



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

08082

RESTREINTE

DP/ID/SER.A/113
25 janvier 1978
FRANCAIS
ORIGINAL: ANGLAIS

EVALUATION D'UNE PROPOSITION POUR LE PROJET
DE CIMENTERIE D'ONIGBOLO^{1/}
SI/BEN/77/802
BENIN.

Rapport technique : Evaluation technique

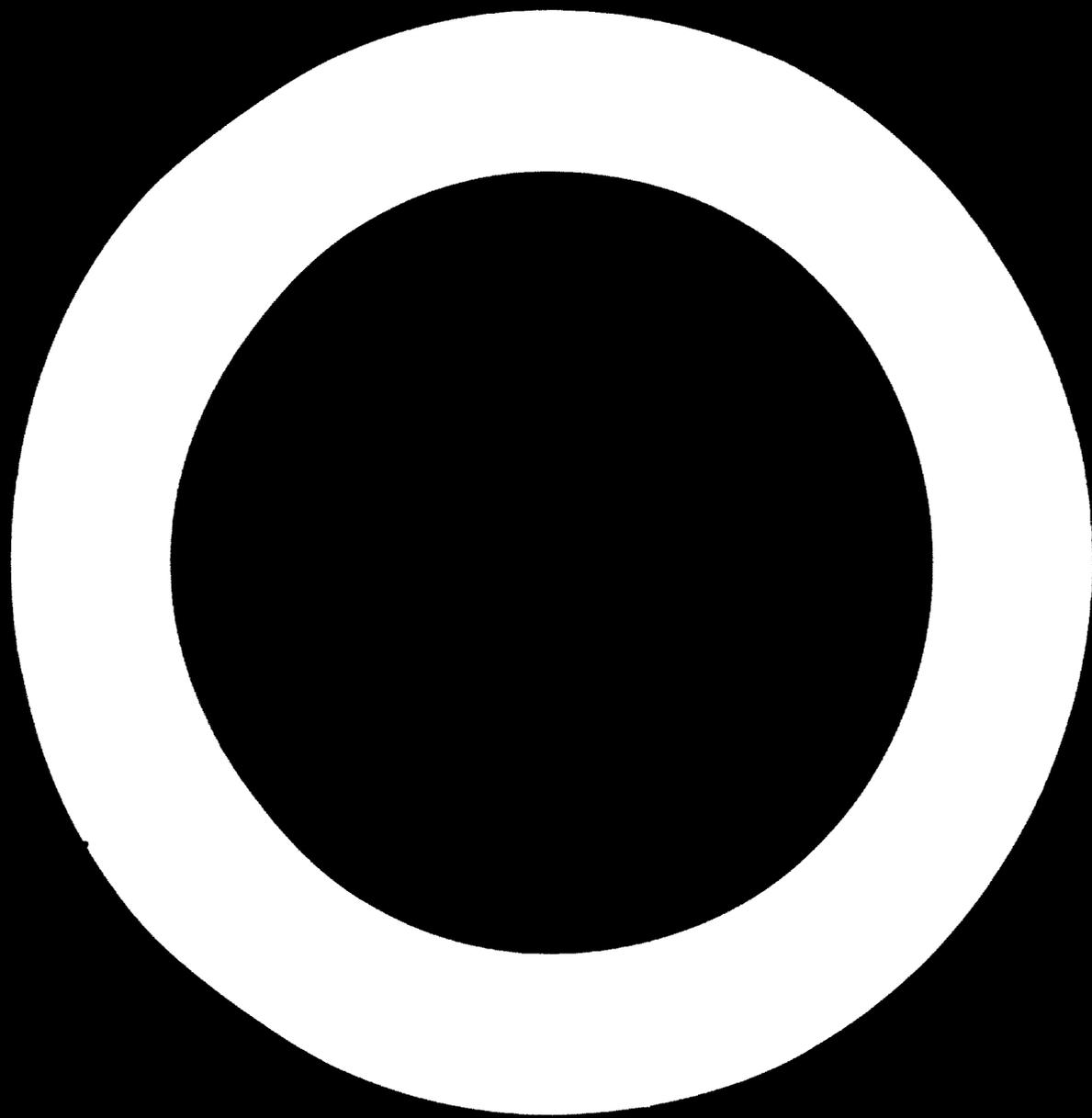
Etabli pour le Gouvernement du Bénin par
l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel,
organisation chargée de l'exécution pour le compte du
Programme des Nations Unies pour le développement

D'après l'étude de M. Harald C. Boeck, expert en cimenterie

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
Vienne

¹ Le présent rapport est la traduction d'un texte qui n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

SI. 7²-424



		<u>Page</u>
1.00	RESUME DES CONSTATATIONS ET RECOMMANDATIONS	6
2.00	INTRODUCTION	7
3.00	EVALUATION DE LA PROPOSITION RECUE - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	8
3.01.00	<u>Extraction</u>	8
3.01.01	Mélange cru	8
3.01.02	Matériel d'extraction	9
3.01.03	Matériel de terrassement	12
3.02.00	<u>Poste de concassage</u>	12
3.02.01	Concasseur de calcaire	12
3.02.02	Concasseur de schiste/argile	13
3.02.03	Dispositif d'échantillonnage	13
3.03.00	<u>Préhomogénéisation</u>	13
3.03.01	Elévateur pour la mise en tas	13
3.03.02	Engin de reprise	14
3.04.00	<u>Installation de broyage des matières premières</u>	14
3.04.01	Système d'alimentation	14
3.04.02	Broyeur	14
3.04.03	Transport de la farine (poudre) crue	17
3.04.04	Dispositif de chauffage auxiliaire	17
3.05.00	<u>Homogénéisation</u>	17
3.06.00	<u>Préchauffage</u>	18
3.06.01	Alimenteur du préchauffeur	18
3.06.02	Préchauffeur	18

	<u>Page</u>
3.07.00	<u>Dépoussiérage</u> 19
3.07.01	Tour de refroidissement 19
3.07.02	Séparateur électrostatique 19
3.08.00	<u>Calcination et cuisson</u> 20
3.08.01	Type de four 20
3.08.02	Système de refroidissement 20
3.09.00	<u>Transport et stockage du clinker</u> 21
3.09.01	Système de transport 21
3.09.02	Dépôt de clinker 21
3.10.00	<u>Le broyeur</u> 21
3.10.01	Système de broyage 21
3.10.02	Transport du ciment 21
3.10.03	Stockage du ciment 22
3.11.00	<u>Installation d'emballage</u> 22
3.11.01	Machines à emballer 22
3.11.02	Expédition en sacs ou en vrac 22
3.12.00	<u>Matériel de contrôle</u> 22
3.13.00	<u>Ateliers</u> 22
3.13.01	Entretien du matériel de carrière 22
3.13.02	Entretien du matériel de production 22
3.13.03	Entretien du matériel électrique 23
3.14.00	<u>Construction</u> 23
3.14.01	Transport et stockage 23
3.14.02	Planification et supervision 23
3.15.00	<u>Travaux de génie civil</u> 23
3.15.01	Réduction des coûts 23
3.16.00	Visite de la carrière et du chantier 24

		<u>Page</u>
4.00	SOLUTION DE RECHANGE	25
4.01.00	Petites cimentories	25

Appendices

A	Description de poste	27
B	Précipitation à Pobé	29
C	Personnes rencontrées	30

1.00 RESUME DES CONSTATATIONS ET RECOMMANDATIONS

Les propositions datées de mars et d'octobre 1977 et consécutives à une étude d'une firme danoise (ci-après dénommée "l'auteur de l'étude"), concernant une cimenterie complète d'une capacité annuelle de 500 000 tonnes de ciment Portland, ont été examinées.

