



**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.

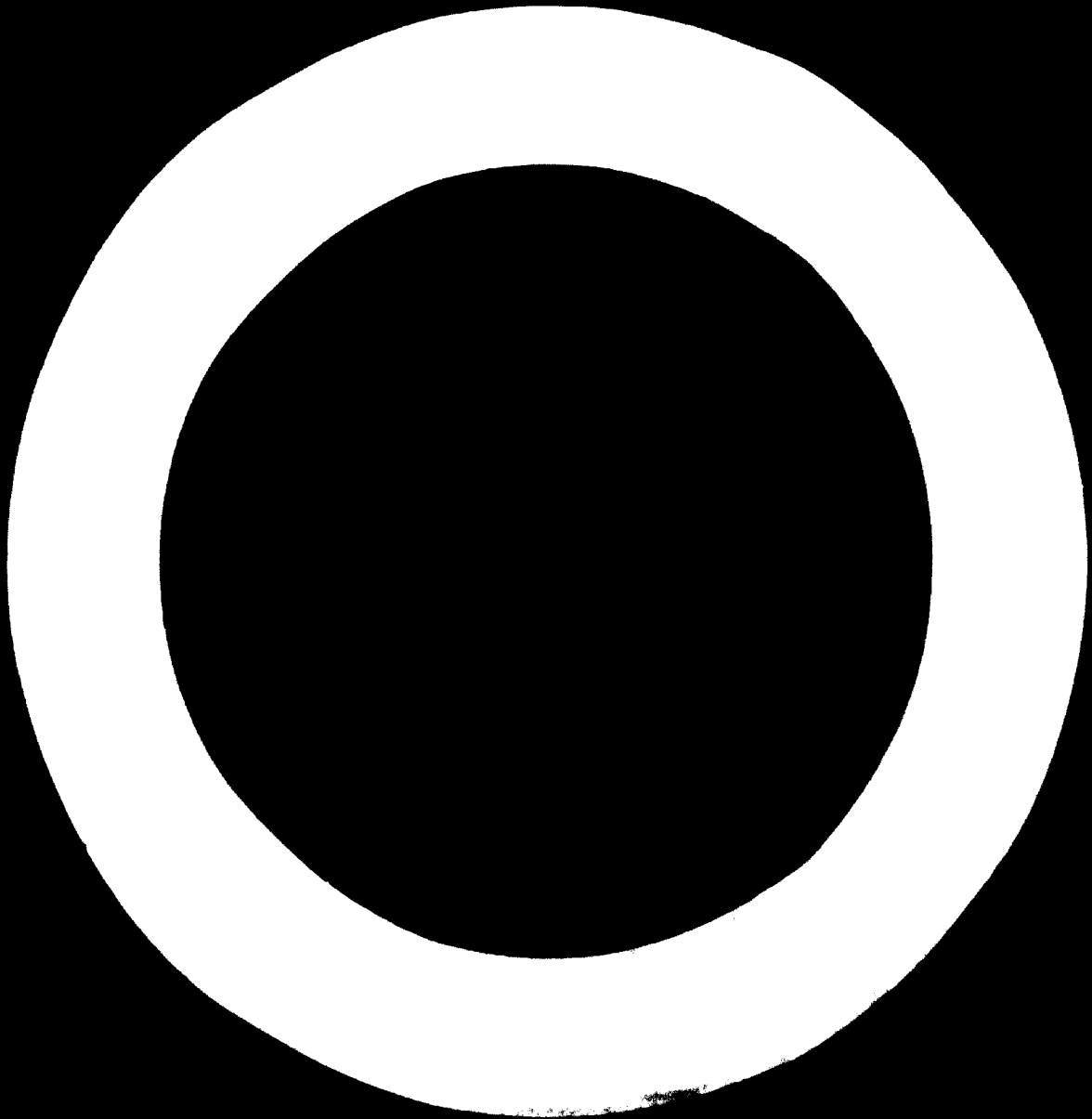
## CONTACT

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)



h



Programme des Nations Unies pour le développement

PRODUCTION DE LA CHAUX VIVE

IS/MLI/74/003

MALI

Rapport technique : Etablissement d'une unité  
de chaux vive dans la région de Kayes

Établi pour le Gouvernement malien par  
l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel,  
organisation chargée de l'exécution pour le compte du  
Programme des Nations Unies pour le développement

D'après les travaux de M.F. Sobek, ingénieur-conseil

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel  
Vienne, 1975

## Notes explicatives

### Abréviations

SOCIMA	Société des ciments du Mali
UCEMA	Usine Céramique du Mali
FM	Franc malien
Hz	Hertz
kcal	Kilocalorie
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt/heure
Pci	Pouvoir calorifique inférieur
Pcs	Pouvoir calorifique supérieur

---

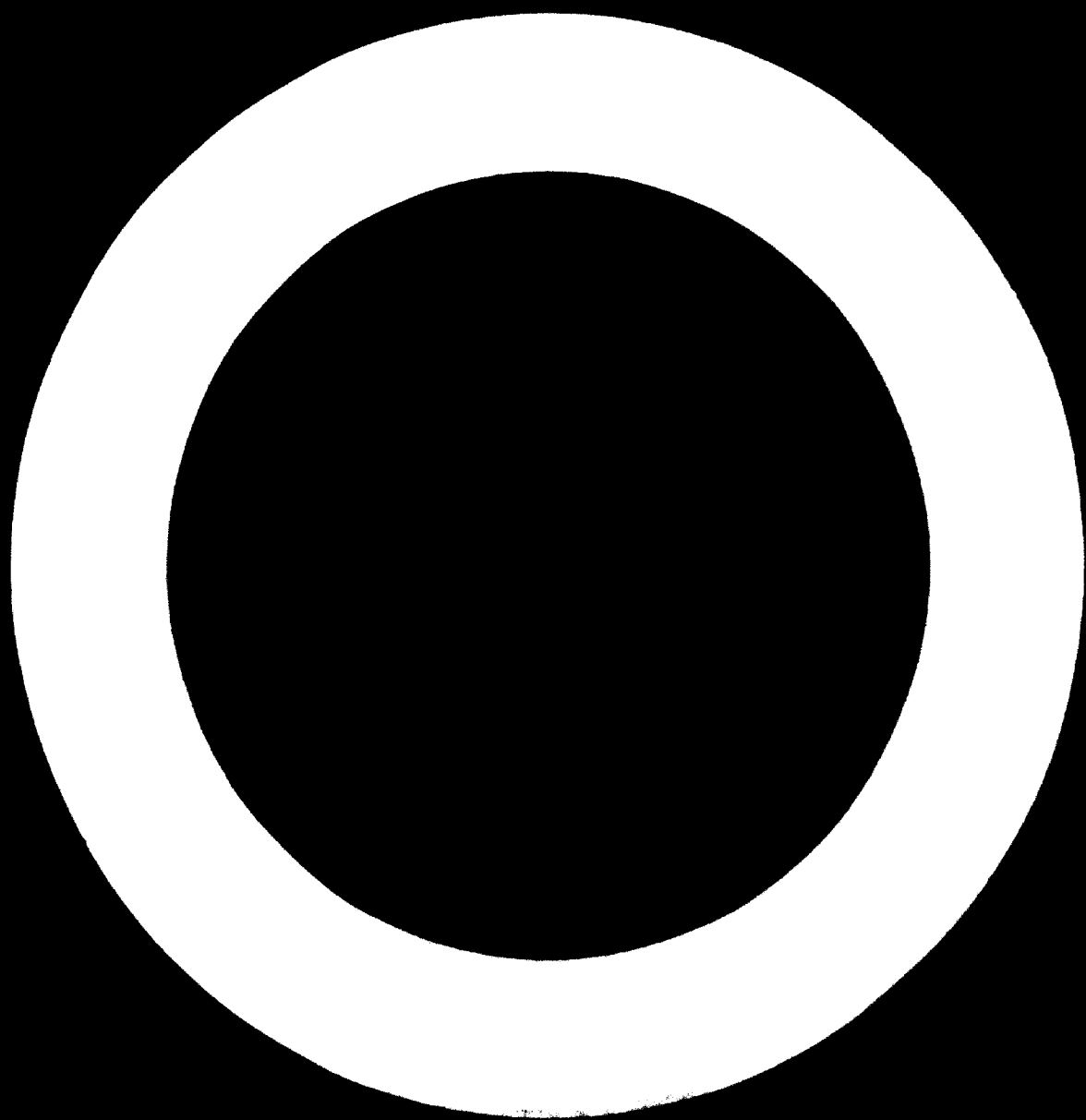
Dans le texte et dans les tableaux les totaux sont parfois arrondis et peuvent donc ne pas correspondre à la somme des chiffres ou des pourcentages.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire, ou de ses activités, ni quant au tracé de ses frontières.

