



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

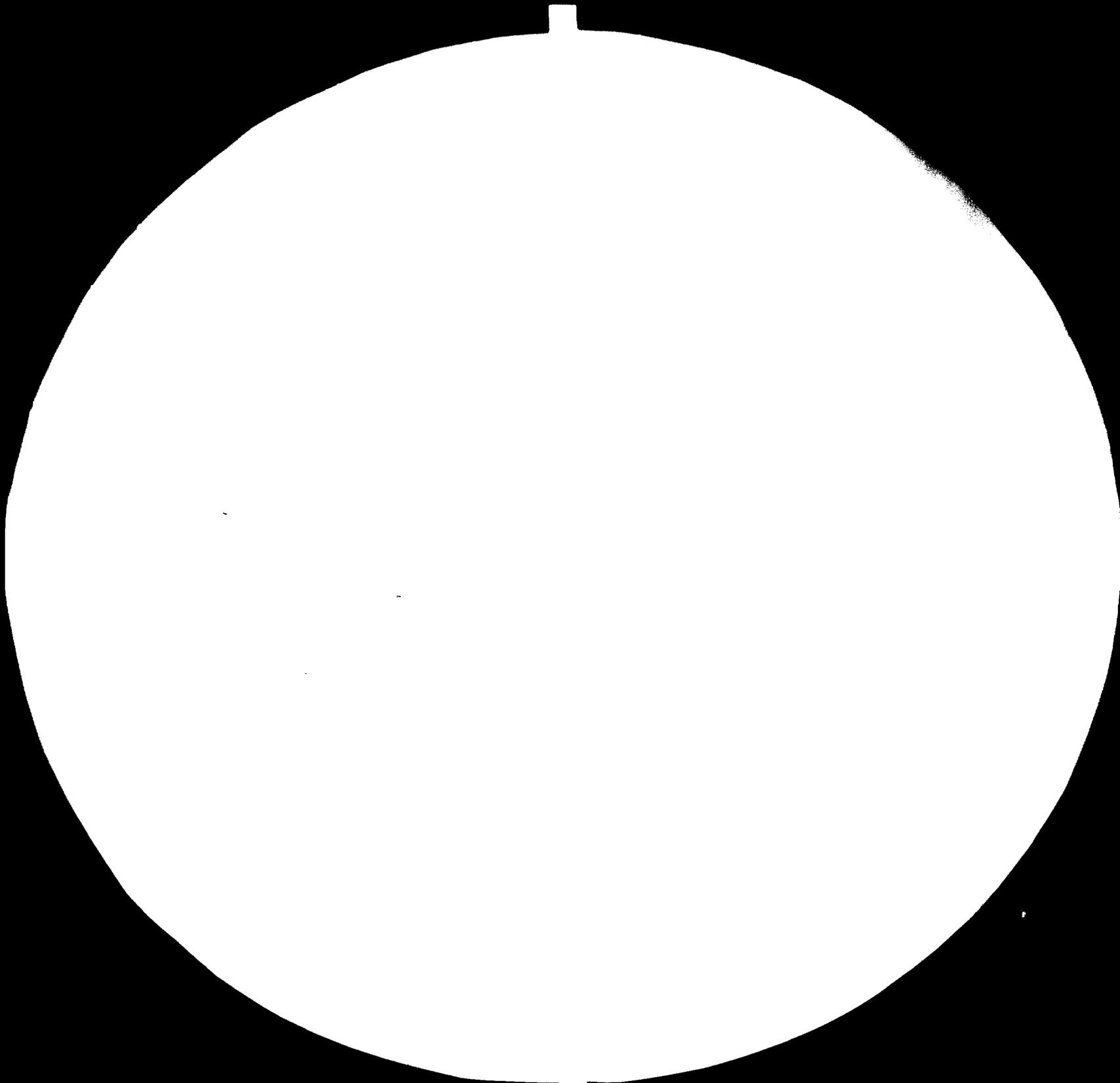
FAIR USE POLICY

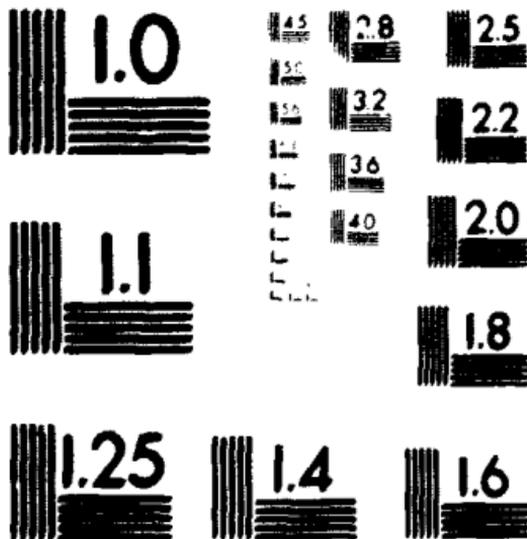
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

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

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





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

14097 - F

Août 1984

Niger.

EVALUATION DE L'ETUDE
PRELIMINAIRE DES GISEMENTS DE FER
DE SAY

établie par

KHD HUMBOLDT WEDAG AG

DP/RAF/79/067

REPUBLIQUE DU NIGER

Evaluation réalisée par Viktor Sosic
Conseiller technique en traitement du minerai de fer

ONUJI
Vienne

2947

V.84-92116

received from
Mr. T. Westenebe

Le présent rapport n'a pas reçu le visa de l'ONUJI qui
ne partage donc pas nécessairement les vues qui y sont exposées.

GISEMENTS DE MINÉRAI DE FER - DOGUEL KAINA ET KOLO

1. Réserves

Les gisements de Doguel Kaina et Kolo, situés à proximité de SAY, se trouvent à 30-40 km au sud-est de Niamey (Niger).

Le minéral de fer oolithique se présente sur trois horizons :

- Horizon supérieur à oolithes indurées	
Teneur moyenne en fer	46 à 51 %
Puissance moyenne	2,20 à 2,53 m
- Intercalation à sables et argiles oolithiques	
Teneur moyenne en fer	24 à 33 %
Puissance moyenne	1,1 m
- Horizon inférieur à oolithes tendres	
Teneur moyenne en fer	43 à 46 %
Puissance moyenne	2,0 à 2,9 m

La puissance moyenne de l'ensemble des horizons s'élève à 6,56 m.

1.1 Doguel Kaina

Les réserves totales de Doguel Kaina sont de 1 009 Mt