L'auteur de l'étude a su mener à bien, dans un laps de temps relativement court, une étude intéressante et complète portant sur les questions de géologie, de technologie, de commercialisation et de financement. La cimenterie prévue, où l'on utiliserait un matériel d'un fonctionnement facile et d'un entretien peu coûteux sans nuire à la qualité du produit final, correspond aux besoins d'un pays en développement.

Après avoir examiné en détail les propositions relatives à la technologie et au matériel, nous nous proposons d'expliquer et de recommander un certain nombre de modifications et d'ajustements, qui pourraient être considérés avant les dernières négociations.

Recommandations

- Etudier plus en détail la carrière et ses modalités d'exploitation (les problèmes d'exploitation pourraient facilement rendre le projet non rentable);
- Organiser le prélèvement d'échantillons de calcaire avant la pré-homogénéisation;
- Envisager le séchage de l'argile avant son stockage (le stockage de l'argile est toujours source de difficultés);
- Demander pour les opérations de broyage une proposition de remplacement permettant de consommer moins d'énergie et de traiter des matériaux à fort taux d'humidité;
- Envisager un système de dérivation pour le dispositif d'alimentation du préchauffeur;
- Eviter le recours à l'air comprimé pour les transports de matériaux (consommation d'énergie trop élevée);
- Utiliser des convoyeurs à bande chaque fois que possible (économie d'énergie, entretien peu coûteux);

- Prévoir deux silos à ciment au lieu d'un;
- Encourager les acheteurs à utiliser du ciment en vrac au lieu de ciment en sacs (les sacs sont coûteux et devraient être importés).

2.00 INTRODUCTION

On sait depuis longtemps qu'il existe en République populaire du Bénin des gisements de calcaire en quantité importante et de qualité suffisante pour produire du ciment Portland. Malheureusement, ces gisements sont généralement recouverts d'une épaisse couche de schiste ou d'argile. En outre, la couche de calcaire elle-même est relativement mince, ce qui rend l'exploitation coûteuse.

Après de premières activités de prospection, une firme danoise (l'auteur de l'étude) a réussi à localiser un gisement de calcaire à environ 150 km au nord de Cotonou. Les forages, qui ont permis de ramener à la surface près de 1 000 m³ d'échantillons, ont confirmé l'existence d'un gisement de calcaire d'au moins 90 millions de tonnes, qui serait accessible à un coût raisonnable.

Etant donné la forte demande de ciment au Nigéria et dans les régions limitrophes de ce gisement, les Gouvernements du Nigéria et de la République populaire du Bénin envisagent la création en commun d'une cimenterie complète d'une capacité annuelle de 500 000 tonnes de ciment Portland.

Le lieu choisi pour l'implantation de l'usine est situé à environ 4 km au sud du village d'Onigbolo, soit à 18 km environ au nord de Pobé. La future compagnie s'appellera la "Société des ciments d'Onigbolo".

Les deux gouvernements ont reçu pour cette cimenterie une proposition émanant de l'auteur de l'étude, et étudient actuellement la mise en oeuvre du projet.

La cimenterie d'Onigbolo devant avoir un effet important sur le développement de la République populaire du Bénin, le Gouvernement de ce pays a prié l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) de procéder à une évaluation technico-économique du projet.

M. G.V. Gockjian, Spécialiste du développement industriel, de l'ONUDI, se chargera de l'évaluation financière en sa qualité d'expert en financement des projets industriels.

Le rapport économique, ainsi que le présent rapport technique, seront présentés ensemble au Gouvernement de la République populaire du Bénin pour lui faciliter sa décision finale.

Pour plus de détails, voir la description de poste jointe en appendice A.

3.00 EVALUATION DE LA PROPOSITION RECUE - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

3.01.00 Extraction

3.01.01 Mélange cru

Selon l'étude des gisements de calcaire et de schiste, le mélange cru serait composé de 5 % de schiste et de 95 % de calcaire (voir Volume I, page 3.1).

L'auteur de l'étude recommande le plus grand soin dans les opérations de mélange préalable (préhomogénéisation), la possibilité de modifier la composition du mélange avant le broyage étant assez restreinte, surtout dans le cas du calcaire stocké à faible teneur en carbonate de calcium (CaCO_3).

Une solution de rechange consisterait à ajouter 5 % de schiste au calcaire acheminé vers l'atelier de préhomogénéisation, ce qui permettrait d'obtenir un mélange à teneur en carbonate de calcium légèrement plus faible et d'utiliser du calcaire plus riche en CaCO_3 pour le dosage final. Le calcaire à forte teneur en carbonate de calcium est plus facile à manipuler que le schiste et l'argile.

Entre le poste de concassage et l'atelier de préhomogénéisation, un dispositif d'échantillonnage serait indispensable. Il n'est pas prévu dans l'étude.

3.01.02 Matériel d'extraction

L'autour de l'étude a proposé l'acquisition du matériel suivant :

Déblaiement de la couverture (322 tonnes par heure au maximum)

- 1 pelle mécanique (godet de $5,5 \text{ m}^3$, capacité de 400 tonnes par heure)
- 3 camions à benne basculante (charge utile - 32 tonnes, quatre voyages par heure = 130 tonnes par heure et par camion)

Calcaire (565 tonnes par heure au maximum)

- 1 pelle mécanique (godet de $3,2 \text{ m}^3$, capacité d'environ 400 tonnes par heure)
- 1 rétrocaveuse (godet de 2 m^3 , capacité estimative d'environ 250 tonnes par heure)
- 2 perforatrices de roc, montées sur chenilles pour trous de mine de 105 mm (couronnes à pivot)
- 2 compresseurs mobiles (10 bars)
- 5 camions à benne basculante (charge utile 32 tonnes, 4 voyages par heure, 130 tonnes par heure et par camion)
- 1 bouteur avec décapeuse
- 1 dispositif de chargement ANFO, complet, monté sur camion
- 1 machine à rectifier les couronnes à pivot, complète
- 1 exploseur

Faute de renseignements suffisants sur le matériel d'extraction et la façon dont la carrière sera exploitée, une évaluation exacte est impossible.