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.

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
RESUME .....	5
INTRODUCTION .....	7
I. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET .....	8
A. Etude du marché .....	8
B. Etude de faisabilité .....	9
Matériaux réfractaires .....	9
Installations métalliques .....	10
Entretiens de l'expert avec la SOCIMA .....	11
Questionnaire .....	12
Localisation .....	16
II. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	17
<u>ANNEXE</u>	
I. DESCRIPTION DU FOUR A CHAUX .....	19
II. ETUDE DU PRIX DE REVIENT .....	27
<u>Tableaux</u>	
1. Quantités et origine de la chaux utilisée au Mali .....	9
2. Analyse du calcaire de Gougouteri .....	14
3. Barème des salaires des ouvriers .....	15





## RÉSUMÉ

Une demande d'assistance en vue de l'établissement d'une unité de chaux vive a été adressée au Programme des Nations Unies pour le développement par le Gouvernement malien le 2 février 1972. Une étude de marché approfondie a établi que le Mali avait besoin annuellement de 5 000 tonnes de chaux vive. On a donc décidé la construction d'un four à chaux d'un rendement de 15 tonnes par jour et utilisant le charbon comme combustible. Étant donné qu'une cimenterie, la Société des Ciments du Mali (SOCIMA) existait déjà à Diamou, dans la région de Faya, on a envisagé de construire le four à cet endroit, ce qui présente les avantages suivants :

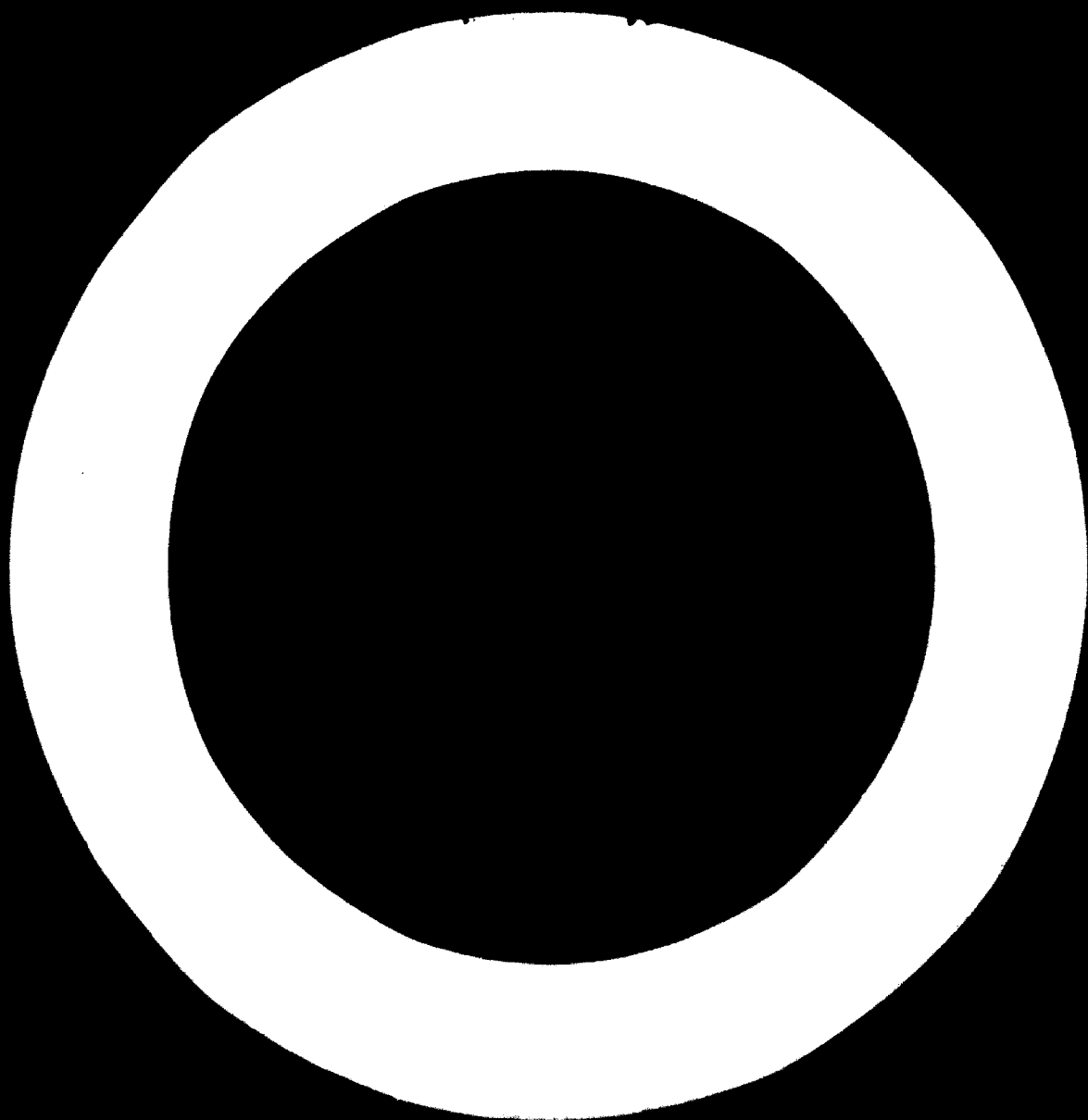
- a) Les investissements pour et se limiter à la construction d'un four et d'un silo, puisque les éléments sont à l'arriver le calcaire déjà broyé et tamisé; il n'y a qu'à le faire sécher et préparé et suffisamment d'énergie électrique; on peut trouver sur place de la main-d'oeuvre qualifiée;
- b) La cimenterie dispose d'une ligne de raccordement qui permet la distribution et l'exportation de la chaux par voie ferrée dès le début de la production.

Le montant total des investissements est estimé à 100 millions de francs maliens. On peut, pour 70 % de cette somme, faire appel aux ressources locales en matériel et en main-d'oeuvre.

Les dépenses annuelles sont estimées à 2 500 francs maliens pour le financement et à 20 000 francs maliens pour la production d'une tonne de chaux. En comparant ce coût de production avec les prix actuellement en vigueur au Mali :

- Prix de gros 110 000 francs maliens par tonne
- Prix du marché parallèle 160 000 francs maliens par tonne

on se rendra compte des économies considérables qui peuvent être réalisées grâce à l'établissement de l'unité de production projetée. La demande d'assistance a été approuvée par l'ONUDI, organisation chargée de l'exécution, le 23 mai 1972. Le numéro du projet était à l'origine : TS/MLI/72/003 et la contribution du PNUD : 2 500 dollars des Etats-Unis. Cette contribution fut portée ultérieurement à 7 500 dollars des Etats-Unis. La contribution de contrepartie du Gouvernement malien était de 300 000 FM. Le numéro du projet



