 mm environ
 4 → état de surface : Ra (µm) : écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne de rugosité

1. GÉNÉRALITÉS

L'automatisation est un phénomène technique irréversible qui tend à s'appliquer dans les différents domaines de la production.

L'automatisation offre les avantages suivants :

- Accroissement de la productivité

C'est le premier motif du choix de l'automatisation. La productivité peut être augmentée en produisant plus avec des moyens identiques ou en maintenant le même niveau, avec moins de personnel.

- Amélioration des conditions de travail

En substituant la machine automatique à l'homme on peut éviter à celui-ci des travaux pénibles, inintéressants et même dangereux. C'est le cas des opérations de manipulation comme chargement ou déchargement des pièces sur les machines.

- Amélioration de la qualité.

L'homme ne répète pas inlassablement le même geste et certains paramètres de fabrication varient avec l'individu. Par contre la machine automatique maintient un rythme constant et conduit à une qualité qui reste constante.

Bien entendu, l'automatisation a des inconvénients ou plutôt, pose des problèmes spécifiques.

Il s'agit principalement d'un problème de langage entre l'automaticien et le mécanicien qui gère sa machine.

Les progrès de l'électronique et le développement de l'informatique ont permis la mise au point des machines à commande numérique. Contrairement aux machines seulement automatiques, on peut par simple changement de programme adapter cette machine à la fabrication de pièces différentes, en petite ou grande série.

La notion de flexibilité de la production est apparue.

Il est donc apparu des modules flexibles composés de plusieurs machines programmables avec robots ou manipulateurs.

L'association de plusieurs modules constituent un atelier flexible (Fonderie ou formage, usinage, traitements thermiques, assemblage, contrôle...)

2. LES MANIPULATEURS ET ROBOTS

Pour concevoir et mettre en place une production flexible, les manipulateurs et robots sont indispensables.

2-1. Les Télémanipulateurs.

Ils ont de nombreuses possibilités de mouvements et sont commandés manuellement par un opérateur. Celui-ci déplace un manche suivant des trajectoires reproduisant les mouvements réels que doit faire le bras terminal.

Un système retour d'effort peut être intégré à l'engin, permettant ainsi à l'opérateur de sentir, à une réduction près, les efforts du bras manipulateur.

Les télémanipulateurs sont utilisés pour déplacer des pièces très lourdes et travailler en atmosphère dangereuse ou polluante. Ils se présentent sous la forme de bras articulés.

Les manipulateurs à 2 ou 4 degrés de liberté peuvent effectuer des translations et rotations successives dont les courses sont préréglées.

2-2. Les robots

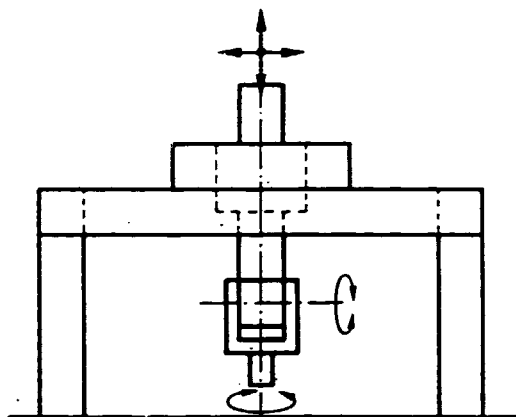
A partir des instructions programmées et grâce à un grand nombre de degrés de liberté (6 à 8) ces engins effectuent des opérations complexes suivant des trajectoires quelconques.

Ainsi un robot industriel comprend :

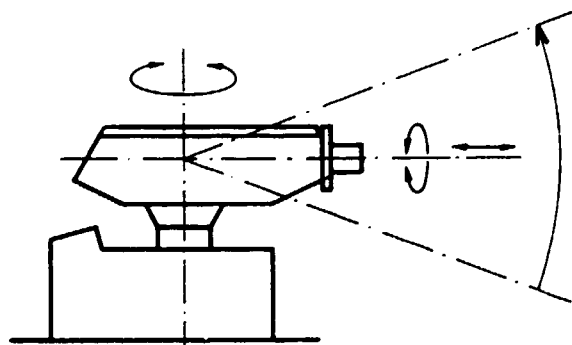
- des organes sensoriels qui captent et analysent le comportement des bras et des outils, l'exécution des opérations...

- un micro-ordinateur qui élabore des ordres après analyse des informations données par les capteurs et selon des instructions données par le programmeur.

On peut dire qu'un « robot est une machine automatique universelle programmable ». La réciproque est fautive, pour bien différencier manipulateur et robot.



Robot type Partridge



Robot type "UNIMATE" (General Motors)

AUTOMATISATION ET ROBOTISATION EN FONDERIE (2/7)

3. DOMAINES D'UTILISATION EN FONDERIE

Les deux grands domaines de la fonderie sont le :

- moulage en moule non permanent
- moulage en moule permanent

Les techniques mises en œuvre font déjà appel à l'automatisation dans de nombreux postes de travail. La robotisation n'est encore qu'à ses débuts mais devrait « gérer » de nombreuses opérations dans les prochaines années.

3-1. Moulage en moule non permanent.

C'est essentiellement le sable silico-argileux humide, ou aggloméré par liants chimiques durcissables à chaud ou à froid qui est utilisé comme matériau de moulage.

Structure d'une fonderie sable.

① Préparation du sable de moulage.

Ce poste très important est déjà très automatisé. La main d'œuvre est peu nombreuse.

② Préparation du sable à noyaux.

Très automatisé. Pas de robot.

③ Fusion :

Entièrement automatisée.

④ Fabrication des noyaux.

Actuellement les noyaux pris en boîte chaude sont fabriqués sur des machines entièrement automatisées. Les noyaux sont déposés par la machine sur des convoyeurs.

⑤ Fabrication des moules.

L'alimentation en sable des machines à mouler, le remplissage des châssis, le serrage du sable, le transfert avec ou sans retournement du châssis ; toutes ses phases s'enchaînent automatiquement.

⑥ Mise en place des noyaux dans le faux moule.

La prise de noyaux en sable par une pince mécanique pose des problèmes à cause de la fragilité même des noyaux.

Un capteur d'effort est nécessaire.

Des réalisations en laboratoire ont donné satisfaction mais il semble qu'aujourd'hui il y ait peu d'applications industrielles sur les chaînes de moulage.

Le poids important de noyaux et du faux moule (80 kg et plus) dans le cas de fabrication de grosses pièces (carter moteur par exemple) est un handicap pour un robot (v. paragraphe 3-2).

⑦ Pose des noyaux dans le moule

Si on n'utilise pas de faux moule permettant la pré-positionnement des noyaux on place ceux-ci directement dans le

semi-moule inférieur. Cette opération est manuelle sur les chaînes de moulage (v. p. 163).

⑧ Coulée des pièces.

Le remplissage par gravité d'un moule a toujours demandé une longue mise au point des paramètres réglant cette opération.

Il faut :

- Couler lentement et déverser dans le moule un alliage qui soit toujours à la même température.

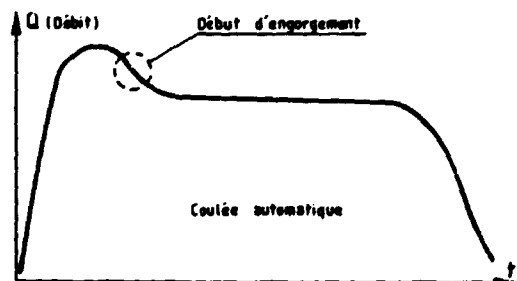
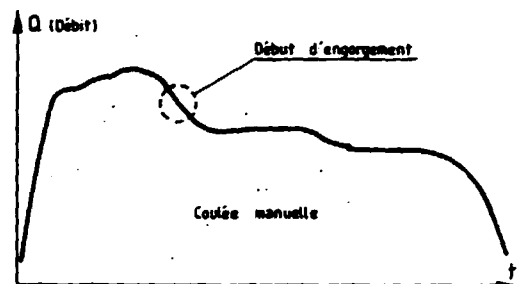
- Eviter tout mouvement inutile de l'alliage que ce soit dans le four de maintien, dans la louche de coulée et dans le moule.

- Déverser un alliage débarrassé des crasses et oxydes qui ont pu se former.

La mise en œuvre correcte de l'opération proprement dite implique d'établir très rapidement et de maintenir constant, un niveau d'alliage liquide dans l'entonnoir de coulée. C'est l'engorgement. Ceci permet le minimum d'entraînement d'air dans le moule et réduit l'érosion du jet de coulée. D'autre part, la vitesse d'entrée de l'alliage dans le moule est constante.

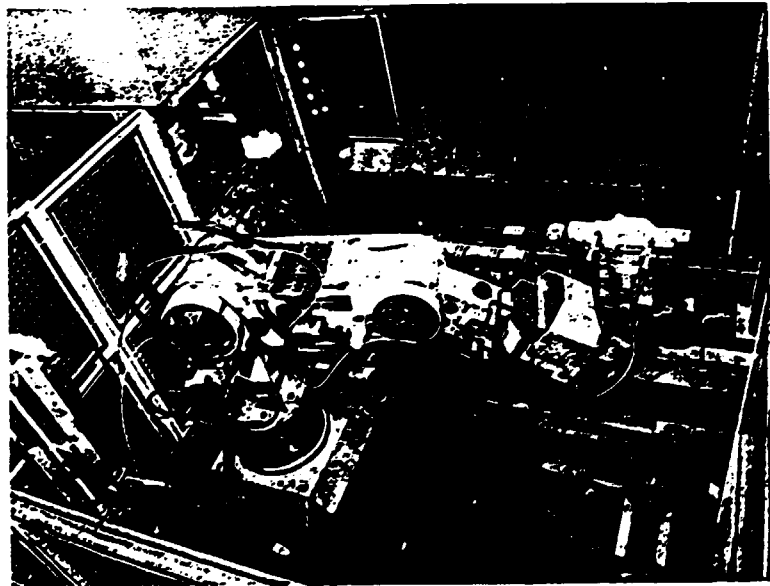
Manuellement, la courbe débit en fonction du temps montre que le manipulateur oscille autour de la position d'équilibre par variations sur la rotation et la hauteur de la louche.

Mécaniquement, la louche n'est généralement asservie qu'en rotation et la courbe manuelle lissée (suppression des mouvements oscillatoires) donne la loi de coulée automatique.





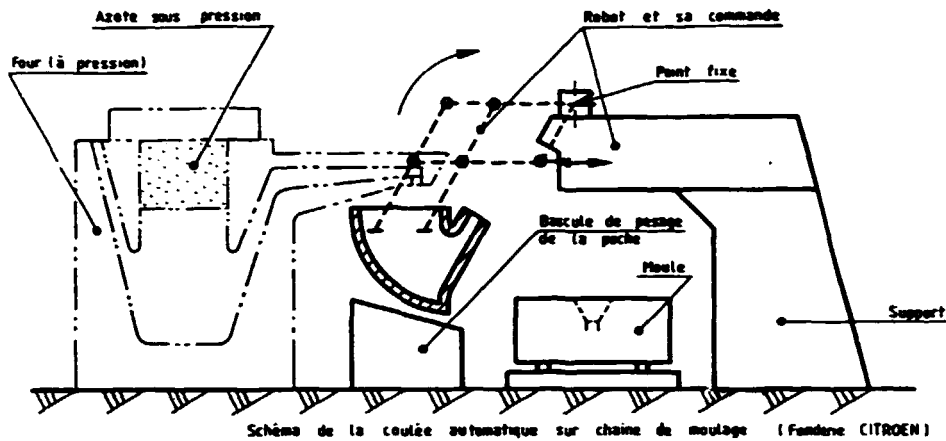
Cliché RENAULT



Cliché RENAULT

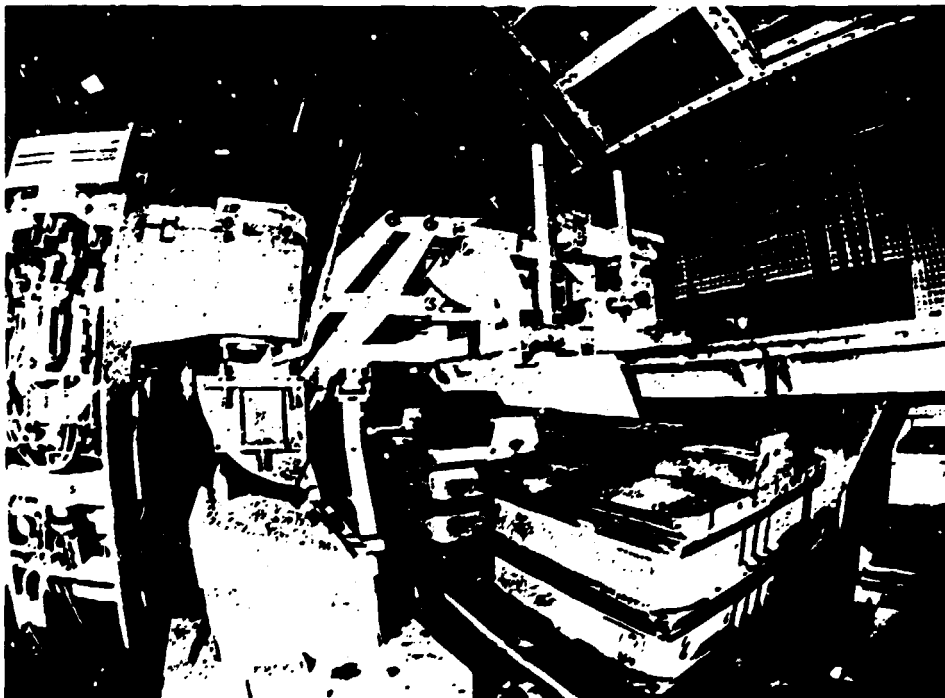
Des robots de manutention sont utilisés pour la mise en place sur convoyeur d'un noyau ou d'un groupe de noyaux assemblés et destinés à une chaîne de moulage.

AUTOMATISATION ET ROBOTISATION EN FONDERIE (4/7)



- Cette installation comprend :
- un four à pression qui contient la fonte en fusion.
 - une bascule électronique de pesage pour contrôler le dosage.
 - un robot de coulée équipé d'une poche.
 - Automate programmable et mini-ordinateur qui assurent la commande des installations et le traitement des informations recueillies lors des différentes phases.
- La cadence de fabrication est de l'ordre de 300 moules/heure.
Pour assurer une telle cadence, deux installations sont nécessaires. Ces robots sont capables grâce à un système d'adressage et de codage, de retrouver les moules qu'ils ont à remplir, de refuser la coulée en cas d'anomalies enregistrées et interprétées.