Il faudra s'attacher tout particulièrement à l'exploitation de la carrière, d'autant plus que les estimations sont fondées sur l'utilisation d'un mélange cru provenant d'un front de mine long de 1 300 m.

Selon les prévisions, le matériel de la cimenterie traitera des matières premières dont le taux d'humidité va jusqu'à 10 ou 11 %. Pour cela, il faudra un matériel nettement supérieur à la moyenne. Si le taux d'humidité limite est dépassé, l'installation risque d'être réduite à un arrêt complet, par exemple si le concasseur ne peut pas traiter de calcaire contenant plus de 8 % d'humidité.

A la page 3.6 du volume I du rapport final de l'auteur de l'étude, il est question d'un casci montrant que le taux d'humidité peut monter jusqu'à 35,9 %, et, à la page 2.6 du même volume, il est question d'un taux d'humidité de 20,5 %.

Ces informations devront retenir une attention particulière, car la pluviosité annuelle est de près de 1 100 mm (voir appendice B) et seuls les mois de novembre à février paraissent se prêter aux activités d'extraction. Cependant, en ayant recours à des méthodes sélectives d'exploitation, on pourrait remédier à ce problème en utilisant, pendant la saison des pluies, des calcaires à forte teneur de carbonate de calcium et à un faible taux d'humidité, et du calcaire marneux au cours de la période sèche. Ce mode d'exploitation revient cependant assez cher.

Pour ce qui est du matériel d'extraction, il importe de veiller à ce que les pièces de rechange soient faciles à obtenir dans la République populaire du Bénin.

Le prix total (voir volume IV, pages 7 et 8), le poids estimatif et la puissance totale installée s'établissent (selon nous) comme suit :

Prix	1 046 000 000 Francs CFA
Poids total	500 tonnes environ
Puissance totale installée	3 400 kW environ

Les frais d'entretien du matériel d'extraction devraient correspondre à 15 % du prix d'achat par an, soit 314 Francs CFA par tonne de ciment.

Pour évaluer approximativement la consommation de combustible, nous avons supposé que le nombre des heures de travail effectives serait de 1 600 par an et que le matériel fonctionnerait à plein rendement pendant 40 % de ce temps.

La consommation de combustible est estimée à environ 230 grammes de combustible par kWh, ce qui donne :

$$\frac{3\,400 \times 1\,600 \times 0,4 \times 0,23}{500\,000 \times 0,85} = 1,6 \text{ l/t de ciment}$$

Il est toujours recommandé d'évaluer le coût des matières premières par tonne de ciment roudue à la trémie de chargement du concasseur. La carrière est ainsi considérée comme un fournisseur indépendant de matières premières pour la cimenterie.

L'amortissement devra se faire rapidement (normalement, cinq ans) car, passé ce délai, les frais d'entretien augmentent considérablement. Il est très important d'avoir un bon fournisseur, et on peut réaliser des économies appréciables si celui-ci livre à bref délai les pièces de rechange coûteuses.

Comment réduire le prix de revient

Il importe d'étudier de près le mode d'exploitation de la carrière et de suivre l'évolution du matériel d'extraction. On s'attachera tout spécialement aux éléments ci-après :

- Adoption d'un système d'abattage par explosifs, avec trous de mines larges forés à l'aide de marteaux descendants (diamètre d'au moins 105 mm);
- Mode de distribution des trous de mines sur le terrain;
- Utilisation d'explosifs convenant à l'humidité.

Pour la carrière d'Onigbolo, le système d'abattage approprié paraît difficile à déterminer. Le forage dans la roche est facile mais, vu la présence de diverses couches de matériaux, il sera peut-être préférable d'avoir recours au défoncement, précédé ou non d'un abattage aux explosifs. Un mauvais système d'abattage aboutirait à un grand nombre de blocs qu'il faudrait réduire en plus petits morceaux au moyen de tirs secondaires, ce qui est très coûteux et dangereux. Pour 100 tonnes de calcaire abattu il ne devrait pas y avoir plus d'un bloc de rocher dépassant un mètre cube.

- La distance entre le front de mine et le concasseur doit être réduite au minimum.

Pour cela, l'idéal est d'installer un concasseur mobile d'une distance maximum de 150 m du front de mine. Le transport du front de mine au concasseur peut alors être assuré par des chargeuses à benne.

Malheureusement, ce système ne sera pas applicable à la carrière d'Onigbolo, où il faudra probablement recourir à des techniques d'abattage sélectif.

Cependant, un concasseur mobile pourrait être utilisé si l'on parvenait à tourner de 90° la direction du front de mine et à trouver du calcaire de composition plus ou moins constante. Normalement, le coût d'un concasseur mobile est inférieur ou tout au plus égal à celui d'un concasseur fixe.

- Transport du concasseur à l'atelier de préhomogénéisation au moyen d'un convoyeur à bande de caoutchouc.

L'acheminement des matériaux en VRAC devra se faire à vitesse constante, et l'acheminement intermittent est dans toute la mesure possible à éviter.

Les convoyeurs à bande de caoutchouc coûtent cher. Le prix d'un convoyeur d'une capacité de 500 tonnes par heure serait d'environ 1 million de dollars des Etats-Unis par kilomètre.

En revanche, la période d'amortissement peut être longue (15 ans, par exemple), et les frais d'entretien sont très faibles ainsi que la consommation d'énergie, ce qui est un avantage considérable.

3.01.03 Matériel de terrassement

Le matériel dont on propose de se servir pour enlever la couverture paraît approprié. Mais on pourrait envisager d'autres formules. Une autre solution, qui exigerait à peu près autant d'énergie, consisterait à défoncer la couche stérile. La puissance installée totale du matériel proposé est de 1 300 kW.

Il est recommandé de demander à différents fournisseurs de matériel de carrière de présenter des offres séparées, portant également sur les pièces de rechange et l'entretien. Les frais d'entretien du matériel de carrière s'éleveront à près de 150 millions de Francs CFA par an, et ce chiffre devra être contrôlé de près.

3.02.00 Poste de concassage

3.02.01 Concasseur de calcaire

Le concasseur proposé est bien connu et très sûr, à condition que l'on parvienne à maintenir le taux d'humidité à un niveau inférieur à 10 ou 11 %. Sinon, le concasseur peut devenir un goulet d'étranglement. Ce problème est commun à de nombreuses installations de concassage, et un bon contremaître de carrière peut éviter les situations de ce genre en choisissant les matériaux appropriés pendant la saison des pluies.

Croire que le taux d'humidité du calcaire ne dépassera jamais 15 % (par exemple) serait pêcher par excès d'optimisme. Il faudra donc prendre les mesures voulues pour éviter que le fonctionnement du poste de concassage ne soit perturbé.