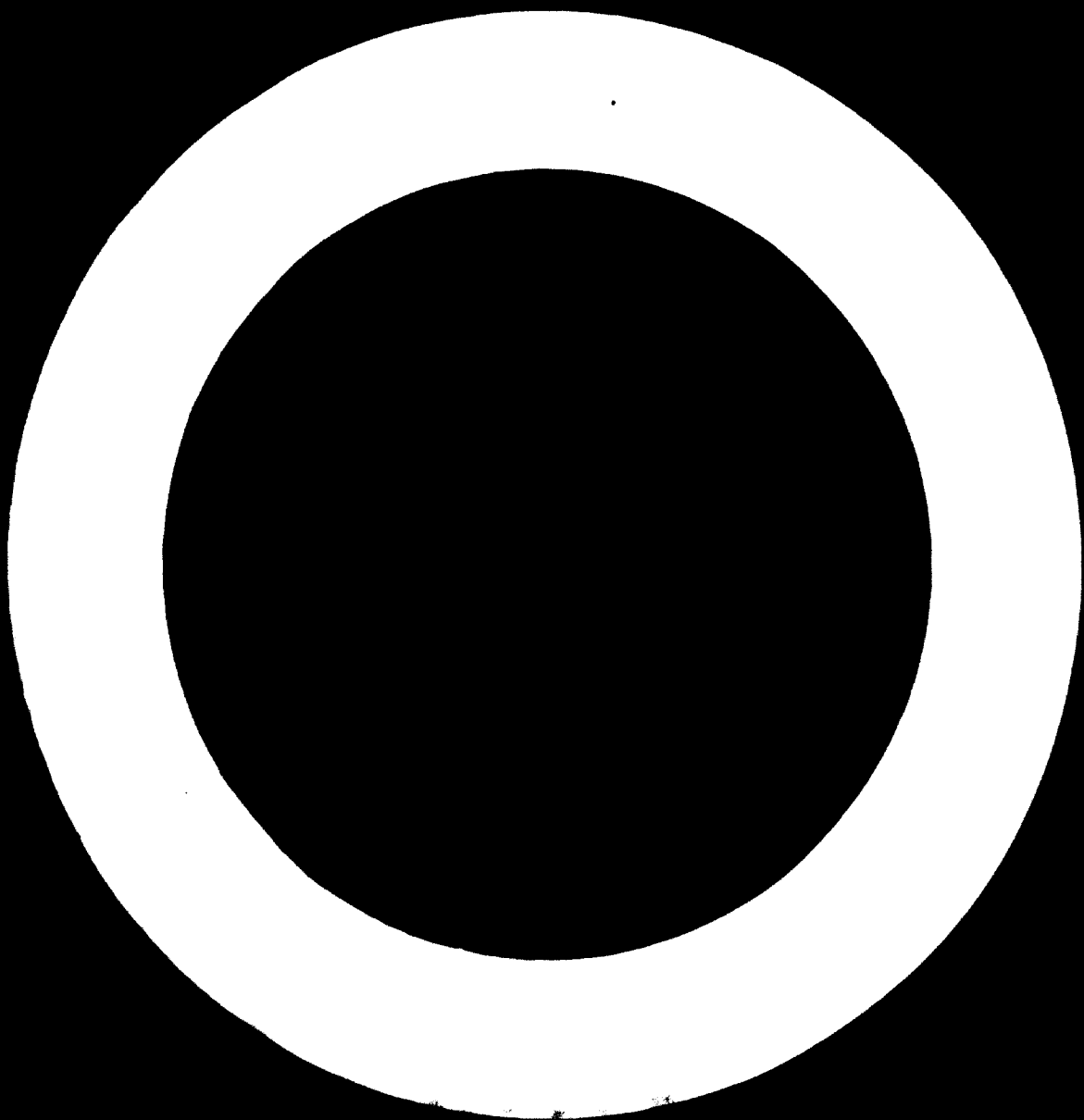
## INTRODUCTION

Le Gouvernement malien ayant exprimé le désir d'établir dans la région de Kayes une unité de production de chaux vive susceptible de répondre aux besoins du marché national et de permettre des exportations vers les pays voisins, un expert de l'ONUDI a été envoyé en mission au Mali au début de 1967 afin de faire une étude préliminaire. Il s'agit, à l'heure actuelle, de compléter cette étude et d'évaluer la demande intérieure et étrangère, actuelle et future, afin de déterminer si l'exploitation des gisements de pierre calcaire situés dans la région de Kayes est une entreprise techniquement viable et économiquement rentable.

L'expert mis à la disposition des services gouvernementaux compétents devra donc s'acquitter des tâches suivantes :

- a) Evaluer la demande intérieure, actuelle et future de chaux vive et de produits dérivés ainsi que les possibilités d'exportation vers les pays voisins;
- b) Déterminer si l'exploitation des gisements de pierre calcaire de la région de Kayes est une entreprise viable et rentable;
- c) Faire des propositions relatives à l'établissement d'une unité de production de chaux vive répondant aux besoins du marché et réalisable en fonction de la matière première et du combustible disponibles et fournir tous les renseignements concernant les spécifications techniques, l'emplacement de l'usine, la matière première, le combustible, l'administration, la main-d'oeuvre, les investissements (capital fixe, coût de mise en marche, fonds de roulement), les sources locales de capital, les frais d'exploitation, la rentabilité du projet;
- d) Recommander le type d'assistance que l'ONUDI pourrait fournir, le cas échéant, dans ce domaine et particulièrement dans le cadre de la formation technique.

a été changé le 14 août 1974 et est devenu : IS/MLI/74/003. Le montant total  
à l'abord envisagé de la contribution du PNUD a été révisé et ramené de 7 500 à  
6 500 dollars des Etats-Unis, le 10 septembre 1975.



## 1. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET

### A. Etude du marché

La demande de chaux vive au Mali est actuellement satisfaite par des importations, par la production de petits fours artisanaux et par celle de l'Usine Céramique du Mali (UCEMA). Voir tableau 1.

Le Service de la statistique générale, de la comptabilité nationale et de la mécanographie est bien organisé. Les statistiques lui sont transmises par les autorités dans lesquelles elles-mêmes. Les chiffres des importations de chaux hydraulique et d'autres types de chaux qu'il fournit sont dignes de foi. Il n'en va pas de même pour les statistiques fournies par le Service des mines et relatives aux quantités de chaux produites par de petits fours artisanaux à partir de coquilles trouvées dans les rivières. L'Etat perçoit des taxes sur les quantités de chaux de coquilles indiquées et il est donc à supposer que des quantités additionnelles de chaux de coquilles sont exploitées sans être retenues statistiquement. D'après les renseignements de la Direction nationale des industries sur la production des fours artisanaux, il s'agit là de fours à cuisson intermittente exploités de façon sporadique suivant les besoins et sur commande et dont le nombre ne peut pas être recensé. Même si on le savait, on ne pourrait pas évaluer leur rendement annuel moyen car, d'une part, le rendement par unité n'est pas connu et, d'autre part, ces fours ne fonctionnent pas de façon continue.

L'Usine Céramique du Mali (UCEMA) de Djikoronni produit depuis plusieurs années des quantités de pierre à chaux (chaux fragmentée en gros morceaux) dépassant de beaucoup les quantités importées dans les fours à chambres utilisés pour la cuisson des faïences.

Grâce aux données fournies par la Direction de l'UCEMA et à des documents précis concernant la production, les quantités fabriquées durant ces dernières années ont pu être établies avec exactitude. La moyenne arithmétique des chiffres de production figurant sur le tableau 1 pour les années 1972 et 1973 est de 1 127,35 tonnes de chaux par an. Etant donné l'accroissement des besoins dû au développement de l'industrie du bâtiment, à l'emploi de la chaux bon marché à la place du ciment et aux quantités nécessaires aux verreries

SIRIBALA actuellement en voie de construction et qui vont de 31, à 42 tonnes par an de chaux. Par ailleurs, on peut estimer que les besoins de chaux devraient pour le moment être quatre ou cinq fois plus élevés que les quantités indiquées par les statistiques, et pourraient être évalués - si on calcule la moyenne arithmétique - à 5 073 tonnes par an.

En utilisant un four à cuisson continue on obtient les résultats suivants :

$$\frac{5\,073 \text{ tonnes par an}}{350 \text{ journées de travail}} = 14,49 \text{ tonnes par jour}$$

On a donc besoin d'un four d'une capacité de 15 tonnes par jour.