avec une teneur moyenne en Fe de 45,73 %

Si l'on admet pour l'intercalation une teneur
limite en Fe de 35 %,

les réserves totales de minéral sont de 937 Mt
avec une teneur moyenne en Fe de 27,44 %

1.2 Kolo

Les réserves totales de Kolo sont de 207 Mt
avec une teneur moyenne en Fe de 40,84 %

Si l'on admet pour l'intercalation une teneur
limite en Fe de 35 %,

les réserves totales de minéral sont de 173 Mt
avec une teneur moyenne en Fe de 44,67 %

1.3 Avantages des gisements de fer de Doguel Kaina et Kolo

- Les réserves sont importantes
- Le minéral principal est la goethite, laquelle est aisément réductible
- L'exploitation peut se faire à ciel ouvert

1.4 Inconvénients des gisements de Doguel Kaina et Kolo

- Le rapport couverture/minéral est assez élevé
- Le minéral est fortement siliceux et ne contient presque pas de CaO et de MgO
- Les impuretés contenues dans les oolithes rendent la concentration du minéral possible seulement jusqu'à $54 \pm 1 \% \text{ Fe}$
- La concentration du minéral de fer par m^2 étant faible (environ 17 t/m^2 seulement), le transport à longue distance depuis la mine jusqu'à l'usine d'enrichissement serait toujours nécessaire et très coûteux
- L'éloignement par rapport à la mer (environ 900 km) exclurait toute possibilité d'exportation.

1.5 L'application d'une méthode appropriée, simple et bon marché, d'enrichissement permettrait d'obtenir un minéral oolithique concentré qui fournirait une matière première peu coûteuse à l'industrie nationale de l'acier.

