



**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)

15948

REPUBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY

DIRECTION GENERALE DU PLAN

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR  
LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Projet DP/UN/82/010

Etudes de pré-investissements pour le développement industriel

Rapport final

(R)MADAGASCAR: Etude de l'exploitation des phosphorites  
des Iles Barren. ←  
Contrat n°85/11

SOCIETE D'ETUDE ET DE REALISATION  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

(S. E. R. D. I.)

Antananarivo - MADAGASCAR

" Les vues et idées exprimées dans le présent document sont émise sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Elles ne peuvent en aucun cas refléter le point de vue de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel. "

REPUBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY

DIRECTION GENERALE DU PLAN

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR  
LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

PROJET DP/MAG/82/010

Etudes de pré-investissements pour le développement industriel

Rapport final

Etude de l'exploitation des phosphorites  
des Iles Barren

Contrat n° 85/111

Préparée pour le compte du Gouvernement de la République Demokratika Malagasy par l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel.

SOCIETE D'ETUDE ET DE REALISATION POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL  
( S. E. R. D. I. )

Antananarivo - MADAGASCAR

- Mai 1986 -

## CONTENTS

Page

INTRODUCTION	1
I. - SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS	3
II. - ÉTUDE DE MARCHE	14
II.0. - Présentation des indicateurs généraux	15
II.1. - Le marché national des engrais	20
II.1.1. - Identification des utilisateurs	23
II.1.2. - Enquêtes et sources de données	25
II.1.2.1. - Caractéristiques des enquêtes	25
II.1.2.2. - Résultats des enquêtes	27
II.1.2.3. - Données générales	27
II.1.2.4. - Utilisation des intrants	27
II.1.3. - Quantités des engrais consommés	32
II.1.4. - Consommation d'engrais électrique	33
II.1.5. - Importations d'engrais	34
II.1.6. - Offres locales d'engrais	35
II.1.3. - Valeurs et capacités de la demande d'engrais	38
II.2. - Le marché régional	41
II.2.1. - La Réunion	41
II.2.1.1. - Les importations d'engrais	41
II.2.1.2. - Les fournisseurs	42
II.2.1.3. - Besoins régionaux en engrais phosphatés	42

II.2.2.	- Ile Maurice	43
	II.2.2.1. - Production d'engrais	43
	II.2.2.2. - Consommation d'engrais	43
	II.2.2.3. - Besoin mauricien en engrais	44
	ii	
	II.2.2. - Besoin potentiel du marché régional	44
II.3.	- Prévision de vente	48
II.4.	- Estimation du prix de cession des engrais	51
II.5.	- Circuit de distribution et coût de transport	53
	II.5.1. - Coûts de transports	55
	II.5.2. - Répartition des besoins en engrais théorique	57
II.6.	- Proposition de capacités de production de l'usine	65
II.7.	- Conclusion	66
III.	- INVENTAIRE DES DONNEES	67
	I. Situation géographique des îles	68
III.1.	- Situation géographique des îles	68
III.2.	- Environnement climatique	69
III.3.	- Révisio et résultats acquis	71
	III.3.1. - Travaux effectués	72
	III.3.1.1. - Travaux sur les îles et leurs rivières les côtières	72
	III.3.1.2. - Etude de rapportant aux îles d'Arden et leurs rivières des côtières	75
	III.3.2. - Résultats acquis sur les îles d'Arden	76
	III.3.2.1. - Soins	80
	III.3.2.2. - Analyses	81
	III.3.2.3. - Travaux effectués	82
	III.3.2.4. - Répartition en fonction en 2000	82
	III.3.2.5. - Répartition en fonction en 2000	83
	III.3.2.6. - Répartition en fonction en 2000	83
	III.3.2.7. - Répartition en fonction en 2000	83
	III.3.2. - Conclusion	85

III.4.	- Données techniques agronomiques	86
III.4.1.	- Rôle du phosphore en agronomie	86
III.4.1.1.	- Le phosphore dans le monde vivant	86
III.4.1.2.	- Le phosphore dans la production végétale	87
III.4.1.3.	- Les engrais phosphatés dans l'agriculture	88
III.4.2.	- Phosphorites des Iles Berne	102
III.4.2.1.	- Données analytiques sur la caractérisation chimique et minéralurgique	102
III.4.2.2.	- Essais agronomiques	108
III.4.2.3.	- Conclusion	125
III.4.3.	- Possibilités d'utilisation des phosphorites des Iles Berne	127
III.4.3.1.	- Les différentes sources de phosphore et fertilisants	127
III.4.3.2.	- Les sources locales d'enrichissement calcique	134
III.4.3.3.	- Utilisation nationale des phosphorites	136
IV.	- EXPLOITATION DES CISÈMENTS	138
IV.1.	- Données techniques de l'exploitation	138
IV.1.1.	- Opportunités d'une exploitation à ciel ouvert	138
IV.1.2.	- Paramètres de l'exploitation	138
IV.1.3.	- Choix du lieu d'exploitation	140

IV.2.	- Méthode d'exploitation	141
IV.2.1.	- Conduite de l'exploitation	141
IV.2.2.	- Chargement du bateau sur l'île	142
IV.2.3.	- Déchargement du bateau sur l'île	142
IV.2.4.	- Matériel et équipement d'ex- ploitation	143
IV.2.4.1.	- Choix du matériel	143
IV.2.4.2.	- Caractérisation du matériel d'exploitation	144
IV.2.4.3.	- Caractérisation des équipements et installations diverses	147
IV.2.5.	- Matières consommables diverses	150
IV.2.5.1.	- Carburants	150
IV.2.5.2.	- Lubrifiants	150
IV.2.5.3.	- Explosifs et accessoires de tir <small>S.E.R.D.I. S.E.R.D.I. S.E.R.D.I.</small>	151
IV.2.5.4.	- Fleurets et taillant	151
IV.2.5.5.	- Réactifs de laboratoire et autres produits divers	151
IV.2.5.6.	- Pièces de rechange	151
IV.2.5.7.	- Tableau récapitulatif	152
IV.2.6.	- Investissements et frais divers	152
IV.2.6.1.	- Équipements productifs	153
IV.2.6.2.	- Bâtimens et construction	154
IV.2.6.3.	- Autres équipements	154
IV.2.6.4.	- Personnel	155
IV.2.6.5.	- Frais d'entretien	153
IV.2.6.6.	- Assurances	153
IV.2.6.7.	- Récapitulation des investisse- ments	159
V.	- TRANSPORT DES MATIÈRES MINÉRALISÉES	160
V.1.	- Objet de l'étude	161
V.2.	- Conditions naturelles	161

V.2.1.	- Climatologie générale	162
V.2.2.	- Morphologie générale	163
V.2.3.	- Conditions nautiques	164
V.2.3.1.	- La houle	164
V.2.3.2.	- La marée	165
V.2.3.3.	- Les courants	166
V.2.4.	- Conclusion	167
V.3.	- Choix des sites	168
V.3.1.	- Les caractéristiques du bateau	169
V.4.	- Le système de transport	172
V.4.1.	- L'embarquement	172
V.4.1.1.	- Conception générale et caractéristiques de l'ouvrage	172
V.4.2.	- Durée du transport - Rotation des navires	173
V.4.2.1.	- Le cycle de transport	176
V.5.	- Coût des investissements	178
V.5.1.	- Coût des ouvrages maritimes	178
V.5.2.	- Coût du matériel	178
V.5.3.	- Récapitulation des investissements	180
V.6.	- Coût d'exploitation	181
V.6.1.	- Salaire du personnel	181
V.6.2.	- Charges d'entretien	182
V.6.3.	- Charges de fonctionnement	183
V.6.4.	- Assurance	184
V.6.5.	- Pertes économiques	184
V.6.6.	- Récapitulation	185
V.6.7.	- Conclusion	186

VI. - TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT	187
VI.1. - Localisation de l'usine	188
VI.2. - Flow-sheet	190
VI.2.1. - Capacité de l'usine de traitement	190
VI.2.2. - Choix du matériel	190
VI.2.3. - Processus de traitement des phosphorites	191
VI.2.4. - Caractéristiques du matériel	192
VI.2.4.1. - Matériel de préparation du minéral	192
VI.2.4.2. - Matériel de broyage	193
VI.2.4.3. - Matériel de compactage	194
VI.2.4.4. - Station de criblage	195
VI.2.4.5. - Stockage & ensachage	196
VI.2.4.6. - Matériel de laboratoire	196
VI.2.4.7. - Matériel pour l'atelier d'entretien	196
VI.2.4.8. - Caractéristiques des constructions et bâtiments	197
VI.2.5. - Matières consommables diverses	199
VI.2.5.1. - Energie	199
VI.2.5.2. - Carburants	200
VI.2.5.3. - Lubrifiants	200
VI.2.5.4. - Eau	200
VI.2.5.5. - Réactifs de laboratoire et autres produits	201
VI.2.5.6. - Sacs et emballages	201
VI.2.5.7. - Pièces de rechange	201
VI.2.5.8. - Tableau récapitulatif	202
VI.2.6. - Investissements et frais divers	203
VI.2.6.1. - Equipements productifs	203
VI.2.6.2. - Bâtiments et construction	205
VI.2.6.3. - Terrains	205

VI.2.6.4. - Personnel	206
VI.2.6.5. - Frais d'entretien	207
VI.2.6.6. - Assurances	207
VI.2.6.7. - Frais divers	207
VI.2.7. - Récapitulation des investissements	210
<b>VII. - ETUDE PRELIMINAIRE DE RENTABILITE</b>	<b>211</b>
VII.1. - Récapitulation des données	212
VII.1.1. - Investissements initiaux	212
VII.1.2. - Frais de 1er établissement	213
VII.1.3. - Tableau des amortissements	214
VII.1.4. - Tableau des investissements et renouvellements	215
VII.1.5. - Estimation du fonds de roulement	216
VII.1.6. - Plan de financement et de rem- boursement	216
VII.1.7. - Programme de production et de vente	216
VII.1.8. - Détermination du prix de vente	217
VII.2. - Analyse des résultats obtenus	218
VII.2.1. - Coût de l'investissement initial	218
VII.2.2. - Fonds de roulement	218
VII.2.3. - Financement du projet	218
VII.2.4. - Total coût de production	218
VII.2.5. - Evaluation financière	222
VII.2.5.1. - V.A.N. et TRI	222
VII.2.5.2. - Période de recouvrement	222
VII.2.5.3. - Taux de rentabilité simple	222
VII.2.5.4. - Seuil de rentabilité	230
VII.2.5.5. - Analyse de sensibilité	230
VII.2. - Conclusion	231
<b>VIII. - EVALUATION ECONOMIQUE SOUS-JAIRE</b>	<b>232</b>
VIII.1. - Incidence du projet sur l'emploi	232
VIII.2. - Contribution à la création de la valeur ajoutée	232
VIII.3. - Incidence sur la balance de devise	233
<b>A N N E X E S</b>	<b>235</b>

## IX. - ANNEXES

---

- 1-1' Cartes de localisation des Iles Barren
- 2 Carte lithologique - Ilosy Andrano
- 3 Carte des travaux miniers - Ilosy Andrano
- 4 Carte des travaux, minéralisation et esquisse lithologique Ilosy Androtra
- 5 Carte des travaux miniers - Ilosy Maroantaly
- 6 Carte lithologique - Ilosy Lava
- 7 Carte des travaux miniers - Ilosy Lava
- 8 Surface prospectée - Ilosy Andrano
- 9 Résultats d'analyses ponctuelles - Ilosy Andrano
- 10 Résultats d'interprétation des analyses - Ilosy Andrano
- 11 Surface prospectée - Ilosy Lava
- 12 Résultats d'analyses ponctuelles - Ilosy Lava
- 13 Résultats d'interprétation des analyses - Ilosy Lava
- 14 Surface prospectée - Ilosy Maroantaly
- 15 Flow-sheet de l'usine de traitement
- 16 Répartition géographique des consommations d'engrais phosphatés
- 17 Carte d'approche des navires vers les Iles Barren
- 18 Localisation du point d'accostage - Ilosy Andrano
- 19 Localisation du point d'accostage - Ilosy Lava
- 20 Localisation du point d'accostage - Ilosy Androtra
- 21 Localisation du point d'accostage - Ilosy Maroantaly
- 22 Schéma de la rampe de chargage

INTRODUCTION



Il s'agit ici du rapport final corrigé suivant les observations émises par l'ONUDI après examen du projet de rapport final.

L'étude analytique des données actuellement disponibles et la considération des données manquantes (cf. Rapport Août - Septembre 1985) montrent que la réalisation dans l'immédiat de l'étude de pré faisabilité sur l'exploitation des gisements de phosphorites des Iles Barren s'avère impossible.

Ainsi, il a été décidé avec les responsables du projet ONUDI de procéder à une étude de simulation basée sur les hypothèses de travail suivantes :

- les gisements contiennent au moins 200,000 tonnes de minerai à 24 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pouvant assurer au moins 15 années d'exploitation ;
- les phosphorites sont directement utilisables comme éléments fertilisants après broyage et compactage sans adjuvants quelconques ;
- l'exploitation ne nécessite que peu de travaux de décapage (la couche superficielle pulvérulente et la couche sous-jacente indurée sont exploitées simultanément). La profondeur d'exploitation étant d'environ 1,50 m ;
- la consommation en explosifs que nécessite l'abattage de la couche indurée est très réduite ;
- la teneur en humidité du minerai est telle qu'un simple séchage au soleil pendant une semaine environ sur les îles suffise pour obtenir du minerai tout-venant facilement transportable et valorisation.

Ces hypothèses, loin d'être utopiques, se rencontrent très souvent dans des exploitations similaires.

L'étude de simulation présente de gros avantages en ce sens qu'elle permet de juger de l'opportunité d'entreprendre les études complémentaires d'appui nécessaires à l'élaboration du projet de pré faisabilité ou de mettre en "portefeuille" les gisements.

**I. - SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS**

SECRET  
PROHIBÉ DE DIFFUSER  
SANS LAutorisation  
de la Direction  
Générale de l'Armement  
et de la Défense  
1950

## ETUDE DE MARCHÉ

- Le milieu paysannal traditionnel et les sociétés de développement (grandes opérations) constituent les principaux utilisateurs d'engrais.
- Pour subvenir aux besoins nationaux et pour pallier à l'insuffisance de la production agricole, on a eu recours à l'importation : 27.000 tonnes par an dont 1.500 à 4.250 tonnes de phosphates.
- La consommation nationale annuelle d'engrais phosphatés est estimée à 2.600 t pour un niveau actuel des besoins de 4.240 t/an.
- La prévision des besoins futurs en engrais phosphatés est de 8.000 t/an d'ici 10 - 15 ans.
- Le marché régional potentiel (Iles de la Réunion et Maurice) en phosphates est de 4.500 à 6.500 t/an.
- En supposant que l'usine d'engrais sera opérationnelle en 1990, à sa phase de croisière, à partir de 1996 on aura une prévision de consommation d'engrais de 13.500 t/an dont 8.000 t destinés au marché local et 5.500 t à l'exportation.
- Le prix de vente est estimé à 175 à 220 Fmg/kg.
- Les CIRAA ou les sociétés (COROI, SEPCI) assureront la contribution.
- Les coûts de distribution des phosphates à partir de MAHAJANGA s'avèrent plus avantageux.

## INVENTAIRE DES DONNEES

L'inventaire des données existants a conduit aux résultats suivants :

- Les Iles Barren comprenant 4 Iles : Lava, Andrano, Androtra, Maroantaly, sont situés dans le canal de Mozambique à une cinquantaine de la ville de Maintirano ;
- Les Iles présentent une minéralisation de phosphate sous forme mono, bi, tricalcique, provenant des déjections et cadavres d'oiseaux accumulés sur du sable calcaire ;
- La réserve en minerai brut n'est pas encore connue d'une manière précise :
  - les sondages effectués n'ont pas couvert entièrement la surface, 67,5 % au maximum pour Nosy Andrano
  - les profondeurs de sondage sont très limitées
  - les échantillons prélevés n'ont pu être entièrement analysés et seule une faible partie de la superficie du gisement a été reconnue par des prises d'échantillons, le maximum est sur Nosy Lava (1/3 de la surface) ;
- Les essais agronomiques ont démontré que l'efficacité des phosphorites des Iles Barren est fonction
  - de l'acidité du sol
  - de la texture du sol
  - des caractéristiques minérales du sol
  - de l'humidité
- L'utilisation sous forme naturel s'avère rationnelle, les phosphorites des Iles Barren peuvent se substituer aux phosphates bi, tricalcique et aux hyper-Reno. Ils peuvent être aussi utilisés comme amendements calciques.

## EXPLOITATION DES GISEMENTS

- Pour des raisons d'ordre climatique, l'exploitation sur les Iles ne peuvent avoir lieu que pendant 6 mois.
- Parmi les 4 Iles des Barren, Nosy Andrano fournit la meilleure exploitabilité de par la quantité et la qualité de ses minerais.
- Le tonnage pour alimenter l'usine serait de 12.000 t/an.
- Une exploitation à ciel ouvert semble la plus rationnelle. La méthode utilisée est le stripping et prévoit 3 qualités de minerais suivant la teneur.
- Pour les couches pulvérulentes, les travaux consistent au décapage et à l'extraction au moyen d'un scraper mû par un treuil, pour la couche endurée, on utilise des marteaux perforateurs et compresseurs à air comprimé. Après séchage, le minerai est expédié vers le point d'embarquement. Le chargement dans le bateau se fera par sauterelle et par autochargeurs transporteurs.
- L'exploitation occupe 17 ouvriers travaillant 8 heures par jour.
- Les frais du personnel se chiffrent aux environs de 7.081.000 FFG.
- Les investissements comprenant le matériel d'exploitation, équipements divers, bâtiment et construction s'élèvent aux environs de 282 millions de FFG dont 53 % en devises.

Il faut signaler que l'étude de l'exploitation a été basée sur une hypothèse des réserves et de teneur en gisement.

## TRANSPORT DES MATIERES MINERALISEES

- D'après les instructions nautiques, il existe de bon mouillage par 13 mètres d'eau aux îles Barren, l'un au N.E. de Nosy Baroantaly et l'autre à l'Est de Nosy Lava.
- Un bateau du type LCT Vatsy II d'une capacité de 250 t est préconisé pour assurer le transport en vrac des minerais jusqu'à MAHAJANGA choisi comme port de déchargement et lieu d'implantation de l'usine.
- Le mode d'accostage du bateau est le beaching.
- L'aménagement d'une aire de beachage et de bittes d'amarrage de 20 t s'avère nécessaire.
- Le chargement, le transport et le déchargement des minerais nécessitent 3,5 jours de rotation. La réalisation d'un approvisionnement de 12.000 t/an de minerai brut ne poserait pas de problème ; les minerais transportés seront stockés à Mahajanga.
- Des investissements de l'ordre de 270 millions de FMS relatifs à la construction des aires de beachage à l'achat des matériels divers doivent être effectués.
- L'acquisition d'un bateau propre à l'exploitation s'avère plus coûteuse et moins rentable. Un système d'affrètement spécial pendant 175 jours est à préconiser.

**TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT :**

L'usine de traitement des phosphorites sera implantée à MAHAJANGA, il répond le mieux aux contraintes exigées par le projet.

La capacité de traitement de l'usine sera de 12.000 t/an de minerai brut tout venant.

Comme aucun essai minéralurgique n'a encore été effectué, le procédé préconisé est basé sur des hypothèses. Il consiste à mélanger les minerais tout venant pour avoir une teneur déterminée, à les broyer puis à les compacter. Le produit fini obtenu aura une granulométrie de 160 $\mu$  et sera présenté sous forme de paillettes compactées pour faciliter l'utilisation.

L'usine aura un fonctionnement régulier pendant 12 mois de l'année, mais elle ne sera approvisionnée en phosphate des îles que pendant 6 mois. Elle marche à un poste de 8 heures par jour avec possibilité d'une marche à 2 ou 3 postes. Elle occupe 42 personnes dont 25 ouvriers. La mise en place de l'usine nécessite un investissement de l'ordre de 1.051.550.000 FMG dont 48 % libellés en devises.

## RENTABILITE

Les investissements s'élèvent à 1.799.081.000 FMG dont 55 % libellés en devises.

53 % des besoins doit être financé par des fonds propres et 47 % par des emprunts. La période de recouvrement se situe à la 5ème année de production.

En période de croisière, on a :

- un coût de production de 916.911.000 FMG dont 37 % en devises avec 45.796.500 FMG de frais du personnel ;
- un prix de revient de 91,69 FMG/kg ;
- un chiffre d'affaires de 980.000.000 FMG ;
- un bénéfice net de 34.698.000 FMG.

Les taux de rentabilité obtenus sont :

- un T R I insignifiant avec un V A II de 290.760.000 FMG ;
- une rentabilité des ventes très faible ;
- un seuil de rentabilité élevé de 87,05 %.

Un prix de vente supérieur au prix actuel sur le marché peut rendre la rentabilité du projet acceptable.

## CONTRIBUTION A L'ECONOMIE NATIONALE

Le projet entraîne :

- une création de 80 emplois avec un salaire de 45.796.000 FMG ;
- une valeur ajoutée de 425.841.000 FMG ;
- incidence positive de 516.462.000 FMG sur la balance de devises

## RECOMMANDATIONS

La présente étude a permis de déterminer que le volume du marché actuel et futur ainsi que les essais agronomiques sont favorables à l'implantation d'une usine d'engrais phosphatés. Cependant, l'évaluation financière fournit des taux de rentabilité faibles.

Toutefois, l'étude ayant été basée sur diverses hypothèses, il est recommandé pour une évaluation plus précise des réserves en minerais, des méthodes d'exploitation de traitement et conditionnement, d'entreprendre les travaux complémentaires suivants :

### 1) - des sondages :

- Ils doivent atteindre une profondeur adéquate (en moyenne 4m par trous), afin de bien séparer le niveau maximal minéralisé de la souche stérile.
- ils doivent être répartis systématiquement sur la surface affleurante des îles afin de pouvoir délimiter judicieusement les zones minéralisées des zones stériles. (A cet effet, une trentaine de sondages par îles s'avèrent suffisants moyennant un maillage de 150m sur Nosy Lave et de 100m sur Nosy Andrano).
- ils doivent être exécutés en système carotté autant que possible (et non plus par tarière). Ceci permettra une vue plus représentative quant à l'analyse et l'interprétation des données.

### 2) - des échantillonnages systématiques :

- pour mieux enlever les soucis de représentativité, les

carottes seront échantillonnées systématiquement par passe de 0,25m. Par ailleurs, cette procédure va permettre d'effectuer une corrélation avec les données déjà acquises actuellement.

- dans le cas d'une impossibilité de carottage (éboulement facile, sable, que l'on rencontrera surtout en couches superficielles), il est recommandé d'effectuer un avant trou sous forme de puits largement ouvert jusqu'à la roche dure, puis de commencer l'échantillonnage par rainure sur un des flancs de ce puits.
  
- 3) - des essais physiques et mécaniques sur les différents types de formations rencontrées (coefficient de cohésion, de frottement interne, résistance au cisaillement, dureté) qui seront des indications utiles dans la prévision de l'exploitation en carrière.
  
- 4) - des mesures hydrologiques et hydrogéologiques : Relevés du niveau hydrostatique dans chaque trou de sondage avec mesure de coefficient de perméabilité.
  
- 5) - des analyses chimiques et minérales : Elles doivent permettre de dégager la teneur en  $P_2O_5$  pour chaque échantillon prélevé. Pour permettre une corrélation avec les données acquises actuellement, elles doivent avoir à déterminer les mêmes éléments, à savoir : N (total),  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CaO, MgO,  $SiO_2$ , Fe, Mn, Zn, Bore.

Il est intéressant de connaître en outre la teneur en  $Fe_2O_3$  qui aurait une influence dans le cas d'un traitement éventuel des phosphorites par l'acide sulfurique.

- 6) - des essais minéralurgiques sur des échantillons en tas pour déterminer l'aptitude du minerai au broyage. Il est recommandé d'entreprendre une étude sériee, par variation granulométrique, de la teneur en P205 (à savoir : 0,40 , 40 à 80 , 80 à 120 , 120 à 160 .
- 7) - des essais de compactages pour les tranches granulométriques dont les teneurs en P205 soient supérieures ou égales à 18 %.

Dans le cadre de ces recommandations, seules les deux îles, Nosy Andrano et Nosy Lava sont à considérer. Les deux autres îles (Maroantaly et Androtra) doivent être laissées en instance car les premiers résultats préliminaires ne sont pas encourageants (cf. les études précédentes).

#### MONTANT ESTIMATIF PRECOISE DES ETUDES FUTURES

En limitant les études complémentaires aux deux îles Andrano et Lava, les éléments suivants sont à tenir compte :

- exécution de 60 sondages de 4m de moyenne en profondeur, soit 240m à forer ;
- 960 échantillons à analyser ;
- des essais minéralurgiques par îles ;
- des essais mécaniques et physiques (essais géotechniques).

Une estimation globale de ces travaux est présentée comme suit :

- Sondages .....	7 Millions de FMG	
- Analyses chimiques .....	4 "	"
- Essais minéralurgiques .....	1 "	"
- Essais géotechniques .....	2 "	"
- Autres interventions .....	1 "	"
(hydrogéologie, compactage, profil topographique.....)		
		<hr/>
		15 Millions de FMG.

Autovision  
S. A. Industrielle  
S. A. Industrielle

**ETUDE DE MARCHÉ**  
Société d'étude et de réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. D. I.

## II. - PRESENTATION DES INDICATEURS GENERAUX

### Indicateurs géographiques

La République Démocratique de Madagascar est composée de l'île de Madagascar et plusieurs petites îles, dont les îles Barren, et récifs proches.

Située dans l'hémisphère Sud et séparée du continent africain par le Canal de Mozambique, Madagascar figure comme la Grande Île de l'Océan Indien, avec une superficie de 600.000 km<sup>2</sup> environ. Les principales îles voisines sont, à l'Ouest, l'archipel des Comores et les îles Glorieuses ; au Nord l'archipel des Seychelles ; et à l'Est, l'île Maurice et la Réunion.

Plus particulièrement, l'île Maurice et la Réunion, à moins de 1.000 km de Madagascar, constituent des débouchés potentiels des produits malgaches dans le cadre des échanges économiques régionaux.

L'île de Madagascar, d'un relief <sup>compliqué</sup>, présente une variété de climats : tempéré sur les plateaux ; tropical chaud et humide au Nord et à l'Est ; chaud et sec au Nord-Ouest ; et semi-aride au Sud. Le sol est, pour l'essentiel, constitué d'une <sup>épaisse</sup> couche de latérite et de mélanges d'argiles et de calcaire : il est pauvre en humus et en principe nutritifs. Par conséquent, une fertilisation phosphatée y est meilleure que sur les sols mieux pourvus en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. De ce fait, l'idée de projet d'exploitation des gisements de phosphorites des îles Barren à transformer en engrais phosphatés offre une solution au problème de valorisation des sols malgaches pauvres en général. Ainsi, le marché potentiel intérieur, quant, aux engrais phosphatés s'annonce important, d'autant plus que l'économie malgache est structurellement basée sur l'agriculture :

- au niveau des activités de la population active ; et
- au niveau des indicateurs économiques globaux.

### Indicateurs démographiques

Selon les estimations de l'Institut National de la Statistique et de la Recherche Economique (INSRE), la population malgache connaissant un taux d'accroissement démographique moyen de 2,8 % par an, s'éleverait en 1985 à près de 10 millions d'habitants, dont plus de 50 % auraient moins de 20 ans. Sur ces 10 millions, on en compterait 5,4 millions de population active, ou plus de 90 % seraient occupés par le secteur agricole. Il en ressort que, dans une perspective de 20 ans, et même s'il est procédé à une mécanisation poussée de l'agriculture, la majorité de la population malgache active se consacrera encore à l'agriculture.

### Indicateurs économiques

La production agricole malgache contribue en moyenne pour 40 % au PIB évalué aux prix courants, selon les estimations de l'INSRE et la Direction Générale du Plan (DGP). Les 60 % restants du PIB sont constitués en moyenne à 43 % par le secteur tertiaire (incluant les salaires versés par l'Administration et les droits et taxes à l'importation) ; et à 17 % par le secteur secondaire. L'on rappelle cependant que le PIB aux prix constants reste quasi-stationnaire de 1975 à 1984 puisque les chiffres officiels indiquent, d'une part, un PIB de 395,2 milliards de FMG constants en 1975, et de 396,9 milliards de FMG constants en 1984, et d'autre part, un taux moyen de croissance en termes réels de 0,05 % sur les 10 dernières années. Du côté des emplois du PIB (aux prix courants), il est utilisé en moyenne à 92,5 % en consommation finale privée et publique ; à 16,2 % en formation brute de capital ; et à - 8,7 % en importations nettes de biens et services.

Toutefois, les importations de riz, rendues donc nécessaires par la chute relative de la production locale par rapport à l'accroissement des besoins, accaparent une bonne partie des rares devises disponibles et contribuent à l'augmentation du déficit des paiements extérieurs et du déficit du PIB.

Quant aux cultures d'exportation, pratiquées en général sur les régions côtières malgaches, notamment sur la côte Est, elles constituent à 70 % la source principale de devises. Mais d'une part, la baisse de la production conjuguée, la baisse des cours mondiaux du café ou de la vanille ont entraîné une baisse des recettes. Les recettes d'exportation sont loin de couvrir les importations ; à titre d'exemple, le taux moyen de couverture entre 1979 et 1983 se situe à 50 %. Cela entraîne le déficit quasi-chronique de la balance commerciale depuis 1977. D'autre part, près de 50 % des recettes d'exportation sont affectées au paiement du service de la dette publique. Une partie non négligeable des entrées de devises est donc employée à des dépenses de fonctionnement et non d'investissement.

En ce qui concerne donc la production agricole, on constate qu'elle ne parvient pas à couvrir les besoins de l'économie nationale, notamment en matière d'alimentation de la population (riz) et en matière de sources de devises (cultures d'exportation). L'insuffisance de la production agricole entraîne les effets négatifs précités tels que le déficit du PIB et de la balance commerciale. Or, une plus grande utilisation des engrais phosphatés dans beaucoup de régions permettrait une élévation du rendement de plusieurs cultures en général, de la riziculture en particulier. A priori, l'implantation d'une usine d'engrais phosphatés apporterait une réponse souhaitable aux problèmes sus-évoqués.

En favorisant le développement du secteur agricole, la production d'engrais phosphatés aura en premier lieu, des effets positifs sur l'augmentation de la production industrielle. Certes, cela ne se fera que dans une modeste mesure, mais l'on ne saurait négliger les résultats directs escomptés, outre les effets d'entraînement sur la région d'implantation : emploi, transport, etc. Ainsi, la production d'engrais phosphatés contribuerait au développement industriel, quoi que ce dernier reste fortement dominé à 70 % par les industries de l'alimentation, du textile et du vêtement.

Ministère de l'Énergie et des Ressources  
Bureau de l'Énergie et des Ressources  
Ottawa, Ontario

L'étude du marché consiste essentiellement après l'identification des utilisateurs d'engrais et le recensement des engrais utilisés, et plus particulièrement des engrais phosphatés en deux volets d'investigations :

- un premier volet, constituant une investigation menée sur le marché national
- un deuxième volet se rapportant à l'étude du marché des Iles notamment mauricienne et réunionnaise.

### **II.1. - LE MARCHE NATIONAL DES ENGRAIS**

Le contexte du marché malgache des engrais peut être retracé de la manière suivante :

1. - Il existe deux catégories d'utilisateurs d'engrais à Madagascar. La première catégorie d'utilisateurs évolue surtout dans le milieu paysan traditionnel. La deuxième catégorie concerne, les opérations de développement et les sociétés pratiquant des cultures industrielles.

- Concernant le milieu paysan traditionnel l'influence des actions de vulgarisation menée par les techniciens du Ministère de l'agriculture constitue un des paramètres importants de l'évolution de la consommation d'engrais. Les zones agricoles surtout rizicoles, qui ont fait l'objet d'un encadrement plus ou moins serré, sont devenues consommatrices d'engrais chimiques. L'intérêt de l'utilisation des engrais chimiques n'est donc plus à démontrer dans ces zones qui sont surtout localisées sur les Hauts-Plateaux.

- Concernant le milieu industriel et celui des grandes opérations de développement, les engrais constituent un des facteurs d'une agriculture qui se veut la plus rationnelle possible.

2. - Madagascar ne produit pas encore d'engrais chimique, quoiqu'une importante usine productrice d'urée ait été mise en place, une autre usine productrice d'engrais organico-biologique a été montée dans le Sud du pays. Mais, il semble que les objectifs poursuivis n'ont pas encore été atteints jusqu'à présent. Les besoins en engrais chimiques sont donc pour l'instant satisfaits tant bien que mal par les importations.

3. - L'organisation actuelle de la fourniture d'engrais aux utilisateurs comporte deux structures différentes.

Les grandes sociétés de cultures industrielles et certaines grandes opérations de développement se fournissent, en générale directement sur le marché international, par une procédure d'appel d'offres.

Pour les consommations du milieu paysannal, et les opérations directement sous-tutelle du Ministère de l'Agriculture, les importations d'intrants sont assurées par les Sociétés d'import-export (COROI, SEPCO).

4. - La politique de développement agricole a été axée sur les objectifs suivants :

- arrêter à court terme l'importation de riz et d'huiles alimentaires ;
- disposer à moyen terme d'excédents pour la sécurité alimentaire et l'exportation ;
- améliorer la balance des paiements.-

Ces objectifs ont amené le Gouvernement à élaborer la "Stratégie alimentaire" qui devrait déboucher sur :

- l'auto-suffisance alimentaire avant 1990 ;
- la production à outrance pour pouvoir exporter et constituer des stocks de sécurité ;
- la diversification des cultures vivrières en vue de l'exportation améliorant ainsi la balance des paiements.

Pour mener à bien cette stratégie, une série d'actions avec les mesures d'accompagnement adéquates ont été définies :

- intensification de la production en utilisant de façon rationnelle les intrants et matériels agricoles. A ce titre, on ne doit importer que le minimum de facteurs de production non fabriqués sur place. C'est ainsi que des usines d'engrais (ZENIA, ZEREN ...) de la fabrication de matériels agricoles (SIDENA, TOLY) ont été construites ou réhabilitées ;
- libéralisation de la collecte et de la commercialisation ;
- relance du crédit agricole ;
- redynamisation de l'encadrement, de l'approvisionnement ;
- relance de la recherche ;
- fixation d'un prix rémunérateur et incitatif au niveau de la production publié avant le début de la campagne ;
- approvisionnement assuré en produits de première nécessité ;
- création de nouveaux besoins pour inciter à la production ;
- réhabilitation des périmètres rizicoles ;
- amélioration des routes et des parcs de matériels de transport ;
- désenclavement des régions à vocation de production ;
- enfin suppression de toute forme de subvention pour permettre aux agriculteurs de supporter et de comptabiliser leur coût réel de production.

Une bonne partie de ces actions ont été déjà engagées et commencent à donner les résultats positifs. On remarque l'utilisation des engrais figure en bonne place dans cette politique.

Malgré la suppression des subventions, on constate actuellement une augmentation des demandes en engrais, comme on le verra plus loin.

Et l'intérêt de cette dernière se trouve encore plus conforté si les engrais sont d'origine locale, ou tout au moins sa fabrication prouvée d'un coefficient d'intégration élevé. L'exploitation des phosphates des Iles Barren aurait ce double avantage de valoriser des produits d'origine locale tout en faisant économiser des devises.

### II.1.1.- Identification des utilisateurs d'engrais

L'étude de la demande passe nécessairement par une identification des utilisateurs. Nous avons signalé précédemment qu'ils peuvent être classés en deux catégories :

- les sociétés de culture industrielles et les grandes opérations de développement ;
- le milieu paysannal.

Dans la première catégorie, nous avons recensé une cinquantaine d'opérations réparties dans tout le pays. Les cultures qu'elles pratiquent peuvent être classées parmi les principaux produits d'exportation du pays.

Dans le milieu paysannal les opérations pratiquées se rapportent surtout au riz et aux cultures vivrières. L'approvisionnement du milieu paysannal est assuré par le service d'approvisionnement du SPIRA (CIRRA : Circonscription d'approvisionnement agricole).

La répartition des opérations par type de culture se présente comme suit :

Type de culture	Opérateurs principaux et encadrement
R i z	Paysannat GDR - FIFADE - SONALAC
	SAMANGOKY - SODEMO - ODEMO
M a i s	FIFANANOR - TOMBOTSOA - VOHINASINA
	FERME D'ETAT NY ONDY - F.E D'ETAT
	SAKAY
C a f é	O.C.P.G. (Opération Cafés, Poivre, Girofle, Vanille)
Vanille	O.C.P.G. " - "
Cacao	O.C.P.G.V. " - "
Girofle	O.C.P.G.V. " - "
Poivre	O.C.P.G.V. " - "
Canne à sucre	SGRAMA, SNBCE, SIRANALA
C o t o n	HAGYMA - FLAM - SONIA - CIM
T a b a c	OFIATA
Palmier à huile	SONAPALM
Arachide	FANAMA
Bois de pâte	FANALAMANGA
Cocotier	SANSAVA VOANIO
T h é	SAHAMBAVY
V i g n e	CVVB et Viticulteurs privés
O r g e	M A L T O
Manioc	PROCOOPS - SORIFEMA
S o j a	HANISOA
Tomate	SONACO
Autres cultures	
vivrières	PAYSANNAT

### 11.1.2.-Enquêtes et sources de données

Afin de déterminer les caractéristiques de la consommation d'intrants agricoles, une enquête a été effectuée auprès des principaux opérateurs complétée au niveau des paysans par des sondages pour la mesure de la pénétration de l'utilisation des engrais dans la production agricole. Les sources de données comprennent :

- les rapports annuels des circonscriptions de vulgarisation agricole (CIRVA) et des Services provinciaux de vulgarisation agricole (SPVA).
- les statistiques des ventes effectuées par les CIRAA (Circonscription d'Approvisionnement Agricole)
- les statistiques douanières et du Commerce extérieur
- les rapports SEDES 1981 et le rapport FAO sur le projet de développement rizicole sur les Hauts-Plateaux
- les statistiques du Programme d'Engrais Malgache (PEM)
- les statistiques agricoles dressées par le Ministère de l'Agriculture.