Tâbleau 1. Quantités et origine de la chaux utilisée au Mali, 197 -74

Origine	Quantités (en tonnes)				
	1970	1971	1972	1973	1974
<b>Importations</b>					
Chaux hydraulique	15,53	-	9,40	-	.....
Autres chaux	79,92	146,48	190,91	112,55	.....
<b>Chaux de coquilles</b>	.....	.....	408,54	493,79	422,91
<b>UCMA</b>	.....	.....	638,55	400,95	287,.....
<b>Total</b>	<u>95,45</u>	<u>146,48</u>	<u>1247,40</u>	<u>1007,29</u>	<u>719,94</u>

✓ Source : Service de la statistique générale, de la comptabilité et de la nécanographie.

✓ Source : Service des mines.

### B. Etude de faisabilité

#### Matériaux réfractaires

##### Visite des Etablissements UCMA.

Au cours d'une visite qu'il a faite à l'Usine Céramique du Mali, l'expert a appris que l'usine produisait du matériau réfractaire dans ses fours à chambres pour la briqueterie NAGHAMBOUOU. D'après les informations du chef

de service ce matériau contient environ 50 % d'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) et a une température de cuisson de 1250° C.). On y fabrique des pierres réfractaires pour les installations de chauffe. Étant donné qu'on ne dispose d'aucune presse pour la fabrication des pierres réfractaires brutes la masse est simplement pressée à la main dans des moules en bois et aplanie ensuite sans serrage.

La cuisson se fait, comme on l'a dit, dans des fours à chambres prévus pour une alimentation en huile légère mais qui sont pourtant alimentés en bois.

L'apport calorifique et la distribution du feu à l'intérieur des chambres semblent être suffisants pour donner aux pierres une résistance au feu appropriée.

Les matières premières nécessaires, la bauxite, le kaolin, etc. également présentes devraient apporter, même si le mélange se fait à la main, une résistance au feu suffisante pour les pierres à utiliser dans les fours à chaux. Seule la résistance à la pression et à l'abrasion est mise en question par ce mode de production.

L'usine dispose cependant de deux presses à vis à un seul boudin susceptibles d'être utilisées pour la fabrication mécanique des pierres réfractaires brutes. Les moules et les étampes nécessaires doivent être fabriqués.

L'expert a pu remarquer l'intérêt que portaient les établissements UCEHA à la production des pierres réfractaires pour les fours à chaux mais des informations plus précises sur les quantités désirées seraient souhaitables afin que les délais de livraison puissent être calculés.

#### Installations métalliques

Au cours d'une visite qu'il a faite les 5 et 6 mai 1975 aux établissements METAL-SOUDAN S.A. à Bamako, l'expert a pu faire les constatations suivantes : on peut laminier des tôles jusqu'à 18 mm d'épaisseur (chemise de la cuve) et souder les supports des soles des fours, indépendamment de leur épaisseur; le soudage exécuté dans cette usine et contrôlé en plusieurs cas semble approprié.



Une liste des différentes parties de la construction métallique, groupées par classes et portant l'indication des poids approximatifs, a donc été établie et transmise à l'entreprise lors d'une deuxième visite afin que cette dernière puisse préparer une offre.

L'expert a pu remarquer que les établissements METAL-SOUDAN étaient intéressés par la fabrication et l'installation du four à Diamou.

#### Entretiens de l'expert avec la SOCIMA

Du 7 au 10 mai 1975 l'expert a rendu visite à la Société des Ciments du Mali (SOCIMA) à Diamou près de Kayes. Au cours d'un entretien avec le personnel directeur de l'usine l'étude du marché fut analysée et la question de la capacité du four à construire fut débattue. L'expert soumit à la direction de l'usine le questionnaire qu'il avait établi à son intention afin d'obtenir les données dont il avait besoin. La SOCIMA retourna ce questionnaire après l'avoir rempli. Au cours de l'entretien l'expert donna aux personnes présentes des informations sur les différents types de fours, les systèmes et les rendements et, particulièrement, sur ses travaux relatifs à l'installation d'un premier four en Indonésie et exécutés dans le cadre d'une opération de l'ONUDI. On constata qu'un four ayant une capacité de production de 15 tonnes par jour environ comme prévu pourrait être construit au Mali et que les importations pourraient être, de ce fait, en grande partie éliminées. L'expert mentionna les visites qu'il avait faites à l'UCEMA et METAL-SOUDAN et on lui fit remarquer que les Etablissements ACM, à Koulikoro, et ENAM à Markala, pourraient aussi être invités à faire une offre pour les constructions métalliques.

L'expert décida de rendre visite à ces deux firmes après son retour à Bamako et de les inviter à soumettre des offres. On procéda ensuite à la visite de l'usine en accordant une attention particulière aux installations de broyage du calcaire et de préparation, aux installations pour la préparation et le stockage du masout, aux réservoirs, aux voies de raccordement privées et aux routes. L'expert fit certaines recommandations relatives à l'emplacement sur lequel l'unité de production de chaux devrait être établie (voir les croquis figurant à l'annexe I).

Comme cela représente une économie de frais considérable pour le projet, il convient de souligner particulièrement que la fraction granulométrique nécessaire à la fabrication de chaux peut se faire à partir de l'installation de préparation existante, en montant simplement un tamis additionnel plus fin.

Les installations auxiliaires à prévoir pour le four sont les suivantes :

1. Un silo d'une capacité de 16 m<sup>3</sup> environ (suffisant à la production journalière) avec un bord pour le chargement direct par camion à benne basculante;
2. Une goulotte vibrante pour le vidage du silo et le chargement des skips;
3. Un monte-charge incliné pour le gaulard du four.

### Questionnaire

#### 1. Matière première : calcaire de Carpentari

- a) Analyse : voir tableau 2;
- b) Granulation : granulométrie  
à la sortie du concasseur 0-50 mm  
en enlevant une grille sur deux 0-100 mm  
en enlevant une grille sur trois 0-150 mm;
- c) Lieu de préparation : à l'usine, par concasseur. La capacité théorique du concasseur est de 40 tonnes par heure;
- d) Stockage : à l'usine. 4 500 tonnes de pierre calcaire en morceaux ne dépassant pas 50 mm.

#### 2. Combustible : Mazout

- a) Valeur calorifique : Consommation de calories : 1 500 kcal par kg de chaux  
pouvoir calorifique supérieur (Pcs) : 10 300 kcal/kg  
pouvoir calorifique inférieur (Pci) : 9 650 kcal/kg;
- b) Viscosité : 107° Redwood ou 25 centistokes à 99° C.;
- c) Analyse : densité à 15° C. : 0,995  
point de congélation : 70° F  
teneur en soufre : 4 %  
teneur en oxygène : 0,12 %  
point d'écoulement : 150°  
eau : 1 %  
sédiments : 0,25 %

- d) Méthode de stockage : dans 2 cuves de 390,72 tonnes chacune, soit au total 781,44 tonnes;
- e) Installations de préparation disponibles : le mazout est pressé par des pompes à engrenage à 10-15 atm. rel.
- f) Température : la température est de 110° C. quand il sort de l'installation de préparation.
3. Energie électrique
- a) Genre de courant : alternatif, phase 3 ~ 50 Hz;
- b) Tension : 230/380 V  $\Delta$  / Y.
4. Calcul de la rentabilité
- a) Prix du calcaire broyé et tamisé au pied du four : 3 488 francs maliens par tonne;
- b) Prix du courant : 42,8 francs maliens par kWh;
- c) Salaire des ouvriers de la deuxième à la septième catégorie (cuisson à feu continu) : voir tableau 3;
- d) Prix du combustible : franco réservoir usine Dianou : 60 396 francs maliens par tonne.

