



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> 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.

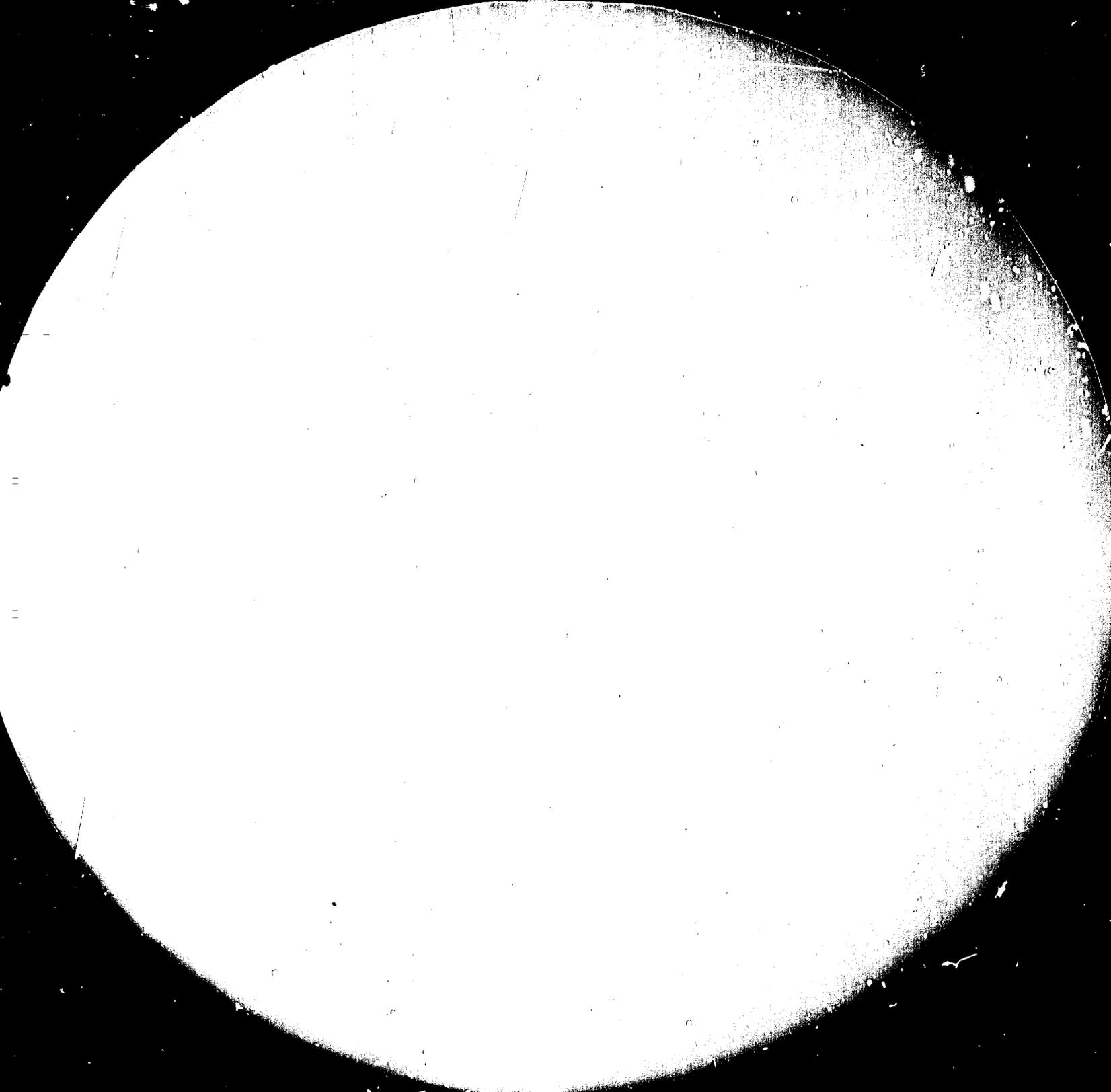
## FAIR USE POLICY

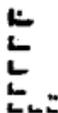
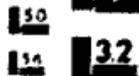
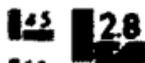
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





**MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART**  
**NATIONAL BUREAU OF STANDARDS**  
**STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a**  
**(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)**

# 13816-F

Distr.  
LIMITEE

UNIDO/IO.586  
19 juillet 1984

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCAIS  
Original : ANGLAIS

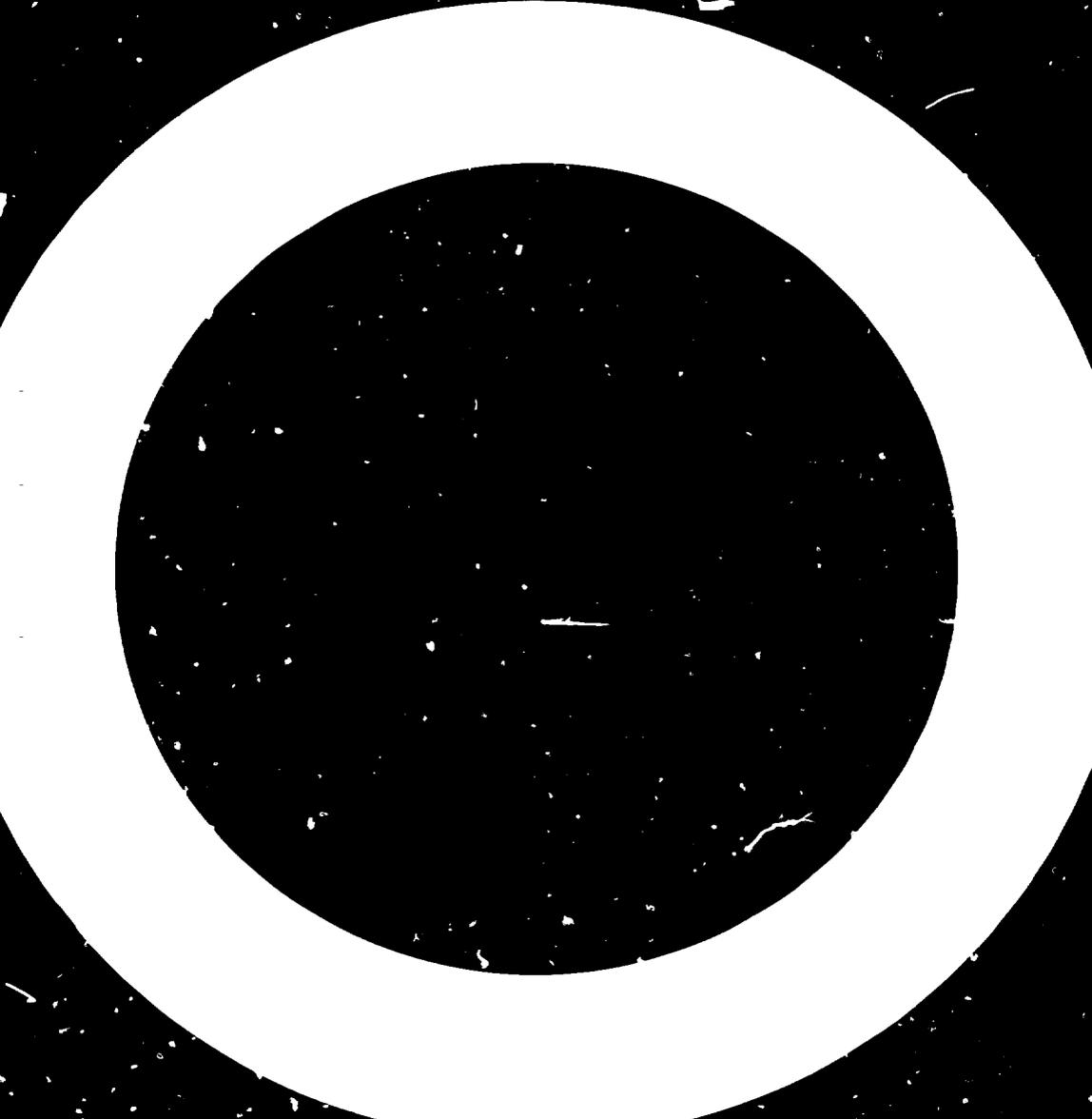
ETUDE D'UN PROJET D'USINE  
D'EXTRUSION ET D'ANODISATION D'ALUMINIUM \*/

par

- L. Schippert, ingénieur métallurgiste (chef de l'équipe)
- V. Sapsal, ingénieur chimiste (atelier d'extrusion)
- J. Csák, ingénieur métallurgiste (fonderie de billettes)
- E. Szontagh, ingénieur chimiste (atelier d'anodisation)
- S. Baranyi, ingénieur électricien (installations auxiliaires)

\*/ Ce document est la traduction d'un texte qui n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).



## TABLE DES MATIERES

|  | <u>Page</u> |
|--|-------------|
| Liste des tableaux .....   | v           |
| Liste des figures .....  | vi          |
| Liste des abréviations .....   | vii         |
| RESUME .....   | 1           |
| PREFACE .....  | 4           |
| <br>   |             |
| 1. ATELIER D'EXTRUSION .....   | 12          |
| 1.1 <u>Conception</u> .....  | 12          |
| 1.1.1 Schéma général du processus de production .....                | 12          |
| 1.1.2 Extrusion et finition .....                                    | 12          |
| 1.1.3 Traitement thermique .....                                     | 24          |
| 1.1.4 Ecouissage .....   | 26          |
| 1.1.5 Filières .....   | 27          |
| 1.2 <u>Choix de la technique et du matériel</u> .....                | 30          |
| 1.2.1 Extrusion et finition .....                                    | 30          |
| 1.2.2 Traitement thermique .....                                     | 50          |
| 1.2.3 Ecouissage .....   | 52          |
| 1.2.4 Fourniture des filières .....                                  | 54          |
| <br>   |             |
| 2. FONDERIE DE BILLETES .....  | 58          |
| 2.1 <u>Conception</u> .....  | 58          |
| 2.1.1 Production des billetes .....                                  | 58          |
| 2.1.2 Traitement des déchets et production d'alliages<br>mères ..... | 63          |
| 2.1.3 Protection de l'environnement .....                            | 64          |
| 2.2 <u>Choix de la technique et du matériel</u> .....                | 65          |
| 2.2.1 Production des billetes .....                                  | 65          |
| 2.2.2 Description technique de la fonderie de billetes               | 73          |
| <br>   |             |
| 3. INSTALLATION D'ANODISATION .....                                  | 86          |
| 3.1 <u>Conception</u> .....  | 86          |
| 3.1.1 Techniques .....   | 86          |
| 3.1.2 Matériel .....   | 87          |
| 3.2 <u>Choix de la technique et du matériel</u> .....                | 89          |
| 3.2.1 Données définissant le type de matériel à<br>installer .....   | 91          |
| 3.2.2 Spécification du matériel .....                                | 91          |
| 3.2.3 Comment assurer la qualité .....                               | 94          |
| 3.2.4 Protection de l'environnement .....                            | 95          |
| <br>   |             |
| 4. COMMENT OBTENIR UNE TRANSFORMATION PLUS PUSSEE PAR EXTRUSION      | 97          |

|   | <u>Page</u> |
|---|-------------|
| 5. INSTALLATIONS AUXILIAIRES .....                                    | 100         |
| 5.1 <u>Conception</u> .....   | 100         |
| 5.1.1 Alimentation en courant électrique et services<br>publics ..... | 100         |
| 5.1.2 Entretien .....   | 101         |
| 5.1.3 Transport des matières .....                                    | 101         |
| 5.1.4 Emballage des produits extrudés anodisés ou non .               | 102         |
| 5.1.5 Stockage .....  | 102         |
| 5.1.6 Traitement des effluents .....                                  | 103         |
| 5.2 <u>Choix de la technique et du matériel</u> .....                 | 103         |
| 5.2.1 Alimentation en courant électrique et services<br>publics ..... | 103         |
| 5.2.2 Entretien .....   | 108         |
| 5.2.3 Transport des matières .....                                    | 114         |
| 5.2.4 Emballage des produits extrudés anodisés ou non .               | 115         |
| 5.2.5 Stockage .....  | 116         |
| 5.2.6 Traitement des effluents .....                                  | 118         |
| 6. GESTION DE L'USINE, ORGANISATION .....                             | 120         |
| 7. GUIDE POUR LES DECISIONS D'INVESTISSEMENT .....                    | 124         |

LISTE DES TABLEAUX

|  | <u>Page</u> |
|--|-------------|
| 1. Composition de quelques alliages d'aluminium pour extrusion .....   | 9           |
| 2. Paramètres d'homogénéisation (à titre indicatif) .....  | 18          |
| 3. Vitesses d'extrusion à employer (à titre indicatif) en (m/min) ..   | 21          |
| 4. Méthodes de trempe et températures du traitement thermique pour<br>mise en solution .....   | 25          |
| 5. Paramètres de vieillissement .....  | 25          |
| 6. Dimensions des billettes utilisées dans les presses, dresseuses<br>généralement utilisées (à titre indicatif seulement) .....   | 33          |
| 7. Indications sur le débit des presses et combinaison de presses<br>envisagées ici, pour un travail en trois équipes en tonnes par an   | 34          |
| 8. Débit des fours à gaz pour préchauffage de billettes, en tonnes .<br>/heure (chauffage jusqu'à 450 °C) (d'après les indications<br>fournies par la société Junker) .....  | 36          |
| 9. Débit des fours à induction de préchauffage de billettes, en<br>tonnes/heure (préchauffage jusqu'à 450 °C), (d'après les indi-<br>cations fournies par la Sté Junker)   | 36          |
| 10. Liste du matériel recommandé pour les installations d'extrusion,<br>fournisseurs, prix indicatifs .....  | 45          |
| 11. Matériel recommandé pour l'atelier de confection des filières,<br>fournisseurs possibles, prix indicatifs .....  | 55          |
| 12. Liste des machines et prix estimatifs du matériel pour une<br>fonderie d'une capacité annuelle de 16 000 t (FOB port du conti-<br>nent où le matériel est construit; montants d'après les prix de<br>1983) ..... | 83          |
| 13. Bâtiments de la fonderie .....   | 84          |
| 14. Besoins en personnel pour l'exploitation de la fonderie à trois<br>équipes .....   | 85          |
| 15. Matière technique pour l'atelier d'anodisation .....   | 92          |
| 16. Principaux éléments consommateurs de l'installation .....  | 104         |
| 17. Liste des installations d'alimentation en énergie et services<br>publics .....   | 112         |
| 18. Investissements directs .....  | 125         |
| 19. Recette de phase obtainable par unité investie .....   | 126         |

## Liste des figures

|   | <u>Page</u> |
|---|-------------|
| 1. Matériaux servant à la confection de portes et fenêtres en République fédérale d'Allemagne ..... | 6           |
| 2. Extrusion avec trempe et finition à la presse .....  | 13          |
| 3. Extrusion "traditionnelle" .....   | 14          |
| 4. Implantation du matériel dans l'atelier d'extrusion .....  | 16          |
| 5. Eléments d'une filière d'extrusion plate .....   | 29          |
| 6. Eléments d'une filière d'extrusion creuse .....  | 29          |
| 7. Schéma des techniques employées dans la fonderie de billettes .                                  | 68          |
| 8. Circuit des matières et quantités utilisées dans la fonderie ..                                  | 72          |
| 9. Plan d'une fonderie de billettes produisant 4 000 t/an .....                                     | 74          |
| 10. Plan d'une fonderie de billettes produisant 8 000 t/an .....                                    | 75          |
| 11. Plan d'une fonderie de billettes produisant 16 000 t/an .....                                   | 77          |
| 12. Plan général d'une installation comportant une seule presse ...                                 | 109         |
| 13. Plan général d'une installation comportant deux presses .....                                   | 110         |
| 14. Diagramme à barres de la création d'une usine .....   | 130         |

## Liste des abréviations

|                 |   |
|-----------------|---|
| pr.m            | - prix moyen  |
| t/an            | - tonnes par an   |
| %               | - pour cent   |
| cm <sup>2</sup> | - centimètre carré                                      |
| m <sup>2</sup>  | - mètre carré   |
| m <sup>3</sup>  | - mètre cube  |
| kN              | - kilo Newton - 10 <sup>3</sup> N (force)               |
| MN              | - mega Newton - 10 <sup>6</sup> N                       |
| MJ              | - mega Joule - 10 <sup>6</sup> Joule                    |
| GJ              | - giga Joule - 10 <sup>9</sup> Joule                    |
| bar             | - 0,1 MN/m <sup>2</sup> (pression)                      |
| mbar            | - millibar - 10 <sup>-3</sup> bar                       |
| Nm <sup>3</sup> | - mètre cube normal (à 20 °C et sous pression de 1 bar) |
| cos φ           | - facteur de phase                                      |
| NK°             | - degré de dureté de l'eau                              |

## RESUME

La présente étude est destinée à guider les efforts entrepris par les pays en développement pour créer une industrie de transformation de l'aluminium. Vu la grande diversité des demi-produits nécessaires pour fabriquer des produits finis, les changements rapides qui interviennent dans leur assortiment et leur prix relativement élevé, il ne convient pas de faire dépendre une telle industrie de transformation d'importations de demi-produits en aluminium. La nécessité d'un approvisionnement fiable et d'autres considérations économiques exigent que l'on fasse reposer l'industrie de transformation en produits finis d'un pays - si l'on veut qu'elle soit importante - sur une production nationale de demi-produits.

Si d'autre part, un pays en développement possède des gisements de bauxite exploitables et peut en tirer une production d'aluminium, il pourra augmenter considérablement la valeur du métal exporté (une fois satisfaits les besoins de sa propre économie) en le vendant sous une forme plus évoluée à savoir celle de demi-produits, voire de produits finis.

Compte tenu des capacités minimales qu'exigent la technique et la rentabilité, il est d'ordinaire à conseiller de commencer la production des demi-produits par l'établissement d'une usine d'extrusion. Il sera question ici de la possibilité d'un tel établissement et des variantes qu'elle peut comporter.

Nous examinerons la fabrication des produits suivants :

- profilés extrudés;
- profilés extrudés à surface anodisée;
- de plus, produits extrudés et étirés tels que barres, tubes et fils.

Dans les deux premiers de ces produits, ce sont les matières faiblement alliées et douées de propriétés moyennes qui prédominent, alors que le troisième groupe comporte une part importante de matières possédant des propriétés supérieures à la moyenne et plus fortement alliées.

S'agissant de l'approvisionnement en matières premières, la présente étude envisage les variantes suivantes :

- production à partir de billettes achetées,
- productions à partir de billettes produites par l'usine même du transformateur,
- production à partir de billettes achetées et produites par le transformateur.

Les chapitres premier à cinquième traitent des procédés et installations techniques des ateliers principaux et auxiliaires. Il y est également question de la dimension de l'usine à recommander, du matériel, du personnel et des autres conditions d'exploitation, du montant des immobilisations, de la possibilité de création de l'établissement etc., en ce qui concerne chacun des éléments techniques principaux et auxiliaires de l'usine.

#### CHAPITRE PREMIER, L'ATELIER D'EXTRUSION

Il est recommandé d'installer une seule presse et, lorsque l'usine aura atteint son plein développement, deux au maximum. L'assortiment ne comporte qu'une proportion insignifiante de produits non alliés; par exemple la fabrication de fils bruts non alliés n'est plus rentable aujourd'hui à moins d'avoir recours à la coulée continue. La plus petite presse envisagée est une presse à profilés d'une force de 16 MN et la plus grande une presse à tubes et à barres de 32 MN. La production va de 4 000 à 13 000 tonnes par an selon le matériel et l'assortiment des produits.

#### CHAPITRE DEUXIEME, LA FONDERIE DE BILLETES

S'il n'y a pas dans un voisinage relativement proche de fonderie capable de fournir des billettes, il est indispensable d'en créer une qui puisse produire au moins 50 pour cent de la demande de l'atelier d'extrusion. En effet, on peut améliorer la rentabilité en traitant dans l'usine même les déchets (copeaux, billettes rebutées, culots) alors qu'on perd de l'argent en vendant ces déchets et en achetant des billettes. On envisage ici les conditions nécessaires à la production de billettes à raison de 4 000, 8 000 et 16 000 t/a. Lorsque la fonderie aura atteint son plein développement, on pourra aussi envisager la production d'alliages mères ainsi que l'homogénéisation et le finissage de billettes en alliages à haute résistance.

#### CHAPITRES TROISIEME ET QUATRIEME, ANODISATION, TRANSFORMATION PLUS PUSSEE

L'anodisation est un procédé très courant de traitement des profilés extrudés. Le revêtement d'oxyde ainsi obtenu à la surface des profilés peut être coloré ou incolore (en couleur naturelle de l'aluminium); l'emploi de profilés colorés est aujourd'hui très répandu. Avec une bonne technique et un matériel approprié, une installation d'anodisation doit, pour être rentable, avoir une capacité d'au moins 3 000 t/a. C'est pourquoi nous envisageons ici des productions de 3 000 et 6 000 t/a, cette dernière étant obtenue au moyen de deux lignes

d'anodisation de 3 000 tonnes chacune.

Nous donnons une brève description de quelques autres opérations et matériels utilisables dans une usine d'extrusion qui permettent de pousser la transformation et d'augmenter la valeur des produits.

#### CHAPITRE CINQUIEME, INSTALLATIONS AUXILIAIRES

Les principaux sujets traités sont : l'alimentation en courant électrique et services publics, l'entretien, la fourniture de matières premières et accessoires (manutention et stockage des matériaux), l'expédition des produits finis (emballage, magasinage etc.). Il est également question du traitement des eaux usées de l'atelier d'anodisation.

Les CHAPITRES SIXIEME ET SEPTIEME décrivent les conditions générales concernant la création et l'exploitation de l'usine. Ils traitent en autres des possibilités d'acquisition de connaissances technologiques et de l'importance qui s'attache à la préparation de la vente des produits. Ils indiquent également les besoins totaux en matière de personnel, ainsi que les implantations et les calendriers d'exécution pour des usines partiellement ou entièrement développées. Ces chapitres donnent aussi une évaluation comparative simplifiée du rendement des investissements selon les diverses variantes possibles du projet jusqu'à réalisation du plein développement ainsi que des estimations provisoires de la rentabilité de l'exploitation.

La conclusion qui s'en dégage est que les travaux préparatoires indispensables au bien fondé des décisions peuvent être réalisés à condition de définir des objectifs concrets et d'avoir une connaissance approfondie des conditions de l'approvisionnement en matières premières, de la commercialisation et d'une façon générale de la situation locale.

## PREFACE

La présente étude se propose d'aider les investisseurs, les spécialistes, les techniciens etc., qui ont l'intention de commencer à créer une industrie de transformation primaire de l'aluminium en établissant une usine d'extrusion. On prend le plus souvent une telle décision afin d'obtenir, en transformant le métal de première fusion produit dans le pays en demi-produits, voire en produits finis, un bénéfice supérieur à celui que procure la vente du métal brut. Mais cette décision peut aussi intervenir lorsque le pays envisage de servir la demande intérieure en important et en transformant sur place de l'aluminium en lingots (ou tout ou partie en billettes) obtenable et transportable sans difficulté, au lieu d'importer des demi-produits qui sont beaucoup plus chers. Le bénéfice supplémentaire ainsi réalisé reste dans le pays.

Ce cas peut être celui d'un grand nombre de pays en développement. En effet, les prévisions sur la croissance de l'industrie de l'aluminium indiquent qu'elle dépassera la moyenne du développement (1). Cette prévision se confirme à plusieurs égards : premièrement, il est incontestable que les territoires de certains pays en développement recèlent des réserves considérables de bauxites et d'énergie naturelle non encore exploitées; ensuite, les prévisions les plus récentes sur la période s'étendant jusqu'à l'an 2 000 indiquent elles aussi que, compte tenu des difficultés que traverse l'économie mondiale, l'industrie de l'aluminium connaîtra un développement important (2, 3). On trouvera une excellente étude des industries de l'aluminium dans les pays en développement dans un document établi par l'ONU (4).

Avant d'entreprendre sur une grande échelle la fabrication de demi-produits en aluminium, il est très indiqué de réfléchir aux aspects exposés dans la section 2 du document (1).

Lorsqu'un pays ne dispose guère de ressources financières pour l'investissement, il faut surtout que la nouvelle usine fabrique des produits entièrement vendables et qu'elle atteigne le plus vite possible sa pleine capacité et sa pleine rentabilité. Deux conditions doivent être remplies à cette fin :

- la capacité de la plus petite usine qui puisse être exploitée efficacement du point de vue tant économique que technique ne doit pas dépasser par trop la demande du marché intérieure qu'on peut réellement espérer,
- comme il est impossible de remplir entièrement cette condition, le fabricant doit se rendre capable d'exporter en adoptant des spécifications de qualité plus strictes dès la période initiale de l'exploitation.

Cela dit, plusieurs arguments peuvent inciter un pays à commencer par créer

une usine d'extrusion et non un laminoir pour fabriquer des demi-produits en aluminium. Ces arguments sont les suivants :

- la capacité économique minimale et les investissements nécessaires à l'exécution d'un tel projet sont dix fois plus faibles pour une installation d'extrusion que pour un laminoir : un atelier d'extrusion produisant quelque 5 000 tonnes par an peut être rentable, si les circonstances s'y prêtent, alors que pour être rentable, une usine de laminage à froid répondant à toutes les nécessités actuelles doit produire au moins environ 50 000 t/a;
- le domaine d'utilisation des produits extrudés ou étirés présente une grande variété; cette technique permet de fabriquer un tiers de l'ensemble des demi-produits, toutefois pas toujours de la façon la plus moderne, par exemple dans le cas du fil;
- c'est dans la phase initiale du développement industriel que le domaine d'utilisation des produits extrudés et étirés connaît une expansion rapide (bâtiment, lignes de transmission d'électricité, transports, réparations);
- de 1964 à 1980, le taux de croissance de la fabrication de ces produits en questions a été, en Europe, double de celui des produits laminés, à savoir respectivement 10,2 et 5,7 pour cent (5).

Il faut cependant tenir compte de certaines circonstances défavorables :

- les profilés extrudés n'ont cessé d'être concurrencés sur le marché par d'autres matières et avant tout par les plastiques; la figure 1 montre la concurrence entre les matériaux servant à la confection de portes et fenêtres en République fédérale d'Allemagne (6); signalons toutefois que, dans ce secteur, la position de l'aluminium a été meilleure dans d'autres pays (5);
- de petits ateliers installés à proximité des zones d'utilisation peuvent représenter une concurrence, même pour l'aluminium;
- un nombre relativement élevé d'installations d'extrusion de faible capacité entraîne une forte sensibilité aux fluctuations du prix du métal brut, car ces établissements s'approvisionnent sur le marché libre et les fluctuations du prix du métal se répercutent presque immédiatement sur ceux des profilés.

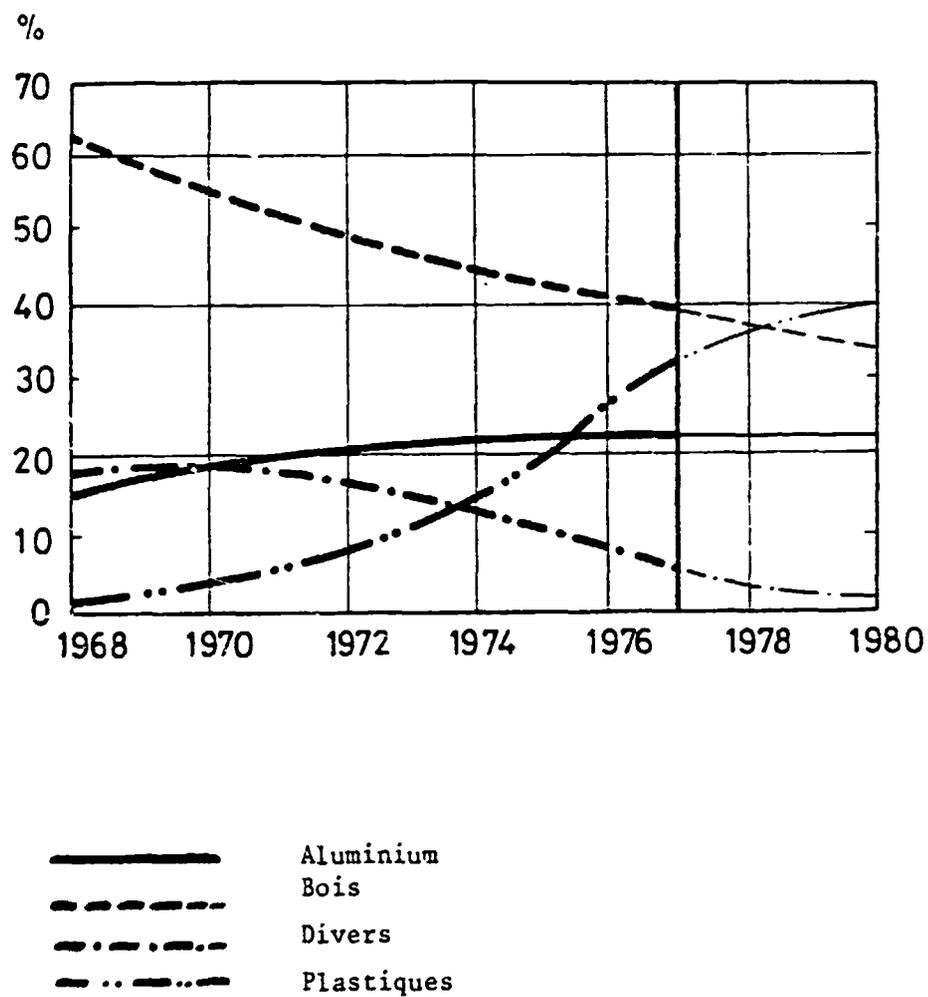


Figure 1.

Matériaux servant à la confection de portes et  
fenêtres en République fédérale d'Allemagne

(6)

Abstraction faite de celles qui ont une clientèle attirée et se sont spécialisées dans la production d'un nombre relativement faible d'articles de haute qualité, les installations d'extrusion doivent se tenir prêtes à traiter divers types d'alliages et de leurs variantes, et ce surtout dans la phase initiale du développement industriel du pays.

Il est recommandé d'employer les alliages conformes à la classification de l'Aluminium Association (AA) énumérés ci-dessous, désignés par des nombres de quatre chiffres dont le premier indique le type d'alliage défini par le principal métal d'apport :

- 1 xxx aluminium non allié
- 2 xxx principal métal d'apport : Cu
- 3 xxx principal métal d'apport : Mn
- 4 xxx principal métal d'apport : Si
- 5 xxx principal métal d'apport : Mg
- 6 xxx principaux métaux  
d'apport : Mg-Si
- 7 xxx principal métal d'apport : Zn
- 8 xxx alliages spéciaux

Le tableau 1 donne la composition de quelques types d'alliages que traitent les usines d'extrusion qui ne desservent pas le secteur militaire.

Grâce à la pellicule d'oxyde naturel qui recouvre sa surface, l'aluminium est considéré comme un métal exempt de corrosion. Cette proposition est vraie lorsqu'on compare d'une façon générale l'aluminium à l'acier, mais elle est à réviser en fonction de l'utilisation. Pour les applications dans l'industrie du bâtiment, la résistance de l'aluminium à la corrosion doit être envisagée à la lumière de deux considérations :

- les produits en aluminium tels que châssis de portes et fenêtres, façades, mains courantes etc., doivent avoir une durée de vie utile égale à celle du bâtiment; il faut aussi viser à réduire sensiblement les travaux de reconstruction;
- les effets nocifs de la corrosion par l'atmosphère ne doivent pas être négligés; malgré les efforts qu'on fait pour la réduire, la contamination de l'environnement entraîne des dégâts considérables dans les villes et les installations industrielles où ces éléments en aluminium sont le plus souvent utilisés.

Tableau 1

Composition de quelques alliages d'aluminium pour extrusion

| Numéro<br>d'identi-<br>fication de<br>l'AA | Mg             | Si           | Cu          | Mn            | Fe   | Zn          | Ni  | Ti   | Cr   | B    | Spécification<br>particulière | Autres impuretés |          |    |          |
|--|----------------|--------------|-------------|---------------|------|-------------|-----|------|------|------|-------------------------------|------------------|----------|----|----------|
|  |                |              |             |               |      |             |     |      |      |      |                               | Iso-<br>lément   | Ensemble | Al |          |
| 1050 A                                     | 0,05 <u>x/</u> | 0,25         | 0,05        | 0,05          | 0,40 | 0,07        |     | 0,05 |      |      |                               |                  |          |    | min.99,5 |
| 1350 <u>2x/</u>                            |                | 0,12         | 0,02        |               | 0,35 | 0,05        |     |      |      | 0,03 | Ti+V+Mn+Cr=0,015              | 0,02             |          |    | min.99,5 |
| 1200                                       |                |              | 0,05        | 0,05          |      | 0,10        |     | 0,05 |      |      | Si+Fe=1,00                    | 0,05             | 0,15     |    | min.99,0 |
| 2017 A                                     | 0,40-<br>0,80  | 0,7          | 3,8-<br>4,8 | 0,4-<br>0,8   | 0,7  | 0,30        | 0,1 | 0,1  | 0,10 |      |                               | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 2024                                       | 1,2            | 0,50         | 3,8-<br>4,9 | 0,30          | 0,50 | 0,25        | 0,1 | 0,15 | 0,10 |      | Ti+Zr=0,25                    | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 5056 A                                     | 4,5-<br>5,6    | 0,40         | 1,10        | 0,60          | 0,50 | 0,20        |     | 0,20 | 0,20 |      | Mn+Cr=(0,10-0,60)             | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 5754                                       | 2,7-<br>3,6    | 0,40         | 0,10        | 0,50          | 0,40 | 0,20        |     | 0,15 | 0,30 |      | Mn+Cr=(0,10-0,60)             | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 6005 <u>A3x/</u>                           | 0,4-<br>0,7    | 0,50-<br>0,9 | 0,30        | 0,50          | 0,35 | 0,20        |     | 0,10 | 0,30 |      | Mn+Cr=(0,12-0,50)             | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 6063 <u>4x/</u>                            | 0,45-<br>0,9   | 0,20-<br>0,6 | 0,10        | 0,10          | 0,35 | 0,10        |     | 0,10 |      |      |                               | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 6082                                       | 0,6-<br>1,2    | 0,7-<br>1,3  | 0,10        | 0,40-<br>1,0  | 0,50 | 0,20        |     | 0,10 |      |      |                               | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 6101 <u>B2x/</u>                           | 0,35-<br>0,6   | 0,5-<br>0,6  | 0,05        | 0,35          | 0,10 |             |     |      |      | 0,03 | Ti+V+Cr+Mn=0,03               | 0,03             | 0,10     |    | résiduel |
| 7020                                       | 1,0-<br>1,4    | 0,35         | 0,20        | 0,05-<br>0,50 | 0,40 | 4,0-<br>5,0 |     |      |      | 0,10 | Ti+Zr=(0,08-0,25)             | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |
| 7075                                       | 2,1-<br>2,9    | 0,40         | 1,2-<br>2,0 | 0,30          | 0,50 | 5,1-<br>6,1 |     | 0,20 |      |      | Ti+Zr=0,25                    | 0,05             | 0,15     |    | résiduel |

Notes : x/ Lorsqu'un seul nombre est indiqué, il signifie la valeur supérieure  
2x/ Métal pour fils électriques  
3x/ Se prête à la trempe à la presse; se prête particulièrement bien à l'anodisation  
4x/ Se prête particulièrement bien à la trempe à la presse et à l'anodisation.

En dépit de leur diversité, les tendances de l'architecture ont eu et auront pour objectif commun de construire des bâtiments modernes non seulement pratiques mais présentant aussi une valeur esthétique.

L'application d'un traitement de surface est indispensable à la durée tout comme à l'aspect décoratif du bâtiment. Aux Etats-Unis par exemple, 95 pour cent de tous les produits d'aluminium extrudés utilisés dans le bâtiment sont anodisés depuis 15 ans et cette proportion ne s'est pas modifiée.

On connaît plusieurs procédés de traitement de surface : on anodise les produits extrudés pour les protéger cependant que l'emploi de divers procédés de peinture s'est généralisé pour la protection des produits laminés. Les laminés peints peuvent toujours être plus ou moins déformables alors que les couches fragiles d'oxyde ne tolèrent aucune déformation. Mais c'est l'anodisation qui, de tous les traitements de surface, assure aux produits en aluminium la plus longue durée utile. La valeur technique et esthétique des produits destinés à l'industrie du bâtiment peut être considérablement accrue par des couches d'oxyde colorées qui en favorisent aussi la vente. Les éléments en aluminium pour l'industrie du bâtiment, lorsqu'ils sont convenablement traités, notamment par l'anodisation, et posés, n'exigent pratiquement pas d'entretien; ils ne vieillissent pas comme les plastiques, et ont un aspect très esthétique ce qui leur confère d'importants avantages sur les autres matériaux concurrents dans le bâtiment ou dans d'autres domaines.

L'importance des ressources financières nécessaires à la réalisation du projet ne saurait être définie d'avance car elle dépend de plusieurs facteurs et avant tout de la nature de l'usine de base (laminoir, extrusion), du produit de départ (billettes achetées, lingots), de l'assortiment des produits fabriqués (profilés, tubes, barres, produits étirés etc.), du degré de transformation (par exemple le pourcentage des articles anodisés) et du coût des immobilisations. D'après le document (1) il faudrait, pour créer un ensemble industriel entièrement verticalisé et produisant 100 000 t/a de produits finis en aluminium, environ 670 millions de dollars des Etats-Unis (aux prix de 1977). 38 pour cent de ce montant seraient affectés à la fabrication de demi-produits. En supposant qu'un rendement de 76 pour cent en moyenne puisse être atteint par des usines transformant des demi-produits en produits finis et compte tenu de la hausse des prix des machines intervenue depuis quelques années, on peut calculer qu'il faudrait aujourd'hui investir 2,5 millions de dollars pour créer une installation produisant 1 000 t/a de demi-produits à partir de lingots (ce montant ne comprend pas les intérêts ni les disponibilités à court terme).

A fin 1983 les prix ci-dessous (franco à bord, emballage compris, en dollars par tonne) étaient en vigueur :

|   |             |
|---|-------------|
| Al 99,5 en lingots (LME)                | 1 530       |
| 6 063 en billettes                      | 1 610-1 630 |
| 6 063 en profilés de complexité moyenne | 2 160-2 280 |
| " anodisés, incolores                   | 2 350-2 550 |
| " anodisés bronzés                      | 2 700-2 900 |

Il faut souligner que l'on peut réduire le coût primaire de toute l'installation si l'on sait fondre les déchets et en couler des billettes. Le renvoi des déchets à la fabrication ne coûte pas plus de 5 pour cent de l'énergie nécessaire à la fabrication.

Du point de vue d'une usine donnée, la différence entre le prix d'achat des matériaux de base et le prix de vente des produits livrés qu'on appelle le prix de phase présente une importance capitale. On peut agir sur lui très favorablement en ayant recours à l'anodisation ou, d'une façon générale, en poussant la transformation des produits à livrer.

Tout au long de la présente étude on suppose qu'il s'agit de la création d'une installation tout à fait moderne. En effet l'investisseur d'un pays en développement, que ce soit un établissement public ou une compagnie privée, sera obligé de concurrencer les usines des pays développés tant en ce qui concerne la qualité que le prix de revient des produits fabriqués.