Ci-dessous : cliché CITROËN de l'installation ci-dessus.



⑨ Découpage des pièces.

Cette opération ne peut plus être manuelle car elle est trop pénible pour l'homme.

La manipulation du moule se fait par bras mécanique télécommandé à partir d'une cabine protégée de la poussière et du bruit.

Ainsi : L'ouverture du moule

L'attraction de la grappe

Le déboutrage du sable

sont des opérations entièrement mécanisées et automatisées en ce qui concerne le tri et la récupération des chassis de moulage ainsi que la récupération du sable découlé :

En ce qui concerne le tri des pièces, deux cas se présentent :

Si les pièces sont de petites dimensions, il est possible de les sélectionner avec des détrompeurs ou des tamis.

Si les pièces sont de grandes dimensions, la robotisation est possible à condition de doter le robot d'un système de reconnaissance de forme, difficile à mettre en œuvre dans les conditions de travail de ce poste.

L'emploi de télémanipulateurs à retour d'effort est de plus en plus fréquent.

⑩ Parachèvement.

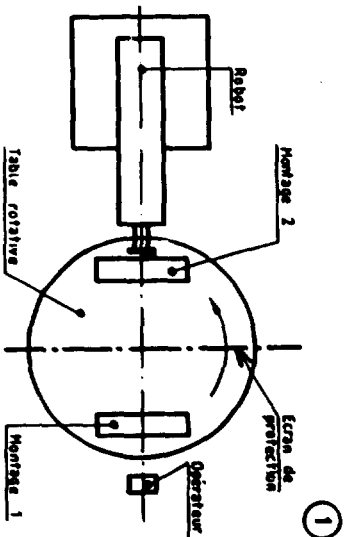
Des postes robotisés pour éliminer les masselottes existent :

Sur une table rotative ridée, deux montages identiques sont fixés, diamétralement opposés. Deux montages différents sont, également utilisés pour traiter des pièces différentes.

Un opérateur commande l'entraînement et la verrouillage de la table face au robot (V. fig. 1).

Le robot, muni de l'outil de découpe, travaille pendant que l'opérateur surveille le travail en cours et la pièce qui vient d'être traitée.

La flexibilité d'installation de ce genre est grande grâce, pour un changement de production, l'introduction d'un nouveau programme demande environ 10 minutes.



La découpe des jets de coulée se fait suivant des dispositions sensibiles, par sciage à la meule disque montée sur un robot.

La protection de l'opérateur, du bruit et des projections de métal est également prévue. Le robot lui-même doit être efficacement protégé par des plaques métalliques.

La qualité de la découpe est nettement plus grande qu'en opération manuelle.

L'utilisation de robots dotés d'un système de reconnaissance de formes et en nette augmentation pour l'ébavurage des pièces de fonderie. Ces robots doivent pouvoir supporter de fortes charges (60 kg à 80 kg) en opération de préhension.

3-2. Moulage en moule permanent.

Les trois grands procédés (coquille-basse pression et sous-pression) utilisent des moules métalliques qui ont exigé, même à la création du procédé : une maintenance presque totale. L'automatisation des moules et machines spécifiques a été ensuite réalisée dans les fonderies de fabrication en très grande série (pièces pour l'aéronautique en particulier).

Enfin la robotisation de plusieurs postes est en cours de développement.

3-2-1. Coulée en coquille par gravité.

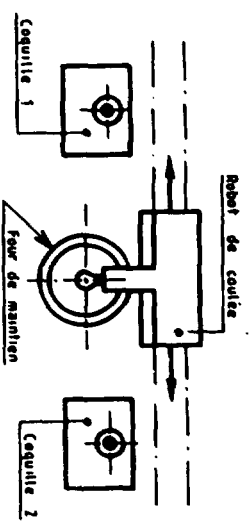
On sait qu'il existe deux dispositions de chantier de moulage : Série de coquilles indépendantes ou coquilles montées sur plateau tournant.

L'automatisation de ces moules a commencé par la mise au point d'une conduite automatique ou semi-automatique du cycle de moulage (impulsion manuelle pour mise en route de chaque cycle et opération de coulée manuelle).

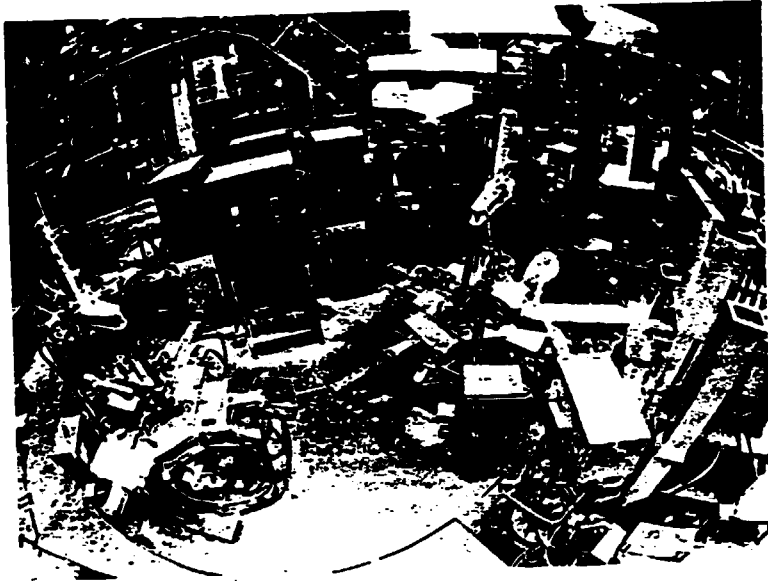
Actuellement l'opération de coulée des pièces est prise en charge par un robot et le croquis ci-dessous montre une disposition particulière pour deux coquilles alimentées par un seul four de maintien et un seul robot effectuant le passage de l'alliage d'aluminium dans le four et ensuite des transitions alternées pour remplir les moules.

Dans la disposition plateau-tournant, le robot de coulée a un mouvement de rotation du four au moule.

Des robots de maintenance sont également utilisés pour mettre en place les noyaux et extraire les pièces coulées hors du moule ouvert.



AUTOMATISATION ET ROBOTISATION EN FONDERIE (6/7)



Cliché « CITROËN »

On voit le plateau tournant qui porte cinq moules identiques.

En bas et à droite du cliché on voit le robot de coulée assurant le remplissage des coquilles.



Cliché « CITROËN »

Robot de manutention des noyaux de culasse et des pièces coulées.

Sur ce cliché le robot extrait la pièce du moule ouvert et va la déposer sur un convoyeur.

AUTOMATISATION ET ROBOTISATION EN FONDERIE (7/7)

3-2-2. Coulée sous basse-pression.

Dans les deux dispositions de machine possibles (injection oblique ou injection verticale) et s'il existe un ou plusieurs noyaux en sable on utilise des bras manipulateurs pour leur mise en place dans le moule.

La prise et la mise en place sur convoyeur des pièces moulées se fait également par bras automatique.

D'autre part le cycle de moulage est automatisé dans son déroulement.

3-2-3. Coulée sous-pression.

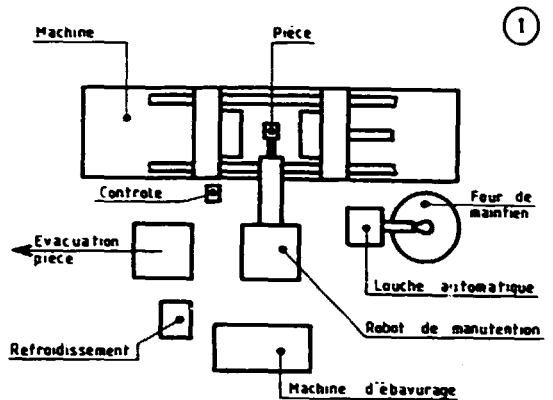
Dans la plupart des cas le cycle de moulage est entièrement automatique mais avec l'impulsion manuelle initiale.

Il existe des postes de travail entièrement automatiques avec utilisation de robots.

Dans ce cas :

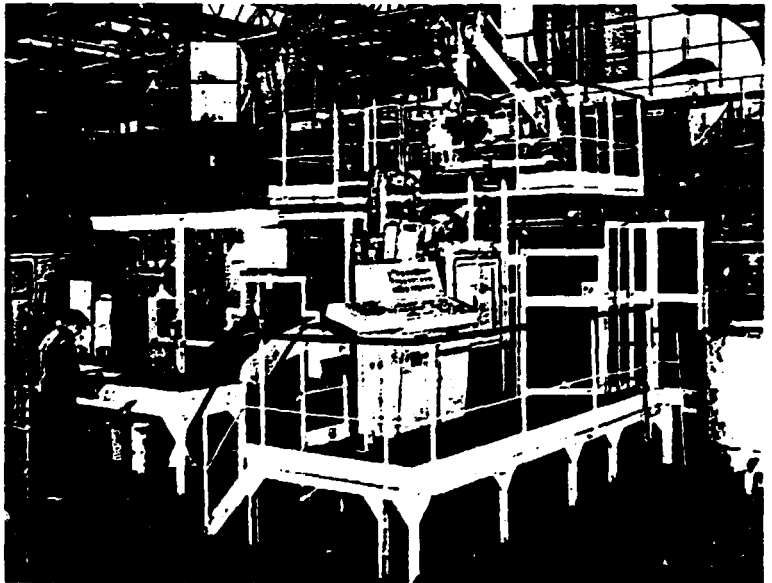
- l'alimentation en métal de la machine,
- la lubrification de l'empreinte,
- l'extraction de la pièce,
- la présentation à la machine d'ébavurage et l'évacuation des pièces se font automatiquement.

Le schéma 1 montre une organisation de poste de travail.



L'enchaînement des opérations est le suivant :

- 1) Prise de pièce, lubrification empreinte,
- 2) Contrôle prise pièce-démarrage du cycle de moulage suivant,
- 3) Refroidissement pièce,
- 4) Mise en place pièce sur machine d'ébavurage,
- 5) Evacuation de la pièce dans container ou convoyeur, ou palettisation.



Cliché RENAULT :
Machine à couler sous pression servie
par un robot alimentant une machine
d'ébavrage.

INDEX

Page	Français	Anglais	Allemand
A			
160	Abruyevage	Metal penetration	Einbringen des Eisens, Verzerzen
6-9-109	Acier moulé	Cast steel	Stahlguß
69-73	Alimentation	Running	Speisen, Nachspeisen
3	Aléage	Alloy	Legierung
14-127	Aluminium (allégés)	Aluminium (alloys)	Aluminium (Legierungen)
71-80	Attaque de coulée	Gate	Anschritt
B			
72	Bassin de coulée	Pouring basin	Gußfließpaß
46	Boîte chaude	Hot box	Hot Box
39-42	Boîte à noyau	Core box	Kernkasten
99	Boîte à vent	Wind box	Verblekasten
89	Bloc fixe	Fixed die	Formplatte
89	Bloc mobile	Movable die	Bewegliche Formplatte
81-83-89	Broche	Pin	Führungseinstift
88	Buse	Chunnel	Büchse
C			
83-94	Caboché	Heat pipe	Wärmekanal
72	Canal dégrainé	Tapering runner	Abgeesteter Lauf
111	Carbone équivalent	Carbon equivalent	Kohlenstoffäquivalent
36-89	Caracée	Skeleton pattern	Skelettmuster
90	Cerotte	Sprue	Engfußspaten
84	Cernoual	Permanent moulding conveyor	Kühlerstreifenbahn
48-97	Centrifugation	Centrifugal casting	Schmelzgießerei
89	Chambre chaude	Hot chamber	Wärmekammer
88	Chambre froide	Cold chamber	Kaltkammer
113	Chemises de rupture	Breaking chamber	Stoßkammern
77	Chape	Intermediate part	Formmittelteil
36-59	Châssis inférieur	Drag box	Oberkasten
53	Châssis supérieur	Cope box	Modell (Leichtmetallverfahren)
22	Cire perdue (moulage à la)	Lost wax (moulding)	Modell (Legierungen)
86-88	Cobalt (alléges de)	Cobalt (alloys)	Kobalt (Legierungen)
88	Conteneur	Gooenack	Grüßhals
36	Conteneur	Container	Druckbehälter
76	Couaille	Undercut	Unterwuchtung
84	Coulée	Die permanent mold	Kühler
4-128	Coulée	Permanent moulding set	Kühleranrichtung
71-80	Coulée en chute	Castability	Verießbarkeit
80	Coulée lente	Top pouring	Fallender Guß mit einem Metallstrahl
71	Coulée en presse	Side pouring	Sartlicher Guß
128	Coulée en pousse	Casting in vertical clamped moulds	Gußen in der Presse
5-160	Craquelité	Bottom casting	Stängendes Gußen
15	Cuivre	Craquelité	Riß
	Cuivre (alléges de)	Teer	Kupfer
		Copper (alloys)	Kupfer (Legierungen)

Page	Français	Anglais	Allemand
D			
34-59 91 36-68 71-80	Décochage Dégorgoir Dépouille Descente de coulée	Knock out Flow off Taper Sprue	Ausleeren Überlauf an einer Form Schräge Engpaßkanal
E			
92 73 34-73 67 94 22	Ejecteur tubulaire Ejection Empreinte Enduit Equilibre thermique Etain (alliage d')	Sleeve ejector Ejection Mould cavity Coating Thermal equilibrium Tin (alloys)	Auswerferhölse Auswerfen Formhohlraum Schlichte Temperaturgleichgewicht Zinn (Legierungen)
F			
98 17-111 17-18-115 16 16 18-112 52-55	Filâtre Fonte allée Fonte blanche Fontes à graphite lamellaire Fontes à graphite sphéroïdal Fontes malléables Frittage	Die Alloy cast iron White cast iron Lamellar graphite cast iron Spheroidal graphite Malleable cast iron Fritting	Dies Legiertes Gußeisen Weißes Gußeisen Gußeisen mit lamellarem Graphit Gußeisen mit Kugelgraphit Temperguß Fritzen
G			
160 87 80 66 118 120 99	Gale Ganouillère Goupille d'air Granulométrie Graphite Graphitisation Gueulard	Scab Knickle Air channel Grading Graphite Graphitisation Charging door	Sandehülse Knickabel Luftkanal Korngrößenverteilung Graphit Graphitisierung Beschickungsöffnung
I			
96 49	Injection oblique Insert	Side injection Cast in insert	Seitlicher Schußvorgang Eingießteil
J			
68 72 26-31	Jeu de coffrage Jet de remonte Joint de moulage	Clearance Run off riser Parting line	Kammerkanal Verlängerter Steigkanal Formteilung
L			
16-160	Laiton	Brass	Messing
M			
21-146 15 121 68-81 1 38 129-130 70 50 48-87 62 37 47 63 37-63 44	Magnesium (alliage) Mallechort Malléabilisation Masselette Mise au mille Modèle Modification Module de refroidissement Moulage en caracoe Moulage par centrifugation Moulage en céramique Moulage en grappe Moulage magnétique Moulage à modèle perdu Moulage en motte Moulage en plâtre	Magnesium (alloys) Nickel silver Malleabilizing Dead head Parts per thousand Pattern Modification Method of cooling Shell moulding Centrifugal casting Ceramic moulding Stack moulding Magnetic moulding Lost pattern moulding Moulding in a snap flask Plaster moulding	Magnesium (Legierungen) Neusilber Tempem Steiger Protausend Modell Veredelung Kühlungsmodul Maskenformverfahren Schleuderformguß Keramisches Formverfahren Stackguß Magnesiumformverfahren Ausgeschmelzmodellformverfahren Kastertes Formverfahren Gips-Formverfahren