### 11.1.2.1- Caractéristiques des enquêtes

#### A. - Portée

Compte tenu de l'organisation de l'approvisionnement en intrants agricoles, nous avons procédé à une classification des opérateurs en deux groupes :

- un groupe constitué par des opérateurs privés ou para-publics autonomes

- un groupe constitué par les opérations de développement liées directement au Ministère de l'Agriculture

Enfin, pour mesurer la pénétration de l'utilisation des engrais en milieu paysannal, des enquêtes auprès des paysans ont été effectuées dans les régions d'Ambatondrazaka, Mianinarivo et Anjozorobe.

### 3. - Objectifs des enquêtes

L'objectif principal consiste en la détermination du volume d'engrais consommés pour les différentes cultures, les autres intrants qui conditionnent l'utilisation des engrais (produits phytosanitaires, herbicides, fongicides, amendements, etc ...), les autres facteurs socio-économiques susceptibles d'influencer la consommation (crédit agricole, niveau des prix, disponibilité des produits circuits de distribution).

### C. - Contenu du questionnaire

Le questionnaire établi comporte dix rubriques :

1. superficies cultivées pour chaque type de culture chronique en dix ans (1975 - 1984)
2. chronique de la production
3. prévisions d'extension des superficies cultivées
4. fournitures d'intrants agricoles
5. prix unitaires des intrants (1981 - 1985)
6. consommation d'intrants par type de culture (1975-84)
  - amendement
  - engrais
  - herbicides
  - pesticides
  - insecticides.

7. besoins prévisionnels en intrants (1986-1987)

8. modes d'utilisation des intrants

- forme
- mode d'épandage
- fréquence d'épandage par cycle du calendrier cultural

9. caractéristiques techniques d'emploi

- système d'information des utilisateurs
- facteurs limitants

10. Opportunités d'utilisation des intrants

- existence de prescripteurs
- suivi de la production
- prix des intrants
- prix agricoles
- distribution
- crédit agricole.

11.1.2.2. - Résultats des enquêtes

A. - données générales

- nombre d'opérations et de sociétés enquêtées  
32/50 (64 %)
- nombre de réponses obtenues 23 (72 %)
- superficies concernées par l'enquête
  - . toutes cultures confondues : 32.645 ha
  - . bois (reboisement) : 110.000 ha

B. - Utilisation des intrants

On a pu observer que outre l'utilisation de divers engrais chimiques, les opérateurs se servent de différents intrants tel que :

- herbicides
- pesticides
- et fongicides

qui constituent des facteurs d'intensification complémentaires.

On trouvera ci-après un tableau récapitulatif donnant pour chaque type de culture, les niveaux moyens de consommation d'engrais observés (engrais phosphatés et engrais complexes).

ENGRAIS COMPLEXES

Spéculation (1)	Niveau de consommation observés (2)	Observations (3)
N.P.K. 15.15.15		
T h é	141 kg/ha	!O.T.S. (Sahanbavy) !3 années : 1981 - 1983
M a i s	250 kg/ha	!E. Vohimasina !3 années : 1975 - 1983
Canne à sucre	131, 3 kg/ha	!SIDCE : Brickaville !1982
R i z	150 kg/ha	!SONALAC : Lac Alaotra !3 dernières années : !1982 - 1984
T. C. C.	30 kg/ha	!SORIFEMA: Ambatondrazaka !2 années : 1981-1982
NPK (Zn) 8.16.24 (2)		
B o i s	957 kg/ha	!FANALAMANGA (Moramanga) !6 années discontinues !forte consommation en !1984
NPK non déterminés		
S o j a	317 kg/ha	!3 dernières !années 1982-84,
M a i s	300 kg/ha	!2 années !1982-1983
R i z	300 kg/ha	!4 années !1980-1983

S. id. d. n. de l'Etat  
 Pour 150 kg/ha

E.N.F.D.

(1)	(2)	(3)
T. C. C.	248 kg/ha	15 années 1980-84 FIFAMANOR vulgarisation Antsirabe
Bois	100 kg/ha	PK 24.12 6 années FANALAMANGA (Moramanga)
Bois	30,8 kg/ha	PK Zn 20.20.3,6 " - "
Canne à sucre	427,7 kg/ha	NK 22.22 1 année 1982 SNBCE Nossy-36
	445,3 kg/ha	NK 15.15 1 année 1981

NPK 11.22.16 ENGRAIS TERNAIRES

Bois	56 kg/ha	FANALAMANGA (Moramanga) 2 années 1975 - 1976
Mats	250 kg/ha	F.E. Vohimasina (Fienerantsoa) 1984
Plantes fourragères	300 kg/ha	FAFIFAMA Mahajanga 1983 et 1984
	159 kg/ha	F.E. OMBY (Tsiroanomandidy) 4 dernières années 1981 - 1984
T. C. C.	28 kg/ha	SORIFEMA (Ambatondrazaka) 1 année 1981
	342 kg/ha	FIFAMANOR (Recherche Antsirabe) 5 dernières années 1980 - 1984
NPK 20.10.10.		
Ths	614 kg/ha	O.T.S. (Sahambavy) 5 années 1977 - 1981
Anacarde	3 kg/ha	FAMAMA (Ambilobe - Mahajanga) 4 années 1977 - 1980

(1)	(2)	(3)
NPK 17.17.17		
Anacarde	0,007 kg/ha	FAMAMA 1977
NPK 13.13.20		
Anacarde	0,04 kg/ha	FAMAMA 1976
NPK 13.13.21		
Vigne	500 kg/ha	Côte d'Ivoire (Fianarantsoa) stagnation des consommations et des superficies
NPK 10.10.20.		
Canne à sucre	521 kg/ha	SIRANALA (Morondava) sur les 3 dernières années 1982 - 1984
Anacarde	0,04 kg/ha	FAMAMA 1976
Plantes fourragères	300 kg/ha	FAFIFAMA (Mahajanga 1979 - 1980
NPK 18.4.18.		
Canne à sucre	192 kg/ha	SNBCE (Nosy-Bé 3 dernières années) 1982 - 1984
ENGRAIS PHOSPHATES		
Mais	700 kg/ha	Hyper-Reno/Tombotsoa (Antsirabe) 8 années 1977/84
Riz	100 kg/ha	Supertriple CIM Mahajanga norme fixe 10 années
Orge	300 kg/ha	Hyper-Reno Antanifotsy Norme de consommation constante 4 dernières années

(1)	(2)	(3)
Coton	5,5 kg/ha	Scories Thomas (HASYMA : CIM FLAM SOMIA (Samangoky) une année
Coton	12,5 kg/ha	Phosphate d'ammoniaque HASYMA idem 8 années 1976 / 82
Tabac	200 kg/ha	Phosphate d'ammoniaque (CIM Mahajanga) norme fixe sur 10 années
Palmier à huile	9,05 kg/ha	Polyphos (ANVR - Ambila) Fianarantsoa sur une année 1980
Vigne	568 kg/ha	Hyperphos côte d'Isandra/Fianarantsoa stagnation des consommations et des superficies sur 10 années
Thé	20 kg/ha	Phosphate 0,7 Sahambavy/Fianarantsoa 4 années 1977 / 80
Canne à sucre	12,5 kg/ha	Superphosphate 469 SNBCE Nosy-Dé Antsirahana 7 années 1978 - 84
	40,1 kg/ha	Superphosphate 469 SNBCE Brickaville/Toamasina 6 années discontinues
	49 kg/ha	Hyper-Reno 6 années discontinues
	30,6 kg/ha	Scories Thomas 3 années 1976-1978 S.N.B.C.E. Brickaville
	0,5 kg/ha	Phosphate tricalcique 2 années 1977 -1978
	47 kg/ha	Hyper-Reno SORIFEMA Ambatondrazaka 2 années 1981 - 1982
	125 kg/ha	Hyper-Reno FIFAMANOR Antsirabe 3 années 1980 - 1982

T.C.C. : Toutes cultures confondues

**C. - Quantités d'engrais consommés**

La consommation d'engrais des opérations enquêtées est résumée dans le tableau ci-après :

On peut noter qu'entre 1975 et 1984 : cette consommation varie de 5.200 t à 17.500 t, et qu'elle ne présente pas de tendance caractéristique. Cette situation est probablement due au fait que les importations d'engrais sont soumises aux contraintes de disponibilités en devises du pays.

On peut dire en définitive que selon les disponibilités des engrais sur le marché du pays, la consommation moyenne de la population agricole (représentant 44 % de la population totale) est d'environ de 9.000 t/an, avec une plage de consommation de 4.000 t/an.

La consommation totale des opérations et des sociétés industrielles qui représente 75 % de la consommation nationale se situe aux environs de 20.500 t, soit une consommation nationale d'environ 27.000 t en moyenne par an.

La consommation maximale nationale observée se situerait aux environs de 40.000 t/an pour tous les engrais confondus.

**D. - Consommation d'engrais phosphatés**

Dans la catégorie des engrais, nous avons regroupé ceux qui d'après les essais agronomiques sont susceptibles d'être remplacés par les phosphorites des îles Jarren. Ces types d'engrais comprennent :

- les phosphates bicalcaïques (65 % de la consommation)
- les phosphates tricalcaïques (16 % " - " )
- l'Hyper-Reno (29 % " - " )

CONSOMMATION DES ENTREPRISES ENQUETÉES (en tonnes d'engrais)

Désignation	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Thé Sahambavy	-	-	96,1	79,8	110,0	108,9	74	29,6	21,3	118
Viticulteurs	335,7	335,7	335,7	335,7	335,7	335,7	335,5	335,7	335,7	335,7
HASYMA	3.898	4.492	5.515,5	4.077,3	4.610,6	4.931,9	3.907,3	6.073,4	3.038,8	7.267,6
MALTO	-	-	-	-	-	-	34,5	45,0	121,3	186,7
ONIPRA ENFD	-	-	-	-	-	933	210	227	160	100
SNBCE	1.059,2	1.311,9	2.110,6	2.055,5	2.515,5	308,1	1.009,7	534,1	734	1.696
SIRANALA	-	-	-	-	-	-	-	315	360	360
F.E. Ny ONBY	-	-	-	-	-	207	160	127,1	127	48,5
FIFAMANOR	-	-	-	-	-	54,8	76,6	96,9	133,8	118,1
TOMBOTSOA	36,6	36,9	119	81,8	72	70	69	87,3	80,2	94,5
FANAMA	-	12	52,2	57,3	96	100	-	-	-	50
FANALAMANGA	363	349	882	1.854	1.364	1.056	930	205	103	7.405
FAFIFAMA	-	-	-	-	18	9	-	-	195	36
VOHINASINA	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10,5	7,5	10,5
<b>TOTAL</b>	<b>5.700</b>	<b>6.545</b>	<b>9.118,6</b>	<b>15.207,1</b>	<b>8.821,3</b>	<b>8.621,9</b>	<b>6.823,3</b>	<b>8.096,6</b>	<b>5.242,1</b>	<b>17.466,6</b>

Les enquêtes ont permis de relever les consommations d'engrais phosphatés suivantes ;

années	quantités (t)
1975	437,5
1976	404,9
1977	504
1978	433,9
1979	556,2
1980	628,3
1981	1.531,7
1982	786,6
1983	435,8

Soit une moyenne annuelle d'environ 650 t.

Les statistiques présentées par le PEM (Programme d'Engrais Malgache) donnent par ailleurs une consommation de 2.000 t de phosphates pour les cultures de Riz sur les Plateaux pour les cultures rizicoles et vivrières.

En définitive, la consommation nationale de phosphate se situe actuellement à un niveau moyen de 2.600 t/an.

Le niveau de consommation maximum observé se situe aux environs de 4.200 t/an.

#### E. - Importations d'engrais

La consommation d'engrais reste limitée et destinée en majeure partie (75 %) aux cultures industrielles, qui disposent d'une bonne capacité de gestion et souvent de ressources en devises propres.

Bien que les objectifs fixés par le Ministère de l'Agriculture dans le Plan 1978-1980 prévoyaient, un volume d'importation de 68.400 t en 1980 et un besoin de 153.000 t pour 1986. On peut constater à l'heure actuelle que ces chiffres ont été avancés sans tenir compte de la situation financière du pays.

En fait, jusqu'à présent les importations ont été surtout effectuées par les programmes ayant un financement en devises (sociétés de développement, dons). Le niveau des importations n'a donc pas réussi à atteindre ceux prévus comme on peut le voir dans le tableau ci-après :

**EVOLUTION DES IMPORTATIONS D'ENGRAIS**

Années	Quantités (t)	Cont Phosphates	Valeur CAF (10 <sup>6</sup> FMC)	dont valeur phosphates (10 <sup>6</sup> FMC)
1970	30.346		598	
1971	22.916		399	
1972	7.787	453	137	11
1973	15.460	666	348	15
1974	12.760	705	405	24
1975	16.825	4.211	839	232
1976	14.103	3.099	559	111
1977	12.024	2.276	481	91
1978	24.305	3.548	1.292	124
1979	22.375	588	1.164	36
1980	21.426	1.469	1.366	112
1981	10.558	3.401	810	252
1982	30.815	2.336	3.020	260
1982	19.116	1.645	1.954	183

Source : Statistique Douanière

On peut observer aussi que le niveau des importations en 1970 n'a pu être atteint qu'en 1982, après un fléchissement qui a duré plus de dix ans.

En 1960, le niveau des importations étaient de 4.974 t et en 1965, il atteignait 6.830 t. Les grandes opérations de vulgarisation qui ont démarré vers cette époque (URER) ont été à l'origine d'un accroissement rapide de la consommation d'engrais jusqu'en 1970 (25 % sur 5 ans).

En 1980, le Programme d'Engrais Malagasy (PEM) prévoyait un rythme d'accroissement des importations de l'ordre de 12 %.

Le niveau de 1983 aurait dû être alors de 35.000 t. Les disponibilités financières du pays n'ont pas permis la réalisation de cet objectif.

## F. - Offre locale d'engrais

### 1. Les producteurs locaux

Ils sont au nombre de trois (3), mais deux (2) seulement sont opérationnels (PROCHIMAD - ZEHA). La production s'avère insuffisante. En effet, les usines fonctionnent largement au-dessous de leur capacité normale de production.

#### 1.1. Z E M A (Zezika Malagasy)

C'est une société qui a été récemment créée (1982). Elle fabrique des engrais organico-biologiques à partir des sous-produits :

- déchets de sisal	: 62 %
- algues marines	: 6 %
- guano	: 3,5 %
- bentonite	: 8 %

- dolomie : 5 %
- déchets de poissons: 2 %
- e a u : 19 %
- activateurs  
bactériologiques : 0,5 %

La capacité de production de l'usine a été fixée à 10.000 t en régime de croisière avec une production de 22.000 t pour la première année.

L'usine<sup>ne</sup> commença à produire qu'en 1983.

Tableau : Production (en tonne)

Désignation	1983	1984
E.O.B. pulvérisé	84,760	288,325
E.O.B. granulé	34,077	61,218
TOTAL	118,837	350,043

Source : ZEMA, 1985

En se référant à la production (22.000 t) escomptée pour la première année, les taux de réalisation sont respectivement 0,54 % et 1,59 % pour les années 1983 et 1984.

## 1.2. - PROCHIMAD (Société des produits chimiques de Madagascar)

C'est une entreprise para-publique. Elle produit deux (2) types d'engrais à savoir :

- phosphate d'os
- engrais spéciaux (pour les jardins, arbres fruitiers, les cultures maraîchères, le gazon et les rosiers).

Désignation	En Tonne				
	1980	1981	1982	1983	1984
Phosphate d'os	311,610	264,820	99,215	43,070	46,870
Engrais spéciaux	ND	ND	ND	ND	4,600

Source : PROCHIMAD

Selon les responsabilités de l'usine, la capacité normale possible est de l'ordre de 700.000 kg. La PROCHIMAD fonctionne donc à 7 % de sa capacité.

Le produit (phosphate d'os) contiendrait 4,5 % de N, 26 à 29 % de  $P_2O_5$  et 34 % de CaO.

### 1.3. - Z E R E N

C'est une usine qui devrait produire des engrais azotés (ammoniacal et urée). Actuellement elle n'est pas encore opérationnelle. A sa phase de conception, la capacité normale possible de production a été fixée à 90.000 t/an, et l'usine devrait initialement produire 73.000 t/an d'ammoniacal et 48.000 t/an d'urée.

En 1984 les deux sociétés PROCHIMAD et ZEMZ ne produisaient que 410 t d'engrais, environ, la production nationale d'engrais (organico-biologique et chimique) est encore largement insuffisante. Elle ne couvre qu'une partie infime des besoins du pays, (1 %). Pour subvenir aux besoins des agriculteurs et utilisateurs, une importation massive d'engrais s'avère jusqu'à présent nécessaire.

**11.1.3. - Volume et composition de la demande d'engrais**

La répartition de la demande nationale en engrais tient compte des données recueillies à l'issue des enquêtes des diverses statistiques agricoles, ainsi que des projections effectuées par le Ministère de l'Agriculture. Nous avons retenu dix (10) groupes de cultures comme principales consommatrices d'engrais.

**Besoins en engrais (t/an)**

Désignation	Niveau estimé des besoins actuels	Niveau de besoins en phosphates	Prévision des besoins futurs	
			Tout Engrais	Phosphate
Riz et autres cultures vivrières	13.000	2.500	24.500	4.700
Cafés	750	300	1.400	560
Coton	10.750	-	19.650	-
Canne à sucre	10.350	500	19.400	940
Cocotier	2.850	800	5.300	1.500
Soja	900	100	1.700	200
Palmier à huile	555	40	1.050	100
Tabac	600	-	1.100	-
Thé	175	-	300	-
Autres cultures *	1.340	-	2.600	-
<b>TOTAL</b>	<b>41.000</b>	<b>4.240</b>	<b>76.000</b>	<b>8.000</b>

\* y compris Bois

La prévision des besoins futurs en engrais peut être effectuée en tenant compte des considérations suivantes :

1. - Le rythme observé entre 1965 - 1970 d'une augmentation des importations de 35 % par an, est difficilement envisageable compte tenu des contraintes financières pesant sur le pays.

Il faut retenir cependant que ce taux a été dû à une forte intensité de la vulgarisation agricole au niveau paysannal. En d'autres termes le milieu paysannal est capable de suivre un programme de production suffisamment élaboré (voir par exemple ; les méthodes améliorées de cultures rizicoles), préconisant une consommation croissant de fertilisants.

2. - Le rythme proposé par le PEM, qui est de 12 % par an n'a pu être réalisé, jusqu'à présent, toujours du fait de l'insuffisance des devises.

On a pu constater ainsi que même si, les engrais obtenus sous forme de crédits ont été vendus et que le produit de cette vente a été versé dans un compte bloqué du Trésor, ces formes n'ont pu être transformés en revolving pour de nouvelles opérations d'importation d'engrais, faute de devises.

Il s'agit là d'une contrainte importante qu'il faut prendre en considération. C'est pourquoi, nous avons donc été amenés à faire les hypothèses suivantes :

- a) la croissance des besoins évolue à un rythme de 3 % an, la consommation atteindrait un niveau de 76.000 t d'ici vingt ans, ce qui est très pessimiste et ne tient pas compte de l'objectif du pays, qui est d'atteindre une auto-suffisance alimentaire d'ici l'an 2.000.

- b) La croissance des besoins évolue à un rythme de 4,2 % par an, on atteindrait alors 76.000 t en l'espace de 15 ans.
- c) La croissance des besoins évolue à un rythme de 6,6 % par an, le niveau de consommation annuelle de 76.000 t serait atteint en 10 ans. L'hypothèse de croissance générale admise par l'économie étant de 3,5 %, la part de l'agriculture serait de 8,75 par an au maximum.

Ces deux dernières hypothèses semblent être pessimistes mais elles peuvent être justifiées, compte tenu des expériences récentes (PEM), et du fait que les disponibilités en devises resteront limitées.

## 11.2. - Le marché régional

### 11.2.1. - La Réunion

#### 11.2.1.1. - Les importations d'engrais

L'île de la Réunion ne produit pas d'engrais. Elle a recours à des importations pour subvenir à ses besoins.

**Tableau :** Les importations : introduction d'engrais minéraux ou chimiques dans le département.

Type d'engrais (quantités en tonne)

Années	Engrais phosphatés simples	Engrais composés	Ensemble
1971	600	24.404	31.154
1972	162	28.774	30.334
1973	285	25.582	29.530
1974	328	26.746	27.520
1975	219	29.678	32.422
1976	218	28.503	29.611
1977	432	28.879	31.362
1978	673	37.556	40.307
1979	690	30.303	33.673
1980	543	32.033	35.599
1981	702	32.226	35.095
1982	422	20.484	22.283
1983	103	36.643	40.104
1984 *	681,3	23.299,6	29.966

Sources : Direction Générale des Douanes la Réunion

\* Source : Chambre de commerce et d'industrie de la Réunion

### 11.2.1.2. - Les fournisseurs

D'après les statistiques relatives aux engrais phosphatés simples, la Belgique, Luxembourg en est de loin le premier fournisseur soit 67 % des importations, venaient ensuite l'Afrique du Sud (21 %), France (12 %).

### 11.2.1.3. - Besoins réunionnais en engrais phosphatés

L'île de la Réunion importe en moyenne 500 t d'engrais phosphatés simples par an.

Dans l'optique de la diversification de la production agricole, les autorités réunionnaises prévoient l'extension et le développement des cultures sur les hautes terres (collines). Ce qui nécessiterait une forte consommation d'engrais phosphatés dans un proche avenir. Et selon les estimations des responsables l'île de la Réunion aurait besoin de 2.000 à 3.000 t/an et autant d'amendement calcaïque.

De ce point de vue, les phosphorites des îles Barren apparaissent donc très intéressantes pour le marché réunionnais, du fait de leur composition (phosphates bi et tricalcique).

## 11.2.2. Île Maurice

### 11.2.2.1. - Production d'engrais

L'île Maurice produit 16.000 t d'engrais qui se répartissent comme suit :

• Rock phosphates	(29 % $P_{205}$ )*	2.500 t
• Super phosphate simple	(18 à 20 % $P_{205}$ )*	500 t
• Super phosphate simple	(45 % $P_{205}$ )	2.500 t
• Phosphate d'ammoniaque	(18 % N, 46 % $P_{205}$ )	6.000 t
• N P K		4.500 t

### 11.2.2.2. - Consommation d'engrais

Le niveau annuel de consommation mauricienne d'engrais est de 43.500 t d'après les statistiques du Ministère de l'Agriculture et du M.C.F.I. (Mauritius Chemical Fertilizer Industry).

41.000 t d'engrais complexes (NPK, granulés)

sucre 35.000 t

thé 2.000 t

légumes 4.000 t

et 2.500 t de rock phosphates pour la canne à sucre .

Par ailleurs, tous les 7 ans, le renouvellement des souches des cannes à sucre nécessite une forte consommation de rock phosphate pouvant atteindre 5.000 t certaines années.

#### 11.2.2.3. - Besoins mauriciens en engrais

Les matières premières utilisées par l'industrie d'engrais phosphatés de l'île Maurice sont dans sa totalité importées de l'Afrique du Sud.

Le rock phosphate peut être substitué par les phosphorites des îles Barren en l'occurrence du produit phosphaté à raison de 2.500 t à 3.500 t par an.

#### 11.2.3. Besoins potentiels du marché régional

Compte tenu de ce qui précède, le marché régional pourrait donc absorber un volume de 5.000 à 6.000 t de phosphates par an.

#### 11.2.4. Niveaux de prix sur le marché régional

Les tableaux ci-après nous donnent les niveaux des prix des importations des engrais phosphatés et des prix payés par les agriculteurs aux îles Maurice et la Réunion.

## IMPORTATIONS

Pays	Situation	Type d'engrais	Origine	Prix unitaire FF / kg	Source
Maurice	1982-1983	Rock phosphates	Afrique du Sud	1,56 FF (85,2 FNG)	Etudes de développement des échanges commerciaux dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien (De Chazal du Mee) 1984
Réunion	1983-1984	Superphosphate : 35 % Scories d'apportation Phosphate bicalcique	Afrique du Sud Benelux	1,9 FF (109,2 FNG) 1,7 FF (95,7 FNG) 1,6 FF (90,1 FNG)	Chambre de commerce et d'industrie de la Réunion 1984

Taux de change moyen : 1979 à 1981

1 FF = 50 FNG

1982 à 1983

1 FF = 54,6 FNG

1983

1 FF = 56,2 FNG

PRIX PAYES PAR LES AGRICULTEURS

: Pays	: Situation	: Type d'engrais	: Prix Unitaire FF/kg	: Source
: MAURICE	: 1983-1984	: Superphosphate simple	: 7,5 FF (422,2 FMG)	: Annuaire de statistique FAO des engrais 1984
:	:	: Superphosphate concentré	: 4,8 FF (270,2 FMG)	:
: REUNION *	: 1983-1984	: Hyperphosphate	: 1,6 FF (90,1 FMG)	:
:	:	: Phosphate d'ammoniaque	: 2,6 FF (146,5 FMG)	: Annuaire de statistique agricole du département de la Réunion 1984
:	:	: Superphosphate 45 %	: 2,3 FF (129,6 FMG)	:
:	: 1984-1985	: Hyperphosphate	: 2,4 FF (175,4 FMG)	:
:	:	: Phosphate d'ammoniaque	: 2,9 FF (123,9 FMG)	:
:	:	: Superphosphate 45 %	: 2,8 FF (204,6 FMG)	:

\* Prix le plus courant en début de campagne

Taux de change moyen : 1983      1 FF = 56,3 FMG  
 1984                                      1 FF = 73,1 FMG.

Il en ressort que :

- L'île Maurice achète ses matières premières (rock phosphate) de l'Afrique du Sud pour son Industrie d'engrais phosphatés à 1,56 FF/kg. Et selon les statistiques de la FAO, le prix moyen de cession des engrais superphosphatés aux agriculteurs mauriciens est de 6,3 FF/kg.
- A la Réunion, le prix moyen d'achat des engrais phosphatés importés est de 1,9 FF/kg. Tandis que le prix le plus courant des engrais phosphatés en début de campagne est en moyenne de 2,1 FF/kg.
- Les prix des importations d'engrais phosphatés dans la région varie de 1,5 FF/kg à 2,2 FF/kg selon les types d'engrais.

**11.3. - Prévision de vente**

L'étude de l'évolution probable de la demande nationale d'engrais nous a conduit à émettre deux hypothèses d'accroissement de la consommation d'engrais.

1. - La consommation évolue de façon telle qu'au bout de 10 ans, le niveau atteint serait égal à 8.000 t/an.
2. - La consommation atteindra un niveau annuel de 8.000 t au bout de 15 ans.

Les prévisions de consommation d'engrais phosphatés se présenteraient comme suit, dans ces conditions :

	A Accroissement sur 10 ans (t)	B Accroissement sur 15 ans (t)
1986	4.240	4.240
1987	4.500	4.400
1988	4.800	4.600
1989	5.100	4.800
1990	5.500	5.000
1991	5.800	5.200
1992	6.200	5.400
1993	6.600	5.700
1994	7.000	5.900
1995	7.500	6.200
1996	8.000	6.400
1997	-	6.700
1998	-	7.000
1999	-	7.300
2000	-	7.600
2001	-	8.000

Accroissement  
 sur 10 ans (t)  
 pour la période 1986-1996  
 S.E. 0.1

Années	Hypothèse A			Hypothèse B		
	Marché national (t)	Export (t)	TOTAL	Marché national (t)	Export (t)	TOTAL
1990	5.500	5.500	11.000	5.000	5.500	10.500
1991	5.800	5.500	11.300	5.200	5.500	10.700
1992	6.200	5.500	11.700	5.400	5.500	10.900
1993	6.600	5.500	12.100	5.700	5.500	11.200
1994	7.000	5.500	12.500	5.900	5.500	11.400
1995	7.500	5.500	13.000	6.200	5.500	11.700
1996	8.000	5.500	13.500	6.700	5.500	12.200
1997	8.000	5.500	13.500	6.400	5.500	11.900
1998	8.000	5.500	13.500	7.000	5.500	12.500
1999	8.000	5.500	13.500	7.300	5.500	12.800
2000	8.000	5.500	13.500	7.600	5.500	13.100
2001	8.000	5.500	13.500	8.000	5.500	13.500
2002	8.000	5.500	13.500	8.000	5.500	13.500
2003	8.000	5.500	13.500	8.000	5.500	13.500
2004	8.000	5.500	13.500	8.000	5.500	13.500
<b>Total ENGRAIS</b>	<b>110.600</b>	<b>82.500</b>	<b>193.100</b>	<b>100.400</b>	<b>82.500</b>	<b>182.900</b>

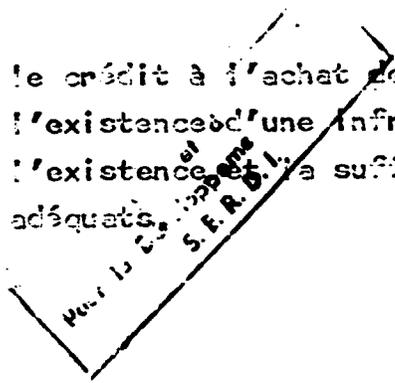
Les caractéristiques des produits sont définies dans les données agronomiques.

- Le programme de vente possible est fonction de la date de démarrage de l'exploitation des phosphorites.

En faisant l'hypothèse que l'usine ne pourrait produire qu'en 1990, les possibilités de vente sont dans le tableau ci-dessous.

Des mesures d'accompagnement s'avèrent nécessaires pour la réalisation de ces prévisions à savoir :

- le crédit à l'achat des engrais
- l'existence d'une infrastructure routière en état
- l'existence et la suffisance des moyens de transport adéquats



## II.4. - Estimation du prix de cession des engrais

Pendant longtemps, l'Etat a subventionné le prix des engrais. Depuis 1982, il a été décidé que les subventions doivent être supprimées. A cette date, le prix moyen de cession des engrais phosphatés qualité Hyper-Rene était de 25 Fmg/kg et superphosphate de 50 Fmg/kg. Actuellement, il est de 50 Fmg/kg pour l'hyper-rene et de 140 Fmg/kg pour le superphosphate. Tandis que le prix des engrais complexes passait de 100 Fmg/kg à 140 Fmg/kg en 1983 et à 180 Fmg/kg en 1984.

Il semble intéressant de cerner la fourchette à l'intérieur de laquelle pourrait être situé le prix du produit proposé par ce projet.

Deux méthodes, peuvent être utilisées pour ce faire.

La première méthode consiste à considérer le rapport Valeur-Coût. On se réfère, dans cette application aux diverses expériences de la FAO (1), montrant qu'un agriculteur n'utilise des engrais que si le produit additionnel attendu a au moins 2 fois la valeur de la dépense, toutes choses égales pas ailleurs.

Or, d'après les résultats des essais agronomiques, le produit que l'on peut attendre de l'utilisation d'une unité de  $P_2O_5$  varie pour le Riz entre 6 et 18 kg de paddy.

Prenons pour le paddy un gain de 10 kg pour une unité de  $P_2O_5$ . Pour le cas des phosphorites, il faudrait 5 kg, de matières à la teneur en  $P_2O_5$  est de 20 %.

Le prix économique du paddy étant estimé à 173 Fmg/kg

on a donc :  $\frac{1.730}{5,0} \approx 2$  d'où P  $\leq$  173 Fmg/kg

si  $\frac{1.730}{5,0} \approx 1,6$  on obtient un prix P  $\leq$  217 Fmg/kg

La deuxième méthode conduit à comparer le prix financier et le prix économique de l'engrais.

<u>Prix économique du Paddy</u>	$\frac{173}{80}$	= 2,16
Prix financier		

L'estimation du prix économique de l'engrais phosphaté donne pour 1985 : 480 Fmg/kg (prix de cession à l'agriculteur, le coût C/F étant estimé à 3.110 FF (Toanazine) la tonne.

(1) FAO 1974 Aspects économiques, financières et budgétaires du développement de l'utilisation des engrais.

En considérant, que l'agriculteur malgache doit être maintenu dans une situation comparable à celle des agriculteurs des pays où les prix sont déterminés par la loi du marché. Le rapport Prix économique / Prix financier doit être le même pour le paddy et les intrants. D'où un prix financier de l'engrais de :

$$\frac{480}{2,16} \approx 222 \text{ Fng/kg}$$

Ce prix est un prix moyen des engrais de tous types. Le prix du kilo de phosphate, vendu au paysan, doit être déterminé maintenant en fonction de l'utilité de celui-ci par rapport à celle des engrais les plus couramment utilisés à savoir les engrais ternaires NPK.

On est donc conduit à minorer ce prix de 222 F. pour le phosphate. On peut donc espérer vendre le phosphate des îles Barren à un prix entre 175 F et 220 F/kg en ne tenant compte que des conditions du marché.

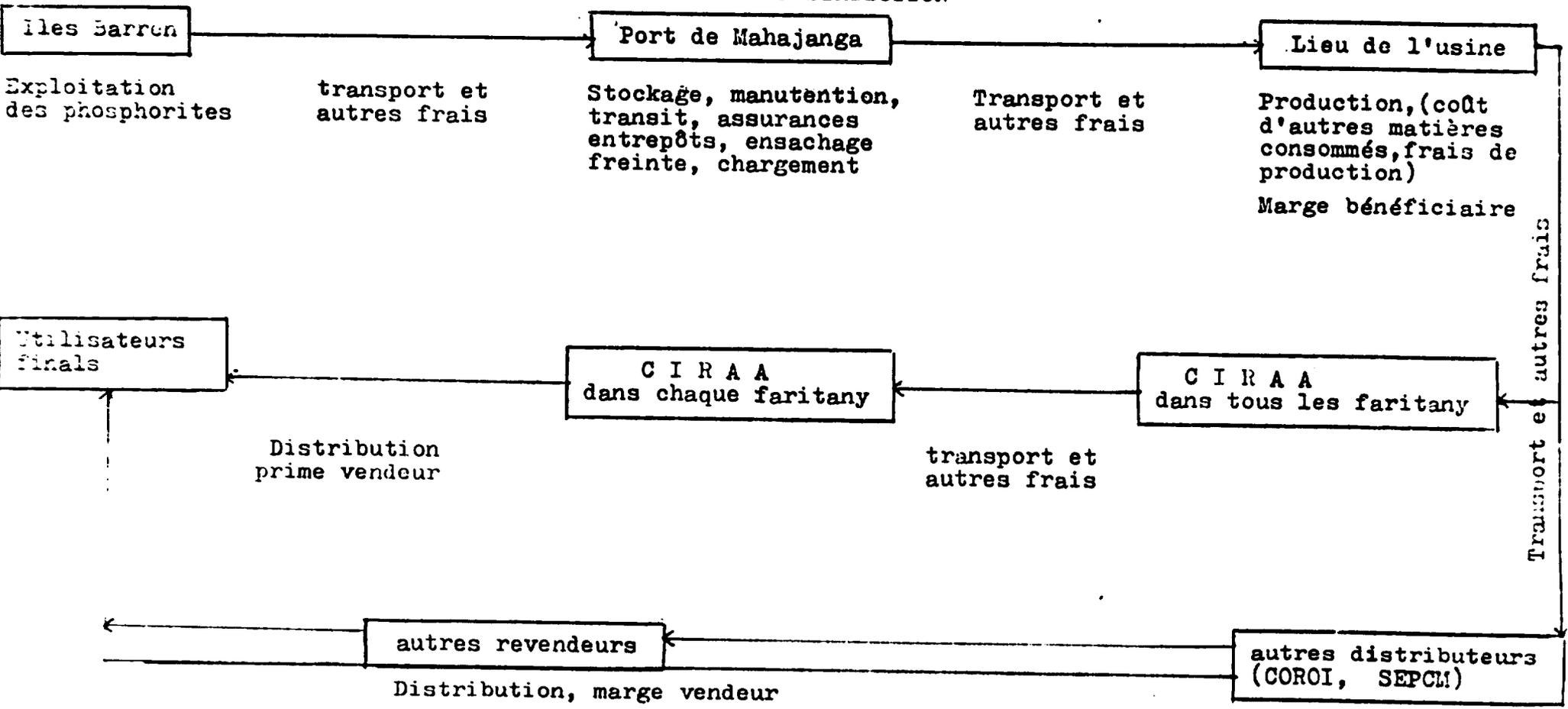
#### 11.5. - Circuit de distribution et coût de transport

Dans l'étude du marché, nous avons déjà mentionné, l'existence de deux types d'utilisateurs d'engrais :

- milieu paysan encadré par le Ministère de l'Agriculture
- milieu industriel, autonome ou encadré par les opérations de développement.