3.02.02 Concasseur de schiste/argile

Pas de difficulté prévisible. Par la suite, en revanche, l'entreposage d'argile humide et collante risque de poser certains problèmes. Peut-être faudra-t-il faire sécher l'argile avant de l'entreposer. Comme on l'a déjà indiqué, l'argile pourrait être ajoutée au calcaire lorsque celui-ci est acheminé vers l'atelier de préhomogénéisation.

3.02.03 Dispositif d'échantillonnage

Un dispositif d'échantillonnage doit être installé entre le poste de concassage et l'atelier d'homogénéisation. On prélèvera sur la bande de transport un échantillon représentatif pour chaque lot de 200 tonnes de matières premières, afin de contrôler les opérations d'extraction et de préhomogénéisation.

Il est recommandé d'utiliser un analyseur direct pour doser le mélange cru.

Bien qu'il ne soit pas bon marché, un dispositif de ce genre paraît indispensable, car le stockage de 10 000 tonnes de mélange cru défectueux pourrait nuire à la qualité du clinker.

3.03.00 Préhomogénéisation

La capacité de l'atelier de préhomogénéisation étant de deux fois 10 000 tonnes de calcaire prémélangé, le stock effectivement disponible sera de 10 000 tonnes, soit quatre jours de production de clinker.

Il est recommandé de porter cette capacité à l'équivalent de sept jours de production, soit deux fois 20 000 tonnes.

3.03.01 Élévateur pour la mise en tas

Le type d'élévateur proposé convient. Il est indispensable de limiter le plus possible l'affaissement des tas, notamment pour l'argile et le calcaire marneux humide.

Capacité suffisante.

3.03.02 Engin de reprise

L'engin de reprise à portique proposé est excellent si les matériaux à reprendre ne sont pas trop collants. Il faut donc s'assurer qu'il conviendra pour toutes les matières provenant de la carrière.

Le dispositif de reprise de l'engin proposé est une chafne. Pour les matières collantes, il serait préférable d'utiliser un portique à roue.

Capacité suffisante.

3.04.00 Installation de broyage des matières premières

3.04.01 Système d'alimentation

L'installation de broyage prévue est dotée de deux alimenteurs, un pour le calcaire préhomogénéisé et l'autre pour l'argile. Après les deux alimenteurs, les poussières recueillies par le dépoussiéreur pourront être ajoutées aux matières introduites dans le broyeur.

La double manutention de l'argile est fâcheuse, et comme nous l'avons indiqué plus haut, nous recommanderions plutôt de stocker le calcaire pur, qui servirait à corriger la composition du mélange ou, à la rigueur, de sécher l'argile avant l'entreposage.

3.04.02 Broyeur

Il s'agit d'un broyeur ventilé d'une capacité garantie de 122 tonnes à l'heure, à condition que la teneur en eau des matières premières ne dépasse pas 11 %. La farine crue obtenue aura une teneur en eau maximale de 1 % et une finesse de 12 % R4900.

Le broyeur a un diamètre intérieur de 4,6 m et comprend un compartiment de séchage de 4,4 m de long et un compartiment de broyage doté d'un revêtement autoclassant de 6,75 m de long.

Les principaux éléments de l'installation complète de broyage sont les suivants :

	kW
1 broyeur	2 000
1 séparateur	40
1 ventilateur de circulation pour air	1 330
1 multicyclone	
1 ventilateur de mélange pour le dépoussiérage et l'élimination de l'eau	<u>145</u>
TOTAL	3 515

Il faudra donc 3 515 kW installés pour une capacité de 122 heures de farine crue à l'heure, soit 28,8 kWh par tonne de farine crue et environ 46 kWh par tonne de ciment. Ce chiffre paraît élevé, mais il s'explique par la nécessité d'employer un ventilateur de circulation très puissant pour amener la totalité de la production au sommet des silos homogénéisateurs, qui se trouve à près de 70 m au-dessus du centre du broyeur. Celui-ci semble trop puissant, mais il doit pouvoir broyer des matières premières très humides.

Avantages :

- Possibilité de broyer des matériaux dont la teneur en eau atteint 12 % (mais, si celle-ci dépasse 10 ou 11 %, il faudra envisager l'installation d'un sécheur);
- Possibilité de broyer des matières premières contenant beaucoup de quartz libre, car l'abrasion est répartie sur une grande surface (boulets et plaques de revêtement);
- Frais d'entretien réduits.

Inconvénients :

- Forte consommation d'énergie, notamment dans le cas présent, où les cyclones sont situés au sommet des silos homogénéisateurs;
- Il faut beaucoup de temps pour corriger la composition du mélange cru (20 à 30 mn) en raison de la quantité importante de matières premières en cours de broyage;

- La charge en circulation est dans un rapport compris entre 2 et 4 seulement de sorte qu'une évaporation intense devra être assurée dans le broyeur;
- Le diamètre maximum des matériaux pouvant être introduits dans le broyeur n'est que de 25 mm.

Le concasseur devra donc être en bon état.

Recommandations

Il pourrait être très intéressant d'utiliser un broyeur à cylindres, également ventilé, mais une analyse plus poussée des matières premières sera nécessaire notamment pour en déterminer la teneur en quartz libre.

D'après l'essai de broyage effectué à Copenhague, la teneur du mélange cru en quartz libre est relativement faible, à savoir 5,1 % (voir Volume I, page 3.7).

Pour économiser au maximum sur l'énergie et les frais de construction, il faudrait utiliser l'installation suivante :

- 1 broyeur à cylindres avec séparateur incorporé
- 1 séparateur électrostatique sans cyclone primaire pour l'installation de production de farine crue
- 1 série de dispositifs mécaniques pour amener la farine crue aux silos homogénéisateurs continus (d'une hauteur moindre).

Il serait possible de réaliser des économies substantielles, car la consommation totale d'électricité serait ramenée de 120 à 85 kWh par tonne de ciment, soit une économie de l'ordre de 29 %. L'économie réalisée sur les frais de construction serait à peu près du même ordre. Les frais tant fixes que variables seraient réduits, ce qui est essentiel pour la rentabilité du projet.

Avantages :

- Importante charge en circulation dans le broyeur à cylindres - elle est environ 8 fois supérieure à la quantité de matières alimentant le broyeur - de sorte que l'installation peut sécher des matières renfermant jusqu'à 15 % d'eau;
- Correction rapide de la composition du mélange cru grâce à la faible quantité de matières premières en cours de traitement (l'opération ne dure que 3 ou 4 minutes);

- Possibilité d'alimenter le broyeur avec des morceaux ayant un diamètre égal à 5 % de celui des cylindres, soit plus de 100 mm dans le cas présent (mais il est recommandé de ne pas dépasser 70 mm, de façon à assurer un meilleur mélange préliminaire);
- Moins de problèmes dans l'installation de concassage;
- Faible consommation d'énergie;
- Frais de construction réduits (installation compacte).