Page	Français	Anglais	Allemand
41	Moulage en sable au ciment	Cement moulding	Zementsandformverfahren
41	Moulage en sable autodurcissant	Selfhardening sand moulding	Formen in selbsthärtendem Sand
40	Moulage en sable étuvé	Dry sand moulding	Trockengußformverfahren mit Formtrocknung
44	Moulage en sable liquide	Fluid sand moulding	Formen in Fließsand
42	Moulage en sable au silicate	Carbon dioxide moulding	Kohlensäure-Erstarrungsverfahren
113	Moulage en série	Mass moulding	Serienformen
34	Moulage au trousseau	Strickle moulding	Schablonenformerei
47	Moulage sous vide	Vacuum moulding	Vakuum-Formverfahren
113	Moulage unitaire	Unit moulding	Einheitsformen
N			
22	Nickel (alliages)	Nickel (alloys)	Nickel (Legierungen)
121	Normalisation (traitement thermique)	Normalizing (heat treatment)	Normalisiergütung (Wärmebehandlung)
38-77	Noyau	Core	Kern
72-113	Noyau filtre	Strainer core	Siebker
O			
66	Olivine	Olivine	Olivin
P			
34	Parachevement	Finishing	Endfertigung
89	Pastille	Excess metal	Metallkuchen
88	Plaque d'éjection	Ejection plate	Anwerferplatte
37-61	Plaque modèle	Pattern plate	Modellplatte
22	Piomb (alliages)	Lead (alloys)	Blei (Legierungen)
106	Poche	Ladle	Pfanne
38-68	Portée de noyau	Core print	Kernmarke
75	Potayage	Refractory wash	Kokillenschichte
Q			
106	Quenouille	Stopper rod	Stopfenstange
R			
120-123	Recuit	Annealing	Glühen
69	Refroidisseur	Densener	Kühlkühle
38	Remoulage	Mould assembly	Gießfertigmachen der Form
71-73	Remplissage	Filling	Füllung
160	Reprise	Cold laps	Kaltschweiße
43	Résines furaniques	Furanic resins	Furanische Harze
160	Ressuage	Dye penetration	Eindringverfahren
5	Rotassure	Shrinkage	Lunker
121	Revenu	Temper	Anlassen
167	Robot	Robot	Roboter
S			
40	Sable argileux	Clayey sand	Tonhaltiger Sand
40	Sable à vert	Green sand	Grünsand
77	Semelle	Bottom part	Formunterteil
40	Serrage sous haute pression	Ramming under high pressure	Verdichten unter hohen Druck
4	Solidification orientée	Directional solidification	Gerichtete Erstarrung
5-160	Soufflure	Blowhole	Blessen
31	Surfaisseur d'usinage	Machining allowance	Bearbeitungszugabe
31-37	Surface de joint	Mould joint	Teilungsfläche
34-69	Système d'alimentation	Gating system	Gießsystem
34-71	Système d'attaque	Running system	Anschnittsystem
50	<i>Shell moulding</i>		
T			
69	Talon de réchauffage	Heating device	Heizmesser
68-77	Talus	Transition angle	Schräge Verbindung
70	Temps de solidification	Hardening time	Härtezeit
22	Titane (alliages)	Titanium (alloys)	Titan (Legierungen)
24	Tracé des pièces	Tracing (of workpieces)	Zeichnung (von Werkstücken)

1	Traitements thermiques	Heat treatments	Wärmebehandlungen
120	Transformations continues	Continuous transformations	Kontinuierliche Umwandlungen
120	Transformations isothermes	Isothermal transformations	Isothermische Umwandlungen
86	Trempe	Quenching	Härten
120	Trempe bainique	Austempering	Zwischenstufenumwandeln
120	Trempe différée martensitique	Interrupted martempering	Gebrochene Martensithärtung
34	Troussage	Strickling	Schablonieren
96	Tube plongeur	Plunger tip	Druckkolben

V

47	Vide (moulage)	Vacuum (moulding)	Vakuum (Formverfahren)
----	----------------	-------------------	------------------------

Z

21-155	Zamak	Zamak	Zamak
66	Zircon	Zircon	Zirkonoxid

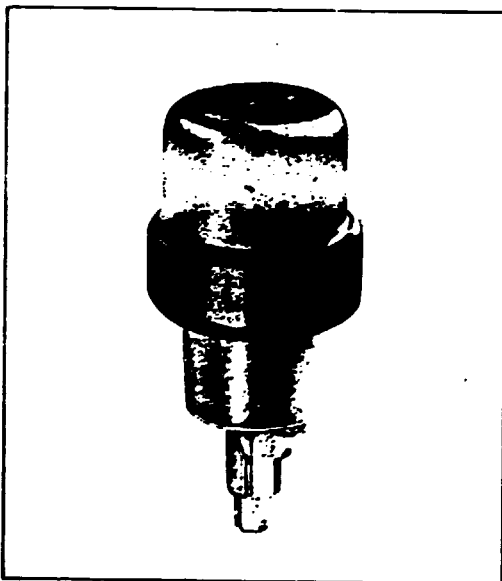
ANNEXE 4

M E S U R E U R S

Get accurate molten-metal temperature measurements in furnaces and ladles with

TEMTIP MARK IV

EXPENDABLE THERMOCOUPLES



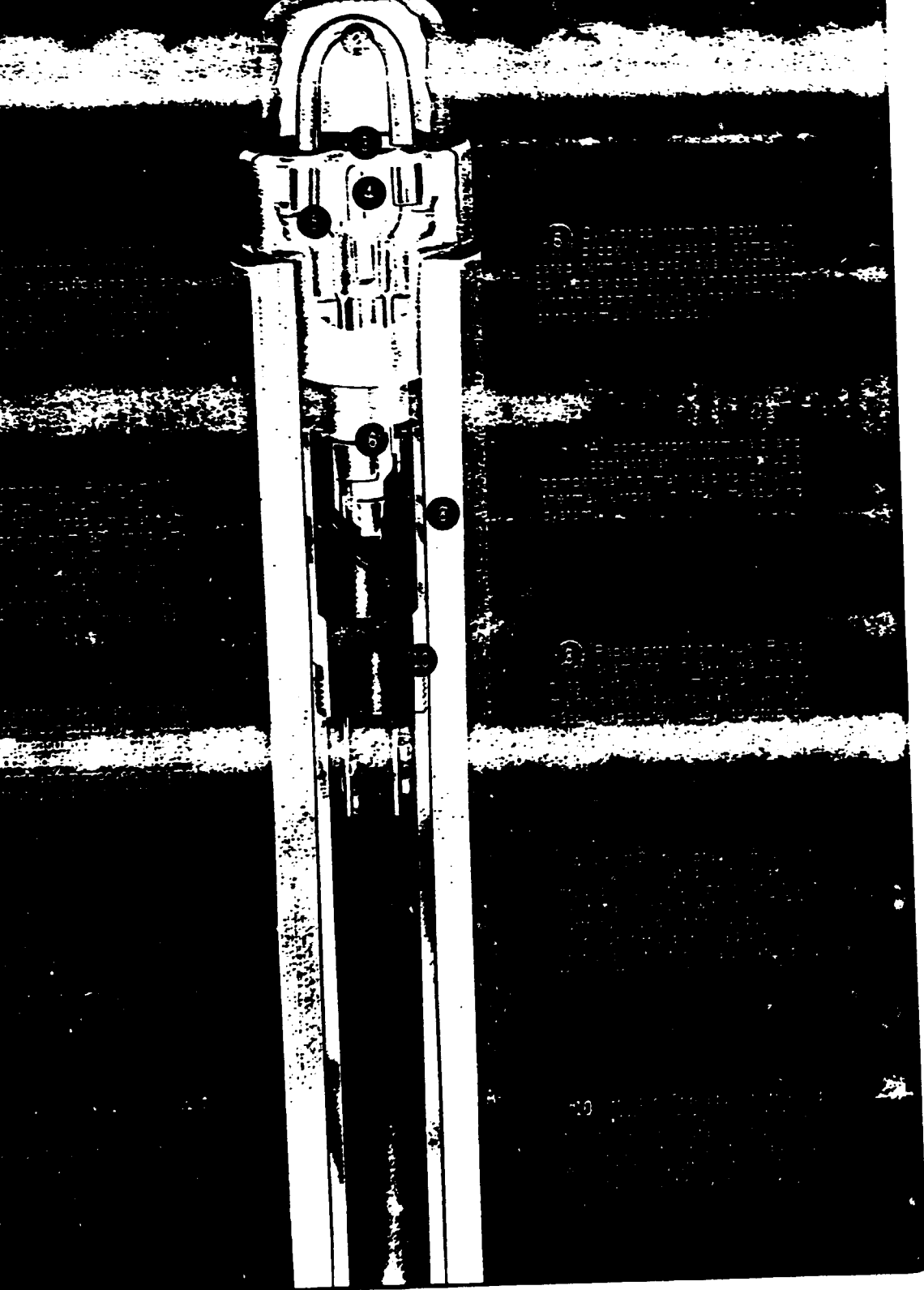
Featuring a highly accurate, precision-made cartridge, a $\frac{1}{8}$ " or $\frac{3}{16}$ " I.P.S.- diameter lightweight immersion pole, and a rugged crush-resistant handle, Temtip Mark IV Expendable Thermocouple Equipment gives you the greatest value obtainable in molten-metal temperature measurement today. Developed by Leeds & Northrup Company, makers of the *original* expendable thermocouple, Temtip Mark IV provides less buoyancy, splash and weight yet retains the accuracy and precision of the proven Mark III.

UNMATCHED ACCURACY — Each Temtip Mark IV thermocouple is precision-made . . . properly annealed . . . uncontaminated by handling. Thermo-electrically compensated contacts avoid measuring-error. Ultra-rigid quality control assures electrical and mechanical uniformity. Over its range of use, Temtip thermocouple wire equals or exceeds I.S.A. "Special" accuracy for platinum thermocouples . . . *double-checked* by L&N against standards certified by N.B.S.

UNMATCHED DEPENDABILITY — Each Temtip cartridge has hot and cold junctions precision-centered (independent of cement support) for unmatched reproducibility. Contacts on plug provide sufficient force to wipe away any dirt or film on receptacle contacts, producing circuit continuity that assures completed readings.

UNMATCHED CONVENIENCE—Small-diameter holder, tube and cartridge mean low weight, less buoyancy, less boiling and splashing. These benefits, plus ease of stripping-off the used Temtip cartridge from the holder, make bath temperature measurements with Temtip easy and fast.

UNMATCHED ECONOMY — Lowest cost per reading made possible through these significant benefits: (1) *low-cost cartridge*—through improved design and production techniques; (2) *maintenance cost virtually eliminated*—with thick cardboard protection tube and improved holder leadwires; (3) *readings per heat minimized*—through use of positive connections, high accuracy; (4) *freight costs reduced*—through reduced weight.



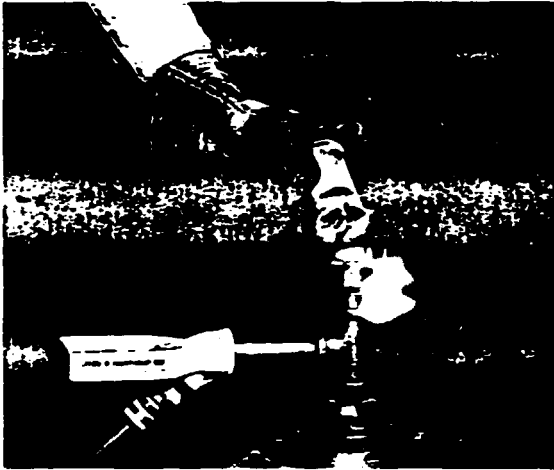
Tectip Expendable Cartridges

for determining carbon and carbon equivalent in iron and carbon in steel

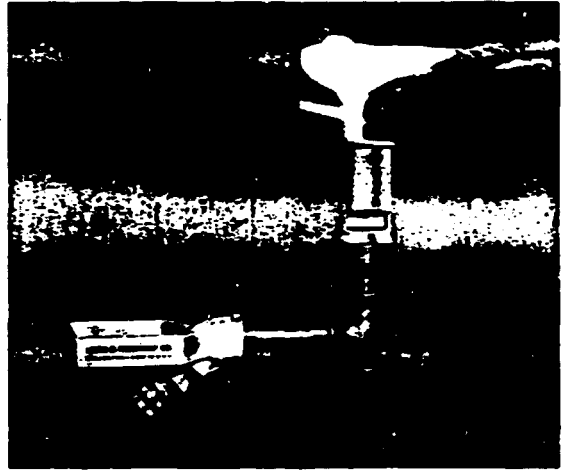
Tectip cartridges provide the melter with low-cost, fast-reading, instant metal analysis right at the furnace. Tectip S for carbon analysis at 600°C (1100°F) in induction and electric arc furnaces. Tectip K for carbon content and carbon equivalent of ductile, gray or malleable iron as well as for thermal analysis of non-ferrous alloys.

The complete Tectip system consists of a Speedomax recorder, a pen, an expendable cartridge, a holder, and a tap furnace. The cartridge to Speedomax recorder. LAF's one-source responsibility for your entire measuring system assures best performance at lowest cost.