Tableau 2. Analyse du calcaire de hautland  
(en pourcentage)

Année	Perte au feu	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Total
1969	40,69	1,13	0,44	1,24	51,70	0,71	0,00	99,10
1970	40,59	1,13	0,38	1,42	48,67	2,70	-	99,10
1971	40,33	3,79	0,23	0,31	51,56	1,93	-	98,28
1972	41,18	4,56	1,41	0,40	47,45	3,24	0,10	98,49
1973	39,55	6,86	0,61	0,82	49,27	2,80	-	99,14

Source : Société des Ciments du Mali (SOCIMA), Diamos (Mali)

**Tableau 3. Barème des salaires des ouvriers**  
(en francs maliens)

Catégorie professionnelle	Tarif horaire	Salaire mensuel de base	Nombre d'heures supplémentaires	Salaires (heures supplémentaires)	Salaires de base + heures supplémentaires
2	54	9 359	18 h 40	1 108	10 467
3	63	10 919	"	1 293	12 212
4	74	12 826	"	1 519	14 345
5	82	14 213	"	1 683	15 896
6	90	15 600	"	1 846	17 446
7	154	26 700	"	3 151	29 851

Il s'agit des ouvriers de la deuxième à la septième catégorie, dans le cas de cuisson à feu continu.

Localisation

Le 9 mai 1975 l'expert a visité la carrière de calcaire de Gangonteri située à environ 38 km de l'usine.

Lors de l'entretien final le 10 mai 1975, la Direction de la SOCIMA a donné son accord quant à l'établissement d'un four d'une capacité de 15 tonnes.

La discussion portant sur l'emplacement de l'installation pour la fabrication de la chaux donna les résultats suivants :

Deux endroits sont disponibles pour l'installation et tous les deux présentent les mêmes avantages. Le premier est un terrain qui se trouve à l'ouest de l'usine entre la voie de raccordement privée et la route; le second est un terrain qui est situé à l'est de l'usine, également entre la voie de raccordement privée et la route.

Le premier emplacement cependant se trouve sur un terrain qui a été réservé par le projeteur de l'usine en prévision d'agrandissements futurs, auxquels il y a vraiment lieu de s'attendre. Une décision en faveur de cet emplacement ne saurait donc être prise avant que le projeteur ait reconsidéré ses projets - ce qu'il est en train de faire actuellement.

## II. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

### A. Assistance technique

On aurait besoin d'un expert pour contrôler la fabrication des éléments métalliques et du matériau réfractaire, pour veiller à ce que le chargement s'effectue dans les conditions requises et à ce que l'expédition à Diamou ait lieu dans les délais prévus. Cet expert devrait aussi surveiller le montage des installations. Pour mener à bien ces travaux il lui faudrait neuf mois, mais comme on aura également besoin de ses services pendant la période de mise en marche du four et les deux premiers mois d'exploitation, la durée de sa mission devrait être en tout d'un an. L'auteur de cette étude serait disponible pendant un mois et pourrait consacrer 15 jours à la mise en marche du four et le reste du temps à la formation du personnel, à l'organisation de l'exploitation, des voyages.

### B. Chargement du produit

Le meilleur moyen - et le plus répandu - de transporter la pierre à chaux en vrac est le transport par voie ferrée. Une grande partie des clients peut recevoir les produits de cette façon puisqu'il y a un raccordement privé à l'usine et que la ligne de chemin de fer va de la frontière à Kulikoro via Bamako.

Des wagons couverts en tôle d'acier permettent en montant deux parois en madriers à mi-hauteur du wagon, un chargement facile et sans encombres par les deux portes de chargement.

### C. Le produit et ses dérivés

L'emploi et l'utilisation de la pierre à chaux étant déjà connus, on devrait en prévoir la distribution.

Comme la pierre à chaux se décompose à l'air, l'usine devrait faire savoir à ses clients qu'il est possible de conserver la chaux en la trempant. Elle est ainsi stabilisée et peut être stockée plus longtemps sans inconvénients.

Le transport de la chaux en pâte peut se faire en barils ou dans des boîtes en bois fabriquées à cette fin.

D. Développement et agrandissement de l'unité de production

Une fois que la capacité de production de pierre à chaux aura été accrue, on pourra envisager une installation pour la production de chaux hydratée.

La chaux hydratée,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , est une chaux éteinte à sec et elle est en général emballée dans des sacs en papier. Elle supporte bien le stockage et on l'utilise principalement dans l'industrie du bâtiment et dans l'agriculture.

Les terres arables argileuses et surtout les sols acides sont amendés et stabilisés par l'apport de calcaire. Après des années de traitement avec des engrais chimiques, la terre arable doit être stabilisée périodiquement avec de la chaux.

Si l'on décide d'établir une installation pour la production de chaux hydratée on pourrait envisager en même temps une installation de broyage et dépoussiérage pneumatique pour la chaux vive et les pierres brutes afin de pouvoir produire tous les mélanges usuels de chaux.

Il faut aussi mentionner la demande de chaux utilisée comme liant pour le mortier et pour le plâtre.



Annexe I

DESCRIPTION DU FOUR A CHAUX

A. Four<sup>a/</sup>

Données générales du four

Four vertical à tirage aspiré, fonctionnant à basse pression selon le système SOBEK.

Capacité : 10 t/m<sup>2</sup>/24 h = 15,5 t/j

Fractions granulométriques : 60 - 80 mm  
ou bien 80 - 120 mm

Combustible : Fuel : 1 500 kcal/kg  
Pouvoir calorifique inférieur = 9 650 kcal/kg

Dimensions du four : Diamètre intérieur de la cuve : 1 400 mm  
Hauteur utile de la cuve : 10 000 mm

Section : 1,54 m<sup>2</sup>

Technologie

La désacidification de la chaux brute, au moyen d'un brûleur à injecteurs, sans brûleur à flammes, présente l'avantage non seulement d'éviter les hautes températures qui se produisent aux pointes des flammes mais aussi d'obtenir un rendement thermique élevé du four.

✓ L'expert déclare renoncer au paiement des droits de licence qui résultent de l'utilisation du four vertical à tirage aspiré fonctionnant à basse pression selon le procédé SOBEK qui est patenté et accorde l'autorisation formelle de faire usage pour une seule fois des caractéristiques de ce système et des procédés qui sont patentés ou résultent du know-how de l'auteur.

L'installation du four ne saurait donner lieu à l'instauration de droits coutumiers ou autres; les constructeurs et les exploitants du four s'engagent, en exécutant ce projet, à ne pas rendre accessible à des tiers et en particulier à des entreprises concurrentes, des documents ou des indications sur le procédé (Düsseldorf, juin 1975).

Les plans et les dessins du four se trouvent dans le dossier du Gouvernement malien relatif à ce projet.

Le four décrit fonctionne selon le système SOBEK patenté comme four vertical, à tirage aspiré, fonctionnant à basse pression.

Au moyen d'un dispositif également patenté on retient une quantité adéquate de gaz de fumée pour servir de gaz porteur dans le procédé de brûlage.

Six brûleurs à injecteurs projettent un jet de fuel-oil préparé qui change constamment sa direction sur le matériau ardent dans le four.

Le fuel-oil s'évapore sur le matériau dans le four. La vapeur se mélange avec le gaz porteur qui est amené du dispositif de retenue à la chambre de réaction par un carneau.

La cuve du four étant en dépression une aspiration du mélange de la vapeur d'huile et du gaz porteur se produit au niveau du matériau à brûler et la vapeur d'huile est dissociée en ses différents hydrocarbures.

L'entonnoir du dispositif d'évacuation au pied de la cuve, qui fait partie du système, a des fentes par lesquelles l'air de l'atmosphère entre dans le four, en raison du vide dans la cuve.

L'air circule dans la direction du gueulard, à contre-courant du matériau à brûler, refroidit d'abord le calcaire afin de servir - une fois arrivé dans la zone de brûlage et préchauffé - d'air de combustion pour le procédé.

Après la rencontre de l'air préchauffé et du mélange d'huile et de gaz porteur, celui-ci s'enflamme au niveau du matériau dans le four et brûle là, distribué sur la section entière du four.