Le circuit de distribution actuel est adapté à cette situation, mais la tendance est la prise en charge totale de la distribution des intrants par le secteur privé. La circulation des produits phosphates des îles Barren, pourra se faire comme dans le schéma ci-après qui tient compte des deux circuits actuellement existants.

CIRCUIT DE DISTRIBUTION



11.5.1. - Coût de transports

Il est défini par les arrêtés n° 1619/84 du 12 avril 1984, n° 1816/84 du 25 avril 1984, n° 4824/84 du 17 novembre 1984.

Le calcul des coûts de distribution des engrais phosphatés suivrait les étapes suivantes :

1. Calcul des tarifs à appliquer
2. Estimation du niveau de la consommation moyenne actuelle de phosphates (1.240 tonnes)
3. Etablissement des clés de répartition de ces besoins en fonction des superficies agricoles cultivées
4. Répartition par spéculation et par Faritany des besoins en phosphates
5. Calcul des coûts de distribution
6. Etablissement des coûts de distribution unitaires par variante.

- Pour le transport routier

On a pris les mêmes tarifs de transports de marchandises sur les grands axes nationaux.

Concernant le transport sur un itinéraire ou tronçon d'itinéraire déterminé (cas du transport de marchandises de Morondava à Antsiranana) le mode de calcul des tarifs préconisé par le NIRT a été pris en compte.

- Pour le transport ferroviaire

On a retenu les tarifs au 1er janvier 1985 mentionnés dans le plan d'investissement du RNCFM (Engrais : 60,00 Fmg/t/km)

On a donc les tarifs suivants :

Antananarivo - Toamasina : 372 km	22,32 Fmg/kg
Fianarantsoa - Manakara : 170 km	10,20 Fmg/kg

- Pour le transport maritime (cabotage)

Le calcul des coûts de distribution est basé sur les tarifs spécifiques au transport d'engrais déterminés par des liaisons portuaires (in arrêté interministériel n° 4824/84 du 17 novembre 1984).

		<u>Engrais</u>					FMG/kg	
A	B	C	D	E	F	G	H	
11,70	12,21	13,29	13,81	14,35	15,41	15,68	16,56	

Les lettres A, B, ... G, H indiquent des liaisons maritimes entre les ports fixés par le Ministère du Transport, du Ravitaillement et du Tourisme (MRT) selon les critères suivants :

- accès nautique ;
- conditions nautiques ;
- difficultés d'accostement du navire ;
- problèmes de manutention.

Les tarifs sus-mentionnés sont spécifiques au transport des engrais.

11.5.2. - Répartition des besoins en engrais phosphatés

Le niveau de la consommation moyenne actuelle de phosphates est estimé à 4.240 t réparti comme suit :

- Riz et autres cultures vivrières	2.500 t
- Cocotier	800 t
- Canne à sucre	500 t
- C a f é	300 t
- S o j a	100 t
- Palmier à huile	40 t

La répartition géographique par Faritany de ces besoins (cf annexe 16) a été effectuée en fonction des superficies agricoles cultivées pour chaque type de spéculatation selon les clés de répartition ci-après :

CLES DE REPARTITION

En fonction de la superficie agricole cultivée

Riz et autres cultures vivrières (0,0020 t/ha)

Madagascar : 1.247.092 ha (superficies : riz)

		Quantités (tonne)
Antananarivo	190.805 ha	383 phosphate
Fianarantsoa	275.555 ha	552
Toamasina	: 321.250 ha	665
Mahajanga	: 227.742 ha	455
Toliary	: 117.397 ha	235
Antoinanana	: 104.393 ha	210
		<hr/>
		2.500

C a f é (0,0016 t/ha)

Madagascar : 188.733 ha

		Quantité (tonne) phosphates
Antananarivo	: 1.050 ha	2
Fianarantsoa	: 82.761 ha	133
Toamasina	: 71.691 ha	115
Mahajanga	: 7.018 ha	10
Toliary	: 3.350 ha	5
Antsiranana	: 22.863 ha	35
		<hr/>
		300

Canne à sucre (0,0109 t/ha)

Madagascar : 45.726 ha

Antananarivo	: 1.312 ha	15
Fianarantsoa	: 10.743 ha	115
Toamasina	: 7.361 ha	80
Mahajanga	: 6.814 ha	75
Toliary	: 2.328 ha	35
Antsiranana	: 16.418 ha	180
		<hr/>
		500

Cocotier

Antsiranana (Sambava - Yoanio) 800 t

Palmier à huile

Fianarantsoa (MWR - Ambila) 40 t

S o j a

Antananarivo 100 t

Source : statistiques agricoles, 1984  
(superficies)

Répartition des besoins en phosphates

(en tonne)

	Riz et autres cultures vivrières	Coco- tier	Canne à sucre	Café	Soja	Pal- mier à huile	Total	%
Antananarivo	383	-	15	2	100	-	500	12
Fianarantsoa	552	-	115	133	-	40	840	20
Toamasina	665	-	20	115	-	-	860	20
Mahajanga	455	-	75	10	-	-	540	13
Toliary	235	-	35	5	-	-	275	6
Antsiranana	210	800	180	35	-	-	1.225	29
<b>Total</b>	<b>2.500</b>	<b>800</b>	<b>500</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>4.240</b>	<b>100</b>

Il ressort de ce tableau que le faritany d'Antsiranana est le premier consommateur de phosphates (29 %), suivi de ceux de Fianarantsoa et de Toamasina (20 %).

Résultats

La connaissance des besoins nationaux en engrais phosphatés et de leur répartition géographique permettrait de calculer les coûts de distribution des produits fabriqués jusqu'aux Chef lieux des Faritany.

On a retenu pour le moment les ports de Norondaya et de Mahajanga comme variantes en ce qui concerne le point de départ des produits et également comme lieu d'implantation de l'usine. Mais le port de Maintirano a été par la suite écarté du fait de l'inexistence d'infrastructure valable à la fois routière et maritime.

En effet, depuis quelques années, le port de Maintirano ne figure plus dans les liaisons portuaires qui constituent l'élément majeur de tarification maritime. Le calcul des coûts de distribution des produits à partir de ce point s'avère donc impossible.

Quatre (4) variantes ont été constituées en fonction des moyens de transport :

- par route
- par route et train
- par route et cabotage
- par route, train et cabotage.

Voir les tableaux des coûts de distribution ci-après .

Les résultats ainsi obtenus ne tiennent pas compte des frais de manutention.

La minimisation des coûts de distribution est fonction de la combinaison optimale des différents moyens de transport (route, train, cabotage).

Les coûts de distribution unitaires par variantes sont consignés dans le tableau ci-après :

Désignation	en FMG/kg	
	Norondaya	Mahajanga
route	96,21	66,4
route, train	94	64,1
route, cabotage	22,17	18,64
route, train, cabotage	20,4	18,08

Il en résulte que les coûts de distribution des phosphates à partir de Mahajanga s'avèrent plus avantageux.

COUT DE DISTRIBUTION - PHOSPHATES

(TONNE)

: MORONDAVA : DESTINATION	: STRUCTURE : DE LA : DISTRIBUTION	: PRIX UNITAIRE : 10 <sup>3</sup> FMG/T			: COUT DU TRANSPORT: : 10 <sup>3</sup> FMG			: V A R I A N T E S : (10 <sup>3</sup> FMG)			
		: ROUTE	: TRAIN	: CABO- : TAGE	: ROUTE	: TRAIN	: CABO- : TAGE	: ROUTE	: ROUTE/TRAIN	: ROUTE/CABOTAGE	: ROUTE/TRAIN/ : CABOTAGE
: MAHAJANGA	: 0,13	: 94,4	: -	: 13,81	: 12,27	: -	: 1,79	: (R) 12,27	: (R) 12,27	: (C) 1,79	: (C) 1,79
: TOLIARY	: 0,06	: 81,2	: -	: 13,29	: 4,87	: -	: 0,80	: (R) 4,87	: (R) 4,87	: (C) 0,80	: (C) 0,80
: FLANARANTSOA	: 0,20	: 57,5	: -	: -	: 11,50	: -	: -	: (R) 11,50	: (R) 11,50	:	:
: MANAKARA : MANAKARA-FLANAR		: -	: -	: 16,56	: -	: -	: 3,31	:	:	: (C) 3,31	: (C) 3,31
			: 10,28	: -	: -	: 2,04	:	:	: (T) 2,04	: (T) 2,04	: 5,35
: ANTANANARIVO	: 0,12	: 53,1	: -	: -	: 6,37	: -	: -	: (R) 6,37	: (R) 6,37	: (R) 6,37	:
: TOAMASINA : TOAMASINA-ANTANAN.		: -	: -	: 16,56	: -	: -	: 1,99	:	:	: (C) 1,99	: (C) 1,99
			: 22,32	: -	: -	: 2,69	:	:	: (T) 2,69	: (T) 2,69	: 4,68
: TOAMASINA	: 0,20	: 86,5	: -	: 16,56	: 17,30	: -	: 3,31	: (R) 17,30	:	: (C) 3,31	: (C) 3,31
: ANTANANARIVO : " - TOAMASINA		: 53,1	: -	: -	: 10,62	: -	: -	:	: R 10,62	:	:
			: 22,32	: -	: -	: 4,46	:	: T 4,46	:	: 15,08	:
: ANTSIRANANA (i)	: 0,29	: 151,4	: -	: 15,68	: 43,91	: -	: 4,55	: (R) 43,91	: (R) 43,91	: (C) 4,55	: (C) 4,55
		: (53,1 + : 98,3)	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	: 1	:	:	:	:	:	:	: 96,21	: 94	: 22,17	: 20,4

(i) Trajet : MORONDAVA - ANTANANARIVO - ANTSIRANANA

(R) : ROUTE

(T) TRAIN

(C) : CABOTAGE

COUTS DE DISTRIBUTION - PHOSPHATES

MAHAJANGA DESTINATION	STRUCTURE DE LA DISTRIBUTION	PRIX UNITAIRE 10 <sup>3</sup> FMG/T			COUT DU TRANSPORT: 10 <sup>3</sup> FMG			V A R I A N T E S (10 <sup>3</sup> FMG)			
		ROUTE	TRAIN	CABO- TAGE	ROUTE	TRAIN	CABO- TAGE	ROUTE	ROUTE/TRAIN	ROUTE/CABOTAGE	ROUTE/TRAIN/ CABOTAGE
MAHAJANGA (ii)	0,13	55,2	-	-	1,7	-	-	R 1,7	R 1,7	R 1,7	R 1,7
TOLIARY	0,06	124,2	-	13,29	7,45	-	0,80	R 7,45	R 7,45	C 0,80	C 0,8
FIANARANTSOA	0,20	70,5	-	-	14,1	-	-	R 14,1	R 14,1		
MANAKARA MANAKARA-FIANAR		-	-	15,60	-	-	3,13		C 3,13 )	C 3,13 )	5,17
ANTANANRIVO	0,12	41,3	-	-	4,96	-	-	R 4,96	R 4,96	R 4,96	
TOAMASINA TOAMASINA-ANTANANR		-	-	14,35	-	-	1,72				
TOAMASINA		22,32	-	-	2,68	-	-				T 2,68 )
TOAMASINA		75	-	14,35	15	-	2,87	R 15		C 2,87	C 2,87
ANTANANRIVO	0,20	41,32	-	-	8,26	-	-		R 8,26		
ANTANANA-TOAMASINA		-	22,32	-	-	4,46	-	-		T 4,46	
ANTSIRANANA	0,29	80	-	12,21	23,2	-	3,54	R 23,2	R 23,2	C 3,54	C 3,54
	1							66,4	64,1	18,64	18,08
DIFFERENCE DE PRIX								29,81	29,90	3,53	2,32

(ii) : Pour un rayon de 237 km (MAMPIKONY) :  $237 \times 0,13 \times 35,2 = 1,7 \cdot 10^3$  FMG (prix unitaire : 55,2 FMG/T x Km)

R = ROUTE

T = TRAIN

C = CABOTAGE

Par rapport aux coûts calculés pour Morondava on a, pour Mahajanga, les gains suivants :

- variantes

. route	26,81 millions de Fmg
. route, train	26,90 millions de Fmg
. route, cabotage	3,52 millions de Fmg
. route, train, cabotage	2,32 millions de Fmg.

CLES DE REPARTITION

En fonction de la superficie agricole cultivée

Cocotier

Antsiranana (Sambava ~~Ypanio~~) 800 tonnes

Palmier à huile

Fianarantsoa (ANRP - Ambila) 40 tonnes

Soja

Antananarivo 100 tonnes

Source : statistiques agricoles, 184 (superficies)

### CLÉS DE RÉPARTITION (suite)

En fonction de la superficie agricole cultivée  
Riz et autres cultures vivrières (0,0020 t/ha)

Madagascar	: 1.247.088 ha (superficies : riz)	
		Quantité (tonne phosphates)
Antananarivo	: 190.005 ha	332
Fianarantsoa	: 275.000 ha	502
Toamasina	: 321.250 ha	665
Mahajanga	: 227.742 ha	455
Toliary	: 117.557 ha	225
Antsiranana	: 104.353 ha	210
		<u>S.F.R.D.L.</u>
		2.500

Café (0,0016 t/ha)

Madagascar : 188.733 ha

Antananarivo	: 1.050 ha	2
Fianarantsoa	: 82.761 ha	132
Toamasina	: 71.591 ha	115
Mahajanga	: 7.018 ha	10
Toliary	: 3.350 ha	5
Antsiranana	: 22.862 ha	35
		<u>300</u>

Canne à sucre (0,0100 t/ha)

Madagascar	: 45.726	
Antananarivo	: 1.312 ha	15
Fianarantsoa	: 10.493 ha	115
Toamasina	: 7.261 ha	80
Mahajanga	: 6.814 ha	75
Toliary	: 3.328 ha	35
Antsiranana	: 16.418 ha	180
		<u>500</u>

## II.7. - CONCLUSION

L'étude de marché met en relief l'insuffisance de la production nationale d'engrais et l'existence d'un marché potentiel de 11.000 tonnes en 1990 (année de démarrage de l'usine d'engrais phosphatés) dont 5.500 tonnes destinés au marché local.

Le marché régional (Maurice et La Réunion) constituerait un débouché non négligeable pour le phosphate (5.500 t).

L'analyse de la situation passée et présente prouve que la consommation d'engrais et la vulgarisation menée par les techniciens sont étroitement corrélées. En ce sens que l'influence de cette dernière sur l'évolution de la première est très importante.

Le crédit à l'achat des engrais, l'existence d'une infrastructure routière en bon état, l'existence et la suffisance des moyens de transport adéquats figurent parmi les mesures d'accompagnement primordiales.

III. - INVENTAIRE DES DONNÉES TECHNIQUES

SECRET

**III.1. - SITUATION GEOGRAPHIQUE DES ILES**

Les îles Barren sont formées d'un arcipel de sept îles groupées au large de la Côte Ouest de Madagascar, plus exactement à une cinquantaine de km au SSW de la ville de Maintirano. Elles sont situées entre 18° et 18°40' de latitude Sud.

Quatre de ces îles ont été reconnues par le Service Géologique National de Madagascar, au cours de ses missions de 1975-1976, comme minéralisées en silico-aluminate, à savoir (du Nord au Sud) :

- l'île de l'Arbantaly
- l'île Andratra
- l'île Andrano
- l'île Lava

Chacune de ces îles se trouve distante entre elles de 10 à 20 km. (Cf cartes de localisation en annexe 1 et 1')

Les tableaux suivants donnent les indications nécessaires quant à leur situation et leurs dimensions.

Iles	Coordonnées		Distance au droit de la côte	Distance de Maintirano	Direction pour chaîner
	X	Y			
Nosy Andrano	132,96	836,82	24 km	54 km	Nord-Ouest
Nosy Lava	136,37	833,54	22 km	56 km	Nord-Ouest
Nosy Arbantaly	135,70	852,05	12 km	38 km	Est
Nosy Andratra	122,73	843,64	30 km	50 km	Nord

III.2. - ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE

Le climat des îles est du type tropical sec. La forte chaleur qui y règne est parfois adoucie par la brise marine.

Le jour, assez calme pendant le jour, devient très agité la nuit, et bien que pendant cette période la navigation devient relativement dangereuse.

Les îles sont fréquemment assujetties à la dépression tropicale, ce qui rend impossible le travail sur les îles de mois de Novembre au mois d'avril (15 novembre - 15 avril).

Nous donnons ci-dessous quelques éléments météorologiques :

- température moyenne ..... 30-32°C
- vitesse de vent
  - . le jour ..... 10 à 20 noeuds
  - . la nuit ..... 20 à 30 noeuds
- degré hygrométrique ..... 70 %

Dimensions

Îles	FORME	Dimensions maximales	Côtés maximales	Périmètre
Île de Andrano	Subcirculaire	1800 m/500 m	12 m	2.100 m
Île de Lava	Triangulaire	900m/700 m	6 m	3.200 m
Île de Berambaly	Allongée	1300m/450 m	3 m	3.000 m
Île de Androtra	Allongée	1100m/250 m	12 m	2.400 m
?	?	?	?	?

En général, ce sont de petites îles à végétation clairsemée avec surtout des *Laucosailles* épineuses, et à relief peu marqué. L'aspect morphologique reflète une plateforme peu élevée (en moyenne centrale en forme de cuvette ouverte vers le mer du côté Ou et.

(Pour tous les autres aspects topographiques des îles, se référer aux planches en annexe n° 65 pour l'île Macdonald, 64 pour l'île Andromeda, 62 pour l'île Andromeda et 66 pour l'île Lava).

Ministère de l'Énergie et des Ressources  
S.E.R.D.I.

### III.3. - GEOLOGIE ET RESULTATS ACQUIS

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les phosphorites des îles Barren, aussi bien sur le gisement en soi que sur leur utilisation.

Les principaux réalisateurs étant :

- le Service Géologique National qui de 1975 à 1976 a travaillé sur l'identification des gisements ;
- la FOFIFA qui a procédé d'une part aux analyses des échantillons, et d'autre part à des essais agronomiques définissant l'impact de l'utilisation directe du minéral en tant qu'engrais ;
- l'IRAT qui a étudié les caractéristiques et les conditions d'utilisation des phosphorites de Madagascar ;
- un certain nombre de travaux sous forme de thèse et de mémoires traitant de diverses caractéristiques du minéral et ses possibilités d'exploitation.

Les éléments nous permettant de cerner les **dimensions** de chaque île d'une part et d'avoir une idée sur l'aspect morphologique, la constitution lithologique, l'aspect des minéralisations qui s'y trouvent, leurs caractéristiques, le type de sol et le type de plante qui s'y adaptent d'autre part.

Quoiqu'il en soit ces travaux présentent un certain nombre d'écarts dont le plus important est l'aspect disparate des données. En outre les travaux ont été souvent menés indépendamment les uns des autres.

### III.3.1. - Travaux effectués

#### III.3.1.A. - Travaux sur les îles Barren et leurs minerais de phosphates

##### - Reconnaissance morphologique et constitution des îles Barren

PERRIE DE LA BATHIE en 1921 définissait les îles comme étant à relief peu marqué, à faible couverture végétale (seulement quelques bruscailles épineuses) et presque dépourvues de grands arbres.

##### - Reconnaissance géographique aérienne de l'archipel Barren

par BATTISTINI en 1924, précisant non seulement l'emplacement des îles mais aussi leurs dimensions et leur origine corallitaire.

Ce n'est qu'en 1975 que des travaux de reconnaissance plus poussés ont été réalisés en commun par le Service Géologique National et la FOFIFA (anciennement CENRADERU). On peut citer :

##### - Levée topographique au 1/2000 en coupe de niveau de chaque île

avec points cotés (équidistance de 1 m pour les îles Parapantaly et Lava et 2 m pour les îles Androno et Androtra). Les îles ont été délimitées à marée haute et certains points remarquables (dunettes, accroissements, excavations) ont été reportés.

Les îles offrent peu de relief. Ainsi Nosy Andrano garde encore l'aspect de l'atoll original avec une dépression centrale ouverte vers l'Ouest. La frange bordière s'élève à 12 m au-dessus du niveau de la mer.

Nosy Lava est nettement plus basse avec un dorsal Est étalé à 5 m seulement au-dessus du niveau de la mer et qui s'écoule en pente douce vers l'Ouest.

Nosy Haroantely est relativement plate avec un plateau allongé de 4 à 6 m, par rapport à Nosy Androtra qui, présentant la même forme, possède un dorsal plus élevé (10-12 m).

- Cartographie lithologique au 1/2000 de chaque île :

Il a été ainsi défini l'origine des îles, leur constitution et l'histoire des dépôts phosphatés.

En somme le "plateau continental" longeant la bordure côtière sous-marine Ouest de Madagascar est limité par une barrière corallienne immergée sous 5 à 15 m de profondeur.

Des récifs coralliens s'accumulent par endroits pour constituer à la longue quelques monticules émergents à la surface en masse ou circulaire (atoll). Ces derniers constituent les prémices de base des îles. L'accumulation des débris de coquillages et de coraux au cours du temps sur ces récifs émergents s'élargit au fur et à mesure et donne leur forme aux îles. Elle se transforme plus ou moins en grès (sable compacté et consolidé souvent par une cimentation) à la suite de leur tassement.

C'est pourquoi les formes lithologiques de base relevées sur ces îles sont des grès calcinés et des crinides coquilliers. Ils constituent le manteau enveloppant les récifs de base qui est de nature coralliaire et madréporique. Leur épaisseur n'est pas partout connue car les sondages effectués ne les ont pas traversés. Les quelques puits et talutages effectués sur certaines îles ont permis de décrire les successions lithologiques suivantes (de haut en bas) :

1. - Sable calciné avec débris de coquille roulés associés parfois à du sol humide noir (0,20 m à 1 m).
2. - Niveau à phosporite, de teinte marron clair à beige, constitué de sable coquillier relativement induré, à ciment phosphaté, associé souvent à un niveau terreux ocre, phosphaté également (0,20 à 4 m).
3. - Calcaire gréseux indurés.
4. - Récifs coralliaires de base.

- Géologiquement parlant ce sont des îles récentes (subactuelles).

Ces roches ne sont visibles elles-mêmes qu'en de rares endroits (cf. pl. n° 2/4/6). Le plus souvent elles sont ensevelies sous des dunes plus ou moins récentes et de nature sableuse, le constituant minéralogique étant à dominante calcaire (débris de coraux et de coquillages).

- Minéralisation : les études et prélèvements effectués en 1975 - 1976 mettent en évidence l'existence de 2 types de minerais :

- type en "bloccailles"
- type "pulvérulent"

Le premier s'avère moins riche en  $P_2O_5$  que le second et se rencontre surtout en blocs épars en surface.

Les grains sableux qui les constituent sont certes consolidés mais l'ensemble présente une dureté faible (un coup de talon suffit à briser les blocs).

Le type pulvérulent recouvre en grande partie le sol. En profondeur cependant il est plus compact, avec un aspect lissé et induré. Seules les zones minérales affleurantes ont été délimitées (cf. planches n° 3/5/77). Les zones sous-jacentes n'ont pas été investiguées vu la faible profondeur des sondages effectués.

Que ce soit pour l'un ou l'autre type l'origine des minéraux phosphatés serait due à une épignisation au niveau des sables calcaires, les phosphates étant les suivantes :

1ère phase : déjà dans les échantillons de sables calcaires accumulés sur le site et phosphate. Ces déchets sont riches en azote et phosphore vu la nourriture exclusivement animale (poisson de mer) de ces oiseaux.

2ème phase : action de la pluie sur ces déchets pour avoir l'acide orthophosphorique  $H_3PO_4$ , et sur le sable calcaire pour donner de la cendre  $CaO.H_2O$ .

3ème phase : réaction entre  $H_3PO_4$  et  $CaO.H_2O$ . Il y a remplacement des molécules d'eau du  $H_3PO_4$  par du  $CaO$ , suivant le nombre de molécules d'eau remplacées on a :

phosphate tricalcique  $Ca_3(PO_4)_2$

phosphate bicalcique  $(CaHPO_4)$

ou

phosphate monocalcique  $CaH(PO_4)_2$

Une phase active pourrait être envisagée comme lessivage des phosphates et guano sus-cités puis accumulation des dépôts dans les zones basses sous un aspect terreux.

Dans le cas des blocailles le phosphate forme ciment entre les grains de calcine phosphate, d'où l'aspect relativement induré du sable calcine phosphaté.

La composition lithologique de base étant la même, la teneur en  $P_2O_5$  devrait être égale, pour chaque île :

- de leur âge d'émergence ;
- de l'importance du peuplement animal (oiseau).
- Sondages triennaux à maille régulière de 50 m généralement de profondeur très limitée (0,10 m à 2,50 m rarement 4m).  
Exception faite pour Iloey Androtra dont le maillage est établi tous les 20 m.

Leur implantation ne couvre pas entièrement les surfaces insulaires, mais seulement les zones censées minéralisées et accessibles en surface.

Aux sondages s'ajoutent par endroits, et pour chaque file, quelques puits de contrôle de 1,50 m d'ouverture en moyenne et qui ont connu un fonçage plus poussé que les carrières. Parfois on relève des talutages de contrôle.

- Echantillonnages qui, en moyenne, ont été effectués à 2 niveaux par sondage, rarement 3. Les échantillons ont été prélevés à des fins d'analyse minérale.
- Test microchimique au molybdate d'ammonium effectué sur place, lors des sondages, pour avoir une idée globale de la présence ou non de phosphate.

A noter que prélevés en 1975 - 1976, les échantillons ont connu leurs résultats d'analyse en 1978 seulement. Entre-temps le Service Géologique National a émis une estimation globale de première connaissance basée sur quelques analyses types, uniquement et généralisée sur tout l'ensemble prospecté. Ce qui résulte en une réserve Géologique de 500.000 T de minerai pour l'ensemble des 4 files réunies avec une teneur très variable en  $P_2O_5$  (allant de 0,50 % à 42,97 %).

III.3.1.B. - Etudes se rapportant aux îles Barren et leurs minerais de phosphates

A côté des travaux sur terrain on a plusieurs écrits et considérations sur les îles Barren et leurs minerais de phosphate.

C'est ainsi que la FOFIFA a procédé aux analyses minérales des échantillons prélevés par le Service Géologique National. 255 échantillons furent analysés et les résultats ont été publiés en 1978. Il a été ainsi déterminé que :

- les phosphorites des îles Barren sont fortement calciques (de l'ordre de 50 % de CaO) et que par la suite, il reste probable que ce soit un mélange de phosphate tricalcique  $[Ca_3(PO_4)_2]$  et de carbonate de chaux  $CO_3Ca$ .
- Pour les échantillons analysés, le taux d'humidité avoisine 1,5 %. A noter toutefois que ces échantillons ont été gardés presque 1 année dans leur sac avant l'opération d'analyse.
- En ce qui concerne les oligo-éléments, et par rapport aux "fumiers locaux", le minerai est plus pauvre en Fe et Mn, mais témoigne une richesse plus élevée en Zn et surtout en Bore.

Le même organisme a entrepris entre temps et jusqu'en 1981 des essais en vase de végétation pour un minerai broyé à 200 mesh (essais sur maïs pour les cultures irriguées). Le résultat est que les phosphorites des îles Barren peuvent trouver leur champ d'application dans tous les sols carencés en phosphore.

De même l'IRAT (Institut de Recherche Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières) a effectué une étude sur la caractérisation et la comparaison des phosphates naturels de Madagascar en vue de leur utilisation directe en Agriculture.

L'étude a porté sur huit phosphates naturels de Madagascar. Les différentes analyses réalisées indiquent une grande solubilité du phosphore de ces divers phosphates. Leur efficacité est équivalente, voire supérieure, au Supertriple dans un sol ferrallitique très acide où les carbonates contenus dans les minerais ont probablement un effet également très favorable.

Enfin un certain nombre de travaux ont été effectués sous forme de thèse (M. RAZAFINJANJANJAN, M. RANDRISALALA Paul) et de thèse (Madame RAKOTOMALALA Lucie) ont exploité les données et travaux effectués sur les îles pour dégager des vues plus analytiques aussi bien sur l'utilisation des phosphorites en tant qu'engrais que sur leur possibilité d'exploitation.

### III.3.2. - Résultats acquis sur les îles Barren

En considérant séparément les travaux réalisés, les îles Barren et le minerai de phosphorite qu'elles comportent ont subi des études et travaux relativement importants déjà.

En coordonnant les résultats acquis les uns aux autres, les îles ne sont finalement que partiellement connues.

Les chiffres ci-dessus par secteur ont été calculés sur les données fournies par les services nationaux au niveau des filiales de leur secteur respectif.

III.3.2.1. - Quinze

Secteur	1970	1971	1972	Evolution de la production	
	(1)	(2)	(3)	(4:1)	(3:2)
Industrie	89	77	82	92 %	11,5 %
Agriculture	100	81	87	81 %	82 %
Services	81	81	87	100 %	7,4 %
Total	101	84	87	90 %	3,2 %

Ce document est la propriété de la S.E.R.D.A. et ne doit pas être communiqué à l'extérieur de l'organisme.

3 - Bureau de l'Industrie  
 4 - Bureau de l'Agriculture  
 5 - Bureau de l'Industrie  
 6 - Bureau de l'Industrie

III.3.2.B. - Analyses

I l e s	Echantil- lons préle- vés	Echantil- lons analy- sés	Etat de réalisation
Andrano	57	47	82 %
L a v a	99	90	91 %
Maroantaly	114	76	66,5 %
Androtra	49	42	85 %

III.3.2.C. - Surface prospectée

I l e s	Surface suscepti- ble d'être prospectée (1)	Surface couverte par sonda- ges (2)	Surface à résultats connus (3)	Etat de con- naissance (2/1) (3/1)
Andrano	285.000 m <sup>2</sup>	192.500 m <sup>2</sup>	80.000 m <sup>2</sup>	67,5 % 28 %
L a v a	527.000 m <sup>2</sup>	202.500 m <sup>2</sup>	167.500 m <sup>2</sup>	38 % 32 %
Maroantaly	372.500 m <sup>2</sup>	202.500 m <sup>2</sup>	90.000 m <sup>2</sup>	54 % 24 %
Androtra	180.000 m <sup>2</sup>	50.000 m <sup>2</sup>	40.000 m <sup>2</sup>	28 % 22 %

Cf Planches en annexe 8 pour Nosy Andrano

11 pour Nosy Lava

14 pour Nosy Maroantaly

III.2.2.D. - Profondeur prospectée

I l e s	Profondeur maximale	Profondeur minimale	Moyenne des sondages	Profondeur exigible d' investigation
Andrano	4,50 m	0,20 m	1,46 m	4 m
Lava	0,75 m	0,30 m	0,31 m	2 m
Maroantaly	2,50 m	0,90 m	1,45 m	4 m
Androtra	1,80 m	0,50 m	1,10 m	8 m

III.2.2.E. - Répartition en teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

I l e s	Surface à résultat connus	18 %	18 à 30 %	Epaisseur moyenne	30 %	Epaisseur moyenne
Andrano	80.000 m <sup>2</sup>	37.500 m <sup>2</sup>	27.500 m <sup>2</sup>	1,06 m	15.000 m <sup>2</sup>	1,27 m
Lava	167.500 m <sup>2</sup>	85.000 m <sup>2</sup>	67.500 m <sup>2</sup>	0,31 m	15.000 m <sup>2</sup>	10,26 m
Maroantaly	90.000 m <sup>2</sup>	90.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
Androtra	40.000 m <sup>2</sup>	40.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-

Cf. Planches en annexes 9 - 10 pour Nosy Andrano  
12 - 13 pour Nosy Lava

III.3.2.F. - Estimation préliminaire des réserves

Pour une estimation plus utile, et moins aléatoire, il est préférable de partir des données concrètes (dans les concessions) et de rajouter en extrapolation, compte tenu des considérations morphologiques et géologiques des filons ainsi que le mode de minéralisation par épigénétisme, d'autres filons (dans les probables).

Ainsi en considérant les points géométriques et les niveaux (prélevement) analysés, on peut évaluer ainsi :

a) sur l'île d'Andromède :

- Une zone A (cf. annexes IV) - secteur à forte teneur en  $P_2O_5$  associé à un niveau ou à un niveau supérieur de prélevement. Une moyenne de teneur de 30 % est dégagée pour une superficie moyenne d'exploitation de 1m.

Cette zone occupe la partie centrale dépressionnaire de l'île. La minéralisation remonte le flanc de la cuvette jusqu'à la cote 3 m. On pourrait s'attendre à une réserve en minerai de 75.400 T (certains + probable cf. tableau ci-après).

- Une zone 3 (cf. annexe 10) en périphérie de la précédente qui ne doit être exploitée que suivant une certaine profondeur seulement (le niveau inférieur étant à basse teneur). On pourrait la rencontrer jusqu'à la cote 6 m sur une épaisseur moyenne de 0,40 m. Une réserve de 25.600 T de phosphorite à 24 % de  $P_2O_5$  pourrait être attendue (certains + probable). Soit un total de 93.600 T pour l'ensemble.

- 5) La réserve sur l'île Lava est estimée avec les mêmes considérations. Ainsi une réserve de 74.400 T pour un minerai  $\geq 18$  % de  $P_2O_5$  pourrait être attendue (certains + probable, voir tableau ci-après et annexe 13).

A noter cependant pour l'île Lava qu'il existe une partie orientale sous-dune (dans le domaine probable) où il faudrait tenir compte d'une épaisseur non négligeable de stérile (sable) à enlever.

Nosy Andrano (Zone A)

		Carreau	Surface (m <sup>2</sup> )	C	m	V (m <sup>3</sup> )	d	Réser- ve (t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ZONE A	Certaine	11	27.500	1,00		27.500	1,6	44.000	30%
	Probable	6	15.000	1,00		15.000	1,6	24.000	
ZONE B	Certaine	8	20.000	0,40		8.000	1,6	12.800	
	Probable	8	20.000	0,40		8.000	1,6	12.800	24%
TOTAL Andrano								93.600 t	

Nosy Lava

		Carreau	Surface (m <sup>2</sup> )	C	m	V (m <sup>3</sup> )	d	Réser- ve (t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Certaine	36	90.000	0,30		27.000	1,6	43.200	18%
	Probable		65.000	0,30		19.500	1,6	31.200	
TOTAL Lava								74.400 t	
Soit pour les deux îles								168.000 t	

III.3.3. - Conclusion

Des analyses précédentes il s'ensuit que la minéralisation effective des îles Barren en phosphorite n'est que partiellement connue. Par la suite il est encore difficile de se prononcer catégoriquement sur sa potentialité. En effet, les données disponibles sont trop éparses pour qu'une homogénéisation sectorielle adéquate puisse être avancée sur la répartition des teneurs.

### III.6. - DONNES TECHNIQUES AGRONOMIQUES

#### III.6.1. - Rôle du phosphore en agronomie

Le phosphore joue un rôle capital chez les êtres vivants.

Il assure entre autres le transfert et le stockage de l'énergie et permet de conserver, de transmettre les caractères génétiques aussi bien chez les plantes que chez l'homme et les animaux.

Les êtres vivants ont donc absolument besoin de phosphore et c'est essentiellement à l'agriculture qui leur fournit cet élément indispensable. La liaison entre le règne minéral et le règne animal passe donc obligatoirement par le règne végétal.

#### INTERET DU PROJET

Etat donné dans le monde, le déficit dans le monde vivant, l'existence d'un déficit minéral local de phosphore ne peut être qu'un avantage indéniable pour le pays, avantage que l'on ne peut pas se permettre de négliger alors que l'édageur a une économie basée essentiellement sur l'agriculture. Une agriculture sans engrais phosphatés ne peut donner une production rationnelle.

#### III.6.1.1. - Le phosphore dans le monde vivant

Dire qu'un élément est indispensable à la vie conduit très vite à se demander pourquoi il est indispensable et à s'interroger sur le rôle qu'il joue dans la constitution de la matière vivante ou dans le métabolisme des êtres organisés. Un élément inorganique peut avoir un rôle constructeur (éléctrique) quand il intervient d'une façon irréversible dans la constitution d'une molécule vivante : il donne les protéines, par exemple, et les acides nucléiques, le ferme la

la chlorophylle. Un élément peut avoir un rôle physiologique (ou biochimique). Le phosphore assure le transfert et le stockage de l'énergie, et rien ne se fait sans énergie chez les êtres vivants. Il assure également la conservation et la transmission de l'information génétique, aussi bien chez les plantes que chez les animaux.

C'est donc un rôle capital que le phosphore joue chez les êtres vivants, c'est donc l'élément clé du métabolisme.

#### III.4.1.2. - Le phosphore dans la production végétale

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la seule source de phosphore pour l'homme et les animaux est représentée par les végétaux. Or les plantes puisent le phosphore dans le sol (ou dans l'eau, pour les plantes aquatiques). Aussi, pour comprendre le rôle du phosphore dans la nature mais aussi pour appliquer de pratiques agricoles adéquates, est-il important de connaître le comportement du phosphore dans le sol, comportement bien plus complexe que celui de l'azote ou du potassium. Les sciences agronomiques ont été axées depuis plusieurs décennies vers la connaissance de ce comportement. On connaît actuellement le cycle que subit le phosphore dans et hors du sol.

En outre, on sait que le phosphore est naturellement très peu abondant dans le sol, que les apports extérieurs sont négligeables, que les pertes et exportations peuvent par contre être très importantes.

Pour avoir des récoltes conséquentes, suffisantes pour nourrir la population et même avoir du surplus pour aider les pays déficitaires, donc pour exporter, il faut augmenter la quantité de phosphore à la disposition de la plante : c'est le rôle des engrais phosphatés.