Il faut souligner que l'automatisation des installations et l'emploi de la commande par ordinateurs présentent une grande importance parce qu'ils permettent non seulement d'économiser du personnel d'exploitation mais aussi d'obtenir une qualité constamment bonne et des frais de fabrications modiques et compétitifs. Mais il n'est évidemment pas nécessaire d'automatiser toutes les opérations et d'assurer la commande par ordinateur de tout le processus, même dans une usine moderne.

Les auteurs ont supposé que les lecteurs de la présente étude connaissent les principaux processus technologiques tels que l'extrusion, l'étirage, la coulée des billettes, l'anodisation etc. Dans le cas contraire, il serait bon qu'ils en prennent connaissance en étudiant des livres et des manuels technologiques dont il existe un très grand nombre.

Bibliographie

- (1) The Economic Uses of Aluminium (based on Hungarian Experience); Bokor A., Domony A., Varga I., Rapport de l'ONUDI, août 1979.
- (2) C.M. Varsavsky : Growth aspects of the primary aluminium industry to the year 2000, Aluminium, Düsseldorf 58 1982, 3, pp. 191-195.
- (3) The development of aluminium sales up to 1990, PROGNOSE AG, Bâle (Suisse). Rapport de l'ONUDI, juillet 1980.
- (4) Status of the aluminium semi-products industry in some developing countries. R. Kumar : rapport de l'ONUDI, septembre 1982.
- (5) Camatini, G. : Pricing of aluminium semifinished products in Western Europe. Metals Technology mai 1983, pp. 182-187.
- (6) Altenpohl, D.G., Materials in World Perspective, Springer-Verlag, Berlin-New York, 1980.

## 1. ATELIER D'EXTRUSION

### 1.1 Conception

#### 1.1.1 Schéma général du processus de production

Dans l'atelier d'extrusion, le processus de production commence par la réception des billettes ou lingots et se termine par l'emballage. Lorsqu'on procède aussi à l'anodisation, l'emballage a lieu après cette dernière. La fourniture des filières et du matériel d'emballage, le contrôle de la qualité des produits finis et les autres traitements des produits extrudés exécutés dans l'usine ne font pas partie de l'extrusion bien que certaines de ces opérations, voire toutes, puissent être effectuées dans l'atelier d'extrusion. Il en va de même de l'homogénéisation lorsqu'elle n'est pas effectuée en même temps que le préchauffage.

Il peut y avoir plusieurs variantes du processus de fabrication selon le produit à fabriquer et les alliages utilisés d'une part et de l'autre selon la genre de billettes dont on dispose.

On peut d'une façon générale classer les ateliers d'extrusion en deux catégories :

- ceux où la plus grande partie des opérations qui suivent l'extrusion, voire toutes dans les ateliers les plus modernes, sont exécutées sur une ligne de finition qui fait partie de la presse elle-même;
- ceux où une part importante des opérations consécutives à l'extrusion est exécutée par un matériel indépendant de la presse.

Les figures 2 et 3 illustrent, pour plus de clarté, ces deux modes de fabrication. Il y sera fait référence dans la présente étude lors de la description des opérations et du matériel nécessaires à la fabrication. (Les opérations qui, d'un point de vue strictement technique, ne font pas partie de l'extrusion, sont encadrées en pointillé).

#### 1.1.2 Extrusion et finition

L'assortiment des produits de l'installation en question comporte d'abord des profilés en métal faiblement alliés destinés avant tout aux industries du bâtiment et de l'automobile. Les profilés sont soumis à des prescriptions très strictes en matière de tolérances dimensionnelles et de qualité de surface. On constate depuis peu, pour des raisons d'économie d'énergie et de matières premières, une augmentation de la proportion des produits moyennement alliés, plus résistants, destinés à des éléments portants. Il a également fallu modifier dans une mesure limitée les spécifications relatives aux propriétés mécaniques

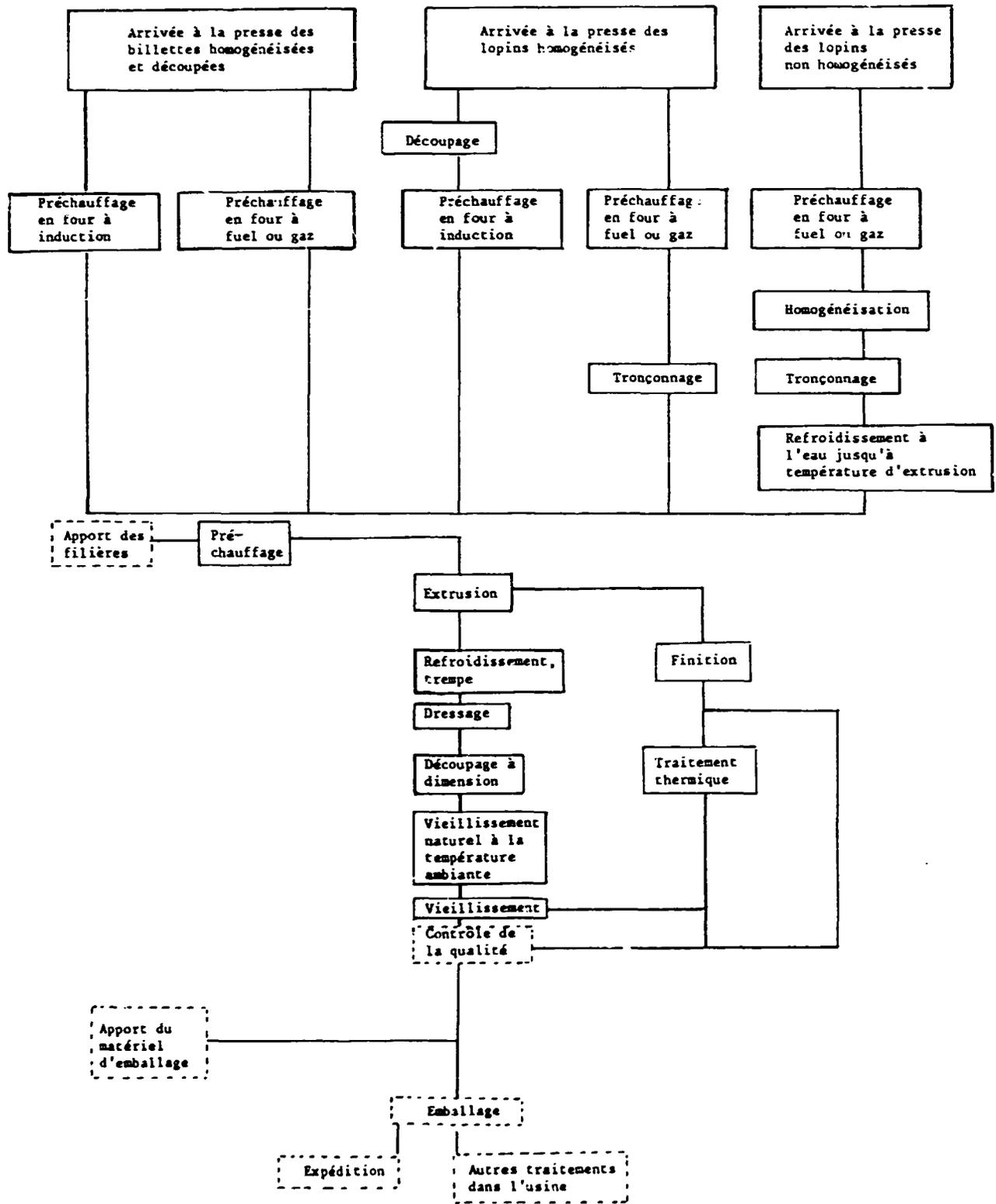


Figure 2.  
Extrusion avec trempé et finition à la presse

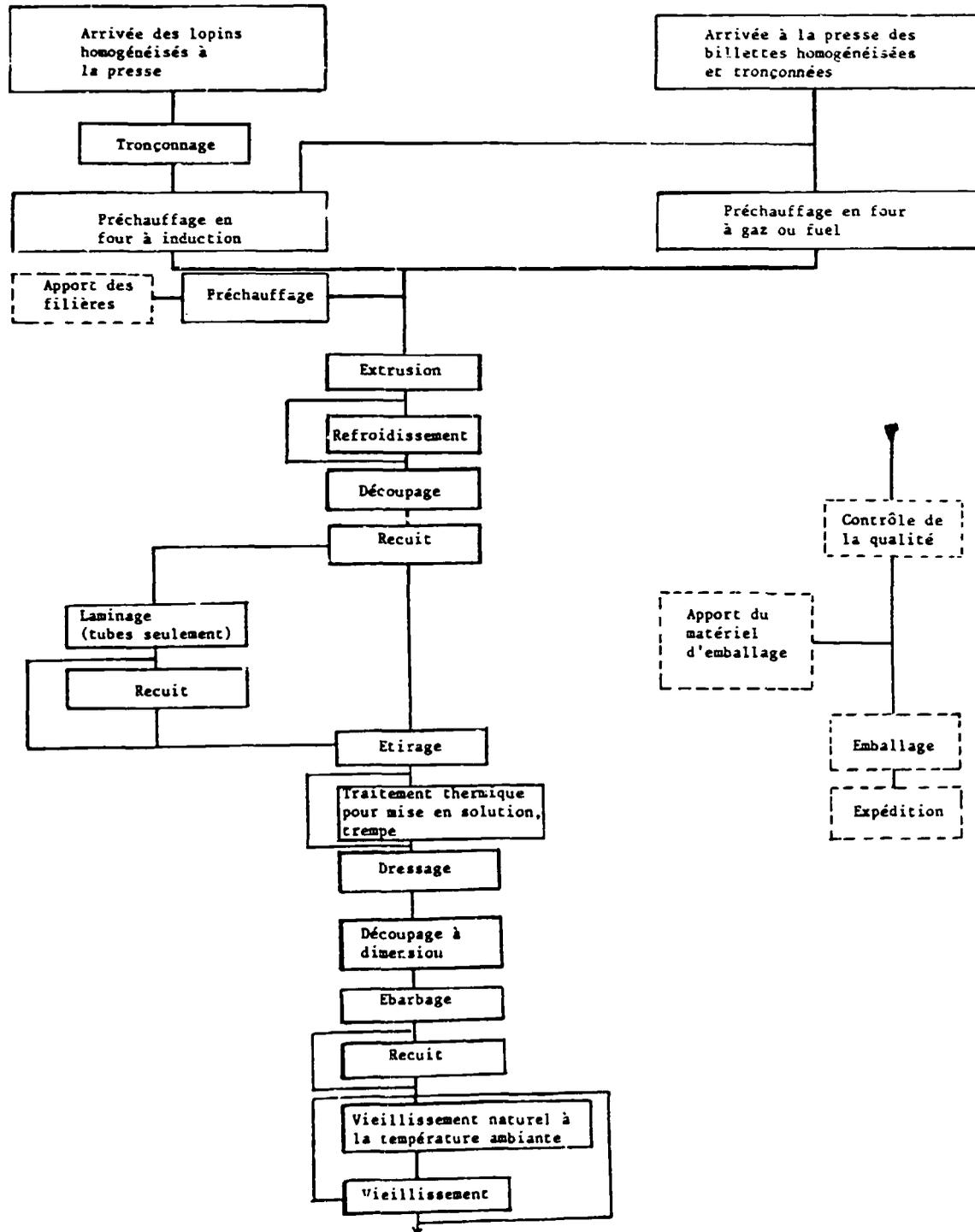


Figure 3.  
Extrusion "traditionnelle"

afin, par exemple, de faciliter les opérations de formage des utilisateurs.

Les installations de ce type présentent des avantages particuliers lorsqu'il s'agit de transformer des alliages faciles à extruder et surtout ceux qui se prêtent au traitement thermique et qui atteignent la résistance voulue sans qu'on ait appliqué des taux de refroidissement très élevés, et qu'on peut par conséquent tremper auprès de la presse.

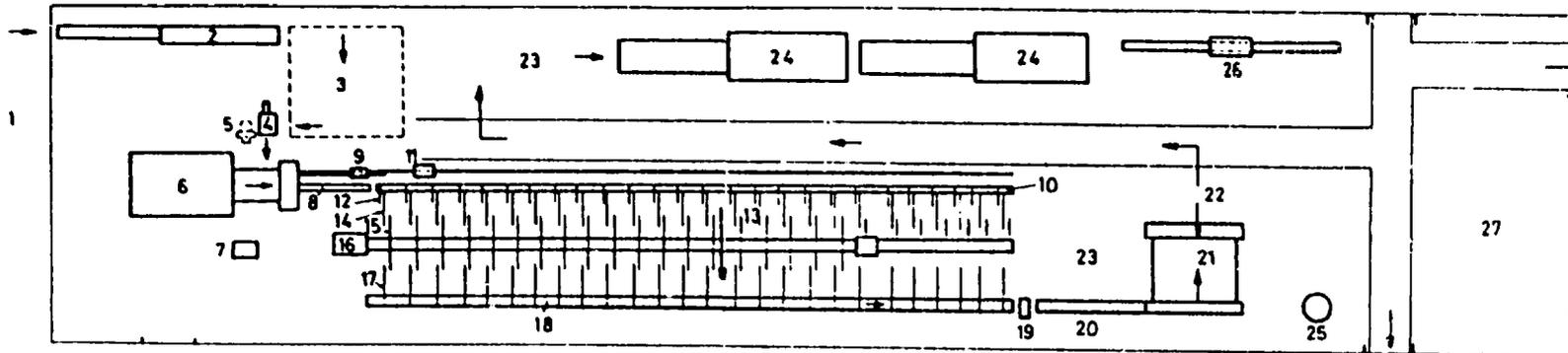
Les installations du type "traditionnelles" sont caractérisées par l'emploi d'une forte proportion d'alliages à haute résistance. Ces alliages n'atteignent la haute résistance voulue qu'à condition d'appliquer des paramètres de traitement thermique très stricts et des taux de refroidissement élevés. On peut obtenir une haute résistance des alliages non durcissables, par exemples ceux du groupe Al-Mg, par écrouissage. Ces opérations sont toujours exécutées hors de la presse. Il faut toutefois noter qu'on s'efforce de diversifier les compositions de manière à obtenir un nombre croissant d'alliages qui se prêtent au traitement thermique et peuvent être durcis à la presse.

Nous décrirons tout d'abord les opérations et le matériel utilisés pour l'extrusion ainsi que l'implantation des machines illustrés respectivement par les figures 2 et 4a.

Avant d'être extrudées, les billettes doivent être homogénéisées. L'homogénéisation est destinée à améliorer l'aptitude du métal au travail à chaud et les propriétés des produits en dissolvant les précipités hors d'équilibre des principaux éléments alliages qui constituent la phase de durcissement, en uniformisant la concentration de la solution solide, en décomposant la solution solide des éléments d'alliage complémentaire et des additifs et en transformant les autres phases qui se sont formées pendant la coulée. On ne peut pas obtenir de produits de haut rendement et de bonne qualité quand on utilise des billettes non ou insuffisamment homogénéisées.

Figure 4.

Implantation du matériel dans l'atelier d'extrusion



SUPERFICIE DE LA SALLE  
 4a : 24x108m = 2 592 m<sup>2</sup>  
 4b : 24x138m = 3 312 m<sup>2</sup>

Figure 4a

Presse et installations auxiliares pour la fabrication de profils en alliages très extrudables

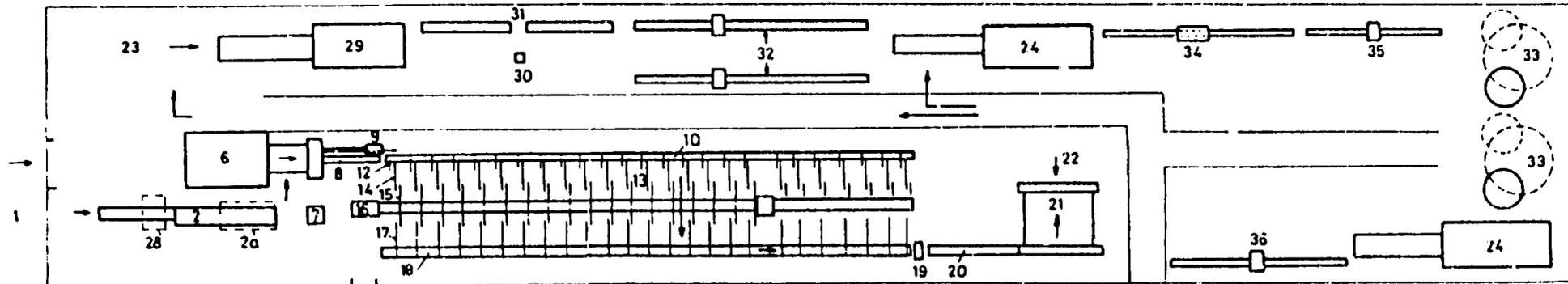


Figure 4b

Presse à tubes et barres et installations auxiliares pour l'extrusion d'alliages de haute résistance

Figure 4.

Implantation du matériel dans l'atelier d'extrusion

- 1 - Bâti incliné pour le stockage des lopins et des billettes
- 2 - Four de préchauffage au gaz ou fuel
- 2a - Four de préchauffage à induction
- 3 - Chambre d'homogénéisation
- 4 - Cisaille à billettes chaudes
- 5 - Refroidisseur à eau
- 6 - Presse à extruder
- 7 - Four de préchauffage des filières
- 8 - Table de départ
- 9 - Scie ou cisaille de découpage à chaud
- 10 - Table de sortie
- 11 - Extracteur
- 12 - Palan de transport à la table de refroidissement
- 13 - Table de refroidissement
- 14 - Convoyeur de transport au-dessus de la table de refroidissement
- 15 - Convoyeur de transport à la dresseuse
- 16 - Dresseuse
- 17 - Convoyeur de transport à la table de sciage
- 18 - Table de sciage
- 19 - Scie à découper
- 20 - Table de réglage de la scie
- 21 - Table d'inspection
- 22 - Palettisation
- 23 - Stockage des produits avant traitement thermique
- 24 - Four de vieillissement
- 25 - Machine à étirer les fils
- 26 - Machines à laminier les profilés
- 27 - Stockage des produits avant anodisation
- 28 - Scie à billettes
- 29 - Four de recuit
- 30 - Marteau
- 31 - Bain de dégraissage
- 32 - Banc à étirer les barres et tubes
- 33 - Four de traitement pour mise en solution et trempe
- 34 - Laminoir à barres et tubes
- 35 - Presse hydraulique à dresser
- 36 - Scie à découper

Pour l'homogénéisation, il faut choisir une température située entre celle de l'équilibre du solidus et celle du solvus de l'alliage. La durée de l'opération est à définir en fonction du temps nécessaire aux processus décrits plus haut d'une part et de l'autre de la capacité des fours.

Le tableau 2 récapitule les températures et les durées d'homogénéisation.

Tableau 2

Paramètres d'homogénéisation (à titre indicatif)

| Alliage                       | Température en °C | Temps en heures <u>1/</u> |
|-------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Aluminium non allié <u>2/</u> | 600-620           | 4-12                      |
| 2017, 2024                    | 490-510           | 6-12                      |
| 5056                          | 530-550           | 4-8                       |
| 5754                          | 510-570           | 4-8                       |
| 6005, 6063                    | 560-580           | 4-8                       |
| 6082                          | 520-540           | 8-16                      |
| 7020                          | 460-500           | 6-12                      |
| 7075                          | 460-480           | 8-16                      |

Notes : 1/ Temps de maintien : pour obtenir le temps total du cycle, ajouter le temps nécessaire pour arriver à la température voulue.

2/ L'homogénéisation des métaux non alliés n'est nécessaire que dans le cas d'applications spéciales.

Les billettes peuvent être homogénéisées soit dans l'atelier d'extrusion soit ailleurs par exemple dans la fonderie ou chez le producteur de billettes dans un four à chambres.

Après homogénéisation les billettes doivent être ramenées à la température ambiante. Pendant le refroidissement, les phases de durcissement forment des précipités d'autant plus grands que le taux de refroidissement est faible. Ces phases augmentent la résistance du produit lorsqu'on les dissout à nouveau, et il faut à cette fin le chauffer encore une fois. Cette opération est particulièrement délicate lorsque la trempe s'effectue auprès de la presse car la dissolution des phases prend un certain temps qui doit être d'autant plus long que les précipités sont grands et que la température est plus basse. Pour pouvoir adopter de grandes vitesses d'extrusion, il faut employer des billettes à basse température, ce qui allonge le temps nécessaire à la dissolution. Inversement pour pouvoir extruder rapidement des billettes à des températures suffisamment basses sans risquer d'obtenir un produit peu résistant et irrégulier,

il faut assurer un refroidissement des billettes régulier et suffisamment rapide après l'homogénéisation afin d'obtenir des phases précipitées suffisamment petites.

Si l'on refroidit les billettes très rapidement, par exemple avec de l'eau, il n'y a pratiquement pas de précipitation et il se produit une forte résistance à la déformation qui entrave ensuite le processus d'extrusion. Avec les métaux faiblement ou moyennement alliés trempés auprès de la presse, par exemple 6063, 6005, 6082, 7020, le refroidissement des billettes après homogénéisation s'effectue à une vitesse réglée dans des chambres au moyen d'air ou d'aspersion d'eau.

Les billettes doivent être préchauffées avant l'extrusion. On utilise à cette fin des fours poussants à induction, à gaz ou à fuel. Les billettes ou lopins découpés passent l'un derrière l'autre dans l'axe de ces fours. Pour le préchauffage des billettes découpées, on recommande le four à induction mais on peut aussi utiliser des fours à fuel ou à gaz. Les lopins homogénéisés à préchauffer en four à induction doivent être préalablement découpés à froid au moyen d'une scie. Lorsqu'ils sont préchauffés en fours à gaz ou à fuel le découpage s'effectue au moyen de cisailles à chaud immédiatement avant l'introduction dans la presse. Ce procédé présente sur le découpage à froid à la scie l'avantage de ne pas produire de copeaux et de permettre de découper des matériaux moins résistants.

Dans les usines les plus modernes, le métal est reçu sous la forme de lopins non homogénéisés (4a, 1) dont l'homogénéisation ainsi que le préchauffage font partie de l'opération d'extrusion. Ils sont préchauffés un à un dans un four poussant (2) à gaz ou à fuel jusqu'à température d'homogénéisation, puis transmis à un four de réchauffage (3) auquel ils sont apportés par un convoyeur perpendiculaire à leur axe jusqu'à ce que l'extrusion ait lieu. Avant l'extrusion, le lopin est découpé par une cisaille à chaud (4) en tranches de la longueur voulue qui, après avoir été refroidies à l'eau (5) jusqu'à la température d'extrusion, sont introduites dans le conteneur de la presse. Cette méthode offre par rapport à l'homogénéisation séparée l'avantage d'économiser l'énergie nécessaire au préchauffage des billettes; elle a toutefois l'inconvénient d'entraîner des difficultés quand on change d'alliage.

Avant de commencer l'extrusion il faut monter sur la presse la filière préchauffée voulue (voir à ce sujet le paragraphe 1.1.5).

Les principales caractéristiques d'une presse moderne sont les suivantes :

- structure peu encombrante permettant de faire l'essai de la presse dans l'atelier du fabricant avec un minimum de montage sur place;
- grande rigidité, le principal cylindre hydraulique et le conteneur étant montés et guidés de manière à ce que la filière, le conteneur et le piston soient toujours coaxiaux;
- propulsion oléo-hydraulique autonome fournie par une série de pompes axiales ou radiales de débit constant ou variable, le système hydraulique permettant d'extruder à grande vitesse et d'effectuer les opérations auxiliaires à très grande vitesse (vitesse du principal cylindre hydraulique environ 20mm/s et respectivement de 200 à 400 mm/s); cette dernière permet de limiter à 15 à 20 secondes le temps mort nécessaire pour introduire la billette, détacher la queue rebutée et le culot;
- rapidité du changement de filière grâce à un échangeur fixe permettant de faire toutes les opérations de changement d'un seul côté de la presse en une vingtaine de secondes, ce qui améliore la rentabilité même pour les petits lots;
- commande de la presse au moyen d'un système programmable à réglage rapide ne comportant ni relais ni commutations mécaniques. la commande programmable sert aussi d'interface avec l'ordinateur;
- conteneurs multicouches consistant en coquilles montées à chaud, principalement chauffées par induction.

La vitesse d'extrusion dépend pour beaucoup de l'alliage employé, de la complexité et de la nature du produit à obtenir, de l'état de la filière etc., et peut donc varier sensiblement comme le montre le tableau 3.

Tableau 3

Vitesses d'extrusion à employer (à titre indicatif), en (m/min)

| Alliage |        | Alliage |      |
|---------|--------|---------|------|
| 99,5 Al | 50-200 | 5754    | 3-15 |
| 6063    | 25-80  | 2017    | 2-10 |
| 6005    | 10-40  | 2024    | 2-4  |
| 7020    | 5-25   | 7075    | 2-4  |
| 6082    | 5-25   | 5056    | 2-6  |

Afin de réduire le volume du déchet et les temps morts, les presses sont munies de longues tables de sortie (40 à 60 m) (10). Les tables de refroidissement et de dressage sont de la même longueur.

La pièce extrudée (ou les pièces quand la filière est à plusieurs orifices) au sortir de la filière est apportée à la table de départ (8) et menée à la table de sortie (10) au moyen d'un mécanisme à chaîne sans fin. Des ventilateurs de refroidissement sont placés au-dessus et/ou au-dessous de la table de sortie. Dans certaines installations, l'air provenant de ventilateurs de grande puissance est amené par des conduites qui débouchent sous les tables de sortie et de refroidissement.

Le refroidissement par ventilateurs suffit pour durcir les produits à paroi peu épaisse en alliage 6063. Pour les produits du même alliage à parois plus épaisses ou pour des alliages plus fortement alliés tels que le 6005 par exemple, il faut refroidir davantage au moyen d'un arrosage à l'eau. Pour certains matériaux moyennement alliés tels que le 6082 par exemple, l'aspersion d'eau ne suffit pas à refroidir assez vite. En ce cas, on fait passer le produit par un bac rempli d'eau.

Pour certains produits extrudés par plusieurs filières, l'emploi d'un extracteur (11) est indispensable. Guidé hors de la presse ou découpé lorsqu'il s'agit d'extrusion continue, l'extrémité du profil est saisie par la pince de l'extracteur et guidé par une force de traction prédéterminée le long de la table de sortie à une vitesse égale à celle de l'extrusion. L'extracteur peut arrêter la presse lorsque la pièce a atteint la longueur voulue. L'emploi d'un extracteur présente l'avantage de séparer les pièces lorsque qu'il s'agit d'une extrusion multiple, d'égaliser les petites différences de longueur, de corriger la géométrie longitudinale de la pièce extrudée (par exemple la torsion). L'extrusion terminée, l'extracteur revient à la presse.

Les pièces ayant quitté la filière sont soulevées de la table de sortie et passées aux convoyeurs (14) qui constituent une table de refroidissement (13) au moyen d'un balancier (2). Il y a aussi des ventilateurs sous les convoyeurs.

Les pièces refroidies sont reprises par un autre convoyeur (15) entre les mâchoires de la dresseuse (16) hydraulique, et lorsque le dressage est terminé elles vont au convoyeur (17) qui alimente la table de sciage.

Les mâchoires de la dresseuse sont assez écartées pour permettre de dresser plusieurs pièces à la fois. Cette opération sert à absorber les tensions résiduelles et à améliorer la géométrie longitudinale et transversale des pièces extrudées. Le taux d'allongement doit être constant et conforme à la valeur prescrite pour le produit ou pour la filière en question.

Après dressage les pièces sont apportées par un convoyeur (17) à la table de sciage (18). La scie (19) sert à couper les pièces à la longueur voulue, fixée sur sa table de réglage (20).

Après vérification (21) les pièces sont placées sur des bâtis (22).

Les presses les plus modernes sont munies de fours de vieillissement intégrés dont la température peut être réglée avec une très grande précision et qui peuvent par conséquent donner les hautes températures de vieillissement permettant d'obtenir la résistance voulue en peu de temps. Les produits extrudés qui quittent ces presses sont prêts à être emballés et expédiés, ou bien à recevoir un traitement de surface. Les lignes d'extrusion automatisées comprennent en outre un poste d'emballage.

Dans la plupart des installations d'extrusion, le vieillissement a lieu dans des fours à chambres (24) qui ne font pas partie de la chaîne de la presse. Ces fours exigent eux aussi un réglage de la température assujéti à des tolérances assez strictes ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ).

Après vieillissement, les pièces reçoivent leur finition, sont dressées, emballées et expédiées. Si l'une d'elle présente, malgré les mesures prises, un contour défectueux, on peut la rectifier au moyen d'une profileuse (26).

Les installations du type "traditionnel" produisent des profilés d'une résistance moyenne et surtout forte, mais d'une forme plus simple. La figure 3 illustre leurs opérations et la figure 4b donne l'implantation du matériel.

Les billettes en alliages à haute résistance et une partie des billettes à résistance moyenne arrivent homogénéisées et découpées. Ces produits n'étant pas destinés à être trempés auprès de la presse mais à passer par des fours ou à être écrouis, il est bon de refroidir les billettes lentement après homogénéisation

car les précipitations de grandes dimensions améliorent leur aptitude à l'extrusion et le traitement thermique pour mise en solution dure assez longtemps pour permettre la dissolution des phases en durcissement. Ces billettes ne peuvent généralement être découpées qu'à l'état homogénéisé.

La dernière étape du processus d'extrusion consiste à chauffer les billettes dans des fours à induction, à gaz ou à fuel (voir 4b, 2 ou 2/a).

Pour améliorer le débit et augmenter le rendement on équipe aussi les presses à tubes de tables de sortie de grande longueur ainsi que de bacs à eau et de ventilateurs qui permettent de donner une bonne trempe aux produits trempés auprès de la presse et d'accélérer le refroidissement des autres pour en faciliter le durcissement.

Cette chaîne comprend également une dresseuse qu'on utilise comme dans les autres sauf quand le produit doit être ensuite recuit, écroui ou soumis à un traitement thermique pour mise en solution; le produit ne doit pas être dressé avant traitement thermique sous peine de prendre une structure grossière qui en abaisserait la qualité et pourrait même le faire rebuter.

Les pièces refroidies sont transportées jusqu'à la table de sciage (18), et après avoir été découpées (19,20) sont chauffées, écrouies par d'autres machines de l'atelier. Pour les détails du traitement thermique voir le paragraphe 1.1.3; pour ceux de l'écrouissage, le paragraphe 1.1.4.

Les opérations de finissage sont :

- le dressage
- le découpage à dimension
- l'ébarbage

Le dressage sert au même fins que celles qui ont déjà été indiquées; le matériel est lui aussi le même; il est à propulsion hydraulique mais déploie une force plus grande. On peut corriger la courbure des pièces à haute résistance et de forte section au moyen de marteaux excentriques ou de presses hydrauliques plutôt que de dresseuses. On peut redresser les barres et les tubes au moyen de redresseurs à rouleaux.

La scie sert à découper les pièces à la dimension voulue. Elle est équipée d'une table d'alimentation et d'une table de réglage des dimensions.

L'ébarbage des pièces extrudées se fait d'ordinaire à la main ou parfois à l'aide de turbo-rectifieuses manuelles.

### 1.1.3 Traitement thermique

Outre l'homogénéisation décrite au paragraphe 1.1.2, le traitement thermique pour mise en solution, le vieillissement et le recuit sont eux aussi exécutés dans l'atelier d'extrusion.

#### Traitement thermique pour mise en solution, trempe

Ces opérations sont exécutées après l'extrusion ou l'érouissage afin de mettre en solution les principaux éléments d'alliage (mise en solution) et de stabiliser cette solution solide au moyen d'un refroidissement très rapide à la température ambiante (trempe). La solution sursaturée qui se forme ainsi améliore les propriétés mécaniques et contribue à ce processus en le décomposant pendant le vieillissement qui fait suite à la trempe.

Le traitement thermique pour mise en solution peut s'administrer de deux façons différentes :

- à la presse après extrusion; en ce cas ce traitement a lieu pendant la déformation; la trempe peut s'effectuer à l'air ou bien par aspersion ou immersion dans l'eau;
- dans un four spécial, la trempe ayant d'ordinaire lieu dans l'eau.

La trempe auprès de la presse est préférable à la trempe en four car elle économise l'énergie et améliore la qualité. Les conditions à remplir pour la trempe à la presse sont les suivantes :

- chauffage de la billette et extrusion à une température donnée pendant une durée suffisante pour dissoudre les phases contenant les principaux éléments d'alliage;
- la température de déformation, c'est-à-dire à la sortie de la filière, doit être supérieure à celle du traitement thermique pour mise en solution;
- la vitesse de refroidissement doit dépasser celle nécessaire pour l'alliage donné.

Le tableau 4 récapitule les méthodes de trempe applicables à divers alliages. Pour des profils plus épais d'un même alliage, la trempe par aspersion ou immersion dans l'eau doit être préférée à la trempe à l'air.

Tableau 4  
Méthodes de trempe et températures du traitement thermique  
pour mise en solution

| Alliage | Trempe à la presse:<br>air, aspersion, immersion |   | Trempe<br>auprès du<br>four | Température du<br>traitement thermique<br>pour mise en solution<br>(en °C) |
|---------|--|---|-----------------------------|--|
| 6005    |  | X |                             | 530-550  |
| 6063    | X  | X |                             | 530-550  |
| 6082    |  | X | X                           | 530-550  |
| 7020    |  | X | X                           | 460-480  |
| 7075    |  |   | X                           | 460-480  |
| 2017    |  |   | X                           | 490-510  |
| 2024    |  |   | X                           | 490-510  |

L'emploi de la trempe auprès de la presse ne permet pas la fabrication de profilés épais. Selon l'épaisseur du produit, la durée du traitement thermique doit être de 0,5 à 1,5 heure, pour trempe après le four.

#### Vieillissement

Le vieillissement est destiné à dissoudre la solution solide sursaturée créée par la trempe pour obtenir des précipités de dimension, de nature et de dispersion appropriées, ce qui entraîne d'importants accroissements de la résistance du produit à la traction et à la rupture. Le vieillissement peut s'effectuer de façon naturelle, c'est-à-dire à la température ambiante, ou bien artificielle, c'est-à-dire dans des fours. Les résistances obtenues dépendent de la température et de la durée du vieillissement. Pour les métaux fortement alliés, il ne faut pas rechercher une résistance maximale car elle entraînerait la corrosion et la fragilisation. A titre indicatif, le tableau 5 donne quelques paramètres de vieillissement.

Tableau 5  
Paramètres de vieillissement

| Alliage    | Temps nécessaire au<br>vieillissement naturel | Température du vieillissement<br>artificiel, durée du maintien             |
|------------|---|--|
| 6005, 6063 |   |  |
| 6082       | -   | 170-180 °C      3-9 h  |
| 2017, 2024 | 4 - 5 jours                                   | 180 °C      16-20 h  |
| 7020, 7075 | 30 jours                                      | 5 à 7 jours à 20 °C - 100 °C<br>8 heures - 8 à 16 heures<br>à 140 à 160 °C |

## Recuit

Il faut effectuer une opération de recuit lorsque le produit doit subir une nouvelle déformation soit parce que sa ductilité s'est épuisée lors de l'écreuissage soit parce qu'elle est exigée par l'utilisateur final. Avant déformation, à moins qu'elle n'ait lieu immédiatement après écreuissage, les alliages vieillis naturellement à température ambiante doivent toujours être recuits. Le recuit doit s'effectuer à des températures de 350 à 400 °C pendant 3 à 5 heures pour chaque alliage. Les métaux durcissables à température ambiante doivent être refroidis jusqu'à 220 à 250 °C dans le four.

### 1.1.4 Ecreuissage

Le fabricant de demi-produits doit d'ordinaire procéder à une déformation supplémentaire des produits extrudés à savoir les tubes, et dans une moindre mesure les barres dans les circonstances suivantes :

- l'extrusion ne suffit pas à donner la précision voulue par l'utilisateur final : il s'agit par exemple de barreaux destinés au décolletage;
- l'extrusion ne permet d'obtenir, tout au moins économiquement, la dimension voulue par l'utilisateur final : il s'agit là, avant tout, de tubes à parois minces en alliages à moyenne et haute résistance.

Les barres extrudées sont déformées uniquement par étirage à froid; pour le traitement des tubes avant étirage on peut aussi envisager le laminage à froid.

Les grandes usines modernes emploient d'ordinaire des étireuses hydrauliques automatiques munies de plusieurs filières. La réduction du diamètre et l'amincissement de la paroi s'obtiennent d'ordinaire au moyen d'un poinçon fixé à l'extrémité d'un mandrin; on peut aussi envisager l'étirage de tubes par poinçon flottant pour les alliages de résistance faible et moyenne.

Le laminage à froid des tubes s'emploie ordinairement dans les grandes usines produisant des quantités considérables de tubes à haute résistance. Pendant longtemps, le rendement de ce procédé a été supérieur à celui de l'étirage parce qu'il permet d'employer des taux de réduction beaucoup plus forts. La différence a diminué récemment grâce à l'emploi de nouveaux types de lubrifiants pour étirage à froid qui donnent une forte capacité de réduction. Il faut donc, quand on envisage la construction d'une nouvelle usine, déterminer avec soin si un laminage à froid de tubes peut permettre de récupérer les fonds investis,

même en produisant de fortes quantités.

Le lubrifiant employé pour l'écroutissage doit être enlevé du tube fini. Le décapage alcalin est une méthode traditionnelle et la moins coûteuse. Mais lorsque le produit doit répondre à des besoins exigeants en matière de surface et d'aspect, il faut employer un solvant pour enlever de la surface une quantité considérable d'aluminium parce que le lubrifiant n'adhère pas tout à fait uniformément. La méthode actuellement jugée la plus moderne consiste à enlever le lubrifiant au moyen d'émulsionnants.

Plusieurs ateliers d'extrusion récemment créés fabriquent des fils principalement utilisés par l'industrie électrique. L'expansion récente de la production du fil machine par coulée continue a incité les ateliers d'extrusion à abandonner de plus en plus ces fabrications car les coulées continues sont d'ordinaire installées dans les fonderies et le matériel d'étirage se trouve dans leur voisinage immédiat. Lorsque la production est importante, on installe d'ordinaire des étireuses à glissement commandées par processeurs. Lorsque le fil n'a pas à répondre à des spécifications strictes, des étireuses simples à tambour unique peuvent faire l'affaire.

#### 1.1.5 Filières

En ce qui concerne les filières employées pour l'extrusion, il faut envisager les opérations suivantes :

- dans le cas de la commande d'un produit nouveau qui n'a pas encore été fabriqué, c'est le fabricant qui doit confectionner ou faire confectionner la filière;
- les nouvelles filières doivent être ajustées de manière à donner la précision et la forme voulues;
- après usage, les filières doivent être nettoyées, entretenues et préparées en vue d'une nouvelle utilisation;
- les filières en attente d'emploi doivent être soigneusement emmagasinées.

Les usines d'extrusions modernes comportent ordinairement des ateliers de confection de filières. Leur capacité, c'est-à-dire la proportion des besoins de l'extrusion qu'ils peuvent satisfaire est toujours déterminée par les conditions de fabrication et l'environnement industriel et sont par conséquent variables.

La confection des filières comprend plusieurs phases dont le détail

dépend évidemment du type de filière; nous ne donnons donc ici qu'une description générale du processus.