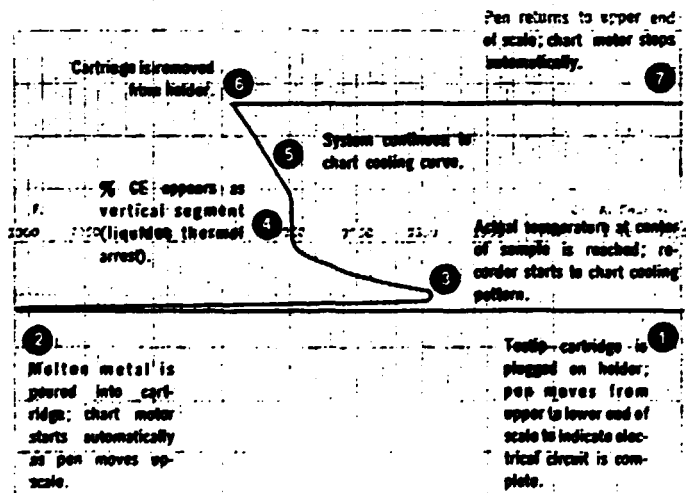
Operation is extremely simple:



1. Plug the Tectip cartridge on the holder; proper electrical connections are assured automatically.



2. Pour a molten metal sample into the Tectip cartridge. The sturdily-constructed, one-piece cartridge will not leak or rupture even at high bath temperatures.



3. Read direct-reading chart. The Speedomax recorder charts the liquidus-arrest temperature as a straight vertical segment and carbon or carbon equivalent can be read directly from the scale for Tectip S or Tectip K respectively



4. Discard expended Tectip cartridge. Tap furnace with the desired metallurgical composition assured.

Tectip K

for Carbon Content, Carbon Equivalent and Silicon in Iron and for Non-Ferrous Applications

- Instant carbon content, carbon equivalent and silicon at the furnace.
- Simple plug-pour-read-discard operation.
- Reliability equals or exceeds laboratory analysis.

CARBON EQUIVALENT Foundries everywhere rely on carbon equivalent measurements using Tectip K cartridges to maintain closer control of casting hardness, machinability, tensile strength, fluidity and ductile-iron inoculants. These CE measurements are used to adjust cupola charge, blast temperature or wind rate and to control CE variations in the furnace.

In the production of ductile iron, Tectip cartridges are used on a continuing basis to control the base iron coming from the cupola or electric furnace and on an individual basis to determine the exact addition of ferrosilicon post-inoculant needed in each ladle batch.

For carbon-equivalent analysis of hypereutectic irons, the Tectip K Type H cartridge which produces liquidus arrests above 4.35% carbon equivalent is used. Tectip K works on irons below the eutectic and can measure CE values on normal silicon irons.

CARBON CONTENT Using the Tectip K Type H cartridge and a Digilab Indicator or a Maxilab II electronic foundry laboratory, carbon content measurements can be made right out on the foundry floor. A furnace operator can quickly obtain an accurate calculation of the total carbon content of gray or malleable iron on the foundry floor without waiting for a lab report. In just two minutes the melter can learn the exact percentage of carbon in the iron—while the metal is still hot and there's time for a correction if one is required.

SILICON The Tectip K Type H, used with a Digilab Indicator or a Maxilab II, will provide a digital display of the percentage of silicon contained in molten iron at the same time carbon and carbon equivalent percentages are being displayed digitally.

NON-FERROUS APPLICATIONS In non-ferrous smelters and metallurgical research, Tectip K is an inexpensive, highly-accurate thermal-analysis tool useful for studying phase-change characteristics in a variety of alloys (lead-tin, copper-nickel, copper-zinc, copper-tin, copper-phosphorus, etc.) Composition control of many non-ferrous alloys is possible by relating the cooling-curve data to composition content.

SPECIFICATIONS AND HOW TO ORDER

TECTIP K EXPENDABLE CARTRIDGES Tectip K cartridges are available in two versions: the Mark III and the Mark IV. The Mark III is 2 $\frac{1}{4}$ " high, has a diameter of 1 $\frac{1}{2}$ " and a sample capacity of 2.3 cubic inches. The Mark IV is also 2 $\frac{1}{4}$ " high but has a diameter of 1 $\frac{3}{8}$ " and a capacity of 3.5 cubic inches. Both the Mark III and the Mark IV Tectips are available as standard or Type H (tellurium coated) cartridges.

The Tectip K Mark III is recommended for most applications. The Tectip K Mark IV is designed for those



applications where the molten iron has a relatively low superheat.

The standard Tectip K is used with *hypoeutectic* irons when only the carbon equivalent is desired.

The Tectip K Type H is used with *hypereutectic* irons when only the carbon equivalent is desired, or on all irons where the percent of carbon is to be measured as well as the carbon equivalent.

Order Tectip K cartridges by part number listed

Tectip K Mark III

- 121422 (box of 300 cartridges)
- 121599 (pallet of 1500 cartridges)
- 321154 (pallet of 4500 cartridges)
- 321471 (pallet of 6000 cartridges)

Tectip K Mark III Type H

- 121579 (box of 300 cartridges)
- 121682 (pallet of 1500 cartridges)
- 321199 (pallet of 4500 cartridges)
- 321661 (pallet of 6000 cartridges)

Tectip K Mark IV

- 024128 (box of 300 cartridges)
- 024129 (pallet of 1500 cartridges)
- 024130 (pallet of 4500 cartridges)
- 024132 (pallet of 6000 cartridges)

Tectip K Mark IV Type H

- 024133 (box of 300 cartridges)
- 024134 (pallet of 1500 cartridges)
- 024135 (pallet of 4500 cartridges)
- 024137 (pallet of 6000 cartridges)

TECTIP K HOLDER ASSEMBLY Fully assembled, ready for Tectip measurements; includes a male plug to accept Tectip K Mark III or Mark IV standard and Type H cartridges and provisions for adding the thermocouple extension cable (Catalog Number 8725-E).

EXTENSION CABLE For severe foundry use, Buna-S-covered 16-gauge Chromel and Alumel wires in duplex cable. Listed cable is 10 ft. long; (Part Number E00C02). Other lengths available;

ANNEXE 5

INTERVIEW SUR LES BESOINS

EN PIECES MOULEES DE FONDERIE

A N N E X E 3

LISTE DES SOCIETES INTERVIEWEES

Raison Sociale	Activité
1 NOUVELLE CIMENTERIE D'AMBOANIO	Production ciment
2 CIMA	Cimenterie
3 SIRAMA NAMAKIA	Sucrerie distillerie
4 SIRAMA AMBILOBE	Production sucre
5 SIRAMA BRICKAVILLE	Production sucre
6 SIRANALA	Sucrerie
7 SIRAMA NOSY BE	Production sucre
8 SOMADEX	Extraction minéraux
9 ETS GALLOIS	Graphite sisal
10 SOABE	Production chaux
11 PAPMAD	Papeterie
12 PAPMAD	Papeterie
13 FOIBE TAOTJARINTANY MALAGASY	Imprimerie Cartographie
14 S.M.E.	Imprimerie
15 S.N.I.C.	Imprimerie
16 TCABAVY	Construction métallique
17 CAROSSERIE RAMAROSANDY	Construction métallique
18 AMECA	Réparation véhicules
19 SICAM	Vente et réparation autos
20 MATERAUTO	Réparation véhicules autos
21 SOMECA	Vente et réparation pompes
22 HENRI FRAISE ET FILS	Véhicules pour génie civil
23 SOTEMA	Textile et confection
24 COTONNIERE D'ANTSIRABE	Textile
25 SOBOMA	Bonneterie
26 TISMA	Textile
27 ENDUMA	Simili-cuir/sacs plastique
28 TANA-KOBA	Minoterie
29 ETS RAMANANDRAIBE	Rizerie
30 COMEPLAST	Plastique tuyauterie
31 CARTON ELGE	Fabrication carton
32 ANTOLE ASA ENY AMBANIVOHITA	Aménagement hydro-agricole

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: NOUVELLE CIMENTERIE D'AMBOANIO

ACTIVITE: Production de ciment

ADRESSE: BTM Mahajanga BP 302

TELEPHONE:

PERSONNE CONTACTEE: Mr Ratsisahana FONCTION: Directeur technique

DATE INTERVIEW: 04/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr Honoré, Mr Clovis, Mlle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI ☐

NON ☐

**N.B. C'est une cimenterie qui date de 1935, non encore réhabilitée actuellement.
Plusieurs projets de réhabilitation existent mais par manque de fonds, aucun projet n'a été réalisé.**

- PIECE (DESCRIPTION)	- bague de butée	pignon	corps de pompe	plaque d'usure	turbine	coussinet
- UTILISATION	- malaxeur	malaxeur	pompe		pompe	four
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	- fonte - CIMELTA	fonte CIMELTA	fonte importée KSB	fonte Importée Polysius	fonte Importée KSB	bronze Importée BRUN Freres (F)
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE						
- DIMENSION D'ENCOMBRE	Ø ext. 320 mm Ø int. 160 mm épais. 30 mm	Ø ext. 325 mm Ø int. 110 mm épais. 190 mm	n.d.	Ø ext. 240 mm Ø int. 80 mm épais. 35 mm	Ø ext. 240 mm Ø int. 35 mm épais. 148 mm	Ø ext. 300 mm Ø int. 240 mm épais. 285 mm
- POIDS/UNITE						
- DUREE DE VIE GARANTIE	-	-	-	-	-	-
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	6 mois	10 ans	-	2 à 4 mois	2 à 4 mois	1 an
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE * (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	-	-	-	-	-	-
BESOIN EN 1987 **	30 par an	n.d.	-	12 par an	12 par an	12 par an
BESOIN EN 1988						
BESOIN EN 1989						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)		Il est urgent que la demande urgente de nouveaux pignons	la demande est égale	à celle de 1987		

* On n'a pas pu obtenir les prix car les dernières commandes remontent à 1979, 1980.

** Il s'agit des besoins théoriques car de manière effective, la compagnie ne procède pas réellement à un renouvellement des pièces usées, faute de moyens financiers : elle a un problème de trésorerie.

- PIECE (DESCRIPTION)	portin	coque	coussinet	palier	coulets	coussinet
- UTILISATION	elevateur	tablier mecanique	voiant du tablier mec.	transport. et elevat.	broyeur	broyeur
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte CIMELTA	bronze ROJISINA M/ga	bronze ROJISINA	fonte Importée SN 5:6	fonte Importée POLYSIUS S.A.	fonte LOCALE
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE						
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø ext. 670 mm ø int. 400 mm épais. 128 mm	ø ext. 60 mm ø int. 40 mm épais. 280 mm	ø ext. 180 mm ø int. 145 mm épais. 280 mm	ø alésage 70 mm long. 315 mm larg. 90 mm	ø 30 à 100 mm	ø ext. 235 mm ø int. 160 mm épais. 35 mm
- POIDS/UNITE	-	-	-	-	-	-
- DUREE DE VIE GARANTIE	-	-	-	-	-	-
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	1 an	6 mois	1 an	30 ans	-	6 mois
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	140.000 FMG en 1985	4.500 FMG/kg jet de bronze sans usinage	4.500 FMG/kg	-	4,3 millions/t prix 1987 rendu usine	-
BESOIN EN 1987	16/an	124/an	3/an	-	20t/an	30/an
BESOIN EN 1988						
BESOIN EN 1989						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	la demande est égale	à celle du 1987		la cimeterie doit acheter 12 nouveaux paliers		

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 5 tours: entrepointe 1 à 5 m
diamètre 200 mm à 3 m
- 1 fraiseuse: horizontale 1 m, transversale 200 mm
- 2 étaux-limeurs: course 700 mm max
250 mm mini
- 3 postes à souder OA
- 1 poste à souder semi automatique MI 6 355
- 1 cintrreuse épaisseur 8 mm, largeur 2 m
- 1 perceuse radiale # forêt 50 mm
- 1 perceuse sensitive # forêt 16 mm

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle ciment			36.000 t	
Chiffre d'affaire (FMG)			5.616.000.000*	
Personnel (total)			380	
Personnel (ouvrier)			370	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- **Problèmes d'approvisionnement:** La cimenterie préfère importer autant que possible car les pièces fabriquées localement ont un délai de livraison très long et sont de qualité peu satisfaisante. Certaines fonderies comme CIMELTA ou SECREN n'acceptent pas de petites commandes.
- **Qualité des produits locaux:**
- **Problèmes techniques rencontrés:** Certaines pièces locales nécessitent encore un usinage à la cimenterie car elles présentent des défauts de fonderie.

*156.000 FMG/t prix départ usine.