A l'aide de deux plans de brûlage une zone de brûlage de longueur adéquate est établie, ce qui prolonge le temps d'exposition du matériau dans le four et rend possible une bonne calcination de la chaux.

#### Quantité de pierres nécessaire

D'après le tableau 2, on constate une moyenne de 92,33 % de carbonate dans la pierre brute. Une pierre brute de 93 % est donc prise comme base pour déterminer la quantité nécessaire :

$$\frac{0,93}{96} \times 100 + 0,07 = 1,73 \text{ kg}$$

Si pour produire 1 kg de chaux il faut 1,73 kg de pierres, pour produire 15 tonnes de chaux par jour il faudra :

$$\frac{15.000}{24 \text{ h.}} = 625 \text{ kg/h}$$

donc  $625 \text{ kg} \times 1,73 = 1\,081,25 \text{ kg}$  de pierres/h

ou

$1\,081,25 \times 24 \text{ h.} = 25\,950 \text{ kg}$  de pierres/24 h

### Quantités de gaz de fumée

Toutes les quantités de gaz de fumée s'appliquent aux quantités qui se produisent par heure.

a) Gaz de fumée provenant de la combustion (Pci :  $9\,650 \text{ kcal/kg}$ ) :

$V_{g0}$  = quantité de gaz théorique

$V_g$  = quantité de gaz réelle

$$V_{g0} = \frac{1,25 \times 9\,650 - 3\,002}{808} = 11,15 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_g = V_{g0} + (n - 1) V_{l0}$$

$V_{l0}$  = quantité d'air théorique

$n$  = excès d'air

$$V_{l0} = \frac{9\,650}{808} = 11,95 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_g = 11,15 + (1,2 - 1) \times 11,95 = 13,26 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Le calcul précédent a été fait en tenant compte d'un excès d'air de 20 %.

Si on calcule un besoin théorique spécifique de combustible de

$1\,150 \text{ kcal/kg}$  de chaux et une production horaire de  $625 \text{ kg}$  de chaux,

le résultat sera :

$$\frac{625 \times 1\,150}{9\,650} = 74,48 \text{ kg/h de fuel-oil}$$

$$74,48 \times 13,26 \text{ m}^3/\text{kg} = \underline{987,60 \text{ m}^3/\text{h de gaz de fumée}}$$

b) Gaz d'échappement provenant de la désacidification :

Pour une charge de  $1\,081,25 \text{ kg}$  de pierres par heure et une perte au feu

moyenne de 41,47 % selon le tableau 2 et sans tenir compte de l'eau de

solution et de l'eau d'imbibition, le résultat est :

$$41,47 \% \text{ de } 1\,081,25 = 448,4 \text{ kg CO}_2$$

$$\frac{448,4 \text{ kg}}{1,976 (\text{V CO}_2)} = 226,90 \text{ m}^3/\text{h de gaz d'échappement}$$

Quantité totale de gaz brut :

Gaz de fumée (combustion)  $987,60 \text{ m}^3/\text{h}$

Gaz d'échappement  
(désacidification)  $226,90 \text{ m}^3/\text{h}$

$1\,214,50 \text{ m}^3/\text{h}$

Ventilateur aspirant

Le ventilateur aspirant les gaz d'échappement a été ainsi conçu :

Débit	1 800 - 2 000 m <sup>3</sup> /h
Température	350° C.
Pression totale	250 mm (colonne d'eau)
Puissance de propulsion du moteur	14 kW

Entre le moteur et le ventilateur une commande à réglage sans graduation a été montée. Elle sert de régulateur de vitesse.

Cheminée

Quantité de gaz d'échappement	1 214,50 m <sup>3</sup> /h
Valeur utilisée pour le calcul	1 500
Température	350° C.
Vitesse de circulation	6 m/s

$$S = \frac{Q}{v}$$

$$\frac{273 + 350}{273} \times 1 500 = 3.423 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{3 423 \text{ m}^3}{3 600 \times 6 \text{ m/s}} = 0,158 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{0,158}{3,14}} = 0,224 \text{ m}$$

$$D = 0,448 \text{ m} = \text{soit, en arrondissement, } 450 \text{ mm}$$

selon DIN 2 448      457,8 mm

Conduite pour le tirage forcé et circulation circulaire

En comptant 50 % d'appauvrissement de l'air de combustion et en prenant pour base la combustion stoechiométrique

Fuel-oil	air ou gaz porteurs	
75 kg/h	$\times 10,84 \text{ m}^3$	= 813 m <sup>3</sup> /h
Quantité de gaz porteurs		813 m <sup>3</sup> /h
Valeur servant de base au calcul		1 000 m <sup>3</sup> /h
Température		250° C.
Vitesse de circulation		4 m/s

$$\frac{1.000 \text{ m}^3}{3.600 \times 4 \text{ m/s.}} = 0,0694 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0694}{3,14}} = 0,149 \text{ m}$$

D = 0,298 m, soit en arrondissant, 300 mm  
selon DIN 2 448 298,5 mm

Six lignes de dérivation :

$$\frac{0,149 \text{ m}^2}{6} = 0,0248 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0248}{3,14}} = 0,089 \text{ m}$$

D = 0,178 m, soit, en arrondissant, 180 mm  
selon DIN 2 448 177,8 mm

#### Indications concernant la construction métallique

Après avoir pris contact avec les fournisseurs l'expert a constaté que tous les éléments de la construction métallique pouvaient être fabriqués au Mali.

Seulement des dessins doivent être faits pour les parties du four suivantes :

- la fin de la ligne des skips avec le dispositif de vidage;
- l'écluse des pierres brutes avec le canal d'échappement;
- le dispositif d'évacuation composé de la croix de distribution et de l'entonnoir collecteur avec les fentes d'entrée d'air.

Les dessins, croquis ou calculs des parties suivantes peuvent être faits par les fournisseurs au Mali d'après le dessin du projet :

Calcul statique pour la fondation renforcée d'acier de construction sous cote ± 0 y compris le croquis des boulons de fondation;

Dessins et croquis des pièces suivantes : sole du four, anneau porteur du couvrage, la chemise de la cuve, chambres de combustion, plates-formes, escaliers et échelles, cornues de gaz de fumée et de gaz porteur, moules pour le pressage des pierres réfractaires brutes,

clapet de retenue pour la cheminée (450 mm de diamètre), clapet d'étranglement devant le ventilateur aspirant (450 mm de diamètre), six clapets d'étranglement pour les conduits de dérivation (180 mm de diamètre).

Parties du four qui doivent être importées

- 7 brûleurs à injecteurs (fuel-oil) dont un de réserve
- 1 ventilateur aspirant le gaz de fumée avec commande de réglage sans graduation et moteur de commande
- 1 treuil avec dispositif de freinage électrique
- 1 téléthermomètre
- 2 tubes en U pour mesurer la pression dans l'espace de retenue et pour mesurer le tirage devant le ventilateur aspirant
- 6 tubes inclinés pour mesurer le gaz porteur devant les chambres de combustion
- 1 goulotte vibrante pour le dispositif d'évacuation fabriqué au Mali.

Un détenteur et les conduites circulaires et de dérivation nécessaires pour alimenter les brûleurs seront fournis et montés par l'usine.

Charges

Calcul statique pour les fondations

Construction métallique	25 000 kg
Matériau réfractaire	80 000 kg
Matériau à cuire (calculé d'après le poids des pierres brutes)	30 000 kg
	<hr/>
	135 000 kg

Composition du travail

Pour un rendement de 1 001,25 kg de pierres par heure et une densité apparente de 1 750 kg/m<sup>3</sup>, pour deux cycles par heure :

$$\frac{1\,001,25 \text{ kg}}{1\,750 \text{ m}^3} = 0,618 \text{ m}^3/\text{h}$$

Contenu des bennes (avec 100 % de réserve de rendement)	0,5 m <sup>3</sup>
Force de traction	3,2 t
Vitesse du câble	w = 0,22 m/s
Puissance de propulsion : (avec dispositif de frein électrique)	13 kW

Conception de la goulotte vibrante pour l'évacuation

Rendement horaire en chaux à évacuer	625 kg ou 0,625 m <sup>3</sup>
Temps d'évacuation	30 secondes
Rendement horaire de la goulotte vibrante	37,5 m <sup>3</sup>

Le matériau réfractaire

Pour la conception du matériau réfractaire on est parti de l'hypothèse que les Etablissements UCHM produiraient des pierres hautement aluminifères qui auraient à peu près les caractéristiques suivantes :

70-72 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
20 %	SiO <sub>2</sub>
3-5 %	sesquioxides

Des argiles plastiques, réfractaires et frittantes doivent être utilisées pour la liaison du concentré de diaspre.