Les éléments simples de la filière (voir "a" sur les figures 5 et 6) ainsi que son contour général sont exécutés au moyen d'un outillage d'usinage traditionnel, à savoir : tours et rectifieuses. Les orifices et encoches ("b") du corps de la filière peuvent être exécutés au moyen de fraiseuses traditionnelles mais les usines nouvelles disposent de machines commandées par ordinateur (commande numérique) installées à cet effet. La zone d'étalonnage ("b") de la filière est formée au moyen de matériel d'usinage par étincelage. On utilise essentiellement deux catégories de ce matériel. Les filières plates servant à l'extrusion des profilés à paroi mince sont faites au moyen de machines à électrodes "tampon" ordinairement munies d'électrodes en cuivre ou en graphite. La forme de l'électrode correspond à la section du profilé à exécuter et sa précision dimensionnelle détermine par conséquent celle de la pièce à fabriquer. On peut faire des trous plus grands au moyen d'une machine à étincelage à électrode en fil à commande numérique. Les points de contour du trou sont traités par le matériel comme les points d'un système de coordonnées définis numériquement et la précision dépend en conséquence du programme d'ordinateur. On établit ordinairement avec l'aide de l'ordinateur une bande perforée ou une carte magnétique qui sert à transmettre l'information destinée à la commande du matériel d'usinage. Certains matériels sont commandés directement par l'ordinateur. Dans le premier cas, l'ordinateur peut desservir non seulement la rectifieuse à commande numérique mais aussi le matériel d'usinage par étincelage. Lorsque l'usine ne possède pas de machine à électrode en fil, les trous doivent être exécutés à la meuleuse ou à la main.

Les surfaces planes des filières sont simplement rectifiées. Les surfaces qui entrent en contact avec le métal doivent être finies à la rectifieuse. Cette opération se faisait autrefois à la main mais on utilise aujourd'hui une petite presse à extruder qui fait passer par la filière une masse plastique contenant un abrasif.

Un traitement thermique donne aux filières la résistance et la dureté voulues.

Les surfaces frottantes de la filière subissent une forte usure du fait de la présence, en faibles quantités mais inévitablement, d'oxydes dans le métal extrudé et de l'oxyde d'aluminium qui se forme sur les surfaces de la zone d'étalonnage. Pour allonger la durée utile des filières il faut en durcir la surface. On a surtout recours à cette fin à la nitruration par un procédé liquide ou gazeux. Ce dernier est préférable car il donne une surface plus

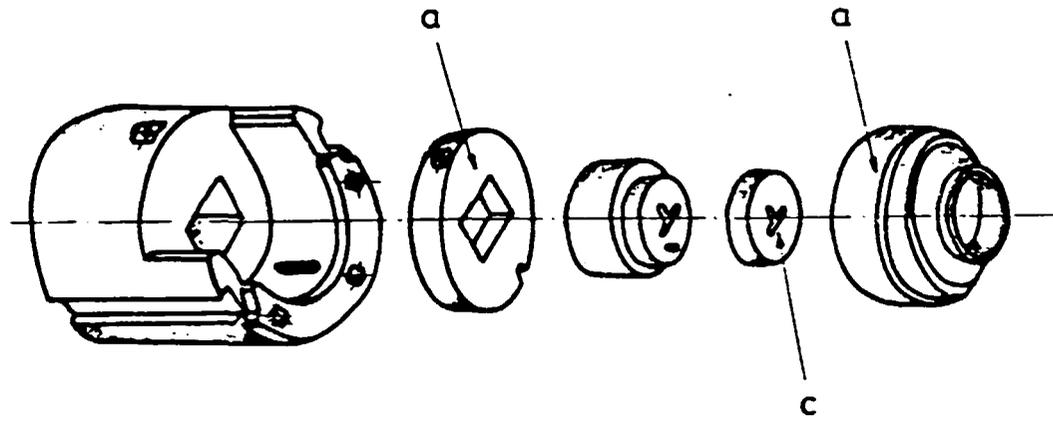


Figure 5.  
Eléments d'une filière d'extrusion plate

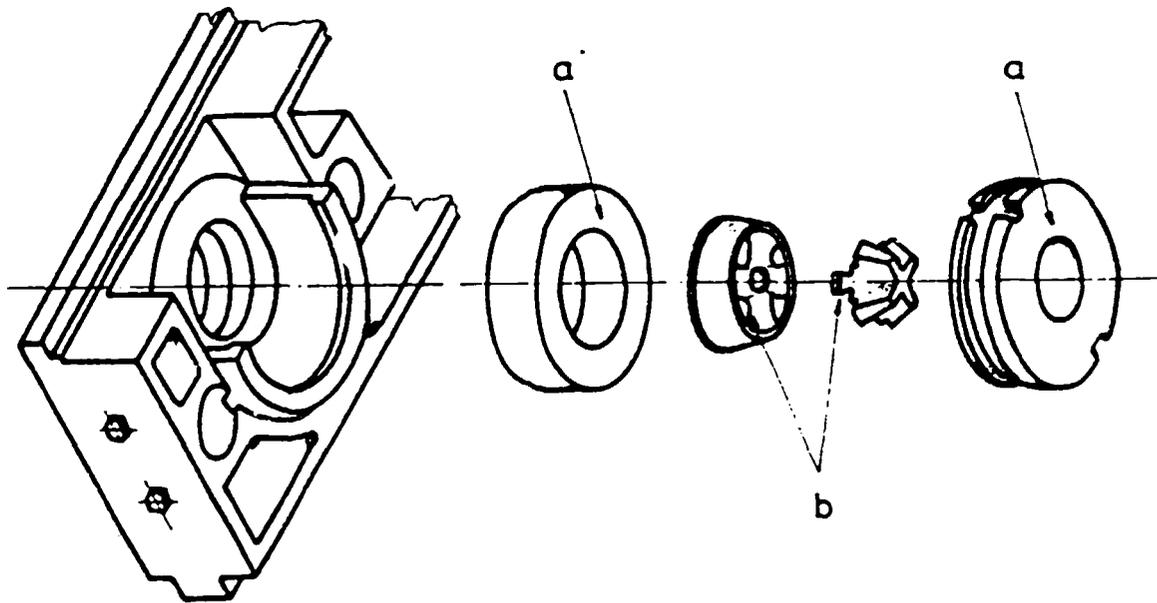


Figure 6.  
Eléments d'une filière d'extrusion creuse

élastique et plus durable que le liquide.

On peut réduire considérablement l'usure de la zone d'étalonnage en noyant la sortie de la filière au moyen d'azote gazeux qui chasse l'oxygène qui provoque l'oxydation. De plus, l'introduction d'azote liquide dans la filière le refroidit ce qui permet d'accélérer davantage le processus d'extrusion.

Quelle que soit leur origine, les filières doivent être essayées avant usage. Il faut dans la plupart des cas ajuster les filières destinées à la fabrication de produits compliqués. Cette opération doit être effectuée avant de durcir la surface.

L'entretien et le soin des filières comporte les opérations suivantes : après usage il faut enlever l'aluminium qui est resté dans la filière ou y a adhéré. On peut recommander à cet effet de tremper la filière dans une solution chaude de soude caustique. Après quoi, on projette de petites perles de verre au moyen d'un liquide ou d'un gaz afin d'obtenir une surface entièrement exempte de métal. Cette projection donne en même temps un léger durcissement de la surface.

La couche superficielle durcie doit être renouvelée après un certain nombre d'extrusions afin d'éviter toute modification de la dimension. On la renouvelle au moyen d'une renituration.

Après nettoyage, il faut garnir les filières d'une mince couche de lubrifiant, ordinairement du graphite et les stocker à l'abri de la poussière et de la corrosion jusqu'à nouvel emploi.

## 1.2 Choix de la technique et du matériel

### 1.2.1 Extrusion et finition

La presse constituant l'élément essentiel de l'investissement, la première étape de la préparation consiste à choisir la ou les presses à installer. Ce choix doit tenir compte des facteurs suivants :

- la structure de l'environnement industriel;
- les perspectives à long terme de la demande en ce qui concerne l'assortiment et la quantité des produits;
- l'expérience professionnelle et le personnel technique dont dispose l'investisseur.

Ces facteurs sont étroitement liés entre eux car, par exemple, la structure de l'environnement industriel exerce une influence considérable sur l'assortiment des produits et sur la disponibilité en personnel technique et en

services.

Il est donc recommandé de commencer l'étude par un examen de la structure existante de l'environnement industriel et de son évolution envisagée ou prévisible. Le désir d'un changement peut justifier l'exercice d'une influence active sur les clients possibles. Cette influence prend une importance particulière lorsqu'il n'existe pas d'entreprises qui utilisent les produits de l'atelier d'extrusion. Lorsqu'il y a des utilisateurs mais qu'ils se fournissent ailleurs en demi-produits, il faut étudier soigneusement les qualités et les prix (le coût) de production si l'on veut concurrencer avec succès les fournisseurs existants; la réduction des parcours de transport peut jouer un rôle à cet égard. Si les entreprises ou ateliers susceptibles d'utiliser des produits extrudés en sont encore à leurs débuts, il est bon, avant de faire démarrer l'atelier d'extrusion, de familiariser ces clients éventuels avec les profilés en aluminium au moyen de produits similaires achetés ailleurs, probablement à l'étranger. S'il n'y a pas dans le voisinage d'établissement capable d'employer des produits extrudés, et même si l'on ne peut envisager une substitution à d'autres produits déjà en usage, par exemple celle de châssis de portes et fenêtres en aluminium aux châssis en bois, il faut envisager la fabrication d'ensembles complets qu'on peut monter à la main.

Une autre question qui dépend du stade de développement de l'environnement industriel est celle de savoir si l'on trouvera sur place du personnel qualifié et des entreprises spécialisées dans l'entretien technique et électrique ainsi que dans la confection des filières, et aussi du personnel qualifié pour faire fonctionner le matériel de l'atelier d'extrusion.

Il importe d'élucider ces questions qui présentent une importance décisive pour l'achat de la presse et des autres matériels ainsi que pour la solution des autres problèmes relatifs à la mise en service de l'atelier à savoir par exemple l'achat de savoir-faire, la formation de la main-d'oeuvre etc.

Comme il est impossible de trouver la bonne réponse à ces questions sans avoir pris connaissance des conditions locales, nous poursuivons notre exposé dans l'hypothèse d'un assortiment donné de produits d'après lequel on pourra appliquer les notions générales au cas particulier des pays en développement.

L'assortiment ci-dessous (assortiment "A") peut être considéré comme le plus probable :

Par types de produits :

- 80 à 90 % de profilés pour le bâtiment et la construction de véhicules, tubes

compris; il s'agit surtout de produits à paroi mince et de grande précision;

- 10 à 20 % de fils.

Par types d'alliages :

- 70 à 80 % d'alliages très extrudables (6063, 6005) et une certaine quantité de métal non allié;
- 20 à 30 % d'alliages de caractéristiques moyennes.

Pour une production correspondante, on peut recommander les presses suivantes :

- une presse à profilés de 18 à 20 MN (variante 1a/1)
- une presse à profilés de 16 MN (variante 1a/2)

La variante 1a/1 permet une plus grande variété de dimension des produits (la circonférence des produits extrudés est généralement de 75 à 80 % de celle du conteneur) et la proportion des produits en alliages de caractéristiques moyennes est susceptible d'augmenter. Dans le cas de la variante 1a/2, l'assortiment aura tendance à comporter davantage de produits de dimensions plus petites en alliages très extrudables.

Si aucune des installations à une seule presse ne possède une capacité suffisante pour satisfaire la demande prévue, il faudra envisager l'exploitation de deux presses selon la variante 2 a, à savoir :

- une presse à profilés de 16 MN
- une presse à profilés de 22 à 25 MN

La mise en service de la presse de 22 à 25 MN permet d'élargir la gamme des alliages et de faire des produits de plus grande dimension. Les deux presses ne devront pas nécessairement être mises en service en même temps.

Pour toutes les variantes ci-dessus, la fabrication des produits en alliages à haute résistance et avant tout celle des barres, tubes et profilés pour la construction repose sur des matériaux achetés, et notamment importés.

Lorsque l'assortiment probable comporte une grande proportion de produits en alliages à moyenne et haute résistance, on peut recommander l'installation de deux presses (variantes 2b) à savoir :

- une presse à profilés de 18 à 20 MN
- une presse à tubes de 30 à 32 MN. En ce cas, l'assortiment des produits (assortiment "B") serait le suivant :

Par types de produits :

- de 50 à 60 % de profilés en alliages très extrudables, tubes compris, et en alliages présentant des caractéristiques moyennes;
- de 10 à 15 % de fils;
- de 15 à 20 % de tubes en alliages de résistance haute et moyenne.

Par types d'alliages :

- de 40 à 50 % d'alliages très extrudables (6063, 6005) et une certaine quantité de métal non allié;
- de 30 à 40 % d'alliages à caractéristiques moyennes (6082, 7020, 5754);
- de 20 à 30 % d'alliages de haute résistance (2017, 2024, 7075, 5056).

Le tableau 6 récapitule les données relatives aux presses en question (le diamètre des conteneurs est généralement supérieur de 3 à 4 % à celui des billettes).

Tableau 6  
dimensions des billettes utilisées dans les presses;  
dresseuses généralement utilisées (à titre indicatif seulement)

| Force d'extrusion | Diamètre et longueur maxi. des billettes | Dresseuse |
|-------------------|--|-----------|
| MN                | mm                                       | kN        |
| 16                | Ø 140 - 175 x/ - 250 x 710               | 200       |
| 18                | Ø 150 - 185 x/ - 265 x 730               | 200       |
| 20                | Ø 160 - 200 x/ - 280 x 750               | 300       |
| 22                | Ø 170 - 205 x/ - 295 x 800               | 400       |
| 25                | Ø 180 - 225 x/ - 315 x 850               | 400       |
| 30                | Ø 195 - 240 x/ - 340 x 900               | 1 000     |
| 32                | Ø 200 - 260 x/ - 355 x 950               | 1 000     |

Note : x/ diamètres les plus fréquents.

La quantité d'articles extrudée par les presses dépend dans une large mesure de l'assortiment, de l'expérience et de l'habileté du fabricant et des exigences à satisfaire. Pour le travail en une ou deux équipes, il faut savoir si oui ou non les opérations d'entretien s'effectuent pendant le travail. C'est pourquoi les renseignements du tableau 7 ne peuvent avoir qu'un caractère indicatif. Les calculs de capacité ont été faits dans l'hypothèse de semaines de travail de cinq jours, le travail en trois équipes et un temps d'arrêt de

20 %. Pour le travail en une équipe on peut supposer 1/3 de la capacité ci-dessus et 2/3 pour le travail en deux équipes.

Il ne faut pas oublier qu'on ne saurait attendre une exploitation rentable d'un matériel aussi coûteux qu'à condition de travailler en trois équipes. On peut toutefois envisager le travail en une ou deux équipes, voire le pratiquer pendant les premiers temps de l'exploitation.

Tableau 7  
Indications sur le débit des presses et combinaisons  
de presses envisagées ici, pour un travail en trois équipes,  
en tonnes par an

| Presse, MN<br>et type | Assortiment |                | Presse, MN<br>et type      | Assortiment   |   |
|-----------------------|-------------|----------------|----------------------------|---------------|---|
|                       | A           | B <sup>x</sup> |                            | A             | B |
| 16 profilés           | 4 000-5 000 |                | 16 et 22 profilés          | 9 500-12 000  |   |
| 18 profilés           | 4 500-6 000 |                | 16 et 25 profilés          | 10 000-13 000 |   |
| 20 profilés           | 5 000-6 500 |                | 18 profilés<br>et 30 tubes | 9 000-12 000  |   |
| 22 profilés           | 5 500-7 000 |                | 20 profilés<br>et 30 tubes | 9 500-12 500  |   |
| 25 profilés           | 6 000-8 000 |                | 18 profilés<br>et 32 tubes | 10 000-12 500 |   |
| 30 tubes              |             | 4 500-6 000    | 20 profilés<br>et 32 tubes | 10 500-13 000 |   |
| 32 tubes              |             | 5 500-6 500    |                            |               |   |

Note : Assortiment "B<sup>x</sup>" fait partie de l'assortiment "B" : barres et tubes de haute et moyenne résistance et profilés de haute résistance.

Si l'on a choisi l'assortiment "A", il faut installer une chaîne de presse et de matériel auxiliaire conformes à la figure 4a (variante 1a/1 ou 1a/2). Ni la chambre d'homogénéisation ni le refroidisseur de billettes ne font nécessairement partie de la chaîne d'extrusion.

Au cas où la capacité projetée nécessiterait l'installation de deux presses (variante 2a), il faudrait les monter dans des ateliers adjacents comme l'indique la figure 4a ou son image inversée.

Dans le cas de l'assortiment "B" (variante 2b), l'aménagement de l'atelier abritant la presse à profilés serait analogue à celui qui est décrit plus haut, cependant que l'atelier de la presse à tubes et à barres et des autres matériels servant principalement à fabriquer des produits à haute résistance serait aménagé conformément à la figure 4b.

Après avoir décidé de l'assortiment et du type de presse(s) à installer, il faut choisir le matériel de préchauffage et d'homogénéisation des billettes. Les avantages du matériel d'homogénéisation en ligne ont été exposés au paragraphe 1.1.2; il faut toutefois signaler qu'un four d'homogénéisation en ligne a un débit beaucoup plus grand qu'un four stationnaire car le temps de chauffage et celui qui est nécessaire pour égaliser la température de la charge sont beaucoup plus brefs quand on préchauffe les lopins un par un. En ce cas, le refroidissement à l'eau des billettes n'entraîne aucune augmentation de la résistance à la déformation parce que les billettes ne sont refroidies que jusqu'à la température d'extrusion.

On n'utilise les fours d'homogénéisation et les cisailles à billettes à chaud en ligne que pour le métal faiblement ou moyennement allié, c'est-à-dire uniquement dans la variante "a". Ces machines ne conviennent pas pour les alliages à haute résistance, à savoir : pour la presse à tube de la variante "b".

Malgré tous ses avantages, le four d'homogénéisation en ligne n'est à envisager que si l'on dispose de gaz ou de fuel pour chauffer rapidement les lopins (la chambre du four de réchauffage est chauffée électriquement). Sans quoi il faut avoir recours à un four à induction précédé d'une scie de découpage.

Les fours à induction modernes pour le préchauffage des billettes sont d'ordinaire des appareils courts et puissants munis d'un seul inducteur. Le constructeur du four doit garantir une répartition uniforme de la chaleur dans la billette ou éventuellement un gradient longitudinal de la chaleur obtenue au moyen d'un second inducteur (pour les alliages très extrudables, il vaut mieux avoir une température plus élevée à l'avant qu'à l'arrière de la billette) ce qui permet d'accélérer l'extrusion. On ne peut toutefois tirer parti des avantages du gradient de température qu'à condition de bien appliquer une technique soigneusement choisie et d'assurer un rythme régulier de la production.

Pour déterminer la capacité des fours d'homogénéisation et de préchauffage des billettes, il faut calculer la quantité de billettes nécessaire à la fabrication : il faut respectivement 1,3 et 1,45 tonne de billettes finies (c'est-à-dire dont les extrémités ont été coupées) pour produire une tonne de produits des assortiments "A" et "B". Dans les deux variantes, 90 à 95 pour cent des billettes sont homogénéisées; dans le cas de l'assortiment "B", 30 pour cent des billettes doivent être homogénéisées dans des fours à chambre séparés, dans la fonderie ou ailleurs.

La définition de la capacité des fours doit comporter des marges substantielles car on ne peut pas obtenir une exploitation optimale des fours lorsqu'on change de programme et aussi parce qu'il faut éviter les goulots d'étranglement en cas d'amélioration de l'extrudabilité du métal ou de perfectionnement de la technique.

On peut faire appel aux tableaux 8 et 9 pour le choix des fours de préchauffage et d'homogénéisation en ligne.

Tableau 8

Débit des fours à gaz pour préchauffage de billettes, en tonnes/heure (chauffage jusqu'à 450 °C) (d'après les indications fournies par la société Junker)

| Diamètre des billettes en mm | Longueurs de four en m |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                              | 4                      | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 150                          | 1,2                    | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | -   |
| 200                          | 1,6                    | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 3,9 |
| 250                          | 1,9                    | 2,4 | 2,8 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,7 |
| 300                          | 2,2                    | 2,7 | 3,3 | 3,8 | 4,4 | 4,9 | 5,5 |
| 350                          | 2,5                    | 3,1 | 3,7 | 4,4 | 5,0 | 5,6 | 6,2 |

Tableau 9

Débit des fours à induction de préchauffage de billettes, en tonnes/heure (préchauffage jusqu'à 450 °C), (d'après les indications fournies par la Sté Junker)

| Valeur de couplage (kVA) | Débit et consommation de courant par rapport au diamètre des billettes en mm | Consommation de courant en kW | Débit en tonnes/heure |
|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------------|
| 440                      | ∅ 180 x 500  | 400                           | 1,4                   |
| 660                      | ∅ 200 x 500  | 600                           | 2,1                   |
| 1 100                    | ∅ 200 x 700  | 1 000                         | 2,9                   |
| 1 350                    | ∅ 250 x 800  | 1 200                         | 3,5                   |
| 1 750                    | ∅ 250 x 800  | 1 600                         | 4,0                   |
| 2 000                    | ∅ 280 x 900  | 1 800                         | 4,0                   |

Si l'on désire une température autre que 450 ° on peut augmenter ou réduire proportionnellement les valeurs de débit figurant aux tableaux 8 et 9.

Les paramètres du four d'homogénéisation et de la chambre de réchauffage dans le cas d'un four en ligne sont les suivants :

- gamme des températures : 450 à 650 °C
- précision de réchauffage  $\pm 5$  °C
- homogénéité de la température :  $\pm 5$  °C

La chambre de refroidissement installée au voisinage du four d'homogénéisation doit pouvoir donner des taux de refroidissement réglables.

S'agissant de l'alimentation en courant des fours, il faut envisager pour le préchauffage des billettes les consommations moyennes ci-dessous (les valeurs doivent être augmentées de 10 à 20 pour cent environ s'il y a homogénéisation en ligne).

- pour le chauffage per induction : 250-300 kWh/t
- pour le chauffage au gaz : 1,0-1,2 GJ/t + 5-7 kWh/t (29-34 Nm<sup>3</sup>/t avec un gaz d'une valeur calorifique de 35 MJ/Nm<sup>3</sup>)
- pour le chauffage au fuel : 1,1-1,3 GJ/t (25-29 kg/t, avec un fuel d'une valeur calorifique de 44 MJ/kg)

Les chiffres ci-dessus concernant le chauffage au gaz ou au fuel sont valables pour des fours non équipés de récupérateurs. Or ces appareils peuvent réduire de 30 à 40 pour cent la consommation des fours; il est donc indispensable de s'en procurer.

Il ne faut pas négliger de faire tronçonner les billettes soit au moyen d'une scie avant le four de préchauffage à induction soit au moyen d'une cisaille à chaud après le four de préchauffage à gaz ou à fuel. C'est le seul moyen d'obtenir, pour un produit donné, des billettes en longueurs qui permettent une exploitation optimale de la table de sortie et un minimum de pertes au tronçonnage. Théoriquement on pourrait y parvenir en livrant à l'atelier d'extrusion des billettes tronçonnées à la longueur appropriée au produit à fabriquer, mais cette méthode serait impraticable pour les usines qui traitent des billettes achetées sur le marché et entraînerait d'immenses difficultés de programmation même pour celles qui disposent de leur propre fonderie. Avec des billettes tronçonnées, le nombre des longueurs normalisées est généralement faible, ce qui entraîne une diminution d'environ 10 pour cent de la production.

Les cisailles à chaud doivent pouvoir tronçonner des billettes du plus gros diamètre admis par la presse même lorsqu'elles sont en alliage 6082 et 7020. Il en va de même en ce qui concerne la scie, quel que soit l'alliage. La précision voulue de la coupe est de  $\pm 5$  mm pour les billettes de moins de 600 mm de longueur et de  $\pm 10$  mm pour les plus longues; l'angle de coupe maximal admis est de  $1^\circ$ .

S'agissant de la presse elle-même et du matériel de la chaîne de filage, l'investisseur devra tenir compte des considérations suivantes :

Il ne convient pas d'envisager l'installation d'une chaîne de filage entièrement automatisée car seules les entreprises spécialisées dans la production en série de produits similaires sont à même de profiter de tous les avantages d'une telle installation. Il importe toutefois que la presse réponde à toutes les nécessités exposées au paragraphe 1.1.2 et permette de fixer facilement les principaux paramètres d'extrusion et de finition énumérés ci-après, de les contrôler et de les présenter automatiquement et aussi d'enregistrer ceux qui sont marqués d'un astérisque :

- température des billettes \*
- température du conteneur \*
- taux d'extrusion
- position des cisailles à chaud
- dimension du culot rebuté
- force de traction de l'extracteur
- allongement donné par la dresseuse

On prend la température de la billette au moyen de pyromètres plongeants traditionnels constitués par un thermocouple; le réglage et l'enregistrement se font également par des procédés traditionnels. La température de conteneur doit être prise en un point proche de la manche intérieure non exposé à la corrosion et qui donne des résultats précis et fiables. Le réglage et l'enregistrement se font comme pour la billette.

Dans l'intérêt de la qualité et du rendement, il est bon de programmer la vitesse d'extrusion ou de la régler d'après la température du produit extrudé. Il est toutefois indispensable que la presse soit munie d'une commande en circuit fermé de la vitesse et de la pression du piston, ce qui exige le montage sur la presse de servovalves électrohydrauliques et de pompes à grande vitesse appropriées. Dans la plupart des cas (lorsqu'on extrude des alliages très extrudables ou dotés de propriétés moyennes), la vitesse d'extrusion a tendance à augmenter vers la fin du cycle de filage ce qui, en l'absence d'une

commande automatique de la vitesse d'extrusion, risque d'entraîner des rebuts. On peut remédier à cet inconvénient en adoptant dès l'origine une vitesse d'extrusion plus faible, mais c'est aux dépens du rendement. On peut aussi réduire à la main la vitesse d'extrusion en fin de cycle, mais il y faut un opérateur très expérimenté et habile.

Pour réduire au minimum le déchet, il faut pouvoir régler avec précision et rapidement la position des cisailles à chaud et l'épaisseur du bout à rebuter. On emploie à cet effet des butées électroniques réglables à distance.

La commande de la vitesse et les réglages automatiques programmables reposent sur une technique de microprocesseurs qui peut aussi servir aux fins ci-après :

- stockage des programmes et/ou circonstances du fonctionnement, par exemple celles qui ont trait à la filière afin de permettre au microprocesseur de fixer la vitesse d'extrusion voulue, de régler la position des butées etc., sur introduction du numéro de code de la filière;
- stockage et acquisition de données concernant la fabrication, le nombre de billettes extrudées, l'écart par rapport au cycle d'extrusion théorique etc.;
- raccord à un ordinateur - il s'agit d'ordinaire d'un micro-ordinateur qui ne coûte pas plus de quelque milliers de dollars, qui permette à l'opérateur de calculer la longueur optimale de la billette et d'afficher le numéro de code de la soupape ou de la butée défectueuse sur le terminal de l'opérateur. Ce dispositif présente une grande importance, surtout quand le personnel d'entretien n'a pas encore acquis une expérience suffisante.

La commande par ordinateur présente aussi l'avantage de pouvoir contrôler toute la chaîne de filage à partir d'un poste unique. Si toutefois les conditions en un moment donné ne se prêtent pas à une ordinatorisation complète des presses, il faut, au moment de l'investissement, penser à la possibilité d'introduire la commande par ordinateur à une date ultérieure. Il ne serait pas possible d'ordinatoriser des presses démodées munies de butées et de servovalves mécaniques.

Lorsqu'on achète les autres éléments de la chaîne de filage, il faut les choisir modernes dans l'intérêt de la qualité des produits et du rendement. Nous décrivons plus loin plusieurs machines et les principales caractéristiques qu'elles doivent présenter.

La table de départ sert à recevoir les produits qui quittent la presse et sont encore chauds. Il faut donc poser le revêtement en graphite

résistant à la chaleur de manière à éviter toute détérioration de la surface. Si la trempe dans l'eau s'effectue aussi auprès de la presse il faut créer un bassin de 2 à 3 m de longueur en inversant la table de départ.

La scie de tronçonnage ou les cisailles hydrauliques doivent être montées au voisinage de la presse. Pour réduire le déchet de tronçonnage, il faut pouvoir modifier leur position sur 3 ou 4 m le long de la table de départ; elles doivent donc être amovibles sur rails ou sur une chaîne. La scie doit être munie d'un extracteur de copeaux (très important) ainsi qu'un dispositif de maintien de la pièce du côté de la presse.

La table de sortie est un mécanisme à chaîne sans fin dont les composants sont doublés de graphite. Ce revêtement doit être conforme aux mêmes prescriptions que celui de la table de départ. La vitesse de la table de sortie est réglée soit par la presse soit par l'extracteur.

Les caractéristiques d'un extracteur moderne sont les suivantes :

- vitesse variable à l'infini ou réglable par la presse; l'extracteur est d'ordinaire actionné par un moteur linéaire;
- force de traction réglable par paliers, selon les besoins du produit à extruder; pour les presses, envisager une force de traction maximale de 1,2 à 1,5 kN paraît raisonnable;
- un dispositif de fixation à pince fendue permettant d'épouser sans déformation la forme d'un profil ou d'une botte de profilés compliqués; la mâchoire supérieure se compose de plaques verticalement amovibles indépendamment l'une de l'autre, la mâchoire inférieure étant dentée;
- retour à grande vitesse à la position de départ;
- faible encombrement.

Les ventilateurs peuvent être disposés au-dessus ou au-dessous des tables de sortie et de refroidissement. Aussitôt que le métal quitte la presse, il faut refroidir au moyen d'un jet d'air, ce qui ne peut se faire qu'en installant des ventilateurs au-dessus de la table de départ. On peut monter un jet d'eau dans les ventilateurs supérieurs ou bien produire un brouillard d'eau au moyen d'un appareil séparé. Le brouillard donne un refroidissement intense et uniforme. Le générateur de brouillard est particulièrement utile lorsqu'il y a des ventilateurs inférieurs. On peut aussi installer un ventilateur très puissant dans un endroit éloigné, par exemple hors de l'atelier et transporter l'air par des conduites jusqu'à la presse. Cette solution permet de réduire considérablement le bruit. Le refroidissement par ventilateurs doit être intensif, le refroidissement

par aspersion d'eau doit être intensif et réglable au moins à plusieurs degrés.

Les pièces extrudées sortant de la filière sont enlevées de la table de sortie par un système de levage à poutre mobile dont les bras glissent entre les joints de la table de sortie et soulèvent la pièce jusqu'à la table de refroidissement constituée par un convoyeur ou un autre système à balancier, le premier étant préférable. Les bras doivent être munis d'un revêtement approprié en graphite ou en plastique à l'épreuve de la chaleur et placés en position horizontale pendant l'enlèvement pour éviter tout glissement et toute détérioration de la surface des pièces extrudées. Il faut aussi que les bras soient placés à une distance de 1,0 à 1,2 m maximum l'un de l'autre. Les extrusions produites en même temps sont transportées simultanément. A la fin du cycle d'extrusion, lorsque le découpage a eu lieu, l'opérateur fait démarrer l'opération d'enlèvement; la table de sortie se déplace vers l'avant et est arrêtée à un endroit donné par une cellule photoélectrique ce qui permet au système d'enlèvement de déplacer les produits en un nombre déterminé d'étapes. Dans les installations modernes, les produits sont apportés à la dresseuse en passant par la table de refroidissement au moyen de convoyeurs en plastique à l'épreuve de la chaleur; dans les ateliers moins modernes, cette opération est effectuée par un autre système de levage à poutre mobile. Dans l'intérêt de la qualité de surface des produits, le convoyeur est préférable, parce qu'il est plus souple et se prête mieux à l'automatisation, parce qu'on peut régler la distance parcourue à chaque étape et parce qu'on peut constituer des bottes plus faciles à dresser etc.

La botte de profilés à dresser est saisie et guidée entre les mâchoires de la dresseuse par un autre convoyeur analogue au précédent qu'on met en marche en appuyant sur un bouton placé sur la dresseuse. Après dressage, les profilés sont transportés aux convoyeurs qui alimentent la table de sciage. Il faut veiller à ce que les profilés restent droits pendant la manutention.

Les convoyeurs sont installés à 1,0 à 1,2 m l'un de l'autre et construits de manière à ce que ceux qui ne sont pas en action puissent être mis en position verticale lorsque l'arrière de la dresseuse la plus éloignée de la presse doit être rapprochée pour dresser des profilés plus courts.

Les dresseuses modernes sont actionnées hydrauliquement et munies de mâchoires semblables à celles de l'extracteur, la mâchoire inférieure pouvant aussi être déplacée verticalement. Il est très important, surtout dans la fabrication d'articles de précision, d'avoir la possibilité de régler la longueur de l'allongement (de 0,5 à 3,0 pour cent). On y parvient soit en réglant le déplacement de l'arrière soit en réglant la tension; cette dernière méthode est plus fiable.

On appuie sur un bouton et les convoyeurs transportent la botte de profilés à la table de sciage où ils seront découpés. Les rouleaux de la table de sciage sont d'ordinaire en CPV, montés sur les paliers libres et actionnés par une courroie en V à la partie inférieure.

Afin de réduire le bruit, la scie circulaire, son mécanisme d'alimentation hydraulique et le moteur qui l'actionne sont logés dans un boîtier placé sous la table. Pour découper on fait monter la scie, on la fait avancer puis on la rabaisse pour la ramener à sa position de départ. Pendant ce temps, les pièces à découper peuvent être amenées au-dessus de la scie sans difficulté, jusqu'à la butée qui en limite la longueur sur la table de réglage. Pendant le découpage, la botte de profilés est fixée par une goupille de retenue pneumatique recouverte d'un tissu souple. La scie doit être munie d'un système de refroidissement et de graissage et d'un extracteur de copeaux.

La table de réglage de la scie est semblable à la table de sciage à rouleaux et elle est munie d'une butée capitonnée, qu'on peut rabattre après le découpage ce qui permet de faire avancer les produits découpés.

Le mécanisme des tables de palettisation et d'inspection est semblable à celui des autres convoyeurs. Les râteliers peuvent être garnis à la main, les ouvriers qui exécutent cette opération pouvant aussi être chargés d'inspecter la qualité des produits et notamment leur surface.

Quand les produits sont destinés à un client du voisinage, on peut les expédier sans les enlever des râteliers. Il faut toutefois, en garnissant ces derniers, placer du papier résistant à la chaleur jusqu'à 200 °C entre les couches, qui doivent être fixées pour éviter tout glissement latéral etc.

On a dit plus haut qu'il ne convenait pas d'envisager l'installation d'une ligne de filage entièrement automatique. Certaines opérations doivent toutefois être automatisées; ce sont : les déplacements par levage, le réglage du fonctionnement des convoyeurs, la fixation du cycle de sciage etc.

La presse doit disposer d'un four de préchauffage des filières, à savoir : un four à résistance électrique à circulation d'air disposant d'une gamme de températures de 450 à 500 °C.

La presse à tubes et à barres et sa chaîne de finissage sont pratiquement les mêmes que celles qui viennent d'être décrites; elle pourrait toutefois être d'une construction un peu plus robuste et un extracteur n'est pas absolument nécessaire.

Outre les fours de vieillissement, (voir paragraphe 1.2.2), les presses fournissant un assortiment "A" (variantes 1a/1, 1a/2 et 2a) ne sont munies que d'un laminoir à profilés qui sert à en améliorer la forme et avant tout les dimensions de ses extrémités libres.

Dans un atelier fournissant l'assortiment "B", on installe, pour l'atelier d'extrusion de tubes et barres (variante 2b) :

- des fours de traitement thermique (voir paragraphe 1.2.2)
- un matériel de déformation à froid (voir paragraphe 1.2.3)
- des machines de finissage

S'agissant de ces dernières, il y a lieu d'installer :

- une scie à découper, semblable à celle de la presse; son mécanisme d'alimentation et sa table à rouleaux doit permettre de découper en même temps des bottes d'une largeur suffisante (0,5 à 1m)
- des machines à dresser : une machine à dresser pour tubes et barres de diamètre moyen (50 à 60 mm) et une presse hydraulique d'environ 4 MN pour le dressage des produits de plus grande dimension.

La dresseuse de la presse à tubes doit pouvoir dresser même des produits courts (6 à 7 m au maximum) après traitement thermique en four et/ou écrouissage.

D'après les normes en vigueur pour les installations modernes, un bâtiment léger de 24 par 108 m (2 592 m<sup>2</sup>), sans pont roulant, est nécessaire pour loger une chaîne de filage de profilés et le matériel accessoire. Pour une chaîne de filage de tubes et la fabrication de produits de haute résistance de l'assortiment "B", il faut un bâtiment léger de 24 par 138 m, soit 3 312 m<sup>2</sup>. (Les changements de conteneurs sont assurés par des palans mobiles séparés). Le plan de l'atelier doit prévoir que les fours de traitement pour mise en solution et de trempe ont de 8 à 10 m de hauteur et il faut disposer d'une grue simple d'une capacité de charge de 2 tonnes pour apporter au four les produits à traiter.

Sur les figures 4a et 4b, le parcours des matériaux est indiqué par des flèches. Les billettes et lopins sont toujours stockés hors de l'atelier.

Le tableau 10 donne la liste du matériel recommandé pour les variantes.

Le personnel nécessaire pour chaque équipe à la presse est le suivant :

- conducteur de la presse

- un conducteur du four de préchauffage des billettes
- un préparateur de filières et conducteur du four de préchauffage des filières
- un ou deux opérateurs des dresseuses
- un conducteur de scie
- 2 inspecteurs de la qualité et emballeurs

La manutention est effectuée par un ouvrier dans chaque atelier; un autre doit être consacré aux remplacements et à l'exécution d'autres tâches, par exemple la conduite de la machine à dresser les profilés.

Dans la salle où est installée la presse à tubes, deux personnes assurent le découpage à dimension et le finissage des produits.

Le travail de l'installation d'extrusion est dirigé par un chef technique et il y a aussi un contremaître pour chaque équipe. Le chef technique, avec les membres de son personnel, est responsable des travaux de l'installation : il fixe la séquence de la fabrication et de l'entretien, assure l'approvisionnement en matières premières, en filières et autres éléments nécessaires au travail et il s'occupe du développement technique.

Les tâches des services commerciaux rattachés à l'usine d'extrusion dépendent dans une large mesure des usages et conditions locaux et il n'en sera en conséquence pas question ici.