Inconvénients :

- Ne convient pas pour les matières premières contenant beaucoup de quartz libre;
- La surface soumise à abrasion est moins étendue, de sorte que les frais d'entretien seront supérieurs.

3.04.03 Transport de la farine (poudre) crue

Pour économiser l'énergie, il faudrait, si possible, assurer entièrement le transport de la farine crue au moyen de dispositifs mécaniques ou, à la rigueur, de convoyeurs pneumatiques à basse pression.

L'air est un des éléments dont l'utilisation est la plus coûteuse.

3.04.04 Dispositif de chauffage auxiliaire

Le dispositif de chauffage destiné à fournir des calories supplémentaires lorsque les matériaux renfermeront plus de 7 ou 8 % d'eau brûle 400 kg de fuel par heure, ce qui est trop peu pour évaporer quelque 4 500 kg d'eau par heure.

Nous recommandons d'installer un dispositif de chauffage capable de brûler au moins 1 350 kg de fuel par heure, ce qui correspond à 13×10^6 kcal.

3.05.00 Homogénéisation

Dans le cas du procédé de fabrication du ciment par voie sèche, il importe tout particulièrement de veiller à l'homogénéisation des matières premières, pour produire du ciment de bonne qualité et maintenir un taux d'utilisation élevé du four.

L'homogénéisation commence à la carrière et s'achève dans les silos homogénéisateurs. Il faut s'efforcer de limiter à $\pm 0,2\%$ au maximum les variations de la teneur des matières en carbonate de calcium (CaCO_3) avant leur introduction dans le préchauffeur. L'analyse de la poussière produite par le forage des trous de mine à la carrière permet de recueillir de premières indications. A la carrière, les variations peuvent dépasser $\pm 10\%$. Après le concassage et la préhomogénéisation, elles doivent être ramenées à $\pm 1,0\%$. Les opérations suivantes doivent donc accroître leur homogénéité dans le rapport 5/1. D'après la description du procédé (voir Volume II, page 36), les silos permettront de les rendre environ 8,5 fois plus homogènes, de sorte que la variation de leur teneur en carbonate de calcium sera inférieure à $\pm 0,2\%$.

3.06.00 Préchauffage

3.06.01 Alimenteur du préchauffeur

Le dispositif d'alimentation du four est bien conçu et ne devrait pas poser de problèmes. Il serait toutefois utile de prévoir un dispositif de dérivation pour l'alimenteur lui-même ou, mieux encore, pour l'ensemble du dispositif d'alimentation du four. Sinon, l'entretien de l'installation ne pourra être assuré que pendant les arrêts du four.

L'alimentation du préchauffeur est assurée par des pompes à air à basse pression, ce qui, dans le cas présent, est préférable pour assurer une bonne étanchéité du préchauffeur.

3.06.02 Préchauffeur

Le préchauffeur est un modèle bien connu à quatre étages, et ne devrait pas poser de graves problèmes.

D'après les études faites sur les matières premières, le mélange cru introduit dans le préchauffeur devrait avoir une teneur très faible en chlore, à savoir $0,001\%$ (voir Volume I, page 3.1).

Si la teneur en chlore dépassait $0,015\%$, il faudrait envisager l'installation d'un dispositif de dérivation avant le préchauffeur pour éviter que les cyclones ne se colmatent. Mais dans le cas présent, un tel dispositif serait superflu.

3.07.00 Dépoussiérage

3.07.01 Tour de refroidissement

Les gaz de combustion provenant du préchauffeur ne seront pas traités dans la tour de refroidissement et ne pourront être refroidis que lorsqu'on arrêtera le broyeur (entretien ou autres raisons). Leur température sera d'environ 350 à 380° C, et, si ces gaz sont refroidis, elle devrait, après la tour de refroidissement, tomber à environ 150° C, température appropriée pour le dépoussiérage électrostatique.

La tour et son dispositif de raccordement au préchauffeur sont bien conçus, de sorte qu'aucun problème ne devrait se poser si la vanne automatique fonctionne bien.

3.07.02 Séparateur électrostatique

Le séparateur électrostatique est un élément important de l'installation, non seulement pour la protection de l'environnement, mais encore pour la réduction des pertes. Le constructeur garantit qu'à la sortie du filtre les gaz de combustion ne contiendront pas plus de 150 mg de poussières par m³, à condition qu'à l'entrée ils en renferment 30 g/m³ au maximum. Il faudrait donc que le filtre retienne 99,5 % des poussières.

Lorsque l'installation fonctionnera à pleine capacité, elle émettra environ 7 ou 8 tonnes de poussières à l'heure, de sorte que la quantité horaire de poussières qui passera au travers du filtre atteindra probablement 40 kg, ce qui équivaut à 26 kg de ciment. Autrement dit, l'équivalent de 12 sacs de ciment sera chaque jour rejeté dans l'atmosphère si le séparateur électrostatique est en bon état.

Si, pour une raison quelconque, le séparateur doit être arrêté pendant une heure, la quantité de ciment perdue sera d'environ 20 sacs.

Pour lutter contre la pollution, les limites ci-après ont été fixées :

URSS	90 mg/Nm ³ (= 60 mg/m ³ à 140° C)
Etats-Unis	70 mg/m ³
République démocratique allemande	100 mg/m ³
République fédérale d'Allemagne	120 mg/m ³

3.08.00 Calcination et cuisson

3.08.01 Type de four

Le préchauffeur fournira au four de la farine ayant subi une légère calcination préliminaire à une température de 800 à 850° C.

Le four est du type rotatif classique et présente les caractéristiques suivantes :

Diamètre intérieur de l'enveloppe	4,55 m
Longueur effective	68 m
Inclinaison	3,5 %
Nombre de supports	4
Vitesse de rotation	2-0,67 tr/mn
Vitesse de rotation de l'arbre moteur	23,16-7,76 tr/mn
Combustible	Mazout (fuel lourd)
Allumage	Gaz

Il s'agit d'un four, de dimensions moyennes, d'un modèle très courant, qu'il est assez facile de se procurer. Sa consommation de briques réfractaires est modérée.

L'auteur de l'étude a une vaste expérience de la conception des préchauffeurs, des chambres de première cuisson, des fours et des tours de refroidissement, de sorte que cette installation ne devrait pas poser de problème, à condition d'alimenter le four en matériaux de la qualité voulue et en quantité suffisante.

3.08.02 Système de refroidissement

Le four est équipé d'un refroidisseur à mouvement planétaire composé de 10 tubes d'un diamètre intérieur de 1,8 m et d'une longueur de 18 m chacun.

Ce type de refroidisseur est très utilisé à présent parce qu'il permet d'économiser beaucoup d'énergie. De plus, les dimensions du refroidisseur sont correctes, et il devrait donc être facile à trouver. Cependant, il convient de mentionner, qu'en cas d'une expansion ultérieure de l'installation par l'adjonction d'une chambre de première cuisson, un refroidisseur à grille serait préférable pour approvisionner cette chambre en air chaud. L'adoption d'un refroidisseur à mouvement planétaire nécessiterait la division du four en deux sections, ou bien on pourrait aménager une chambre intégrée de première cuisson. Le rendement de cette dernière ne dépasse pas 60 %.