Le diamètre total de hourdage ainsi composé serait (en mm) de :

Revêtement de travail	250
Remplissage	150
Pierre isolante	60
Couche dans isolante	40
soit au total	500

Ceci suppose l'utilisation d'une brique légère isolante de haute porosité.

Calcul des volumes réfractaires (en m<sup>3</sup>)

Z1 - Z2 = remplissage	3,5
Z2 - Z3 = 2. remplissage	3,7
Z3 - Z4 = 1. remplissage	9,7
Z4 - Z5 = revêtement de travail	<u>12,9</u>
total en m <sup>3</sup>	29,8

Z  $\frac{D^2 \times S}{h}$  x h E Exemple :

	hourdage total	29,3	
	+ volume utile de cuve	<u>15,4</u>	
		45,2	
Z1 = 500	4,52 m <sup>2</sup> x 10 m =	45,2	
+ 500			
<u>1 400</u>			
D = 2 400			
Z2 = 2 400	4,17 m <sup>2</sup> x 10 m =	41,7	
80			
<u>2 320</u>			
D = 2 320		3,5	remplissage
Z2		41,7	
Z3 = 2 320	3,80 m <sup>2</sup> x 10 m =	38,0	
- 180			
<u>2 200</u>			
D = 2 200		3,7	2. remplissage
Z3		38,0	
Z4 = 2 200		28,3	
- 300			
<u>1 900</u>			
D = 1 900		9,7	1. remplissage
Z4		28,3	
Z5 = 1 900	1,54 m <sup>2</sup> x 10 m =	15,4	
- 500			
<u>1 400</u>			
D = 1 400		12,9	revêtement de travail



Annexe II

ETUDE DU PRIX DE REVIENT

Afin de pouvoir étudier le prix de revient, il est nécessaire de déterminer les frais généraux de fabrication. Le calcul des coûts annuels est fait sur la base des données obtenues. Dans ce premier calcul ne figurent ni les frais de financement ni les coûts effectifs de production qui seront calculés plus loin et devront s'y ajouter pour donner le prix de revient. Les calculs suivants sont faits en fonction d'une exploitation continue à trois postes et pendant 350 jours par an. Les calculs des prix sont faits en francs maliens.

I. Coûts directs

A. Salaires<sup>2/</sup>

4 ouvriers de la 2ème catégorie	
FM 10 467 x 4 .....	41 868
4 ouvriers de la 7ème catégorie	
FM 29 861 x 4 .....	119 444
Total .....	161 312

Salaires correspondant à la production annuelle

FM 161 312 x 12 ..... FM 1 935 744

B. Frais d'exploitation

1. Pierres brutes préparées franco four :

Prix par tonne : FM 3 488

Quantité nécessaire par jour : 25,95 tonnes

Quantité nécessaire pour 350 jours

25,95 x 350 = 9 083 tonnes

Coût des pierres brutes pour la production annuelle

FM 3 488 x 9 083 ..... FM 31 681 504

2. Combustible

Quantité de combustible nécessaire à la production  
d'un kilo de ciment (en théorie)

2/ Voir tableau 3.

Consommation de calories : 1 150 kcal par kg de chaux

Pci : 9 650 kcal/kg

$$\frac{1\ 150\ \text{kcal}}{9\ 650\ \text{kcal}} = 0,119\ \text{kg de combustible par kg de chaux}$$

soit = 0,119 tonne de combustible pour une tonne de chaux

Production annuelle de chaux

$$15,4 \times 350 = 5\ 390\ \text{t}$$

Quantité de combustible nécessaire à la production annuelle

$$0,119 \times 5\ 390 = 641,41\ \text{t}$$

Prix du combustible pour la production annuelle

$$641,41 \times 300 = 192\ 423\ \text{FR} \dots \dots \dots \text{FR } 38\ 738\ 598$$

5. Courant électrique

	Débit nominal (t/h)	Pourcentage d'utilisation	Total (t/h)
Soufflerie	14	100	14
Brûleurs	1,2	100	1,2
Moteur de l'ascenseur	13	60	7,8
Boulette vibrante			
Évacuation	1,5	10	0,15
Silo	1,5	10	0,15
			<u>23,30</u>

La consommation effective étant des deux tiers

$$\frac{23,30 \times 2}{3} = 15,53\ \text{t/h}$$

Consommation annuelle en kWh (350 x 24 = 8 400 h )

$$15,53 \times 8\ 400 = 130\ 452\ \text{kWh}$$

Coût annuel de courant électrique à 42,8 FR le kWh

$$42,8 \times 130\ 452 = \text{FR } 5\ 583\ 345$$

II. Frais généraux calculés pour une année

Matériaux d'exploitation et matériaux auxiliaires

FR 90 000 par mois                      FR 1 080 000

Maîtrise

FR 70 000 par mois                      FR 840 000

Entrepôt

FM 100 par tonne; 5 390 t 539 000

Mise en état, équipement, installation 2 700 000

En résumé :

Coûts directs

	<u>Salaires</u>	<u>Frais d'exploitation</u> (en francs maliens)	<u>Frais généraux</u>
Salaires	1 935 744		
Pierres brutes préparées franco four		31 681 504	
Combustible		38 738 598	
Courant électrique		5 583 345	
Matériaux d'exploitation et matériaux auxiliaires			1 080 000
Matrice			840 000
Entrepôt			539 000
Mise en état, équipement, installations			2 700 000
	<hr/> 1 935 744	<hr/> 76 003 447	<hr/> 5 159 000

Par rapport à la somme des frais d'exploitation et des salaires ces  
frais généraux représentent un pourcentage de :

$$\frac{5\,159\,000}{76\,003\,447 + 1\,935\,744} \times 100 = 6,62 \%$$

La somme des coûts directs et des frais généraux donne le coût de  
fabrication :

(francs maliens)

1 935 744
76 003 447
5 159 000
<hr/> 83 098 191

Les frais administratifs et d'exploitation sont  
estimés à 10 % des frais de fabrication; soit :

8 309 819

Coût global : 83 098 191 + 8 309 819

---

91 408 010

Conversion des coûts annuels à l'unité de poids  
à 1 tonne pour une production annuelle de 5 390 tonnes :

1. Salaires	$\frac{\text{FM } 1\,935\,744}{5\,390 \text{ t.}}$	=	FM 359,14
2. Matériaux			
i) pierres brutes	$\frac{\text{FM } 31\,681\,504}{5\,390 \text{ t.}}$	=	FM 5 877,83
ii) combustible	$\frac{\text{FM } 38\,738\,598}{5\,390 \text{ t.}}$	=	FM 7 187,12
iii) courant électrique	$\frac{\text{FM } 5\,583\,345}{5\,390 \text{ t.}}$	=	FM 1 035,87

En résumé et en arrondissant :

Coûts directs	}	Salaires	359
		Pierres brutes	5 878
		Combustible	7 187
		Courant électrique	1 036
			<hr/>
		FM 14 460	
		Frais généraux	957
		Coût de fabrication : 14 460 + 957	FM 15 417
		Frais administratifs et d'exploitation	1 542
			<hr/>
		Prix de revient	FM 16 959

Puisque le four à chaux doit être installé dans une cimenterie, il est possible de faire les calculs en prenant pour prix du matériau brut celui d'une pierre brute, broyée et tamisée, franco au pied du four.