Tableau 10

Liste du matériel recommandé pour les installations d'extrusion, fournisseurs, prix indicatifs

| N°                   | Matériel  | Fournisseurs  | Prix indicatifs en<br>milliers de dollars x/ |
|----------------------|---|---|--|
| 1.                   | 2.  | 3.  | 4.   |
| <u>Variante 1a/1</u> |   |   |  |
| 1.                   | Chaîne de filage complète, presse à profilés de 18 à 20 MN, table de sortie de 40 à 50 m de long, avec extracteurs et autres dispositifs de finissage (refroidissement par ventilateurs, aspersion ou immersion, dresseuse de 200 à 300 kN, scie) | Schloemann-Siemag Ag<br>(Allemagne République fédérale d')<br>Sutton (Etats-Unis d'Amérique)<br>UBE Ind. Ltd. (Japon)<br>Fielding and Platt Ltd<br>(Royaume-Uni)<br>Loewy (Royaume-Uni)<br>SECIM (France) | 1 à 3<br>total :<br>2 000 ,-                 |
| 2.                   | Four électrique de préchauffage des filières, avec circulation d'air  |   |  |
| 3.                   | Laminoir à profilés   | Sprengler Ind. GmbH<br>(Allemagne République fédérale d')   | 250 - 800                                    |
| 4.                   | Four de préchauffage des billettes, débit de 2,2 à 2,4 tonnes/heure :   | Junker (Allemagne République fédérale d')<br>UBE Omd-: td. (Japon)<br>F.W. Elhaus KG<br>(Allemagne République fédérale d')<br>AUBURTIN (France)<br>GRANCO (Etats-Unis d'Amérique)                         |  |
|                      | - à induction, avec scie avant le four <u>xx/</u> ou  |   |  |
|                      | - à gaz, avec four d'homogénéisation en ligne, cisailles à chaud et refroidisseur de billettes ou   |   |  |
|                      | - à fuel avec four d'homogénéisation en ligne, cisailles à chaud et refroidisseur de billettes  |   |  |
| 5.                   | Fours de vieillissement, 2 unités, débit total env. 4 000 tonnes/an :   | Loewy (Royaume-Uni)<br>UBE Ind. Ltd. (Japon)<br>ALUTERV-FKI (Hongrie)   | 480 - 600                                    |
|                      | - électriques ou  |   |  |
|                      | - à gaz   |   |  |
| <u>Variante 1a/1</u> |   | T O T A L :   | 2 730 - 3 400                                |

Tableau 10 (suite)

| N°                   | Matériel   | Fournisseurs   | Prix indicatifs en<br>milliers de dollars x/ |
|----------------------|--|--|--|
| 1.                   | 2.   | 3.   | 4.   |
| <u>Variante 1a/2</u> |  |  |  |
| 1.                   | Chaîne de filage complète, presse à profilés de 16 MN, table de sortie de 40 à 50 m de longueur, avec extracteur et autres dispositifs de finissage (refroidissement par ventilateurs, aspersion ou immersion, dresseuse de 200 kN, scie)  | Schloemann-Siemag Ag<br>(Allemagne, République fédérale d')<br>Sutton (Etats-Unis d'Amérique)<br>UBE Ind. Ltd (Japon)<br>Fielding and Platt Ltd.<br>(Royaume-Uni)<br>Loewy (Royaume-Uni)<br>SECIM (France) | 1 à 3<br>total :<br>1 350,-                  |
| 2.                   | Four électrique de préchauffage de filières, avec circulation d'air  |  |  |
| 3.                   | Laminoir à profilés  | Sprengler Ind. GmbH<br>(Allemagne, République fédérale d')   |  |
| 4.                   | Four de préchauffage de billettes, débit environ 1,8 tonnes/heure<br>- à induction, avec scie avant le four <u>xx/</u> ou<br>- à gaz avec four d'homogénéisation en ligne, cisailles à chaud et refroidisseur de billettes, ou<br>- à fuel avec four d'homogénéisation en ligne, cisailles à chaud et refroidisseur de billettes | Junker<br>(Allemagne, République fédérale d')<br>F.W. Elhaus KG<br>(Allemagne, République fédérale d')<br>UBE Ind. Ltd. (Japon)<br>AUBURTIN (France)<br>GRANCO (Etats-Unis d'Amérique)                     | 180 - 750                                    |
| 5.                   | Fours de vieillissement, 2 unités, débit total environ 3 500 tonnes/an :<br>- électriques ou<br>- à gaz  | UBE Ind. Ltd (Japon)<br>ALUTERV-FKI (Hongrie)  | 460 - 600                                    |
| Variante 1a/2        |  | T O T A L :  | 1 990 - 2 700                                |

Tableau 10 (suite)

| N°                 | Matériel   | Fournisseurs   | Prix indicatifs en<br>milliers de dollars x/ |
|--------------------|--|--|--|
| 1.                 | 2.   | 3.   | 4.   |
| <u>Variante 2a</u> |  |  |  |
| 1.                 | Postes 1 à 5 de la variante 1a/2 (constituant un stade du projet)  | Schloemann-Siemag Ag<br>(Allemagne, République fédérale d')<br>Sutton (Etats-Unis d'Amérique)  | 1 990 - 2 700                                |
| 2.                 | <u>xxx</u> /Chaîne de filage complète, presse à profilés de 22 à 25 MN, table de sortie de 40 à 50 m de longueur avec extracteur et autres dispositifs de finissage (refroidissement par ventilateur, immersion dans l'eau, étireuse de 400 kN, scie)  | EBE Ind. Ltd. (Japon)<br>Fielding and Platt Ltd<br>(Royaume-Uni)<br>Loewy (Royaume-Uni)<br>SECIM (France)  | 2 et 3<br>total :<br>2 100,-                 |
| 3.                 | <u>xxx</u> /Four électrique de préchauffage de filières avec circulation d'air   |  |  |
| 4.                 | <u>xxx</u> /Four de préchauffage de billettes, débit environ 2,5 à 3,0 t/heure :   | Junker (Allemagne, République fédérale d')<br>UBE Ind. Ltd. (Japon)<br>F.W. Elhaus KG (Allemagne, République fédérale d')<br>AUBURTIN (France)<br>GRANCO (Etats-Unis d'Amérique) | 250 - 800                                    |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- à induction, avec scie avant le four <u>xx</u>/, ou</li> <li>- à gaz, avec four d'homogénéisation en ligne, cisailles à chaud et refroidisseur de billettes; ou</li> <li>- à fuel avec four d'homogénéisation en ligne, cisaille à chaud et refroidisseur de billettes</li> </ul> |  |  |
| 5.                 | <u>xxx</u> /Fours de vieillissement, 2 unités, débit total environ 5 000 t/an :  | UBE Ind. Ltd. (Japon)<br>ALUTERV-FKI (Hongrie)   | 500 - 650                                    |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- chauffés électriquement, ou</li> <li>- à gaz</li> </ul>   |  |  |
| Variante 2a        |  | TOTAL :  | 4 840 - 6 250                                |

| N°                 | Matériel  |
|--------------------|---|
| 1.                 | 2.  |
| <u>Variante 2b</u> |   |
| 1.                 | Postes 1 à 5 de la variante 1a/1 (constituant un des stades du projet)  |
| 2.                 | Chaîne de filage complète, presse à tubes et à barres de 30 à 32 MN, table de sortie de 40 à 50 m de long, avec extracteur et autres dispositifs de finissage (refroidissement par ventilateur, aspersion ou immersion, dresseuse de 10 MN, scie) |
| 3.                 | Four électrique de préchauffage des filières, avec circulation d'air  |
| 4.                 | Four de préchauffage de billettes, débit environ 2,4 à 2,7 t/heure :<br>- à induction, avec scie avant le four <u>xx/</u> , ou<br>- à gaz, pour le découpage des billettes <u>x/</u> ,<br>- à fuel pour le découpage des billettes <u>x/</u> .    |
| 5.                 | Fours de vieillissement, deux unités, débit total environ 4 000 t/an<br>- électriques, ou<br>- à gaz  |
| 6.                 | Four de recuit, débit de 2 500 à 3 000 t/an<br>- électrique, ou<br>- à gaz  |
| 7.                 | Fours de traitement pour mise en solution et trempe, deux unités d'une tonne de capacité chacune, électriques, pour extrusions de 6 à 7 m de long, débit de 1 500 à 3 000 t/an  |

te)

Fournisseurs

Prix indicatifs en  
milliers de dollars  $\times$ /

3.

4.

2 730 - 3 400

Schloemann-Siemag Ag  
(Allemagne, République fédérale  
d')

2 et 3  
total:  
3 700

Sutton (Etats-Unis d'Amérique)

Ube Ind. Ltd (Japon)

Fielding an Platt

(Royaume-Uni)

SECIM (France)

Otto Junker (Allemagne, République  
fédérale d') 400 - 550

UBE Ind. Ltd. (Japon)

F.W. Elhaus KG

(Allemagne, République fédérale  
d')

AUBURTIN (France)

GRANCO (Etats-Unis d'Amérique)

UBE Ind. Ltd. (Japon) 480 - 600

F.W. Elhaus KG

(Allemagne, République fédérale  
d')

Ebner Industrieanlagen 800 - 1 100

GmbH (Autriche)

Gautchi Electro-Fours AG

(Suisse)

1 700

Tableau 10 (suite)

| N°                 | Matériel                           | Fournisseur | Prix indicatifs en<br>milliers de dollars x/ |
|--------------------|------------------------------------|-------------|--|
| 1.                 | 2.                                 | 3.          | 4.   |
| <u>Variante 2b</u> |                                    |             |  |
| 8.                 | Etireuse à tubes et barres, 100 kN |             | 8 à 12                                       |
| 9.                 | Etireuse à tubes et barres, 30 kN  |             | total :                                      |
|                    |                                    |             | 1 000,-                                      |
| 10.                | Machine à dresser tubes et barres  |             |  |
| 11.                | Scie pour découpage à longueurs    |             |  |
| 12.                | Presse de dressage, 4 MN           |             |  |
| <br>               |                                    |             |  |
| Variante 2b        | T O T A L                          |             | 10 815 - 12 055                              |

Note : x/ D'après les prix de 1983

xx/ En ce cas, il faut soit acheter des lopins homogénéisés soit prévoir des capacités supplémentaires d'homogénéisation qui devront comporter :

    Pour la variante 1a/1 : four d'homogénéisation de 17 à 20 t, \$EU 800 000

    1a/2 : four d'homogénéisation de 13 à 15 t, \$EU 600 000

    2a : deux fours d'homogénéisation de 17 à 20 t chacun,  
        au total \$ EU 1 600 000

    2b : deux fours d'homogénéisation de 25 t chacun, au total \$EU 2 400 000

xxx/ Les postes 2 à 5 de la variante 2a, plus un laminoir à profilés, peuvent aussi constituer un stade du projet.

### 1.2.2 Traitement thermique

Le matériel de traitement technique ne peut être convenablement choisi que si l'on connaît la quantité de produits à traiter, la durée moyenne des traitements et les conditions que les fours doivent remplir. On peut demander aux constructeurs de fours de fournir des renseignements sur le temps moyen nécessaire pour chauffer les charges. L'investisseur pourra, d'après ces renseignements calculer la capacité nécessaire des fours, compte tenu du nombre d'équipes envisagé. Pour les fours d'homogénéisation, le temps de chauffe est d'environ 3 à 4 heures; pour les autres fours, nous renvoyons aux paragraphes sur les traitements thermiques. Comme tous les autres matériels thermiques, ces fours ne peuvent être exploités de façon rentable qu'à condition de travailler en trois équipes.

#### Traitement pour mise en solution et trempe

Si l'opération s'effectue auprès de la presse, on n'a pas besoin d'un four supplémentaire. Voir paragraphe 1.1.2 et 1.1.3 pour les conditions de trempe auprès de la presse.

Un traitement thermique pour mise en solution dans le four suivi qu'une trempe à l'eau n'est nécessaire que pour la variante "B". On trempe d'ordinaire de 20 à 30 pour cent des alliages à caractéristiques moyennes et de 30 à 40 pour cent des alliages de haute résistance, ce qui correspond à une quantité de produits de 1 500 à 3 000 t/an.

#### Paramètres :

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| - temps de chauffe (moyen)      | 3 heures     |
| - temps de maintien             | 1 heure      |
| - gamme de températures         | 450 à 600 °C |
| - tolérance de maintien         | ± 5 °C       |
| - homogénéité de la température | ± 5 °C       |

D'une façon générale, les fours pour traitement de mise en solution et trempe sont verticaux, chauffés par résistances et circulation d'air. Un bac à eau d'une profondeur égale à la hauteur du four est disposé sous ce dernier pour la trempe. Le gauchissement est moins prononcé lorsque les produits sont éjectés verticalement du four dans l'eau. Il est bon de munir le four d'une ouverture à sec par où l'on introduit les produits à traiter. Si les produits doivent traverser un bac à eau avant le traitement pour mise en solution, le risque de corrosion est aggravé.

Il faut un ou deux fours d'une capacité d'une tonne chacun et d'une hauteur de 8 m.

#### Vieillissement

Il faut vieillir de 60 à 70 pour cent des produits des deux assortiments. Chaque presse devra disposer de deux fours de vieillissement d'une capacité de 5 tonnes chaque.

#### Paramètres :

- temps de chauffe (moyen) 1,5 à 2 heures
- gamme de températures 100 à 200 °C
- tolérance de maintien  $\pm 3$  °C
- homogénéité de la température  $\pm 3$  °C

La température de vieillissement et notamment le temps de maintien dépendent dans une large mesure de l'alliage à vieillir. En gros il faut prévoir un temps de maintien de 8 à 10 heures pour l'assortiment "A" et de 10 à 13 heures pour l'assortiment "B".

Les fours de vieillissement à chambre sont chauffés par résistance électrique ou au gaz et placés en position horizontale. Le rendement - la rapidité de la montée en température - et la précision de la température dépendent pour beaucoup de la vitesse de circulation de l'air et c'est pourquoi les ventilateurs du four doivent être puissants.

#### Recuit

Cette opération n'est nécessaire que pour les produits de l'assortiment "B" dont 20 à 35 pour cent, à savoir de 2 500 à 3 000 t/an doivent être recuits. Le recuit prend au total 10 heures dont 4 pour la montée en température, 4 de maintien et 2 de refroidissement.

Le recuit exige un four de 5 tonnes de capacité.

#### Paramètres :

- durée du cycle (moyenne) 10 heures
- gamme de températures 250 à 400 °C
- tolérance de maintien  $\pm 5$  °C
- homogénéité de la température  $\pm 5$  °C

Le four est à chambres, électrique ou à gaz, en position horizontale.

Comme les traitements thermiques ci-dessus constituent une partie indispensable des opérations d'extrusion (ou d'écrouissage le cas échéant), le four doit être situé de manière à permettre une circulation des matériaux la moins intermittente possible. C'est pourquoi l'on a tenu compte de l'espace nécessaire au matériel de traitement thermique dans le cadre du paragraphe 1.2.1 (extrusion et finissage).

La conduite du matériel de traitement thermique nécessite un ouvrier par four et par équipe.

### 1.2.3 Ecrouissage

Les fabricants des pays développés exploitant une ou deux presses ne font généralement pas eux-mêmes l'écrouissage des produits et confient cette tâche à des entreprises spécialisées ou à de grandes usines qui disposent du matériel nécessaire.

Dans les pays en développement toutefois, les ateliers d'extrusion peuvent être obligés d'assurer l'écrouissage de leurs produits lorsqu'ils desservent un vaste territoire qui ne contient aucune grande usine compétitive. En ce cas, ils doivent être prêts à produire, tout d'abord, des tubes de résistance haute et moyenne et dans une moindre mesure des barres et tubes de faible résistance. Bien que les fils pour l'électricité soient généralement étirés à partir de matériaux obtenus par coulée continue, il peut être nécessaire d'étirer des fils à partir de produits extrudés dans le cas exposé plus haut.

Comme les quantités sont assez faibles et l'assortiment très vaste, l'emploi d'un laminoir à tubes à froid ne paie pas. On peut réduire considérablement la perte de productivité qu'entraîne l'étirage en employant des lubrifiants d'écrouissage contenant des additifs résistant à la pression, c'est-à-dire à la réduction. Grâce à la plus forte réduction qu'on obtient ainsi, l'étirage peut concurrencer le laminage.

Comme les quantités en cause sont faibles, le rendement n'est pas la considération décisive lorsqu'il s'agit de choisir une machine à étirer. Les machines à faible puissance d'étirage ne conviennent pas à la fabrication rentable de produits de grande dimension en alliages à haute résistance, c'est-à-dire comportant des réductions suffisantes. D'autre part, les bancs d'étirage robustes à plus forte puissance sont trop compliqués pour la fabrication de produits plus petits de dimensions assez précises. Lorsqu'on envisage l'installation d'un seul matériel, un banc d'étirage relativement puissant, d'une force de 100 kN par exemple, peut convenir.

La question de savoir s'il faut ou non installer un second banc d'étirage dépend du nombre des commandes espérées c'est-à-dire de l'assortiment des produits. Si les produits à étirer comportent une forte proportion de barres et tubes de petites dimensions mais très précises, il faudra peut-être installer un matériel d'une force d'étirage de 30 kN par exemple.

Les constructeurs de matériel de fabrication de demi-produits présentent sur le marché mondial des machines hydrauliques très automatisées convenant à l'étirage à plusieurs trous. Ces machines à grand rendement sont toutefois très chères et ne sont rentablement exploitables que dans des entreprises où il y a une demande considérable de produits peu diversifiés. Pour une usine qui n'exploite qu'une ou deux presses et fabrique des produits très divers en petits lots, on peut recommander des bancs d'étirage à chaîne assez traditionnels actionnés par des moteurs électriques. Les accessoires de ces bancs sont plus simples et par conséquent aussi moins coûteux que ceux des autres modèles. Ce matériel permet des changements d'outillage rapides pour la fabrication successive d'articles différents.

Pour tailler les extrémités des demi-produits on doit se servir d'un marteau à course rapide facile à commander. On se sert généralement de modèles pneumatiques. La machine à forger rotative est un instrument à grand rendement. Pour tailler les tubes à paroi mince de plus grand diamètre les marteaux conviennent mieux parce qu'on ne peut pas tailler les tubes sans pratiquer d'encoche dans leur paroi.

Le lubrifiant utilisé pour l'érouissage doit être enlevé du produit fini. Il faut à cette fin installer des bacs, dont l'un doit être chauffable et contenir un solvant émulsifiant cependant que l'autre sert à rincer dans l'eau. On peut aussi employer une solution chaude de lessive à la soude. Il ne faut pas envisager une dissolution au moyen d'une solution de soude caustique parce que d'une part ce produit chimique doit être neutralisé par des acides dans un autre bain avant le rinçage à l'eau et d'autre part parce que cette méthode ne donne pas une surface d'aspect très attrayant.

Lorsqu'il y a une demande pour les fils, il faut acheter une étireuse classique à un seul tambour. Dans ce cas, il faut toutefois que la presse soit munie d'une enrouleuse et il est aussi recommandé d'extruder des billettes successives l'une contre l'autre afin d'obtenir un produit continu.

Pour le matériel recommandé pour l'érouissage voir le tableau 10, variante 2b.

Le paragraphe 1.2.1 (extrusion et finissage) a tenu compte de l'emplacement nécessaire au matériel d'écouissage.

Main-d'oeuvre nécessaire par équipe : deux ouvriers par banc d'étirage; ils peuvent aussi être chargés de conduire les deux machines ainsi que des opérations de taille et de dégraissage.

#### 1.2.4 Fourniture des filières

En règle générale, on ne peut pas concevoir une entreprise d'extrusion qui ne possède pas sa propre fabrication de filières et doive compter uniquement sur des achats. L'expérience enseigne que les ateliers d'extrusion des pays développés confectionnent eux-mêmes de 40 à 100 pour cent de leurs filières, encore que celles qui assurent la totalité de leurs besoins achètent de temps à autre des filières à des fabricants spécialisés surtout pour rafraîchir leurs propres techniques de confection. La proportion des filières achetées dépend entre autres de l'éloignement géographique des fabricants de filières et de leurs normes de fabrication.

Filières achetées et confectionnées sur place doivent, les unes et les autres, être ajustées dans l'atelier ou bien, lorsqu'il s'agit de profilés plus compliqués, sur la presse sur laquelle on les confectionne.

Il faut un ajusteur de filières par équipe pour chaque presse.

Si l'on envisage une production annuelle de 4 000 à 6 000 tonnes (variantes 1a/1 ou 1a/2), on peut tenir compte d'une demande de 250 à 300 nouvelles filières par an. L'expérience montre que 40 pour cent environ des filières s'usent en un an, cependant que 60 pour cent s'accumulent, c'est-à-dire qu'elles ne servent pas à extruder des quantités susceptibles de les épuiser. Cette proportion peut néanmoins être inversée dans le cas d'une usine spécialisée dans une gamme étroite de produits, ayant par exemple un contrat avec une assez grande entreprise du voisinage pour la fabrication de portes et fenêtres; 60 pour cent des filières peuvent alors s'user dans l'année de leur confection.

Ce qui précède revient à dire que les ateliers de confection et d'entretien des filières ainsi qu'un atelier de nettoyage séparé doivent être considérés comme faisant partie intégrante de toute entreprise d'extrusion. Le tableau 11 récapitule le matériel de base à acquérir pour l'atelier de confection des filières (Les prix indicatifs sont basés sur ceux de 1983).

Un tel atelier de filières est capable de confectionner environ une centaine de filières par an - en supposant un régime de travail à une équipe; on pourrait par conséquent atteindre la production de 300 filières mentionnée

Tableau 11

Matériel recommandé pour l'atelier de confection des filières, fournisseurs possibles, prix indicatifs

| N°   | Matériel ou installation  | Fournisseurs possibles   | Prix indicatifs en \$EU |
|------|---|--|-------------------------|
| 1.   | 2.  | 3.   | 4.                      |
| 1.   | Dispositif d'usinage par étincelage à électrodes tampon (avec générateur de table de 100 A : environ 600 x 400 x 350 mm)  | CHARMY, AGIETRON (Suisse), JAPAX (Japon)   | 80                      |
| 2.   | Dispositif d'usinage par étincelage à électrodes en fil programmeur à bande perforée  | CHARMY, AGIETRON, JAPAX FANUK (Japon)  | 200+50                  |
| 3.   | Rectifieuse NC (à commande numérique)   | BRIDGEPONT SERIE, FELMANN  | 25                      |
| 4.   | Rectifieuse verticale (faute de NC)   | Bridgepont (Royaume-Uni)   | 6                       |
| 5.   | Rectifieuse universelle   |  | 10                      |
| 6.   | Tour universel 400 x 1 500  |  |                         |
| 7.   | Tour universel 600 x 1 500  |  |                         |
| 8.   | Perceuse à banc (Ø maxi. de lame 13 mm)   |  | 0,5                     |
| 9.   | Perceuse à colonne (Ø maxi. 32 mm)  |  | 2                       |
| 10.  | Four sous vide pour trempe, vieillissement & nitruration de 250 à 300 filières par an, charge de gaz de refroidissement N°: 3,5 cubes; redevance de licence de nitrocarbonisation comprise dans le prix | IBSEN (Allemagne, République fédérale d'), DEGUSSA (Allemagne, République fédérale d') | 280                     |
| 11.  | Meuleuse simple, avec table rotative Ø environ 1 000 mm   |  | 10                      |
| 12.  | Rectifieuses à turbine à air comprimé pour métaux à haute résistance, Ø 3 à 6 mm, 35 000 t/m  |  |                         |
| 13.  | Instr. de mesure : micromètres intérieurs/extérieurs, calibres à coulisse avec montre   |  |                         |
| 14.  | Limes, à diamant, à aiguille  |  |                         |
| 15.  | Matériel de projection de perles de verre (sec ou humide)   |  | 8                       |
| 16.  | Deux bacs à lessive, chauffables à 60 °C, volume environ 1,5 m³ chaque, avec doublage résistant à la lessive  |  |                         |
| 17.  | Bac de rinçage à l'eau chaude, volume environ 1,5 m³  |  |                         |
| 18.  | Extrudeur, aiguiseur  | EXTRUDER (Suède)   | 25                      |
| 19.  | Ordinateur :  |  |                         |
| 19.1 | Capacité : 24 Kbyte pour desserte du seul dispositif d'étincelage à électrode fil   | Hewlet-Packard (Etats-Unis d'Amérique)   | 6                       |
| 19.2 | Capacité : 240 Kbyte pour desserte du précédent et de la rectifieuse NC   | OLIVETTI (Italie), IBM (Etats-Unis) TEXAS-INSTRUMENTS (Etats-Unis)                     | 60                      |

plus haut en travaillant à trois équipes. On peut obtenir une certaine augmentation de productivité lorsque l'une des rectifieuses est commandée numériquement par ordinateur. L'installation d'une telle machine se justifie lorsqu'on ne trouve pas de conducteur qualifié ou lorsque son emploi coûterait très cher. Le même ordinateur peut commander la rectifieuse et le dispositif d'usinage par étincelage à électrode en fil.

Lorsqu'on installe deux presses (variantes 2a ou 2 b), il n'y a pas lieu d'augmenter le matériel de confection de filière proportionnellement à la demande accrue de filières, qui peut être satisfaite en installant une rectifieuse supplémentaire et un dispositif d'usinage par étincelage à électrode tampon.

La surface des filières en contact avec l'aluminium pendant l'extrusion doit subir une finition qui la rende suffisamment lisse pour permettre l'écoulement désiré du métal. Cette opération s'effectue traditionnellement à la main au moyen de tissu ou de papier abrasif en plusieurs étapes. Comme le résultat peut affecter les conditions d'écoulement du métal au sortir de la filière et en conséquence la forme et la précision dimensionnelle du produit, cette opération doit être exécutée avec le plus grand soin. L'emploi d'un extrudeur aiguiseur, sans être indispensable, est donc très recommandé.

Les filières atteignent leurs propriétés définitives, à savoir résistance et dureté de surface suffisantes, grâce à trois types de traitement thermique, à savoir : mise en solution et trempe, revenu et une manière de durcissement de la surface qui entre en contact avec l'aluminium, ce qui améliore leur résistance à l'abrasion, c'est-à-dire leur durée de vie utile. Tous les traitements thermiques nécessaires dans un atelier qui confectionne de 250 à 300 filières par an tel qu'il est décrit ici peuvent s'effectuer dans un unique four sous vide, à condition d'employer la méthode de nitrocarbonisation considérée comme la plus moderne aujourd'hui. Le four doit être bien alimenté en gaz. Il faut y introduire un gaz neutre (l'azote) afin de refroidir les pièces, mais le même conduit d'alimentation peut servir à introduire un gaz dégageant de l'azote et du carbone qui se répandent sur la surface. On peut se passer du dispositif de traitement thermique et du durcissement de surface lorsqu'il existe dans le voisinage, par exemple, dans un rayon de 50m, une entreprise fiable capable d'exécuter à façon toutes les opérations de finissage.

Au cas où la capacité de l'atelier de confection de filières dépasserait 300 pièces par an, il faudrait installer un second four en plus de celui qui a été décrit plus haut afin de pouvoir procéder simplement et à peu de

frais aux opérations de mise en solution et de trempe.

Il est bon d'installer l'atelier de confection de filières dans le même bâtiment que l'atelier d'extrusion mais il faut qu'ils soient bien séparés l'un de l'autre. Le matériel délicat tel que celui d'usinage par étincelage doit même être installé dans une pièce séparée afin de le mettre à l'abri de la poussière et d'empêcher la pénétration des copeaux de coupe. L'atelier de nettoyage des filières doit lui aussi, être séparé de l'installation mais situé dans son voisinage, le plus près possible du magasin à filières. Cet atelier de nettoyage doit comporter essentiellement trois bacs pour les solutions caustiques et le rinçage à l'eau ainsi qu'un appareil de projection de perles de verre.

Un des bacs doit contenir une solution caustique fraîche fortement concentrée. Ce liquide sert à nettoyer les filières qui doivent être rapidement renvoyées à la presse. Lorsque par exemple, l'ajustage des filières nécessite des corrections successives ou quand il n'y a pas assez de filières pour fabriquer un lot important, les filières doivent retourner d'urgence à la production.

L'autre bac contient du liquide caustique qui a été utilisé un certain temps dans le précédent mais qui présente encore le degré de concentration voulu. Après chaque changement de filière prévu - à l'exclusion des changements impromptus - on nettoie les filières dans ce bac plus lentement que dans le précédent. Il faut aussi disposer d'un bac de rinçage contenant de l'eau chaude pour enlever de la surface les restes de liquide caustique.

Espace nécessaire pour l'atelier de confection de filières :

- 200 m<sup>2</sup> pour la confection
- 200 m<sup>2</sup> pour le stockage
- 200 m<sup>2</sup> pour le nettoyage.

Personnel nécessaire pour l'atelier de confection de filières :

- 1 ouvrier par équipe et par presse pour l'ajustage des filières - le préparateur de filières faisant partie du personnel qui dessert la presse
- 4 serruriers et 6 tourneurs pour la fabrication
- 2 concepteurs également chargés de la programmation de la confection et des machines à commande numérique.

## 2. FONDERIE DE BILLETES

### 2.1 Conception

#### 2.1.1 Production des billettes

On utilise pour la fabrication des demi-produits extrudés des billettes obtenues par le procédé de la coulée semi-continue (DC). Les billettes sont d'ordinaire de forme cylindrique, mais on emploie aussi des billettes plates à section rectangulaire pour la fabrication de produits plats de grande dimension. S'agissant de la quantité et de la qualité des produits extrudés, la qualité de la billette se définit d'après les caractéristiques ci-dessous :

- analyse chimique
- précision dimensionnelle et géométrique
- impuretés gazeuses et solides non métalliques
- qualité de surface
- structure

La composition chimique est généralement indiquée par le client lorsqu'il spécifie l'alliage voulu, et la fabrication s'exécute selon des spécifications normalisées. Lorsque le client n'a pas spécifié la composition chimique, il faut la choisir en fonction des caractéristiques demandées pour les extrusions, par exemple l'alliage 6063, qui fait partie de la famille bien déformable AlMgSi pour les produits à anodiser. La précision dimensionnelle des billettes se définit d'après la section et la longueur de découpage. Par exemple les tolérances sur une billette de 200 mm de diamètre et 600 à 1 000 mm de longueur ne doivent pas dépasser  $\pm 2$  mm et  $\pm 10$  mm respectivement. La précision géométrique, par exemple une valeur de l'écart admissible par rapport à la droite doit être spécifiée pour éviter les rebuts ou les pièces inutilisables.

Le pourcentage des impuretés non métalliques admissible dépend du type de composition d'une part et de l'emploi du produit de l'autre. S'agissant des impuretés gazeuses la détection de l'hydrogène suffit généralement. On utilise le plus souvent à cet effet des appareils qui ont recours à la méthode de la "première bulle" tels par exemple que l'Aluschmelztester suisse. La teneur admissible en hydrogène ne doit en aucun cas dépasser de 0,10 à 0,18 cm<sup>3</sup> pour 100 g Al dans la famille d'alliages 6 xxx. La présence d'impuretés solides, telles que les inclusions d'oxydes et les scories, doit être évitée. Les méthodes modernes de raffinage de la fusion et ou du filtrage "en ligne" effectué après le four de coulée peuvent donner la pureté voulue.

La qualité de la surface de la billette coulée joue un rôle déterminant pour le rendement de la production des billettes et en partie pour la qualité des produits extrudés. La billette ne doit présenter ni fissures ni gouttes froides circulaires, ni criques ni pirosité. S'agissant de matières pour profilés à anodiser, il faut éviter l'exsudation à la surface de la billette ou la microstructure réticulaire continue de la zone extérieure qu'elle entraîne ou l'enlever de la billette par tournage parce que ce sont ces défauts qui entraînent le plus souvent des stries à la surface des profilés. Lorsqu'on détermine convenablement les paramètres de la coulée semi-continue traditionnelle, tels que température du métal, niveau du métal en fusion dans le moule, intensité du refroidissement et vitesse de coulée - et qu'on veille à leur observation on obtient généralement des billettes dont la surface et la structure sont bonnes.

Pour l'anodisation, il importe que les billettes présentent une macro et microstructure globulaires régulières. Il faut obtenir au minimum une structure granulométrique de 400/cm<sup>2</sup>. Des cristaux en colonne peuvent aussi se présenter sur une épaisseur de 10 mm de la zone extérieure et il faut l'enlever entièrement lorsqu'il s'agit de produits dont la qualité de surface doit être excellente.

Pour la fusion des matières et la préparation de la coulée dans les fonderies de billettes d'aluminium modernes, on peut recommander l'emploi de fours à réverbère. On emploie aussi des fours à induction à rigole ou à creuset mais les fours à réverbère sont les plus souvent utilisés. La capacité du four doit être définie en fonction du volume de production envisagé mais il est recommandé de rechercher la plus forte capacité possible car elle donne les meilleures indices énergétiques et technologiques. Les fours en question peuvent être au gaz, au fuel ou électriques.

Les fours à gaz ou à fuel sont de construction robuste. Ils doivent surtout permettre un chargement rapide c'est-à-dire posséder de grandes portes ou un toit amovible, donner accès à la totalité de l'intérieur, et être faciles à décharger pour donner un écoulement laminaire. Le rendement horaire représente de 25 à 35 pour cent de la masse chargée et peut par conséquent atteindre 10 à 12 t/h. La consommation spécifique d'énergie se monte en moyenne à 3,5 GJ/t AL et peut être ramenée à 1,9 GJ/t dans les modèles les plus récents. L'air fourni est préchauffé par un récupérateur jusqu'à 450 ° à 500 °C de manière à mieux utiliser la chaleur. La chauffe est assurée par des brûleurs à course intermédiaire, la vitesse d'écoulement du gaz étant d'environ 100 m/s. La commande du rendement est automatique : c'est la température du bain métallique qui détermine le rapport entre combustible et air de combustion ainsi que la pression à l'intérieur du

four. A l'heure actuelle, les perfectionnements des fours de fusion visent à réduire encore davantage la consommation d'énergie et à assurer la conduite de, tout l'ensemble du processus par ordinateur.

Les fours à réverbère peuvent aussi servir pour la coulée dans ce qu'on appelle un dispositif en tandem avec le four de fusion dans la proportion de 1:1 ou 1:2. Leur capacité est généralement la même que celle des fours de fusion. Ils sont chauffés au gaz, plus rarement au fuel ou électrique. Ces derniers ne sont pas en faveur en raison de leur sensibilité aux vapeurs des sels qu'on emploie pour traiter le métal en fusion.

La composition chimique spécifiée et le pourcentage des impuretés sont ajustées dans les fours de fusion et de coulée. On obtient la composition chimique au moyen de composants métalliques qu'on charge sous la forme de lingots ou de déchets ainsi que d'alliages mères (AlMn, AlFe, AlSi etc.) et d'apports en métal pur (Mg, Zn et autres). Les matières appartenant aux deux premiers de ces groupes de composants sont chargés dans le four de fusion et, après fusion et agitation, purifiés au moyen de flux. On utilise comme flux des chlorures, des fluorures, des sulfates et des carbonates de métaux alcalins ainsi que des métaux alcalins (respectivement Na, K, Ca, Mg) généralement à raison de 0,2 à 0,7 kg par tonne. Pour obtenir la structure voulue des billettes on ajoute un alliage mère d'affinage du grain - c'est d'ordinaire AlTi5B1 à raison de 0,5 à 2,0 kg/t. On peut l'introduire soit dans le four lui-même, soit dans le conduit entre les deux fours lorsqu'on décharge l'un dans l'autre soit encore dans la goulotte après le four de coulée. Dans ce dernier cas, l'alliage mère est sous forme de fil, et en lingots dans les deux autres. On obtient le même effet en utilisant de petites quantités d'alliage en fil.

On a, au cours du temps, employé des matériaux et des procédés divers pour purifier le métal dans les fours de fusion et de coulée. On peut classer les procédés d'après le processus essentiel utilisé :

- chimique (chlore gazeux,  $C_2Cl_6$  etc.)
- mécanique (gaz inerte, vide, filtrage en ligne etc.)
- combiné (gaz inertes et actifs et filtrage); selon la pureté recherchée de la billette et les possibilités de la fonderie ou du four en question on peut employer pour le traitement du métal en fusion un mélange de gaz comprenant 50 % de  $Cl_2$  et 50 % de  $N_2$  ou de  $C_2Cl_6$  à raison de 1 à 3 kg/t.

Les systèmes les plus efficaces sont les procédés combinés comportant l'emploi d'un matériel en continu, tels que le SNIF d'union Carbide, l'ALPUR de

Servimetal, le MINT de Conalco qui sont d'ordinaire installés entre le four de coulée et la machine à couler. Ces installations servent à introduire dans l'aluminium métal un mélange gazeux à base d'azote ou d'argon contenant de 1 à 5 % de chlore sous forme de bulles afin de réduire considérablement la teneur du métal en impuretés alcalines et en gaz. On peut ainsi obtenir en permanence une teneur en sodium de 5  $\mu\text{g/g}$  et en hydrogène de 0,1  $\mu\text{g/g}$ .

Les filtres céramiques conviennent particulièrement pour l'élimination des inclusions de scories et d'oxydes. Deux d'entre eux sont aujourd'hui répandus : les filtres en tuyaux en corundum (Carborundum) et les plaques en trioxyde de chrome et alumina, garnis de mousse de polyuréthane (SELEE, Conalco). Les filtres de ce dernier type sont souvent montés dans la goulotte (Mint de Conalco).

On coule un métal en fusion préparé comme on l'a vu plus haut et analysé. C'est cette phase de la fabrication qui détermine essentiellement la précision dimensionnelle, l'exactitude des formes, la qualité de surface et la structure cristalline de la billette. La machine à couler semi-continue, le moule et les autres appareils qui s'y rattachent ainsi que les paramètres de coulée prescrits peuvent donner des billettes de la qualité voulue.

On ne peut pas obtenir de billette répondant à ces spécifications strictes sans employer une machine à couler en semi-continu fiable. Il est essentiel que cette machine comporte la possibilité de décharger en un seul coup le four; sa capacité est ainsi égale à celle du four de coulée. Pour obtenir des billettes droites il faut aussi : un guidage précis sans vibration, une vitesse de coulée constante, un approvisionnement en eau suffisant (de 100 à 600  $\text{m}^3$  à l'heure), une possibilité de régler la vitesse de coulée et l'arrivée d'eau. Les machines à couler électromécaniques verticales modernes sont actionnées par des moteurs à courant continu à variation infinie assortis d'une génératrice de réserve pour les cas d'urgence. La longueur des lopins peut être programmée avec une précision de 1 cm. On peut aussi faire descendre la machine à couler au moyen d'un cylindre hydraulique pour obtenir des billettes de qualité supérieure. Ces modèles sont toutefois plus difficiles à installer parce qu'il faut ménager un emplacement pour le cylindre hydraulique.

Une installation traditionnelle de coulée de billettes comprend les éléments suivants :

- goulotte
- table de coulée
- manches intérieures du moule, blocs de fond escamotables
- régulateurs flottants du niveau du métal, répartiteurs

Le métal en fusion est amené du four au moule par des goulottes qui doivent être construites de manière à permettre une faible dilatation thermique et faire régner une température quasi uniforme du métal, même s'il y a un grand nombre de moules. Selon les dimensions des fours de coulée et la section des billettes, on peut couler en même temps, par exemple soixante billettes de 150 mm de diamètre.

La table de moulage constitue un système monobloc, c'est-à-dire que les moules baignent dans un même espace d'eau. Aussi peut-on réduire le nombre de joints même s'il y a un grand nombre de billettes à couler; les billettes d'une taille sensiblement égale peuvent être coulées au moyen de la même table et l'enlèvement des billettes ne présente pas non plus de difficultés. Les manches des moules sont faits d'un alliage facilement usinable du type 5xxx, leur hauteur varie de 60 à 140 mm selon le niveau de métal prescrit et leur diamètre dépend des besoins de l'extrusion notamment selon qu'il faut fournir des billettes brutes de coulées ou usinées. Pour des fabrications massives, le diamètre des billettes peut aller de 100 à 400 mm.