2. Plan détaillé de travail

Le plan détaillé de travail prévoyait tous les travaux et essais nécessaires :

- Détermination qualitative et quantitative des réserves de minéral de fer
- Evaluation technico-économique des caractéristiques de traitement du minéral, y compris récupération et qualité des concentrés
- Evaluation technico-économique des caractéristiques de pelliculisation des concentrés et des caractéristiques de réductibilité directe des boulettes.

Le contractant - HUMBOLDT WEDAG - a exécuté ce plan de travail avec le plus grand soin et de manière exemplaire. Tous les aspects susmentionnés ont été parfaitement étudiés.

2.1 Essais d'enrichissement

Les divers essais de concassage, broyage et enrichissement ont clairement fait apparaître les points suivants :

- Le Fe récupérable n'est concentré que dans les oolithes.
- On s'est intéressé avant tout à la concentration maximale possible, et 50 oolithes pures de chaque échantillon ont été soumises à séparation manuelle après attrition.

L'analyse chimique des oolithes a donné les résultats suivants :

- échantillon 1 : teneur en Fe 54,21 %
- échantillon 2 : teneur en Fe 53,40 %
- Les grains de quartz sont en général inférieurs à 0,63 mm (voir B.4.1).
- Les oolithes contiennent des impuretés très fines, aussi le broyage fin des oolithes et la séparation magnétique haute intensité en phase humide ne permettent pas d'obtenir un concentré de qualité supérieure à celle des concentrés de 3 à 0,5 mm, autrement dit l'enrichissement ne donne de résultats optimum qu'après libération des oolithes.
- Les analyses granulométriques du minerai oolithique broyé confirment absolument les constatations ci-dessus.

Ces analyses sont particulièrement caractéristiques pour l'échantillon 2 (oolithes tendres) - Voir Annexes C.4 et C.6 :

Fraction	Masse	Fe		SiO ₂	
		Teneur %	Taux de récupération %	Teneur %	Taux de récupération %
> 5 mm	23,4	41,9	22,9	18,6	24,6
5 à 3 mm	3,6	42,6	3,5	18,0	3,7
3 à 2 mm	10,1	<u>50,1</u>	11,8	8,7	5,0
2 à 1 mm	31,2	<u>50,1</u>	36,6	7,9	14,2
1 à 0,5 mm	17,5	43,6	17,9	17,2	17,4
< 0,5 mm	14,2	21,6	7,2	<u>43,1</u>	36,1
Total/moyenne	100	42,7	100	17,4	100

Les résultats du broyage pour l'échantillon 2 montrent que l'enrichissement du minerai oolithique - indépendamment de la teneur en Fe de la matière d'alimentation - n'est intéressant qu'avec une libération des oolithes, c'est-à-dire avec broyage de 100 % de la matière d'alimentation à < 3 mm ou, d'après l'analyse granulométrique, à < 2,5 mm, y compris l'attrition/abrasion de la matrice à la surface de chaque oolithe.

Ces remarques s'appliquent également à l'intercalation, avec une teneur limite en Fe de 35 %.

Le problème du phosphore

Toutes les tentatives visant à séparer le phosphore ou à en diminuer la teneur ont échoué, de sorte que l'aciérie devra prévoir une déphosphoration de la fonte.

2.2 Concassage, broyage, attrition

Pour la désagrégation du minerai oolithique, le contractant a utilisé

- Un concasseur à marteaux
- Un broyeur à marteaux
- Un matériel d'attrition

Indépendamment du type de minerai (induré ou tendre), ce genre d'équipement permet d'enrichir le minerai oolithique de granulométrie 3 à 0,5 mm presque jusqu'au maximum, soit 53 ou 54 % de Fe, ce qui est un bon résultat, eu égard au fait que la goethite pure - sans impuretés dans les oolithes - a théoriquement une teneur en Fe de 62,8 %.

Ces résultats n'ont pu être obtenus qu'après séparation de la matrice molle entre les grains oolithiques : concassage/broyage, enlèvement des résidus de matrice par abrasion de la surface des oolithes (opération d'attrition) et détachement de particules d'argile par lavage.