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. OP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: CIMA
ACTIVITE: cimenterie
ADRESSE: BP 3904 TANA (siège)
TELEPHONE: 276.07 TANA

PERSONNE CONTACTEE: (1)Mr Rajafimohazo Lucien
(2)Mr Rakotoarison I David
FONCTION: (1)Directeur des opérations
(2)Responsable bureau technique

DATE INTERVIEW: 09/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr Clovis (Mlle Marie Noëlle)

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI ☐ NON ☐

- Production pas encore au point
- Pas encore de besoin précis, car en phase d'expérimentation (four vertical)

- PIEDÉ (DESCRIPTION)	coulets	1 jeu de 52 marteaux	dents de gradis celles chargées acier spécial
- UTILISATION	provoque ciment	concrassage	
- CITER MATIÈRES PREMIÈRES OU RÉFÉRENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	acier st 37 marque 0 et k raporte RFA	acier austénitique ou manganésé auto écrouissable (importes RFA) WMS	
- ÉVENTUELLES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES OU CONFORMITÉ	ø 20 : 2,15 ø 30 : 5,37 ø 25 : 2,03 ø 70 : 7,27 ø 30 : 3,11 ø 80 : 8,5	AFROR 2120 x 90	
- DIMENSION D'ENCRE	ø 40 : 4,25 ø 90 : 9,26 ø 50 : 5,22 1 g/boute	400 x 240 x 90	
- POIDS UNITÉ		49 g/unité	
- DURÉE DE VIE GARANTIE	consommation spécifique	consommation spécifique	
- DURÉE DE VIE EFFECTIVE	+/- 70 g/tonne de ciment	20 g/tonne	
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMANT, OU LIVRE FOURNIE...)			
BESOIN EN 1957	250 g pris sur stock	1 jeu	2 jeu de 7 dents
BESOIN EN 1966	-	1 jeu	-
BESOIN EN 1965	premier remplissage	jeux neufs	5 jeux et neufs
TECHNIQUE FOURNIE (1968, 1963, 1960)	pour 10000 tonnes de ciment 8,440 g/ton	environ 1 400 g/minutes en fonctionnement normal	3 jeux/ton

NOTES COMPLÉMENTAIRES :
en
C 1 0,27
C 1 0,25
C 1 0,25

- PIECE (DESCRIPTION)	meule (1 paire)	plaque de piste de broyage	plaque de blindage
- UTILISATION	aroyage farine	broyage	aroyage farine crue
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte Ni - Hard II importée LOESCHE (D)	fonte Ni - Hard II importée LOESCHE	fonte Ni - Hard II importée LOESCHE
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	pieces moulees de fonte conique	-	-
- DIMENSION D'ENDRE	Ø moyen 460 mm long. 1400, ép. 110 mm	long. 900 larg. 480 épais. 700	long. 510 larg. 70 épais. 20
- POIDS/UNITE	1,5 t	200 kg	25 kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	-	-	-
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	6 mois	6 mois	-
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	14.800 (FOS)	1.775 D.M.	700 D.M.
BESOIN EN 1987	1 paire	1 piste complète	
BESOIN EN 1988	-	-	-
BESOIN EN 1989	1 paire neuve	1 piste neuve	blindage neuve
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	2 paires tous les 3 ans	2 jeux tous les 3 ans	changement tous les bancs

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 1 cintrreuse cap.té épais. 10 mm
- 1 tour horizontal # 600 mm, long 2,50 m
- 1 fraiseuse universelle (longitudinale 1 m
(transversale 250 mm)
- 1 touret à meuler
- 10 postes à soudure électrique à chariot
- 2 postes à soudure électrique portatifs
- 2 postes à soudure électrique OA
- 1 scie mécanique

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle ciment			20000 t/an	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			256	
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement Pour les pièces importées, la CIMA doit passer ses commandes à la LOESCHE constructeur de l'usine car elle ne connaît pas les fournisseurs directs; de ce fait les pièces sont plus chères.
- Qualité des produits locaux
- Problèmes techniques rencontrés

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIÈCES MOULÉES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SIRAMA NAMAKIA

ACTIVITE: Sucrierie distillerie

ADRESSE: BP 352 Namakia

TELEPHONE: N. 1

PERSONNE CONTACTEE: Mr Rasolofomanana Hubert

FONCTION: Chef des services techniques

DATE INTERVIEW: 03/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr Honoré, Mr Clovis, M.lle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

N.B. La SIRAMA NAMAKIA projette de créer sa propre fonderie par autofinancement.

Cette fonderie serait identique à celle de Nosy be.

RECE / DESCRIPTION:	Rouets (rotor)	Tels en bronze	Boque	Coussinet	Coussinet de l'arbre de transmission
- UTILISATION	ponçage	n.d.	roue de wagon	Moulin	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze impureté	bronze CIMELTA	bronze CIMELTA	bronze CIMELTA	bronze CIMELTA
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- DIMENSION D'ENCRE	Ø 150 à 350 mm épais. 50 à 120 mm	n.d.	Ø ext. 100 mm long. 175 mm	Ø alésage 300 mm épais. 80 mm	Ø alésage 280 mm épais. 40 mm long. 500 mm
- POUCE/UNITE		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- DUREE DE VIE GARANTIE	15.000 h	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	5 campagnes *		4 mois	3 campagnes *	n.d.
- PRIX D'UNITE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMM. DU LIVRE FOURNISS.)	3 à 4 millions Fms pour un rouet de 350 mm de Ø	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BE SOIN EN 1987	200 à 300 kg/an	5 tonnes/an	108 ougnes par an	0,7 tonnes/an	4 pour 3 ans
BE SOIN EN 1986	N.B. Depuis 1981, la SIMA ne passe plus de commandes locales car les délais ne sont pas respectés (retards) et la qualité n'est pas satisfaisante				
BE SOIN EN 1985					
BE SOIN EN 1984	La demande est égale à celle de 1987				

- PIECE (DESCRIPTION)	Chemises de moulin	bagassière	raclette	boitier de roues de wagon	coussinet
- UTILISATION	moulin	oroyage	oroyage	transport canne	turbo réduct. et altern. antifricition
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENDES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte grise importé de MAURICE (Forge TARDIEUX)	fonte CIMELTA *	fonte grise CIMELTA	fonte CIMELTA	
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	-	-	-	-	-
- DIMENSION D'ENCOMBRE	long. 1550 mm Ø alésage 430 mm Ø ext. 800 mm	long. 1550 mm long. 400 mm épais. 80 mm	long. 340 mm long. 400 mm épais. 50 mm	long. 340 mm long. 85 mm haut. 175 mm Ø alésage 100 mm	long. 120 mm Ø alésage 80 mm
- POIDS/UNITE	-	500 kg	-	-	-
- DUREE DE VIE GARANTIE	-	-	-	-	15.000 h
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	3 campagnes	1 année	1 année	4 mois	-
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	7 millions FMS par chemise	2 millions FMS	1 millions FMS	n.d.	5 millions
BESOIN EN 1987	8 chemises/an	4 bagassieres/an	10 pièces/an	48 boitiers/an	2 coussinets par 3 ans
BESOIN EN 1986		N.B. SECREN peut aussi fabriquer cette pièce, mais elle n'a pas de ferro-silicium			
BESOIN EN 1985					
TENDANCE FUTURE (1986, 1989, 1990)	La demande est égale à celle de 1987				

* La SIRAAN fait appel à la CIMELTA ou procède à une récupération à partir de ses cylindres en rebut.
N.B. Leur raccordement est en acier car la fonte ne tient pas.

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.*

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 2 fraiseuses (transversal 250 mm - longitudinal 1 m - vertical 500 mm)
- 11 tours dont 10 horizontaux ø 250 à 1400 mm - longueur 1 à 6 m
1 tour à cylindre
- 2 raboteuses long. 1500 mm - hauteur 0,5 m
- 1 rectifieuse de vilebrequin
- 2 tourets à meuler
- 2 étaux-limeurs
- 1 atelier de soudure (OA, oxy-coupage à l'arc soudure électrique)
- 1 atelier de traitement thermique
- 1 presse
- 1 perceuse radiale
- 2 poinçonneuses
- 2 cintruses
- 2 plieuses

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			24000 t 10 milliards	25300 t (prévision)
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			2700/campagne dont 1.000 temporaires	
Personnel (ouvrier)			20 cadres seulement	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: délai (retard)
- Qualité des produits locaux: mécanique (CIMELTA, SECREN etc)
défaut de fonderie
- Problèmes techniques rencontrés:

* Les pièces non traitables dans l'atelier sont celles qui nécessitent:

- un travail de fonderie
- un traitement de surface comme la cémentation
- un usinage de précision

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SIRAMA

ACTIVITE: Production de sucre

ADRESSE: BP 373 Ambilobe

TELEPHONE: n. 1 Ambilobe

**PERSONNE CONTACTEE: M.Djoma
M.Rafahatelo Talbot**

**FONCTION: D.T.
Responsable
atelier
chaudronnerie**

DATE INTERVIEW: 03/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	jet	jet	jet creux	jet	jet	jet
- UTILISATION						
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	bronze	bronze	bronze	bronze
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE						
- DIMENSION D'ENCREMBRE	ø 185	ø 250	ø 260 x 300	ø 85	ø 105	ø 125
- PGIOS/UNITE						
- DUREE DE VIE GARANTIE						
- DUREE DE VIE EFFECTIVE						
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	8000 FMS par Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg
BESOIN EN 1987	325 kg/an	585 kg/an	210 kg/an	140 kg/an	210 Kg/an	300 Kg/an
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle du 1987					

- PIECE (DESCRIPTION)	jet	jet	jet	jet	rouet	chemise cylindre de acoulin
- UTILISATION						
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	bronze	bronze	bronze SECREN ou CIMELTA	fonte importé
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE						
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 135	ø 145	ø 165	ø 215	ø 250	ø 1300
- POIDS/UNITE					20 Kg	5 tonnes
- DUREE DE VIE GARANTIE						
- DUREE DE VIE EFFECTIVE						
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	8000 FMS par Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg	8000 FMS/Kg		
BESOIN EN 1987	290 Kg/an	330 Kg/an	425 Kg/an	580 Kg/an	15 pièces par an = = 300 Kg/an	6 pièces/an = = 30 tonnes/an
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale	à celle du 1987				

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SIRAMA

ACTIVITE: Sucre

ADRESSE: BP 26 Brickaville

TELEPHONE: 19

PERSONNE CONTACTEE: Mr Randrianarivony Romuald

FONCTION: Chef d'entretien de l'usine

DATE INTERVIEW: 10/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- . 1932 : création de l'usine
- . Ils fournissent le bronze pour la fonderie d'Itaosy (Fanambinantsoa). Le prix du coulage s'élève à 3.500 FMG le kg.

- PIECE (DESCRIPTION)	Jet creux	Chemise
- UTILISATION		cylindre
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	fonte importée
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 80 x 40	ø 747 x 1370
- POIDS/UNITE		4 tonnes
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE		
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987	4 m/an ~ 120 Kg/an	1 chemise/an = 4 tonnes/an
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

- PIECE (DESCRIPTION)	Coussinet	Jet creux	Jet creux
- UTILISATION	moulins		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	bronze
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE		ø 100 x 40	ø 90 x 40
- POIDS/UNITE	200 Kg		
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)			
BESOIN EN 1987	2 pièces/an = 400 kg/an	4 m/an ~ 210 kg/an	4 m/an ~ 165 kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle de 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- . 5 tours
- . 1 étau-limeur
- . 1 raboteuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			12.000 tonnes de sucre blond par an	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			2.500 dont 700 permanents et 15 cadres	
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: Sont obligés d'importer les chemises de Maurice
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SIRANALA

ACTIVITE: Sucrierie

ADRESSE: BP 176 Analaiva

TELEPHONE:

PERSONNE CONTACTEE: Mr Nabab

FONCTION: Chef de Division

DATE INTERVIEW: 13/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr. Honoré, Mr. Clovis, M.lle Marie-Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

N.B. Toutes les pièces non importées sont fabriquées par la propre fonderie de la sucrierie.

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de

- PIECE (DESCRIPTION)	Support de grille	Anneau de retenu	Pompe inegorgeable
- UTILISATION	énergie (chaudiere)	énergie	moulin
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	SIRANALA	SIRANALA	importé
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	fonte grise	fonte grise	fonte grise
- DIMENSION D'ENCOMBRE	n.d.	n.d.	n.d.
- POIDS/UNITE	20 à 30 Kg	20 Kg	40 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	2 mois	4 mois	4 mois
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	n.d.	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1987	14/an	3/an	4/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Anneaux	Coquille de palier de cylindre	Tuyau en Té de circuit en SO2	Chapeau de roulement	Coussinet de transp. de cannes	Clapet vanne PG/10/B0
- UTILISATION	fabrication	moulin	fabrication	fabrication		fabrication
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	SIRANALA	importé	SIRANALA	SIRANALA	importé	SIRANALA
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	fonte grise	A00	fonte grise	fonte grise	bronze	fonte
- DIMENSION D'ENCOMBRE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- POIDS/UNITE	20 Kg	40 Kg	70 Kg	40 Kg	8 à 10 Kg	3 à 5 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	4 mois	1 an	4 à 5 mois	4 à 5 mois	1 an	1 an
- DUREE DE VIE EFFECTIVE						
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)						
BESOIN EN 1987	10 à 12/an	6/an	4/an	12/an	4/an	10/an
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle du 1987					

- PIECE (DESCRIPTION)	Chemise de cylindre	Manchon d'accouplém.	Cône de condenseur	Tuyauterie	Accouplement pour la pompe inegorgeable	Tuyauterie
- UTILISATION	moulin	moulin	fabrication sucre	fabrication jus	moulin	fabrication jus
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	Maurice	Siranala	Siranala	Siranala	Siranala	Siranala
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	fonte phosphoreuse	fonte grise	fonte grise	fonte grise	fonte grise	fonte grise
- DIMENSION D'ENCOMBRE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- POIDS/UNITE	5 t	800 kg	90 à 100 kg	70 à 80 kg	60 kg	60 kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	8 mois	3 à 8 mois	8 mois	3 à 4 mois	1 an	5 mois
- DUREE DE VIE EFFECTIVE						
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1987	12 à 15/an	10 à 15/an	4/an	4/an	3 à 4/an	4/an
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demand est égale	à celle du 1987				

- PIECE (DESCRIPTION)	Corps axe de batteuse de filtre rotatif	Plaques de foyer de chantier	Palier pour conduct. horiz. de bagasse chantier (énergie)	Corps de vannes à 3 voies moulin	Poutre de panneau chaudière	Poulie du palan de la cour à canne moulin
- UTILISATION	fabrication	chantier (énergie)	chantier (énergie)			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	SIRANALA	SIRANALA	SIRANALA	SIRANALA	SIRANALA	SIRANALA
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	fonte grise	fonte grise	fonte grise	fonte grise	fonte grise	fonte grise
- DIMENSION D'ENCRE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- POIDS/UNITE	30 Kg	90 Kg	40 à 50 Kg	50 Kg	40 à 50 Kg	10 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	2 à 4 mois	6 à 8 mois	8 mois	4 mois	8 mois	8 mois
- DUREE DE VIE EFFECTIVE						
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1987	12 à 12/an	3/an	2/an	2/an	3/an	2/an
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale	à celle du 1987				

L'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses,
aléseuses, perceuses, etc.)