Les régulateurs flottants du niveau du métal et les répartiteurs sont d'ordinaire faits d'une substance à l'épreuve de la chaleur et d'une densité inférieure à celle de l'aluminium, par exemple la marinite, le monal etc, et ils font partie du même montage que la goulotte; ils servent à régler et à répartir la quantité de métal qui coule.

On a aujourd'hui mis au point des méthodes de coulée moins sensibles aux variations des paramètres et leur emploi donne des billettes dont la surface et la structure sont adaptées à leur utilisation. On emploie de plus en plus le procédé de coulée dénommé masselotte chaude dans lequel le moule présente une surface refroidie d'une hauteur de 20 à 30 mm au-dessus de laquelle est monté un poinçon isolé capable d'introduire le métal dans les moules sans contenir un répartiteur flottant, au moyen d'un ou deux répartiteurs flottants logés dans la goulotte. Il y a plusieurs méthodes de lubrification de la partie refroidie du moule en question. La plus récente, mise au point par la firme japonaise SHOWA consiste à pulvériser au moyen d'azote gazeux du lubrifiant sur les surfaces de contact de la partie refroidie et isolée contre la chaleur. Cette méthode permet d'obtenir des profilés à anodiser d'excellente qualité et d'augmenter de 10 à 20 % la vitesse d'extrusion tout en réduisant d'au moins 30 % le temps d'homogénéisation. Cette méthode n'est toutefois applicable qu'à condition de disposer d'une installation de coulée d'une extrême précision et en bon état.

Les machines à coulée semi-continue et leurs accessoires modernes ne peuvent toutefois produire des billettes répondant aux spécifications strictes que si les paramètres de coulée sont pleinement observés. Ces paramètres sont les suivants :

- intensité du refroidissement; volume et répartition de l'eau de refroidissement de 10 à 15 litres/kg selon la composition chimique et la section des billettes;
- température de coulée: selon la composition chimique, à température du liquidus plus 20 °C au point de sortie de la goulotte;
- vitesse de coulée : 40 à 150 mm/min selon la composition et la section;
- niveau du métal en fusion dans le moule : 20 à 100 mm en fonction de la vitesse de coulée;
- chute de température du métal en fusion : 100 °C par minute avec répartition dans le métal en fusion.

On peut vérifier la conformité aux paramètres ci-dessus en observant les propriétés de surface et de structure de la billette.

Les billettes extraites du puits de la machine à couler doivent être coupées pour enlever les extrémités supérieure et inférieure ainsi que les parties d'une qualité insuffisante. Cette opération s'effectue au moyen de scies rotatives ou à ruban. La longueur découpée à la partie supérieure est égale à un tiers du diamètre de la billette et celle de la partie inférieure à une moitié. Il faut d'ordinaire homogénéiser les billettes coulées, ce qui peut se faire soit dans le four à chambre de la fonderie soit dans l'atelier d'extrusion lors du préchauffage avant filage. Ensuite, en cas de besoin on tourne les billettes pour en réduire le diamètre de 5 à 20 mm selon la qualité. Les billettes de bonne qualité, le plus souvent non alliées, n'ont pas besoin d'être grattées; le rendement peut alors atteindre 95 %. Toutefois, si l'on tient compte non seulement du coupage et du grattage mais aussi des billettes rebutées, le rendement normal de la coulée est de 70 à 90 pour cent.

#### 2.1.2 Traitement des déchets et production d'alliages mères

Le coupage des extrémités des billettes et des parties de qualité insuffisante ainsi que l'usinage donnent une grande quantité de métal et de copeaux.

Il est recommandé aux fonderies qui travaillent plusieurs types d'alliages de trier ces matières selon leur composition. On peut recharger directement les déchets et les billettes rebutées pour obtenir le même type d'alliage; leur valeur d'usage est la même que celle du métal primaire. On peut aussi recharger les déchets de profilés provenant de la chaîne de finition de l'extrusion, compte tenu du type d'alliage. En pareil cas il faut augmenter le volume de l'agent de traitement, par exemple le flux, à proportion de l'augmentation

de la quantité de déchets.

Les copeaux de tournage des billettes sont d'ordinaire traités dans des fours à induction à creuset de manière à réduire la perte à la fusion. Comme la teneur admissible en impuretés est d'ordinaire plus élevée que dans les produits finis, c'est en alliages mères que l'on transforme habituellement le métal ainsi fondu. Pour les produits de haute qualité on exige des alliages mères exempts d'impuretés produits à partir d'Al à 99,5 % voire à 99,7 % de première fusion.

Outre les déchets ci-dessus, la fonderie donne aussi une quantité considérable de scories. Les scories chaudes enlevées du four contiennent en moyenne de 30 à 50 % d'aluminium, parfois jusqu'à 70 à 80 %. Lorsque les scories refroidissent lentement, près de la moitié de ce métal s'oxyde; c'est pourquoi les fonderies modernes sont équipées de refroidisseurs de scories. Le métal récupéré par un traitement en plusieurs étapes et refroidi peut être rechargé dans le four de fusion, de même que la partie brute et les pièces d'un diamètre supérieur à 50 mm. Les scories fines servent à d'autres usages, par exemple la désoxydation de l'acier.

### 2.1.3 Protection de l'environnement

Les rejets de chlore gazeux de la fonderie sont considérés comme l'un des principaux ennemis de l'environnement. Ce gaz se dégage dans le four ou les appareils de traitement du métal en fusion pendant le raffinage. Malgré la sévérité des règlements concernant les rejets de chlore, aucune neutralisation ni épuration spéciale des effluents gazeux n'est exigée vu le faible volume des flux émetteurs de chlore utilisés dans les techniques habituelles. De plus, les cheminées des fours rejettent le chlore gazeux à une hauteur qui suffit à assurer une dispersion faiblement concentrée et sans effets nocifs. Lorsque toutefois le volume de chlore rejeté est important, par exemple quand on traite le métal au moyen de chlore gazeux, il faut déchlorer et épurer les effluents gazeux. On utilise surtout à cette fin un matériel d'absorption par voie humide et de neutralisation au moyen d'une lessive de soude caustique.

La fonderie consomme un volume considérable d'eau. Elle s'échauffe légèrement (de quelques °C) pendant les opérations et est contaminé par la graisse et l'huile. Pour économiser l'eau, on installe d'ordinaire des systèmes de circulation permettant de la refroidir et de l'épurer. L'eau d'écoulement doit être filtrée et déshuilée dans la mesure où l'exigent les conditions de l'environnement.

L'enlèvement et le stockage des scories primaires ou de celles à faible teneur en aluminium qui restent à la fin des opérations peuvent créer certaines difficultés mais cela ne se produit pas d'habitude. Ces scories contiennent une forte proportion de chlorures, de fluorures, de sulfates etc., qui, en pénétrant dans le sol, risqueraient de contaminer gravement l'eau. Dans les régions très pluvieuses, les scories doivent être stockées de manière à empêcher des contaminants en solution de pénétrer dans le sol.

## 2.2 Choix de la technique et du matériel

### 2.2.1 Production des billettes

Le programme de production et par conséquent la capacité qu'il faut donner à la fonderie de billettes dépendent de la qualité et de la quantité des billettes nécessaires pour produire l'assortiment envisagé. Vu ce que nécessitent les installations d'extrusion examinées ici, nous donnons des plans préliminaires de fonderies de trois capacités différentes. Ce sont, compte tenu des étapes du développement à prévoir, les suivants :

- Si l'installation d'extrusion ne comporte qu'une seule presse (variantes 1a/1 et 1a/2) il convient, du point de vue de la rentabilité, de créer une fonderie pour transformer en billettes les déchets de fusion et de coulée. Or la capacité d'une installation de fours de fusion et de coulée d'une dimension optimale est généralement supérieure à celle qui est nécessaire pour traiter les déchets dont on dispose. C'est pourquoi la fonderie du fabricant peut, en achetant du métal de première fusion et des éléments d'alliage, couvrir plus de la moitié des besoins en billettes de l'atelier d'extrusion à meilleur compte qu'en achetant des billettes et en même temps, s'adapter de façon plus souple à la demande du marché. La capacité d'une telle fonderie est d'environ 4 000 tonnes par an.
- s'il n'y a qu'une seule presse d'extrusion et si la fonderie doit, non seulement traiter les déchets mais aussi couvrir la totalité des besoins de l'extrusion, la capacité de la fonderie à créer à cette fin est de 8 000 t/an.
- s'il y a deux presses d'extrusion (variantes 2 a et 2 b), la troisième variante de fonderie, d'une capacité de 16 000 t/an, est destinée à couvrir la totalité des besoins en billettes de l'extrusion.

Toutes les trois fonderies produisent des billettes de divers diamètres à l'intention de l'extrusion avec une surface brute de coulée, ou dans certains cas spéciaux, tournée, d'une longueur brute de coulée ou tronçonnée, homogénéisées ou non.

La fonderie produit aussi des alliages mères pour son propre usage à partir de déchets, de métal de première fusion et d'éléments d'alliage.

Le calcul des capacités doit tenir compte du volume de la production de l'atelier d'extrusion et de la fonderie. Si l'extrusion n'obtient pas assez de commandes on n'utilise pas pleinement sa capacité pour quelque autre raison, il faut que la fonderie puisse vendre ses produits, billettes et alliages mères, à d'autres entreprises.

#### Technologie, aspects du choix du matériel

La présente étude entend recommander une technique de fabrication applicable en employant un matériel et des installations capables de traiter les déchets de l'extrusion, présentant une souplesse suffisante en ce qui concerne l'exploitation et la production et en même temps exigeant le moins possible de surveillance et d'entretien.

Les charges du four composées de paquets de déchets, de lingots et d'alliages mères, après avoir été préparées dans la zone de chargement conformément à la composition de l'alliage voulu, sont introduites dans le bain de métal liquide qui est resté dans le four de fusion après la charge précédente et sont fondues. On peut accélérer la fusion par agitation. Après avoir analysé rapidement (en quelques minutes) un échantillon prélevé sur le métal en fusion, on procède aux rectifications de l'alliage voulues. On effectue ensuite un traitement de raffinage. On écume la surface du bain au moyen d'une poche préchauffée pour enlever les flux utilisés pour le raffinage et les scories et l'on sépare le métal des flux et des scories par agitation.

Au sortir de fusion le métal est déversé dans un four de coulée où on le traite au chlore pour l'épurer et le dégazer. En même temps on écume de nouveau les scories. Le bain de fusion est porté à la température de coulée.

On prélève un échantillon sur le métal en fusion pour faire une dernière analyse. Le métal à température de coulée ainsi préparé est coulé en billettes du diamètre voulu dans une machine verticale semi-continue.

Les billettes coulées doivent être homogénéisées ou non, selon l'alliage. Cette opération peut se faire dans l'atelier d'extrusion ou à la fonderie. Les extrémités des lopins sont inutilisables et doivent être coupées. Les billettes arrivent à l'extrusion en longueurs brutes de coulée (lopins) ou découpées ou bien encore, lorsqu'il s'agit de produits fortement alliés ou spéciaux, après enlèvement de la surface par tournage.

La figure 7 donne un schéma général de la fonderie indiquant toutes les opérations techniques possibles. Nous traitons ci-après du matériel et des dispositifs qui servent à appliquer ces techniques.

Les fours à réverbère ont fait leurs preuves pour la fusion de matières premières solides. Ils se prêtent particulièrement bien à l'agitation qui sert à intensifier la fusion et à uniformiser le métal ainsi qu'à d'autres traitements. Ils doivent avoir une grande porte pour permettre d'introduire rapidement la charge (lingots, déchets, copeaux, alliages mères) et de procéder mécaniquement au traitement du métal et à l'écumage des scories. Les fourneaux les plus simples sont stables et possèdent au-dessous du niveau du bain un robinet permettant de décharger le métal en fusion par gravité. De 25 à 30 pour cent du métal en fusion restent dans le bain, ce qui accélère considérablement la fusion de la charge suivante et réduit les pertes à la fusion. On emploie de plus en plus des doublages de fours monolithiques très résistants aux effets chimiques des flux ainsi que des procédés mécaniques d'introduction de la charge et des moyens de chauffe.

Le taux spécifique de fusion des fours à gaz ou à fuel est de 300 kg/m<sup>2</sup> ce qui donne la fusion rapide techniquement désirable. Le rendement et la température sont commandés automatiquement; on peut augmenter le rendement thermique des grands fours en installant des récupérateurs pour préchauffer l'air.

Comme il faut que le taux de fusion spécifique soit élevé, les fours électriques doivent être dotés d'accessoires coûteux tels que transformateurs, condenseurs etc. De plus, les matériaux qui servent à les construire et à les doubler doivent être de la plus haute qualité. Comme leur rendement et leur température sont commandés automatiquement et peuvent ainsi être réglés, ces fours présentent un avantage lorsqu'on envisage une exploitation non intermittente; ils ne sont pas à recommander pour les usages dont il est question ici.

Le métal fondu soit subir encore un traitement de préparation à la coulée dans le four de coulée situé au voisinage du four de fusion. Lorsque le métal en fusion a été déversé dans le four de coulée, le four de fusion est prêt pour un nouveau cycle de fusion.

Les fours à réverbère chauffés au gaz et dans certains cas au fuel sont de plus employés comme fours de maintien et de coulée. Ils sont soit fixes soit basculants. L'installation d'un four fixe coûte environ 30 pour cent moins cher que celle d'un four basculant mais ce dernier répond mieux aux nécessités techniques de la coulée. Pendant la coulée, le flot de métal peut être réglé avec une grande précision, c'est-à-dire automatiquement et l'on peut opérer avec une grande sûreté grâce à la possibilité d'arrêter brusquement le fonctionnement

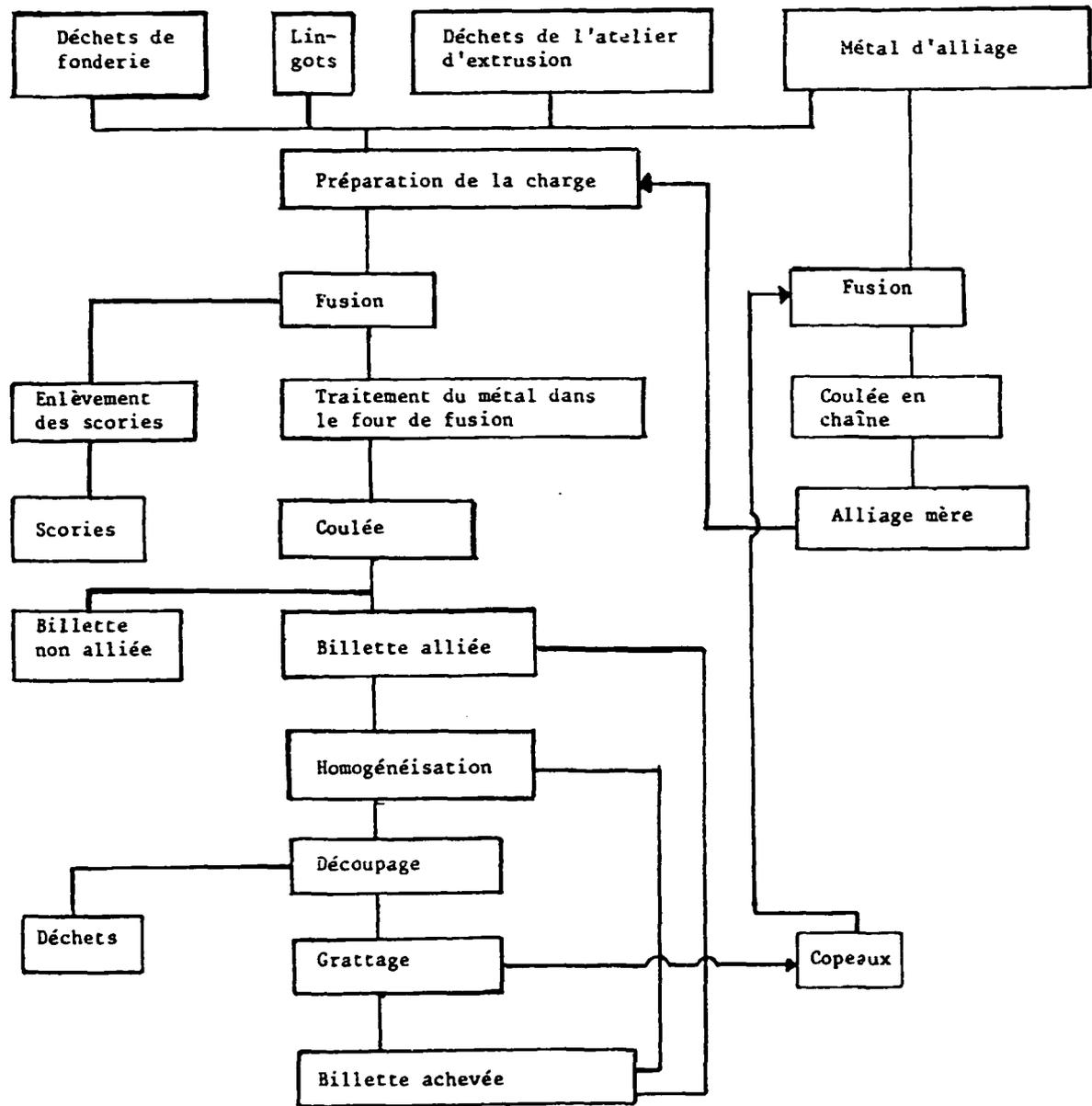


Figure 7.

Schéma des techniques employées dans la fonderie de billettes

en cas d'incident.

Des fours de coulée électrique sont encore en usage dans un certain nombre d'usines. Leur inconvénient est que les effets chimiques des flux de traitement du métal détériorent rapidement les éléments chauffants et que ces fours présentent une grande inertie thermique. La profondeur considérable du bain métallique fait qu'il est difficile d'obtenir la pureté voulue.

Nous partons ici de l'hypothèse de l'installation d'un four à réverbère basculant chauffé au gaz.

Le métal liquide jugé pur du point de vue métallurgique et porté à la température voulue est coulé en billettes de la dimension prescrite dans la machine verticale semi-continue; les conditions de solidification contrôlée du métal en fusion s'appliquent aussi à cette opération.

Les machines à couler les billettes peuvent être classées en deux catégories :

- machines semi-continues verticales, à descente hydraulique ou électromécanique;
- machines semi-continues horizontales.

Les machines verticales ont des tables de coulée dont les moules sont disposés selon le diamètre des billettes.

Le métal liquide est déversé du four de coulée par un système de goulotte dans les moules où se produit la solidification (cristallisation) par suite d'un refroidissement intensif. A mesure que la solidification progresse, la partie inférieure de la table de coulée est abaissée dans un puits jusqu'à ce que soit atteinte la longueur de lopin voulue. La capacité et la dimension de la table de moulage sont déterminés au paragraphe 2.1. La qualité de la fabrication dépend de plusieurs facteurs tels que la précision du guidage de la table escamotable, la possibilité de modifier dans à coups la vitesse d'abaissement (voir paragraphe 2.1), la continuité du flot de métal dans le moule et la constance de sa température, la stabilité du niveau du métal, l'uniformité du refroidissement dans le temps et dans l'espace.

Les machines à couler continues horizontales ne se sont pas beaucoup répandues en raison des prescriptions plus strictes qui régissent leur fonctionnement et leur entretien. En même temps, les progrès techniques et les innovations de structure permettant d'observer les spécifications qualitatives les plus strictes ont pu être incorporées aux méthodes traditionnelles de coulée semi-continue (moules à masselotte chaude, moule électromagnétique etc.)

Il n'y a pas lieu d'envisager l'installation de machines à couler

horizontales pour une usine de capacité relativement faible ni même pour une usine située dans un environnement sans grande ou sans aucune expérience de la production des billettes.

En vertu de ce qui précède, il y a lieu de choisir une machine à couler verticale en semi-continu actionnée par l'électricité.

L'homogénéisation corrige les irrégularités relatives aux éléments d'alliage et aux impuretés. L'effet voulu est obtenu à condition d'assurer une répartition uniforme de la température dans le four, un bon réglage de la chaleur et une température stable très précise. A l'heure actuelle, grâce au perfectionnement des instruments et à l'automatisation, les fours à chambre chauffés au gaz permettent parfaitement de remplir ces conditions moyennant une faible dépense d'énergie spécifique. Les fours d'homogénéisation chauffés à l'électricité ont donc perdu leur importance. L'emploi des fours à fuel doit être évité en raison des impuretés qu'il entraîne à la surface des billettes. Pour l'homogénéisation, il faut choisir un four à chambre à gaz desservi par un poussoir lorsque cette opération n'est pas exécutée lors du préchauffage avant l'extrusion (surtout pour les alliages à haute résistance).

Les billettes homogénéisées sont d'ordinaire refroidies hors du four soit à l'air soit dans une chambre de refroidissement spéciale. Certains métaux très alliés sont refroidis à l'intérieur du four.

Le tronçonnage de lopins de 6 000 mm de longueur à une dimension permettant l'extrusion ne doit pas être effectuée dans la fonderie si l'on peut la faire au moyen de cisailles à chaud ou de scies dans l'atelier d'extrusion. En pareil cas, une scie de rendement moyen peut aussi suffire pour couper les extrémités et pour découper les déchets de manière à ce qu'ils puissent être refondus. Comme ces appareils peuvent devenir nécessaires et comme l'augmentation des investissements en machines n'est nullement directement proportionnelle à celle du rendement, il faut d'ordinaire équiper les fonderies de scies capables de faire aussi le découpage à dimension. Il est recommandé d'installer une scie circulaire rigide à fonctionnement et à alimentation automatiques. Cette automatisation peut aussi s'appliquer aux opérations d'introduction des lopins et à l'empilage des produits découpés.

Si les billettes doivent répondre à des prescriptions particulières, il faut enlever la couche superficielle. Cette opération peut être effectuée sur les billettes découpées au moyen d'un usinage tel que ébauchage. La machine à découper à usage unique doit être munie d'un dispositif d'alimentation et d'enlèvement des matériaux.

L'expérience enseigne qu'il y a intérêt à préparer la production sur place d'alliages mères lorsque la capacité de la fonderie est de l'ordre de 15 à 20 000 t/an, et ce d'autant plus que d'une part le volume des alliages mères à traiter est égal au débit du four qui les produit et que d'autre part il est plus commode de se servir des copeaux produits lors de l'usinage des billettes pour faire des alliages mères plutôt que de refondre.

Lorsque la production des alliages mères doit reposer sur les copeaux, il y a lieu d'installer un four à induction à creuset, qui peut réduire la perte au feu. Pour faciliter le chargement des alliages mères on les coule ordinairement en lingots de 4 à 5 kg sur une chaîne refroidie par aspersion d'eau.

Dans les fonderies dont il est question ici, il n'y aurait pas intérêt à installer un dispositif complexe de traitement des scories, parce qu'il n'y en a qu'une faible quantité. Nous proposons donc un procédé plus simple reposant sur la séparation du métal par agitation des scories écumées dans des cuillères préchauffées pour obtenir l'enlèvement du métal au fond de la cuiller.

Après solidification du métal ainsi récupéré dans des plateaux en fonte, on peut le recharger dans le four. Le dispositif d'agitation est d'ordinaire actionné pneumatiquement ou hydrauliquement.

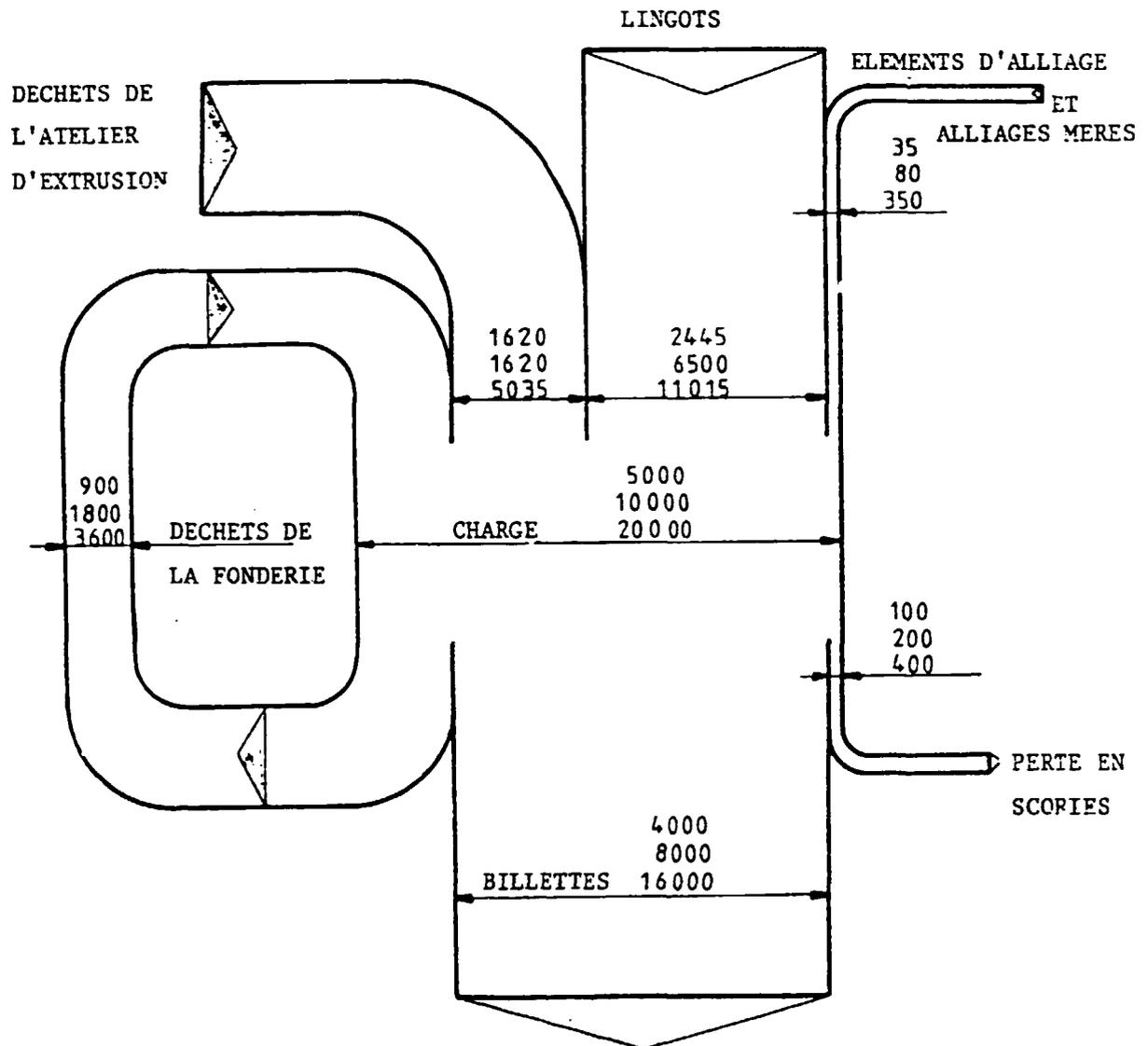
Les matériaux employés pour la fabrication des billettes sont les suivants :

- Matériaux de base : déchets de l'extrusion de la fonderie, copeaux de sciage et d'usinage, lingots de métal de première fusion, métaux d'alliage et alliages mères.
- matières auxiliaires : flux pour le traitement du métal liquide et additifs d'affinage du grain pour obtenir la texture voulue de la billette.

La technique de fonderie exposée ici permet d'obtenir un rendement de 80 pour cent de la charge du four de fusion dans la production des billettes. La perte au feu et l'élimination des scories n'entraînent pas une perte supérieure à 2 pour cent de la charge du four de fusion.

La figure 8 montre le circuit des matières et les quantités utilisées dans la fonderie.

Les fonderies dont il est question ici peuvent produire 4 000, 8 000 et 16 000 tonnes de billettes par an en travaillant à trois équipes.



Note : chiffres en tonnes/an

Figure 8.

Circuit des matières et quantités utilisées dans la fonderie

Pour juger de leurs possibilités d'exploitation, on a tenu compte d'une extension en bloc de la fonderie correspondant à une augmentation de la demande de billettes de l'atelier d'extrusion qu'elle dessert. En élargissant la salle de la fonderie de 4 000 t/an et en y ajoutant un four de fusion et coulée en tandem, on peut en porter la capacité à 8 000 tonnes/an. Avec un nouvel agrandissement de la salle et l'installation d'un système de fusion et coulée plus vaste on peut atteindre la capacité de 16 000 t/an. Dans ce dernier cas, il faut toutefois aussi installer un matériel supplémentaire pour élargir l'assortiment des billettes.

### 2.2.2 Description technique de la fonderie de billettes

La capacité de la fonderie de billettes doit être variable en fonction de la production de l'atelier d'extrusion. Outre l'information donnée dans les paragraphes précédents, il est bon d'étudier les figures 9, 10 et 11 pour connaître le matériel et l'installation appropriée des variantes à 4 000, 8 000 et 16 000 t/an de capacité. Notre description détaillée reposera sur la variante de 16 000 tonnes/an car tout ce qui concerne les capacités inférieures pourra facilement en être déduit.

Quelle que soit la complexité de l'assortiment, la fonderie de billettes de 16 000 t/an est en mesure de satisfaire les besoins d'une installation d'extrusion comportant deux presses et en même temps de traiter complètement les déchets qu'elle produit. Si l'on a décidé de procéder à l'installation par étapes, la capacité des ensembles de fusion et coulée peut être différente, comme le montre la figure 8. Si l'installation se fait en une fois, il est bon d'avoir deux ensembles de fusion et coulée de 15 tonnes de capacité chacun. Bien que le débit d'un ensemble de fusion et coulée de grande capacité soit satisfaisant, deux ensembles de capacité moindre peuvent satisfaire de façon plus souple la demande d'une extrusion qui traite une large gamme de produits. C'est ce qu'il ne faut pas perdre de vue en décidant de l'investissement.

#### Assortiment des billettes produites

Dimensions : Ø de 140 à 155 mm, longueur 6 000 mm brute de coulée ou de 710 à 950 mm découpées; surface brute de coulée ou après enlèvement de la couche superficielle.

Alliage : 40 à 50 % d'alliages très extrudables (6063, 6005) et un peu de métal non allié; alliages de 30 à 40 % à propriétés moyennes (6082, 7020, 5754); de 20 à 30 % d'alliages à haute résistance (2017, 2024, 7075, 5056) (30 % sont à homogénéiser dans la fonderie).

Alliages mères : AlFe, AlSi, AlCu, AlMn).

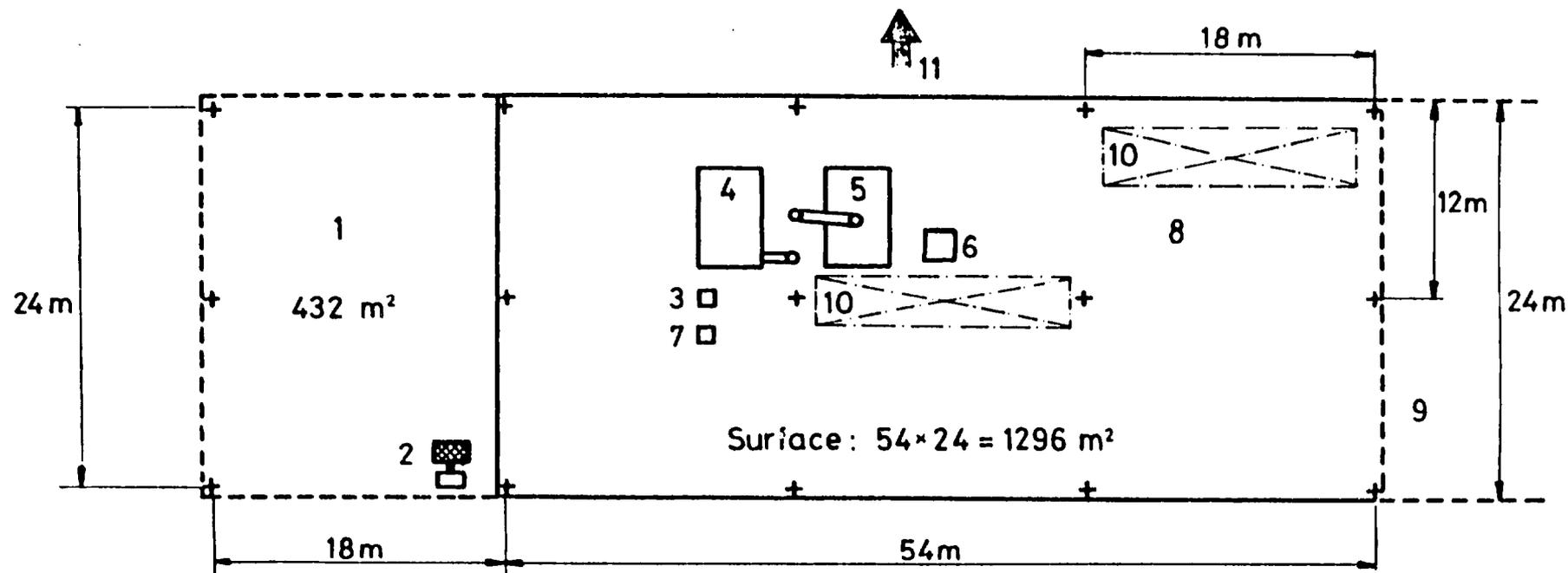


Figure 9.

Plan d'une fonderie de billettes produisant 4 000 t/an

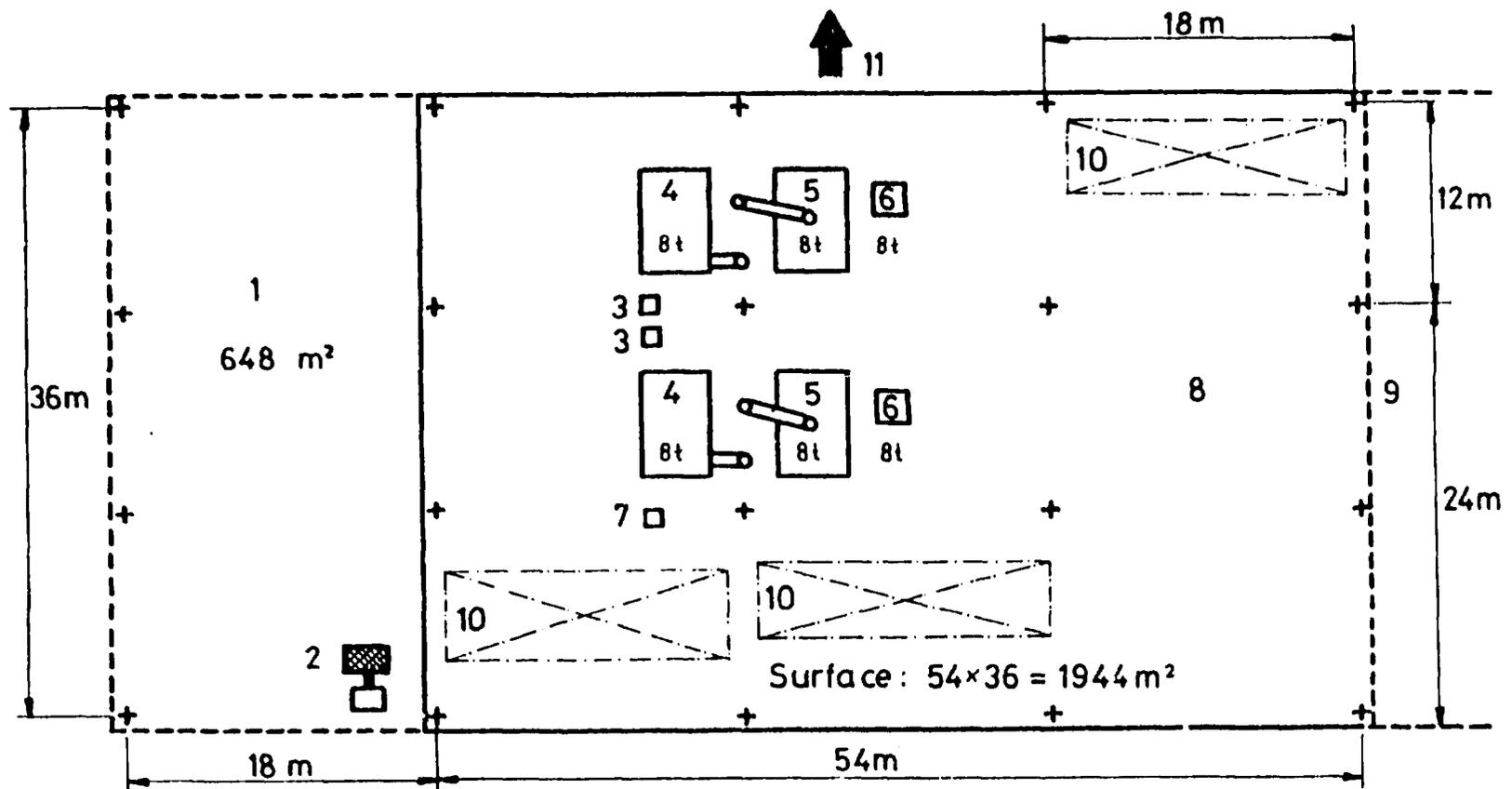


Figure 10.

Plan d'une fonderie de billettes produisant 8 000 t/an

Figures 9 et 10.

Plans d'une fonderie de billettes produisant  
respectivement 4 000 et 8 000 tonnes/an

- 1 - Aire couverte de stockage des lopins (matériau de base)
- 2 - Bascule à plateforme électronique
- 3 - Séparateur de scories
- 4 - Four de fusion
- 5 - Four de coulée
- 6 - Machine à couler
- 7 - Préchauffage des cuillers
- 8 - Stock intermédiaire de billettes
- 9 - Installation d'extrusion
- 10 - Pont roulant (charge : 8 t)
- 11 - Sens de l'agrandissement

Figure 11.