Le matériel employé pour les essais d'enrichissement n'appelle aucun commentaire particulier.

Par contre, eu égard au fait qu'après passage au concasseur à marteaux la quantité d'oolithes brisées est considérable et que l'attrition est une phase très importante des opérations, je recommande pour le broyage fin l'emploi d'un broyeur autogène à décharge périphérique, par exemple le modèle KRUPP PEREMILL.

L'équipement de broyage PERIMILL, autogène à circuit fermé, présente plusieurs avantages :

- Il est possible de réaliser un contrôle très précis de la taille de broyage qui, d'après les analyses granulométriques, devrait être ramenée à 2,5 mm.
- Pendant le broyage, les oolithes libérées sont continuellement soumises à attrition.
- L'attrition à sec des grains d'oolithes est optimale.
- La durée d'attrition est prolongée par le renvoi au broyeur de la fraction supérieure à 2,5 mm (broyage en circuit fermé).
- L'attrition en phase humide au moyen d'une cellule spéciale peut être raccourcie au maximum.
- La fraction inférieure à 2,5 mm ne contient presque pas d'oolithes brisées.
- L'appareil assure les mêmes conditions de libération pour les oolithes indurées, les oolithes tendres et l'intercalation, indépendamment de la teneur en Fe - teneur limite de 35 % - compte tenu du fait que l'intercalation consiste en oolithes de plus de 0,50 mm dans une matrice argilo-sableuse.
- L'extraction sélective n'est pas nécessaire.

2.3 Déschlammage

Le contractant a déschlammé à $\pm 0,020$ mm la fraction de moins de 0,50 mm aux fins de séparation magnétique haute intensité en phase humide.

Cependant, les analyses granulométriques de cette fraction ont montré qu'un déschlammage à $\pm 0,10$ mm (et même 0,150 mm) donnerait des résultats technologiques analogues, voire meilleurs (voir Annexe C-13).

Fraction	Masse %	Fe		SiO ₂	
		Teneur %	Taux de récupération %	Teneur %	Taux de récupération %
		0,50 à 0,30 mm	11,2	34,1	9,2
0,30 à 0,10 mm	11,0	22,2	5,9	41,1	25,1
0,10 à 0,063 mm	2,4	<u>16,5</u>	1,0	<u>45,7</u>	6,1
moins de 0,063 mm	2,3	<u>18,1</u>	1,0	<u>34,9</u>	4,5

Ces résultats se rapportent à un matériau passé au broyeur à marteaux, c'est-à-dire présentant beaucoup d'oolithes brisées dans la fraction inférieure à 0,50 mm. Or, avec le PERIMILL, il n'y en a presque pas.

2.4 Attrition

L'attrition est une phase très importante des opérations, où il s'agit :

- De séparer la matière argileuse entre les oolithes et
- D'enlever la coquille argileuse des oolithes par abrasion de leur surface; or, chaque oolithe a une coquille stérile épaisse d'une dizaine de microns qui paraît être aussi dure que l'oolithe elle-même.

L'attrition de la matrice argileuse molle ne pose pas de problème. Par contre celle des coquilles demande plus de temps et doit se faire dans des conditions optimales, lesquelles ne sont assurées que pendant le broyage autogène.

Les conditions d'attrition de la fraction inférieure à 3 mm n'étaient probablement pas optimales quant à la densité de la pulpe :

	g/dm ³	dm ³ matière solide	dm ³ eau	Rapport matière solide/eau
Echantillon 1	1 100	0,415	0,585	65/35
Echantillon 2	1 300	0,490	0,510	72/28

Compte tenu de la densité spécifique assez basse des oolithes - pour une masse volumique apparente de 1,92 - les conditions d'attrition étaient acceptables pour l'échantillon 2, mais non pour l'échantillon 1. En effet, l'attrition est réussie si le rapport matière solide/eau est compris entre 70/30 ou 75/25, selon les concentrations de volume.

2.5 Séparation magnétique haute intensité en phase humide

Le seul procédé qui donne vraiment de bons résultats pour l'enrichissement de la fraction déschlammée inférieure à 0,50 mm est la séparation magnétique haute intensité en phase humide (HIWMS : High Intensity Wet Magnetic Separation).