3 tours
1 raboteuse
2 fraiseuses (1 verticale, 1 horizontale)
2 étaux-limeurs
1 poste à soudure électrique
2 postes à soudure OA
1 perceuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			21.000 t	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SIRAMA Nosy Be

ACTIVITE: Production sucre

ADRESSE: BP 44

TELEPHONE: 611 15

PERSONNE CONTACTEE: Mr Rakotoarisoa

**FONCTION: Chef d'entretien
de l'usine**

DATE INTERVIEW: 04/05/88 et 5/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI ☐☐ NON ☐☐

. Pose de la 1ère pierre en 1923

- PIECE (DESCRIPTION)	Sabots de freins (locomotive)	Lame bagassière	Chemise cylindre
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE		300 x 1675 x 30	
- POIDS/UNITE	20 Kg	400 Kg	~ 3 tonnes
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)			
BESOIN EN 1987	40 pièces/an = 800 Kg/an	4 lames/an = 1600 Kg/an	4 chemises/an = = 12 tonnes/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1995			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

<ul style="list-style-type: none"> - PIECE (DESCRIPTION) - UTILISATION - CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS - EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE - DIMENSION D'ENCREMBRE - POIDS/UNITE - DUREE DE VIE GARANTIE - DUREE DE VIE EFFECTIVE - PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) 	Jets de bronze	Coussinets moulin	Corps + rotor de pompe
	bronze	bronze	bronze
	max. Ø 230		
		250 Kg	500 Kg
BESOIN EN 1987	3 tonnes/an	5 pièces/an = 1250 Kg/an	1 pompe/an = 500 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer le moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- . 5 tours
- . 1 perceuses sensitive
- . 2 perceuse radiales
- . 1 fraiseuse mortaiseuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			15000 t de sucre blond	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			permanents 1250 temporaires 1100	
Personnel (ouvrier)				

AUTRE REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: matières premières fonte bronze
- Qualité des produits locaux: pièces de mauvaise qualité de la SECREN
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SOMADEX (Société malgache d'exploitation de mines et carrières)

ACTIVITE: Extraction, traitement et commercialisation de produits minéraux

**ADRESSE: 5 Rue Amiral Miot BP 337
TELEPHONE: 486.95**

PERSONNE CONTACTEE: M. Rarivoson FONCTION: Chef de departement technique

**DATE INTERVIEW: 09/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: M. Clovis

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	Machoire	Etrier	Coussinet de palier
- UTILISATION	concassage	micronisation	concassage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte traitée France	fonte grise France	bronze France
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	Marque AMMANN	Marque FOPLEX	Marque AMMANN
- DIMENSION D'ENCOMBRE	long. 600 larg. 400 épais. 80	Ø max. 460 haut. 300	
- POIDS/UNITE	140 Kg		
- DUREE DE VIE GARANTIE			7 ans
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	2 ans	4 ans (minimum)	
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	n.d.	n.d.	prix : 1986 : 5400 FMS
BESOIN EN 1987	3 machoires/an Depuis 1964 (année de fondation de l'usine)	dépend 1964 la SOMADEX n'a consommé que 6 étriers	
BESOIN EN 1986	la SOMADEX n'a jamais fait de rechange des machoires. En effet après usure c'est à dire tous les 2 ans les machoires sont rechargés par soudure électrique		
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)			

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 3 tours dont 1 petit # 75 L= 800
1 moyen # 250 L= 1500
1 grand # 500 L= 2000
- 2 perceuses
- 2 tourets à meuler
- 2 postes soudure dont 1 électrique et 1 OA
- 1 cisaille
- 1 presse mécanique

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle(tonnes)	2999	4846	3254	6720 (prévision)
Chiffre d'affaire (FMG)x10 ⁶	232	463	354	862 (prévision)
Personnel (total)	200	167	109	109
Personnel (ouvrier)	152	114	58	58

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:

- Qualité des produits locaux: bonne en général

- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: Ets GALLOIS

**ACTIVITE: Graphite sisal
ADRESSE: BP 159 Antananarivo
TELEPHONE: 229 51 et 229 52**

PERSONNE CONTACTEE: Mr J.C. Felix Gallois FONCTION: Directeur

**DATE INTERVIEW: 09/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- . Production Graphite vers 1920
- . 1^{er} producteur de graphite à Madagascar (c.à.d. environ la moitié de la production malgache)
- . Potentialité: 12.000 t de graphite par an
- . Contrat avec Amboditsiry pour l'importation du coke
- . 8 broyeurs - 1 broyeur consomme à peu près 100 kg de bulets/semaine

<ul style="list-style-type: none"> - PIECE (DESCRIPTION) - UTILISATION - CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS - EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE - DIMENSION D'ENCOMBRE - POIDS/UNITE - DUREE DE VIE GARANTIE - DUREE DE VIE EFFECTIVE - PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) 	Boulet broyeur	Jet de bronze	Jet de cuivre
	fonte		
	ø 30 x 120		
BESOIN EN 1987	45 tonnes/an	~ 600 Kg/an	~ 600 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

<ul style="list-style-type: none"> - PIECE (DESCRIPTION) - UTILISATION - CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS - EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE - DIMENSION D'ENCOMBRE - POIDS/UNITE - DUREE DE VIE GARANTIE - DUREE DE VIE EFFECTIVE - PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) 	Jet laiton	Pièce de pompe	Engrenage
BESOIN EN 1987	~ 600 Kg/an	pas évalués	pas évalués
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle				7000 t
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			1800	
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:

- Qualité des produits locaux: pièces coulées de très mauvaise qualité - recours à l'importation

- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUJI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SOABE

ACTIVITE: Production de chaux

**ADRESSE: Rue Jean-Paul Ralaemongo Antsirabe BP 364
TELEPHONE: 488-28**

**PERSONNE CONTACTEE: M Andriambuvonjainaiu
FONCTION: Directeur technique**

**DATE INTERVIEW: 09/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Mr Honoré; Mlle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI ☐☐

NON ☐☐

N.B.: C'est une usine récente et les pièces n'ont pas encore été renouvelées ; en outre, les besoins sont difficiles à chiffrer.

- PIECE (DESCRIPTION)	Coussinets de palier	Poulie de transmission	Chapeau de roulement
- UTILISATION	selecteur	transmission	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze DELABRE	fonte FGS COTONA ou DELABRE ou artisans à Antsirabé	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	haut 200 mm épaiss. 10 mm	∅ 100 à 200 mm	∅ int. 50 mm ∅ ext. 100 mm épaiss. 50 à 250 mm
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	a fonctionné depuis 1986	petite poulie 7000 h grande poulie 15000 h	n.d.
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	80.000 FMG/Kg	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1987	n.d. car usiné très récente 50 Kg/an		
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle	du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Engrenages droits	Leviers et manettes	Volant pour vannes	Boulet	Plaque de corrosion
- UTILISATION			circuit d'eau + gas	broyage	broyage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte FGS Cerlison Albe	fonte FGS	fonte FGS	fonte FGS	fonte FGS
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE					
- DIMENSION D'ENCOMBRE	∅ 200 mm larg. 250 mm moyen ∅ 90 mm	∅ 20 mm long. 200 mm épais. 10 mm	∅ 20 à 200 mm épais. 20 à 30 mm	∅ 20 à 25 mm	long. 500 mm larg. 400 mm haut. 50 mm
- POIDS/UNITE	30 Kg	0,4 Kg			
- DUREE DE VIE GARANTIE	5000 h		5000 h	2 ans	2 ans
- DUREE DE VIE EFFECTIVE					
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)					
BESOIN EN 1987	-	50 par an	-	800 Kg/an	800 Kg/an
BESOIN EN 1986					
BESOIN EN 1985					
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale	à celle du 1987			

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

1 perceuse sensitive ø forêt 15 mm

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle de chaux			10000 t	20000 t (prévision mai 88)
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			120	
Personnel (ouvrier)			100	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

Capacité de production: 50.000 t/an

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: PAPMAO

ACTIVITE: Papeterie

ADRESSE: Ambohimambola

TELEPHONE:

PERSONNE CONTACTEE: Mr Razafindrakoto Louis FONCTION: D.T.

DATE INTERVIEW: 16/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	Jets creux	Jet	Jet creux
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	aluminium	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 210 x 150 x 40	ø 280	ø 130 x 40
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1500 FMS/Kg	4750 FMS/Kg	1000 FMS/Kg
BESOIN EN 1987	40 kg/an	10 kg/an	65 kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle du 1987		

- PIECE (DESCRIPTION)	Jets creux	Jet	Jet
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	aluminium	aluminium
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 175 x 40 x 100	ø 250	ø 185
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1000 FMG/Kg	4750 FMG/Kg	4750 FMG/Kg
BESOIN EN 1987	155 Kg/an	30 Kg/an	15 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Jet	Jet	Jet
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	bronze
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 20	ø 30	ø 40
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	3250 FMG/Kg	3250 FMG/Kg	3250 FMG/Kg
BESOIN EN 1987	25 Kg/an	45 Kg/an	60 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Jet	Jet	Jet	Jet
- UTILISATION				
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	bronze	bronze
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE				
- DIMENSION D'ENCREMBRE	ø 50	ø 60	ø 80	ø 90
- POIDS/UNITE				
- DUREE DE VIE GARANTIE				
- DUREE DE VIE EFFECTIVE				
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	3250 FMG/Kg	3250 FMG/Kg	3250 FMG/Kg .	3250 FMG/Kg
BESOIN EN 1987	30 Kg/an	190 Kg/an	275 Kg/an	95 Kg/an
BESOIN EN 1986				
BESOIN EN 1985				
TENDANCE FUTUR (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle du 1987			

- PIECE (DESCRIPTION)	Jeu de 12 segments	Longeron de grille	Grille N. 11 pour chaudière
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE	1 jeu = 90 Kg	15 Kg	6 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1 jeu = 186.000 FMG	115.000 FMG	6.800 FMG
BESOIN EN 1987	1 jeu par mois = = 12 jeux par an = = 1080 Kg par an	6 par an = 90 Kg/an	40 par an = 240 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	jeu de 24 segments	Poulie	Jet
- UTILISATION		moteur hydraulique	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	Fonte	Fonte	Fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE	1 jeu = 200 Kg	275 Kg	∅ 130
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1 jeu : 396.000 FMG	220.000 FMG	1000 FMG/Kg
BESOIN EN 1987	24 jeux/an = 4800 Kg/an	1/an = 275 kg/an	32 kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 4 tours
- 1 fraiseuse
- 1 raboteuse
- 1 rectifieuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			10.000 t de papier/an	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			env. 950	
Personnel (ouvrier)			env. 920	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:

- Qualité des produits locaux: Les jets de bronze et de fonte sont de très bonne qualité

- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: PAPMAD

ACTIVITE: Papier
ADRESSE: Ambohimambola
TELEPHONE: 20635

PERSONNE CONTACTEE: Mr Razafindrakoto Louis Justin
FONCTION: Directeur technique

DATE INTERVIEW: 28/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Marie Noëlle, Ny Aina, Nirina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Remarques:

- . La demande est assez élevée pour les pièces de fonderie, mais ce sont surtout des pièces spécifiques.
Donc mieux vaut les importer directement à cause des délais.
- . Les pièces des fonderies locales sont bonnes (point de vue qualité, durée de vie et prix) mais souvent il y en a qui sont inusables (technologie de production pas maîtrisée).
- . Remarque : le prix d'un jeu de segment defibrator coûte 5 fois plus cher s'il est importé et c'est la même chose pour toutes les autres pièces.

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

- PIECE (DESCRIPTION)	Barreau N. 40	Plaque N. 217	Volet N. 213
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS			
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	14.725 FMG	59.675 FMG	25.500 FMG
BESOIN EN 1987			
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Grille N. 11	Longeron de grille complet	Jeu segment
- UTILISATION			défibrotor
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS			
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE	11 Kg		
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) Coût d'achat non compris.	16.500 FMG	172.500 FMG	396.000 FMG ou 2355 D.M.
BESOIN EN 1987			
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses,
aléseuses, perceuses, etc.)

1

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle				
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: manque de devises
- Qualité des produits locaux: parfois non usinables, trop de soufflures aussi dans les jets de fonte, de bronze et les pièces usinées.
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: FOIBE TROTJARINTANY MALAGASY

**ACTIVITE: Imprimerie cartographie
ADRESSE: FTM BP 323
TELEPHONE: 229 35**

**PERSONNE CONTACTEE: M.lle Rakotovao
FONCTION: Responsable maintenance**

**DATE INTERVIEW: 13/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	Pignon	Jet bronze
- UTILISATION		pour bagues
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCOMBRE		ø 25
- POIDS/UNITE	~ 1 Kg	
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE		
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987	4 pièces = 4 kg/an	1 m/an = 4 kg/an
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses,
aléseuses, perceuses, etc.)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle				
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:
- Qualité des produits locaux: Très mauvaise qualité des jets :
trop de soufflures
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIÈCES MOULÉES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)**

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: S.M.E. (Société malgache d'édition)

ACTIVITE: Imprimerie

**ADRESSE: BP 659
TELEPHONE: 226 35**

PERSONNE CONTACTEE: Mme Rambatomanga Vero FONCTION: D.T.

**DATE INTERVIEW: 13/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

JUI NON

Remarques: . Les pièces de rechange sont fournies directement par HEILDERBERG (garantie et pièces d'origine)
. Les pièces fournies localement sont surtout de petits axes (# 7x70) "usinés" par la SOMACOV.
La quantité demandée pour de petits axes en acier est de 5 par an.

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)**

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. OP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: TAORAVY

ACTIVITE: Construction métallique
- car, remorque
- chaudronnerie, charpente
- mobilier métallique
- inter-douglas

ADRESSE: BP 160 Fiadanane Tana
TELEPHONE: 208-28

PERSONNE CONTACTEE: Rabezandriny Marifidy
FONCTION: Chef du Bureau d'Etudes

DATE INTERVIEW: 25/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Remarques:
La Société TAORAVY est spécialisée dans la construction SOUDEE, aussi n'a-t-elle pas besoin de pièces moulées de fonderie.

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)**

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: CARROSSERIE RAMAROSANDY

ACTIVITE: - Construction métallique (carrosserie camions, car; menuiserie métallique)
- Fabrication mécanique
- Tolerie, peinture

ADRESSE: BP 3202 Tana

TELEPHONE: 254-14

PERSONNE CONTACTEE: Ramarosandy Herwonjy

FONCTION: Directeur technique

DATE INTERVIEW: 25/04/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI 否 NON 否

Remarques générales émises par la société interviewée :

Les fonderies malgaches souhaiteraient la fabrication des produits suivants :

- les tables de scie à ruban, qui font l'objet d'une grande demande de la part des menuiseries mais que celles-ci ne trouvent pas sur le marché
- les pièces de dimension assez grande car les pièces plus petites peuvent être faites par les fonderies artisanales

Les responsables de la société ont également suggéré d'étudier les avantages comparatifs pour MISCAR entre la construction en fonte (lourde, chère) et la construction soudée pour les batis de machine, la construction soudée pouvant être plus intéressante.