L'emploi d'une chambre de première cuisson est particulièrement intéressant si le combustible utilisé n'est plus le fuel-oil mais le charbon.

3.09.00 Transport et stockage du clinker

3.09.01 Système de transport

Le système de transport du clinker chaud du refroidisseur au dépôt de clinker est bien conçu. Un transporteur de réserve est prévu pour acheminer le clinker du refroidisseur vers l'extérieur; ensuite, le clinker peut être transporté soit vers un petit silo où il sera chargé sur des camions soit au dépôt, d'une capacité de 11 300 tonnes.

3.09.02 Dépôt de clinker

Il est proposé de construire un silo en béton d'une capacité de 11 200 tonnes pour le clinker chaud.

Le silo a une cinquantaine de mètres de haut; c'est donc un bâtiment élevé et les dépenses d'énergie seront importantes. Il conviendrait de proposer une solution de rechange.

3.10.00 Le broyeur

3.10.01 Système de broyage

Le système de broyage proposé est en circuit ouvert; l'installation a 3,8 m de diamètre et 12 m de long et est dotée de deux chambres de broyage.

Ce système convient pour le ciment Portland ordinaire et il est vivement recommandé en raison de sa simplicité et de la modicité des coûts d'entretien.

Il est souhaitable d'ajouter une trémie d'alimentation supplémentaire pour les additifs tels que, par exemple, la latérite ou la pierre calcaire pure.

3.10.02 Transport du ciment

Pour le transport du ciment du broyeur au silo, il est proposé d'adopter un système pneumatique discontinu à haute pression.

Etant donné la forte consommation d'énergie qu'entraîne l'emploi de l'air comprimé, un système de transport classique composé d'un convoyeur à vis sans fin, d'un ruban de caoutchouc, d'un élévateur et d'un couloir de manutention pneumatique serait préférable.

3.10.03 Stockage du ciment

Si l'on décide de produire différents types de ciment, il est recommandé de remplacer le silo unique par deux silos, voire même davantage.

Les silos d'un diamètre supérieur à 14 m sont relativement chers en raison du béton précontraint nécessaire; il est donc recommandé de ne pas dépasser ce diamètre.

3.11.00 Installation d'emballage

3.11.01 Machines à emballer

Deux machines à emballer rotatives sont offertes, chacune d'une capacité de 100 tonnes/heure. Ces machines sont, comme cela est bien connu, très faciles à trouver.

3.11.02 Expédition en sacs ou en vrac

Il est vivement recommandé d'envisager la possibilité d'expédier le ciment en vrac. Si l'on renonce aux sacs, on pourra livrer 1 100 kg de ciment pour le prix de 1 000 kg.

3.12.00 Matériel de contrôle

Le matériel de contrôle proposé est satisfaisant, à l'exception d'un appareil pour l'échantillonnage en direct du cru, situé en amont de l'installation de prémixage.

3.13.00 Ateliers

3.13.01 Entretien du matériel de carrière

Pour entretenir le matériel de carrière d'une puissance totale installée de 3 600 kW environ, on aura besoin d'un très grand atelier.

L'atelier proposé semble insuffisant.

3.13.02 Entretien du matériel de production

L'exécution de tous les travaux de tôlerie à la cimenterie permettrait d'abaisser considérablement les dépenses d'équipement relatives aux machines pour la production de ciment. Jusqu'à une épaisseur d'environ 20 mm, toutes les opérations de cintrage, de cylindrage et de soudage devraient pouvoir être effectuées dans un atelier convenablement équipé.

On aura grand besoin plus tard d'installations de ce genre.

3.13.03 Entretien du matériel électrique

Dans les pays en développement le rebobinage des moteurs présente une grande importance. Les installations nécessaires à cet effet ne devront donc pas y faire défaut.

3.14.00 Construction

3.14.01 Transport et stockage

Il est extrêmement important de disposer pendant la construction des moyens de transport et de stockage voulus. Toute négligence à cet égard risque d'entraîner de lourdes pertes.

3.14.02 Planification et supervision

Le projet étant à forte intensité de capital, le matériel de production devra être construit et mis en place le plus rapidement possible.

Le montage du matériel à pied d'oeuvre est très important et la collaboration entre les équipes chargées respectivement des travaux de génie civil, des travaux électriques et des travaux mécaniques permettrait de réaliser de substantielles économies.

Une bonne planification et une bonne supervision peuvent réduire considérablement les dépenses d'équipement qui s'annoncent très élevées.

3.15.00 Travaux de génie civil

3.15.01 Réduction des coûts

Le coût des travaux de génie civil s'annonce très élevé et devra être étudié attentivement. Le rapport entre le coût de ces travaux et celui du matériel de production ne doit jamais dépasser 1 : 1.

Nous ne comprenons pas pourquoi le coût des travaux de génie civil est si élevé. La construction des dépôts est certes onéreuse mais, dans la proposition à l'étude, la capacité des dépôts est modeste, voire même insuffisante en ce qui concerne l'installation de préhomogénéisation. Il n'existe aucun devis détaillé de ces travaux, ce qui rend l'évaluation difficile.

3.16.00 Visite de la carrière et du chantier

Le 23 novembre, nous avons visité la carrière et le chantier à Onigbolo en compagnie de M. Do Rego, ingénieur au Bureau central des projets et de M. Gbaguidi, Directeur du développement minier.

Les puits 20-25-31/7600 ont été inspectés et l'auteur a expliqué l'importance qu'il y avait à aménager une carrière convenablement exploitée.