Après passage du minerai au broyeur à marteaux, la fraction de moins de 0,50 mm contient toujours un haut pourcentage d'oolithes brisées; ce pourcentage est minime si l'on utilise un PERIMILL.

La fraction inférieure à 0,10 mm est presque uniquement de la matrice pure, c'est-à-dire du matériau argileux qui doit être déschlammé sans diminution de la récupération de Fe. Dans ce cas le procédé HIWMS assure de bien meilleures conditions d'exploitation.

La déshydratation des concentrés de plus de 0,10 mm ne pose aucun problème.

Fraction convenant au procédé HIWMS

Pour tous les essais d'enrichissement il a été retenu deux fractions principales : 3 mm à 0,5 mm et moins de 0,50 mm.

Compte tenu des données fournies (voir page B.16), à savoir que les grains de quartz se trouvent surtout dans la fraction de moins de 0,63 mm, je recommande les deux fractions suivantes :

- 2,5 à 0,6 mm
- moins de 0,6 mm (c'est la fraction à déschlammer à \pm 0,10 mm).

Le matériau de 0,6 mm à 0,1 mm se prête encore très bien au procédé HIWMS HUMBOLDT JONES.

3. Schéma général d'exploitation des gisements

Toutes les observations présentées en C.6.1 y possibilité de traitement des divers horizons - sont correctes, eu égard au mode d'enrichissement proposé (broyage par broyeur à marteaux).

L'emploi d'un broyeur autogène à décharge périphérique assurerait une désagrégation optimale des oolithes :

- Presque pas d'oolithes brisées dans la fraction de plus de 0,6 mm
- Pas de particules d'oolithes brisées dans la fraction de moins de 0,60 mm

- Conditions optimales d'attrition.

En outre, le broyeur PERIMILL à circuit fermé permettrait de réaliser les mêmes conditions d'enrichissement pour tous les horizons, y compris l'intercalation, indépendamment de la teneur en Fe.

L'exploitation sélective serait inutile et les trois horizons seraient exploitables simultanément.

La quantité de la fraction inférieure à 0,60 mm serait fortement accrue :

- En partie par réduction de la taille supérieure, qui serait ramenée de 3 à 2,5 mm
- En partie par accroissement de la taille de criblage, qui passerait de 0,5 à 0,6 mm
- Et surtout par l'intensité de l'attrition durant le broyage autogène en circuit fermé au PERIMILL.

Un premier déschlagage à $\pm 0,10$ mm améliorerait considérablement les conditions d'attrition.

Ces améliorations permettraient de produire les concentrés suivants :

Teneur	53 à 55 % Fe,	sans perte au feu	62 \pm % Fe
Environ	2 % P_2O_5 ,	" "	environ 2,3 % P_2O_5
Environ moins de	4 % SiO_2 ,	" "	environ 4,5 % SiO_2

Un tel concentré pourrait fournir une très bonne matière première pour la consommation locale - Niger et Nord du Nigeria - mais sa faible basicité et l'éloignement de la mine excluraient toute possibilité d'exportation, étant donné que le Niger n'est pas navigable entre Niamey et l'embouchure du fleuve.

4. Pelletisation et réduction directe

Les essais de pelletisation n'appellent aucune remarque.

Le contractant a montré que l'on pouvait produire des boulettes acides de haute qualité. Par contre, la production de boulettes de basicité 0,8 est impossible.

La question de la pelletisation devrait être traitée en liaison avec celle du procédé de réduction.

Parmi les divers procédés de réduction directe, le contractant a choisi et recommandé le procédé KR, qui a de nombreux avantages mais n'a pas jusqu'ici (août 1984) été appliqué à l'échelle industrielle.

Avec le procédé RR, la pelletisation n'est pas du tout nécessaire. Selon KORF Engineering, le procédé peut utiliser le minerai sous les formes suivantes :

- Boulettes
- Boulettes naturelles de moins de 25 mm
- et même agglomérés.