- PIECE (DESCRIPTION)	Paulie	Palier (normalisé)	Carter
- UTILISATION	machine-outil		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	aluminium (grosses) fonte (petites) (Fondeur à Itoosy)	fonte grise quincailleries (import.)	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		Marque SKF/FAG	pièce de récupér. adaptée pour boîtier de réducteur
- DIMENSION D'ENCOMBRE		de 165 mm à 880 mm ± 20 mm à 300 mm de 1,4 Kg à 330 Kg ø 40 encombre 209	400 x 400 x 200 (env.)
- POIDS/UNITE	env. 20 Kg		30 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	indéterminée *	indéterminée *	indéterminée *
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	100.000 FMG Début 1988	70.000 FMG 1er Mars 88 SOCIMEX	1.200 F/Kg (brocanteur)
BESOIN EN 1987	fonte env. 100 Kg alu env. 100 kg	env. 30 Kg	0
BESOIN EN 1986	?	?	env. 30 Kg
BESOIN EN 1985	?	?	?
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

N.B. Pièces de fonderie confiées par des clients pour usage chez ORINASA RAMARDSANCY (elle-même non utilisateur).

- PIECE (DESCRIPTION)	Chariot de tour		
- UTILISATION	fonte	- utilisée indéfiniment et "réparée" (retapée, bricolée, adaptée) à chaque avarie	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS			
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		- mauvaise utilisation (emploi non conforme entraînant dégats suppl.)	
- DIMENSION D'ENCOMBRE	300 x 150 x 60		
- POIDS/UNITE	20 Kg		
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	indéterminée *		
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	env. 50.000 FMG		
BESOIN EN 1987	0		
BESOIN EN 1986	0		
BESOIN EN 1985	20 Kg		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

1 fraiseuse
1 tour
1 perceuse
1 mortaiseuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle	(80)			(100)
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)	60	60	60	60
Personnel (ouvrier)	55	55	55	55

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: Selon commande des clients pour usinage
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: AMECA

ACTIVITE:

ADRESSE: Rue Ravoninahitrimarivo

TELEPHONE: 230-16

PERSONNE CONTACTEE: Mr Ranaivoarison Hugues

FONCTION: Chef de service en mécanique générale

DATE INTERVIEW: 25/04/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Nirina, Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	Culasse	Culasse	Carter
- UTILISATION	moteur Renault 4	moteur poids lourds	bloc moteur pour Peugeot 304 et 204
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	aluminium	fonte	aluminium
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	450/220/110 mm	900/300/130 mm	450/200/250 mm
- POIDS/UNITE	~ 7 Kg	~ 50 Kg	~ 15 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	700.000 FMB livre consommateur (sans soupape)	1.000.000 FMB livre consommateur	1.500.000 FMB
BESOIN EN 1987	440 pièces = 3000 Kg/an	440 pièces = 22000 Kg/an	440 pièces = 6600 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Carter	Tambour frein	Tambour frein
- UTILISATION	bloc moteur pour voitures poids lourd	pour voitures légères	pour voitures poids lourd
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	900/300/400 mm	200 mm de diam.	400 mm de diam.
- POIDS/UNITE	~ 120 kg	~ 5 Kg	~ 10 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	3.000.000 FMG	300.000 FMG	800.000 FMG et plus
BESOIN EN 1987	440 pièces = 44000 Kg/an	330 pièces = 1650 Kg/an	330 pièces = 3300 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle de 1987	

<ul style="list-style-type: none"> - PIECE (DESCRIPTION) - UTILISATION - CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS - EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE - DIMENSION D'ENCOMBRE - POIDS/UNITE - DUREE DE VIE GARANTIE - DUREE DE VIE EFFECTIVE - PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) 	Engrenage droit	Engrenage hélicoidal	Engrenage conique
BESOIN EN 1987	550 pièces	165 pièces	165 pièces
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Poulies	Poulies	Sabots freins
- UTILISATION	pour décortiqueuse de puissance 4 CV		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	aluminium/AMECA	fonte/AMECA	Importés
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	200 mm de diam.	200 mm de diam.	variable
- POIDS/UNITE	1 Kg	4 kg	
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1 gorge : 150.000 FMG 2 gorge : 250.000 FMG	variable selon le nombre de gorge (plus de 150.000 FMG)	200.000 FMG
BESOIN EN 1987	605-726 pièces 726 Kg/an	605-726 pièces 2904 Kg/an	20 pièces
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Coussinets	Réguls	Paliers
- UTILISATION		pour réglage par gravitat.	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	Alliages aluminium étain importés sauf pour les moteurs à turbine et bateaux	Importés - alliages ou 3 métaux en couches	Alliages ou 3 métaux en couches
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	variable	~ 20 mm de ϕ	
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	50.000 FMG à 400.000 FMG		50.000 FMG à 400.000 FMG
BESOIN EN 1987	1760 jeux	400 Kg	400 Kg
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Pompes injections		
- UTILISATION	pour caions		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte, Al. - importés		
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	300 mm/200 mm		
- POIDS/UNITE			
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	1.500.000 FMB		
BESOIN EN 1987	440 pièces ~ 440 Kg/an		
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- tours
- fraiseuses
- aléseuses de bielles
- rectifieuses
- détecteur de fêlures
- aléseuses cylindres
- glaceuses
- rectifieuses de tambours de frein

1985 1986 1987 1988

Production annuelle

Chiffre d'affaire (FMG)

Personnel (total)

Personnel (ouvrier)

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- **Problèmes d'approvisionnement:** quantité insuffisante importée à cause des accords avec l'Etat Malgache et la société AMECA

- **Qualité des produits locaux:** remarque de corosité et de mauvaise finition pour les produits DELABRE, SIDEMA, CIMELTA

- **Problèmes techniques rencontrés:** les les cassures de courroies et de train de pignon se rencontrent souvent

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

**RAISON SOCIALE: Société Industrielle de Commerce Automobile
Madagascar (SICAM)**

ACTIVITE: Vente et réparation autos

**ADRESSE: Rue Rabefiraisana
TELEPHONE: 229 61 (atelier P.06)**

**PERSONNE CONTACTEE: Mr Rakotomirima FONCTION: Chef d'atelier
par interim**

**DATE INTERVIEW: 13/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Toutes les pièces qu'on a besoin pour les réparations sont des pièces d'origine importées (problème de garantie, etc)

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: MATERAUTO

ACTIVITE: Commerce et réparation de véhicules autos
ADRESSE: BP 1516 Tana
TELEPHONE: 233 39

PERSONNE CONTACTEE: Mr Germain Esargilhe
FONCTION: Directeur des ateliers et du service après vente

DATE INTERVIEW: 27/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER:

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI 是 NON 否

MATERAUTO n'a pas besoin de pièces de fonderie produit par des tiers, étant donné qu'ils importent directement de Mercedes les pièces de rechange (problème de garantie)

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIÈCES MOULÉES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SOMECA

ACTIVITE: Vente et réparation de pompes

ADRESSE: Tsaralalana BP 359

TELEPHONE: 25400

PERSONNE CONTACTEE: Mr Randrianohavy FONCTION: Chef d'atelier

DATE INTERVIEW: 13/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI 是 NON 否

La SOMECA se spécialise surtout dans le domaine des groupes électrogènes et électropompe.
Pour la réparation toutes les pièces sont importées (problèmes de garantie etc.)

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: HENRI FRAISE ET FILS

ACTIVITE: Véhicules, tracteurs, machines agricoles, engins pour Génie Civil

**ADRESSE: Rue Rainivoninanitriniarivo
TELEPHONE: 22721**

**PERSONNE CONTACTEE: R. Andriantseheno
FONCTION: Chef du service après vente**

**DATE INTERVIEW: 27/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Marie Noëlle, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Remarques:

- . Pas besoin de pièces fabriquées localement.
- . Les pièces demandées sont commandées par telex relié à l'ordinateur aux USA. Ces pièces arrivent après un délai de 2 semaines au plus tard.
- . Pour les besoins de pièces de fonderie il faudrait plutôt enquêter auprès des agriculteurs mêmes (pièces de charrue, de decortiqueuses).

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)**

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SOTEMA

ACTIVITE: Textile et confection

ADRESSE: BP 375 Mahajanga

TELEPHONE: 26-82; 26-83; 26-84; 26-85

PERSONNE CONTACTEE: Mr Reese Joachim FONCTION: Ingénieur en chef

DATE INTERVIEW: 05/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr Honoré, Mlle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

N.B.

- Avant la SOTEMA confiait à la SECREN la fabrication d'une grande partie des pièces moulées nécessaires. Depuis 1987, la société a annulé ses commandes auprès de la SECREN et a comme principal fournisseur la SERDI (qui à son tour pass ses commandes auprès de fonderies diverses telles que Polytechnique, Cotona,).
- En Avril 1988, la SOTEMA a procédé à une réhabilitation et a obtenu notamment, de nombreux métiers à tisser beaucoup plus performants (43). Aussi, 220 des anciens métiers à tisser sont en phase de démontage actuellement: cela va procurer un stock considerable de pièces moulées (pièces de rechange). Par ailleurs, les besoins annuels en pièces moulées pour les nouveaux métiers ne peuvent encore être chiffrés actuellement.

Ci-après la liste des pièces fabriqués localement (les autres pièces resteront importées)

- PIECE (DESCRIPTION)	Couronne dentée	Palier briseur	Support couteau	Roue tangente	Bride de pédale	Levier de renversement
- UTILISATION	cardage	cardage	cardage	cardage	cardage	tissage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte	fonte	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	--	--	--	--	--	--
- DIMENSION D'ENCOMBRE	Ø 450 mm long 28 mm	long. 200 mm larg. 200 mm haut. 80 mm	long. 150 mm larg. 150 mm haut. 30 mm	Ø 100 mm larg. 80 mm	long. 200 mm Ø 100 mm	long. 100 mm long. 100 mm haut. 50 mm
- POIDS/UNITE	11,5 kg	7 kg	0,7 kg	2,1	0,9	0,15
- DUREE DE VIE GARANTIE	--	--	--	--	--	--
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	--	--	--	--	--	--
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE * (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	85.000 FMG prix 1984 y compris usinage	75.000 FMG avec usinage	17.000 FMG y compris usinage	15.000 FMG	17.500 FMG	12.500 FMG
BESOIN EN 1987 **	24	60 (droite et gauche)	60 (droite et gauche)	22	10	30
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à celle de 1987					

- PIECE (DESCRIPTION)	guide canette MDC	rochet d'avance	marteau change carrette	levier de débitage	roue dentée en scouple	poulie de frein
- UTILISATION	tissage	tissage	tissage	tissage	tissage	finissage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte	fonte	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	—	—	—	—	—	—
- DIMENSION D'ENCOBRE	long. 150 mm larg. 150 mm haut. 30 mm	long. 95 mm larg. 250 mm haut. 50 mm	long. 250 mm larg. 250 mm haut. 50 mm	— — —	ø 400 mm épais. 150 mm	ø 250 mm épais. 100 mm
- POIDS/UNITE	1 kg	0,4 kg	2,4 kg	2,6 kg	12 kg	5,8
- DUREE DE VIE GARANTIE	—	—	—	—	—	—
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	—	—	—	—	—	—
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	25.000 FMS	12.500 FMS	20.000 FMS	50.000 FMS	120.000 FMS	n.d.
BESOIN EN 1987	80	35	30	10	15	100
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale	à celle de 1987		la cimenterie doit acheter 12 nouveaux paliers		

- PIECE (DESCRIPTION)	Couvercle de temple	Ecrou pour vis	Clapet de bobines	Soutiens de bride de chasse	repose fil comblé	disque à fil
- UTILISATION	tissage	tissage	tissage	tissage	tissage	tissage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	bronze	aluminium	aluminium	aluminium	aluminium
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	---	---	---	---	---	---
- DIMENSION D'ENCOBRE	Ø 200 mm épais 50 mm	Ø 50 mm	long. 100 mm long. 50 mm haut. 50 mm	long. 120 mm larg. 50 mm haut. 30 mm	long. 300 mm long. 300 mm haut. 50 mm	Ø 300 mm épais. 3 mm
- POIDS/UNITE	0,35 kg	0,8 kg	0,2 kg	0,2 kg	0,5 kg	0,5 kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	---	---	---	---	---	---
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	---	---	---	---	---	---
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	12.000 FMS	11.000 FMS	1.200 FMS	800 FMS	16.000 FMS	8.000 FMS
BESOIN EN 1987	70 (gauche et droite)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1986						
BESOIN EN 1985						
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale	à celle du 1987				

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 6 tours - entre pointe 1,2 m à 5 m, Ø: 200 à 1000 mm
- 3 fraiseuses - verticale 300, horizontale 600, transversale 300
- 1 étau-limeur - course 300
- 1 perceuse à colonne Ø forêt 60
- 1 poste à souder électrique
- 1 poste à souder OR
- 1 poste à souder argon
- 1 poste de métallisation par pistolet (zinc, étain)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			n.d.	
Chiffre d'affaire (FMG)			n.d.	
Personnel (total)			4000	
Personnel (ouvrier)			n.d.	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- **Problèmes d'approvisionnement:**
Problèmes de rebut: 75% des pièces commandées à la SECREN alors que la SOTEMA lui fournissait les matières premières.

- **Qualité des produits locaux:**
Satisfaisante depuis que le principal fournisseur est la SERDI mais il reste le problème du délai de livraison non respecté. Les prix des produits sont modérés par rapport aux importations.

- **Problèmes techniques rencontrés:**

N.B.:

La SOTEMA n'a aucun projet de création de fonderie propre bien que ses besoins soient en série. Avec les nouvelles machines à tisser dont le nombre a diminué alors que la performance est plus grande, les besoins en pièces moulées sont aussi diminués.

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: COTONNIERE D'ANTSIRABE

ACTIVITE: Textile
ADRESSE: Cotona RP 45 Antsirabé TELEPHONE: 484-22

PERSONNE CONTACTEE:	FONCTION:
Rakotomalala Alain	Responsable mécanique
Rasoanaivo Henri	Responsable fonderie

DATE INTERVIEW: 09/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Mr Honoré, Mlle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- N.B.**
- Les pièces moulées nécessaires à la COTONA sont très nombreuses. Aussi, nous nous sommes limités aux pièces de gros tonnage, lesquelles sont surtout nécessaires dans les métiers à tisser.
 - C'est la propre fonderie de la COTONA qui fabrique les pièces moulées pouvant être faites localement: donc elle n'a pas d'autre fournisseur local et importe les pièces spécifiques.