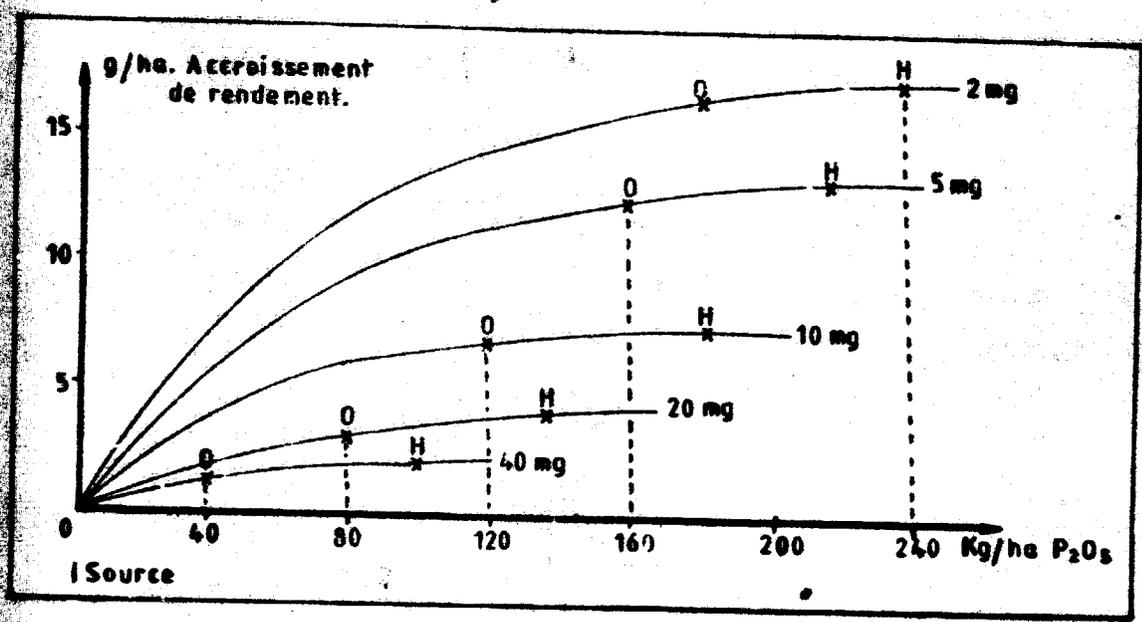
III.4.1.3. - Les engrais phosphatés dans l'agriculture

Les engrais en général, les engrais phosphatés en particulier, augmentent les récoltes sur les sols à fertilité intrinsèque faible ou nulle. Mais les engrais phosphatés améliorent également la qualité biologique des produits. L'importance du phosphore dans le métabolisme végétal est telle que non seulement la plante pousse d'une végétation insuffisante en phosphore (le rendement diminue, la résistance aux maladies diminue ...) mais le consommateur en souffre aussi plus ou moins directement (le squelette, les fonctions de reproduction ...). Les fonctions intellectuelles chez l'homme portent la trace de la carence en phosphore des plantes entrant dans son alimentation.

Les quelques résultats ci-après montrent l'importance du phosphore dans l'augmentation des rendements.

Règle générale

La réponse à une fertilisation phosphatée est meilleure sur les sols mieux pourvus :



Accroissement de rendement en cas d'application de doses progressivement croissantes dans les sols ayant différentes teneurs en P (2, 5, 10, 20 et 40 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), toutes choses égales par ailleurs

O : Optimum économique      H : Rendement maximum

On constate que l'apport de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> augmente bien le rendement et que la pente des courbes de réponse est d'autant plus grande que le sol est plus pauvre en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Centre d'Etude et de Réalisation  
 pour le Développement Industriel  
 S. R. D. I.

L'action du phosphore sur le rendement est d'autant plus marquée que le sol a une teneur élevée en matière organique et qu'il bénéficie d'une bonne structure.

Il est possible de corriger certaines déficiences physiques du sol en augmentant la dose de phosphore apportée :

Les sols trop lourds, c'est-à-dire à forte teneur en argile exigent l'apport de fumure phosphatée plus importante.

### À Madagascar

Un nombre important d'essais et expérimentations ont été menés par l'IRAT sur différents sols du territoire pour appréhender et pour l'industrialisation de la fertilisation des sols malgaches. S. E. R. D. I.

Nous rappelons ici quelques essais sur riz irrigué et sur maïs, arachide, riz pluvial, fourrages (J. Velly et P. Roche)

#### 1. - Riz irrigué

1.a. Point d'essai d'Ambohibery Sambaina, sur sol hydromorphe organique à gley.

Variété Rojofotey 1285, apport d'azote et potassium identique.

(Rendement en paddy en Kg/ha)

TRAITEMENT	1966	1967	1968	1969	1970
	1967	1968	1969	1970	1971
P.0.	3.444	3.601	4.112	3.251	2.627
P.100	3.525	4.832	4.775	3.407	3.477
P.200	4.193	4.654	4.907	3.755	3.832
P.300	4.483	5.082	5.318	3.921	4.090
P.400	3.851	4.400	6.020	4.151	4.284
P.1.000	3.845	4.309	6.420	4.481	5.062
C.V. %	13,5	10,4	9,3	14,2	13,6
P.P.D.S. à					
5 %	630	556	583	646	633

Le tableau montre l'évolution des rendements en fonction d'un apport croissant en phosphore et de toutes choses égales par ailleurs. Pour la Dáv. même y a pour chaque campagne des différences très hautement significatives dues aux doses de Phosphore apportées. Pour les 2 premières années, on observe une réponse jusqu'à la dose de 300 kg de  $P_2O_5$ . L'arrière-effet est net pour les doses de 400 et 1.000.

L'effet du phosphore sur le rendement en paddy est donc indéniable, il s'agit d'apprécier la rentabilité économique des doses apportées.

I.b. - Point d'essai de Belanitra, sol hydromorphe minéral sur alluvions récentes, micacées.

Variété cultivée I.632, apport de 150 kg d'azote et 90 kg de K2O à l'hectare. Rendement en paddy kg/ha.

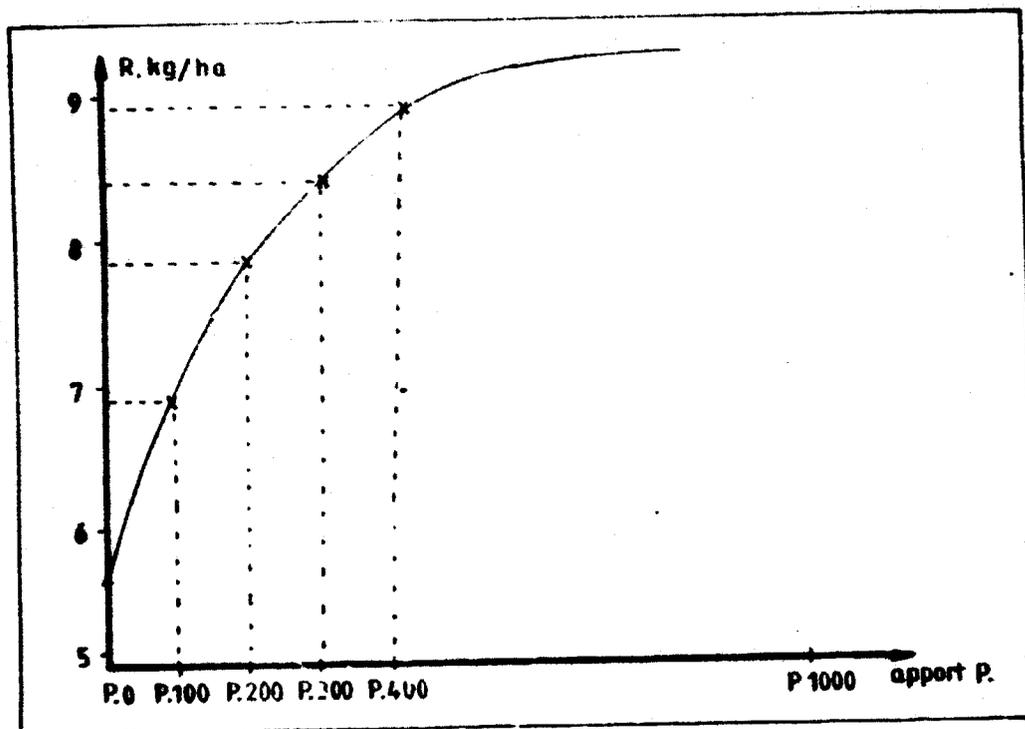
TRAITEMENT	1967	1968	1969	1970	1971	1972
	1968	1969	1970	1971	1972	1973
P.0	6.944	5.911	5.713	5.060	3.404	4.687
P.100	7.358	8.647	7.639	6.152	3.533	5.019
P.200	8.052	10.136	8.937	6.729	4.138	5.540
P.300	8.234	11.045	9.516	7.472	4.982	5/853
P.400	8.061	10.987	10.896	7.874	5.565	6.971
P.1.000	8.424	11.417	10.732	9.058	6.820	8.056
C.V. %	9,8	6,7	10,5	7,2	13,2	10,2
PPS 5 %	916	725	1.034	582	713	254

Il y a pour chaque campagne des différences très hautement significatives entre les traitements.

Notons que la campagne 1971-1972 a donné des rendements anormalement bas, en raison d'une forte attaque de borers.\* On ne peut qu'insister sur l'importance des pesticides pour rentabiliser les apports de fertilisants. Le graphique suivant représente l'évolution des rendements moyens sur cinq (5) campagnes (1971-1972 exclus)

P.0	: 5.663	P. 300	: 8.424
P.100	: 6.963	P. 400	: 8.958
P.200	: 7.879	P. 1000	: 9.575

- \* (Le borer est un papillon dont la chenille, qui est mineuse est très nuisible au riz et au maïs pendant le stade chenille. Celle-ci en effet s'introduit à l'intérieur des tiges et est de ce fait difficile à détruire. On ne peut l'atteindre ainsi qu'avec des insecticides systémiques dont le principe actif est acheminé par la sève. Il existe à Madagascar deux principaux borers :
- le borer rose : *sesamia calamistis*
  - le borer blanc: *maliarpha separatella*
- Le borer blanc est le plus courant et le plus dangereux pour le riz).



Après la dose P.400, la courbe tend vers un palier.

Remarquons également que le rendement obtenu avec P.0 est déjà important, un bon rendement n'implique pas forcément l'absence de carence.

2. Cultures sur colline.

Société d'Etude et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel

2.a. Point d'essai de La Sakay, dans le Moyen Ouest, sur sol ferrallitique moyennement désaturé sur roches acides très pauvre en phosphore.

3ans de maïs, plante exigeante et épuisante

1an d'arachide

1an de soja-graine

TRAITEMENT	1965 - 66	1966 - 67	1967 - 68	1968 - 69	1969 - 70
	Maïs	Maïs	Maïs	Arachide	SOJA
P.0.	3.087	4.160	3.466	1.437	677
P.100	4.080	4.756	4.924	2.006	806
P.200	4.317	5.286	5.263	2.202	905
P.300	5.030	5.498	6.115	2.651	1.313
P.400	5.440	5.838	6.507	2.304	1.110
P.1000	5.320	5.569	6.741	2.951	1.768
C.V. %	20,2	16,0	12,9	12,6	12,5
P.P.D.S. %	1.096	1.102	847	338	163

L'arrière action des doses apportées est visible pendant toute la durée de l'essai, dès la troisième année, ou à une réponse jusqu'à la dose P.1.000. Evidemment l'obtention d'un bon rendement est conditionnée par une pluviométrie suffisante est bien respectée, mais que par la sauvegarde d'un bon état phytosanitaire.

Société  
 Pour le Développement  
 Agricole et Rural  
 de Madagascar

2.b. - Point d'essai d'Anketrakabe, près d'Antsiranana, sur sol ferrallitique brun sur basalte

- 2 ans de maïs local
- 1 an d'arachide
- 1 an de riz pluvial
- 1 an fourrage (*Pennisetum purpureum*).

TRAITEMENT	1944-1945 MAIS	1945-1946 MAIS	1946-1947 ARACHIDE	1947-1948 RIZ PLUVIA- LB	1948-1949 1 <sup>er</sup> coupe FOURRAGE	1949-1950 2 <sup>er</sup> coupe FOURRAGE	1950-1951 1 <sup>er</sup> coupe FOURRAGE	1951-1952 2 <sup>er</sup> coupe FOURRAGE
P.O.	2.119	2.979	1,203	2.839	9.330	7.708	8.476	8.351
P.80	4.024	4.810	1.565	3.330	15.119	9.717	9.113	9.557
P.160	4.218	5.991	1.683	3.541	18.765	10.134	10.074	9.753
P.240	4.360	5.980	1.928	3.473	17.396	10.417	9.366	9.274
P.320	4.607	6.520	1.928	3.779	24.395	12.193	10.266	9.853
P.640	5.003	7.541	2.089	3.934	31.622	12.840	10.413	9.923
C.V. %	5,2	7,4	12,2	10,2	33,0	14,3	15,8	14,4
P.P.D.S. 5 %	591	498	251	426	7.632	1.741	n.s.	n.s.

1.928  
 3.473  
 3.779  
 1.928

à première année, sur défriche, on observe déjà une réponse pour P<sub>80</sub>. La campagne suivante, la réponse est très nette jusqu'à la plus forte dose.

L'arrière effet sur le fourrage est encore intéressant, notamment sur la première coupe. Mais il s'affaiblit sur la deuxième coupe ainsi que sur la deuxième année de fourrage. La fumure apportée en 1964 n'agit plus et les rendements s'alignent sur la dose P<sub>0</sub>.

Ces quelques résultats sur les cultures vivrières et fourrages illustrent bien le rôle du phosphore dans l'obtention de rendement maximum optimum. C'est la rentabilité économique qui dicte la solution à adopter.

Ne pas apporter du tout d'engrais phosphatés, n'est pas recommandé, surtout devant la politique de "Stratégie alimentaire" adoptée par le gouvernement.

Service des études et de la formation  
C. E. R. D. I.

En cultures industrielles (café, coton, cacao, canne à sucre, tabac, poivre ...), les résultats sont encore plus probants: ces cultures valorisent bien l'apport d'engrais.

D'ailleurs à l'heure actuelle, ce sont les grandes plantations industrielles qui consomment plus de 70 % des engrais importés. Mais l'utilisation des engrais phosphatés est conditionnée par les conditions climatiques et pédologiques du milieu, que ce soit en quantité ou en qualité.

### 3. - Comportement des engrais phosphatés dans le sol

En première condition, il n'est pas nécessaire d'apporter des engrais si le bilan hydrique du sol n'est pas positif c'est à dire si l'alimentation en eau de la plante n'est pas assurée pendant une bonne partie du cycle végétatif, et pendant le remplissage des graines.

Par conséquent si la pluviométrie est déficiente, l'exploitant doit disposer d'un système d'irrigation d'appoint.

D'autre part, l'effet bénéfique que l'on attend des engrais ne doit pas être contrarié par l'action dépressive des ennemis de la culture. Ainsi l'exploitant doit-il être en mesure d'intervenir au moment voulu pour lutter contre ces ennemis (insectes, maladies, mauvaises herbes, autres prédateurs). C'est dans ces conditions seulement que l'apport d'engrais peut donner les résultats escomptés.

### .. Effets des propriétés du sol sur l'efficacité des engrais phosphatés

Les plantes absorbent le phosphore sous forme d'ions orthophosphate ( $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$ ) de la solution du sol. La vitesse d'absorption est, dans une certaine mesure, fonction directe de la concentration au voisinage immédiat des racines. L'absorption dépend donc beaucoup des processus de transfert dans le sol.

Grossomodo, deux processus peuvent être notés :

- Déplacement de la solution du sol, qui dépend notamment de l'absorption de l'eau par la plante ;
- agitation thermo-dynamique des éléments nutritifs qui conduit à un déplacement vers les zones de concentration plus faible.

Il ressort de là que le déplacement de la solution n'est qu'un moyen pour la plante d'absorber le phosphore. L'essentiel est qu'il doit y avoir une disponibilité en quantité suffisante de la phase liquide d'une part, d'autre part il faudra qu'il y ait une source de phosphore capable de fournir des ions phosphates rapidement et régulièrement.

Ainsi, les paramètres les plus importants du sol pour l'absorption de P par la plante sont :

- la concentration en ions phosphates de la solution du sol
- la vitesse de diffusion des ions phosphates
- la capacité de la phase solide à approvisionner en ions phosphates la solution du sol au fur et à mesure de la diminution de la concentration par l'absorption de la plante.

A. - Influence du pH et de différents cations

Le phosphore inorganique de la phase solide peut être rencontré dans le sol sous 2 natures :

- sels ou minéraux assez solubles
- ions phosphates absorbés sur les positions d'échange de la fraction argileuse

Société de Recherche  
 Pour le Développement Industriel  
 S.E.R.D.I.

Sur les sels partiellement solubles, les principaux cations responsables de la rétention du P dans le sol sont l'aluminium ( $Al^{3+}$ ), le Fer ( $Fe^{3+}$ ) et le calcium ( $Ca^{2+}$ ) les autres cations ont une importance mineure.

En simplifiant les systèmes avec P inorganique peuvent être présent dans le sol.

<u>Phase solide</u>	<u>Solution</u>
Phosphate aluminique	$Al_2 PO_4 . 2H_2O \rightleftharpoons Al^{3+} + H_2 PO_4^- + 2OH^-$
Phosphate ferrique	$Fe_2 PO_4 . 2H_2O \rightleftharpoons Fe^{3+} + H_2 PO_4^- + 2OH^-$
Phosphate dicalcique	$Ca_3 PO_4 \rightleftharpoons Ca^{2+} + HPO_4^{2-}$



C. - Influence des caractéristiques minérales du sol

Conformément aux précédentes explications, les sols dérivés de minéraux riches en Aluminium et Fer et pauvres en Calcium et Mg naturellement ou par la suite d'attraction, sont normalement pauvres en phosphore et le fixent fortement. Le pouvoir fixateur diminue lorsque Ca et Mg augmentent en teneur dans le sol.

D. - Influence de la matière organique

La matière organique augmente la solubilité du P dans le sol :

- certains ions organiques peuvent occuper, à la place des ions phosphates, des sites d'échange sur le complexe absorbant du sol;
- des anions organiques peuvent former avec  $H_2PO_4^-$ ,  $Fe^{3+}$ , et  $Ca^{2+}$  des complexes qui réduisent la précipitation des phosphates;
- certains acides organiques peuvent provoquer la dissociation des sels minéraux de phosphates, en libérant en solution des ions orthophosphates.

La matière organique elle-même contient du P, sa minéralisation par décomposition par les micro-organismes libère des ions orthophosphates dans la solution du sol.

E. - Influence de l'humidité

Comme seuls les ions phosphates sont immédiatement assimilables, une certaine humidité est nécessaire pour le processus de diffusion et d'absorption. L'humidité peut agir également sur le potentiel d'oxyde-réduction en réduisant  $Fe^{3+}$ , en  $Fe^{2+}$  qui a un pouvoir de précipitation moins fort vis-à-vis des ions phosphates que le premier.

Direction de l'Exploitation  
des mines et de l'Industrie  
des phosphates  
pour le Développement  
S. E. R. D. I.

## F. - Influence de la température

La température influe, comme on doit s'y attendre, sur les réactions biologiques et chimiques du phosphore, il en est de même pour l'agitation thermo-dynamique des éléments nutritifs.

Ainsi le sol doit avoir une certaine humidité, les <sup>composés</sup> phosphatés du sol une certaine solubilité.

Généralement les ions phosphates, s'ils se trouvent en dehors de la zone d'action des racines, ont une forte tendance à réagir avec les constituants du sol pour former des composés relativement insolubles, plus ou moins inassimilables pour les plantes.

Les facteurs les plus importants qui contrôlent la solubilité et l'assimilation du phosphore au sol sont le pH de la solution du sol, la teneur en  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , la teneur et la nature de la matière organique, le bilan hydrique du sol. Les engrais qui contiennent une forte proportion de phosphate sous forme soluble dans l'eau ont un effet immédiat plus élevé que les autres. Toutefois, il y a certaines cultures et certaines conditions de sols pour lesquelles les formes peu solubles dans l'eau se comportent aussi bien ou même <sup>mieux</sup> que les formes solubles.

Les formes moins solubles se comportent mieux en sol acide qu'en sol légèrement acide ou neutre.

Il est donc très important de prendre en considération tous ces facteurs dans le choix des engrais phosphatés à recommander.

### III.4.2. - Phosphorites des Iles Zarren

Vers 1975 le Gouvernement Malgache a demandé non seulement une étude approfondie des gisements, mais également des essais agronomiques sur l'efficacité de ces matériaux en tant qu'engrais phosphatés.

#### III.4.2.1. - Données analytiques sur la caractérisation chimique et minéralogique

Si l'on se réfère aux ~~autres gisements~~ gisements de phosphates naturels existant en Afrique, ceux des Iles Zarren présentent certains avantages, comme le montrent les tableaux ci-après :

(Pourcentage par rapport au minerai).

**ANNEXES PLAINES PAR ILS/QUARTS - RECAPITULATIF DE L'INVESTISSEMENT EN DOLLARS US**

PAYS	CEMENT	Ca	K	Ma	Mg	Po	Al	Si	F	N	CO2	CL
Afrique du												
MOZO	22,8	0,075	0,141	1,000	3,775	1,30	2,68	-	6,95	0,912		
HAUTE VOLTA	34	0,040	0,138	0,32	4,050	0,768	3,60	-	1,50	0,085		
Kodjari	32	0,119	0,605	1,000	0,375	0,488	3,20	-	1,36	0,045		
TOGO	22,8	0,195	0,092	0,33	0,175	1,788	3,20	-	1,36	0,316		
NIGER	32,0	0,164	0,096	1,175	0,575	0,575	3,36	-	1,50	0,054		
SENEGAL	32	0,016	0,057	0,075	0,775	0,575	3,36	-	1,64	0,204		
MALI	30,8	0,041	0,075	0,210	0,865	6,513	2,60	-	3,14	0,168		
MADAGASCAR	31,15	0,025	0,18	0,18	0,590	0,16	0,66	0,112	0,164	5,98	0,26	
MOY ANDROTRA	33,1	0,030	0,23	0,50	0,490	0,18	6,75	0,078	0,195	28,56	0,59	
MOY LAVA	31,25	0,035	0,16	0,74	0,275	0,18	0,64	0,134	0,130	35,34	0,08	
MOY MARCANTALEY	31,87	0,060	0,24	0,67	0,380	0,18	0,94	0,080	0,132	31,52	0,60	

Office of the  
 Director of  
 the  
 U.S. Agency for  
 International  
 Development  
 Washington, D.C.

PAYS	GISEMENTS	P TOTAL EN % DU MINERAL	P SOLUBLE EXPRIME EN % DU P TOTAL		
			Citrate	Acide nitrique	Acide formique
Afrique du SUD	Bono	13,19	25,95	44,05	91,58
Haute Volta	Ardi	13,45	6,99	24,45	49,29
	Ko-djari	13,16	8,02	24,55	48,48
Togo	Anocho	15,49	4,82	21,30	40,95
Niger	Tahona	15,07	8,85	20,57	36,10
Sénégal	Taika	15,95	5,46	21,38	41,57
Mali	Tilensi	13,52	38,46	61,21	
Madagascar	. Noy Andrano	12,54	19,84	70,45	78,81
	. Noy Androtra	4,25	18,00	63,87	77,40
	. Noy Lava	14,09	35,81	86,75	100,00
	. Noy Maroanly	3,33	19,71	82,87	95,95

Société d'Etude et de Réalisation  
 Pour le Développement Industriel  
 S.E.R.D. 13,52

En ce qui concerne les phosphorites de Madagascar, les teneurs en calcium sont homogènes, mais la teneur en carbonates paraît très élevée, indiquant une forte substitution  $CO_3^{2-}$  par  $PO_4^{3-}$ . Les teneurs en  $F$ ,  $Li$ ,  $F$  et  $Cl$  sont faibles, ce qui diminue avantageusement les risques de phytotoxicité.

Pour le phosphore, le tableau ci-dessus nous donne, comparée aux autres phosphates naturels d'Afrique, la teneur totale ainsi que les fractions solubles dans les réactifs admis comme référence tel que le citrate, l'acide citrique et l'acide formique.

Les teneurs en P des gisements des Iles Andrano et Nosy Lava sont comparables à celles des gisements d'Afrique, seules les Nosy Androtra et Maroantaly accusent des teneurs nettement plus faibles.

En outre la solubilité des phosphorites de Madagascar dans les 3 réactifs de référence est bien plus élevée que celle des phosphates d'Afrique, seul l'Hyper Reno d'Afrique du Nord leur est comparable. Nous verrons d'ailleurs l'importance de ces caractéristiques dans les essais agronomiques. La solubilité dans l'acide formique est nettement supérieure au 55 %, seuil fixé par la CEE, les gisements de Nosy Lava et Maroantaly atteignant 95 à 100 %. Dans ces conditions les phosphorites de Madagascar peuvent être utilisées telles qu'elles, sans autre traitement.

Des analyses effectuées par le S.E.R.D.I. en 1979 sur un lot de phosphorites ramené des Iles Barren ont montré l'importance du broyage sur la teneur en  $P_2O_5$  total extrait. Le tableau ci-dessous donne le  $P_2O_5$  extrait en fonction de la finesse du broyage (en % de la matière sèche).

N° tamis	N. Total	P O total	K2O	CaO	MgO
70	0,17	24,18	traces	50,40	1,09
80	0,17	26,20	-	50,96	0,72
100	0,17	28,02	-	50,68	0,72
120	0,16	28,21	-	50,96	1,09
140	0,16	28,31	-	50,96	1,09
150	0,20	29,30	-	50,68	1,09
200	0,20	29,68	-	50,96	1,09
300	0,19	30,04	-	50,96	1,15

Quelle que soit la finesse du broyage, les teneurs extraites en azote, CaO et MgO varient très peu. Par contre une granulométrie plus fine donne une quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> plus élevée.

A partir du tamis 140, cette quantité reste constante. Le passage au tamis 140 au 150 nous paraît donc tout indiqué pour l'utilisation des phosphorites en fumure d'entretien. En outre les résultats consignés dans le précédent tableau confirment la forme calcique de nos phosphates naturels, probablement tricalcique.

Des échantillons ramassés par le FO.FI.FA en 1976, de Maroantaly ont été analysés et ont donné les résultats consignés ci-après :

- Minéral blanc crème homogène, échantillon A
- concrétion grisâtre hétérogène, échantillon B

	<u>A</u>	<u>B</u>
CO <sub>2</sub> Ca	93 %	27 %
Matières organiques	-	1,5 %
Carbone	-	0,9
Azote total	-	0,08
C/N	-	11,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,6	27,6
(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub>	3,5	60,3
H <sub>2</sub> O	1	4,5

Laboratoire National de Chimie et de Biologie  
 pour l'Agriculture et l'Industrie  
 D. I. Durand

	<u>A</u>	<u>B</u>
Insoluble	3	7,9
SiO <sub>2</sub>	0	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,18
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02
K <sub>2</sub> O	0,10	0,15
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,40
MgO	0,07	0,45

Le matériel A serait une calcaire pure, très légèrement phosphatée, donc sans intérêt agronomique.

Le matériel B serait un phosphate tricalcaire encore jeune car contenant un peu de matières organiques et traces d'azote.

D'après ces données analytiques, le matériel B serait de même nature que ceux rencontrés dans les gisements des îles Europa et Juan de Nova.

En conclusion, on peut dire que les gisements de phosphorites des îles Barren présentent un intérêt économique certain tant en quantité qu'en qualité, en comparaison avec les gisements africains déjà épuisés ou en cours d'exploitation. Le problème qui se pose serait l'hétérogénéité de la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aussi bien entre les îles qu'au sein d'une même île.

Société d'Études et de Réalisation  
pour le Développement Industriel  
S. E. R. D.

Pour mieux connaître la répartition des teneurs en  $P_2O_5$  dans les gisements des 4 files, il y a lieu de reprendre une étude de détail en effectuant des rayons croisés assez serrés, faire des prélèvements pour analyse à chaque croisement. On établira ainsi une carte à une échelle la plus adéquate possible sur les teneurs en phosphore et sur l'épaisseur de la couche exploitable. On procédera également donc à des dosages de  $P_2O_5$  à différentes profondeurs. Sans ces connaissances précises, il est difficile d'évaluer les réserves et d'élaborer un planning d'exploitation au cas où celle-ci s'avère effectivement rentable".

#### III.4.2.2. - Essais agronomiques

Dans le cadre de programmes de recherches de ressources locales en fertilisation, fixés par le Ministère de l'Agriculture, des essais agronomiques ont été menés sur les phosphorites des files Barren et sur les guanos de 1975 à 1980, interrompus en 1978 (FOFIFA).

Les résultats obtenus de ces expérimentations fort intéressantes sont relatés dans le présent chapitre. Ces essais ont été menés aussi bien en vase de végétation que sur terrains avec divers types de sol.

##### 1. - Essais en vases de végétation

L'essai consiste à fertiliser des terres mises dans des pots, y planter du ray-grass par exemple et comparer l'assimilation en P. Il y a été utilisé des phosphates naturels d'Afrique, et de Madagascar comparés au Supertriple tous contenant la même quantité de  $P_2O_5$ .

PROSTATES	REPERCENTION EN P POURCENTAGE (%)		CONFIGURENT D'ASSIMILABILITE	
	1 <sup>er</sup> coupe	Somme des coupes	1 <sup>er</sup> coupe	Somme des coupes
	Supertriple	100	100	100
Bano	82,75	92,55	82	91
Beljari	7,65	42,18	4	34
Andi	9,90	48,26	7	41
Takona	26,85	61,21	24	56
Taliba	16,78	52,62	14	46
Tilensi	59,22	82,80	57	79
Témoïn	11,72	11,72		
Moay Andrano	101,53	103,14	106	104
Moay Lava	121,24	137,58	129	152
Moay Androtra	113,60	115,70	118	122
Moay Maroantaly	116,47	118,30	122	125

Société d'Etude de Réalisation  
 Pour le Développement Rural  
 3804 R. O. L.

Les phosphorites de Madagascar sont équivalents au moins au Supertriple et largement supérieurs à l'Hyper-Reno et aux phosphates d'Afrique.

Notons que le sol testé est un sol ferrallitique désaturé sur roche basaltique d'Ambohimandroso.

L'assimilation du P des phosphorites malgaches est excellente et presque totale dès la première coupe.

Les phosphorites malgaches semblent donc tout indiquées pour les plantes à cycle court qui doivent absorber les éléments nutritifs dans un délai assez court.

2. - Essais aux champs

Deux types principaux d'essais ont été menés :

- formes d'engrais aux mêmes doses de  $P_{205}$
- formes d'engrais à doses différentes de  $P_{205}$

2.a. - Formes d'engrais aux mêmes doses de  $P_{205}$

Les essais ont été menés dans les zones suivantes :

- sur tanety, avec culture de maïs, sol ferrallitique
 

Antaboaka	: station	1
Betsizaraina	:	2
Ambohitrakoho	:	3
Ambatolahimavo	:	4
Ibaoka	:	5

- sur rizière, avec culture de riz, sol hydromorphe

Société d'Etudes et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. E. I.

**PRODUCTIVITE TOTALE EN 3 ANS**

Station	1	2	4	5	Moyen- ne
H. R.	46,98	22,32	-10,07	35,17	23,61
Polyphos	26,30	18,18	-29,05	-	5,15
Phosphorite	41,17	45,66	- 9,47	30,55	26,98

**POURCENTAGE PAR RAPPORT A H.R.**

Station	1	2	4	5	Moyen- ne
Polyphos	55,98	81,45	-	-	68,71
Phosphorite	87,63	204,56	-	86,86	126,35

**POURCENTAGE PAR RAPPORT A POLYPHOS**

Station	1	2	4	5	Moyen- ne
Hyper-Reno	178,63	128,71	-	-	150,7
Phosphorite	156,53	251,15	-	-	203,84

Service d'Etude et de Répartition  
 pour le Développement Industriel  
 S. F. R. D. I.

ont été comparés : l'Hyper-Reno, Polyphos et phosphorite pour le maïs, la productivité totale en 3 ans est consignée dans le tableau ci-dessus, la station d'Ambohitrakoho n'a pas donné de résultats interprétables.

Ces chiffres montrent bien la supériorité des phosphorites par rapport au polyphos, et suivant les endroits également supérieurs à l'Hyper-Reno, en cultures pluviales sur le sol ferrallitique.

**PRODUCTIVITE TOTALE EN 3 ANS**

Station	1	2	3	4	5	Moyen- ne
Hyper-Beno	1,34	9,36	18,1	5,02	17,48	10,26
Polyphos	8,82	14,45	-	1,56	2,69	2,47
Phosphorite	10,07	30,42	16,48	18,44	7,50	16,58

Sans remarques la nette supériorité des phosphorites

**POURCENTAGE PAR RAPPORT A H.B.**

Station	1	2	3	4	5	Moyen- ne
Polyphos	-	154,38	-	31,07	15,07	66,94
Phosphorite	751,49	325	91,04	367,33	42,90	315,55

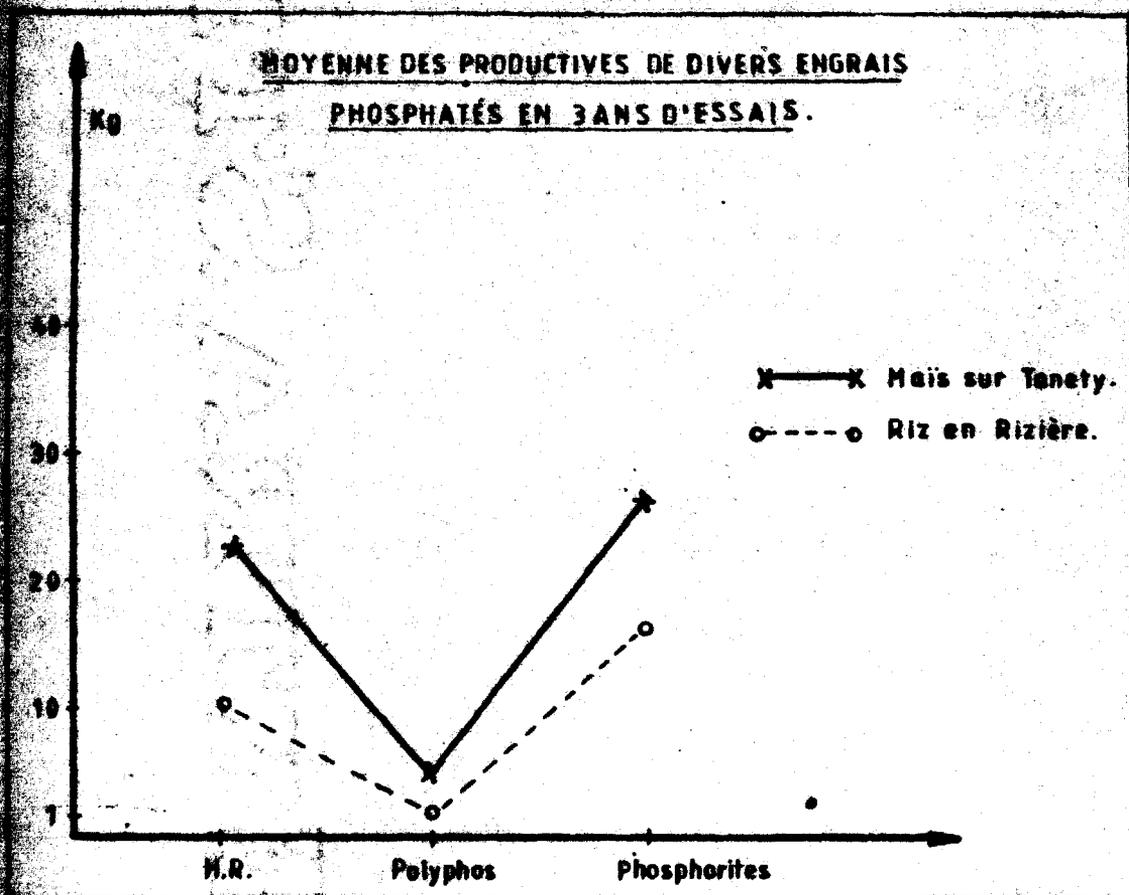
Société d'Etude et de Réalisation  
 pour le Développement Industriel  
 S. E. R. D. I.

**POURCENTAGE PAR RAPPORT A POLYPHOS**

Station	1	2	3	4	5	Moyen- ne
Hyper-Beno	-	64,77	-	321,79	649,81	345,46
Phosphorite	-	210,51	-	1182,03	278,83	557,12

En ce qui concerne la riziculture sur sol hydromorphe, les chiffres ci-dessus ont été relevé dans les mêmes stations.

La supériorité des phosphorites dans les rizières est encore plus flagrante.



Le graphique ci-dessus n'est que le reflet des résultats des essais sur 3 années, en utilisant des formes différentes d'engrais aux mêmes doses de P2O5.

### 2.b Formes d'engrais et doses différentes de P2O5.

La comparaison a été faite entre l'hyper Reno et les Phosphorites dont l'efficacité semblait similaire. L'objectif est de voir jusqu'à quelle dose de phosphore sous les deux formes (hyper-Reno HR et phosphorites PH) pourrait-on tirer profit des éléments P2O5.