Dans le cas qui nous intéresse, le concentré de 2,5 à 0,1 mm constitue un excellent matériau aggloméré, et il n'est pas exclu que l'on puisse même utiliser de l'aggloméré autofondant.

Il n'est donc pas nécessaire de retenir les phases proposées, qui sont coûteuses, comprenant le broyage fin du concentré de Fe et la pelletisation de ce concentré.

Le procédé métallurgique KR, qui donne de la fonte, permet d'utiliser des concentrés de Fe d'une teneur en P supérieure à 0,20 %, compte étant tenu du fait que l'aciérie devrait prévoir une opération de déphosphoration.

5. Conclusions et propositions

5.1 Exploitation des gisements

Extraction du minerai oolithique par défonceage. Une défonceuse CAT D8H, hydraulique à une dent, devrait suffire car le minerai est bien stratifié. Le minerai extrait par défonceage ne présente presque pas de gros blocs.

5.2 Concassage

Concasseur primaire à une genouillère 1000 x 800 mm.

Dimension de libération recommandée : 250 mm.

Stockage du minerai concassé à l'air libre.

5.3 Broyage

Le minerai concassé à moins de 250 mm est broyé dans un broyeur autogène KRUPP PERIMILL à ouvertures périphériques de 5 mm, probablement sans boulets. L'appareil fonctionne en circuit fermé avec un crible de $\pm 2,50$ mm, le matériau de plus de 2,5 mm étant renvoyé au broyeur.