Plan d'une fonderie de billettes produisant 16 000 t/an

- 1 - Aire couverte de stockage des lopins (matériau de base)
- 2 - Bascule à plateforme électronique
- 3 - Séparateur de scories
- 4 - Four de fusion
- 5 - Four de coulée
- 6 - Machine à couler
- 7 - Préchauffage des cuillers
- 8 - Four de fusion
- 9 - Four de coulée
- 10 - Machine à couler
- 11 - Four à induction (Production d'alliages mères)
- 12 - Chaîne de coulée des lingots
- 13 - Poste de préparation des charges
- 14 - Four d'homogénéisation
- 15 - Banc de refroidissement
- 16 - Poussoir
- 17 - Tour à usiner les billettes
- 18 - Scie à tronçonner les billettes
- 19 - Pont roulant (Charge 10 t)
- 20 - Installation d'extrusion

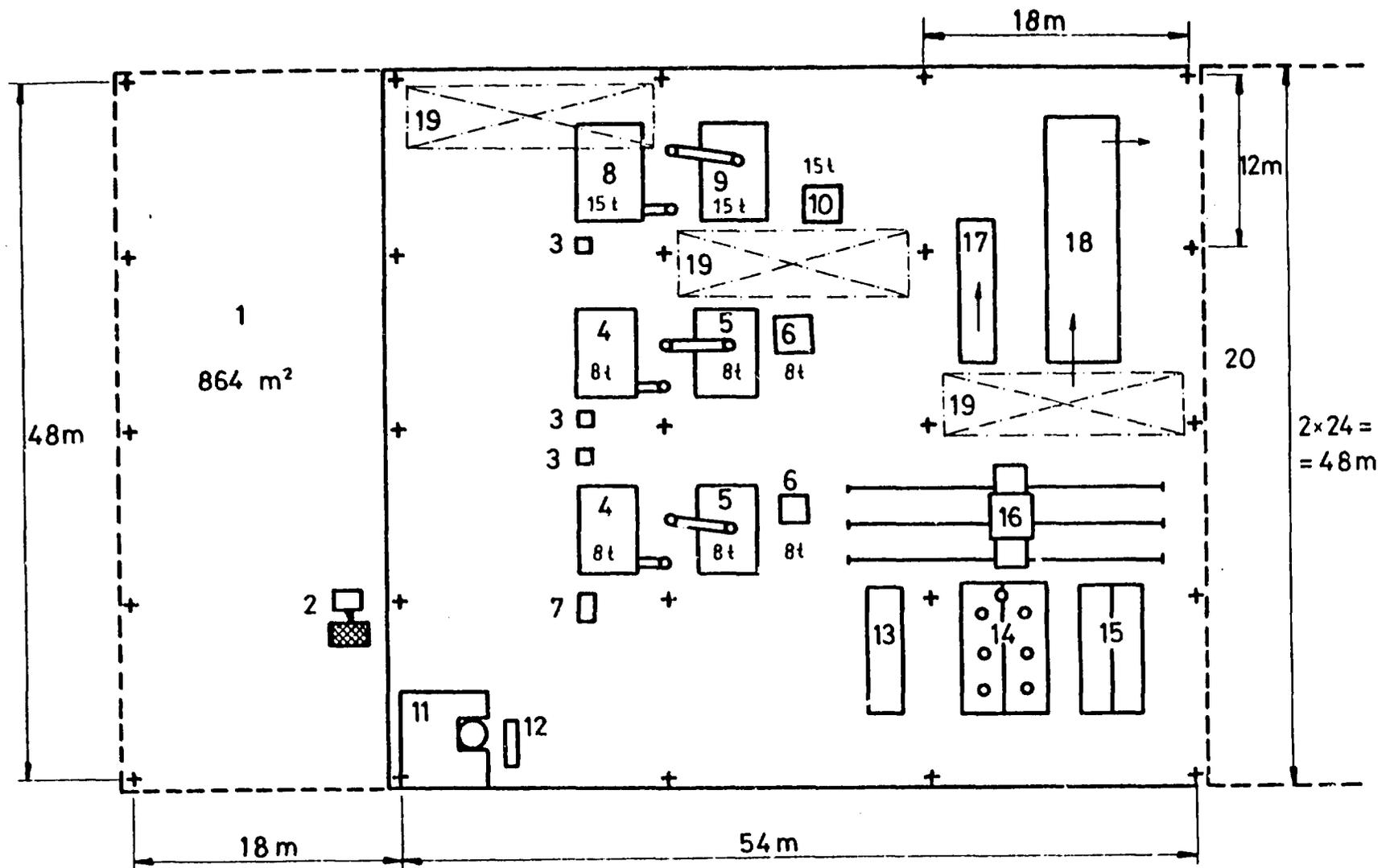


Figure 11.

Plan d'une fonderie de billettes produisant 16 000 t/an

Quelques observations préliminaires sont nécessaires avant de traiter du matériel de la fonderie.

Il est bon de traiter le métal en fusion en y introduisant, au moyen de N° gazeux de haute pureté un agent pulvérulent actif qui dégage du gaz de chlore. L'azote est apporté par une tuyauterie à partir d'un réservoir de N° muni d'un évaporateur.

Lors de l'installation du four et de la machine à couler, il faut prendre soin de laisser un espace libre en vue de la mise en place ultérieure d'un dispositif de traitement (épuration) continu du métal en fusion.

Les lopins de 6 000 mm sont extraits du puits et transportés par le pont roulant jusqu'à la scie et au tour.

Après avoir été coulés, les lopins d'alliages de haute résistance sont hénégenésés dans la fonderie. Ils sont rangés en piles soigneusement séparées les unes des autres au poste de chargement près du four d'homogénéisation selon sa capacité. La charge est introduite dans le four par un poussoir autopropulsé. Le tableau 2 (voir paragraphe 1.1) récapitule les paramètres de l'homogénéisation.

Les lopins à tronçonner sont transportés par le pont roulant jusqu'au magasin de chargement de la scie, happés par le mécanisme de la scie et tronçonnés conformément au programme de production. Les tronçons sont empilés. Les copeaux résultant de ces opérations sont recueillis par un aspirateur dans un casier cependant que les extrémités découpées des billettes sont accumulées dans un autre récipient.

Lorsque les billettes doivent répondre à des spécifications particulières, il faut aussi enlever la couche superficielle. Cette opération est faite au moyen d'un tour. Le pont roulant apporte les billettes au tour où elles sont mises en place mécaniquement, tournées et empilées. Les déchets de cette opération sont recueillis dans des casiers cependant que les billettes sont amenées à l'extrusion.

Les copeaux de l'extrusion et de la fonderie sont fondus dans un four à induction à creuset et, après addition de divers métaux d'alliage, utilisés pour la production d'alliages mères. Cette opération nécessite un four à induction d'une capacité de 1 tonne. Pour accélérer l'opération, il est bon de laisser dans le four un restant de bain de fusion. Le métal liquide est coulé en lingots d'une dimension propre à faciliter leur chargement sur une chaîne de coulée refroidie par aspersion d'eau. La production des alliages mères comporte aussi une analyse de chaque charge. Les lingots servent à confectionner des alliages

dans les fours de fusion.

Les principales installations de la fonderie et leurs caractéristiques essentielles sont les suivantes :

- Bascule à plateforme électronique :
  - capacité : 5 tonnes
  - précision :  $\pm 0,01 \%$
- Chariot diesel pour le chargement des fours :
  - type : à fourche avant
  - capacité de la tête tournante : 1 000 kg
  - longueur de la tête tournante : 1 500 mm
  - capacité du chariot : 8 tonnes
  - cycle de chargement : 500 kg/minute
- Four de fusion, 8 tonnes
  - type : four fixe à réverbère
  - combustible : gaz naturel ou fuel
  - rendement calorifique installé : 260 m<sup>3</sup>/h de gaz naturel
  - rendement de fusion : 2 t/h
  - surface du bain : 8 m<sup>2</sup>
  - charge du bain : 250 kg/m<sup>2</sup>.h.
  - temps de charge : 6 h
  - volume brut : 8 t
  - net : 6 t
  - bain de fusion restant : 2 t
  - mouvement des portes de chargement : commandé depuis le chariot
  - doublage réfractaire : monolithique
  - réglages : allumage, rapport gaz/air, pression
  - type de la couronne : suspendue
  - capacité normale : 4 000 t de billettes achevées par an
- Four de coulée, 8 tonnes
  - type : à réverbère
  - mouvement : basculage hydraulique
  - combustible : gaz naturel ou fuel
  - rendement calorifique installé : 10 m<sup>3</sup>/de gaz naturel
  - surface du bain : 8 m<sup>2</sup>
  - temps de charge : 6 h
  - doublage réfractaire : briques de magnésite
  - élimination des fumées : par cheminée individuelle
  - réglage : rapport gaz/air

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| capacité nominale .                   | : 5 800 t de billettes achevées par an                     |
| - Machine à couler                    | : 8 t  |
| type                                  | : vertical, semi-continu                                   |
| mouvement de la table de coulée       | : électromécanique   |
| charge admissible                     | : 8 t  |
| dimensions de la table des moules     | : 1 200 x 1 200 mm   |
| vitesse de coulée                     | : 0 à 200 mm/min., variable à l'infini                     |
| temps de coulée                       | : 2,5 à 3 h par charge                                     |
| coulée de la charge                   | : par déversement unique                                   |
| réglage                               | : stabilisation de la vitesse de coulée                    |
| consommation d'eau de refroidissement | : 75 m <sup>3</sup> /h                                     |
| type de moule                         | : chambre à eau fermée avec fente d'arrivée d'eau réglable |
| capacité nominale                     | : 12 800 t de billettes coulées par an                     |
| - Four de fusion                      | : 15 t   |
| type                                  | : à réverbère, fixe  |
| combustible                           | : gaz naturel ou fuel                                      |
| rendement calorifique installé        | : 520 m <sup>3</sup> /h                                    |
| rendement de fusion                   | : 4 t/h  |
| surface du bain                       | : 16 m <sup>2</sup>  |
| charge du bain                        | : 250 kg/m <sup>2</sup> .h                                 |
| temps de charge                       | : 6 h  |
| volume brut                           | : 15 t   |
| net                                   | : 12 t   |
| bain de fusion restant                | : 3 t  |
| capacité nominale                     | : 8 000 t de billettes achevées par an                     |
| divers                                | : voir four de fusion de 8 t                               |
| - Four de coulée de 15 t              |  |
| rendement calorifique installé        | : 20 m <sup>3</sup> /de gaz naturel                        |
| surface du bain                       | : 16 m <sup>2</sup>  |
| volume                                | : 15 t   |
| capacité nominale                     | : 10 800 t de billettes achevées par an                    |
| autres éléments                       | : voir four de coulée de 8 t                               |
| - Machine à couler, 15 t              |  |
| charge admissible                     | : 15 t   |
| dimensions de la table des moules     | : 1 600 x 1 600 mm   |
| consommation d'eau de refroidissement | : 150 m <sup>3</sup> /h                                    |

- capacité nominale : 24 000 tonnes de billettes coulées par an  
autres éléments : voir machine à couler de 8 t
- Four d'homogénéisation des billettes
- type : à chambre, chauffé au gaz naturel  
rendement calorifique installé : 100 m<sup>3</sup>/h de gaz naturel  
enlèvement des vapeurs : par cheminée individuelle  
dimensions de la chambre : 4 100 x 2 600 x 7 000 mm  
masse de la charge : 25 t  
mouvement de la charge : par poussoir autopropulsé  
banc, se déplaçant sur parcours fixe
- Four pour la production d'alliages mères
- type : four basculant à creuset  
volume : brut 1 000 kg  
net 500 kg  
puissance installée : 250 kW  
consommation spécifique d'énergie : 525 kWh/t  
durée du cycle : 8 heures par charge  
capacité nominale : 3 000 t d'alliages mères par an
- Tour à usiner les billettes
- dimension des billettes usinables : Ø 100 à 400 mm  
longueur : maxi. 1 200 mm  
capacité : 5 000 t/an  
charge et enlèvement mécanique des billettes
- Scie à billettes
- type : scie circulaire à disque rigide pour le tronçonnage des billettes  
dimensions des billettes : brutes de coulée : Ø 140 par 2 500 à 6 000 mm  
tronçonnées : Ø 140 par 250, 300 et jusqu'à 1 200 mm  
gamme de tronçonnage : Ø 70 à Ø 470 mm  
débit de tronçonnage net : 4 500 cm<sup>2</sup>/minute  
magasin de chargement automatique des billettes  
tronçonnage automatique, programmé  
empilage automatique des billettes tronçonnées  
rendement : maximum 15 t/heure selon la dimension des tronçons

Le tableau 12 récapitule les machines nécessaires à la fonderie de billettes et les investissements estimatifs.

Nous donnons ci-après la liste de quelques constructeurs des principaux matériels et installations de la fonderie de billettes :

Fours de fusion et de coulée :

GAUTSCHI, CH 8274 Tagerwillen, Suisse  
STEIN-SURFACE, 91015 Evry Cedex, France  
ALUTERV-FKI, 1389 Budapest XIII., Pozsonyi ut 56, Hongrie

Machines à couler :

GAUTSCHI COHAMA GmbH, Francfort/M, Zeil 65-69, Allemagne République fédérale d'  
DEMAG, Duisburg, Königstrasse 57, Allemagne République fédérale d'  
WELLMANN, Darlaston, Wednesbury WS Lo8LG, Royaume-Uni  
ALUTERV-FKI, 1389 Budapest Pozsonyi ut 56, Hongrie

Scies à billettes :

KLINGELNBERG, Remscheid, POB 100560, Allemagne République fédérale d'  
OLIVER, Grand Rapids, Michigan, 49504, Etats-Unis  
WELLMAN, Darlaston, Wednesbury WS 108LG, Royaume-Uni  
BERGER, 38130 Echirolles, 24 rue de la Paix, France

Fours d'homogénéisation :

CFI, 93104 Montreuil, rue des Grand-Pêcheurs, France  
STEIN SURFACE, 91015 Evry, France  
GAUTSCHI, Ch 9274 Tagerwillen, Suisse  
BIRLEC, Adridge, Walsall W 89 8BX, Royaume-Uni  
WELLMAN Incandescent Ltd. London, Swiwils Wilton Road, Royaume-Uni  
EBNER, A-4021, Linz-Donau, Autriche

Tableau 12  
Listes des machines et prix estimatifs du matériel pour une fonderie d'une  
capacité annuelle de 16 000 t (FOB port du continent où le matériel est  
construit; montants d'après les prix de 1983)

| N°                   | Matériel  | Nombre | Prix<br>(en milliers de \$ EU) |              |
|----------------------|---|--------|--------------------------------|--------------|
|                      |   |        | unitaire                       | total        |
| 1                    | Ensemble fusion-coulée de 8 t<br>- four de fusion<br>- four de coulée<br>- machine à couler                             | 2      | 750                            | 1 500        |
| 2                    | Ensemble fusion-coulée de 15 t<br>- four de fusion<br>- four de coulée<br>- machine à couler                            | 1      | 950                            | 950          |
| 3                    | Matériel de préchauffage des<br>poches, double bras,<br>4 poches  | 1      | 20                             | 20           |
| 4                    | Séparateur de scories   | 3      | 10                             | 30           |
| 5                    | Four à induction à creuset,<br>1 tonne avec chaîne de<br>coulée de lingots  | 1      | 250                            | 250          |
| 6                    | Four de préchauffage des<br>outils  | 1      | 10                             | 10           |
| 7                    | Four d'homogénéisation des<br>billettes, de 25 t avec<br>poussoir   | 1      | 1 200                          | 1 200        |
| 8                    | Scie à billettes, avec ma-<br>gasin chargeur et<br>dispositif d'empilage  | 1      | 400                            | 400          |
| 9                    | Tour à billettes avec<br>magasin chargeur et dispositif<br>d'enlèvement   | 1      | 150                            | 150          |
| 10                   | Matériel de manutention<br>- une bascule à plateforme,<br>5 t<br>- six chariots de chargement<br>- trois ponts roulants |        |                                | 1 350        |
| 11                   | Matériel de laboratoire et<br>installation d'analyse rapide   | 1      | 250                            | 250          |
| 12                   | Matériels divers  |        |                                | 140          |
| <b>Total général</b> |   |        |                                | <b>6 250</b> |

La salle de l'atelier est un bâtiment modulaire en acier (module de 12 à 18 m) équipé de ponts roulants. La hauteur intérieure utile est de 12 m au-dessus de la zone de coulée afin d'assurer une aération naturelle et de permettre au pont roulant d'extraire verticalement du puits des billettes de 6m de longueur. Les gaz de sortie des fours de fusion et de coulée sont évacués par des cheminées individuelles qui traversent le toit par des ouvertures disposées entre les piliers, de manière à ne pas gêner le fonctionnement des ponts roulants. Il faut prévoir une charge au sol de 5 t/m<sup>2</sup>. Le tableau 13 récapitule les frais de construction prévisibles.

Tableau 13  
Bâtiments de la fonderie

| N°                       | Désignation  | Coût en<br>milliers de \$EU |
|--------------------------|--|-----------------------------|
| 1                        | Salle de fonderie; 54 x 48 = 2 592 m <sup>2</sup>                            | 960                         |
| 2                        | Aire couverte de stockage des matières<br>18 x 48 = 864 m <sup>2</sup>       | 100                         |
| 3                        | Fondations des machines, des réseaux<br>de services publics, sol de la salle | 500                         |
| 4                        | Cheminées d'évacuation des gaz   | 240                         |
| 5                        | Divers   | 80                          |
| Total pour les bâtiments |  | 1 900                       |

Les questions relatives à l'approvisionnement en courant électrique et autres services publics font l'objet du paragraphe 5.2. La fabrication et l'entretien des outils de coulée sont du ressort de l'organisation de la fonderie.

Le tableau 14 donne les besoins en personnel de la fonderie.

Tableau 14  
Besoins en personnel pour l'exploitation  
de la fonderie à trois équipes

| Activité                 | Installation de production<br>annuelle de |       |        |
|--------------------------|---|-------|--------|
|                          | 4 000                                     | 8 000 | 16 000 |
|                          | tonnes/an                                 |       |        |
| Directeur de l'atelier   | 1   | 1     | 1      |
| Chef de la production    | -   | -     | 1      |
| Contremaître             | 3   | 3     | 3      |
| Employé                  | 3   | 4     | 6      |
| Assistant de laboratoire | 4   | 4     | 5      |
| Réparateur d'outillage   | 2   | 5     | 5      |
| Préparateur des charges  | 3   | 3     | 3      |
| Conducteur de chariot    | 6   | 12    | 17     |
| Grutier                  | 6   | 9     | 9      |
| Fondeur                  | 3   | 3     | 3      |
| Manoeuvre fondeur        | 3   | 6     | 9      |
| Couleur                  | 9   | 18    | 21     |
| Homogénéiseur            | -   | -     | 2      |
| Conducteur de scie       | -   | -     | 1      |
| Manoeuvres               | 4   | 4     | 5      |
|                          | <hr/>                                     |       |        |
| Total                    | 47  | 72    | 93     |

### 3. INSTALLATION D'ANODISATION

#### 3.1 Conception

L'anodisation est une opération coûteuse tant en ce qui concerne l'investissement pour la création d'une nouvelle installation que les frais d'exploitation; consommation d'énergie, produits chimiques etc. L'expérience acquise depuis une vingtaine d'années dans ce domaine révèle une tendance à la compression de ces deux ordres de dépenses, sans pour autant compromettre, voire tout en améliorant la qualité et l'assortiment des produits.

##### 3.1.1 Techniques

Toutes les techniques d'anodisation comportent trois groupes d'opérations :

- prétraitement de surface
- anodisation et coloration
- post traitement

Le prétraitement de surface peut s'effectuer de trois façons : mécanique, chimique et électro-chimique. Nous examinons ici les méthodes mécanique et chimique; c'est cette dernière qu'on peut considérer comme la méthode de l'avenir.

Le prétraitement mécanique, à savoir le meulage, exige beaucoup de matériel et de main-d'oeuvre. C'est pourquoi, et aussi en raison de l'amélioration de la qualité de surface obtenue par extrusion, l'on n'y a recours que lorsque la surface doit répondre à des spécifications particulièrement strictes. Le prétraitement chimique le plus commode est le décapage mat, il s'effectue dans le bac avec les autres opérations techniques telles que dégraissage et désoxydation. C'est la méthode la moins coûteuse et aussi celle qui donne la surface lisse et attrayante qu'on appelle le "satiné".

D'immenses progrès ont été réalisés dans le domaine de l'anodisation, de la coloration et de leurs combinaisons. Le nombre des variantes possibles exige une classification. Nous examinerons ici :

- l'anodisation sans coloration
- l'anodisation avec coloration intégrale
- la teinture par absorption
- la coloration par électrolyse

Le revêtement d'oxyde incolore obtenu par anodisation est une puissante protection contre la corrosion et l'usure. Il faut donc le considérer comme un traitement qui d'une part, améliore la qualité du produit et de l'autre

fournit un substrat à la coloration. C'est une méthode relativement peu coûteuse qu'on emploie dans toutes les installations.

Il y a plusieurs méthodes qui donnent une bonne coloration intégrale notamment DURANODIC 300 (Etats-Unis), AUTOKOLOR-HSH (Hongrie) et CORUNDALOR (Allemagne République fédérale d'). Mais les grosses dépenses d'énergie et de produits chimiques ont fait abandonner peu à peu la coloration intégrale par les fabricants.

La coloration après coup des revêtements d'oxyde incolore au moyen de colorants organiques permet d'envisager une gamme illimitée de couleurs. Mais ces colorants (à l'exception de certains produits suisses SANDOZ) résistent peu à la lumière.

La coloration par électrolyse s'est de plus en plus répandue depuis dix ans en raison de la faible dépense d'énergie et de produits chimiques qu'elle entraîne, du fait qu'elle permet le choix de trois couleurs primaires et de leurs nuances et de la durabilité des revêtements ainsi obtenu. Les méthodes et procédés TRUECOLOUR (Etats-Unis), ELEKTROKOLOR (Hongrie) et ALMECOLOR (Allemagne République fédérale d') sont bien connus. On a aussi eu recours à des combinaisons de coloration électrolytique et de teinture par absorption.

Le post-traitement est une opération indispensable au finissage des revêtements anodisés incolores et colorés. On peut aussi envisager des traitements de fixation au moyen de vapeur ou d'eau chaude ainsi que l'application de couches de plastiques par divers procédés. La plupart des fabricants préfèrent la fixation à l'eau chaude qui coûte moins cher et donne une meilleure résistance aux intempéries.

La séquence des opérations qui donne les meilleurs résultats - s'agissant de la qualité, de l'assortiment et des frais - pour le traitement de surface des articles en aluminium extrudés destinés à l'industrie du bâtiment peut être la suivante : dégraissage, décapage mat, décrassage, anodisation, coloration électrolyse et fixation. Entre ces principales opérations s'insèrent naturellement des opérations auxiliaires tels que le rinçage à l'eau.

### 3.1.2 Matériel

Le matériel d'anodisation se compose de base techniques disposés en série. Le produit à anodiser est monté sur un arbre et déplacé le long du bac par une grue. L'installation comporte aussi, selon la technique employée, des sources de courant, des dispositifs de refroidissement et de chauffage, des systèmes de commande, de traitement à l'eau, des magasins pour les produits

chimiques et les pompes ainsi que des épurateurs d'air. Le matériel est d'ordinaire à commande automatique sauf en ce qui concerne la pose et la dépose des extrusions sur les râteliers qui se font à la main. Les installations peuvent comporter une position verticale ou horizontale des profilés dans les bacs; cette dernière est plus répandue.

La capacité d'une installation peut aller de 2 000 à 4 500 tonnes par an selon la taille du matériel. Vu l'importance des frais de construction, une installation d'une capacité inférieure à la limite ci-dessus ne peut guère être rentable pour l'anodisation de profilés destinés à l'industrie du bâtiment. On peut atteindre des capacités supérieures en multipliant les capacités plus faibles. Une telle multiplication, si elle est bien conçue, entraînera une augmentation moindre que linéaire des investissements en installations auxiliaires. Une capacité située à l'intérieur des limites indiquées présente aussi de nombreux avantages du point de vue du fonctionnement.

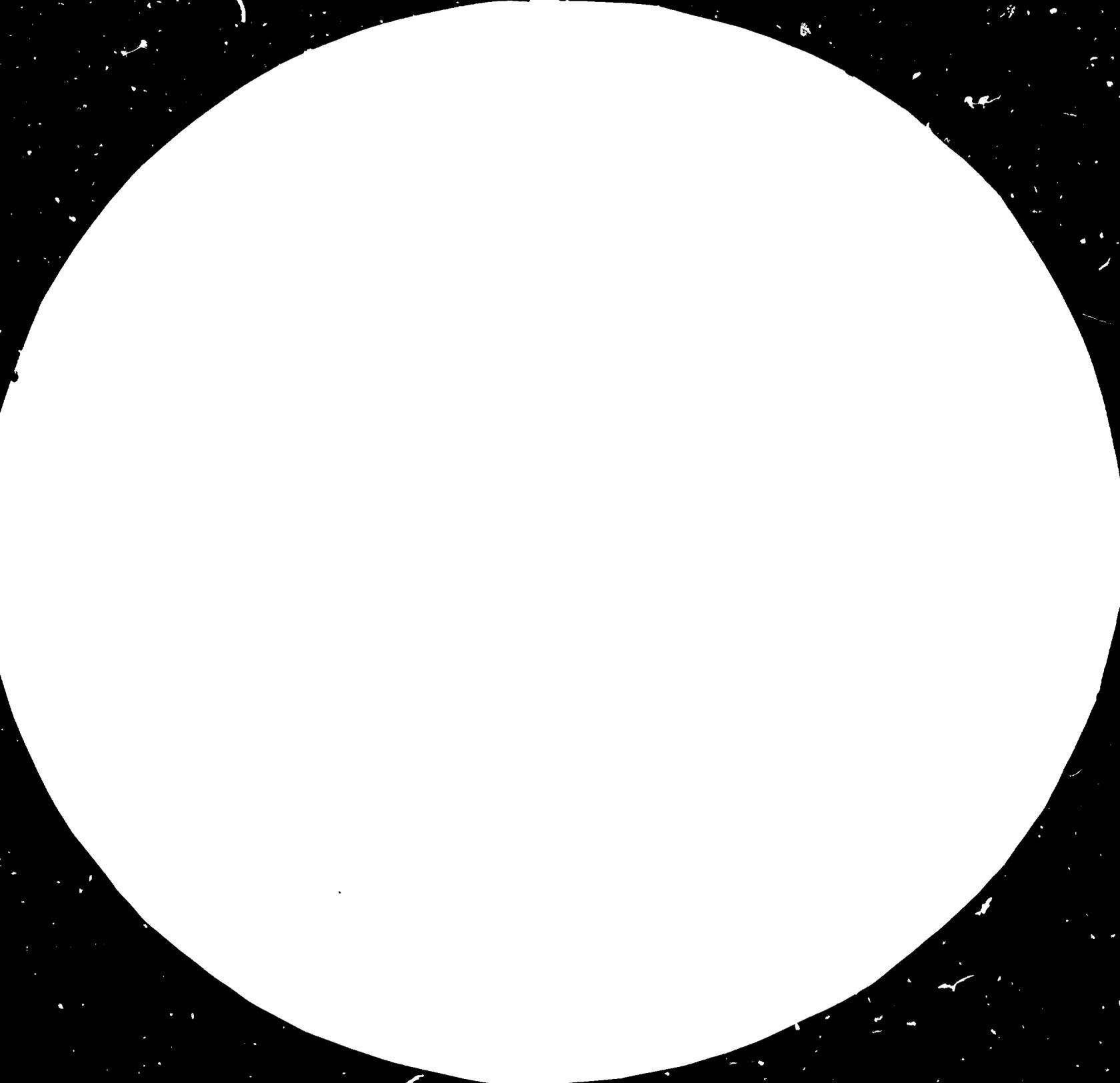
D'après l'usage international, la longueur moyenne des profilés destinés au bâtiment doit être de 6 000 mm et leur surface spécifique moyenne, c'est-à-dire la surface par unité de masse à anodiser, d'au moins  $0,375 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Compte tenu du volume de la production et de l'assortiment des produits des diverses variantes d'installation d'extrusion, on peut s'attendre à ce que la masse à anodiser soit de 3 000 à 6 000 tonnes par an. Il est recommandé d'installer une série de bacs d'une capacité de 3 000 t/an, compte tenu de la dimension et du nombre des bacs. On peut doubler la capacité en installant une deuxième ligne.

S'agissant du fonctionnement, il n'est question ici que de commande automatique. Elle garantit le niveau de la qualité normale pour plusieurs variantes techniques et la souplesse de l'assortiment nécessaire pour répondre à la demande du marché. Elle procure aussi, dans une moindre mesure, les économies de main-d'oeuvre qui motivent d'ordinaire l'adoption de l'automatisation. Elle ne dispense toutefois pas de l'intervention d'un opérateur pour la surveillance et le contrôle de la qualité et pour les situations exceptionnelles, outre les opérations de pose et de dépose sur râteliers dont il a été question plus haut.

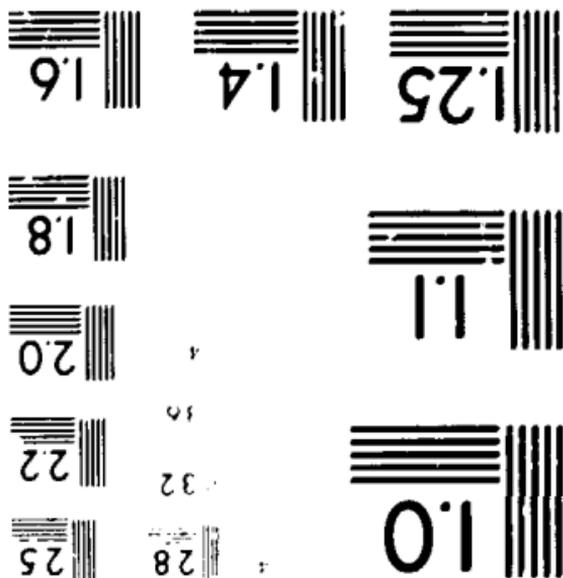
On peut décrire le fonctionnement de l'automatisme au moyen d'un diagramme parcours/temps des appareils de levage qui exécutent les manutentions techniques.

S'agissant des spécifications et du contrôle de la qualité, il faut souligner que l'exploitation d'un matériel capable de fournir une gamme déterminée de produits techniques ne peut être optimale qu'à condition de s'effectuer à l'intérieur de limites prescrites en matière de qualité et d'assortiment.

85-17-07



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-  
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1970  
1A-1030 TEST CHART (NBS)



En ce qui concerne la qualité, on tiendra compte des données locales et internationales en même temps que de la situation du marché. La vérification de la qualité des produits finis exige l'examen de la couleur, de l'efficacité de la fixation et de l'épaisseur de la couche d'oxyde anodisée. La qualité du produit fini dépend de celle des demi-produits de départ (les profilés extrudés) et des paramètres du traitement de surface effectué.

En conséquence, le contrôle de la qualité doit s'appuyer sur la détermination de l'état initial, sur les étapes du processus technique (analyses des solutions) et sur la qualité des produits finis. Ce contrôle doit s'exercer conformément) aux normes internationalement admises (par exemples celles de l'ASTM).

Les effets des solutions acides et alcalines ainsi que ceux des vapeurs et aérosols devront être envisagés du point de vue de la protection de l'environnement. Les dispositifs de traitement des effluents pourront reposer sur le principe de la déviation ou sur celui du recyclage. Ces dernières ont la préférence tant du point de vue de l'économie que de celui de l'environnement. Dans un tel dispositif, on épure l'eau de rinçage au moyen d'un échange d'ions; on peut ainsi se borner à traiter les effluents concentrés et à fournir de l'eau fraîche.

Les vapeurs et aérosols doivent être éliminés du voisinage immédiat de l'installation par aspiration; pour obéir aux règlements concernant la protection de l'environnement, il faut capter (séparer ou précipiter) les matières dangereuses.

### 3.2 Choix de la technique et du matériel

Quand on crée une installation d'anodisation il faut s'efforcer de rechercher la meilleure situation possible sur le marché. A cette fin, il est indispensable :

- de présenter un large assortiment et une qualité optimale
- d'exploiter rationnellement.

Comme ces conditions sont, en un sens, contradictoires, il faut arriver à un compromis qui tienne compte de divers aspects tels que l'assortiment des produits, la capacité, le bon marché relatif de la création et de l'exploitation, la possibilité d'agrandissement, et la présence des éléments essentiels de l'infrastructure.

Pour décider de la capacité du matériel, il ne faut pas oublier qu'en vertu des normes internationales du bâtiment l'épaisseur de la couche d'oxyde du produit doit atteindre de 10 à 15 ou de 20 à 25  $\mu\text{m}$  selon qu'il est utilisé respectivement à l'intérieur ou à l'extérieur. S'agissant de l'assortiment, il

est bon de produire de 60 à 70 % d'articles incolores, c'est-à-dire ayant la couleur naturelle de l'aluminium, et de 30 à 40 % d'articles anodisés colorés. En utilisant deux procédés différents de coloration électrolytique qui donnent chacun trois nuances de couleur, on peut obtenir un assortiment de sept couleurs : six plus la couleur naturelle. Théoriquement, vu qu'il y a deux méthodes de prétraitement de surface - la méthode normale et le décapage mat - cela donne 14 variantes et on peut donc obtenir en réalité de 5 à 8 variantes techniques. Avec plusieurs procédés de coloration électrolytique, on peut avoir des nuances claires, intermédiaires et foncées de gris-noir, de doré-brun et de rouge-bordeaux (ELEKTROKOLOR).

Tout écart à partir de l'assortiment ci-dessus entraîne une modification de 10 à 15 pour cent des investissements et des frais d'exploitation et de 5 à 30 pour cent des recettes de la commercialisation. Bien qu'on admette généralement qu'un produit anodisé plus évolué, par exemple coloré, se vend plus cher, la structure de la demande prévisible entraîne inévitablement un compromis et va jusqu'à déterminer le profit optimal.

Tant du point de vue de l'investissement que de celui de la production, il semble qu'il faille installer des capacités qui, à l'intérieur de certaines limites, puissent facilement être adaptées à l'emploi de techniques d'anodisation différentes et augmentées sans difficultés. On obtient ainsi un dispositif assez souple pour s'adapter aux variations du marché. On peut ainsi, par exemple, augmenter la proportion des produits colorés par rapport aux chiffres prévus ce qui, grâce à leur prix supérieur, permet d'augmenter les bénéfices même si le volume total de la production diminue. Si par exemple, on prévoit dès la création de l'installation, en courant le risque d'un investissement prématuré, un agrandissement de 50 ou 100 pour cent, c'est-à-dire si l'on installe très à l'avance les dispositifs et les approvisionnements en services publics correspondant à cet agrandissement ou si tout au moins on en dresse le plan et si l'on prévoit l'emplacement du matériel de base nécessité par cet agrandissement, l'investissement ne sera que de 75 à 95 pour cent de celui qu'il faudrait pour une installation entièrement nouvelle.

L'infrastructure nécessaire à un établissement d'anodisation la même que pour tout autre établissement, à savoir : alimentation en énergie, services publics, réseau routier, alimentation en eau. L'eau présente une importance capitale parce que l'anodisation et le traitement de surface nécessitent de gros volumes d'eau fraîche, et cette eau doit être de bonne qualité. De plus le volume des effluents est considérable.

C'est la qualité de l'eau qui déterminera les opérations préliminaires d'épuration à exécuter, alors que les méthodes de traitement des effluents dépendront de la quantité d'eau dont on disposera. Ces valeurs auront une influence considérable sur le montant des investissements et des frais d'exploitation.

S'agissant des aspects technologiques et économiques de la création d'une installation d'anodisation, il faut noter qu'on peut l'établir sans créer une fonderie ni une installation d'extrusion; elle exécute alors à façon l'anodisation de profilés fabriqués par une autre entreprise; il arrive aussi qu'une entreprise du bâtiment exécute les traitements de surface des profilés à poser dans les bâtiments qu'elle construit. Ce sont l'utilisation des capacités et l'amortissement des dépenses en capital qui déterminent si l'investissement nécessaire pour établir une anodisation peut ou non être rentable.

Les installations d'extrusion dont il est question ici doivent être équipés d'une ou deux chaînes d'anodisation d'une capacité de 3 000 t/an chacune.

### 3.2.1 Données définissant le type de matériel à installer

|   |   |
|---|---|
| Longueur des profilés                   | maximum 6 400 mm  |
| Diamètre du cercle circonscrit          | maximum 300 mm  |
| Surface spécifique moyenne des profilés | 0,375 m <sup>2</sup> /kg  |
| Alliage et trempe types des profilés    | 6 063 T5  |
| Heures de travail                       | 4 100 par an (trois équipes)  |
| Capacité productrice                    | 3 000 t/an (1 150 000 m <sup>2</sup> /an)   |
| Répartition de la production            | anodisation incolore : 60 - 70 %<br>anodisation colorée par électrolyse : 30 - 40 % |
| Temps total d'entretien                 | 200 - 300 heures par an   |
| Commande                                | automatisée, 7 programmes de base   |

### 3.2.2 Spécifications du matériel

Le matériel se compose essentiellement d'une chaîne de prétraitement et de cuves d'anodisation. Le tableau 15 donne le détail des opérations et des ensembles qui servent à les accomplir. La manutention est assurée par trois grues d'une force de 700 à 1 000 kg chacune qui peuvent être mises en position soit horizontale soit verticale.

Les éléments principaux du matériel sont les suivants : sources de courant continu et alternatif, dispositifs de refroidissement, compresseurs, ventilateurs, chaudière à vapeur. Leur fonctionnement exige les apports

Tableau 15  
Matériel technique pour l'atelier d'anodisation

| N°    | Opération          | Redresseur V/A         | Température approx. de fonctionnement en °C | Volume approx. de la cuve, en litres | Largeur intérieure de la cuve, en mm | Matière de la cuve | Doublage intérieur | L - chauffage<br>J - refroidissement | Commande automatique de la trappe | Porte-anodes | Mélangeur d'air comprimé | Pulvérisateur de rinçage | Isolation antithermique | Tubes d'échappement, en milliers de m³/h |
|-------|--------------------|------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| 01-03 | Pose sur râteliers |                        |   |                                      |                                      |                    |                    |                                      |                                   |              |                          |                          |                         |  |
| 04    | Dég-aissage        |                        | 80-90                                       | 13 300                               | 1 000                                | F                  | K                  | L                                    | X                                 |              | X                        | X                        | X                       | 12                                       |
| 05    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              | X                        |                          |                         |  |
| 06    | Décapage           |                        | 70  | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  | L                                    | X                                 |              | X                        |                          | X                       | 15                                       |
| 07-08 | Satinage           |                        | 55  | 21 260                               | 1 600                                | F                  | G                  | L                                    | X                                 |              | X                        |                          | X                       | 30                                       |
| 09    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              | X                        | X                        |                         |  |
| 10    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              | X                        |                          |                         |  |
| 11    | Décrassage         |                        |   | 10 640                               | 800                                  | R                  | -                  |                                      |                                   |              | X                        |                          |                         |  |
| 12    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | R                  | -                  |                                      |                                   |              | X                        | X                        |                         |  |
| 13    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | R                  | -                  |                                      |                                   |              | X                        |                          |                         |  |
| 14    | Anodisation        | 25/ 8000               | 20+1,5                                      | 18 620                               | 1 400                                | F                  | K                  | J                                    | X                                 | X            | X                        |                          |                         | 14                                       |
| 15    | Anodisation        | "                      | "   | 31 920                               | 2 400                                | F                  | K                  | J                                    | X                                 | X            | X                        |                          |                         | 27                                       |
| 16    | "                  | "                      | "   |                                      |                                      | F                  | K                  |                                      |                                   | X            | X                        |                          |                         |  |
| 17    | "                  | "                      | "   | 31 920                               | 2 400                                | F                  | K                  | J                                    | X                                 | X            | X                        |                          |                         | 27                                       |
| 18    | "                  | "                      | "   |                                      |                                      | F                  | K                  |                                      |                                   | X            | X                        |                          |                         |  |
| 19    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              |                          | X                        |                         |  |
| 20    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              |                          |                          | X                       |  |
| 21    | Coloration         | 30/ 4 000 <sup>x</sup> | 20-25                                       | 15 960                               | 1 200                                | F                  | G                  |                                      |                                   | X            | X                        |                          |                         |  |
| 22    | Coloration         | "                      | "   | 15 960                               | 1 200                                | F                  | G                  |                                      |                                   | X            | X                        |                          |                         |  |
| 23    | Rinçage            |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              | X                        | X                        |                         |  |
| 24    | "                  |                        |   | 10 640                               | 800                                  | F                  | G                  |                                      |                                   |              | X                        |                          |                         |  |
| 25    | Fixation           |                        | 95-100                                      | 31 920                               | 2 400                                | R                  | -                  | L                                    | X                                 |              |                          |                          |                         |  |
| 26    | "                  |                        |   |                                      |                                      | R                  | -                  | L                                    | X                                 |              |                          |                          | X                       |  |
| 27    | "                  |                        | 95-100                                      | 31 920                               | 2 400                                | R                  |                    | L                                    | X                                 |              |                          |                          |                         |  |
| 28    | "                  |                        |   |                                      |                                      | R                  |                    | L                                    | X                                 |              |                          |                          |                         |  |
| 29    | "                  |                        | 95-100                                      | 31 920                               | 2 400                                | R                  | -                  | L                                    | X                                 |              |                          |                          |                         |  |
| 30    | "                  |                        |   |                                      |                                      | R                  | -                  | L                                    | X                                 |              |                          |                          |                         |  |
| 31    | Séchage            |                        |   |                                      |                                      |                    |                    |                                      |                                   |              |                          |                          |                         |  |
| 32    | "                  |                        |   |                                      |                                      |                    |                    |                                      |                                   |              |                          |                          |                         |  |
| 33    | Dépose             |                        |   |                                      |                                      |                    |                    |                                      |                                   |              |                          |                          |                         |  |
| 34    | "                  |                        |   |                                      |                                      |                    |                    |                                      |                                   |              |                          |                          |                         |  |

Légendes : Matière de la cuve Doublage intérieur  
 F = acier K = caoutchouc durci, 4 mm  
 R = acier inoxydable G = caoutchouc durci, 2 mm

Note : x/ courant alternatif

d'énergie suivants :

- courant électrique : 1 600 kVA, 3 x 380 V 50 Hz,  $\cos \varphi = 0,9$  maxi.  
débit de départ 1 350 kVA maxi.
- vapeur pour le chauffage : 2 700 kg/h, 2,5 bar maxi.
- air comprimé : 1 900 m<sup>3</sup>/h, 400 mbar; 40 m<sup>3</sup>/h, 4-6 bar.
- aspiration d'air : 125 000 m<sup>3</sup>/h.