4.00 SOLUTION DE RECHANCE

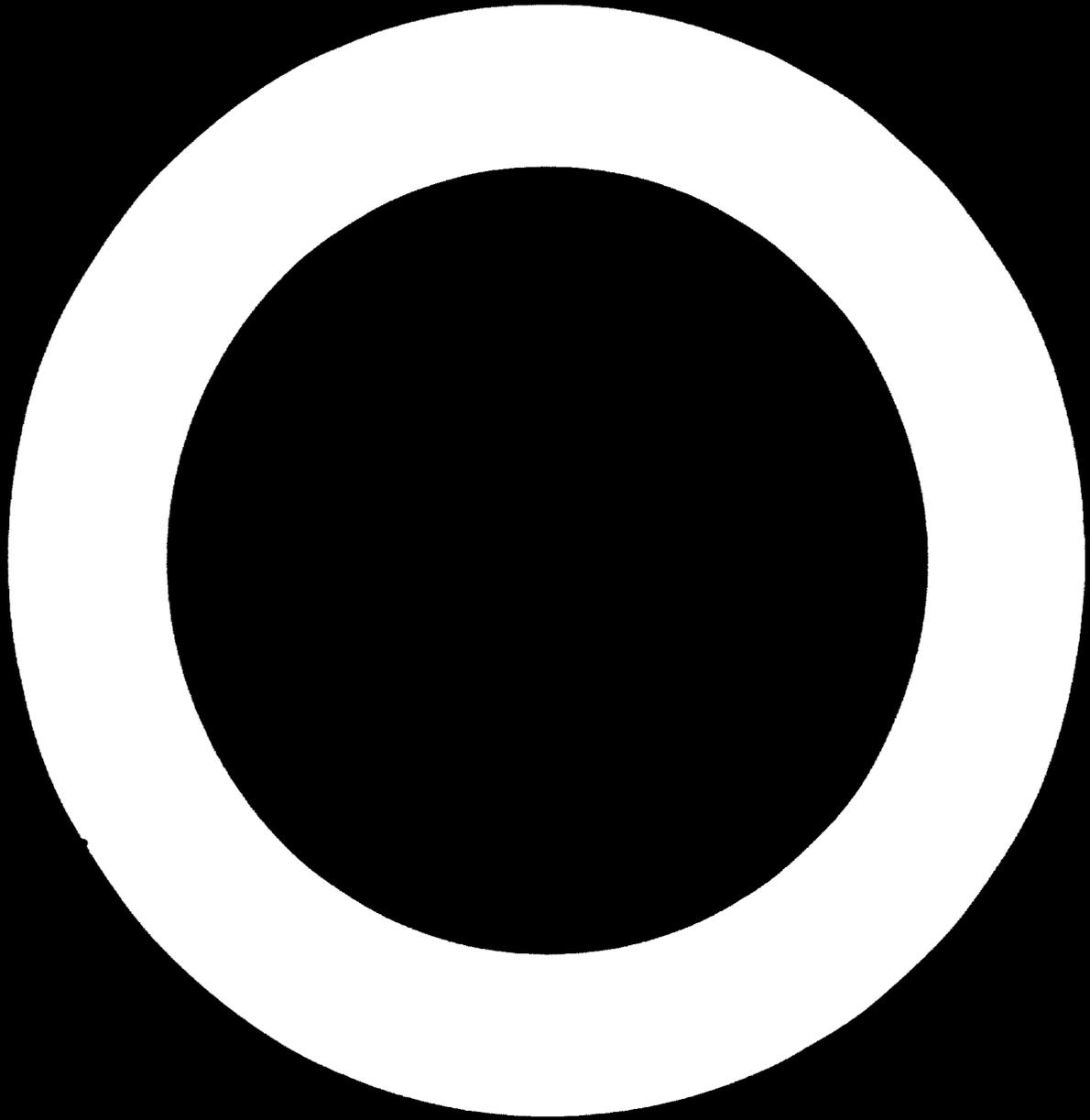
4.01.00 Petites cimenteries

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) a fait ces dernières années de gros efforts pour aménager de petites cimenteries adaptées aux besoins des pays en développement.

Cette tâche est extrêmement difficile. Cependant, elle s'est trouvée facilitée par la ferme détermination des gouvernements et des sources de financement.

Etant donné le coût extrêmement élevé des investissements par tonne/année que nécessiterait le projet de cimenterie d'Onigbolo, on pourrait lui substituer avantageusement de petites cimenteries. En d'autres termes, on pourrait, au lieu de créer une usine de 500 000 tonnes par an, implanter trois petites installations; le coût des investissements par tonne/année serait moindre et le prix sortie usine du ciment serait de ce fait plus bas.

Un développement progressif et la décentralisation de l'industrie du ciment faciliteraient en outre la solution des problèmes relatifs à l'infrastructure et à l'exploitation de la carrière.



APPENDICE A

DESCRIPTION DE POSTE

SI/BEN/77/802/11-01/32.1.A

Désignation du poste : Spécialiste en cimenteries.

Durée de la mission : Deux mois.

Date d'entrée en fonctions : Dès que possible.

Lieu d'affectation : Cotonou, avec déplacement dans le pays.

Attributions : L'expert, qui sera affecté au Gouvernement béninois, devra fournir une assistance pour évaluer la proposition d'une cimenterie au point de vue technique et économique.

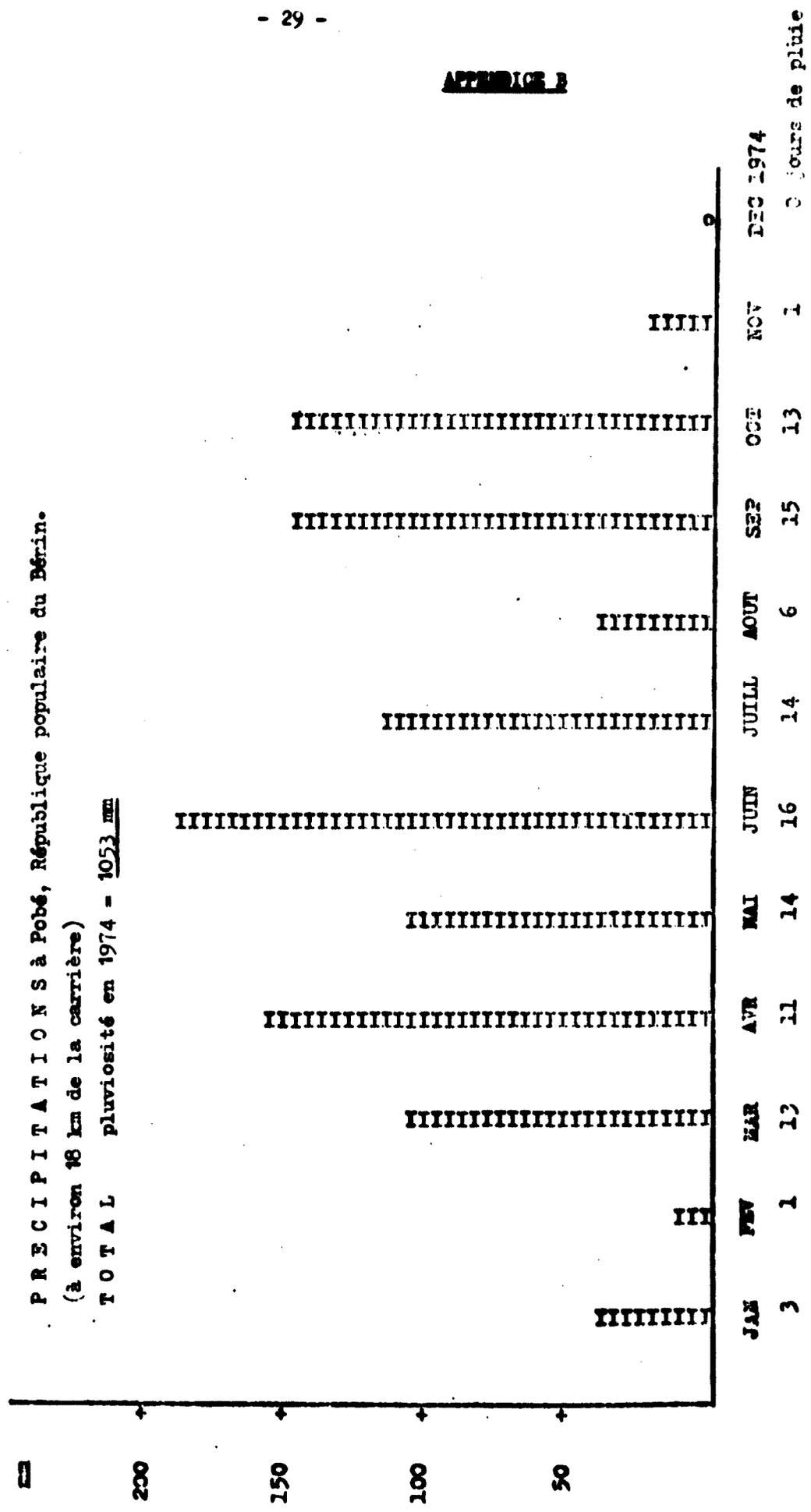
Connaissances linguistiques : Français et/ou anglais.