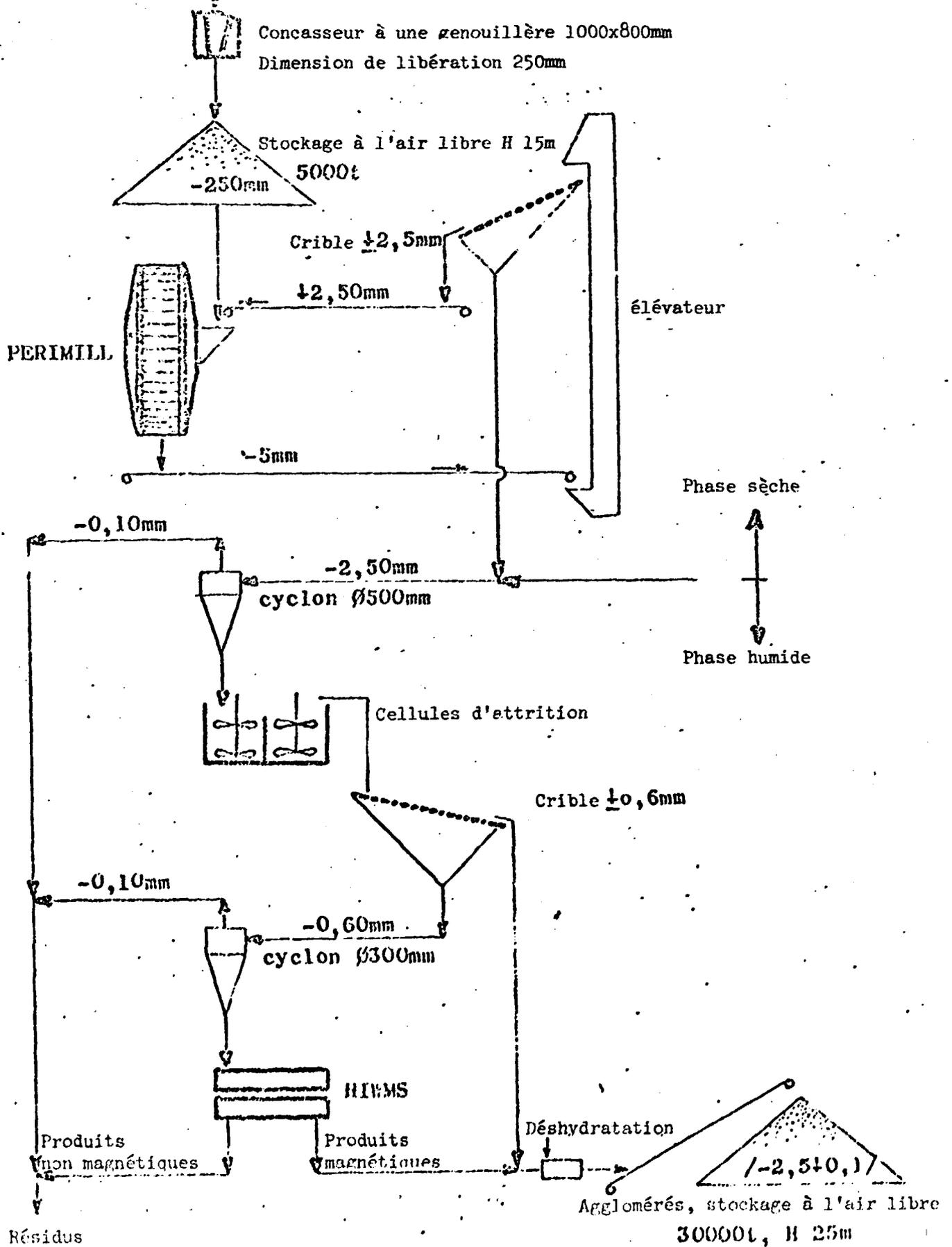
5.4 Déschlammage

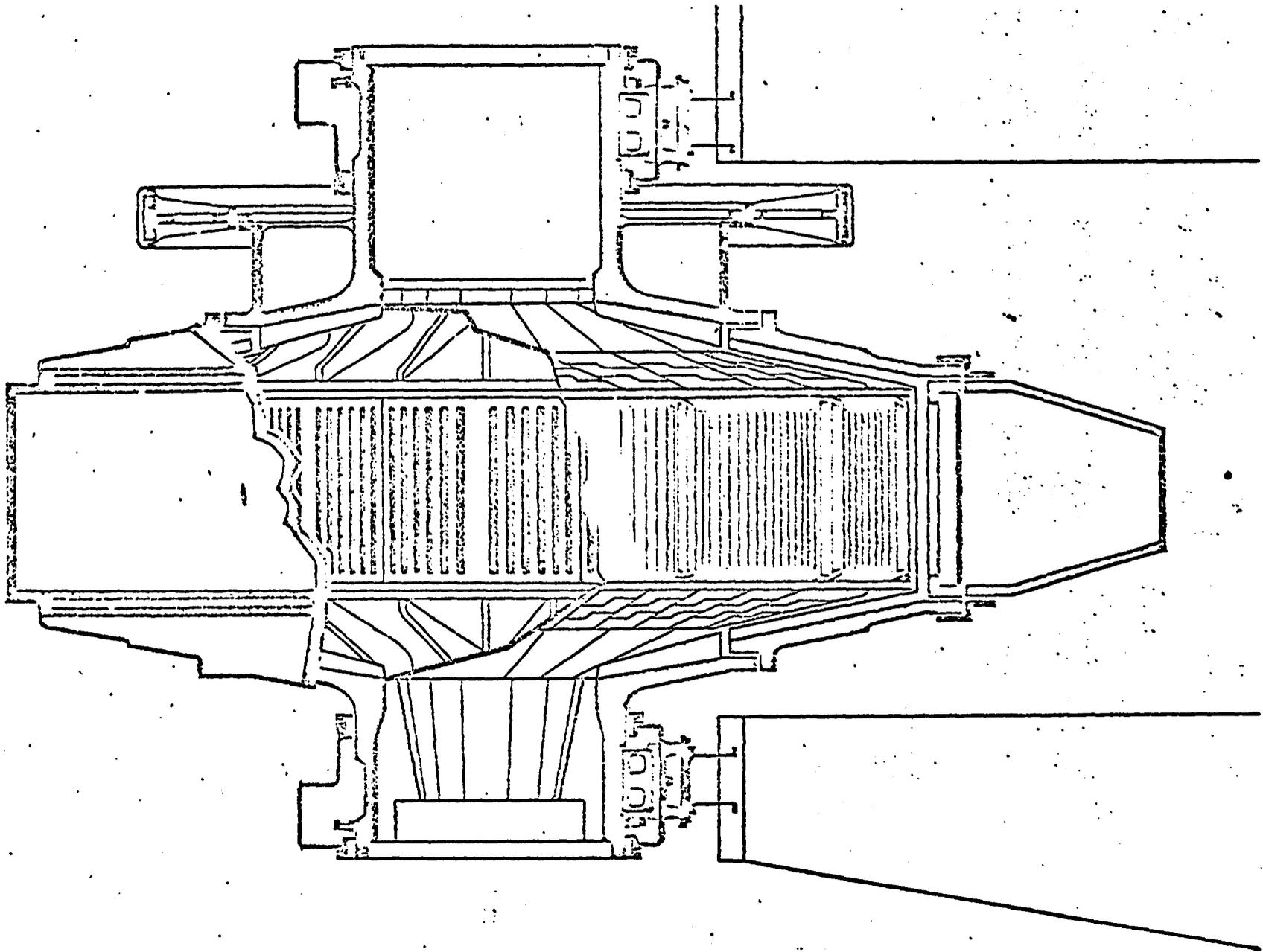
Le matériau de moins de 2,50 mm doit être déschlammé, avant attrition, au moyen de cyclones (\emptyset environ 500 mm, pression environ 0,5 bar).