Il faut enfin installer des récipients et cuves de stockage des produits chimiques, des pompes foulantes ainsi que des tuyauteries et des lignes électriques.

Le chapitre 5 traite des installations servant à l'épuration de l'eau fraîche et au traitement des effluents, et donne des prix indicatifs.

Montants indicatifs à envisager (d'après les prix de 1983), approvisionnement en pièces détachées pour un an compris, FOB port du continent d'expédition :

|   | milliers de \$EU              |
|---|-------------------------------|
| - Chaîne automatique d'anodisation<br>(capacité 3 000 t/zn)   | 1 600                         |
| - Installations auxiliaires, cuves  | 450                           |
| - Ingénierie, savoir-faire  | 170                           |
|   | <hr/>                         |
| Total :   | 2 240                         |
| <br>  |                               |
| - Installations, mise en service, y<br>compris direction de l'installation<br>et formation du personnel par le<br>fournisseur | 550                           |
| - Salle avec grues et systèmes sanitaires<br>techniques   | 250 - 350 \$EU/m <sup>2</sup> |

N.B. Les produits chimiques nécessaires au premier remplissage des cuves et un essai d'exploitation de 4 semaines doivent être portés au compte du capital d'exploitation.

Liste de quelques sociétés pouvant être envisagées pour l'étude technique ou la fourniture de savoir-faire ainsi que pour l'organisation de l'installation :

|                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| GALVATEX OY      | Finlande                          |
| ALUTERV-FKI      | Hongrie                           |
| BLASBERG         | Allemagne, République fédérale d' |
| F.LAL            | Italie                            |
| CEGEDUR-PECHINEY | France                            |

Personnel nécessaire à l'exploitation :

|                          | personnes par équipe |
|--------------------------|----------------------|
| - Pose sur râteliers     | 6 - 8                |
| - Dépose                 | 4 - 6                |
| - Technicien du procédé  | 1                    |
| - Entretien              | 1                    |
| - Contrôle de la qualité | 1                    |
| - Chef de groupe         | 1                    |

Pour le travail à trois équipes, il faut de 43 à 55 personnes, dont un contremaître.

### 3.2.3 Comment assurer la qualité

Le demi-produit extrudé constitue le produit primaire à anodiser. Sa composition chimique, la qualité de sa structure métallurgique et de sa surface déterminent si le lot en question peut répondre aux exigences de la variante technique en cause. Outre les méthodes chimiques, mécaniques et métallurgiques bien connues, l'essai d'anodisation est le procédé pratique le plus fiable de contrôle de la qualité. Il importe de maintenir les variations de la composition chimique des profilés extrudés, leurs propriétés mécaniques et les caractéristiques de leur structure à l'intérieur de limites de tolérance très strictes. Si l'expérience prouve que les profilés fournis ou fabriqués présentent constamment une bonne qualité, on pourra réduire le champ des essais, à condition que les spécifications techniques applicables à la fonderie et à l'extrusion aient été observées de la façon la plus rigoureuse.

La technique de bonne qualité consiste à former à la surface de l'aluminium une couche d'oxyde au moyen de divers traitements de surface effectués dans un ordre défini, en soumettant ou non au courant électrique des pièces baignant dans des solutions de compositions diverses. La qualité voulue ne peut être obtenue qu'à condition de contrôler strictement et de rectifier constamment la concentration des agents et des impuretés de chaque solution, ainsi que les paramètres du courant et de la durée du traitement afin de les maintenir à l'intérieur des limites prescrites. Toutes ces conditions préalables

sont d'autant mieux remplies que l'automatisation de l'installation est plus poussée. L'exécution à la main de la pose sur râteliers et sur gabarits, et de la dépose des profilés anodisés contribue puissamment à leur qualité et à son uniformité.

La vérification de la qualité du revêtement d'oxyde comporte des essais et des inspections concernant :

- le bon aspect uniforme
- l'épaisseur du revêtement
- la nuance de la coloration
- l'efficacité de la fixation

Il est bon d'effectuer ces essais conformément aux dispositions des normes internationales (par exemple celles de l'ISO) ou de celles qui sont en vigueur dans le pays où les produits doivent être vendus. On peut à ce sujet se reporter aux normes américaines ci-après :

- ASTM B-487-79, ASTM B-137-45 (rev. 1979), ASTM B-244-79, ASTM B-580-79, ASTM B-457 (en cours de révision), ASTM B-368-68 (rév. 1978), ASTM D-658-70, ASTM D-523-67.

#### 3.2.4 Protection de l'environnement

Tout comme les autres techniques de l'industrie technique la protection devra porter sur le micro- et sur le macro-environnement à savoir éviter toute pollution tant sur les lieux du travail qu'à l'extérieur. S'agissant du lieu du travail, il faut éliminer toute cause de malaise que pourrait subir le personnel, et rendre des mesures de sauvegarde de la santé telles que protection contre le bruit, contre les chocs électriques etc. Pour protéger le macro-environnement, il faut avant tout éviter la contamination de l'air et de l'eau.

Les principaux facteurs de contamination de l'air sont les aérosols formés de vapeurs et de gaz émis par les solutions techniques alcalines et acides. En ce qui concerne le micro-environnement, on peut réaliser une aération qui fait régner des conditions sans danger pour la santé au moyen d'une aspiration aménagée le long des cuves et d'une ventilation générale du local. Afin d'éviter toute contamination de l'atmosphère, le système d'aspiration sera équipé de séparateurs, de capteurs de gouttes, d'épurateurs etc.

La prévention de la contamination de l'eau exige d'ordinaire une double opération, à savoir : neutraliser l'effluent, ce qui signifie le ramener à une valeur pH-7 et maintenir la concentration de certains cations et anions

dans l'effluent au-dessous d'une valeur donnée. On emploie surtout à cette fin des échanges d'ions car ces procédés spéciaux peuvent séparer les impuretés présentes en faibles concentrations dans l'eau de rinçage même lorsque les volumes d'eau sont importants. Ce procédé concentre les impuretés chimiques et permet de renvoyer le reste de l'eau de rinçage au recyclage.

La conception et la construction de l'installation doivent comporter des mesures propres à prévenir les accidents. En formant le personnel et en prescrivant les opérations adéquates dans les instructions de fonctionnement, on doit faire de la prévention des accidents une partie intégrante de la technique.

#### 4. COMMENT OBTENIR UNE TRANSFORMATION PLUS POUSSEE PAR EXTRUSION

En règle générale, plus un produit contient de matière grise plus il est rentable; un produit complexe contenant peu de substance brute par exemple une feuille métallique revêtue d'une couche sensible à la lumière se vend avec plus de bénéfice qu'une matière première rare contenant une grande quantité d'énergie, par exemple un lingot. Pour cette raison, et aussi parce que la concurrence entre les fabricants de demi-produits et notamment entre les extrudeurs est de plus en plus vive, ils s'efforcent de vendre des produits de plus en plus poussés qui se prêtent à une utilisation directe; le vendeur s'efforce de rendre de plus en plus de services.

On a donc assisté à une expansion de l'anodisation des produits extrudés, et avant tout des profilés, car c'est le procédé qui améliore leur résistance à la corrosion et leur donne des aspects plus attrayants et plus divers. Il y a aussi d'autres procédés qui ajoutent à la valeur des produits extrudés et permettent de les vendre plus cher. Leur examen détaillé sortirait du cadre de la présente étude, d'autant plus qu'ils sont sujets à de nombreuses modifications et innovations etc. Nous nous contenterons de les décrire brièvement ci-après :

a) outre l'anodisation, on peut aussi utiliser la peinture pour diversifier l'aspect des profilés;

b) fabrication de profilés pour la confection de fenêtres "thermofuges" (on remplit d'abord l'espace libre au moyen d'un isolant de faible densité et l'on enlève ensuite la bande de métal qui sert de "pont thermique");

c) Elaboration de familles de profilés qui permettent au client de varier les extrusions et d'obtenir ainsi des portes, des fenêtres, des cloisons etc., de formes et de dimensions diverses. On peut aussi confectionner ainsi des rayonnages et autres objets;

d) Apprêt de surface de divers profilés, taille en biseau, perçage de trous décollétés ou non, fabrication de garnitures, poignées de portes, vis, joints isolants et réunion de ces éléments en paquets permettant à un client même inexpert d'assembler l'objet désiré sur place sans avoir recours à un outillage spécial.

Le chapitre 3 a traité de la méthode la plus répandue de finition poussée des pièces extrudées, à savoir l'anodisation.

Le but, l'effet et en partie l'exécution de la peinture des profilés sont comparables à ceux de l'anodisation. Les opérations préparatoires sont pratiquement les mêmes, avec, en plus, la formation d'une mince couche d'oxyde sous la peinture qui n'exige pas nécessairement l'emploi du courant électrique. Il existe plusieurs variétés de peintures et les procédés de coloration sans emploi de solvants organiques et n'entraînant par conséquent aucune pollution de l'environnement sont de plus en plus en faveur. Lorsqu'il y a déjà un atelier d'anodisation dans l'usine, on peut y ajouter un atelier de peinture à relativement peu de frais.

Le remplissage des profilés au moyen d'une mousse isolante et l'enlèvement du "pont thermique" (qui constitue la "rupture thermique") peut s'effectuer au moyen d'une machine à usage unique relativement simple.

Lorsque le personnel de l'extrusion n'est guère apte à mettre au point des familles de profilés permettant d'élaborer une large gamme de produits finis modernes, l'entreprise devra s'en rapporter au savoir-faire de maisons jouissant d'une bonne réputation afin de se procurer les instruments et les techniques appropriées.

Pour fabriquer des profilés et des accessoires prêts à être montés selon la demande du client, plusieurs machines sont nécessaires, à savoir :

- une scie circulaire rotative munie d'un convoyeur à rouleaux qui ne détériore pas la surface des profilés et de butées réglables ainsi que d'un bras de calibrage; l'angle du plan de coupe par rapport à l'axe longitudinal de la table doit être réglable;
- des perceuses simples réglables munies des dispositifs de fixation appropriés;
- des dispositifs auxiliaires pour l'affûtage des scies, la mise en place des mèches etc.

Il faut signaler que ces opérations nécessitent un emploi de main-d'oeuvre relativement important.

Les accessoires non profilés doivent être soit achetés ou confectionnés sur place au moyen de petit outillage spécialisé. Ces fabrications, par exemple celle de vis en aluminium, permettent non seulement de compléter des ensembles prêts au montage, mais aussi d'élargir l'assortiment et de contribuer ainsi à augmenter les bénéfices de l'entreprise.

Il faut surtout que la technique employée pour les opérations de traitement ne détériore pas la qualité de surface des profilés bien extrudés et anodisés.

Il ne faut pas oublier que les commandes d'ensembles de profilés et

d'accessoires "prêts à monter" ne peuvent être satisfaites qu'à condition que la fabrication soit parfaitement bien organisée. Sans quoi, l'exécution prendra trop de temps, ce qui entraînera des pertes importantes du fait de l'accumulation des produits inachevés et de la détérioration de la qualité inévitable pendant les périodes d'attente. De plus, on ne peut conserver une clientèle qu'à condition de la servir vite et bien.

## 5. INSTALLATIONS AUXILIAIRES

### 5.1 Conception

#### 5.1.1 Alimentation en courant électrique et services publics

Le matériel nécessaire à la fabrication et aux opérations auxiliaires doit être alimenté par diverses sources d'énergie. Cet approvisionnement entraîne des investissements et des frais d'exploitation importants.

L'énergie directement consommée à des fins techniques est destinée :

- à la production des billettes : fusion, coulée, homogénéisation etc.;
- à l'extrusion : préchauffage des billettes, extrusion, finition, traitement thermique;
- aux traitements de surface : anodisation, coloration, approvisionnement en eau, aération etc.

Les domaines d'utilisation indirecte de l'énergie sont :

- le chauffage des locaux, la distribution d'eau chaude à des fins techniques et sociales, l'éclairage etc.;
- la fourniture d'air comprimé pour les matériels pneumatiques;
- la fourniture d'eau industrielle pour le refroidissement et la coulée, la production d'électrolytes, l'alimentation en eau potable à des fins sociales;
- l'alimentation en carburants pour les transports et la manutention;
- la consommation des services : entretien, laboratoires, direction, stockage.

Ces besoins peuvent être satisfaits de la façon la plus avantageuse en employant l'électricité et le gaz naturel tant du point de vue de la fabrication que de celui de l'investissement. L'emploi de l'électricité et du fuel est moins avantageux. Enfin, on peut envisager une installation entièrement électrique. Dans certaines conditions naturelles il peut aussi y avoir intérêt à employer le charbon ou une source géothermique de chaleur. Il faut signaler que lorsque l'approvisionnement en gaz naturel n'est pas entièrement fiable, on doit prévoir l'emploi d'une réserve énergétique, par exemple au moyen de brûleurs universels etc. Il peut aussi y avoir intérêt à récupérer l'énergie perdue, par exemple en employant la chaleur des gaz d'échappement des fours de fusion pour chauffer l'eau.

Il faut assurer un approvisionnement en énergie continu et fiable. L'énergie apportée à la consommation technique directe au moyen de conduites ou de lignes, telle que l'électricité, le gaz naturel ou celle qui se prête au

stockage, par exemple le fuel, le charbon, doit être acheté. Pour celle dont l'usage est indirect, il peut y avoir intérêt à créer une source autonome. S'il existe des réserves d'eau en surface ou sous terre, il y a lieu de les exploiter en construisant les ouvrages hydrauliques nécessaires, sans quoi il faudra aussi acheter l'eau. Il peut y avoir de gros avantages économiques - abaissement des frais d'établissement et d'exploitation, réduction des besoins de main-d'oeuvre - à partager les sources de chaleur, d'eau industrielle et potable et d'air comprimé avec d'autres usines, lorsque l'environnement le permet.

#### 5.1.2 Entretien

Dès la création de l'établissement, il faut élaborer une stratégie d'entretien qui définisse la relation entre les frais d'entretien et la sûreté de la production ainsi que les moyens, la technique, le personnel et l'organisation nécessaires pour les réparations. L'entretien préventif est recommandé au même titre que celui qu'on donne "en cas de besoin" pour les éléments de base de la production; il nécessite toutefois un système approprié de diagnostic technique.

Dans les établissements nouveaux et dans ceux où les vérifications ont lieu à des dates fixées par les autorités, par exemple pour les appareils de lavage, les véhicules à moteur etc., on peut aussi prescrire un système périodique d'entretien.

On peut réduire les effectifs du personnel d'entretien, selon la division du travail entre les opérations intérieures et extérieures, dans une proportion de 15 à 20 pour cent du total à condition de pouvoir trouver à l'extérieur une main-d'oeuvre capable d'assurer de 25 à 30 pour cent des activités totales d'entretien.

L'expérience enseigne que l'entretien coûte de 5 à 7 pour cent de la valeur totale des immobilisations.

#### 5.1.3 Transport des matières

Il s'agit des transports et des chargements ci-dessous :

- transport des lingots et alliages mères empilés depuis le magasin de matières premières jusqu'à l'atelier de coulée;
- transport des déchets logés en casiers couverts depuis l'atelier d'extrusion jusqu'au magasin de déchets et ensuite à l'atelier de coulée;
- transport des billettes entre l'atelier de coulée et l'atelier d'extrusion, en passant éventuellement par les magasins intermédiaires;
- convoyage des profilés stockés sur châssis de transport jusqu'à l'atelier.

- d'anodisation ou au magasin;
- expédition des produits finis;
- manutention des divers produits accessoires auxiliaires, garnitures, matériel d'entretien.

#### 5.1.4 Emballage des produits extrudés anodisés ou non

L'emballage sert à conserver le produit dans son état originel jusqu'à ce qu'il soit livré à l'utilisateur, c'est-à-dire à le protéger contre toute déformation mécanique ou détérioration superficielles pendant le transport et le rechargement, ainsi que contre la corrosion et d'une façon générale contre tous accidents.

Il faut étudier le parcours du produit jusqu'à la clientèle et définir les besoins en matière d'emballage d'après les résultats de cette recherche. Mais pour plus de souplesse on peut aussi livrer les produits aux entreprises commerciales sous un emballage qui facilite l'exportation. Lorsqu'il faut envisager un long transport en mer ou sous un climat tropical, il peut être nécessaire d'avoir des emballages hermétiques pourvus d'une cartouche absorbant l'humidité.

#### 5.1.5 Stockage

Afin d'avoir en stock les quantités de matières premières et auxiliaires nécessaires pour alimenter sans à-coups les principales opérations techniques, il faut être renseigné sur le commerce et l'infrastructure de l'environnement dans lequel l'usine sera installée.

La mécanisation est recommandée. S'agissant de produits finis vendus directement sur stock il est bon d'employer un dispositif commandé par ordinateur pour la desserte des magasins à plusieurs étages.

Le stockage méthodique des éléments ci-dessous permettra d'obtenir une production sans à-coups :

- matières de base : lingots et alliages mères
- déchets provenant de la fabrication
- demi-produits
- produits finis
- matériel d'emballage
- outils

- agents énergétiques, combustible
- pièces détachées, matériel auxiliaire d'entretien
- dispositifs et appareils économiseurs de main-d'oeuvre.

#### 5.1.6 Traitement des effluents

L'eau risque d'être contaminée par les opérations ou pour d'autres raisons pendant son utilisation à des fins techniques ou sociales.

L'eau peut être réemployée après épuration; lorsque sa contamination la rend inutilisable, elle doit être captée au moyen d'une précipitation d'eau dont le volume dépend des conditions de l'environnement.

Le degré de contamination de l'eau rejetée par l'usine, c'est-à-dire la proportion d'huile ou de produits chimiques qu'elle contient ne devra en aucun cas être supérieur aux valeurs prescrites pour la protection de l'environnement.

La conception du système de rejet et de captation des effluents devra tenir compte de la quantité d'impuretés qui s'introduisent dans le circuit de recyclage qui dessert l'anodisation, la coulée des billettes et les autres opérations, ainsi que de la contamination de toute l'eau qui n'est utilisée qu'une fois, par exemple pour le lavage et les besoins sociaux.

## 5.2 Choix de la technique et du matériel

### 5.2.1 Alimentation en courant électrique et services publics

La demande directe d'énergie est fonction de l'assortiment des produits, du volume de la production et des paramètres technologiques. Le tableau 16 donne, d'après les principales variantes de l'établissement envisagées ici, les besoins en énergie et en services des diverses opérations.

La consommation directe, outre celle qui est nécessaire à la production elle-même, dépend de la dimension des locaux, des conditions atmosphériques, du personnel, des possibilités d'approvisionnement en eau.

Les chiffres du tableau sont établis dans l'hypothèse où la fusion, excepté en ce qui concerne la production des alliages mères, ainsi que le vieillissement, l'homogénéisation, le préchauffage des billettes et le traitement thermique s'effectuent dans des fours chauffés au gaz naturel, où ce dernier sert aussi de combustible pour l'obtention d'énergie thermique et où la demande d'eau est

Tableau 16  
Principaux éléments consommateurs de l'installation

| Variantes technologiques     | Débit<br>en<br>tonnes<br><hr/> an | Electricité |          | Gaz naturel |          | Combustible |          | Eau                            |                | Air comprimé                   |                 |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
|                              |                                   | MWh         | MW       | MWh         | MW       | MWh         | MW       | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | Nm <sup>3</sup> |
|                              |                                   | <hr/> an    | <hr/> an | <hr/> an    | <hr/> an | <hr/> an    | <hr/> an | <hr/> an                       | <hr/> h        | <hr/> an                       | <hr/> h         |
| Fonderie                     | 4 000                             | 600         | 0,2      | 8 000       | 2,6      | 900         | 0,5      | 240                            | 120            | 120                            | 30              |
|                              | 8 000                             | 1 040       | 0,3      | 15 200      | 4,8      | 1 350       | 0,7      | 440                            | 200            | 200                            | 50              |
|                              | 16 000                            | 1 760       | 0,6      | 36 800      | 13       | 1 800       | 1,0      | 1 200                          | 600            | 350                            | 80              |
| <b>Atelier d'extrusion</b>   |                                   |             |          |             |          |             |          |                                |                |                                |                 |
| A                            | 5 000                             | 4 000       | 1,3      | 3 500       | 1,8      | 1 800       | 1,0      | 50                             | 16             | 70                             | 16              |
| A                            | 6 500                             | 4 500       | 1,5      | 3 900       | 2,0      | 1 800       | 1,0      | 100                            | 30             | 80                             | 17              |
| A                            | 13 000                            | 9 800       | 2,4      | 6 500       | 2,8      | 3 600       | 2,0      | 190                            | 60             | 130                            | 35              |
| B                            | 13 000                            | 10 500      | 2,5      | 7 800       | 3,3      | 3 600       | 2,0      | 190                            | 60             | 140                            | 35              |
| <b>Atelier d'anodisation</b> |                                   |             |          |             |          |             |          |                                |                |                                |                 |
|                              | 3 000                             | 7 200       | 1,5      | -           | -        | 10 000      | 2,5      | 60                             | 15             | 1 400                          | 300             |
|                              | 6 000                             | 14 000      | 3,0      | -           | -        | 16 000      | 3,5      | 120                            | 30             | 2 100                          | 450             |
| Stockage                     | -                                 | 300         | 0,1      | -           | -        | 1 000       | 0,5      | 10                             | 4              | 10                             | 3               |
| Eau                          | -                                 | 300         | 0,1      | -           | -        | 100         | 0,1      | -                              | -              | -                              | -               |
| Air comprimé                 | -                                 | 250         | 0,05     | -           | -        | 100         | 0,1      | 10                             | 2              | -                              | -               |
| Vapeur                       | -                                 | 100         | 0,04     | -           | -        | -           | -        | 30                             | 10             | -                              | -               |
| Divers                       | -                                 | 800         | 0,3      | -           | -        | 2 000       | 1,0      | 50                             | 15             | 5                              | 2               |

réduite par refroidissement et remise en circulation de manière à en permettre le réemploi.

La somme des demandes d'énergie peut tenir compte d'un facteur de coïncidence d'environ 0,9.

D'après les chiffres du tableau 16, les demandes d'énergie ont été calculées pour une usine comprenant une fonderie d'une capacité de 16 000 t/an, un atelier d'extrusion à deux presses, un atelier d'anodisation débitant 3 000 t/an et tous les ateliers auxiliaires nécessaires :

|              | <u>Energie</u>                   | <u>Utilisation annuelle</u>                          |
|--------------|----------------------------------|--|
| Electricité  | 4 MW                             | 21 210 MWh   |
| Gaz naturel  | 20 MW (2 000 Nm <sup>3</sup> /h) | 63 200 MWh<br>(6,3 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> ) |
| Eau          | 650 m <sup>3</sup> /h            | 1 550,10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>                 |
| Air comprimé | 400 Nm <sup>3</sup> /h           | 1 905,10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup>                |

Les principales caractéristiques des systèmes d'alimentation en énergie peuvent se résumer comme suit :

#### Electricité

Il est bon de brancher l'usine sur un réseau public de voltage moyen et de transmettre au moyen de câbles un courant non transformé aux principaux éléments consommateurs de l'installation.

Les conditions locales peuvent exiger l'installation d'un transformateur principal qui fasse passer le courant de 35 à 100 kV pris sur la ligne de transmission à un voltage moyen de 3 à 10 kV.

Les répartiteurs et les installations individuelles des locaux sont alimentés par des transformateurs donnant une tension moyenne ou basse. La tension moyenne doit être égale à la tension opérationnelle des éléments à alimenter en tension moyenne, s'il en est; le débit unitaire des transformateurs doit être adapté à la plus forte puissance installée utilisée par le consommateur. Il est recommandé d'installer un parc de transformation composé d'éléments interchangeables. Pour le chauffage à l'électricité ou pour les fours de traitement thermique, il y a lieu d'utiliser des transformateurs isolés par l'air d'une capacité de 1 à 1,6 kVA propres à l'usage interne, sans quoi une capacité de 0,63 à 1 MVA suffira. Il faut fournir un facteur de phase suffisant en installant des capaciteurs à commutation automatique du côté de la basse tension des transformateurs.

Pour obtenir une meilleure sécurité de fonctionnement, il est bon d'avoir un réseau de tension moyenne isolé, les systèmes à basse tension pouvant être munis d'un (quatrième) fil neutre protecteur.

Il ne faut pas oublier que les redresseurs utilisés dans l'installation d'anodisation entraînent des distorsions indésirables dans les conduites.

Les usines qui desservent de vastes territoires ont besoin d'un apport de courant renforcé; une double réserve peut aussi se justifier pour divers éléments tels que la prise d'eau, les compresseurs d'air, la chaufferie, l'éclairage général.

Pour éviter les inconvénients provoqués par les variations de tension ou les courts-circuits il importe de vérifier avec soin les paramètres du dispositif d'alimentation en courant électrique.

#### Gaz naturel

L'alimentation en gaz naturel a son centre à la station où l'usine est branchée sur le réseau extérieur et où s'effectue la réduction de pression du gaz. Le gaz naturel est ainsi apporté aux brûleurs sous une pression de 1 à 2 bar; un régulateur de pression local stabilise alors le niveau de pression désiré.

Le réseau des canalisations, les brûleurs et leur voisinage doivent être équipés d'appareils de détection des fuites. Lorsque l'alimentation en gaz est sujette à des intermittences, il faut prévoir des réserves suffisantes; il y a des combinaisons de brûleurs qui permettent de substituer le fuel au gaz en cas de besoin.

Lorsque l'alimentation en énergie de l'usine repose sur le fuel, il faut réserver un espace au rangement et au stockage de ce combustible, en tenant compte du risque d'incendie; en conséquence le fuel doit être amené au point de consommation par des tuyaux. Alimentation en chaleur pour le chauffage et en eau chaude à des fins sociales.

Les conditions climatiques peuvent exiger une forte consommation d'énergie thermique pour le chauffage. On peut installer une chaudière centrale chauffée au gaz naturel, au fuel ou au charbon donnant de la vapeur de 4 à 10 bar pour le chauffage des locaux. Le système de condensation de la vapeur doit être conforme au système de chauffage des locaux.

On peut chauffer l'eau destinée à des fins sanitaires au moyen d'un système centralisé ou réparti entre les points d'utilisation.

Le générateur de vapeur ou le matériel fournissant la chaleur doivent être munis non seulement des instruments et des commandes nécessaires à leur fonctionnement et à la sûreté mais aussi d'appareils de mesure aux fins de contrôle et d'économie.

### Air comprimé

L'air comprimé à 4 à 6 bar nécessaire aux installations techniques doit être produit dans un compartiment central où doivent se trouver aussi les dispositifs de refroidissement, d'épuration et de stockage de l'air. Afin de constituer des réserves, il faut que le compartiment du compresseur d'un débit relativement faible se compose de plusieurs éléments. L'air comprimé est apporté aux points d'utilisation par des conduites. A l'intérieur des salles, installations etc., la distribution s'effectue au moyen de tuyauteries et de branchements. Il est bon de mesurer avec soin le volume de l'air comprimé produit et utilisé.

### Alimentation en eau

L'eau servant à la production doit répondre à plusieurs exigences quantitatives et qualitatives. C'est la fonderie qui utilise le plus d'eau pour obtenir une bonne solidification du métal en fusion : il faut de 3 à 5 NK° d'eau à la température de 18 à 25 °C et une pression de 4 à 6 bar.

Il faut un volume considérable d'eau pour refroidir les éléments et les paliers des machines qui travaillent dans un environnement chaud, les fluides hydrauliques etc.; il faut aussi que cette eau soit absolument pure car une très faible contamination (par l'huile, par exemple,) risque de compromettre la capacité de transfert de chaleur.

Il faut beaucoup d'eau pour les électrolytes de l'atelier d'anodisation où la présence d'impuretés chimiques nécessite un traitement particulièrement délicat. Cette eau peut également être utilisée dans les chaudières.

Enfin, il peut aussi être nécessaire de créer une installation spécialement destinée à satisfaire la demande d'eau potable à des fins sociales.

Lorsqu'on dispose d'une source abondante d'eau, on peut satisfaire la demande d'eau même en ne l'utilisant qu'une fois. Lorsqu'on peut brancher l'usine sur un réseau d'adduction public, il suffit de poser des conduites de distribution. Toutefois, lorsqu'il y a des réserves d'eau en surface ou sous terre, il faut assurer le maintien d'une pression constante au moyen de dispositifs d'élévation et de pompage et si possible d'un château d'eau.

Dans les régions pauvres en eau, on peut refroidir les matériels au moyen d'un circuit fermé de recyclage : l'eau chaude, ramenée à 20-25 °C dans des tours de refroidissement, doit être remise en circulation au moyen de pompes. Si le système est bien clos, la quantité d'eau fraîche nécessaire

pour compenser l'évaporation et les fuites peut n'être pas supérieure à 10 % de la demande totale.

La qualité de la réserve d'eau peut nécessiter l'emploi d'un adoucissant, voire un traitement spécial. Lorsque l'eau industrielle sert à plusieurs usages exigeant des propriétés différentes, l'installation de systèmes de recyclage autonomes séparés les uns des autres peut se justifier. L'établissement d'un système séparé pour le refroidissement des moules des machines à couler est particulièrement recommandée, toutes les autres utilisations peuvent être rattachées à un système commun. La production sur place d'eau potable doit observer rigoureusement toutes les prescriptions d'hygiène. L'emploi d'un château d'eau présente aussi un avantage lorsqu'on envisage une circulation d'eau; en pareil cas il faut une capacité de stockage correspondant à la demande d'un ou deux jours, compte tenu des dispositions à prendre pour le cas d'incendie, et l'eau doit être renvoyée au château par gravité ou par pompage.

Les pompes servant à l'approvisionnement en eau doivent être installées au voisinage du refroidisseur et du château d'eau ou des réservoirs centraux de stockage.

Afin d'économiser l'eau, on munira le système d'instruments de mesure du volume et des paramètres techniques.

Plan général de l'approvisionnement en énergie et services publics.  
Investissements.

Les figures 12 et 13 donnent un plan général des dispositifs d'approvisionnements en énergie et services publics.

A l'exception du réseau des câbles électriques, toutes les conduites desservant les installations doivent être situées au-dessus du sol dans un pont tubulaire. On assurera l'isolation, la possibilité de réparation et la protection contre la foudre.

Le tableau 17 donne une liste des établissements de fourniture d'énergie et des services publics ainsi que les principaux paramètres techniques et les coûts estimatifs. L'installation d'un service central de répartition permettra de réaliser des économies de personnel.

#### 5.2.2 Entretien

Nous énumérons ci-dessous les éléments du matériel qui nécessitent un entretien régulier :

- systèmes hydrauliques : presses etc.;
- fours et leurs accessoires : fusion, coulée, traitements thermiques;
- outillage de finition : chaînes de finissage, scies, machines à emballer etc.;

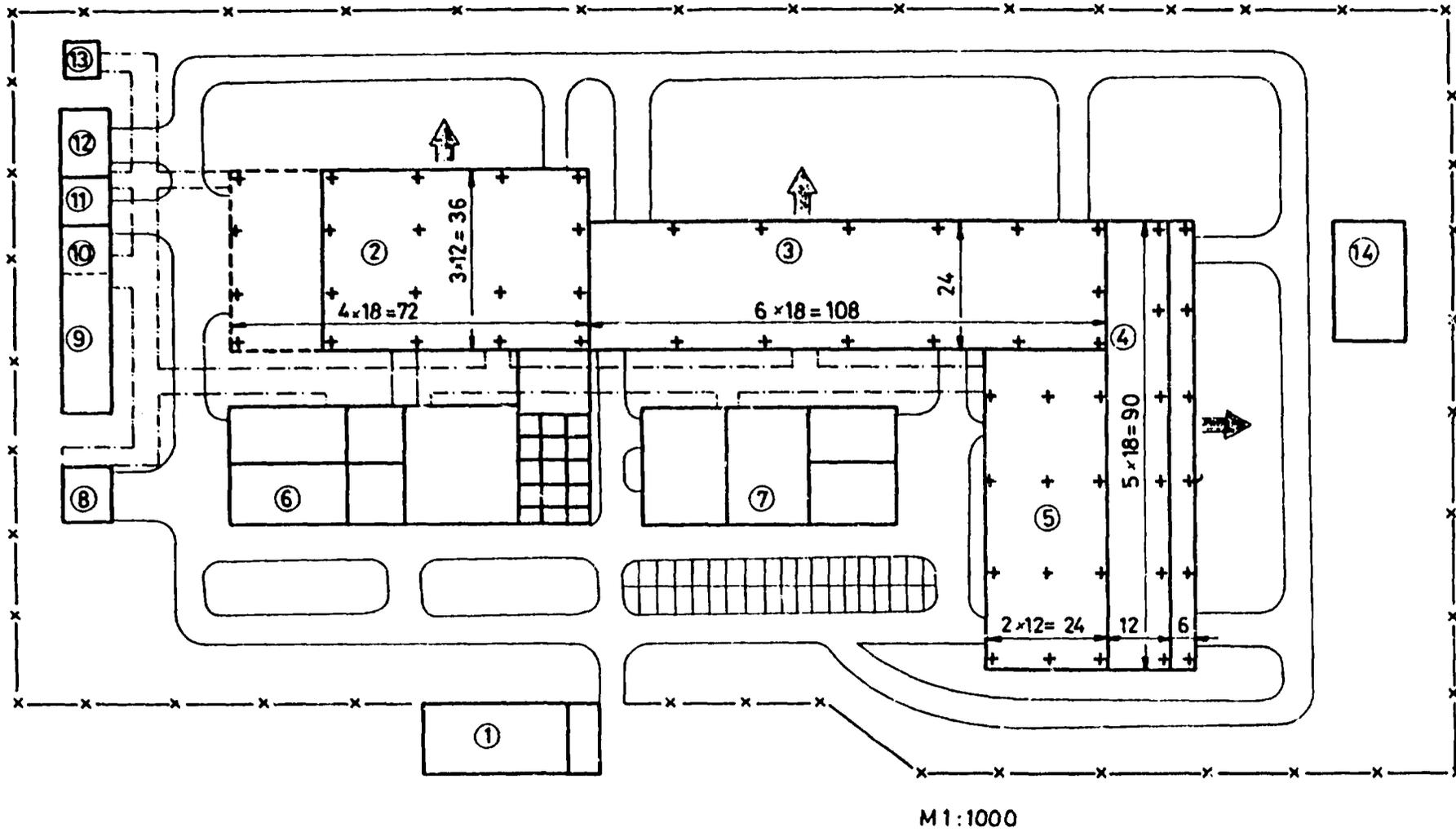


Figure 12.

Plan général d'une installation comportant une seule presse

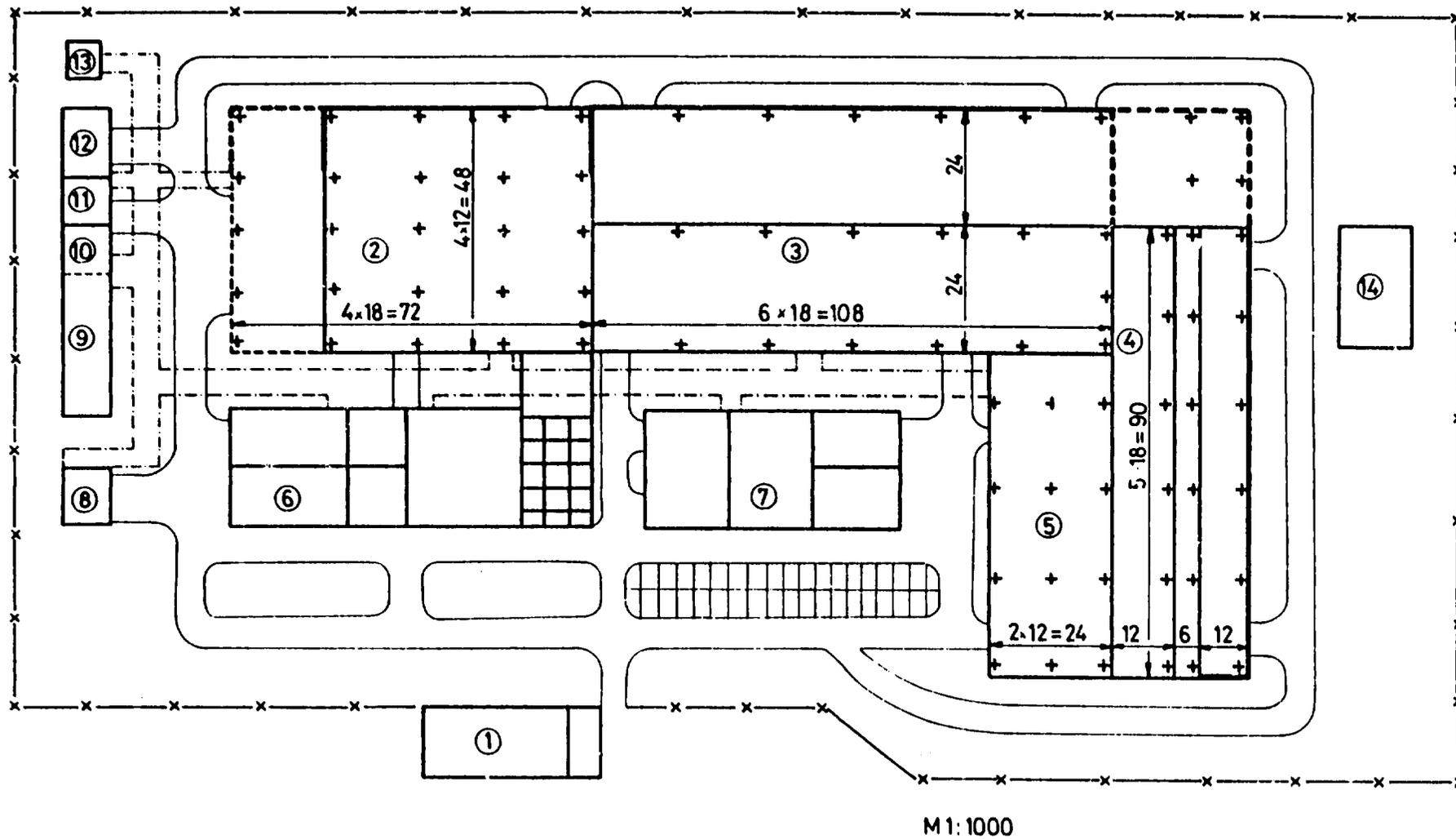


Figure 13.