- dispositif : Bloc de Fischer à 4 répétitions

- traitements

- T0 : témoin absolu
- T1 : NK (90-60)
- T2 : T1 + 120 PR) tous les 2 ans
- T3 : T1 + 120 PR)
- T4 : T1 + 240 PR = arrière effet
- T5 : T1 + 60 PR = tous les ans

<u>Localité</u>	<u>Culture</u>	<u>Cycle</u>	<u>Pluviométrie moyenne</u>	<u>Nombre de j.</u>
Ampongabe	maïs 383	180 j	1.309 mm	103
Mahitay	riz 1285	175 j	960 mm	58

Résultats

Maïs à Ampongabe : rendements

<u>Année</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
T0	1.114	871	172	99
T1 (NK)	1.184	1.182	183	363
T2	1.831	2.537	994	1.338
T3	2.023	2.438	837	1.476
T4	1.815	3.329	1.664	2.352
T5	2.154	1.938	710	884
% CV	60,02	22,82	26,99	29,04

traitements THC

**PRODUCTIVITE DE L'UNITE FERTILISANTE**

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 4 <sup>e</sup> année	99	363	1.338	1.476	2.052	884
Pourcentage d'augmentation par rapport à T0	100	366	1.351	1.490	2.078	892
Pourcentage d'augmentation par rapport à T1	27	100	368	466	647	244
Productivité						
Année 1	-	-	5,39	7,03	2,62	16,17
Année 2	-	-	11,28	10,46	8,94	12,58
Année 3	-	-	6,71	5,40	6,14	8,68
Année 4	-	-	8,13	9,28	8,29	8,68
Somme de productivités en 4 ans	-	-	31,51	32,17	25,90	46,11

On constate la similarité de T2 et T3 mais T3 > T2

T4 donne la productivité la plus faible

T5 donne la productivité la plus élevée

On peut dire qu'à dose égale, P1 donne le meilleur rendement, qu'il n'est pas économiquement rentable d'utiliser les phosphorites en fumure de fond, mais qu'en fumure d'entretien, les phosphorites s'avèrent très efficaces et économiquement rentables.

**RELA BILITEZ : RENDIMENTS**

Année	1	2	3	4
T0	2.431	2.725	3.445	4.488
T1 (MK)	3.806	4.647	5.072	4.488
T2	3.962	5.166	5.166	4.646
T3	4.056	4.963	5.084	4.523
T4	4.529	5.329	5.309	4.789
T5	3.892	4.866	5.086	4.588
% CV	5,21	5,33	8,0	7,89
TRAITEMENTS	RS	TBS	RS	S

**PRODUCTIVITE DE L'UNITE FERTILISANTE**

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 4 <sup>e</sup> année	3.638	4.486	4.646	4.523	4.789	4.588
% augmentation par rapport						
T0	100 <sup>2</sup>	123 <sup>2</sup>	128 <sup>2</sup>	124 <sup>2</sup>	132 <sup>2</sup>	126 <sup>2</sup>
T1	81 <sup>2</sup>	100 <sup>2</sup>	104 <sup>2</sup>	101 <sup>2</sup>	107 <sup>2</sup>	102 <sup>2</sup>
Productivité						
Année 1			1,30	2,08	3,01	1,43
Année 2			5,16	2,63	2,84	3,65
Année 3			0,61	0,10	0,99	0,23
Année 4			1,33	0,31	1,26	1,70
Somme des productivité en 4 ans			8,40	5,12	8,06	7,01

En rizière, l'efficacité des phosphorites à Mahitsy est inférieure à celle de l'hyper Reno, mais par contre en arrière effet, ils sont plus stables. Ici encore les phosphorites en fumure d'entretien restent avantageuses.

Dans ce qui suit, nous comparons l'hyper Reno et les phosphorites à deux doses différentes sur tanety et en rizière.

2.c. - Comparaison Hyper Reno et Phosphorites à 2 doses

Le but est d'apprécier les arrière effets des HR et PH à 2 doses différentes.

Société d'Etude et de Recherche  
en Développement Rural  
S.E.R.D.I.

Traitements :

- T0 : Témoin absolu
- T1 : HK (30 - 60)
- T2 : HK + 30 HR )
- T3 : HK + 60 HR ) arrière effet
- T4 : HK + 30 PH )
- T5 : HK + 60 PH )

Essais sur 3 ans dans les stations d'Antaboaka et Ambohitrakoho sous cultures de maïs et de riz.

Résultats sur maïs

A. - Antaboaka (Arivonimamo), sur sol ferrallitique moyennement désaturé.

Année	1	2	3
T0	1.607	1.814	2.802

Année	1	2	3
T 1	2.781	2.375	4.041
T 2	2.875	2.670	4.984
T 3	4.063	2.913	4.984
T 4	2.759	2.772	5.523
T 5	2.873	2.988	5.927
\$ CV	8,37	12,79	20,69
TRAITEMENT	T 1 8	13 à 5 %	8
		8 à 1 %	

**PRODUCTIVITE DE L'UNITE FERTILISANTE**

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 3 <sup>e</sup> année	2.802	4.041	4.984	4.984	5.523	5.927
\$ par rapport						
T0	100	144	178	178	197	212
\$ par rapport						
T1	69	100	123	123	137	147
Productivité P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	943	943	1.482	1.886
Productivité l'unité						
Année 1			6,47	4,70	0,73	1,53
Année 2			11,17	9,63	14,60	10,88
Année 3			31,43	15,72	49,4	31,43
Somme			49,07	30,05	63,27	43,84

Sur sol ferrallitique moyennement désaturé, la mobilisation du P se fait petit à petit mais croissant ; contrairement au sol ferrallitique fortement désaturé, lessivé, où le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du phosphorite se libère d'une manière constante ceci dès la première année.

3. - Ambohitrakoha : sol ferrallitique fortement désaturé.

Année	1	2	3
TD Kg/ha	580	497	130
T1	576	328	261
T2	929	653	992
T3	1.148	1.196	753
T4	980	1.068	415
T5	953	1.241	805
% PV	15,46	24,2	28,78
TRAITEMENT	HS	S à 1%	HS à 5%
			HS à 1%

**PRODUCTIVITE DE L'UNITE FERTILISANTE**

	TD	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 3 <sup>e</sup> année	120	261	392	753	415	805
% par rapport						
TD	100	218	327	611	346	671
T1	46	100	150	281	159	308
Productivité l'unité P2O5	-	-	131	472	154	544

Le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de HR aussi suit le même processus dans ce type de sol.

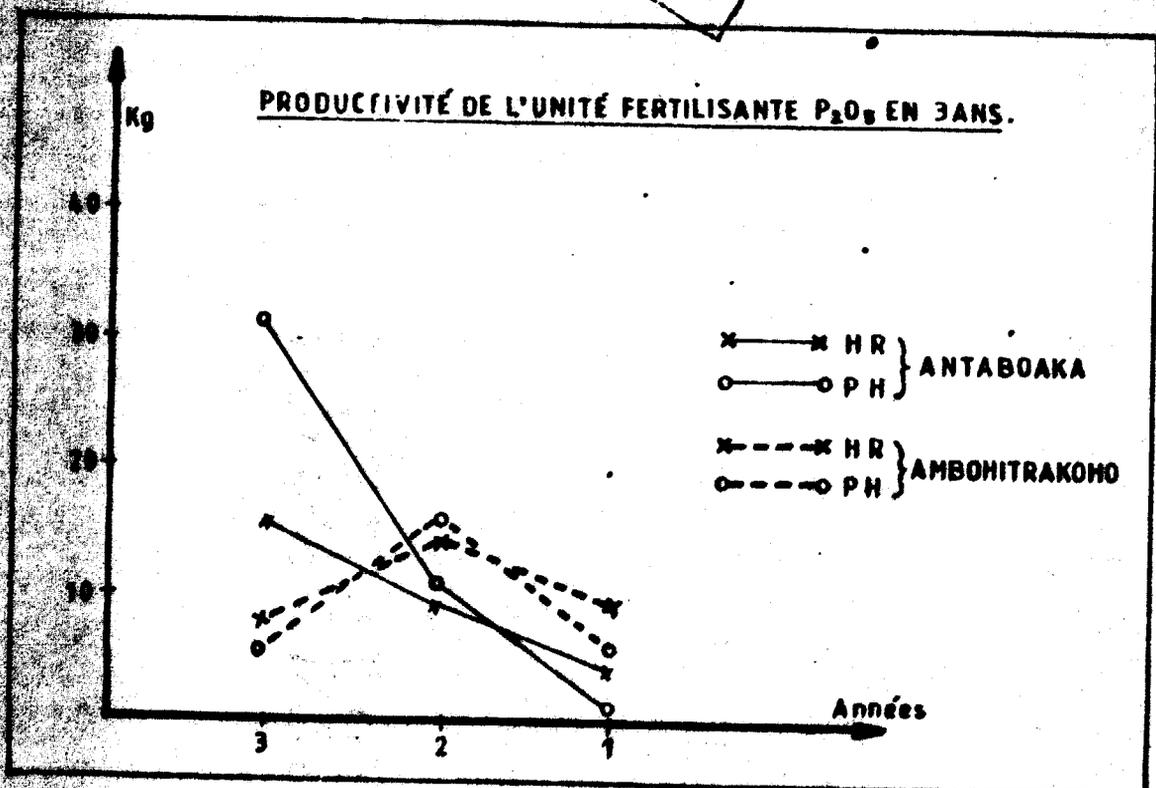
Comparés à HR, le phosphorite est plus avantageux déjà après deux ans de culture, le temps au P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le phosphorite de commencer à être libérés.



	<u>ANTABOAKA</u>	<u>AMBOHITRAKONO</u>
<b>MEAN PRODUCTIVITY</b> <b>IN 3 YEARS</b>	HR 39,56	29,42
	PH 53,56	34,21
<b>% OF PRODUCTIVITY</b> <b>BY RATIO A</b>	HR 100	100
	PH 135	116

**Le phosphore est plus efficace.**

S. I. de et de  
 le Développement  
 S. E. R. D. I.



**Résultats sur riz**

L. - J.F.R. & K.

Année	1	2	3
T0 Kg/ha	3.425	3.721	3.552
T1	4.245	4.633	4.634
T2	4.405	4.675	4.718
T3	4.859	5.071	4.460
T4	5.099	4.887	4.849
T5	5.289	5.085	4.749
% CV		9,76	11,17
TRITEMENT		8 à 5 %	8 à 5 %

Société d'Etude et de Développement  
 Pour le Développement Industriel  
 S. E. D. E.

**Productivité de l'unité fertilisante**

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 3 <sup>e</sup> année	3.552	4.634	4.718	4.460	4.849	4.749
% par rapport						
T0	100	130	133	126	135	134
T1	77	100	102	96	105	102
PRODUCTIVITE						
P2 05	-	-	84	- 174	215	115
PRODUCTIVITE L'UNITE						
Année 1	-	-	11,67	11,9	31,8	18,72
Année 2	-	-	1,4	7,3	8,47	7,53
Année 3	-	-	2,8	- 2,9	7,17	1,92

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
RENDRE PRODUCTIVITE			15,87	16,3	47,44	28,17
MOYENNE			16,09		37,81	
EFFORT			100		235	

La supériorité des phosphorites n'est pas discutable dans ce cas de sol hydromorphe même dès la première année.

**B. ASSURANCE**

Année	1	2	3
10 Kg/ha			
T1	3.842	3.778	4.054
T2	4.068	4.040	3.766
T3	4.428	4.449	4.288
T4	3.990	4.047	3.825
T5	4.220	4.315	4.268
% CV	5,04	6,89	11,92
TRAITMENT	H8	H8	H8

Swiss d'Etude et de Recherche  
 Pour le Développement Industriel  
 S. A. E. R. D. I.

**PRODUCTIVITE DE L'UNITE FERTILISANTE**

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendement Kg/ha 3 <sup>e</sup> année	2.552	4.054	3.766	4.288	3.825	4.268
% par rapport à T0	100	114	106	121	108	120
T1		88	100	93	106	94
T2			100	106	94	105

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Productivité P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	288	254	229	214
Productivité l'unité						
Année 1			4,25	8,12	1,63	4,82
Année 2			8,75	11,18	8,97	8,95
Année 3			9,6	3,9	7,63	5,57
Moynne sur 3 ans			3,36	25,2	2,97	17,34
Hyperne				13,28		10,16
Rapport				100		77

Société d'étude et de Ré-Etallon  
 Pour le Développement Industriel  
 S. R. D. I.

Sur sol léger, plus ou moins médiocre, l'arrière-effet du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se ressent en 2<sup>e</sup> année pour chuter en 3<sup>e</sup> année.

L'emploi du phosphorite sur ce type de sol est nettement moins avantageux.

Dans l'ensemble des essais, sauf pour le dernier cas cité, les phosphorites de Barren se comporteraient de façon plus efficace que l'Hyper Reno qui est l'engrais phosphaté de référence et le plus indiqué pour les sols acides. En arrière effet, ils gardent également cette supériorité.

En regard aux quantités potentielles de nos gisements, les phosphorites trouvent leur champ d'application dans les sols des Hautes Terres. Notons que dans les conditions de ces essais, une unité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rapporte jusqu'à 8 à 10 kg de maïs et 6 à 18 kg de paddy.

Pour les autres régions et les autres types de sols, les recherches doivent être poursuivies, mais nous pensons sans prendre trop de risque que les phosphorites peuvent être utilisées également sur les "baiboko" et les sols ferrugineux tropicaux de l'Ouest.

Utilisé seul et tel qu'il est sans autre traitement, le phosphorite doit être broyé assez finement, le passage au tamis 200 AFIOR serait à conseiller, quitte à le présenter sous forme granulée ou en paillotte après.

Dans ces différentes expérimentations, seul le gano des grottes surpasse le phosphorite, car il contient de la matière organique bien évoluée.

D'ailleurs des expériences ont montré que les phosphorites sont encore plus efficace quand on les associe à une fumure organique à base de fumier de ferme. Cette propriété nous permet de proposer dans les prochains chapitres une formulation possible sur l'utilisation des phosphorites.

#### III.4.2.3. - Conclusion

Comparés aux phosphates naturels des pays africains, les phosphorites des îles Barren présentant du point de vue chimique des qualités avantageuses ; ils sont même plus riches en Ca que le Reno de l'Afrique du Nord, contiennent dix fois moins de Fe, très peu d'Al, F et Cl.

En ce qui concerne le phosphore total par rapport au minéral, les gisements de Nosy Andrano et Nosy Lava, d'après les premières analyses, offrent des teneurs comparables à celles des autres pays.

Quant à la solubilité du phosphore dans les réactifs de référence tel que le citrate, l'acide citrique et l'acide formique, elle est nettement plus grande que celle des gisements africains déjà exploités, ce qui signifie que les phosphorites de Barren libèrent assez facilement le phosphore assimilable par les plantes. D'ailleurs les essais en vases de végétation et en champs ont montré un comportement des phosphorites au moins équivalent à celui de l'Hyper Reno et du Polyphos et même supérieur dans certains cas de rizières. Mais les phosphorites conviennent mieux en fumure d'entretien, la plus ou moins grande solubilité du phosphore ne permet pas leur utilisation en fumure de fond.

A cause de la teneur en carbonate de calcium, ces phosphorites peuvent également servir comme amendement calcique dans les sols acides de Madagascar ; l'apport de phosphorites présente un double avantage : source de fertilisant en phosphore et calcium pour la plante, facteur de correction et de redressement de la réaction du sol. Associées à une fumure organique, les phosphorites s'avèrent encore plus efficaces.

Malheureusement l'état de la connaissance actuelle des gisements du point de vue de la répartition des teneurs en  $P_2O_5$  et de l'homogénéité ne permet pas de préconiser une exploitation immédiate du minerai. De nouvelles études de terrain nous semblent indispensables, ainsi que d'importants travaux d'analyse en laboratoire.

### III.4.3. - Possibilités d'utilisation des phosphorites des îles Barren

La teneur en phosphore de nos sols est nettement insuffisante pour satisfaire les besoins des plantes. Dans une agriculture rationnelle donc, un apport conséquent de phosphore, sous forme d'engrais phosphatés, est indispensable non seulement pour subvenir aux besoins nutritionnels des plantes mais également pour compenser les exportations. Il en est de même d'ailleurs pour les autres éléments nutritifs comme l'Azote, le Potassium, le Calcium, le Magnésium ainsi que pour les oligo-éléments comme le Bore, le Manganèse, le Molybdène, Zinc, Cuivre ...

#### III.4.3.1. - Les différentes sources de phosphore et fertilisants

Jusqu'à présent, les seules sources de phosphore utilisées en agriculture sont représentées par les engrais minéraux importés de l'extérieur dont l'acquisition implique la disponibilité de façon contraignante l'importation d'engrais en quantité réellement nécessaire, notamment pour les besoins des cultures vivrières.

Localement les sources de phosphore utilisable en agriculture sont les suivantes :

##### 1. - Phosphate d'os

La Société Prochimad collectait des os dans les régions d'ANTANANARIVO, Itasy, Moramanga, Antsirabe et FIANARANTSOA après concassage, dégraissage, broyage et oubiage, on obtient la poudre d'os utilisée soit pour l'alimentation animale, soit pour la fertilisation du sol, contenant également de la matière organique et d'autres éléments minéraux.

Le produit vendu pour l'agriculture contiendrait 26 à 27 % de  $P_2O_5$ , 34 % de  $CaO$ .

C'est donc une source riche en  $P_2O_5$ , mais la difficulté posée par la collecte et le transport limite la production.

La composition moyenne d'un os vert est :

Azote total:

$P_2O_5$

$CaO$

$MgO$

$SO_2$

$K_2O$

1 %  
24 %  
33 %  
0,5 %  
Société d'Etudes  
Pour le Développement Industriel  
S.E.D.I.

Or, on abat annuellement à Madagascar :

1.000.000 de zébus donnant : 75.000 t d'os verts

500.000 de porcs donnant : 10.000 t d'os verts.

Soit : 3.400 tonnes d'unité d'azote ou 7.400 tonnes d'urée

30.400 tonnes de  $P_2O_5$

28.050 tonnes de  $CaO$

425 tonnes de  $MgO$

425 tonnes de  $SO_2$

A elles seules, les poudres d'os peuvent subvenir presque à la totalité des besoins en  $P_2O_5$  et 60 % des besoins en urée.

Il faut cependant signaler les besoins en poudres d'os pour l'alimentation animale. Néanmoins, la moitié sinon plus de la potentialité peut être utilisée en agriculture, soit employée comme telle soit pour enrichir les phosphates naturels.

## 2. - Guano des grottes

Le guano des grottes est constitué par les excréments de chauve-souris déposés principalement dans les grottes localisées le long de la Côte-Ouest de Madagascar. L'évaluation des réserves des grottes d'Andoharano (Ankililôaka - Toliary) et Morombe a été déjà effectuée.

Les réserves d'Andoharano sont estimées à 10,000 t avec une teneur moyenne de 14 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Ceux de Morombe ont déjà fait l'objet d'une exploitation et exportation vers la Grande-Bretagne.

Société Industrielle de Madagascar  
Département de l'Industrie et du Commerce  
Pour le Directeur

Nous donnons ci-après la composition chimique et minéralogique du guano.

	<u>Grotte de Safora</u>	<u>Grotte d'Andoharano</u>
Ca	17,81	18,12
K	0,48	0,24
Na	0,14	0,16
Mg	0,27	0,47
Fe	0,32	0,65
Al	0,42	0,64
Si	3,36	0,62
F	0,05	0,048
CO <sub>2</sub>	6,42	6,36
Cl	2,02	2,02
Apetite	7	7
Calcite	10	12
Gypse	32	10
Amorphes	42	70

Institut d'Etudes et de Recherches  
 Pour le Développement Rural  
 S. E. R. D. I. - 05

La composition nous paraît bien équilibrée, la présence de Gypse est intéressante, étant une source en soufre, ainsi que celles des amorphes qui suggèrent une solubilité plus grande des éléments sous cette forme.

La solubilité de phosphore dans les acides de référence démontre également l'intérêt du guano.

	P Total en %	P soluble exprimé en % du P total		
		Citrate	Ac. citrique	Ac. formique
Grotte d'Andoharano	15,52	20,18	72,86	78,55
Grotte de Safora	16,66	28,26	75,87	76,19

Les solubilités sont similaires à celles des phosphorites et bien supérieures aux phosphates naturels africains.

En outre, le guano contient de 19 à 22 % de matières organiques.

En matière de **certification**, les essais agronomiques ont montré la nette supériorité du guano sur d'autres sources de phosphore.

Société d'Etude et de Développement Industriel  
 pour la Région D. I.

Polyphos    Hyper Reno    Phosphorites    Guano  
 78                    100                    130                    145

Le guano est cependant considéré comme engrais de luxe et ne peut être rentable que sur les cultures riches comme l'horticulture, les cultures maraîchères.

Il peut néanmoins servir à enrichir d'autres phosphates pauvres en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et en matière organique tels que les phosphorites.

### 3. - Fumier de ferme

Le fumier de ferme a été toujours utilisé par les agriculteurs des Hautes-Terres comme engrais pour enrichir leurs terres. L'action bénéfique du fumier sur les sols pauvres, dégradés et acides n'est plus à démontrer.

Mais le fumier ne contient que très <sup>peu</sup> d'éléments nutritifs (1,5 % unités d'azote, 4 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), il agit surtout par sa forte teneur en matière organique sur les propriétés physiques et chimiques du sol. Il faut apporter 20 à 30 tonnes de fumier à l'hectare, quantité qui limite son utilisation sur de grandes surfaces. Les dix millions de zébus de Madagascar donnaient à raison de 5 tonnes de fumier par bovin, environ 50.000.000 tonnes, quantité suffisante pour amender 2.500.000 ha annuellement.

L'apport de fumier valorise les fumures minérales, en particulier les phosphates naturels.

### 4. - Résidus de récoltes

Les résidus de récoltes représentent également une source de fertilisation non seulement en éléments nutritifs mais également en matière organique.

Pour entretenir le niveau de fertilité du sol, il faut compenser les pertes dues à l'exportation par les récoltes. L'enfouissement des résidus y contribue de façon rentable. Dans une culture de riz, la paille représente le double du poids de paddy récolté.

## 5. - Les phosphorites des îles Barren

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les phosphorites des îles Barren représentent une source importante de phosphore pour l'agriculture malgache. Les réserves des 4 îles reconnues pourraient subvenir aux besoins pendant 10 à 15 ans.

Mais d'autres îles non entièrement prospectées recèlent des gisements importants : l'île Mangiho dans la zone d'Ambilobe aurait une réserve de 115.000 tonnes de phosphorites, les îles au large de Morombe en contiendraient environ 50.000 t.

D'autres îles du canal de Mozambique doivent être également étudiées au fur et à mesure de l'épuisement de l'exploitation des îles reconnues.

On peut dire que Madagascar dispose de ressources locales en fertilisants, notamment en phosphore : les phosphorites des îles et les poudres d'os constituent les principales potentialités. Ils peuvent être utilisés tels qu'ils sont ou reformulés.

Par contre au point de vue azote, les ressources locales sont faibles et ne sont représentées que par les poudres d'os, les fumiers et les résidus de récoltes.

En matière d'amendement organique, la biomasse naturelle ou fournie par les cultures est suffisamment importante pour améliorer et maintenir la fertilité de nos sols.

Notons enfin l'existence à Madagascar de quelques filons d'apatite qui est un phosphate de calcium dans les roches éruptives, associés au pegmatite. Mais l'importance des gisements est très mal connue et l'exploitation s'avère difficile.

### 11.4.3.2. - Les sources locales d'amendement calcique

Une mise en valeur intensive et rationnelle des sols acides des hauts-plateaux et de la côte Est exige un amendement calcique important. L'utilisation des engrais minéraux n'est conseillée que si l'on relève le pH au delà de 5,5. Pour ce faire, on dispose de plusieurs sources :

#### 1. - Les calcaires coralliens

Les calcaires coralliens constituent un amendement calcique efficace, mais l'exploitation et le transport sont actuellement très coûteux, ce qui fait qu'ils sont utilisés loin des régions utilisatrices.

#### 2. - Les calcites

Madagascar dispose d'importants gisements de calcite, d'aragonite et de marbre. Mais les déchets d'exploitation seulement peuvent être broyés et utilisés comme amendement calcique.

Le matériau est trop noble et coûte cher pour être employé totalement pour amender les sols.

#### 3. - La dolomie

C'est un carbonate double de calcium et de magnésium, renfermant 30 % de CaO et 20 % de MgO. Le gisement de l'Ibity près d'Antoirabe, est tellement important qu'il est quasiment inépuisable. De part sa localisation, la dolomie de l'Ibity est très intéressante pour les sols des Hauts-Plateaux et de la côte Est.

Il faut cependant souligner que le prix pratiqué actuellement, qui est de 72 Fmg/kg départ usine d'Anstrabe, paraît excessivement élevé et ne permet pas une utilisation rentable par les agriculteurs, la quantité à apporter allant de 1 tonne à 2 tonnes par ha.

Comme le traitement se réduit à un simple broyage et tamisage, ce prix peut être substantiellement réduit pour en permettre une utilisation courante.

Notons que la colonie n'apporte aucun élément fertilisant, c'est un simple amendement calcique et magnésien qui est indispensable dans les sols acides.

#### 4. - Les phosphorites des lies Barren

Comme les analyses l'ont montré, les phosphorites des lies Barren contiennent outre le phosphore, 25 à 35 % de CaO et 1 à 2 % de MgO : on peut constater que la teneur en CaO des phosphorites se trouve au même niveau que celle de la colonie. Les phosphorites peuvent donc être utilisées également comme amendement calcique pouvant relever le pH du sol. Ainsi les phosphorites présentent un double effet : engrais phosphaté et amendement calcique.

Notons que l'utilisation des phosphorites est plus économique car l'action du calcium sur l'acidité se fait au sein d'un "petit volume de sol" où se trouve également l'élément nutritif P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et où la racine rencontre un micro-milieu favorable à l'assimilation du phosphore, du calcium et du magnésium.

L'épandage des phosphorites en "localités" le long de la ligne de cunic de ne donne de résultats très économiques. On n'est pas amené à en répandre une grande quantité comme pour la colonie avec laquelle on essaie de relever le pH de tout le volume de sol.

Parmi les sources locales d'amendement calcaïque, seuls la dolomie et les phosphorites présentent actuellement un intérêt certain :

- la dolomie pour un redressement total de la fertilité d'un sol, c'est un investissement dont on doit tenir compte dans le calcul de la rentabilité ;
- les phosphorites : redressement localisé et fumure phosphatée d'entretien, c'est une dépense en intrants qu'il faut comptabiliser dans le compte d'exploitation. Au bout de 3 ou 4 ans, en déplaçant les lignes de bords à chaque culture, on aura couvert et amendé toute la surface de la parcelle. La rentabilité de l'opération dépend évidemment du prix du phosphorite comparé à celui de la dolomie et de l'engrais phosphaté équivalent.

### III.4.3.3. - Utilisation rationnelle des phosphorites

Nous avons vu qu'on peut utiliser les phosphorites tels qu'ils sont sous leur forme naturelle ou reformulés et enrichis.

#### 1. - Utilisation des phosphorites sous leur forme naturelle

Les phosphorites, sous la forme tricalcique, peuvent être utilisés directement en agriculture, notamment dans les sols acides. Mais il faut garantir aux utilisateurs des produits d'une teneur constante et homogène en élément P. Or comme on l'a déjà vu, la teneur des gisements est très hétérogène aussi bien les files qu'à l'intérieur d'une même file.

Si l'on se réfère aux connaissances dont on dispose actuellement sur les gisements des 4 files de Barren, on peut dire que :

- le minéral à forte teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, plus de 30 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est utilisable directement en agriculture après broyage plus ou moins fin ;

- le minerai à teneur moyenne de 12 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> peut être utilisé directement dans les opérations qui utilisent des fumiers de ferme. Mais il peut être mélangé avec "l'engrais organico-biologique" (OB) produit à Amboasary. Le mélange sous forme de palettes, représente un engrais organo-phosphaté parfaitement valable ;
- le minerai à teneur faible de 6 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doit être fortement enrichi avant utilisation, soit avec les poudres d'os produits localement, soit du phosphate importé. Il est dans ce cas plus logique de choisir les poudres d'os, le mélange et la granulation pouvant se faire avec les installations de l'usine existante d'Amboasary, en la dotant peut être du matériel de broyage adéquat.

## 2. - Utilisation des phosphorites sous forme transformée

Une transformation chimique implique l'utilisation de produits chimiques d'importation, produits plus chers que les engrais eux-mêmes, et dont l'acquisition entraîne la sortie de devises fortes.

L'emploi éventuel des phosphorites locales ayant pour objectif de limiter l'importation d'engrais phosphatés, nous proposons que ces phosphorites soient utilisées sous leur forme naturelle ou sous forme de composés de mélange avec des matériaux locaux.

IV. - EXPLOITATION DES GISEMENTS

Société d'Etude et de Réalisation  
pour le Développement de l'Industrie  
S. E. R. I.

#### IV.1. - DONNÉES TECHNIQUES DE L'EXPLOITATION

##### IV.1.1. - Opportunité d'une exploitation à ciel ouvert

Les gisements comportent manifestement certaines caractéristiques qui conduisent à penser qu'une exploitation à ciel ouvert constitue la solution rationnelle de leur exploitation.

Ces caractéristiques sont les suivantes :

- le ratio de décapage (stérile sur minéral) est quasiment nul. Les travaux de décapage seront transformés à de simples opérations de défrichage et de ratiage des sables couvrant les couches minéralisées ;
- quelque soit l'interprétation géologique proposée concernant le mode de minéralisation, on constate sur les sondages effectués que la profondeur de minéralisation ne dépasse probablement pas 4 mètres. Cette considération nous incite à limiter à 1,50 mètre la profondeur d'exploitation (couche pulvérulente et couche indurée) ;
- la forme générale de l'enveloppe minéralisée (couches subhorizontales et subsaffleurantes) semble relativement favorable à une exploitation à ciel ouvert. La tenue des terrains serait bonne et les eaux d'infiltration ne manifesteraient leur présence qu'à partir de 1 mètre de profondeur.

##### IV.1.2. - Paramètres de l'exploitation

D'après les études et enquêtes réalisées, l'usine devrait satisfaire une demande annuelle équivalente à 10.000 tonnes de produit fini. La quantité à extraire pour aboutir à cette production serait de 12.000 tonnes.

Pour des raisons climatiques, l'exploitation sur les îles et le transport vers l'usine de traitement (probablement à MAHAJANGA) ne peuvent avoir lieu que pendant 6 mois, soit au rythme moyen de 80 tonnes par jour ouvrable (150 jours ouvrables dans l'année).

#### IV.1.3. - Choix du lieu d'exploitation

L'île ANDRANO semble la mieux connue parmi les quatre îles qui constituent les îles Barren. Elle contient la majeure partie des réserves jusqu'ici reconnues dont les teneurs en éléments fertilisants se prêteraient bien à la production des phosphates directement utilisables.

En considérant les points échantillonnés et les niveaux analysés, on peut circonscrire sur l'île deux zones :

- la première à forte teneur en  $P_2O_5$  moyen y estime une teneur moyenne de 20,1% pour une profondeur d'exploitation de 1 m, les réserves étant de 68.000 tonnes ;
- la seconde renfermant une réserve de 25.600 tonnes de minerai à 24 % de  $P_2O_5$  pour une profondeur d'exploitation de 0,40 m.

Les réserves certaines et probables de l'île ANDRANO, d'environ 23.600 tonnes à 28 % de  $P_2O_5$ , représente 47 % des réserves sur lesquelles sera élaborée notre étude de simulation.

Nonobstant les meilleures conditions d'exploitabilité qu'offre l'île ANDRANO, la mécanisation de l'exploitation se trouve limitée par :

- la petitesse de l'île (600 m environ de diamètre) ;
- l'absence de l'énergie et de l'eau ;
- l'éloignement de l'île par rapport aux côtes de la Grande île.

## IV.2. - METHODE D'EXPLOITATION

### IV.2.1. - Conduite de l'exploitation

D'après les données disponibles, on constate que les teneurs en  $P_2O_5$  sont très variables en surface et en profondeur. Le minerai se présente généralement sous forme pulvérulente avec une croûte un peu dure.

Pour un minerai à teneur plus ou moins constante à l'entrée de l'usine de traitement, l'exploitation devrait être menée sur trois zones (teneur inférieure à 18 % de  $P_2O_5$ , teneur comprise entre 18 et 30 %, teneur supérieure à 30 %  $P_2O_5$ ).

La méthode utilisée est le stripping. Les stériles en place qui recouvrent le minerai sont déplacés et remis en arrière, là où la couche a été déjà enlevée.

Les rares travaux de décapage et l'extraction de la couche pulvérulente seront assurés par un scraper mû par un treuil.

En ce qui concerne la couche indurée, on prévoiera un équipement complémentaire (marteaux perforateurs et compresseurs à air comprimés). L'abattage de cette couche nécessiterait une consommation d'exploisif estimés à 100g/tonne.

En profondeur, il est fort probable que le minerai présente un taux d'humidité plus ou moins élevé. Avant de le charger sur bateau, le minerai devrait être séché au soleil pendant quelques jours (une semaine environ).

En prévoyant 3 qualités de minerai, séchées et expédiées séparément pour être mélangées à l'entrée de l'usine, il faudra 3 zones de 500 m<sup>2</sup> en cours de séchage et 3 zones en cours d'épandage, soit au total 3.000 m<sup>2</sup> d'aire de séchage.

Le minerai séché sera enfin acheminé vers le point d'embarquement par de petits chargeurs transporteurs sur pneus à moteur diesel.

### 17.2.2. - Chargement du bateau sur l'île

Trois solutions peuvent être envisagées :

- un chargement par un treuil de scrapage placé à demeure sur le bateau ;
- chargement par dumpers, qui déversent directement leur contenu dans le Déterminant de l'ent est du type LCT et peut "beacher" ; S.E.R.D.I.
- chargement par sauterie : c'est un appareil mobile constitué par un châssis monté sur roues et équipé d'une bande transporteuse sans fin. La sauterie sera alimentée par un treuil de raclage.

La seconde solution nécessite, soit un temps de chargement très long, soit l'utilisation d'un nombre important de dumpers, car on ne peut utiliser ceux à grande capacité à cause de la faible portance des terrains et l'insuffisance de l'aire de travail et de circulation.

Par contre, la dernière présente l'avantage d'être adaptable à tous les types de bateaux pouvant être affrétés par la société exploitante. Pendant les 6 mois d'arrêt de travail (15 novembre - 15 avril), la sauterie sera entreposée dans le hangar couvert de l'atelier d'entretien. C'est la raison pour laquelle nous retenons, dans le cadre de la présente étude, la troisième solution.

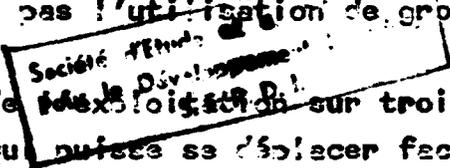
### IV.2.3. - Déchargement du bateau sur l'île

Comme le bateau préconisé sera du type "LCT", ce dernier viendra "échouer" sur la plage. L'atelier d'entretien est pourvu de poulies et palans pouvant soulever 2 tonnes de marchandises. Le transport de ces dernières sera assuré par des autochargeurs transporteurs (chargement sur godet ou transport par traction).

### IV.2.4. - Matériel et équipements d'exploitation

#### IV.2.4.1. - Choix du matériel

La petitesse des îles et la faible portance des terrains ne permettent pas l'utilisation de gros engins lourds.

La conduite de  sur trois chantiers exige un matériel qui puisse se déplacer facilement et rapidement d'un point à un autre.

Le tonnage journalier à charger et à transporter étant de 80 tonnes et la distance moyenne entre le point de chargement et le point d'embarquement étant de 400 mètres, il est donc nécessaire de prévoir quatre chargeurs à godet de 650 litres (1 tonne) de charge utile (durée du cycle 900 secondes environ). Les trois chargeurs travaillent en permanence (pendant 7 heures effectives sur un poste de 8 heures) tandis que le quatrième est prévu pour l'entretien systématique ou le dépannage et le déchargement du bateau.

Le type du bateau qui répond aux impératifs de chargement et de déchargement sur l'île serait le VATSY II de la Compagnie Malgache de Navigation. Il peut se présenter perpendiculairement à la rive et peut "beacher" "échouer" sur la plage, condition nécessaire pour le déchargement des marchandises sur les files.