Minerai tout-venant
extrait à la défonceuse

GISEMENTS DE MINERAI DE FER, S A Y - N I G E R

SCHEMA D'ENRICHISSEMENT





5.5 Attrition du matériau de 2,5 à 0,1 mm

La durée maximum de l'opération effectuée au moyen d'une cellule à pales doubles est d'environ cinq minutes.

5.6 Criblage à 0,6 mm

Le matériau de plus de 0,6 mm est déshydraté. Le matériau de 0,6 à 0,1 mm passe au séparateur magnétique haute intensité.

5.7 Déschlammage de la fraction de moins de 0,60 mm

Cette fraction doit être déschlammée avant séparation magnétique.

5.8 Séparation magnétique haute intensité en phase humide (HIWMS)

La fraction de moins de 0,60 mm est soumise à séparation magnétique haute intensité en phase humide et le concentré est déshydraté en même temps que le concentré de plus de 0,60 mm.

5.9 Agglomération

On ajoute du calcaire ou du calcaire dolomitique au concentré de Fe pour obtenir un aggloméré autofondant.

5.10 Procédé KR

Le procédé KR donne de la fonte phosphoreuse. Après déphosphoration - procédé LDAC - à l'aciérie, il reste du laitier Thomas utilisable localement comme engrais.

5.11 Laitier

Par suite de la forte teneur en Al_2O_3 de concentré de Fe, on obtient un laitier spécifique, riche en alumine, d'analyse suivante :

SiO_2	environ	$34 \pm 4 \%$	Al_2O_3	environ	$18 \pm 2 \%$
CaO	environ	$38 \pm 3 \%$	MgO	environ	$6 \pm 1 \%$

Un tel laitier n'est actuellement produit que par quelques usines sidérurgiques, notamment :

- Appleby Frodingham, Grande-Bretagne
- Usine sidérurgique de Skopje, Yougoslavie
- Quelques usines sidérurgiques australiennes.

La société Appleby Frodingham vend une partie du laitier sous le nom de CALUMITE à l'industrie du verre et en broie une autre qui donne un bon ciment commercialisé sous l'appellation CEMSAVE; après adjonction de 20 à 30 % de chaux hydratée, ce ciment est utilisé pour la construction de barrages.

6. Remarques

Krupp Industrie und Stahlbau, Rheinhausen (République fédérale d'Allemagne) dispose d'une installation pilote équipée d'un PERIMILL Ø 1,9 m x 0,9 m travaillant en circuit fermé avec un crible de ± 2 mm.

La conception de l'installation passe de toute manière par un essai de broyage en usine pilote, qui fera apparaître que le PERIMILL est un appareil idéal pour la désagrégation de minerai oolithique tendre :

- Cette formule évite le bris d'oolithes
- Le broyage autogène assure des résultats optimaux quant à la qualité et à la récupération de Fe.

Ljubljana, 18 août 1984

Viktor Sosic