Plan général d'une installation comportant deux presses

Figure 12.

Plan général d'une installation comportant une seule presse

Figure 13.

Plan général d'une installation comportant deux presses

- 1 - Bâtiment central (Bureau, loge du gardien, cuisine, cantine)
- 2 - Fonderie de billettes
- 3 - Extrusion
- 4 - Anodisation
- 5 - Magasin de produits finis
- 6 - Bâtiments des services n° 1 (magasin du matériel auxiliaire de la fonderie, atelier d'entretien des outils et moules de la fonderie, laboratoire, locaux à usage social, direction de l'usine)
- 7 - Bâtiment des services n° 2 (atelier de confection et d'entretien des filières d'extrusion, atelier d'entretien et magasin, stockage du matériel d'emballage, éventuellement locaux à usage social, direction de l'installation)
- 8 - Station de branchement électrique aux réseaux extérieurs
- 9 - Alimentation en eau potable par branchement sur le réseau extérieur
- 10 - Eau industrielle et branchement sur le réseau extérieur
- 11 - Compresseur d'air
- 12 - Chaudière et alimentation en vapeur
- 13 - Détendeur de gaz naturel et réservoir et conduites de fuel.

Tableau 17

Liste des installations d'alimentation en énergie et services publics

| Services et matériels  | Investissements (en milliers de dollars) x/ |           |  |                                     |
|--|---|-----------|--|-------------------------------------|
|  | Matériel montage compris                    | Bâtiments | Personnel nécessaire pour l'exploitation | Espace nécessaire en m <sup>2</sup> |
| <u>Electricité</u>   |   |           |  |                                     |
| 2 transformateurs de couplage de 6,3 MVA, tension 6 kV, (placés à l'extérieur)   |   |           |  |                                     |
| Distributeur, 6 kV, 15 champs complets, avec instruments (placé à l'intérieur)   |   |           |  |                                     |
| 8 transformateurs d'opérations et système de distribution de 1 MVA chaque, tension de 6,3 à 0,4 kV   |   |           |  |                                     |
| Réseau de câbles (longueur environ 2 500 m, section moyenne 120 mm <sup>2</sup> )  |   |           |  |                                     |
| Total :  | 350   | 70        | 4  | 100                                 |
| <u>Gaz naturel</u>   |   |           |  |                                     |
| Poste de réception avec détendeur de 6/2 bar pour un débit de 3 000 Nm <sup>3</sup> /h complet avec instruments. Conduites de distribution (300 m env.)                        |   |           |  |                                     |
| Total :  | 100   | 20        | 4  | 50                                  |
| <u>Eau chaude pour le chauffage</u>  |   |           |  |                                     |
| 2 chaudières génératrices de vapeur débitant 6 t/h, complètes avec réchauffeur d'eau d'alimentation, dispositif d'introduction d'air, instruments. Vapeur : 6 bar, surchauffée |   |           |  |                                     |
| Conduites de vapeur et eau condensée (800 m environ)   |   |           |  |                                     |
| Total :  | 250   | 70        | 4  | 150                                 |
| <u>Air comprimé</u>  |   |           |  |                                     |
| 2 compresseurs de 500 Nm <sup>3</sup> /h, 6 bar, complets avec séchoir d'air, dispositif de stockage et de refroidissement, instruments  |   |           |  |                                     |
| Conduites de distribution, 300 m environ   |   |           |  |                                     |
| Total :  | 80  | 30        | 4  | 80                                  |
| <u>Eau</u>   |   |           |  |                                     |
| 8 pompes foulantes, hauteur de refoulement environ 50 m, débit environ 1 000 litres/minute.  |   |           |  |                                     |
| Complètes avec dispositifs d'adoucissement et d'épuration, accessoires, instruments.   |   |           |  |                                     |
| Matériel de distribution et de recyclage.  |   |           |  |                                     |
| Bâtiments : 2 tours de refroidissement de 200 m <sup>3</sup> /h chacune, intervalles thermiques 10 °C, un château d'eau, volume 500 m <sup>3</sup> , hauteur 40 m.             |   |           |  |                                     |
| Réservoirs (capacité totale environ 2 000 m <sup>3</sup> )   |   |           |  |                                     |
| Chambre des machines et bâtiment de service pour les pompes  |   |           |  |                                     |
| Total :  | 200   | 700       | 4  | 400                                 |

Note : x/ D'après les prix de 1983.

- réservoirs, cuves, conduites, pompes, ventilateurs, compresseurs;
- moyens de transport, véhicules à moteur, appareils de lavage;
- chaufferie et ses accessoires
- équipement technique sanitaire des locaux
- réseaux de distribution d'électricité et de signalisation, transformateurs.

Les opérations d'entretien comprennent les essais, le démontage et remontage du matériel, le remplacement de pièces, les opérations de mesure dans le cadre d'obligations de garantie et de sûreté.

Le fabricant peut satisfaire dans ses propres ateliers à la demande de matériels simples et de pièces nécessaires aux réparations; lorsqu'il s'agit de réparation d'éléments importants, il faut en charger un atelier spécialisé ou le constructeur. Il n'est pas recommandé d'envisager la réparation dans l'usine même des pompes hydrauliques, des compresseurs, des moteurs électriques, des fours à induction, des chemises de fours, des ordinateurs et des automobiles. L'usine d'extrusion ne doit pas non plus entreprendre l'isolation et le nettoyage des conduites ni les gros travaux de construction.

Le personnel doit comprendre des éléments qualifiés et habiles capables de définir l'étendue des réparations nécessaires et aussi de faire face à des incidents inattendus et d'assurer le bon fonctionnement du matériel (entretien, nettoyage, changement d'huile, réglage des machines, graissage etc.)

Un entretien soigneux est indispensable au bon fonctionnement des instruments de production et à leur bon rendement et c'est pourquoi, il faut mettre au point la technique des réparations complexes tout en observant des prescriptions rigoureuses en matière de protection de la main-d'oeuvre.

Composition recommandée du personnel d'entretien, par corps de métier :

- 70 % de mécaniciens (ouvriers qualifiés en usinage et serrurerie);
- 25 % d'électriciens (moteurs, serruriers, électroniciens)
- 5 % pour l'entretien des bâtiments.

La direction du travail d'entretien et celle de la préparation et de la confection des pièces de rechange doivent être centralisées.

Il faut prévoir pour l'atelier central de réparation une surface de 3 à 5 m<sup>2</sup> par ouvrier. Cet atelier doit contenir les machines à couper les métaux.

Le personnel de direction technique doit comprendre un nombre suffisant d'employés chargés de l'approvisionnement en pièces détachées, de la conception de petites modifications, de la tenue à jour de la documentation etc.

Il faut aussi prévoir les installations, instruments et moyens ci-dessous :

Pour les travaux de mécanique :

- machines à souder à gaz et électriques
- machines de coupe des métaux (tour, rectifieuse universelle, perceuse horizontale)
- rectifieuses universelles
- four de traitement thermique pour la confection des pièces détachées
- machines à couper et à cintrer les tubes, scies
- appareil de réglage de la consommation pour les véhicules à moteur
- machine de pose de l'isolant des fours
- séparateur d'huile, chariot pour filtre à huile

Pour l'électricité :

- instruments de base : ampèremètre, voltmètre, mesure de résistance de l'isolant
- matériel d'équilibrage et vibromètre portatifs
- chercheur de trajectoire, détecteur de perturbation
- appareils d'essai et de programmation pour les éléments munis de microprocesseurs.

L'investissement nécessaire pour se procurer l'outillage correspondant aux fonctions ci-dessus se monte à environ 200 000 dollars E.-U.

### 5.2.3 Transport des matières

Les matières premières arrivent à l'usine empilées et sont transportées au magasin au moyen d'un chariot à fourche.

Les lopins peuvent être transportés en châssis de manutention et les billettes tronçonnées en chariots. On peut aussi se servir à cette fin de chariots à fourche ou de ponts roulants.

Pour le transport des déchets, copeaux, culots etc., provenant de la fonderie et de l'extrusion, on se sert de caisses, qui sont conçues de manière à ce qu'on puisse décharger directement les déchets dans les fours au moyen d'un chargeur. Pour les transports entre l'atelier d'extrusion et l'atelier d'anodisation ainsi qu'entre ces deux ateliers et le magasin de

stockage des produits finis, on emploie des châssis de manutention qui servent aussi aux déplacements à l'intérieur même de l'atelier d'extrusion.

Une usine ayant atteint son plein développement a besoin, pour assurer sans à-coups le transport des matériaux d'une installation à l'autre, du matériel suivant :

|   |                       |
|---|-----------------------|
| - chariot de stockage, à quatre directions 2 t                    | 2 pièces              |
| - chariot à fourche avant, 2,5 à 3 t                              | 5 pièces              |
| - chariot à plateau, 2 t  | 2 pièces              |
| - chariot à fourche latérale, 2,5 à 3 t                           | 2 pièces              |
| - châssis de manutention et chariots pour<br>billettes à extruder | environ<br>100 pièces |
| - châssis de manutention pour pièces<br>extrudées                 | environ<br>120 pièces |
| - caisses à déchets   | environ<br>150 pièces |

Les investissements nécessaires pour ces matériels de transport se montent à environ 3 à 5 % du total.

#### 5.2.4 Emballage des produits extrudés anodisés ou non

Il est bon d'établir un système pourvu de machines capables de réaliser des emballages propres au transport maritime mais non étanches à l'air. On peut par la suite le compléter au moyen de dispositifs qui donnent des emballages hermétiques.

Les opérations d'emballage à exécuter sur la plateforme du pont bascule sont les suivantes :

- on pose sur la plateforme une caisse de la dimension appropriée dans laquelle on met des bandes de plastique permettant d'enlever le colis ainsi que du papier ou du plastique en feuilles;
- on lit le tare;
- le produit extrudé est introduit dans la caisse à la main. Les produits ont été préalablement enveloppés dans un papier spécial ou dans des feuilles de plastique, soit un à un, soit en hottes;
- les produits placés dans la caisse sont recouverts au moyen du matériau d'emballage qu'on replie sur eux et qu'on attache au moyen d'une bande. Enfin on ferme la caisse et on la cercle au moyen de feuillards d'acier.

- le colis terminé doit être pesé de manière à ce que la bascule imprime les chiffres sur une étiquette qu'on peut fixer sur la caisse;
- le colis est ensuite transporté au magasin pour y être soit préparé en vue de l'expédition, soit stocké.

Dimensions des colis à envisager :

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| - longueur des produits extrudés | 2 000 à 6 000 mm                                   |
| - section du colis               | min. 200 x 200 mm<br>maxi. 500 x 500 mm            |
| - poids                          | mini. 200 kg<br>maxi. 1 500 kg<br>moyenne : 450 kg |

Lors de l'emballage de produits anodisés, il faut prendre soin de nettoyer le matériel car les produits doux non anodisés sont susceptibles de laisser des taches d'aluminium sur les convoyeurs à rouleaux et autres appareils. Les risques sont beaucoup moins grands avec les produits anodisés qui sont durs.

En cas de besoin on peut aussi employer des méthodes d'emballages plus simples, par exemple pour les tubes, les barres et les fils.

L'investissement nécessaire pour un système d'emballage comprenant deux postes d'emballage, un appareil à cercler, un appareil à poser les bandes, deux bascules électroniques des convoyeurs à rouleaux et une machine pour le transport des colis se monte à environ 120 000 dollars, y compris les fondations et l'installation. L'espace nécessaire, y compris la desserte est de  $5 \times 25 = 125 \text{ m}^2$ .

### 5.2.5 Stockage

#### Stockage des matières premières

Les lingots et alliages mères qui arrivent sont empilés et mis en bottes d'environ 900 kg stockées les unes au-dessus des autres sur deux niveaux.

Les déchets sont stockés en coffres empilés sur trois niveaux. Le contenu de chaque coffre pèse environ 400 kg. Il faut à cet effet réserver un espace couvert communiquant directement avec l'atelier de fusion de la fonderie, dont le sol doit pouvoir supporter une charge de  $3 \text{ t/m}^2$ . La communication est assurée par un réseau à l'intérieur de l'usine.

La manutention est assurée par des chariots diesel à fourche avant d'une capacité de charge de 2 tonnes.

#### Stockage des produits finis

Les produits finis emballés pour expédition en colis, bottes ou

coffres sont stockés sur des rayons en porte à faux ouverts d'un côté. La hauteur des rayons doit être ajustable en fonction des dimensions de colis les plus fréquentes. La longueur des colis ne doit pas dépasser 6m. Lorsqu'ils sont stockés sur sept niveaux, les dimensions d'une botte étant en moyenne de 350 x 350 x 400 mm et le poids de 350 kg, la charge de l'aire de stockage est de 120 kg/m<sup>2</sup>.

Il faut avoir un bâtiment de stockage des produits finis communiquant directement avec les ateliers d'anodisation et d'extrusion. Sa hauteur intérieure utile ne doit pas être inférieure à 6,5 m.

Pour le transport des marchandises jusqu'au magasin 200 m, ainsi que pour le chargement des véhicules, il faut utiliser des chariots à fourche à 4 directions d'une capacité de 2 tonnes.

#### Stockage intermédiaire des demi-produits

Il est recommandé d'aménager des stocks intermédiaires représentant les besoins de l'installation correspondante pendant 5 à 10 jours:

- Pour les billettes, le stock intermédiaire peut être placé même à l'extérieur au point de communication entre la fonderie et l'extrusion;
- Pour les profilés extrudés il doit se trouver à l'intérieur, au point de communication entre les ateliers d'extrusion et d'anodisation.

#### Autres stocks

- Les matières auxiliaires et ustensiles ainsi que le réfractaire nécessaire à la fonderie doivent être stockés dans des magasins à l'abri de l'eau au voisinage des principales installations, chaque catégorie de matériel étant séparée des autres;
- Pour le stockage des filières neuves ou réparées, il faut installer des rayonnages dans un local séparé protégé contre la poussière, l'humidité et autres inconvénients;
- Les produits chimiques caustiques et toxiques doivent être stockés à l'intérieur de l'aire de traitement des effluents de l'atelier d'anodisation. Les autres produits chimiques doivent être stockés dans des locaux séparés. Les locaux doivent être munis de moyens de déversement et de râteliers;
- Le stockage des matières servant à l'entretien et à la desserte courants ainsi que les pièces détachées doit être centralisé;
- Un emplacement doit être réservé aux matériaux d'emballage dans le bâtiment qui sert à stocker et à emballer les produits finis;
- Pour les combustibles pétroliers, il y a lieu de prévoir un réservoir central

d'accès facile où l'on puisse aussi poser des récipients sur châssis. Pour le protéger contre l'incendie et la chaleur il est bon que ce réservoir soit enterré.

#### 5.2.6 Traitement des effluents

Toutes les eaux atteintes d'une contamination caractéristique doivent être traitées avant d'être rejetées, c'est-à-dire que les éléments contaminants doivent être ramenés par dilution à une concentration inoffensive.

Les opérations de fixation et de coloration exécutées dans l'atelier d'anodisation exigent l'emploi d'une eau exempte d'ions. L'eau de rinçage doit être exempte de sel, et celle qui sert aux rinçages préalables doit présenter les caractéristiques de l'eau potable.

Le traitement des effluents comprend la neutralisation, la séparation des précipités solides et la limitation de la teneur en sel. Pour cette dernière opération, une dilution par addition d'eau de refroidissement ou d'eau du robinet suffit.

Les systèmes clos de recyclage servant à refroidir le matériel ne contiennent qu'exceptionnellement des impuretés.

Les effluents ménagers doivent dans toute la mesure du possible être déversés dans les égouts.

Du point de vue technique, le traitement de l'eau et des effluents dans l'atelier d'anodisation sont une des tâches les plus complexes qui soient. Toutes les installations nécessaires à cette fin doivent se trouver dans le bâtiment même de l'atelier d'anodisation. Les opérations comprennent la préparation d'une eau présentant la qualité techniquement désirable (désalinisation, échange d'ions, filtrage etc.) et l'indispensable traitement des effluents (déshydratation des boues, neutralisation etc.).

En supposant que la capacité de l'atelier d'anodisation est de 3 000 t/an, l'investissement nécessaire pour toutes ces installations se monte à environ 500 000 dollars E.U., selon la solution technique adoptée. Les installations sont d'ordinaire fournies par le constructeur du matériel technique.

Un système d'égouts sert à recueillir les effluents d'origines diverses et aussi l'eau de pluie et celle des nappes souterraines.

La qualité des effluents devra constamment être vérifiée afin d'éviter la contamination de l'environnement par de fortes concentrations

d'huile ou de produits chimiques résultant de perturbations dans le fonctionnement de l'usine.

## 6. GESTION DE L'USINE, ORGANISATION

Une usine ayant atteint son plein développement (variante 2b pour l'extrusion et la fonderie et 6 000 t/an pour l'anodisation) a besoin du personnel ci-dessous :

|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| - atelier d'extrusion                 | 91 personnes        |
| - atelier des filières                | 20 "                |
| - fonderie                            | 93 "                |
| - anodisation                         | 97 "                |
| - énergie                             | 14 "                |
| - entretien                           | 60 "                |
| - emballage, expédition, stockage     | 30 "                |
| - technologie, contrôle de la qualité | 30 "                |
| - direction, administration           | 70                  |
| Total                                 | <hr/> 505 personnes |

Il faut augmenter ce chiffre de 15 pour cent pour tenir compte du personnel en congé de maladie ou de vacances, ce qui donne un total plausible de 580 personnes.

La quantité de produits dont la vente est envisagée par l'entreprise se monte à environ 11 500 t par an; la composition et les prix de vente moyens (en dollars des E.-U. par tonne à fin 1983) étant les suivants :

- 3 000 t de profilés à surface brute d'extrusion (prix moyen : 2 220 \$EU/t)
- 2 500 t de profilés de haute et moyenne résistance, trempés au four, ainsi que de tubes, barres et fils étirés (prix moyen : 2 700 \$EU/t)
- 3 600 t de profilés anodisés incolores (prix moyen: 2 450 \$EU/t)
- 2 400 t de profilés anodisés colorés (prix moyen : 2 800 \$EU/t)

La valeur de la production annuelle envisagée se monte à 28 350 000 dollars E.-U., soit en moyenne 2 517 dollars par tonne.

Avec le personnel, le volume et la composition de la production indiqués, l'usine en question peut être considérée comme une entreprise moyenne.

Les installations productives, à savoir extrusion, fonderie et anodisation, travaillent à trois équipes. Les autres sont chargées de les desservir et travaillent à une seule équipe excepté le service d'inspection permanente, l'atelier d'outillage et le service d'emballage qui travaillent eux aussi à trois équipes. Les réparations doivent dans toute la mesure du possible être exécutées les jours fériés.

Deux autres départements méritent une attention particulière en raison de l'importance de leur activité, à savoir celui du développement technologique et celui de la commercialisation.

Le niveau d'un produit prêt à être vendu et les dépenses encourues pour le produire résultent de l'ensemble de l'activité de l'entreprise. Chaque opération technique doit non seulement être en elle-même satisfaisante mais encore doit servir à atteindre les buts du système cohérent dont elle fait partie. Il faut toutefois signaler que, le plus souvent, les fournisseurs de matériel ne transfèrent que le savoir-faire ayant trait à leurs propres produits.

Le bureau ou l'institut qui dressent le plan général de l'usine élaborent les principales conditions de l'exploitation, mais il est plusieurs problèmes qu'ils ne sauraient résoudre. Ainsi par exemple :

- il y a de petits détails technologiques que la conception la plus minutieuse ne saurait envisager;
- la demande réelle de produits sur le marché sera très différente de celle qu'on aura prévue même en tenant compte de tous les facteurs, surtout si l'exécution du projet prend beaucoup de temps;
- la demande du marché subira des changements continuels tant en ce qui concerne l'assortiment que la qualité des produits; les exigences ne cesseront d'augmenter;
- la compression des prix de revient sera indispensable et exigera en conséquence un progrès et une installation permanente de la technologie.

Pour répondre à ces défis, le fabricant devra élaborer son propre service de technologie métallurgique. Il sera bon d'y incorporer, outre le service technique proprement dit, l'inspection du contrôle de la qualité avec ses laboratoires. Les principales installations d'essai nécessaires à un fonctionnement sans-à-coups des installations sont les suivantes : un quantomètre (spectromètre automatique à canaux multiples) pour l'analyse rapide des alliages et autres matières, un petit laboratoire de chimie traditionnel pour l'essai des alliages mères, des solutions et des effluents, un laboratoire d'essais mécaniques pour l'épreuve des propriétés mécaniques des produits extrudés, un laboratoire comportant quelques petites cuves de traitement de surface lorsqu'il y a lieu d'exécuter des essais d'anodisation.

Lorsqu'il s'agit de la création d'une usine entièrement nouvelle, les connaissances nécessaires feront certainement défaut, tout au moins les

premiers temps. Nous conseillons au fabricant de s'adresser à une autre usine du pays ou à des organismes compétents à l'étranger. La décision essentielle à prendre à ce sujet accompagnera le projet d'investissement lui-même et il faudra prendre soin de s'assurer de la disponibilité des ressources financières et du personnel nécessaires à sa réalisation.

Un tel achat de savoir-faire à une autre entreprise ne doit pas être une opération sans lendemain, mais l'ouverture de relations qui dureront plusieurs années et comporteront :

- le transfert des technologies employées dans une usine de niveau similaire à la nouvelle entreprise;
- la formation dans l'usine qui communique son expérience d'ingénieurs, de contremaîtres et d'ouvriers qualifiés destinés à la nouvelle entreprise;
- la coopération des spécialistes du vendeur qui transmettront leurs connaissances au personnel de l'acheteur et le formeront sur le tas pendant la période initiale d'exploitation;
- l'entretien de contacts réguliers entre vendeur et acheteur et une assistance constante pour faciliter l'adaptation des connaissances.

La valeur d'un tel transfert d'expérience ne saurait être estimée que sommairement; dans l'hypothèse où les services ci-dessus seraient rendus à une entreprise telle que celle que nous avons envisagée ici, cette valeur pourraient atteindre environ 5 pour cent de celle de la production brute.

Il y aura naturellement lieu, outre l'achat du savoir-faire, d'utiliser toutes les possibilités offertes par le fournisseur du matériel en ce qui concerne l'exploitation et l'entretien.

La commercialisation mérite elle aussi une attention particulière. Il ne faut pas oublier :

- que, notamment dans la phase de développement de l'industrie de l'aluminium, l'augmentation de la demande sur le marché intérieure sera certainement plus lente que l'accroissement de la capacité de production de cette industrie. Afin de trouver de nouveaux champs d'utilisation et de renforcer les relations déjà existantes avec le marché, il est recommandé de créer, lors du démarrage de l'exploitation, un organe chargé de rester en liaison avec les consommateurs;
- qu'il faut évaluer les pratiques en vigueur et les demandes du marché intérieur et extérieur dont il faut raisonnablement tenir compte. D'après les résultats de cette recherche, le fabricant devra s'efforcer de fournir,

par exemple, tous les profilés nécessaires à un système donné de fenêtres et de portes et concevoir, en coopération avec le consommateur, de nouveaux modèles propres à mieux satisfaire les exigences. Il arrivera peut-être, par exemple, qu'il vaille la peine d'acheter, dès la période initiale, les plans et la licence de fabrication d'un système de portes et fenêtres.

## 7. GUIDE POUR LES DECISIONS D'INVESTISSEMENT

Les figures 12 et 13 donnent des variantes commodes d'établissement de l'usine.

La figure 12 donne le plan d'une phase intermédiaire qui peut toutefois être une variante du développement complet (variantes 1a/1 ou 1a/2) : l'atelier d'extrusion a une seule presse, la capacité de production de billettes de la fonderie est de 8 000 t/an et celle de l'atelier d'anodisation ne dépasse pas 3 000 t. Ces trois plans laissent une place suffisante à l'agrandissement lorsque l'augmentation de la demande l'exige. Les établissements auxiliaires doivent, eux aussi pouvoir être agrandis.

La figure 13 a trait à la phase de développement complet, comportant l'assortiment le plus variable et le plus étendu (variante 2b). Ceci vaut aussi pour la variante 2a, sauf qu'elle ne comporte pas le matériel d'érouissage et de traitement thermique. Toutes les trois principales installations de production peuvent être agrandies en cas de besoin. Ce dispositif permet un parcours rationnel et sans détours des matériaux, depuis la réception des matières premières jusqu'à l'expédition des produits finis.

Le tableau 18 récapitule les investissements directs nécessaires pour les diverses variantes. Contrairement aux tableaux précédents, il donne non pas des valeurs limites supérieure et inférieure mais leur moyenne arithmétique. Les investissements relatifs aux postes 4 et 9 du tableau sont indispensables et pratiquement identiques pour toutes les variantes d'installations de production; leur degré d'exploitation peut toutefois différer. On peut signaler une exception ayant trait au traitement des effluents de l'anodisation.

On peut tirer quelques conclusions de ces données. Pour une première évaluation, l'indice de recette de phase (la marge) rapporté à chaque dollar d'investissement direct est assez évocateur. La recette de phase signifie la différence entre les prix de vente et les prix de l'aluminium acheté en vue de la production.

On peut commodément prendre comme base de chaque variante une production annuelle de 11 500 t; l'assortiment des produits et l'approvisionnement en matières premières peuvent varier. On trouvera dans la préface et au chapitre 6 les prix permettant une évaluation préliminaire et le tableau 19 récapitule les données nécessaires à une évaluation d'ensemble.

Tableau 18

Investissements directs

Milliers de dollars

| N° | Activité   | Variante    | Bâtiments | Machines et matériel | Installation | Dépenses diverses | Total  |
|----|--|-------------|-----------|----------------------|--------------|-------------------|--------|
| 1. | Extrusion  | 1a/1        | 900       | 3 070                | 510          | 300               | 4 780  |
|    |  | 1a/2        | 900       | 2 350                | 470          | 300               | 4 020  |
|    |  | 2a          | 1 800     | 5 550                | 1 090        | 500               | 8 940  |
|    |  | 2b          | 2 300     | 11 430               | 2 050        | 600               | 16 380 |
| 2. | Fonderie   | 4 000 t/an  | 880       | 1 650                | 300          | 300               | 3 130  |
|    |  | 8 000 t/an  | 1 350     | 2 840                | 560          | 400               | 5 150  |
|    |  | 16 000 t/an | 1 900     | 6 250                | 1 200        | 600               | 9 950  |
| 3. | Anodisation  | 3 000 t/an  | 360       | 2 070                | 550          | 170               | 3 150  |
|    |  | 6 000 t/an  | 600       | 4 140                | 1 000        | 200               | 5 940  |
| 4. | Filières   |             | 110       | 760                  | 150          | 10                | 1 030  |
| 5. | Entretien  |             | 90        | 200                  | 40           | 10                | 340    |
| 6. | Energie, traitement des effluents                          |             | 1 090     | 1 470                | 200          | 100               | 2 860  |
| 7. | Manutention  |             | -         | 520                  | -            | 150               | 670    |
| 8. | Stockage et emballage des produits finis                   |             | 330       | 150                  | 20           | 40                | 540    |
| 9. | Services centraux et sociaux, routes, loge du gardien etc. |             | 840       | 300                  | 20           | 80                | 1 240  |

Tableau 19

Recette de phase obtainable par unité investie

| N° | Variante         |           | Anodi-<br>sation<br>t/an | Inves-<br>tisse-<br>ment<br>direct | Re-<br>cettes<br>des<br>ventes | Dépen-<br>ses<br>pour le<br>métal | Recette<br>de<br>phase | Recette de<br>phase |
|----|------------------|-----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|
|    | Fonderie<br>t/an | Extrusion |                          |                                    |                                |                                   |                        | inves-<br>tissement |
|    |                  |           |                          |                                    |                                |                                   |                        | \$/ \$              |
| 1  | 16 000           | 2b        | 6 000                    | 38 950                             | 28 950                         | 18 207                            | 10 743                 | 0,276               |
| 2  | 16 000           | 2a        | 6 000                    | 28 560                             | 27 750                         | 18 207                            | 9 543                  | 0,334               |
| 3  | 16 000           | 2b        | -                        | 32 030                             | 26 730                         | 18 207                            | 8 523                  | 0,266               |
| 4  | 8 000            | 2a        | 6 000                    | 26 710                             | 27 750                         | 18 584                            | 9 166                  | 0,330               |

Ce tableau permet les constatations suivantes :

- la variante n° 2 donne la recette de phase la plus élevée par unité d'investissement direct;
- la variante 4, tout en donnant presque la même recette de phase, est celle qui exige le moins d'investissement; sa principale caractéristique est que l'usine achète 50 pour cent des billettes dont elle a besoin et que sa fonderie n'est pas assez développée pour faire plus que traiter ses propres déchets avec quelques lingots;
- l'anodisation exerce une influence favorable sur la recette de phase spécifique car elle entraîne une augmentation des recettes à la vente supérieure à celle des investissements;
- du fait de l'importance des investissements, c'est la variante n° 1 qui donne la recette de phase relativement la plus faible.

L'analyse de la recette de phase spécifique ne fournit qu'une orientation et ne saurait à elle seule constituer une base de décision incontestable. Les prix des produits pris pour base subissent de fréquentes variations. Quel que soit l'avantage que paraît présenter un assortiment, l'usine doit fabriquer les produits que le marché, demande effectivement et qu'elle peut vendre.

Pendant la phase initiale du développement d'une industrie productrice et consommatrice de demi-produits en aluminium, les usines qui offrent une large gamme de produits prendront un meilleur départ grâce à leur souplesse industrielle et commerciale. En conséquence, c'est probablement sur la création de la variante n°1 qu'il faut insister lorsque l'usine d'extrusion en cause est la première qui s'installe dans le pays. Il importe aussi de tirer pleinement parti de la capacité du matériel de traitement thermique et d'étirage qui est

relativement cher, c'est-à-dire de préférer la fabrication de produits écrouis et ayant subi un traitement thermique à celle des produits non traités, car on peut ainsi augmenter la recette de phase.

Une méthode simplifiée permet de prévoir l'évolution des coûts primaires.

On peut faire reposer l'analyse sur les prix de 1983 mentionnés plus haut. Il faut signaler que les dépenses en capital ne comprennent pas celles qui sont faites pour l'infrastructure à l'extérieur et ne tiennent pas compte des frais encourus du fait de l'utilisation du terrain de l'installation.

Pour le calcul des coûts, il faut employer la méthode ci-après (on prend pour base générale la variante n°1 du tableau 19):

- aluminium brut produit dans le pays, compte tenu d'une perte au feu de 2 % :  
1 583 \$EU/t
- énergie selon le tableau 16, compte tenu d'un prix unitaire de 15 \$EU/MWh :  
67 \$EU/t
- filières, outils : 60 \$EU/t
- divers : 34 \$EU/t
- entretien : 3 % de la valeur du matériel  
 $25\,220\,000 \times 0,03 = 756\,000$  \$EU/an  
 $756\,000 : 11\,500 = 66$  \$EU/t coût spécifique
- salaires, compte tenu de 580 salariés et d'une moyenne mensuelle de 420 \$EU :  
254 \$EU/t
- frais spécifiques sur disponibilités à court terme (lorsque le travail est bien organisé, 10 % d'intérêt sur les disponibilités se montant à  
5 000 000 \$EU : 43 \$EU/t
- coût spécifique de l'amortissement au taux moyen de 6 % par an de dépréciation totale :  
 $38\,950\,000 \times 0,06 = 2\,337\,000$  \$EU/an  
d'où dépréciation spécifique : 203 \$EU/t
- frais spécifiques pour intérêts sur les crédits obtenus à l'étranger aux fins d'investissement (sur les seules machines importées, réduits par le taux d'inflation on peut envisager un intérêt de 4 %) : 88 \$EU/t.

En récapitulant les coûts spécifiques ci-dessus on constate que le coût primaire d'une tonne produite se monte en moyenne à 2 398 \$EU. En le déduisant du prix de vente moyen de 2 517 \$EU on obtient un bénéfice de 119 \$EU/t qui ne peut être jugé satisfaisant car il ne permet même pas de rembourser à l'échéance les crédits obtenus. D'autres difficultés peuvent résulter du fait que faute de compétence et de bonnes relations sur le marché on ne peut

envisager pour la première année d'exploitation une utilisation de plus de 50 à 75 pour cent de la capacité.

Voici ce qui peut améliorer la situation :

- on peut espérer une reprise économique accompagnée d'un renouveau de la demande de produits en aluminium et d'une augmentation du prix de phase, à savoir : de la différence entre le prix des lingots et celui des demi-produits;
- l'exploitation la plus complète possible des capacités installées; il faut donc recommander une exécution par étapes du projet, à savoir : choisir d'abord une des variantes comportant une seule presse et ne commencer l'installation de la seconde et l'agrandissement des autres installations qu'une fois que la première est entièrement opérationnelle;
- examiner si l'on peut réaliser de façon plus économique et plus rentable un autre programme de production.

Ces considérations montrent qu'il faut faire une étude générale détaillée avant de prendre une décision d'investissement. Cette étude et la décision qui en découle exigent une analyse des conditions et des circonstances locales. On ne saurait définir les objectifs des activités essentielles sans connaître à fond les possibilités et les objectifs du pays. Il en va de même lorsqu'il s'agit de savoir, au cours d'une période initiale, s'il faut et si l'on peut aborder les difficultés passagères afin de créer une industrie nouvelle.

Quoi qu'il en soit, il est très bon de faire faire une étude de faisabilité une fois qu'on a pris une décision de principe au sujet de la création; cette étude doit porter en détail sur les points suivants :

- analyse du marché et, d'après elle, recommandations sur l'assortiment des produits à fabriquer et le programme de ventes;
- étude des sources de matières premières;
- évaluation des immobilisations et du capital d'exploitation nécessaire, des coûts de production et des dépenses qui en résultent;
- évaluation des emplacements susceptibles de convenir à l'installation;
- calcul des besoins en main-d'oeuvre et des méthodes de recrutement;
- calendrier rationnel d'exécution;
- ressources financières nécessaires à la création, calculs des crédits et de l'amortissement.

Si les activités sont bien organisées et coordonnées, on doit pouvoir mettre en service l'usine décrite ici au plus tard deux ans après la date de la décision définitive concernant sa création. La figure 14 donne un graphique à barres montrant les principales étapes de la réalisation, mois par mois.

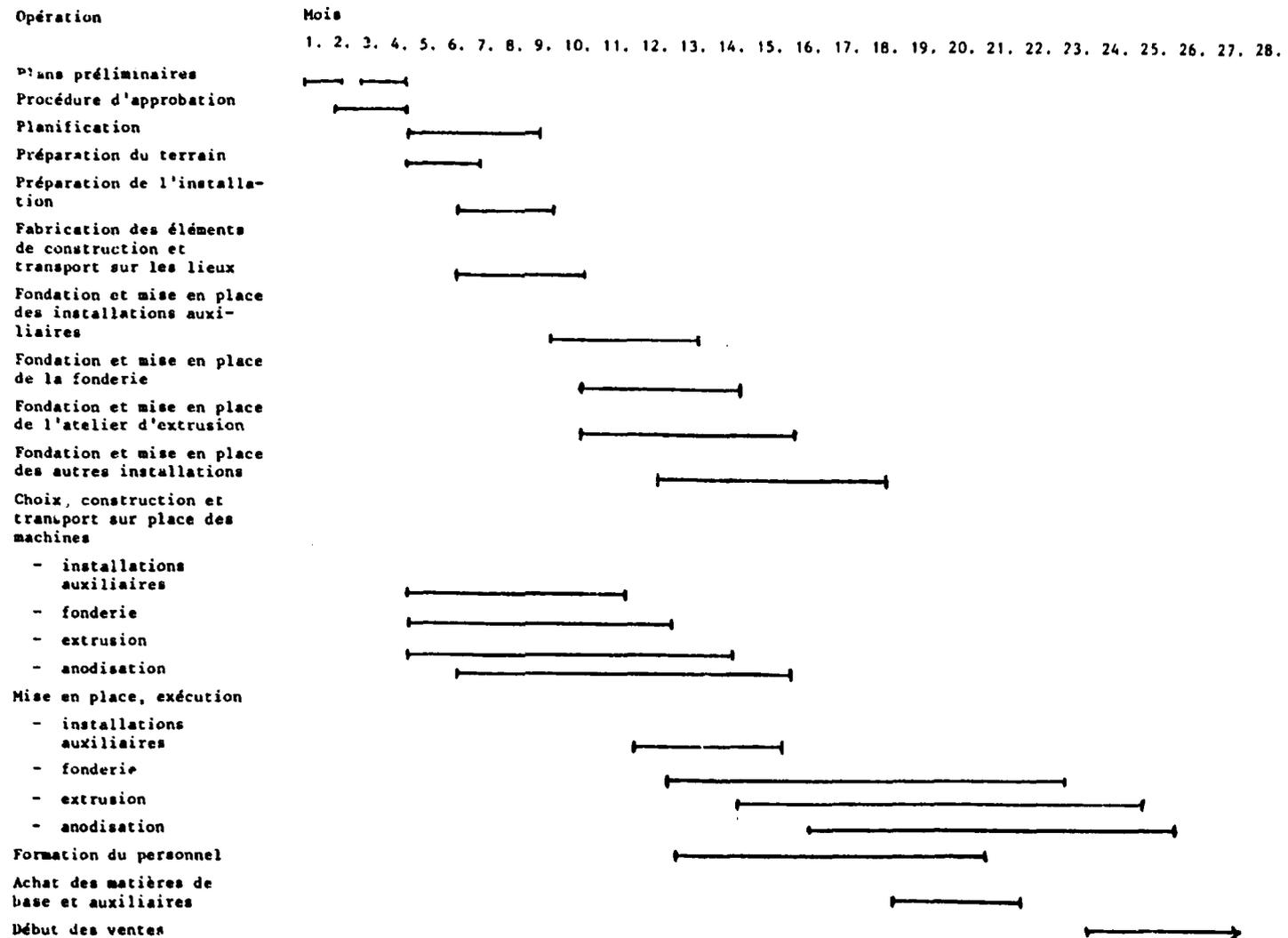


Figure 14.

Diagramme à barres de la création d'une usine