IV.2.4.2. - Caractéristiques du matériel d'exploitation

a. - Décapage, remblayage et extraction de la couche pulvérulente

- 1- Treuil de scapage **manométrique** (à air comprimé) à 2 tambours Pour le Développement  
S.E.R.D.I.
- Accessoires : poulies de retour, houes (raclage et scrapage)
- Capacité de scrapage ..... 5 tonnes/heure
- Puissance du treuil ..... 25 CV
- Vitesse d'entraînement ..... 0,2 m/s
- Effort de traction du câble :
  - déroulé ..... 1.300 kgf
  - enroulé ..... 500 kgf

b. - Battage de la couche indurée

- 2 Marteaux perforateurs (foration à sec) avec atomiseurs
- Vitesse de foration ..... 200 cm/mn
- Poussée ..... 2.000 kgf
- Poids ..... 20 à 25 kg
- Consommation en air comprimé ..... 2,3 m3/mn à 6 bars

- 4 Marteaux piqueurs avec guide pour casser les blocs avec pic (type brise - béton)
  - cadence de frappe ..... 1.500 coups/mn
  - consommation en air comprimé ... 1,2 m<sup>3</sup>/mn à 6 bars
  - poids ..... 15 à 20 kg
  
- 2 Compresseurs à air comprimé (à moteur Diesel)
  - Le premier compresseur sert à alimenter 4 marteaux perforateurs en 4 marteaux piqueurs
    - débit ..... 5 m<sup>3</sup>/mn à 7 bars
    - pression effective ..... 6 bars
    - puissance nominale ..... 37 kW
    - consommation en gas-oil .... 12 litres/heure
  
  - Le second alimentera le moteur du treuil de scrappage:
    - puissance nominale ..... 18,5 kW
    - consommation en gas-oil ... 7 litres/heure

c. - Desserte et déblocage

- 4 Autochargeurs transporteurs sur pneus (équipement tropicalisé)
  - Charge utile du godet ..... 1 tonne (650 litres)
  - Moteur Diesel (refroidissement à air)
  - Puissance ..... 12 à 14 CV
  - Autonomie du réservoir ..... 8 à 10 heures
  - Remorque pouvant recevoir tous systèmes d'attelage (herse par exemple)
  - Consommation en gas-oil .... 10 litres/poste de 8h
  
- 1 Sauterelle montée sur roue (équipement tropicalisé) avec treuil de racage
  - longueur de la bande transporteuse : maximum 30 m
  - largeur de la bande transporteuse : 650 mm
  - vitesse de la bande transporteuse : 1,20 à 1,30m/m
  - puissance totale (entraînement + déplacement + treuil) : 50 - 60 CV
  - débit : 85 tonnes/heure

d. - Exhaure

Aucune donnée relative à l'hydrogéologie ne nous est parvenue. Ainsi, avons-nous préconisé une moto-pompe de 4 Kw (débit 25 à 30 m<sup>3</sup>/mn) pour prévenir les venues d'eaux pouvant envahir le chantier.

e. - Laboratoire

Il est équipé de :

- . 1 calcinètre
- . 1 balance de précision
- . 1 main pesée 10 grammes
- . 2 mortiers d'agate ou en porcelaine 500 g avec pilon
- . 10 verres de montre
- . 10 bécher (5 de 250 ml, 5 de 500 ml)
- . 5 toiles amiantes
- . 1 brûleur bunzen au gaz butane
- . 1 trépied pour bunzen
- . 4 éprouvettes (25 ml, 50 ml, 100 ml, 1.000 ml)
- . 5 micropipettes
- . 4 petits ballons
- . 1 pince à creuset nickel 500 mm
- . 100 creusets en porcelaine Ø 167 mm
- . 1 chronomètre de poche
- . 4 entonnoirs en verre : Ø 55 mm
- . réactifs chimiques et papiers filtres
- . 1 stéréomicroscope

pour le développement  
S.A.S. Industrial

f. - Atelier d'entretien sur l'île

Il sera pourvu des équipements et fournitures ci-après :

- . 1 établi à 2 staux
- . 1 foreuse portative Ø 16 mm percuteuse
- . 2 jeux de petits outillages clés, limes, marteaux, tournevis
- . 1 mouleuse portative et 1 mouleuse fixe double établi 200 mm disques
- . 1 poste autogène, 2 chalumeaux, soudeur et découpeur 2 manomètres, 1 chariot porte bouteille, lunettes et accessoires
- . 1 poste à souder, 250 A avec accessoires câbles, palans (1 tonne, 2 tonnes) arraches-poulies
- . 1 chargeuse d'accus (12 V - 24 V)
- . 1 armoire à outillage
- . 1 équipement de graissage

IV.2.4.2. - Caractéristiques des équipements et installations diverses

a. - Constructions

- Un bâtiment de type préfabriqué, de 1.000 m<sup>2</sup> de surface utile groupera :

- . le logement de 14 personnes ..... (700 m<sup>2</sup>)
- . le bureau administratif ..... (50 m<sup>2</sup>)
- . le poste de secours (infirmerie ...) (50 m<sup>2</sup>)
- . le laboratoire ..... (50 m<sup>2</sup>)
- . le réfectoire et la cuisine ..... (60 m<sup>2</sup>)
- . la salle de loisir ..... (50 m<sup>2</sup>)
- . la chambre froide pour le stockage des victuailles ..... (40 m<sup>2</sup>)

- Un hangar avec colonnes, toiture et parois abritera l'atelier d'entretien, la station de graissage, le magasin pour pièces de rechange et le matériel d'éclairage. Il aura une superficie de 400 m<sup>2</sup>.

- Un dépôt d'explosifs sera également construit pour stocker les substances explosives et les explosifs industriels.

b. - Energie et éclairage

Un groupe électrogène de 25 kVA (18,5 kW) est nécessaire pour l'éclairage : pour les appareils d'atelier et pour les équipements de cuisine.

c. - E a u

Quatre citernes pouvant contenir 500 litres d'eau chacune seront à prévoir pour l'approvisionnement en eau potable et en eau pour usage domestique.

d. - Equipements de liaison

Un équipement radio émetteur-récepteur s'avère nécessaire pour alerter la Grande Ile en cas d'urgence (maladie, accidents, dépannage ...)

e. - Equipements de cuisine et chambre froide

Les conditions de viabilité sur l'île MIDRANO étant précaires, il faut donc organiser minutieusement la vie du personnel.

Ainsi, les dispositions suivantes sont à prendre en ce qui concerne :

- la conservation des aliments : un congélateur de 500 litres et deux réfrigérateurs de 130 litres chacun sont nécessaires. Ces appareils sont alimentés par le groupe électrogène de 25 kVa (cf. énergie et éclairage)
- la cuisson : quelques réchauffeurs électriques (genre KETRIKA) seront à prévoir, l'énergie étant fournie par le groupe électrogène.

Centre d'étude et de développement  
R.D.I.

**IV.2.5. - Matières consommables diverses**

**IV.2.5.1. - Carburants**

La consommation en gas-oil concerne celle :

- des 4 auto-chargeurs transporteurs .... 15 litres/j/engin
- du groupe électrogène de 25 kW ..... 8 litres/heure
- du compresseur à air comprimé de 37 kW 12 litres/heure
- du compresseur à air comprimé de 18,5 kW 7 litres/heure
- de la moto-pompe de 28 kW ..... 2 litres/heure
- de la saute-oreille de 50 CV ..... 30 litres/heure

Matériel	Taux d'utilisation	Consommation (litres)	
		journalière	annuelle
- 4 chargeurs transporteurs	150 jours/an	60	9.000
- Groupe électrogène	16h/j = 2.400 h/an	128	19.200
- Compresseur de 37 KW	4h/j = 600 h/an	48	7.200
- Compresseur de 18,5 KW	3h/j = 450 h/an	21	3.150
- Moto-pompe	2h/j = 300 h/an	4	600
- Saute-oreille	2h/j = 100 h/an	20	3.000
<b>TOTAL .....</b>	-	<b>281</b>	<b>42.150</b>

Les dépenses occasionnées par la consommation des carburants (120 Fmg/litre) sont évaluées à 7.587.000 Fmg/an.

**IV.2.5.2. - Lubrifiants**

La consommation en lubrifiants est estimée à 1.000 litres par an, toutes qualités confondues (prix moyen 1.000 Fmg/litre) cela équivaudrait à une dépense annuelle d'environ 1.000.000 Fmg.

#### IV.2.5.2. - Explosifs et accessoires de tir

On estimera à 6.000 tonnes de minerai par an le tonnage nécessitant l'utilisation des explosifs. On aurait par conséquent, une consommation annuelle de 600 kg d'explosifs.

Les dépenses annuelles relatives à la consommation d'explosifs et accessoires divers seront évalués à 1.500.000 FIG.

#### IV.2.5.4. - Fleurets et taillants

Comme la couche <sup>Super</sup> inférieure a une dureté voisine du calcaire et comme la profondeur des trous de mines ne dépasserait probablement pas 2 m, la consommation en fleurets et taillants est relativement faible et est estimée à 100 unités par an :

- longueur du fleuret : 0,80 m - 1,60 m et 2,40 m
- diamètre du faillant : 38 mm et 40 mm
- coput annuel : 4.000.000 FIG

#### IV.2.5.5. - Réactifs de laboratoire et autres produits divers

Les principaux réactifs chimiques sont constitués par du tartre-molybdique, de l'acide nitrique 1/7 et de l'acide chlorhydrique.

Les dépenses afférentes à ce poste sont évaluées à 500.000 FIG.

#### IV.2.5.6. - Pièces de rechange

Les dépenses dues à l'acquisition des pièces de rechange sont évaluées à 10 % par an de la valeur des investissements en matériel, soit 16.620.000 FIG.

IV.2.5.7. - Tableau récapitulatif (en FMG)

Désignation	Dépenses en :		TOTAL
	Monnaie Locale	En devise	
- Carburant	7.587.000	-	7.587.000
- Lubrifiants	1.000.000	-	1.000.000
- Explosif accessoires de tir	-	1.500.000	1.500.000
- Fleurets et taillants	-	4.000.000	4.000.000
- Réactifs de laboratoire et produits divers	-	500.000	500.000
- Pièces de rechange	3.490.000	13.130.000	16.620.000
- Imprévus (15 % du total)	1.812.000	2.869.000	4.681.000
<b>TOTAL .....</b>	<b>13.889.000</b>	<b>21.999.000</b>	<b>145.888.000</b>

IV.2.6. - Investissements et frais divers

Les éléments de prix mentionnés dans la présente étude sont des prix CAF MAHAJANGA, ils sont basés sur les prix juin 1985. Comme les sources provenaient dans la majorité des cas des firmes françaises, les investissements ont été déterminés sur la base d'un taux de 1 FF = 76 FMG.

**IV.2.6.1. EQUIPEMENTS PRODUCTIFS**

AFFECTATION	NATURE	DEPENSE		COUT TOTAL
		EN MONNAIE LOCALE (FCG)	DEVISE EN FCG	
DECAPAGE - REMBLAYAGE	- Scraper + moteur + treuil + accessoires	2.200.000	7.800.000	10.000.000
ABATAGE	- 4 marteaux piqueurs avec accessoires - 2 marteaux perforateurs + accessoires - 2 compresseurs + ac- cessoires	250.000 320.000 4.600.000	770.000 1.080.000 15.400.000	1.000.000 1.400.000 20.000.000
SECHAGE	- 1 Herse	300.000	-	300.000
CHARGEMENT	- 1 sautereille + treuil	10.000.000	50.000.000	60.000.000
DECHARGEMENT	- 4 chargeurs + trans- porteurs	5.500.000	18.500.000	24.000.000
EXHAURE	- 1 moto-pompe + acces- soires	500.000	2.000.000	2.500.000
LABORATOIRE	- Matériel et équipement: divers	1.000.000	4.000.000	5.000.000
ATELIER D'ENTRE- TIEN	- Matériel et équipement: divers	5.000.000	15.000.000	20.000.000
ENERGIE	- 1 groupe électrogène	4.500.000	15.500.000	20.000.000
B A U	- 4 citernes	1.500.000	500.000	2.000.000
TOTAL .....	-	35.650.000	130.550.000	166.200.000

**IV.2.6.2. BATIMENTS ET CONSTRUCTIONS**

NATURE	SUPER- FICIE (m <sup>2</sup> )	P. U. (FNG/m <sup>2</sup> )	DEPENSES EN MONNAIE LOCALE	DEVISE	COUT TOTAL
Bâtiment préfabriqué (en bois)	1.000	70.000	63.000.000	7.000.000	70.000.000
Hangar couvert	400	80.000	27.200.000	4.800.000	32.000.000
Dépôt d'explosifs	-	-	1.000.000	-	1.000.000
<b>TOTAL</b> .....			<b>91.200.000</b>	<b>11.800.000</b>	<b>103.000.000</b>

**IV.2.6.3. AUTRES EQUIPEMENTS**

AFFECTATION	NATURE	DEPENSE EN MONNAIE LOCALE	DEVISE (FNG)	COUT TOTAL (FNG)
Approvisionnement en eau	- 4 citernes de 500 litres	1.500.000	500.000	2.000.000
Equipement de liaison	- radio-émetteur récepteur	1.000.000	4.000.000	5.000.000
Equipements de cuisine	- 1 congélateur de 500 litres	300.000	1.200.000	1.500.000
	- 2 réfrigérateurs de 130 litres	250.000	950.000	1.200.000
	- 4 réchauds élec- triques	200.000	80.000	250.000
	- Batterie de cui- sine	400.000	100.000	500.000
Equipements de bâtiments	- Mobiliers div.	1.000.000	400.000	1.400.000
<b>TOTAL</b> .....		<b>4.650.000</b>	<b>7.200.000</b>	<b>11.850.000</b>

Le personnel de l'exploitation ne travaille que pendant un poste de 8 heures par jour.

## a) Affectation et qualification

AFFECTATION	Nombre total	Qualification	Indice d'embauche	
			Indivi- dual	TOTAL
CHIEF D'EXPLOITATION	1	Agent de maîtrise (OP <sub>3</sub> )	1200	1200
DECAPAGE-REMPLACEMENT EXTRAC- TICIN				
. Treuil de scrapage	1	Ouvrier qualifié (OS <sub>3</sub> )	460	460
. Poulie de retour, houe	2	Manoeuvre ordina- re (M <sub>1</sub> )	300	600
ABATAGE-CHARGEMENT				
. Marteaux perforateurs et explosifs	3	Ouvr. qual. (OS <sub>3</sub> )	460	1380
. Marteaux piqueurs	2	Ouvr. ord. (OS <sub>2</sub> )	405	810
. Chargeurs transporteurs	4	Conducteurs de vé- hicule (A <sub>2</sub> )	390	1560
LABORATOIRE				
. Analyse (laboratin)	1	Chef de chantier (OP <sub>2B</sub> )	910	910
ATELIER D'ENTRETIEN				
. Mécanique diésel	1	Chef de chantier (OP <sub>2B</sub> )	910	910
. Entretien : graissage, aide-mécanicien, groupe, pompe, etc ....	1	Manoeuvre spécia- lisé (M <sub>2</sub> )	330	330
CUISINE ET NETTOYAGE	1	Manoeuvre spécia- lisé (M <sub>2</sub> )	330	330
	17	(-- TOTAL --)		8 490

b) Salaires

QUALIFICATION	Nbr total	Salaires mensuel individuel (FNG)	Salaires mensuel total (FNG)	Salaires annual total (FNG)
Agent de maîtrise (OP <sub>3</sub> )	1	70.718	70.718	848.616
Chef de chantier (OP <sub>2B</sub> )	2	53.618	107.236	1.286.832
Ouvrier qualifié (OS <sub>3</sub> )	4	27.108	108.432	1.301.184
Ouvrier ordinaire (OS <sub>2</sub> )	2	23.867	47.734	572.808
Conducteurs de véhicules (A <sub>2</sub> )	4	22.983	91.932	1.103.184
Manoeuvre spécialisé (M <sub>2</sub> )	2	19.447	38.894	466.728
Manoeuvre ordinaire (M <sub>1</sub> )	2	17.679	35.358	424.296
TOTAL .....	17	-	500.304	6.010.648

Société d'Etude et de Restauration  
 pour le Développement du Mali  
 S.E.R.D.M.

c) Frais de prise en charge pour nourriture du personnel

En se basant sur les habitudes alimentaires des malgaches et en émettant l'hypothèse que les frais d'approvisionnement en nourriture, en eau et en autres utilités diverses sont quasiment négligeables par rapport aux autres frais de transport, les frais de prise en charge par la société pour l'approvisionnement de l'île sont estimés à 500 Fmg par jour par personne (pour 150 jours ouvrables sur l'île), soit 1.275.000 Fmg/an.

Ces frais seront à déduire sur les salaires du personnel travaillant sur l'île.

d) Charges sociales

Comme les charges sociales pour l'employeur sont à calculer sur la base des salaires bruts et comme elles varient de 16 à 19 % de ces derniers nous prendrons une valeur moyenne de 18 % dans le calcul.

D'après les renseignements fournis par le ministère du travail, les personnes travaillant dans des rudes conditions comme sur les îles peuvent bénéficier d'un régime spécial établi suivant une convention. On suppose donc que le personnel travaillant pendant 6 mois, reçoit 12 mois de salaires et que les frais de prises en charge avancés par la société seront à déduire sur les salaires

e) Frais de personnel

- salaires annuels .....	6.000.000 F.M.G
- charges sociales annuelles .....	1.080.117 F.M.G
	<hr/>
TOTAL	7.080.117 F.M.G
arrondi à	7.081.000 F.M.G

**IV.2.6.5. - Frais d'entretien**

Les frais d'entretien sont évalués à 5 - 6 % des coûts des investissements fixes, c'est une pratique courante dans les exploitations minières et industrielle soit 14.455.000 Fmg.

**IV.2.6.6. - Assurances**

Elles concernent le matériel de production, les bâtiments et constructions, ainsi que les stocks :

! Valeur à assurer	! Montant en 1.000 FIG	! Taux %	! Primes annuelles en 1.000 FIG
! Matériel de production	! 281.050	! 3 %	! 8.432
! bâtiment, construction			
! S t o c k s	! 2.600	! 2 %	! 288
! Total	! -	! -	! 8.720

**IV.2.6.7. - Frais divers**

Ils comprennent les frais divers de gestion, ils sont estimés à 10 % des charges dues à la main d'oeuvre à l'entretien et aux assurances, soit : 2.022.000 FIG.-

**IV.2.7. - Récapitulation des investissements**

(en milliers de FFG)

Désignation	Coût en monnaie locale	Coût en devise	TOTAL
Matériel de production	55.650	110.550	166.200
Bâtiment construction	91.200	11.800	103.000
Autres équipements	4.650	7.200	11.850
<b>TOTAL .....</b>	<b>151.500</b>	<b>149.550</b>	<b>301.050</b>
<b>% .....</b>	<b>47 %</b>	<b>53 %</b>	

V. - TRANSPORT DES MATIERES MINERALISEE

19 01 5 12 50  
Département de l'Inde  
R. D. 12 50

## V.1. - OBJET DE L'ETUDE

L'étude concerne le transport des matières premières des phosphorites, entre les Iles Barren et un port plus ou moins aménagés de la Côte Ouest et comprend :

- le système d'embarquement et les installations correspondantes ;
- le système de transport proprement dit ;
- le système de débarquement et les installations portuaires correspondantes.

L'étude du transport s'attachera donc à analyser et évaluer les coûts d'installation et de fonctionnement de ces trois systèmes. Pour chacun des systèmes des variantes seront analysées en fonction des conditions des sites et des capacités de transport à mettre en place, compte tenu du rythme d'approvisionnement imposé par l'usine de traitement

## V.2. - CONDITIONS NATURELLES

Faute d'observations et d'études sur place aux Iles Barren et aux environs immédiats de Maintirano, nous nous référons aux documents généraux et aux rapports d'étude sur les ports de Mahajanga et de Morondava établis par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (L.C.H.F.) respectivement en 1973 et 1977 pour définir, les phénomènes météorologiques et nautiques ainsi que la morphologie de la côte sur cette partie du littoral entre Morondava et Mahajanga et d'en dégager les meilleures considérations maritimes et portuaires en vue de satisfaire aux conditions d'exploitation.

### V.2.1. - Climatologie générale

Madagascar est sous la dépendance du climat tropical. Ce climat influe surtout le régime des vents et des pluies sur la navigation au cabotage autour de l'île.

On observe deux saisons nettement différenciées : saison chaude (novembre à avril), saison fraîche (mai à octobre) suivant les instructions nautiques.

De mai à octobre inclus, la Grande Ile est entièrement dans le lit de l'alizé austral. Cet alizé est particulièrement typique sur la côte Nord-Est où il a sa direction classique de vent de S.E. Il est très vigoureux à Antsiranana. Dans le Centre Est, région d'Antananarivo, c'est un vent d'Est, et dans le Sud Est à Taolagnaro un vent d'E.N.E. (on sait que l'alizé escalade partiellement les escarpements orientaux et se fait sentir sur la côte NE à Mahajanga). Seules les côtes W et SW restent alors en dehors du domaine de l'alizé maritime de l'Océan Indien avec des vents dominants de Sud Ouest en Juillet de Maintirano à Toliary.

A partir de novembre jusqu'à avril, les conditions sont très différentes. La Grande Ile se trouve partagée en 2 grands domaines : un domaine oriental où l'on a encore au del des directions assez analogues à la saison occidentale, des Comores à Morondava, où le vent vient nettement de N.N.W. ou N.W., sauf la nuit pendant laquelle il y a une brise de terre (Mahajanga par exemple). Les vents d'Est et Sud Est de la côte orientale sont encore l'alizé, les vents de N.N.W. et N.W. de la côte Ouest sont la mousson malgache, de direction complètement opposée.

D'une manière générale et plus particulièrement sur la côte Ouest :

- en saison fraîche, les conditions météorologiques sont excellentes pour la navigation : bonne visibilité, houle faible ou modérée, pas de grains ou très peu, pas de fortes tempêtes ;
- en saison chaude : les vents sont moins bien établis et moins forts, mais occasionnellement, ils peuvent atteindre la force d'un véritable coup de vent, les grains deviennent plus nombreux et c'est l'époque des cyclones et des fortes tempêtes. Si la côte Est est la plus exposée à ces cyclones ceux-ci sont également assez fréquents dans le Canal de Mozambique.

#### V.2.2. - La morphologie générale

La côte Ouest malgache est basse et est caractérisée par un immense plateau continental où les fonds s'échaussent en pente douce/et où les bancs et les récifs ou hauts fonds dépendent de la nature rocheuse ou non de ces fonds sont nombreux.

Entre Mahajanga et Morondava, les Iles Barren qui sont petites, basses et sablonneuses ont un support corallien et constituent avec les bancs des environs de véritables dangers pour la navigation côtière, d'autant plus que certains de ces obstacles ne sont pas décelables même par temps calme ou à marée basse.

Autour des Iles et au-delà des socles coralliens qui les supportent, les profondeurs varient de 0,50 m à 6,50 m sur une bande d'environ 200 à 500 m. Plus loin, elles varient rapidement de 10 à 30 m.

### V.2.3. - Conditions nautiques

#### V.2.3.1. - La houle

Compte tenu de tout ce qui précède et en dehors des cas de passage des cyclones tropicaux l'agitation dans cette partie du pays dépend du vent local.

Ainsi à Mahajanga, on distingue l'agitation du N.W. et du Nord (du large donc) qui dépasse rarement 1,50 m d'amplitude (1,5 % des cas) avec des périodes comprises entre 3 et 8 secondes, et l'agitation par vent d'alizé du S.E. dont le clapot dans la rade correspond à celui du fetch, 4 à 8 km dans la même direction suivant que l'on se trouve à basse mer ou à pleine mer. Dans ce dernier cas, les hauteurs des lames suivant la force du vent varient entre 0,20 m et 1 m pour des périodes de 2,5 sec à 3 sec. Il faut noter que le long des quais du port de batelage, on enregistre un clapot équivalent.

De même à Morondave, en régime de N.W., de décembre à mars, nous avons des houles océaniques d'amplitude moyenne de 0,3m et de période moyenne de 2,1 sec (les maximums observés sont respectivement de 1,40 m et 14,3 sec) et des mers de vent de N.W. beaucoup moins fortes et qui ne se traduisent que par un léger clapot de 0,20 m à 0,30 m. Pendant le régime W.S.W. par contre, on observe des houles beaucoup plus fortes

- houles océaniques de régime W.S.W. :

- période moyenne : 11,4 sec
- période maximum : 14 sec
- amplitude moyenne : 0,5 m
- amplitude max. observée : 2,20 m

- mers de vent du S.W. :

- . période 4 sec environ dans une gamme allant de 2 à 5 sec
- . amplitude moyenne : 0,3 à 0,4 m pouvant atteindre 0,70 m

Quant aux Iles Barren, on constate l'absence quasi totale de "mer" et de "houle" en provenance du N.W., exceptés en janvier où il apparait que peuvent se manifester quelques très rares tempêtes en provenance de cette direction (limites de  $\neq$  3 m d'amplitude).

Les houles qui atteignent des Iles sont des houles du large des directions de S.W. à Sud et d'amplitude de l'ordre de 0,50 m à 1 m, rarement (quelques 10 jours par an) de 1,50 m à 2 m.

V.2.3.2. - La marée

De Mahajanga à Morondava, la marée est du type semidiurne avec de très légères inégalités diurnes pouvant donner des différences de hauteur de 0,60 m en grandes vives eaux.

Les hauteurs de marées sont :

Niveaux	Mahajanga	Moron-dava	Maroantaly (Iles Barren)
- Niveau moyen	2,92	2,40	2,39
- PMVE exceptionnelle	5,50	4,77	4,60
- PMVE moyenne	4,80	4,25	4,20
- PMME moyenne	3,50	3,20	3,10
- SMME moyenne	2,30	1,78	1,80
- SMVE moyenne	1,00	0,60	0,70
- SMVE exceptionnelle	0,60	0,02	0,50

- où PMVE : Pleine Mer de Vives Eaux
- PMME : Pleine Mer de Mortes Eaux
- SMVE : Basse Mer de Vives Eaux
- SMME : Basse Mer de Mortes Eaux

### V.2.3.3. - Les courants

Ce courant de Mozambique qui est un courant de surface demeure très négligeable, le long de la côte de Madagascar (0,01 à 0,04 noeuds). En particulier, aux alentours des Iles Barren, il n'aura aucun effet sur l'accostage du fait de la présence d'assise corallienne au devant de sa direction dominante.

Par contre, les courants de marées ont une importance notable à Mahajanga auxquels s'ajoutent aussi dans ce site d'estuaire une composante fluviale : dans la zone de mouillage des navires, par crue du fleuve Betsiboka et grande marée les courants de jusant est de 2,7 à Noeuds et aux extrémités de la pointe Katsepy et de la digue Shneider, ils arrivent à dépasser les 4 noeuds.

Au droit de Morondava, l'action du vent qui prédomine dans le phénomène des courants, celle de la marée restant mineure :

- en régime S.H., ceux-ci restent orientés vers le secteur S.W. pour le jusant comme pour le flot (0,04 à 0,20 noeuds)
- en régime S.H., les courants de flot portent vers le 62° avec une vitesse moyenne de 0,06 noeuds et ceux de jusant vers le 213° avec une vitesse moyenne de 0,45 noeuds.

Direction  
Région  
S. E. R. D. I.  
Société d'Etude et  
Pour le Développement  
S. E. R. D. I.

#### 7.2.4. - Conclusions

La considération des conditions météorologiques et nautiques de cette partie de la Côte Ouest entre Mahajanga et Morondava et en particulier aux alentours immédiats des Iles Barren amena les conclusions suivantes :

- sur le plan de la navigation et du transport :

- . ces conditions sont excellentes pour la navigation pendant l'hiver austral, de mai à octobre (en réalité cette saison débute le 15 avril et se termine le 15 octobre de chaque année) : bonne visibilité, vent faible ou modéré, pas de grains ou très peu, pas de fortes tempêtes. Le transport des minerais à partir des Iles Barren devrait donc se faire pendant cette période ;
- . l'agitation due à la houle dépend du vent local qui pendant l'hiver austral est de direction SW. Cette agitation demeure cependant faible (0,50 m à 1 m) et occasionnellement modérée (pendant 10 jours par an). Par contre, les vents du NW, les houles cycloniques de même direction, les fortes pluies, le sens du courant constituent une gêne sérieuse à la navigation dans cet endroit où les bancs et récifs sont nombreux ;
- . la morphologie des îles, côte basse sur une assise corallienne et le courant de surface, négligeable, ainsi que les conditions de marée, semi diurnes, se prêtent bien au beaching, ne gênent pas les accostages et réduisent les temps d'attente des navires transporteurs ;

- sur le choix du site :

• ces mêmes conditions militeraient en faveur du choix du port de Mahajanga comme point de débarquement des minerais des Iles au détriment du port de Morondava dans la direction opposée, pendant la période d'exploitation considérée : le bateau chargé sera poussé par le vent dominant du SW tandis que le courant bien que négligeable favorise ce déplacement vers le Nord. Seul le courant de marée à l'entrée de l'estuaire de la Betsi qui pourrait constituer une gêne à la navigation des petites unités, mais il n'est pas critique pendant la saison retenue le fleuve étant à l'étiage et son action ne se faisant sentir que sur une toute petite distance au devant du port.

### **V.3. - CHOIX DES SITES**

Le choix des sites portuaires aux Iles Barren et du lieu d'implantation de l'usine sur la Grande Terre dépend de plusieurs facteurs et en particulier :

- a) des caractéristiques des bateaux, les tirants d'eau disponibles ayant déjà fait l'objet des considérations du paragraphe ci-dessus (marées) ;
- b) des conditions des sols de fondation ;
- c) de la disponibilité des matériaux et des modes de construction ;
- d) des disponibilités des liaisons terrestres et/ou maritimes.

Les conditions b et c se rapportent plus particulièrement aux points d'embarquement aux Iles Barren où aucune installation n'existe pour l'instant tandis que la condition concerne uniquement la localisation de l'usine de traitement.

#### **V.3.1. - Les caractéristiques du bateau**

Le choix du type de navire à utiliser est fonction :

- du type et du tonnage de marchandises à transporter ;
- du parcours et de la destination finale du produit (consommation essentiellement locale) ;
- des conditions météorologiques et nautiques naturelles ;
- des problèmes qui concernent l'accès ou l'accueil du navire, de leur équipement, des liaisons intérieures.-

Il est ainsi évident, pour le cas présent, de ne plus envisager l'étude des navires minéraliers modernes de 35.000 t à 80.000 t actuels et encore moins des plus gros navires du type ore-oil, pour assurer le transport du minerai des Iles Barren.

Le type de navire considéré est donc du type de ceux qui desservent habituellement la côte Ouest malgache actuelle, entre 100 et 2.000 t de port en lourd. D'ailleurs, l'usine de traitement prévue n'a pas une consommation de minerai qui justifie des cargaisons unitaires plus élevées surtout que l'on n'arrive pas à l'heure actuelle à décharger sur cette côte Ouest les navires géants suffisamment vite pour que les coûts d'immobilisation ne viennent pas compenser en grande partie les économies sur le transport.

Le type de navire retenu dans le choix des solutions est le type LCT Vatsy II ou Vatsy IV qui se prêtent convenablement au transport de vrac ou de pondéreux et qui ont les principales dimensions suivantes :

CARACTERISTIQUES	NAVIRE	VATSY II	VATSY IV	CAP D'AMBRE *
- Longueur hors tout		52,40 m	77,02 m	36,75 m
- Largeur hors tout		9,00 m	13,50 m	9,00
- Tirant d'eau en charge		2,10 m	2,35 m	1,75 m
- Tonnage de jauge brute		487 tx	2.516 tx	371 tx
- Tonnage de jauge nette		221,66 tx	1.216 tx	167 tx
- Vitesse		8 noeuds	10 noeuds	9 noeuds
- Volume cale		1 de 575 m <sup>3</sup>	2 de 900 m <sup>3</sup>	
- Tonnage de port en lourd		250 t	1.014 t	147 t

\* Le Cap d'Ambre est un bateau spécialisé pour le ravitaillement des hydr carbures.

Nous avons déjà vu que l'usine de traitement doit à la fois être localisé dans un port plus ou moins aménagé et capable d'accueillir des longs cours d'une part se trouver à proximité des utilisateurs principaux du produit fini ou du moins dans un endroit aux facilités de liaisons terrestres et/ou maritimes notables d'autre part.

Ces considérations éliminent d'emblée la ville de Maintirano où aucune facilité portuaire n'existe et militent en faveur du choix soit du Port de Mahajanga soit du Port de Morondava. Il est signalé en passant pour ce dernier cas que la Route Nationale 35 qui le relie aux Hauts Plateaux sera bientôt complètement aménagé.

Mais les quais du Port de Morondava ne sont accessibles qu'aux petites unités de 250 t de port en lourd par marées de grandes vives eaux à cause de la passe étroite et peu profonde du canal de Bethania conduisant au port (plafond à + 0,40 m hydro), alors que de telles unités peuvent venir à quai à Mahajanga par marées moyennes (tirant d'eau de 2,70 m par B.M.E le long du quai de batelage).

Comme il est en outre inconcevable de procéder par charlandage du minerai au lieu de déchargement le choix est vite fait :

- le bateau retenu est le LCT Vatsy II ;
- le port de déchargement est celui de Mahajanga.

D'ailleurs, l'exigence d'une grande puissance électrique pour l'usine et d'une disponibilité d'espace suffisant pour le stockage à l'intérieur de l'ancienne portuaire conforte ce choix de Mahajanga pour l'implantation de l'usine.

## V.4. - LE SYSTEME DE TRANSPORT

### V.4.1. L'embarquement

L'embarquement concerne toutes les opérations qui consiste à mettre le minerai brut à bord du navire transporteur à partir d'une zone de stockage à proximité du point d'embarquement.

#### V.4.1.1. - Conception générale et caractéristiques de l'ouvrage

Comme il s'agit de l'exploitation d'un navire LCT, le mode d'accostage retenu est évidemment le beaching.

Le bateau se présentera devant chaque île, perpendiculairement au trait de côte local et dans la direction du vent dominant.

Mais compte tenu des conditions locales évoquées, l'exploitation sur l'île ne pourra se faire que pendant la saison fraîche uniquement, c'est-à-dire pendant 6,0 mois de l'année, du 15 avril au 15 octobre. La direction du vent dominant pendant cette période est N.S.W.

Société d'Etude et de  
Conception et de  
Construction  
S. A. M. D. I.  
pour le  
Bourgeois

Les travaux à prévoir sur chaque île consistent donc simplement à aménager une aire de beachage constituée d'un simple radier en maçonnerie de moellons de 10 m de large descendant jusqu'au zéro hydrographique et de revêtir avec des pavés en béton "trief" une aire d'environ 1,500 m<sup>2</sup> pour permettre le stockage du minerai et l'évolution des matériels de chargement. Des bittes d'amarrage de 20 t seront nécessaires pour maintenir le navire en position pendant l'opération de chargement.

Comme aucun levé hydrographie n'est disponible, nous prenons une longueur maximale du radier égale de 60 m avec une pente de 5 %. L'aire de stockage prévue sur chaque île est de 1,900 m<sup>2</sup>. (cf. annexe 22)

Le beachage se fera ainsi :

- Nosy Lava : accostage par le Nord
  - Nosy Andrano : accostage par le Nord
  - Nosy Androtra : accostage par l'Est
  - Nosy Haroantaly : accostage par l'Est
- (cf. annexe 17 - 18 - 19 - 20 - 21)

#### V.4.2. Durée du transport et rotation des navires

Comme il n'est prévu aucun point d'arrêt entre les îles Barre, et le port de débarquement de Mahajanga, la durée du transport maritime est fonction de deux éléments suivants :

- la longueur du trajet à parcourir ;
- les temps d'arrêts aux points de chargement et de déchargement.

Les distances entre Nosy Andrano situés au centre et sur lequel se trouve le plus gros gisement et les autres Iles entre Nosy Andrano et Mahajanga d'après les cartes marines sont :

- Nosy Andrano à Nosy Meroantaly : 8,3 miles
- Nosy Andrano à Nosy Lava : 2,5 miles
- Nosy Andrano à Nosy Androtra : 7 miles
- Nosy Andrano à Mahajanga : 300 miles

Avec une vitesse de croisière de 8 nœuds, Vatsy II mettra ainsi 38 heures pour atteindre Mahajanga à partir des Iles Barren et vice versa.

Les temps de séjour dans les ports qui jouent un rôle important dans la durée de rotation des navires sont eux-mêmes fonction des éléments principaux suivants :

- le mode de manutention (chargement et déchargement) et la puissance des appareils à prévoir ;
- l'abri contre les intempéries.

Les intempéries dont il s'agit ici sont toutes celles qui obligent à suspendre les opérations de chargement ou de déchargement : il s'agit donc non seulement de la houle et du vent mais aussi de la marée (et de la pluie). Comme pendant la période d'exploitation considérée avril à octobre, il ne pleut pratiquement pas et que les houles océaniques et le vent dépassent rarement le mètre, l'élément limitatif est donc ici la marée.

En admettant un pied de pilote de 30 cm, le Vatsy II qui cale à 2,10 m pourra ainsi accoster ou appareiller lorsque le tirant d'eau sera de 2,40 m, ce qui correspond au niveau de la marée aux Iles Barren qui est à + 2,35 m. Le bas de la rampe sera ainsi au niveau zéro hydrographique.

L'exploitation du navire LCT à toutes marées demandera des investissements importants par la construction d'un appontement pour atteindre les profondeurs adéquates.

L'exploitation du Vatsy II pendant les pleines mers par contre nécessite un temps de maintien au poste d'embarquement de 2 fois 6 1/4 heures par jour, soit 15,6 j/mois avec un temps maximal d'attente d'égale durée.

En utilisant un dispositif de chargement adéquat de 85 t/h (sauterelle + treuil de raglage), le chargement du bateau de 250 t se fera en  $250 \text{ t} / 85 \text{ t/h} = 3,00 \text{ h}$ .

Cycle du bateau :

• embarquement vivre + eau potable	: 0,50 h
• chargement	: 3,00 h
• trajet aller	: 38,00 h
• mise à quai	: 0,75 h
• déchargement	: 3,00 h
• trajet retour	: 38,00 h
• accostage	: 0,75 h

84,00 h = 3,5 j  
de rotation

en supposant que le temps de chargement et de déchargement sont les mêmes ainsi que ceux des manoeuvres de mise à quai et d'accostage.