Ce prix contient déjà, outre la valeur de la pierre, les coûts d'amortissement pour les installations des carrières et pour les installations de broyage et tamisage.

Le calcul suivant des frais de financement ne contient donc que les coûts de la construction du four et les coûts estimatifs du silo de pierre à chaux.

On est parti de l'hypothèse que le montant total sera financé.

### III. Frais de financement

On a pris pour base du financement le total des coûts effectifs (100 millions de francs maliens) et un amortissement en 10 ans.

Un taux d'intérêt de 4 % par an a été calculé.

Pour 10 millions de francs maliens par an les intérêts s'élèvent

à <u>FM 8 000 000 x 10</u>	
- <u>FM 40 000 000</u>	= FM 4 000 000 par an
10 ans	
remboursement du capital	<u>FM 10 000 000 par an</u>
Total	<u>FM 14 000 000 par an</u>

fonds empruntés

$$\frac{\text{FM } 14\,000\,000}{\text{FM } 100\,000\,000} = 14 \%$$

Il faut donc ajouter au prix de revient les frais de financement s'élevant pour 5 390 tonnes par an à  $\frac{\text{FM } 14\,000\,000}{5\,390} = \text{FM } 2\,597$  par tonne

### IV. Coûts effectifs (en francs maliens locaux <sup>v/</sup>)

#### A. Coût de fabrication

a) Fondation (excavation non comprise)	4 160 000
b) Charpenterie métallique, montage et peinture	40 000 000
c) Matériau réfractaire, maçonnerie y compris	12 180 000
d) 6 clapets	1 292 000
e) Baquet de monte-charge	1 105 000
f) Installation électrique	1 500 000
Total	<u>FM 60 237 000</u>

<sup>v/</sup> Les offres de plusieurs firmes locales se trouvent dans le dossier du Gouvernement malien relatif à ce projet.

B. Coût des parties de l'installation qui doivent être importées (en francs maliens) c/.

Brûleurs à injecteurs et	
1 brûleur de réserve à FM 1 100 000	8 330 000
1 ventilateur aspirant avec démarrage et moteur	2 046 433
Installation monte-charge	1 586 000
2 canules en U tubes obliques {	510 000
2 séries vibrantes	2 349 080
Matériel électrique	2 750 000
Bassin DEN - A 1	2 740 000
1 tamis vibrant	1 337 000
<hr/>	
Total	FM 22 162 000

C. Frais de transport, assurances, coûts imprévus et réserves

Etant donné que les firmes intéressées se trouvent dans le sud de l'Europe, toutes les offres ont été établies f.o.b. Trieste.

D'après les renseignements d'un bureau d'expéditions internationales, les frais d'expédition Trieste-Dakar s'élevaient par m<sup>3</sup> à .....

42 500

Pour un volume de 13,7 m<sup>3</sup> (4 tonnes environ)

les frais d'expédition totaux c & f Dakar

s'élevaient à .....

582 250

Ni les frais d'expédition par chemin de fer Dakar-Diamou ni les coûts d'assurance n'ont pu être établis

Les coûts totaux sont majorés pour les imprévus

et la réserve de .....

14 000 000

(ce qui représente 15 % des coûts totaux)

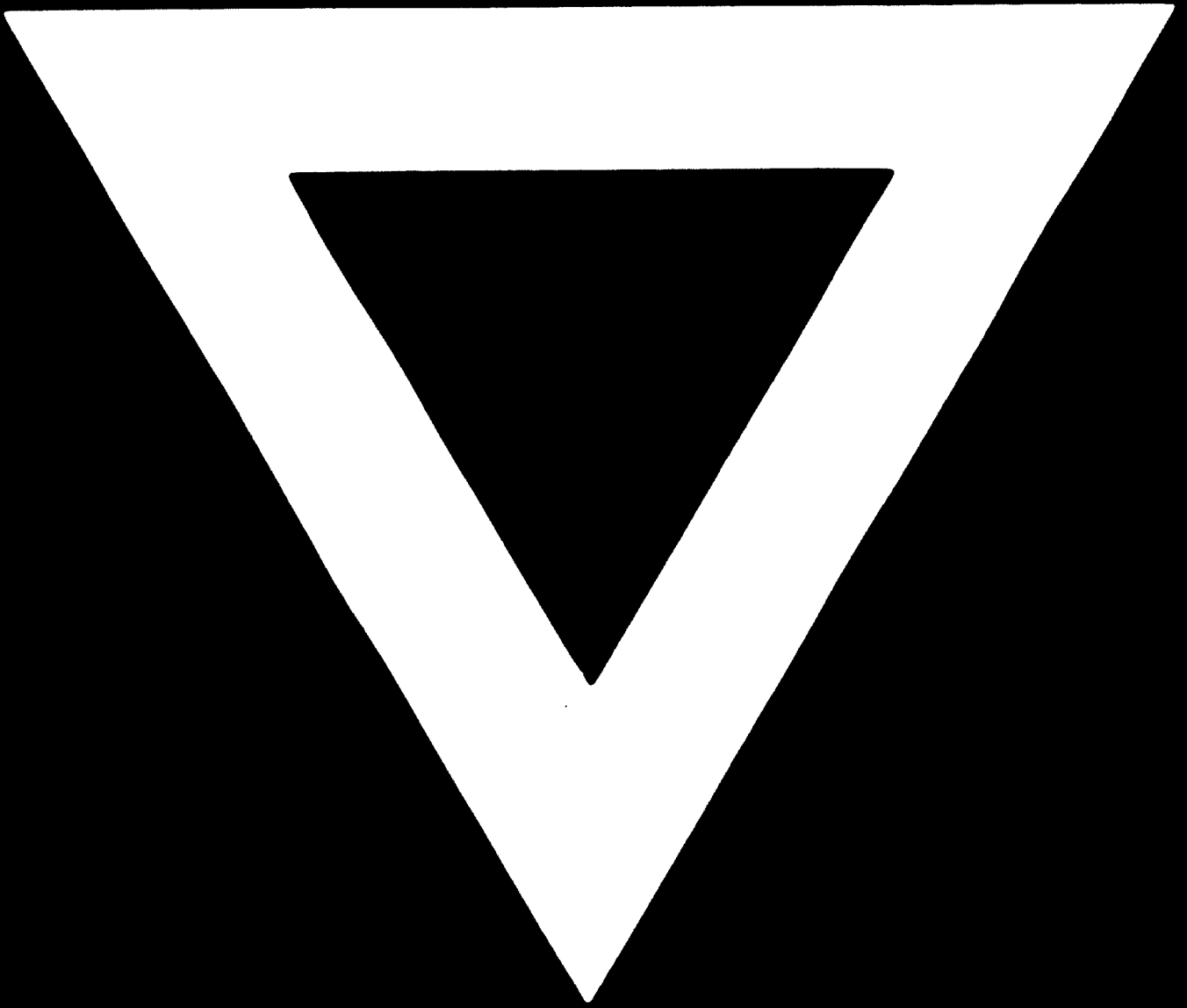
---

c/ Selon l'ordonnance No 20 du comité militaire de libération nationale du 23 mai 1969, toutes les importations destinées à ce projet et toutes les parties de l'installation fabriquées au Mali sont exonérées de taxes et d'impôts.

Les offres de diverses firmes étrangères se trouvent dans le dossier du Gouvernement malien relatif à ce projet.

<b>D. Coûts estimatifs du silo destiné aux pierres brutes (en francs maliens) .....</b>	<b>4 250 000</b>
<b>Résumé des coûts effectifs :</b>	
<b>1. Coûts de fabrication dans le pays .....</b>	<b>60 237 000</b>
<b>2. Coûts des parties de l'installation à importer .....</b>	<b>22 162 519</b>
<b>3. Frais de transport, assurances, coûts imprévus et réserve .....</b>	<b>14 000 000</b>
<b>4. Coûts estimatifs du silo destiné aux pierres brutes .....</b>	<b>4 250 000</b>
<b>Total</b>	<b><u>FM 100 649 519</u></b>





**76 . 05 . 04**