Formation et expérience requises : Expérience en matière de planification, de montage et d'administration de cimenteries.

Renseignements complémentaires :
Le Gouvernement du Bénin a récemment reçu une proposition assez importante émanant d'une firme privée d'ingénieurs-conseils, qui contient une offre de réaliser le projet en collaboration avec les béninois. Le Gouvernement du Nigéria est aussi impliqué dans ce projet en tant qu'associé.
Le Directeur de la planification nationale a soumis par voie officielle une demande à l'ONUDI pour une mission consultative de courte durée. Cette mission devra conseiller le Gouvernement du Bénin sur la validité et le caractère désirable de ce projet.

Il est bien entendu que l'ONUDI dispose d'un nombre appréciable d'ingénieurs qui font partie du personnel permanent et qui sont particulièrement compétents pour ce qui est d'évaluer de tels projets de ciment. D'autre part, le Gouvernement espère qu'une mission de deux ou trois semaines pourrait être financée par les fonds du Programme ordinaire de l'ONUDI.

APPENDICE B



APPENDICE C

PERSONNES RENCONTREES pendant la mission à Cotonou
du 9 octobre au 27 novembre 1977.

M. Patrice LOGOSSOU

Directeur du Bureau central des projets

M. Théodore HOUNTO-HOTEGBE

Directeur adjoint du Bureau central des projets

M. Justin GNIDJEHO

Directeur de la planification d'Etat

M. Sulkifouli SALAMI

Ingénieur des Mines de Paris

Ingénieur du pétrole

Ingénieur cimentier

Conseiller économique du Président de la République

Directeur général de la société nationale des ciments

M. Charles DO REGO

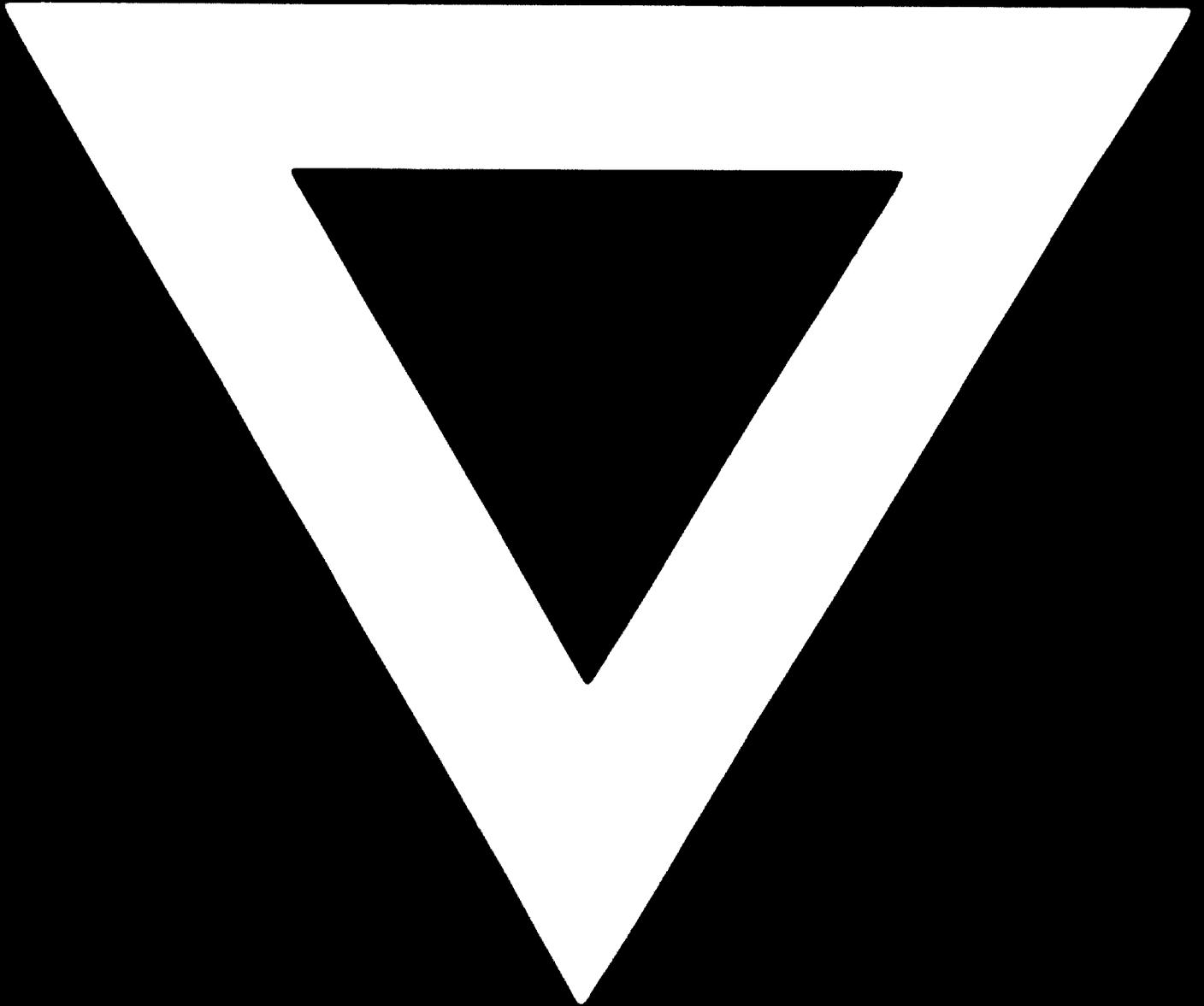
Ingénieur au Bureau central des projets

M. Antoine GBAGUIDI

Ingénieur des Mines

Directeur du développement minier

C-700



78.12.12