Le tonnage transporté pendant l'année :

$$250 \text{ t} \times \frac{30 \text{ j}}{3,5 \text{ j/rot.}} \times 6,0 \text{ mois} = 12.857 \text{ t}$$

Comme l'usine peut s'accommoder d'un approvisionnement de 12.000 t/an de minerai brut, un seul bateau du type Vetsy II suffit. A noter que les entretiens du bateau auront lieu pendant la période de non exploitation, de novembre à avril de chaque année. A noter également que ce sont les 3 chargeurs de chargement qui effectuent la mise en stockage. A signaler enfin qu'il faut embarquer 4 citernes de 500 l d'eau potable par semaine (20 l/j/personne), 1.000 l de lubrifiant par an et l'équivalent de 260 l/j de carburant pour l'île Andrano.

#### V.4.3. Le déchargement

Le bateau devant venir à quai pendant les périodes pleines mers; on suppose que celui-ci sera équipé d'appareil de déchargement d'un rendement au moins égal à celui des chargeurs d'embarquement (30 t/h). Le déchargement durera donc 3 h.

Le stockage à Mahajanga se fera soit sur l'aire de stockage derrière le magasin du Quai Vuillemin, soit sur le nouveau terre plein du quai Barriquan. On prendra donc une distance moyenne de 100m à partir du quai de déchargement. Comme il n'y a aucun appareil de déchargement capable de manipuler le produit envisagé sur les quais de Mahajanga, les seuls appareils qui existent étaient destinés aux marchandises générales, on prévoit pour le déchargement la mise en place, soit d'une grue avec benne preneuse, soit d'un dispositif muni d'un treuil

de raciage.\* La mise en dépôt se fera par un système de trémie à partir du bord à quai. 2 chargeurs de 2 t se chargeront du chargement de 5 remorques de 5 t nécessaires au transport du minerai jusqu'à l'usine.

Cycle de chargeur :

• chargement	: 100 sec
• déchargement	: 100 sec
	<hr/>
	200 sec

soit un rendement de :

$$2 \text{ chargeurs} \times 2 \text{ t} \times \frac{2.500}{200} = 72 \text{ t/h}$$

Les 2 chargeurs mettront ainsi 21 mn pour charger les 5 remorques.

Cycle des remorques :

• mise en place	: 60 sec
• chargement	: 1.250 sec
• transport	: 2.400 sec
• déchargement	: 200 sec
• retour à vide	: 1.200 sec
	<hr/>
	5.710 sec    1,60 h

en supposant que l'usine se trouve à 10 km du port.

\* Remarque :

On peut aussi considérer le cas, où le bateau transporteur lui-même peut être équipé d'un appareil de déchargement (mets décharge ou autre) capable d'effectuer l'opération en 2 heures, mais comme le dispositif muni d'un treuil de raciage peut être fabriqué localement mis à part le moteur d'entraînement on l'a l'a retenu pour la suite de l'étude.

**V.5. - COÛT DES INVESTISSEMENTS**

**V.5.1. - Coût de construction des ouvrages maritimes**

Le coût de construction des 4 aires de beaching, sur l'île Andrano est décomposé dans le tableau ci-après :

DESIGNATION	U	Q	P. U. (FRC)	TOTAL (FRC)
- Installation de chantier	Pt	1	15.000.000	15.000.000
- Déblai sableux pour plan incliné et terre plein	m3	500	3.500	1.750.000
- Longrines en B.A.	m3	15	125.000	1.875.000
- Maçonnerie de moellons pour corps de la rampe	m3	140	80.000	11.200.000
- Revêtement terre plein en béton : pavé trief de 13 cm d'épaisseur	m3	1.900	15.000	28.500.000
- Bittes d'amarrage	U	4	450.000	1.800.000
- Eclairage de la zone beaching	Est.			P.M.
<b>TOTAL .....</b>				<b>60.125.000</b>

dont 53.511.000 en monnaie locale  
et 6.614.000 en devises.

### V.5.2: Coût du matériel

Le matériel déjà pris en considération comme matériel d'exploitation minière n'entre plus en ligne de compte dans le calcul du coût de mise à bord :

AFFECTION	NATURE	Coût en monnaie locale (FNG)	Coût en devise (FNG)	Coût total (FNG)
Matériel de secours	- Groupe électrogène 3 à 5 kVA	1.320.000	4.680.000	6.000.000
	- Matériel naval :			
	1 vedette de 75 CV	8.400.000	47.600.000	56.000.000
	- 1 Zodiac avec moteur trésor	1.200.000	6.800.000	8.000.000
Débarquement	- 1 matériel de raclage + trésor	15.400.000	54.600.000	70.000.000
	- 2 chargeurs de 2 tonnes	16.100.000	53.900.000	70.000.000
Sous-total		42.420.000	167.580.000	210.000.000
Transport	1 LCT *	77.715.000	440.385.000	518.100.000
TOTAL .....		120.135.000	607.965.000	728.100.000

\* Deux cas seront considérés ultérieurement : acquisition d'un bateau propre à l'exploitation et location d'un bateau d'une compagnie de navigation. Dans le second cas, cet équipement ne sera pas pris en considération dans le calcul.

**V.5.3. - Récapitulation des investissements**

(en milliers de FFG)

Désignation	Coût en monnaie locale	Coût en devise	Total
Matériel	42.420	167.580	210.000
Construction	53.511	6.614	60.125
Total sans LCT	95.931	174.194	270.125
%	35 %	65 %	100 %
L C T	77.715	440.385	518.100
Total avec LCT	173.646	614.879	788.525
%	22 %	78 %	100 %

Société d'Etude et de Construction  
 Pour le Développement  
 S.E.R.D.I.

**7.6. - COUT D'EXPLOITATION**

Le coût total d'acheminement maritime du minerai brut comporte :

- le prix de revient du coût de mise à bord (matériel et personnel déjà tenus compte dans les exploitations minières) ;
  - le coût de transport proprement dit ;
  - et le prix de revient du coût de déchargement et de mise en stockage ;
- et incorpore chacun des éléments suivants :
- les amortissements ;
  - les charges d'entretien et d'exploitation à l'embarquement pendant le transport et au débarquement ;
  - les pertes économiques inhérentes aux attentes du niveau transport.

**7.6.1. - Salaire du personnel**

Affectation	Nb	Qualification	Salaire annuel *FVG
- Entretien et fonctionnement du matériel naval	1	Patron	4.000.000
	1	Mécanicien	
	2	Catelots	
	2	Manœuvres	
	1	Surveillant de navire	700.000
- <u>Transport</u>	1	Commandant	
- Entretien et fonctionnement LCT	1	Chef mécanicien	22.000.000
	1	Lieutenant	
	7	Catelots et autres	
<u>Débarquement</u>			
- Entretien et fonctionnement du matériel terrestre	1	grutier	2.000.000
	2	conducteurs	
	1	Surveillant de navire	
<b>Total</b>	<b>21</b>		<b>26.700.000</b>

\* Les chiffres avancés tiennent déjà compte des charges sociales

## V.5.2. - Charges d'entretien et pièces de rechange

	Dépenses en monnaie locale (FMG)	Dépenses en devises (FMG)	TOTAL Dépenses FMG
- Entretien ouvrages maritimes 10 %	6.012.000		6.012.000
- Entretien matériel naval dont :			
. pièces de rechange 10 %	1.280.000	5.120.000	6.400.000
. frais d'entretien 3 %	1.920.000		1.920.000
- Entretien groupe électrogène :			
. pièces détachées 10 %	480.000	120.000	600.000
- Entretien du navire LCT :			
. pièces de rechange 10 %	5.181.000	46.629.000	51.810.000
. frais d'entretien 3 %	15.543.000		15.543.000
- Entretien matériel de débarquement :			
. pièces de rechange 10 %	2.800.000	11.200.000	14.000.000
. frais d'entretien 3 %	4.200.000		4.200.000
<b>TOTAL .....</b>	<b>37.416.000</b>	<b>63.069.000</b>	<b>100.485.000</b>

V.5.3. - Charges de fonctionnement

	Dépenses monnaie locales (F'G)	Dépenses en devises (F'G)	Total dépenses (F'G)
- Fonctionnement matériel naval (500 h/an)	2.000.000	500.000	2.500.000
- Fonctionnement LOT *	222.210.000	24.590.000	246.800.000
- Fonctionnement du matériel de débarquement	2.610.000	700.000	3.310.000
<b>TOTAL</b>	<b>226.820.000</b>	<b>25.790.000</b>	<b>252.610.000</b>

\* Le coût de l'exploitation ou d'immobilisation d'un navire LOT de 250 t sera celui actuellement pratiqué par les compagnies de navigation locale, soit :

• en port :  
 602.000 F'G/j pour 157 j par an  
 dont 41 j de port et 155 j de carenage et d'entretien

• en mer :  
 0,262 millions F'G/j pour 163 j d'exploitation par an  
 (76 h/rot. x  $\frac{20}{3,5}$  j/rot. = 6,0 mois)

ce qui donne :

602.000 x 157	=	128,5 millions
0,262 millions x 163 j	=	140,05 millions
		<u>268,55 millions F'G par an</u>

dont 22 millions de salaire du personnel.

V.6.4. - Assurance

Ouvrage maritime 3 %	=	1.805.000 Fmg
Matériel naval 3 %	=	1.920.000 Fmg
		<hr/>
Total		3.725.000 Fmg

Pour LOT : les frais d'assurance sont déjà compris dans les coûts de fonctionnement.

V.6.5. - Pertes économiques

Les pertes économiques inhérentes aux attentes du navire transporteur (fonction de la marée) grevent le coût du transport. Le coût d'immobilisation par jour est de 500.000 F/j et que la durée d'attente moyenne est de 5,25 h par rotation, les attentes se montent à :

$$10,50 \text{ h} \times \frac{20 \text{ j}}{3,5 \times 24 \text{ h}} \times 6,0 \text{ mois} = 26,73 \text{ j/an}$$

correspondant à une dépense de

$$650.000 \times 26,73 = 17.460.550 \text{ Fmg}$$

arrondi à : 17.461.000 Fmg.

### V.6.6. - Récapitulation

Dans le cas d'une acquisition d'un LOT pour le transport, le coût d'acheminement maritime des minerais (amortissement et frais financiers non compris sera :

(en milliers de F.C)

Désignation	Montant en monnaies locales	Montant en devise	Montant total
- Salaire du personnel	28.700	-	28.700
- Charges d'entretien et pièces de rechange	27.216	63.069	100.435
- Charges de fonctionnement	226.510	25.800	252.400
- Assurance	3.725	-	3.725
- Pertes écologiques	17.451	-	17.451
<b>Total</b>	<b>314.302</b>	<b>88.869</b>	<b>403.761</b>

- Dans le cas de non-acquisition d'un bateau propre à la société mais un affrètement du Vatsy II de la CNP pour le transport du minerai des Iles Barren vers le port de Mahajanga on a :

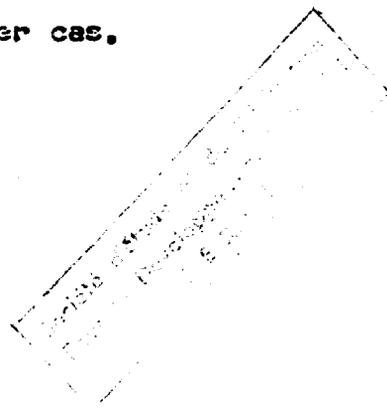
- la durée total du cycle : chargement, trajet aller-retour et déchargement pour transporter 250 à 300 tonnes du minerai est d'environ 24 heures (2,5 j)
- pour le transport de 12.000 tonnes de tout-venant le bateau sera affecté pendant 175 jours par an par la société exploitante, cela équivaldrait à un coût annuel de transport de 151.240.000 F.C, le frêt journalier du bateau étant de 864.800 F.C,

V.6.7. - CONCLUSION

La comparaison des résultats obtenus dans les deux cas :

1er cas :            de transport : 403.761.000 F/G/an  
                         amortissement et frais financier non compris  
2è cas : coût de transport : 151.340.000 F/G/an

permet d'ores et déjà de conclure que le 1er cas est à exclure d'une part parce que le coût d'exploitation est plus cher, d'autre part les investissements trop lourds avec une dépense en devise très importante. La suite de l'étude ne tiendra donc plus compte de ce premier cas.



Société d'Études et de Publication  
Pour le Développement Rural et  
Agricole

Traitement et Conditionnement

## **VI.1. - LOCALISATION DE L'USINE**

Dans le chapitre précédent traitant des études de marché, nous avons retenu comme centre de distribution et d'implantation de l'usine trois sites : Mahajanga, Morondava et Maintirano. Nous avons d'emblée écarté Maintirano, mais rappelons d'abord ce qu'il faut pour opérer le choix de la localisation de l'usine qui doit tenir compte des contraintes suivantes :

- Disponibilité en divers services publics et plus particulièrement de l'énergie électrique ;
- Existence de l'infrastructure de desserte suffisamment fiable, permettant de limiter les coûts de transports tant du point de vue de l'approvisionnement de l'usine, que du point de vue de l'évacuation de ses produits ;
- disponibilité en main d'œuvre qualifiée.

Du point de vue de la proximité, trois sites de la côte Ouest de Madagascar peuvent être mis en concurrence :

- Maintirano, ville la plus proche des Iles Barren conviendrait pour l'implantation de l'usine, malheureusement, la fourniture d'énergie exigerait l'installation d'un groupe au seul usage de l'unité, la qualité des autres services (téléphone, télé. ...) y est d'un niveau rudimentaire. Le port de Maintirano n'est plus desservi par les compagnies maritimes.

Enfin, Maintirano ne comporte aucun débouché routier vers l'arrière pays. A moyen terme, la politique routière actuelle, plutôt tournée vers la réhabilitation des grands axes routiers existants n'envisage pas encore de terminer la construction de la liaison Tsiroanomandidy - Maintirano.

- La deuxième ville, qui peut retenir l'attention est celle de Morondava, pour laquelle la réhabilitation des infrastructures portuaires est envisagée, de même que la construction de la route nationale 35 (Mahabo - Maleimbandy), qui rendrait permanente la liaison Morondava - Hauts-Plateaux.

Par contre, le problème des services publics se pose sur l'installation de l'usine de Morondava, en raison notamment de l'insuffisance de l'énergie.

- Le troisième site envisageable pour l'implantation de l'usine est la ville de Mahajanga. Elle présente toutes les conditions nécessaires, et bénéficie maintenant d'un passé industriel. La COTEMA qui est l'une des plus importantes unités industrielles malgaches y est implantée. Le port en rade de Mahajanga est le deuxième du pays. Le problème de la fourniture d'énergie ne s'y pose pas.

Mahajanga est reliée à Antananarivo par la route nationale 4 qui figure dans le programme de réhabilitation routier. Cet axe, est l'un des plus fréquentés du pays, l'embranchement vers le Nord, Port Bergé, Antsohihy, ANTSIKAIANA (RN. 6) se trouve sur cet axe.

Bien que le coût de transport des phosphorites des Iles Barren vers MAHAJANGA soit plus cher, que sur Maintirano, son impact sur les utilisateurs est amorti par un coût moindre au plan de la distribution (voir coûts de transports).

Nous pouvons donc proposer l'implantation de l'usine d'engrais à MAHAJANGA.

## VI.2. - FLOW-SHEET

### VI.2.1. - Capacité de l'usine de traitement

L'usine de traitement et de conditionnement aura à traiter annuellement 12,000 tonnes de minerai tout-venant, soit 5 tonnes par heure en marche de 1 poste de 8 heures par jour ouvrable (200 jours ouvrables dans l'année).

L'usine travaillera régulièrement pendant 12 mois de l'année mais elle ne sera approvisionnée en phosphorite des îles que pendant 6 mois, ce qui implique une capacité de stockage de 6,000 tonnes à l'entrée. Comme il tombe sur la côte Ouest, de 110 à 175 mm d'eau par mois, entre novembre et mars, ce stock devra être donc couvert.

L'utilisation principale des engrais, environ 6,000 tonnes se situe sur les rizières entre octobre et janvier. Il y aura donc stockage de 3,000 tonnes (consommation locale + exportation) en pointe en estimant à 1,000 tonnes la quantité des produits finis pouvant être stockés chez les distributeurs.

### IV.2.2. - Choix du matériel

Aucun essai minarurgique n'a été encore effectué. Il nous est difficile de choisir les matériels et équipements sans émettre certaines hypothèses, à savoir :

- le minerai tout-venant ne nécessite pas l'opération de concassage ;
- le séchage sur l'île est suffisant pour ne pas recourir à l'utilisation d'un séchoir à l'usine de traitement ;
- le produit fini aura une granulométrie de 160  $\mu$  au maximum et sera présenté en paillette compactées pour faciliter l'utilisation.

La considération de ces données nous a conduit à adopter le flow-sheet défini à l'annexe 15.

### VI.2.3. - Processus du traitement des phosphorites

Un convoyeur à bande (5 tonnes/heure) reprend les trois qualités de minerai sur les tas de stockage. Muni d'une station de déversement mobile, il peut alimenter les silos d'entrée.

Les produits soutirés de chaque file, grâce à des extracteurs vibrants placés à la base des silos, sont pesés à l'aide d'une bascule automatique avant d'être admis dans la trémie de stockage qui alimente le mélangeur (10 tonnes/heure), l'acheminement du produit de la trémie de stockage vers le mélangeur étant assuré par un transporteur de liaison à courroie.

À la sortie du mélangeur, le produit homogénéisé est acheminé par un convoyeur à bande (5 tonnes/heure) vers une trémie tampon de 10 tonnes qui sert à alimenter le broyeur à boulets.

Après le broyage, le produit est "hydrocyclonné". Les grains de dimensions inférieures à 1 mm sont admis dans une trémie de stockage avant d'avoir subi l'opération de compactage. Les grains de dimensions supérieures à 1 mm seront recyclés et un élévateur à godets en assurera le transport.

À la sortie du compacteur, le produit est criblé. Les dimensions inférieures à 1 mm sont stockées dans une trémie tandis que les refus sont recyclés. Un ensemble convoyeur élévateur achemine le produit fini du crible vibrant vers la trémie de stockage (50 tonnes) munie d'une ensacheuse avec 2 becs d'ensachage pour sac à valve (en plastique).

**VI.2.4. - Caractéristiques du matériel de traitement et de conditionnement**

**VI.2.4.1. - Matériel de préparation du minerai**

- Deux chargeurs transporteurs diesel sur pneus reprennent les 3 qualités du minerai sur les tas de stockage et déversent leur contenu dans la trémie d'alimentation du convoyeur à bande qui dessert les 3 silos d'entrée.

- . capacité du godet du chargeur ..... 2 tonnes
- . moteur diesel (refroidissement à air) 30 CV
- . consommation en gas-oil ..... 15 litres/poste de 8 heures

- Cinq tracteurs (type agricole) remorquant chacun une benne basculante de 5 tonnes (à 2 roues) transportent le minerai du transport de WAJANGA vers l'usine de traitement :

- . puissance du tracteur ..... 82 CV
- . remorque à benne basculante ..... 5 tonnes
- . consommation en gas-oil ..... 20 litres/poste de 8 h

- Un convoyeur à bande muni d'une trémie de chargement alimente les 2 silos d'entrée

- . longueur de la bande transportatrice ..... 200 m au max.
- . largeur ..... 650 mm
- . vitesse ..... 1,50 m/s
- . puissance motrice (moteur électrique) ... 10 kW
- . débit ..... 10 t/h

- Trois silos d'entrée de capacités respectives de 20 tonnes (teneur  $\leq 18\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ), 10 tonnes ( $18\% \leq t \leq 30\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ) et 10 tonnes ( $t \geq 30\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ) munis chacun à la base d'un extracteur :

- . puissance installée de l'extracteur ..... 2 kW

- Une balance automatique de portée de 10 tonnes munie d'une trémie de pesage sert à peser les produits extraits de 3 silos.
  
- Une trémie de capacité 12,5 m<sup>3</sup> (20 tonnes), réalisée en acier épais avec rails de protection, volets d'impacts et munie d'un extracteur vibrant, est destinée à stocker le produit avant son admission dans le mélangeur
  - . puissance installée de l'extracteur : 2 kW
  
- Un mélangeur capable de traiter 5 tonnes/heure
  - . puissance du malaxeur/ ..... 20 kW
  - . vitesse ..... 0,3 à 0,5 m/s
  
- Un transporteur de liaison trémie de stockage mélangeur à système courroie :
  - . courroie : - largeur 200 m
  - vitesse 1 m/s
  - à 2 plis, complet avec châssis de tête avec goulotte et châssis avec système de tension
  - . puissance : 3 kW

VI.2.4.2. - Matériel de broyage

- Une trémie tampon de capacité 6,25 m<sup>3</sup> (10 tonnes), réalisée en acier épais avec système de protection est munie d'un extracteur vibrant sert à alimenter le broyeur ;
  - . puissance de l'extracteur ..... 2 kW

- Un broyeur à boulets :
  - . granulométrie à la sortie 0 - 16  $\mu$
  - . recyclage possible (sievsteurs)
  - . capacité : 5 tonnes/heure
  - . puissance du moteur : 25 kW (broyeur + système de recyclage)
  
- Un couple cyclone - ventilateur
  - . débit : 3,5 m<sup>3</sup>/heure
  - . granulométrie : 16  $\mu$
  - . puissance : 7,5 kW
  
- Un sievateur à godets acheminera le produit à recycler du couple cyclone - ventilateur vers le broyeur
  - . capacité : 3 tonnes/heure
  - . puissance : 20 kW

Société d'Équipement  
Pour le Développement Rural

VI.2.4.3. - Matériel de compactage

- Une trémie de stockage de capacité 6,25 m<sup>3</sup> (10 tonnes) réalisée en acier épais avec système de protection et munie d'un extracteur vibrant, reçoit le produit provenant de l'hydrocyclone et alimente le compacteur :
  - . puissance de l'extracteur ..... 2 kW
  
- Un compacteur capable de traiter 5 tonnes/heure
  - . puissance installée ..... 15 kW

**VI.2.4.4. - Station de criblage**

- Le crible, équipé de son moteur, est monté dans une structure de support avec accès et recouvrement
- Le refus du criblage (supérieur à 1 à 2 mm) est évacué par le transporteur à courroie et recyclé au compactage
- Le passant est évacué par un ensemble convoyeur élévateur vers la trémie de stockage du produit fini  
• puissance installée du crible : 7,5 kW
- Le transporteur à courroie, recyclage crible -compacteur  
• courroie : largeur 200 mm  
• vitesse : 1 m/s  
à 3 pils complet avec châssis de tôle avec châssis de tôle avec goulotte et châssis avec système de tension  
• puissance : 3 kW
- Le transporteur d'évacuation ; crible vers trémie de stockage du produit fini (ensemble convoyeur élévateur)  
a. - convoyeur :
  - longueur : 15 - 20 m
  - largeur : 650 mm
  - vitesse : 1,50 m/s
  - puissance : 7,5 kW
  - débit : 5 tonnes/heure
- b. - élévateur :
  - puissance : 20 kW

Société d'études et de réalisation  
Pour le Développement  
S.E.R. - 100000  
100000

VI.2.4.5. - Stockage et ensachage:

- Un silo étanche à produit fini de 50 tonnes, muni d'ensacheuse avec 2 becs d'ensacheuse pour sacs à valve.

Le produit fini est mis en sacs à double paroi (intérieure polyéthylène, extérieure en naka ou jute). Pour l'exportation, on groupera le produit par 20 sacs de 50 kg (1 tonne) dans une enveloppe spéciale.

- On prévoiera pour le matériel de stockage, deux engins de levage de portée égale à 2 tonnes chacun (moteurs électriques).

- Le produit fini sera mis en stock dans un hangar de 350 m<sup>2</sup> pouvant contenir 5.000 tonnes.

VI.2.4.6. - Matériel de laboratoire

On utilisera le même matériel que celui prévu pour le laboratoire/sur l'île où l'on exploite le minerai tout-venant.

VI.2.4.7. - Matériel pour l'atelier d'entretien

- 1 établi à 2 étaux
- 1 tour, 11 entre pointes 250 à banc rompu, 10 outils carbure
- 1 perceuse à colonne, cône morse n° 3, capacité 32  
1 mandrin à clés
- 1 perceuse d'établi, capacité 13 mm, cône morse n° 1
- 1 touret à mouler
- 1 pied à coulisse comparateur
- 1 ensemble 174 outils, collection maintenance industrielle

- 1 poste autogène, 2 chalumeaux soudeur et découpeur
- 2 manomètres, 1 chariot porte-bouteilles, lunettes et accessoires
- 1 poste à arc, baguettes de 1,6 à 5,1, 1 caisse d'électrodes, 1 équipement complet
- 1 scie mécanique
- 1 équipement de grainage
- 1 armoire à outillage
- 1 chargeuse d'accus (12 V, 24 V)

VI.2.4.3. - Caractéristiques des constructions et bâtiments

- Le terrain

Le terrain de l'usine devra avoir une surface de environ 15.000 m<sup>2</sup>. Il devra être suffisamment stable et drainé.

- Les installations

Un hangar avec colonnes, toiture et parois abritera les installations de broyage, de compactage et de criblage.

servira également au stockage des sacs, atelier et pièces de rechange. Il aura une surface au sol de 1.000 m<sup>2</sup>.

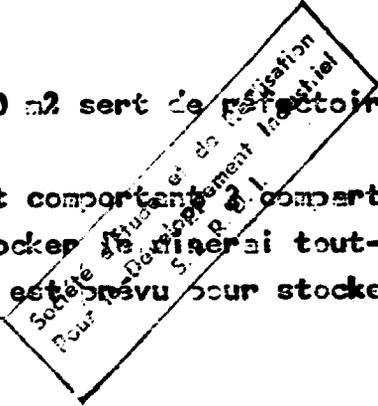
Un bâtiment de 200 m<sup>2</sup> groupera :

- les bureaux administratifs (direction, employés, salle de réunion)
- l'infirmierie
- le laboratoire.

Un bâtiment préfabriqué de 60 m<sup>2</sup> sert d'habitation au gardien de l'usine.

Un bâtiment de 50 m<sup>2</sup> sert de réfectoire aux ouvriers.

Un hangar couvert comportant deux compartiments de 800 m<sup>2</sup> chacun sert à stocker les minerais tout-venant. Un autre hangar de 500 m<sup>2</sup> est prévu pour stocker les produits finis.



## VI.2.5. - Matières consommables diverses

VI.2.5.1. - Energie

Affectation du matériel	Désignation du matériel	Puissance installée (KW)	Taux d'utilisa- tion (h/poste)	Consomma- tion jour- nalière (KWh)
PRÉPARATION DU MINÉRAI	- Convoyeur à bande			
	• Longueur : 200 m maxi			
	• Débit : 10 t/h	10	8	80
	- 3 silos d'entrée			
	• Extracteurs	6	4	24
	- Trémie de stockage de 20t de capacité			
	• Extracteur	2	4	8
	- Mélangeur (5 t/h)			
• Malaxeur	20	8	160	
- Transporteur de liaison à courroie	3	8	24	
BROYAGE	- Trémie tampon de 10 T			
	• Extracteur	2	8	16
	- Broyeur à boulets	25	8	200
	• - Couple cyclone-ventil.	7,5	8	60
	- Elevateur à godets	20	6	120
COMPACTAGE	- Trémie de stockage			
	• Extracteur	2	6	12
	- Compacteur	15	8	120
CRIBLAGE	- Crible	7,5	6	45
	- Transporteur à courroie: (crible-compacteur)	3	6	18
	- Ensemble convoyeur - elevateur	27,5	6	165
ÉCLAIRAGE ET AUTRES	- Usine, bureaux et loge- ments du personnel	50	10	500
CATELIER	- Divers matériels	100	6	600
BESOIN EN EAU	- Motopompe	4,5	2	9
	TOTAL .....	291 KW	-	2 161 KWh
		= 364 KVA		par jour

Cette consommation engendrerait une dépense annuelle de :

$$2161 \times 300 \times 54,88 = 35.570.704 \text{ FRC}$$

(Prix de Vol. à MINAJANGA. Service de 54,88 FRC soit : 2.550 FRC/T)

### VI.2.5.2. - Carburants

La consommation en gas-oil concerne celle :

- de deux chargeurs transporteurs ..... 15 litres/j/engin
- de cinq tracteurs à remorques ..... 20 litres/j/voiture
- de trois voitures tout-terrain (liaison) 10 litres/j/voiture
- d'un car pour le transport du personnel 15l/j

Soit une consommation de 52.500 litres par an, et une dépense de 4.450.000 FFG/an.

### VI.2.5.3. - Lubrifiants

On estimera à 5.000 litres (environ 10 % de la consommation des carburants) la consommation en lubrifiants, toutes qualités confondues.

Cette consommation occasionnerait une dépense annuelle de 500.000 FFG.

### VI.2.5.4. - E \_ a \_ u

Les besoins en eau seront assurés par la Société JIRAMA, mais il est nécessaire de prévoir un captage par puits qui alimentera l'usine en cas de défaillance de cette dernière.

Le puits devra couvrir les besoins minimaux (30m<sup>3</sup>/jour) de l'usine. Une moto-pompe d'une puissance de 4,5 kW sera prévue à cet effet. Elle servira également au remplissage des citernes d'eau pour l'approvisionnement des files.

Les coûts des travaux de captage sont estimés à 20 millions de FIG.

Les besoins annuels en eau sont : 10.000 m<sup>3</sup>

Soit une dépense annuelle de : 1.196.200 FIG ou 119,63 FIG/t

VI.2.5.5. - Réactifs de laboratoire et autres produits divers

On prévoiera une dépense de 500.000 FIG par an pour l'achat des réactifs chimiques et autres produits de laboratoire.

VI.2.5.6. - Sacs et emballages

On consommera par an :

- 200.000 sacs de 50 kg en paka
- 200.000 sacs de 50 kg en polyéthylène
- 4.000 sacs de 1 tonne pour les produits à exporter

On estime que les dépenses affectées à ce poste seront de 70.000.000 FIG/an.

VI.2.5.7. - Pièces de rechange

L'acquisition des pièces de rechange nécessitera une dépense annuelle estimée à 10 % de la valeur des investissements en matériel, soit 52.300.000 FIG.-

VI.2.5.8. - Tableau récapitulatif (en FFG)

Désignation	Dépense en : monnaie locale	En devise	TCEL
Energie	35.578.700	-	35.578.700
Carburant	9.450.000	-	9.450.000
Lubrifiants	5.000.000	-	5.000.000
E a u	1.196.300	-	1.196.300
Réactifs de laboratoire et autres produits	-	500.000	500.000
Sacs et emballages	70.000.000	-	70.000.000
Pièces de rechange	32.792.000	40.508.000	53.300.000
Imprévus (15 % total)	20.676.000	5.578.000	26.254.000
<b>TOTAL .....</b>	<b>154.693.000</b>	<b>46.586.000</b>	<b>201.279.000</b>

Société d'Etude et Réalisation  
 Pour le Développement  
 S.E.R. 20

VI.2.6. - Investissements et frais divers (coûts CAF MANAJANGA,VI.2.6.1. - Equipements productifs

AFFECTATION	NATURE	DEPENSE		COUT TOTAL
		MONNAIE LOCALE	DEVISE	
:	:	LB (FNG)	(FNG)	(FNG)
LIASON ET PREPARATION DU MINERAL	- 3 voitures + 1 car	14.000.000:	46.000.000:	60.000.000:
	- 2 chargeurs trans- porteurs	3.500.000	12.500.000	16.000.000
	- 5 tracteurs à remor- que (5 t)	18.000.000 <sup>2</sup>	62.000.000 <sup>2</sup>	80.000.000 <sup>2</sup>
	- Conveyeur à bande			
	- Trémie de charge <sup>t</sup>	4.500.000:	15.500.000:	20.000.000:
	- 3 silos d'entrée			
	- Extracteurs			
	- Balance automat.	10.000.000 <sup>2</sup>	15.000.000 <sup>2</sup>	25.000.000 <sup>2</sup>
	- 1 trémie (20 T) +			
	- Extracteur	4.000.000:	6.000.000:	10.000.000:
	- 1 mélangeur + acces.	3.500.000:	11.500.000:	15.000.000:
	- 1 transporteur de liaison à courroie	700.000	2.300.000	3.000.000
BROYAGE	- 1 trémie tampon + extracteur	2.400.000:	3.600.000:	6.000.000:
	- 1 broyeur à boulet	4.500.000:	15.500.000:	20.000.000:
	- 1 élévateurs à godets	1.300.000:	8.700.000:	10.000.000:
	- 1 couple cyclone- ventilateur	1.000.000	4.000.000	5.000.000
COMPACTAGE	- 1 trémie de stockage <sup>2</sup> + extracteur	2.400.000:	3.600.000:	6.000.000:
	- 1 compacteur	4.800.000:	7.200.000:	12.000.000:
CRIBLAGE	- 1 crible avec acces- soires			

AFFECTATION :	NATURE :	DEPENSE MONNAIE LOCALE :	DEVISE (FCG) :	COUT TOTAL (FCG) :
:	:	LE (FCG) :	:	:
SCRIBLAGE :	- 1 transporteur à courroie :	700.000 :	2.300.000 :	3.000.000 :
:	- 1 convoyeur à bande :	2.400.000 :	3.600.000 :	6.000.000 :
:	- 1 élévateur :	1.300.000 :	8.700.000 :	10.000.000 :
STOCKAGE :	- 1 trémie (50 T) :	7.000.000 :	25.000.000 :	30.000.000 :
:	- 1 ensacheuse à 2 bacs :	700.000 :	2.300.000 :	3.000.000 :
:	- 2 engins de levage :	2.400.000 :	3.600.000 :	6.000.000 :
LABORATOIRE :	- Matériels et équipements :	1.000.000 :	4.000.000 :	5.000.000 :
ATELIER D'ENTRETIEN :	- Matériels et équipements divers :	20.000.000 :	80.000.000 :	100.000.000 :
ELECTRICITE :	- Matériel et équipements divers :	:	:	:
:	transformateur, coffrets de protection :	18.000.000 :	62.000.000 :	80.000.000 :
E A U :	- Moto-pompe + accessoires :	100.000 :	1.900.000 :	2.000.000 :
TOTAL .....	:	128.200.000 :	404.800.000 :	533.000.000 :

VI.2.6.2. Bâtiment et construction

NATURE	SUPER- FICIE m2	PRIX du m2	DEPENSES EN MONNAIE LOCALE (FCG)	DEVISE (FCG)	COUT TOTAL (FCG)
- Engineering et Génie Civil (6 %)	-	-	5.850.000	25.500.000	29.350.000
- Hangar couvert abri- tant les installations	1.000	100.000	90.000.000	10.000.000	100.000.000
- Bâtiment (bureau)	200	150.000	27.000.000	3.000.000	30.000.000
- Bâtiment préfabriqué en bois	60	70.000	3.780.000	420.000	4.200.000
- Bâtiment social (réfectoire)	50	150.000	6.750.000	750.000	7.500.000
- Hangar couvert à 3 compartiments	2.400	100.000	92.000.000	48.000.000	240.000.000
- Hangar couvert pour stockage des pro- duits finis	500	80.000	22.000.000	8.000.000	40.000.000
- Logements pour DG, DT, DAF	300	180.000	40.000.000	5.000.000	45.000.000
- Citerne gas-oil (4500 litres)	-	-	2.000.000	500.000	2.500.000
- Captage d'eau	-	-	18.000.000	2.000.000	20.000.000
<b>TOTAL .....</b>			<b>417.380.000</b>	<b>101.170.000</b>	<b>518.550.000</b>

VI.2.6.3. - Terrain

Les terrains sont cédés gratuitement par l'Etat dans le cadre d'une convention d'établissement.

**VI.2.6.4. - Personne:**

**- Personne: de cadre**

Le personnel de cadre est commun aux trois sections :  
exploitation, transport, traitement-conditionnement.

**DIRECTION GENERALE**

- 1 Directeur Générale (H.C.)
- 1 Secrétaire de Direction (53)
- 1 Chauffeur (12)

**DIRECTION ADMINISTRATIF/FINANCIER**

- 1 Directeur administratif (H.C.)
- 1 Comptable (12)
- 1 Secrétaire (22)

**DIRECTION TECHNIQUE USINE**

- 1 Directeur technique (ingénieur)
- 1 Responsable entretien (0P2)
- 1 Chauffeur (12)
- 1 Technicien de laboratoire (0P23)

**SERVICE COMMERCIAL**

- 1 Responsable vente (5A)
- 1 Secrétaire (22)

**DIVERS**

- 2 Chauffeurs (12)
- 1 Planton (1A)
- 2 Nettoyeur (1A)

AFFECTATION	Nbre Total	Qualification	Indice d'embauche	
			Indivi- dual	TOTAL
<b>PREPARATION DU MINERAI</b>				
- Chargeurs transporteurs	2	Chauffeur (A2)	390	780
- Tracteurs + remorques	5	Chauffeur (C1)	405	2025
<b>FABRICATION</b>				
- Chef de fabrication	1	Agent de maîtrise (OP3)	1200	1200
- Ouvriers de fabrication	4	Ouvrier spécialisé (OS3)	460	920
- Manoeuvre	4	Manoeuvre spécialisée (M2)	330	1320
- Ensachage	2	Ouvrier spécialisé (OS3)	460	920
<b>ATELIER D'ENTRETIEN</b>				
- Electromécanique	2	Chef chantier (OP2B)	910	1820
- Chaudronnerie	1	Ouvrier profes. (OP1B)	605	605
- Tour-perceuse	1	Ouvrier profes. (OP1B)	605	605
- Ajustage	1	Ouvrier profes. (OP1B)	605	605
- Aide	2	Ouvrier ordin. (OS2)	405	910
(-----)				
	25	TOTL ....		12630

Service de l'Industrie  
 Pour le ...  
 ...