<ul style="list-style-type: none"> - PIECE (DESCRIPTION) - UTILISATION - CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS - EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE - DIMENSION D'ENCRE - POIDS/UNITE - DUREE DE VIE GARANTIE - DUREE DE VIE EFFECTIVE - PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.) 	Joint à boulet	Roue à rochet	Porte galet de chasse
BESOIN EN 1987			
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1989)	40 pièces	20 pièces	70 pièces

- PIECE (DESCRIPTION)	Come de chasse	Vilebrequin pour mouvement sobre
- UTILISATION		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	Acier	Acier
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCRE	45 x 210	110 x 150
- POIDS/UNITE	3,8 Kg	0,7 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	6 ans	2 ans
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987		
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1989)	100 pièces	200 pièces

- PIECE (DESCRIPTION)	Support de chasse	Palier de chasse	Roues à rochet	Epée de battant
- UTILISATION	métier à tisser	tissage	tissage	tissage
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	fonte	fonte	alu
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	Ft 25	Ft 25		AU 5 GT
- DIMENSION D'ENCOMBRE	600 x 400 mm	300 x 150	ø 250 x 40	1000 x 300
- POIDS/UNITE	18 Kg	6 Kg	6 Kg	10 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE				
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	non disponible			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BESOIN EN 1987	300/an	400/an	300/an	200/an
BESOIN EN 1986				
BESOIN EN 1985				
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987		

- PIECE (DESCRIPTION)	Poussoirs de baguette	Support mobile
- UTILISATION	metier à tisser	metier à tisser
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	alu	alu
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE	AU 5 GT	AU 5 GT
- DIMENSION D'ENCOMBRE	200 x 100	400 x 150
- POIDS/UNITE	0,250 Kg	0,8 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE	n.d.	n.d.
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	n.d.	n.d.
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987	600/an	300/an
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS

(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 10 tours - entre pointe min: 0,500 mm - max: 3000 mm - Ø 800 mm
- 4 fraiseuses
- 5 perceuses
- 1 étau-limeur
- Poste à souder - OA (4) - électrique (6)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			35 millions de mètre	
Chiffre d'affaire (FMG)			n.d.	
Personnel (total)			3000	
Personnel (ouvrier)			2900	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:

- Qualité des produits locaux: voir questionnaire fonderie

- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: SOBOMA

**ACTIVITE: Bonneterie
ADRESSE: BP 3789
TELEPHONE: 443 54**

PERSONNE CONTACTEE: Mr René Tardy FONCTION: P.O.G.

**DATE INTERVIEW: 06/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Remarques:

- . Les entreprises capables de fabriquer des pièces valables sont: Renault, RNCFM, INPF
- . Les pièces d'usine les plus demandées: roues dentées, pignons, vis sans fin
- . Le poids des pièces varie entre 300 gr et 4 kg.

- PIECE (DESCRIPTION)	Bagues	Roue à chaîne des travail.	Roues à chaîne du tambour
- UTILISATION			
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	fonte	fonte
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE	0,6 Kg	1 Kg	3 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)			
BESOIN EN 1987	8 Kg/an (13 pieces/an)	36 Kg/an	18 Kg/an
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses,
aléseuses, perceuses, etc.)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			36.000 p/jour	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONU/DI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: TISMA

**ACTIVITE: Textile
ADRESSE: PK 25 Route Majunga
TELEPHONE: 257 93**

PERSONNE CONTACTEE: Mme Ratsimbazafy FONCTION: D.A.F.

**DATE INTERVIEW: 06/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Mr. Nirina, M.lle Marie Noëlle

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Remarques:

- . La maison mère est COTONA
- . Les pièces d'usine sont commandées chez COTONA (pièces susceptibles d'être fabriquées sur place)
- . Mais il est à signaler que le nombre de pièces commandées est très faible.
- . Les pièces sont très diversifiées, spécifiques, la plupart du temps il est très rentable de les importer, plutôt que les faire faire sur place.
- . Les pignons et les gros engrenages sont les plus demandés.

- PIÈCE (DESCRIPTION)	Levier de bosse	Roues dentées	Palier	Flasque
- UTILISATION	metier à tisser	metier à tisser	metier	pompe
- CITER MATIÈRES PREMIÈRES OU RÉFÉRENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte grise Ft 25			
- ÉVENTUELLES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITÉ				
- DIMENSION D'ENCRE	500 x 60			ø 160
- POIDS/UNITÉ	2 Kg			6 Kg
- DURÉE DE VIE GARANTIE				
- DURÉE DE VIE EFFECTIVE				
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)				
BESOIN EN 1987	30/an = 60 Kg/an	10/an		60 Kg/an
BESOIN EN 1986				
BESOIN EN 1985				
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987		

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

- 1 tour
- 1 fraiseuse
- 1 combinée

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			1.500.000 m de tissu/an	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)			150 dont 7 cadres	
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:

- Qualité des produits locaux:

- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONU/DI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: ENOUMA

ACTIVITE: -Simili cuir - sacs plastiques

ADRESSE: Tanjombato

TELEPHONE: 46431

PERSONNE CONTACTEE: Me Cesaia Amode

FONCTION: D.T.

DATE INTERVIEW: 18/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI

NON

80% des pièces d'usure sont fabriquées par la société ENOUMA elle-même.

- PIECE (DESCRIPTION)	Lame	Levier d'appel	Couvercle pour paliers
- UTILISATION	metier à tisser	metier à tisser	paliers
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	aluminium	aluminium	aluminium
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			
- POIDS/UNITE	0,1 Kg	0,2 Kg	0,1 Kg
- DUREE DE VIE GARANTIE			
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)			
BESOIN EN 1987	En tout 1 tonne par an pour ces pièces (matières ières : récupérat. de l'usine elle même) 300 Kg	500 Kg	200 Kg
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987	

- PIECE (DESCRIPTION)	Jet	
- UTILISATION	bagues, etc.	
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze	
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCOMBRE	jusqu'à # 60	
- POIDS/UNITE		
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE		
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987	200 Kg/an	
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses
aléseuss perceuses, etc.)

- 1 tour
- 1 fraiseuse
- 1 étau-limeur
- 1 perceuse
- 1 scie alternative

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle				
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: matières premières surtout acier pour les pièces
- Qualité des produits locaux: satisfaisante
- Problèmes techniques rencontrés: manque d'outillage pour la fabrication des pièces

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIÈCES MOULÉES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)**

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: TANA-KOBA

ACTIVITE: Minoterie
ADRESSE: IG 46 A - Ambalavao Isotry
TELEPHONE: 286-89

PERSONNE CONTACTEE: Razanamarivo Catherine
FONCTION: Propriétaire gérant

DATE INTERVIEW: 25/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER:

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI 答 非 NON 答 非

Remarques:

C'est une petite minoterie, dont la seule machine a été achetée en 1983 et est actuellement à vendre car l'activité ne serait pas rentable.

Les seules pièces renouvelées entre 1983 à ce jour ne concernent pas les pièces moulées de fonderie: il s'agit de "marteau", plaque d'acier utilisée pour le broyage (référence HP 2, importée) qui s'use tous les 6 mois; la machine compte 15 pièces marteau au total; il s'agit en outre de tamis.

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE**

(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)

ACIER

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: Ets RAMANANDRAIBE

ACTIVITE: Rizerie

**ADRESSE: 50 Rue Pasteur Isotry
TELEPHONE: 207-36**

PERSONNE CONTACTEE: Mr Razafindrakoto FONCTION: Machiniste

**DATE INTERVIEW: 25/04/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Marie Noëlle, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

- PIECE (DESCRIPTION)	Bielle	Arbre
- UTILISATION	pour séparateur	transmission
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	acier
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCOMBRE		ø 40 x 1000
- POIDS/UNITE		
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE	30 ans	8 mois récupération de l'usine
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987		6
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses, aléseuses, perceuses, etc.)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle			1.900 t de paddy	
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)			85 à 88	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement:
- Qualité des produits locaux:
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIÈCES MOULÉES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: COMEPLAST

ACTIVITE: Plastique tuyauterie

**ADRESSE: Ambohibao
TELEPHONE: 444-45**

PERSONNE CONTACTEE: Mr Azad Mandjee FONCTION: Responsable usine

**DATE INTERVIEW: 18/05/88
HEURE DEBUT:
HEURE FIN:**

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI NON

Pas de pièces de fonderie

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. DP/MAG/82-010 de l'ONUUDI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: CARTON ELGE

ACTIVITE: Fabrication de cartons

ADRESSE: BP 62 TOAMASINA

TELEPHONE: 324-63 ou 324-64

PERSONNE CONTACTEE: Mr Ratsimba

FONCTION: Directeur

DATE INTERVIEW: 09/05/88

HEURE DEBUT:

HEURE FIN:

AGENT INTERVIEWER: Gilbertine, Ny Aina

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI

NON

Remarque :

Pour le cylindre de 800 kg la rectification est faite par la fonderie du Réseau National de Chemins de Fer (RNCFM)

- PIECE (DESCRIPTION)	Poulie	
- UTILISATION		
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte	
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE		
- DIMENSION D'ENCOMBRE		
- POIDS/UNITE	20 Kg	
- DUREE DE VIE GARANTIE		
- DUREE DE VIE EFFECTIVE		
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)		
BESOIN EN 1987	1 pièce = 20 Kg	
BESOIN EN 1986		
BESOIN EN 1985		
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	La demande est égale à	celle du 1987

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses,
aléseuses, perceuses, etc.)

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle	1.000 t/an de carton environ ce qui correspond à 30% de la potentialité			
Chiffre d'affaire (FMG)	1.750.000.000 FMG/an environ			
Personnel (total)			90	
Personnel (ouvrier)			70	

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- Problèmes d'approvisionnement: à cause tresorerie
- Qualité des produits locaux: rien à signaler jusqu'à maintenant
- Problèmes techniques rencontrés:

**INTERVIEW SUR LES BESOINS
EN PIECES MOULEES DE FONDERIE
(FONTE - ALUMINIUM - CUPRO-ALLIAGES)
ACIER**

Dans le cadre du projet "Etude de réhabilitation des fonderies existantes" réf. OP/MAG/82-010 de l'ONUOI en collaboration avec la Société BALDO de Milan, le bureau d'étude DINIKA est chargé d'interviewer des unités industrielles pour connaître leurs besoins en pièces moulées (fonte, aluminium, cupro-alliages, acier).

L'interview porte sur les pièces d'origine (première installation) et sur les pièces de rechange. Dans le cas des pièces de rechange, il est utile de connaître les moyens et les équipements dont dispose l'unité industrielle pour l'entretien et la réparation (machines, outils et autres).

RAISON SOCIALE: ANTOLE ASA ENY AMBANIVOHITA

**ACTIVITE: Aménagement hydro-agricole - Travaux agricoles -
Représentant soviétique pour le service après-vente des
tracteurs soviétiques**

ADRESSE: B.P. 7148 Nanisana

TELEPHONE: 402.07

PERSONNE CONTACTEE: M. Rasoloarison Jean Richard

FONCTION: Responsable approvisionnement

DATE INTERVIEW: 16/11/88

HEURE DEBUT: 14 h

HEURE FIN: 16h30

AGENT INTERVIEWER: Mr. Clovis

L'INTERLOCUTEUR DESIRE T-IL UNE COPIE DE L'INTERVIEW ?

OUI ☐

NON ☐

- PIECE (DESCRIPTION)	pignon mené	pignon menant	coussinet
- UTILISATION	tracteur	tracteur	bielle (tracteur)
- CITER MATIERES PREMIERES OU REFERENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	fonte URSS	fonte URSS	bronze URSS
- EVENTUELLES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE CONFORMITE			
- DIMENSION D'ENCOMBRE			ø 73 larg. = 38 épais = 3
- POIDS/UNITE	5 Kg	3 Kg	250 g
- DUREE DE VIE GARANTIE	6 mois	6 mois	
- DUREE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	171,16 \$ (1986)	34,78 \$ (1986)	37,40 \$ (1986)
BESOIN EN 1987	2 unités	2 unités	24 unités
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	Pas encore bien définie financement. Pas de stock	car on a toujours des de sécurité	problèmes à propos de

- PIÈCE (DESCRIPTION)	coussinet	segment bas botin	dent de godet
- UTILISATION	palier (tracteur)	bulldozer	pelle YUMBO
- CITER MATIÈRES PREMIÈRES OU RÉFÉRENCES MARQUES ET FOURNISSEURS	bronze URSS	acier Henri PRAISE et Cie	acier Henri PRAISE et Cie
- ÉVENTUELLES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DE COMPORTEMENT			
- DIMENSION D'ENCOMBRE	ø 80 larg. = 31 épais = 3	long. = 200 larg. = 80 haut. = 100	long. = 150 larg. = 70 haut. = 90
- POIDS/UNITÉ	200 g	6 hg	5 Kg
- DURÉE DE VIE GARANTIE		1 année	6 mois
- DURÉE DE VIE EFFECTIVE			
- PRIX D'ACHAT UNITAIRE (INDIQUER SI LIVRE CONSOMMAT. OU LIVRE FOURNISS.)	48,14 \$ (1986)	25.610 Png + TUT (1984)	23.908 Png + TUT (1982)
BESOIN EN 1987	24 unités	36 unités	5 unités
BESOIN EN 1986			
BESOIN EN 1985			
TENDANCE FUTURE (1988, 1989, 1990)	Pas encore définie à cause	du problème de financement.	Pas de stock de sécurité.

Dans le cas où les pièces sont travaillées et usinées auprès de l'unité industrielle, veuillez indiquer les moyens utilisés.

MACHINES OUTILS
(exemple tours, fraiseuses
aléseuss perceuses, etc.)

- 1 tour
- 1 fraiseuse

	1985	1986	1987	1988
Production annuelle				
Chiffre d'affaire (FMG)				
Personnel (total)				
Personnel (ouvrier)				

AUTRES REMARQUES A PRECISER

- **Problèmes d'approvisionnement:** Coût de pièces très varié suivant fournisseurs - Longue attente de livraison. Pour les camions UNIC, on ne trouve plus de pièces (le constructeur n'en fabrique plus. Problème de financement.
- **Qualité des produits locaux:**
- **Problèmes techniques rencontrés:** Les qualités de la matière des pièces de rechange ne sont pas conformes à celles des pièces d'origine. Concours à l'adaptation du fait qu'on n'a pas pu obtenir convenablement les pièces (prix élevé, retard de livraison, etc.). La société assure le service après vente des tracteurs soviétiques, mais jusqu'à présent, les clients n'ont pas encore réclamé des pièces de rechange. La durée de vie des pièces dépend donc de l'utilisation des tracteurs chez les clients.