- Salaire et charges sociales

QUALIFICATION	Nombre : total	Salaire mensuel : individuel (FNG)	Salaire mensuel : total (FNG)	Salaire annuel : total (FNG)
<b>A/- PERSONNEL DE CADRE</b>				
. Directeur Général (HC)	: 1	: 350.000:	350.000:	4.200.000:
. Directeur Technique (HC)	: 1	: 280.000:	280.000:	3.360.000:
. Directeur Administ. (HC)	: 1	: 280.000:	280.000:	3.360.000:
. Responsable vente (5A)	: 1	: 53.628:	53.628:	643.536:
. Responsable entretien (OP3)	: 1	: 70.718:	70.718:	848.616:
. Secrétaire (5A) Dir. Tech. 53	: 1	: 53.628:	53.628:	643.536:
. Secrétaire (2B)	: 1	: 23.867:	23.867:	286.404:
. Comptable (5B)	: 1	: 70.718:	70.718:	848.616:
. Technicien de laborat. (OP2B)	: 1	: 53.628:	53.628:	643.536:
. Chauffeur (A2)	: 1	: 22.983:	91.932:	1.103.184:
. Planton-nettoyeur (1A)	: 1	: 17.679:	53.037:	636.444:
<b>B/- PERSONNEL OUVRIER</b>				
. Agent de maîtrise (OP3)	: 1	: 70.718:	70.718:	848.616:
. Chef de chantier (OP2B)	: 2	: 53.628:	107.256:	1.287.072:
. Ouvrier profession. (OP1B)	: 3	: 35.653:	106.959:	1.283.508:
. Ouvrier spécialisé (OS3)	: 6	: 27.108:	162.648:	1.951.776:
. Ouvrier ordinaire (OS2)	: 2	: 23.867:	47.734:	572.808:
. Chauffeur de véhicules (A2)	: 2	: 22.983:	45.966:	551.592:
. Chauffeur d'engin (C1)	: 5	: 23.867:	119.335:	1.432.020:
. Manoeuvre spécialisé (M2)	: 4	: 19.447:	77.788:	933.456:
<b>TOTAL .....</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>2.190.278</b>	<b>26.283.336</b>

Frais du personnel

. salaires annuels .....	26.283.336 FNG
. charges sociales .....	4.731.000 FNG
	<u>31.014.336 FNG</u>
arrondi à .....	<u>31.015.000 FNG</u>

**VI.2.6.5. - Frais d'entretien**

Les frais d'entretien sont évalués à 5 - 6 % des coûts des investissements, c'est la pratique courante dans les exploitations minières et industrielles, soit 54.005.000 Fmg.

**VI.2.6.6. - Assurances**

Elles concernent le matériel de production, les bâtiments, le matériel roulant, les stocks des matières premières, des produits en cours et des produits finis.

! Valeur à assurer	! Montant en milliers de Fmg	! Taux %	! Primes annuelles en 1.000 Fmg
! Detiments	! 518.500	! 3	! 15.557
! Matériel de production	! 377.000	! 3	! 11.310
! Matériel roulant (tout risque)	! 156.000	! 7	! 10.920
! Stocks	! 24.825	! 3	! 2.845
! Total	!	!	! 40.632

**VI.2.6.7. - Frais divers**

Ils comprennent les frais de publicité et de représentation, les frais d'imprimerie et besoins du bureau, les sous-traitances, les frais de PTT, voyage mission etc ...

Ils sont estimés à 10 % des charges dues à la main d'oeuvre, à l'entretien et aux assurances, soit 125.650.000 Fmg dont 1.400.000 Fmg libellés en devise.

VI.2.6.5. - Récapitulation des investissements

(en Milliers de FFB)

Désignation	Coût en monnaie locale	Coût en devise	TOTAL
Matériel de production	128.200	404.800	533.000
Bâtiment construction	417.380	101.170	518.550
TOTAL .....	545.580	505.970	1.051.550
% .....	52 %	48 %	100 %

Société d'Etude et de Réhabilitation  
 pour le Développement Industriel  
 S. E. R. D. I.

VII. - ETUDE PRELIMINAIRE DE RENTABILITE

Société d'Etude et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. D. I.

## VII.1. - Récapitulation des données

Sans les connaissances précises sur les réserves et les teneurs du gisement, il semble encore difficile au stade actuel d'élaborer un planning de réalisation du projet. Pour le moment on peut se baser sur l'hypothèse que l'usine ne pourrait produire qu'en 1950 et la durée de vie du projet est de 15 ans avec une année de préproduction.

### VII.1.1. - Investissements initiaux

(En milliers de FFG)

Désignation	Coût en monnaie locale	Coût en devise	Total
<b>1. MATÉRIELS PRODUCTIFS</b>			
- Exploitation	35.650	130.550	166.200
- Transport	42.420	167.580	210.000
- Traitement	128.200	404.800	533.000
<b>2. TRAVAUX ET CONSTRUCT°</b>			
- Exploitation	91.200	11.800	103.000
- Transport	53.511	6.614	60.125
- Traitement	417.380	101.170	518.550
<b>3. AUTRES EQUIPEMENTS</b>			
- Exploitation	4.650	7.200	11.850
<b>4. Frais de premier établissement *</b>	33.678	31.878	65.556
<b>TOTAL</b>	<b>806.688</b>	<b>861.552</b>	<b>1.668.240</b>
%	48 %	52 %	100 %

\* Voir détail à la page suivante, il ne tient pas encore compte des frais financiers pendant la période de préproduction.

VII.1.2. - Frais de 1er établissement

(En milliers de FFG)

Désignation	Montant	dont en monnaie locale	dont en devise
- Etudes préparatoires	35.800	21.006	14.074
- Planification et direction de la mise en oeuvre du projet	6.230	3.615	3.615
- Surveillance, coordination et réception de l'équipement et travaux de génie civil	10.858	2.816	8.042
- Essai de fonctionnement et mise en route	4.158	1.628	2.520
- Constitution de l'administration	2.238	2.238	
Recrutement et formation du personnel	3.962	1.418	2.544
- Promotion du produit	2.230	1.147	1.083
<b>Sous-total</b>	<b>65.556</b>	<b>31.678</b>	<b>33.678</b>

VII.1.3. - Tableau des amortissements

(En milliers de FIG)

Désignation	Montant (en milliers de FIG)	Taux des amortisse- ments	Montant des amortis- sements annuels
<b>EXPLOITATION</b>			
- Matériel de production *	142.200	20 %	28.400
- Matériel roulant	24.000	20 %	4.800
- Bâtiment construction	103.000	5 %	5.150
- Autres équipements	11.850	10 %	1.185
Sous-total	281.050		39.535
<b>TRANSPORT</b>			
- Matériel	210.000	10 %	21.000
- Construction	60.125	5 %	3006,25
Sous-total	270.125		24.006,25
<b>TRAITEMENT-CONDITIONNEMENT</b>			
- Matériel de production	377.000	10 %	37.700
- Matériel roulant	156.000	20 %	31.200
- Bâtiment construction	518.550	5 %	25.927,5
Sous-total	1.051.550		94.827,5
Frais de ler établissement	65.556	20 % non renouv.	13.111,2
<b>TOTAL</b>	<b>1.668.281</b>	-	<b>171.479</b>

\* Compte tenu des conditions de travail très rude sur les files.  
On suppose que le matériel est amorti en 5 ans.

VII.1.3. - Tableau des investissements et renouvellements

(en milliers de FFR)

Désignation	Durée de vie	Montant des investissements et renouvellements			Valeur résiduelle	
		année de production	5 <sup>e</sup> année	10 <sup>e</sup> année	15 <sup>e</sup> année	
<b>EXPLOITATION</b>						
- Matériel de production	5 ans	142.200	142.200	142.200	-	
- Matériel roulant	5 ans	24.000	24.000	24.000	-	
- Bâtiments - construction	20 ans	103.000	-	-	25.750	
- Autres équipements	10 ans	11.850	-	11.850	5.925	
<b>TRANSPORT</b>						
- Matériel naval et autre	10 ans	210.000	-	210.000	105.000	
- Construction	20 ans	60.125	-	-	15.031	
<b>TRAITEMENT - CONDITIONNEMENT</b>						
- Matériel de production	10 ans	377.000	-	377.000	188.500	
- Matériel roulant	5 ans	156.000	156.000	156.000	-	
- Bâtiment et construction	20 ans	151.550	-	-	129.638	
Frais de 1 <sup>er</sup> établissement non renouvelable	5 ans	65.556				
<b>TOTAL</b>		<b>1.668.281</b>	<b>322.200</b>	<b>921.050</b>	<b>469.814</b>	

**VII.1.5. - Estimation du Fonds de roulement**

Il est constitué par :

- les comptes débiteurs : 30 j au coût d'exploitation
- les stocks
  - matières consommables : 30 j
  - pièces de rechange : 100 j
  - travaux en cours : 10 j au coût de fabrication
  - produits finis : 15 j au coût de fabrication plus frais généraux administratifs
- l'encaisse : 15 j au coût d'exploitation moins matières consommables
- les comptes créditeurs : 30 j aux coûts de fabrication

**VII.1.6. - Plan de financement et conditions de remboursement**

Ils seront définis en fonction de la disponibilité de trésorerie.

**VII.1.7. - Programme de production et de vente**

Année	1	2	3	4	5	6	7-15
Production (t)	7.000	9.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ventes (t)							
• Exportation	2.500	3.500	4.000	3.500	3.000	2.500	2.000
• Vente locale	4.500	5.500	6.000	6.500	7.000	7.500	8.000

**VII.1.8. - Détermination du prix de vente**

Le prix de vente du phosphorite traité sera basé sur les prix pratiqués actuellement sur le marché. D'après l'étude de marché, les prix de vente importateurs sont de 140 F/kg pour le superphosphate et 90 F/kg pour l'hyper Reno sur le marché local. Sur le marché régional, les prix d'importation des engrais phosphatés varient entre 1,5 FF/kg et 2,2 FF/kg. Le prix de vente sorti usine doit donc être égal pour les ventes locales, au prix importateur minoré de 20 % considéré comme marge importateur et pour les ventes à l'exportation, au prix d'importation minoré de 40 % supposé comme divers frais d'approche. On obtient ainsi :

Prix de vente local Hyper Reno	75 Fmg/kg
Super phosphate	116,7 Fmg/kg

Prix de vente à l'exportation entre 81,4 Fmg/kg et 119,4 Fmg/kg.

Or d'après les essais agronomiques, les phosphorites sont des engrais de qualité intermédiaire entre l'Hyper Reno et le superphosphate. On peut donc prendre un prix moyen, soit 95,5 Fmg pour le marché local et 100,4 Fmg pour l'exportation. Comme les deux se rapprochent on peut retenir un prix de vente sorti usine unique correspondant à la moyenne soit 98 Fmg/kg.

## VII.2. - ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

### VII.2.1. - Coût de l'investissement initial

Comme l'indique le tableau n° 1, l'investissement initial s'élève à 1.799.081.000 FFG dont 55,2 % en devise soit 992.392.000 FFG.

### VII.2.2. - Fonds de roulement

Il est donné par le tableau n° 2. Le besoin en 1ère année s'élève à 92.362.000 FFG. A la période de croisière, il est de 116.493.000 FFG dont 42 % en devise.

### VII.2.3. - Financement du projet

Les plans de financement et de remboursement sont indiqués dans le tableau n° 3, n° 4 et n° 5. Ils ont été définis en fonction de la disponibilité de trésorerie. Pour éviter un déficit de trésorerie, le montant des emprunts ne doit pas excéder 17 % des besoins en investissement et le mode de remboursement doit respecter le profil décrit au tableau n° 5.

Les durées de remboursement des prêts à long ou moyen terme et à court terme sont respectivement de 6 ans et 3 ans avec deux années de différés de remboursement.

### VII.2.4. - Coûts de production (cf tableau n° 6)

Pendant la période de croisière, le coût de production s'élève à 916.912.000 FFG dont 36,88 % en devise. A la première année, le prix de revient du kilo d'engrais est de 112,92 FFG, ce qui est nettement supérieur au prix de vente moyen pratiqué sur le marché qui est de 98 Fmg/kg.

Mais par rapport au prix de cession estimé dans l'étude de marché qui est entre 175 et 220 Fmg/kg, le prix de revient est inférieur même s'il est majoré de 20 % considérés comme marge bénéficiaire.

Si l'on considère le tableau n° 11 de l'état des recettes on constate que pendant les deux premières années de production, les bénéfices sont négatifs et que le cumul des bénéfices ne devient positif que vers la 5<sup>e</sup> année.

Service de l'Etat des recettes  
d'Etudes et de Développement  
S. 11

**Tableau n° 1 : COUT DES INVESTISSEMENTS INITIAUX**

(en 1.000 FF)

Année	0
Frais de l'er établissement	65.556
Bâtiments et construction	681.675
Equipements divers	11.250
Installation, machines et <small>et c</small>	909.200
<b>Coût total des investissements</b>	<b>1.668.281</b>
Frais financier pendant la période de préproduction	130.800
<b>Total des coûts des investissements</b>	<b>1.799.081</b>
Dont en devises %	55,2 %

**Tableau n° 2 : FONDS DE ROULEMENT**

( En 1.000 FFG )

Année			1	2	3	4 - 15
Couverture	ndc	coto				
- Comptes débiteurs	30	12	38.506,09	46.720,64	50.827,92	50.827,92
- Stock matières consommables	30	12	5.993,87	7.706,40	8.562,67	8.562,67
- Eau - électricité	30	12	2.145,21	2.758,12	3.064,58	3.064,58
- Pièces de rechange	180	2	31.822	40.914	45.460	45.460
- Travaux en cours	10	36	10.312,45	13.022,55	14.391,94	14.391,94
- Produit fini	15	24	19.253,04	23.360,32	25.413,96	25.413,96
- Encaisse	15	24	15.183,51	18.128,06	19.600,33	19.600,33
- Total actif circulant			123.216,17	152.610,39	167.321,07	167.321,07
- Compte créditeurs	30	12	30.854	39.068,56	50.827,92	50.827,92
- Fonds de roulement net			92.362,17	113.541,83	116.493,15	116.493,15
- Accroissement du fond de roulement			92.362,17	21.179,66	2.951,32	-

**Note :** ndc : nombre minimal de jours de couverture  
 coto : coefficient du chiffre d'affaires.-

## VII.2.5. - Evaluation financière

Le flux de trésorerie, les prévisions de recettes sont donnés respectivement par les tableaux n° 7 et n° 8.

### VII.2.5.1. - Valeur actuelle nette (VAN) et taux interne de rentabilité (TRI)

- Avec un financement extérieur la VAN est de 290.760.000 FIG à un taux d'actualisation de 18 %. Le TRI des fonds propres est insignifiant.
- Sans financement extérieur la VAN est de 1.468.100.000 FIG et le TRI 7,6 %.

### VII.2.5.2. - Période de recouvrement

Elle se situe à la 5è année de production.

### VII.2.5.3. - Taux de rentabilité simple

Les taux de rentabilité dégagés sont très faibles à la période de croisière, on a :

- une rentabilité de vente de :
  - 6,43 % par rapport au bénéfice brut
  - 3,51 % par rapport au bénéfice net
- une rentabilité des fonds propres de 3,63 %
- une rentabilité des investissements de 2,07 %.

**Tableau n° 3 : Plan de financement en 1.000 FFG**

Défini en fonction de la disponibilité de trésorerie, il se fait sous la forme suivante :

Désignation	Montant en devise	Montant en monnaie locale	Total
<b>BESOINS</b>			
• Investissements initiaux	361.592	806.689	1.668.281
• Frais financier pendant la préproduction	130.800	-	130.800
<b>TOTAL</b>	<b>992.392</b>	<b>806.689</b>	<b>1.799.081</b>
<b>RESSOURCES</b>			
• Fonds propre : 53,24 %	146.824	806.689	953.513
• Emprunt : 47,76 %	845.568	-	845.568
<b>TOTAL</b>	<b>992.392</b>	<b>806.689</b>	<b>1.799.081</b>
%	55,2 %	44,8 %	

Société créée par la  
 Direction de l'Industrie  
 et du Commerce  
 S. E. R. D. I.  
 Pour le Développement Industriel

**Tableau n° 4 : Conditions des emprunts en 1.000 FFG**

Nature des emprunts	Montant	Taux d'intérêt
- Crédit à long ou moyen Terme	714.768	15 %
- Crédit à court terme	130.800	18 %
<b>TOTAL</b>	<b>845.568</b>	

**Tableau n° 5 : Plan de remboursement en 1.000 F.MG**

Année Désignation	0	1	2	3	4	5	6	7
- Fonds propre	953.513	-	-	-	-	-	-	-
- Prêt à L ou IT	714.768	-	90.000	- 90.000	-91.200	-174.000	-252.000	- 17.568
- Prêt à CT	130.800	-	130.800	- 44.000	-62.800	-	-	-
<b>TOTAL Prêt</b>	<b>845.568</b>	<b>-</b>	<b>-130.800</b>	<b>-134.000</b>	<b>-130.000</b>	<b>-174.000</b>	<b>-252.000</b>	<b>- 17.568</b>
- Engagements courants	-	30.854	8.214,46	159	-	-	-	-
<b>Total des fonds disponibles</b>	<b>845.568</b>	<b>30.854</b>	<b>-125.785,44</b>	<b>-122.240,64</b>	<b>-124.000</b>	<b>-174.000</b>	<b>-252.000</b>	<b>- 17.568</b>

**Tableau N° 6 : TOTAL COUT DE PRODUCTION en 1.000 FFG**

Année	1	2	3	4	5	6	7	8-15
- % de capacité de production	70	90	100	100	100	100	100	100
- Carburants lubrifiants	18.376,4	23.626,8	26.252	26.252	26.252	26.252	26.252	26.252
- Prod. de labor. & autres M. C.	4.550	5.850	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500
- Sacs et emballages	49.000	63.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
- Eau, électricité	25.742,5	33.097	36.775	36.775	36.775	36.775	36.775	36.775
- Salaire ouvrier	25.237	25.237	25.237	25.237	25.237	25.237	25.237	25.237
- Frais d'entretien	56.442,4	72.568,8	80.632	80.632	80.632	80.632	80.632	80.632
- Pièces détachées	63.644	81.828	90.920	90.920	90.920	90.920	90.920	90.920
- Frais de transp. des minerais	105.938	136.206	151.340	151.340	151.340	151.340	151.340	151.340
- Autres frais	21.317,8	40.400	30.454	30.454	30.454	30.454	30.454	30.454
- Coûts de fabrication	370.248,1	468.842,7	518.110	518.110	518.110	518.110	518.110	518.110
- Salaires personnel de cadre	20.559	20.559	20.559	20.559	20.559	20.559	20.559	20.559
- Frais généraux et assurances	71.266	71.266	71.266	71.266	71.266	71.266	71.266	71.266
- Coût d'exploitation	462.073,1	560.647,7	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935
- Amortissement	197.639,95	197.639,95	197.639,95	197.639,95	197.639,95	158.368,75	158.368,75	158.368,75
- Frais financier	130.762	130.762	109.337	87.917	66.533	45.895	8.785	-
- Coût total de production	790.475,05	889.049,65	916.911,95	895.491,95	874.107,95	814.198,75	777.088,75	768.303,75
- Prix unitaire	112,92	98,78	91,69	89,55	87,41	81,42	77,71	76,85

**Tableau N° 7 : FLUX DE TRÉSORERIE en 1.000 FWC**

A n n é e	0	1	2	3	4	5	6	7
Total des entrées de trésorerie	1.799.081	716.854	890.214,56	991.759,36	980.000	980.000	980.000	980.000
- Ressources financières	1.799.081	30.854	8.214,56	11.759,36	-	-	-	-
- Ventes, nettes de taxe	-	686.000	882.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000
Total sorties de trésorerie	1.799.043	716.787,27	861.648,12	906.408,8	880.367,17	1220.321,4	979.437,56	724.216,46
- Total des actifs	1668.281,00	123.216,17	29.394,22	14.710,68	-	322.200	-	-
- Coûts d'exploitation	-	130.762,10	560.467,70	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935
- Frais financiers	130.762	130.762	130.762	109.337	87.917	66.535	40.435	2.635
- Remboursements	-	-	130.000	134.000	134.000	174.000	252.000	17.568
- Impôts sur les sociétés	-	736	736	28.369,62	38.028,62	47.651,42	77.067,56	94.078,46
Excédent (déficit)	38	66,73	34.662,64	95.406,5	110.119,38	-240.321,94	562,44	255.783,54
Solde de trésorerie cumulé	38	104,73	34.767,37	130.173,87	240.293,25	- 28,69	533,75	256.317,29
Flux de trésorerie nette	-1668.281,0	99.974,73	291.222,08	326.984,7	332.036,38	213,58	292.997	275.986,54
Flux de trésorerie cumulé	-1668281,0	-1568.306,3	-1277.084,3	-950.099,6	-618.063,22	-617.849,64	-324.852,64	- 48.866,1

**Tableau N° 7 : FLUX DE TRÉSORERIE en 1.000 FMS (suite)**

A n n é e	8	9	10	11	12	13	14	15
Total des entrées de trésorerie	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000
- Ressources financières	-	-	-	-	-	-	-	-
- Ventes, nettes de taxe	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000	980.000
Total sorties de trésorerie	705.153,31	705.153,31	705.153,31	705.153,31	705.153,31	705.153,31	705.153,31	705.153,31
- Total des actifs	-	-	-	-	-	-	-	-
- Coûts d'exploitation	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935	609.935
- Frais financiers	-	-	-	-	-	-	-	-
- Remboursements	-	-	-	-	-	-	-	-
- Impôts sur les sociétés	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31
Excédent (déficit)	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69
Solde de trésorerie cumulé	531.163,98	806.010,67	1080.857,3	1355.703,9	1630.550,5	1905.397,1	2180.243,7	2455.090,3
Flux de trésorerie nette	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69	274.846,69
Flux de trésorerie cumulé	225.980,59	500.827,28	775.673,97	1050.520,6	1325.367,2	1600.213,8	1875.060,4	2.149.907

924.050,00  
 Pour le Développement de l'Industrie  
 S. E. R. D. I.

**Tableau N° 6 : STAT DES RECETTES NETTES en 1.000 FFG**

Année	1	2	3	4	5	6	7	8
Ventes totales avec taxe s. les ventes	686.000:	882.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:
Moins : coûts variables, avec taxes s. v.	345.011,1:	443.585,7:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:
Marge variable	340.988,9	438.414,3	487.127	487.127	487.127	487.127	487.127	487.127
En % des ventes totales	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70
Coûts fixes, y compris l'amortissement	314.701,95	314.701,95	314.701,95	314.701,95	314.701,95	275.430,75	275.430,75	275.430,75
Marge d'exploitation	26.286,95	123.712,35	172.425,05	172.425,05	172.425,05	211.696,25	211.696,25	211.696,25
En % des ventes totales	3,87	14,03	17,59	17,59	17,59	21,6	21,6	21,6
Frais financiers	130.762	130.762	109.337	87.917	66.535	40.435	2.635	
Bénéfice brut	-104.475,05	-7.049,65	63.088,05	84.508,05	105.890,05	171.261,25	20.963,25	211.696,25
I m p ô t s	736	736	28.369,62	38.028,62	47.614,42	77.067,56	94.078,46	95.218,31
Bénéfice net	-105.211,05	-7.785,65	34.698,43	46.479,43	58.275,63	94.193,69	114.084,79	116.377,94
Bénéfices non distribués cumulés	-105.211,06	-112.996,71	-78.298,28	-31.818,85	26.419,78	120.613,47	234.698,26	351.076,2
Bénéfice brut : ventes totales (%)	-	-	6,43	8,62	10,81	17,47	21,39	21,60
Bénéfice net : ventes totales (%)	-	-	3,54	3,88	4,86	9,61	11,64	11,88

**Tableau N° 6 : STAT DES RECETTES NETTES en 1.000 FRS (suite)**

Année	9	10	11	12	13	14	15
Ventes totales avec taxe s. les ventes	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:	980.000:
Moins : coûts variables, avec taxes s. v.	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:	492.873:
Marge variable	487.127	487.127	487.127	487.127	487.127	487.127	487.127
En % des ventes totales	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70	49,70
Coûts fixes, y compris l'amortissement	275.430,75	275.430,75	275.430,75	275.430,75	275.430,75	275.430,75	275.430,75
Marge d'exploitation	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25
En % des ventes totales	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
Frais financiers	-	-	-	-	-	-	-
Bénéfice brut	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25	211.696,25
Impôts	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31	95.218,31
Bénéfice net	116.377,94	116.377,94	116.377,94	116.377,94	116.377,94	116.377,94	116.377,94
Bénéfices non distribués cumulés	467.454,14	583.832,08	700.210,02	816.587,96	932.965,9	1049343,8	1165.721,7
Bénéfice brut : ventes totales (%)	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
Bénéfice net : ventes totales (%)	11,88	11,88	11,88	11,88	11,88	11,88	11,88

#### VII.2.5.4. - Seuil de rentabilité

A la période de croisière, on a :

- chiffre d'affaire : 980.000.000 FFG
- charge variable : 492.873.000 FFG
- marge sur coût variable : 487.127.000 FFG
- charge fixe : 424.030.000 FFG

D'où un seuil de rentabilité de 87,05 % du chiffre d'affaire.

#### VII.2.5.5. - Analyse de sensibilité

Il ne semble plus nécessaire d'étudier les effets de l'augmentation des coûts de production ou des investissements car déjà dans les conditions définies, la rentabilité du projet est, certainement, incertaine. Une augmentation des coûts rend certainement le projet non viable. L'analyse de sensibilité se limite donc ici à étudier dans quelle mesure la rentabilité peut être satisfaisante.

Si l'on considère le cas où le prix de vente augmente de 30 % c'est-à-dire 127 Fng/kg au lieu de 98 FFG, on obtient les résultats suivants :

- avec financement étranger une VAN de : 1.672.761.000 FFG
- un TRI de : 25,2 %
- sans financement étranger une VAN de : 748.585.000 FFG
- un TRI de : 7,6 %
- une période de recouvrement de 4 ans
- une rentabilité de vente de :
  - 27,80 % par rapport au bénéfice brut
  - 15,29 % par rapport au bénéfice net

- une rentabilité des fonds propres de : 20,36 %
- une rentabilité des investissements de : 11,60 %
- un seuil de rentabilité de : 54,56 % par rapport au chiffre d'affaire.

Il en ressort que dans ce cas, les taux de rentabilité obtenus sont satisfaisants.

### VII.3. - CONCLUSION

Dans les conditions déterminées, la viabilité du projet est incertaine ; l'évaluation financière a montré que les taux de rentabilité sont très faibles. Ceci est dû à l'importance du coût des investissements d'une part et à la faiblesse du prix de vente par rapport au prix de revient d'autre part.

Pour que le projet soit donc rentable, il faut chercher à augmenter le prix de vente / <sup>ou</sup> diminuer les coûts des investissements.

Société d'Etude et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. D. I.

VIII. - EVALUATION ECONOMIQUE SOMMAIRE

Société d'Etudes et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. D. I.

**VIII.1. - INCIDENCE DU PROJET SUR L'EMPLOI**

Le projet participe à la création de 80 emplois avec un fonds de salaires annuel de 45.796.000 FFG. La technicité du projet contribuera à développer le niveau technique du milieu ouvrier de la région.

**VIII.2. - CONTRIBUTION A LA CREATION DE VALEUR AJOUTEE**

Le montant de la valeur ajoutée entraînée par le projet s'élève à : 415.841.000 FFG en période de croisière. Il se répartit comme suit :

(en milliers de FFG)

Désignation	Montant	Bénéficiaire	Répartition
- Salaire	45.796	Ménage	11 %
- Frais financier	109.337	Organisme de financement	26 %
- Impôt	28.370	Etat	7 %
- Bénéfice net + amortissement	232.238	Entreprise	56 %
<b>T O T A L</b>			<b>100 %</b>

Société d'Etude et de Réalisation  
 Pour le Développement Industriel  
 S. E. R. D. I.

**VIII.3. - INCIDENCE SUR LA BALANCE DE DEVISE**

- Sans la création de l'usine, Madagascar aura besoin d'importer des engrais phosphatés de l'ordre de 6.000 tonnes à la période de croisière considérée comme année de référence. Si on considère que le contenu en devise du prix d'achat importateur s'élève à 60 %, les dépenses en devise s'élevaient donc à 224.800.000 FFG par an.

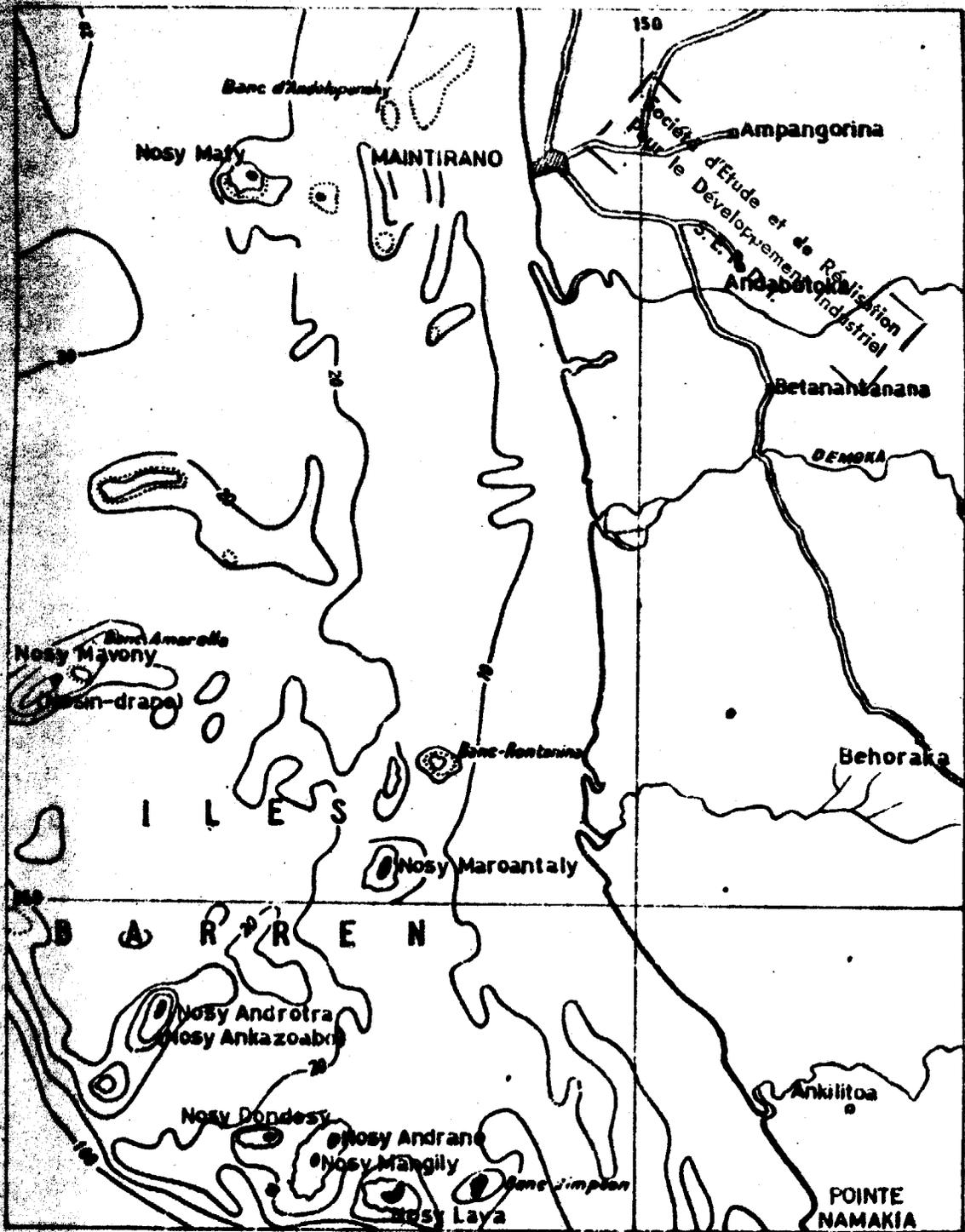
- La production de l'usine nécessitera l'importation annuelle d'intrants pour une somme de 95.402.000 FFG .
- Il est possible d'exporter 4.000 tonnes de la production de l'usine dans les pays avoisinant Madagascar à un prix de vente de 130 FFG qui est égal au prix sorti usine majoré de 40 % de frais d'approche, on peut envisager un apport en devise de 520.300.000 FFG.
- Les amortissements et les paiements d'intérêt pour les biens d'équipement importés s'élèvent à 243.736.000 FFG.

Il en résulte une incidence positive sur la balance des devises.

En milliers de FFG	
Incidences	Montant
- Substitution des importations	+ 334.800
- Exportation	+ 520.800
- Importation d'intrants	- 95.402
- Amortissement sur biens importés	- 134.399
- Intérêts pour crédits étrangers	- 109.337
<b>Incidence nette</b>	<b>+ 516.462</b>

IX. - FINANCES

Ministère d'Hygiène et de Protection  
pour le Développement Humain  
et Social  
1971



**CARTE DE LOCALISATION DES ILES BARREN**

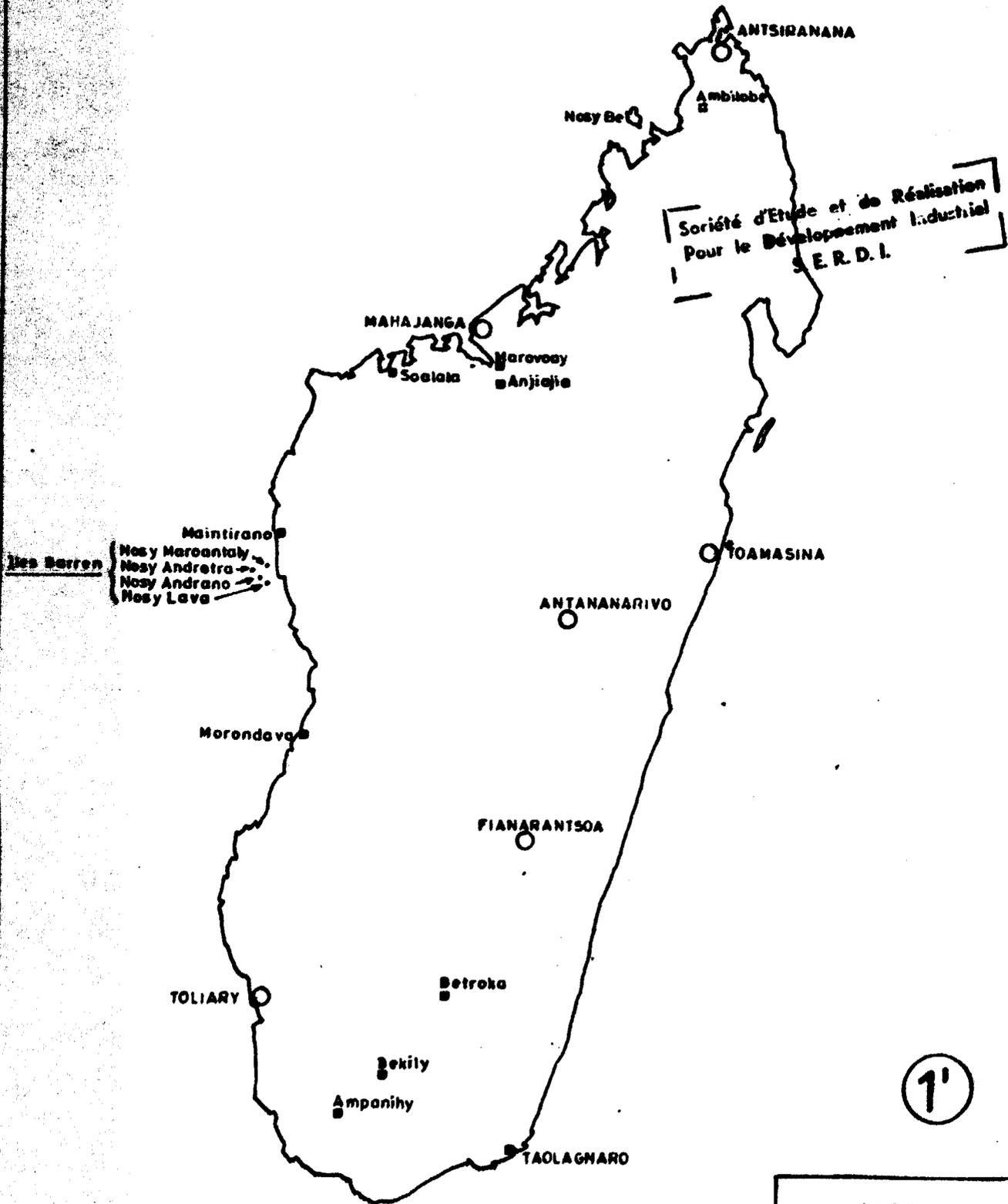
Echelle

25 Km.

J. R. RATSIMBAZAFY  
1975

1

# CARTE DE LOCALISATION DES ILES BARREN



## LEGENDE

○ ville.

□ localité.

Echelle : 1/7.000.000<sup>e</sup>

**CARTE LITHOLOGIQUE**  
**NOSY ANDRANG**

-  Plage étendue
-  Sable récent
-  Sable ancien
-  Calcaire
-  Magnésites
-  Calcaire coquilles

Thalweg / Escarpement  
 Courbes de niveau (équidistance 2m)

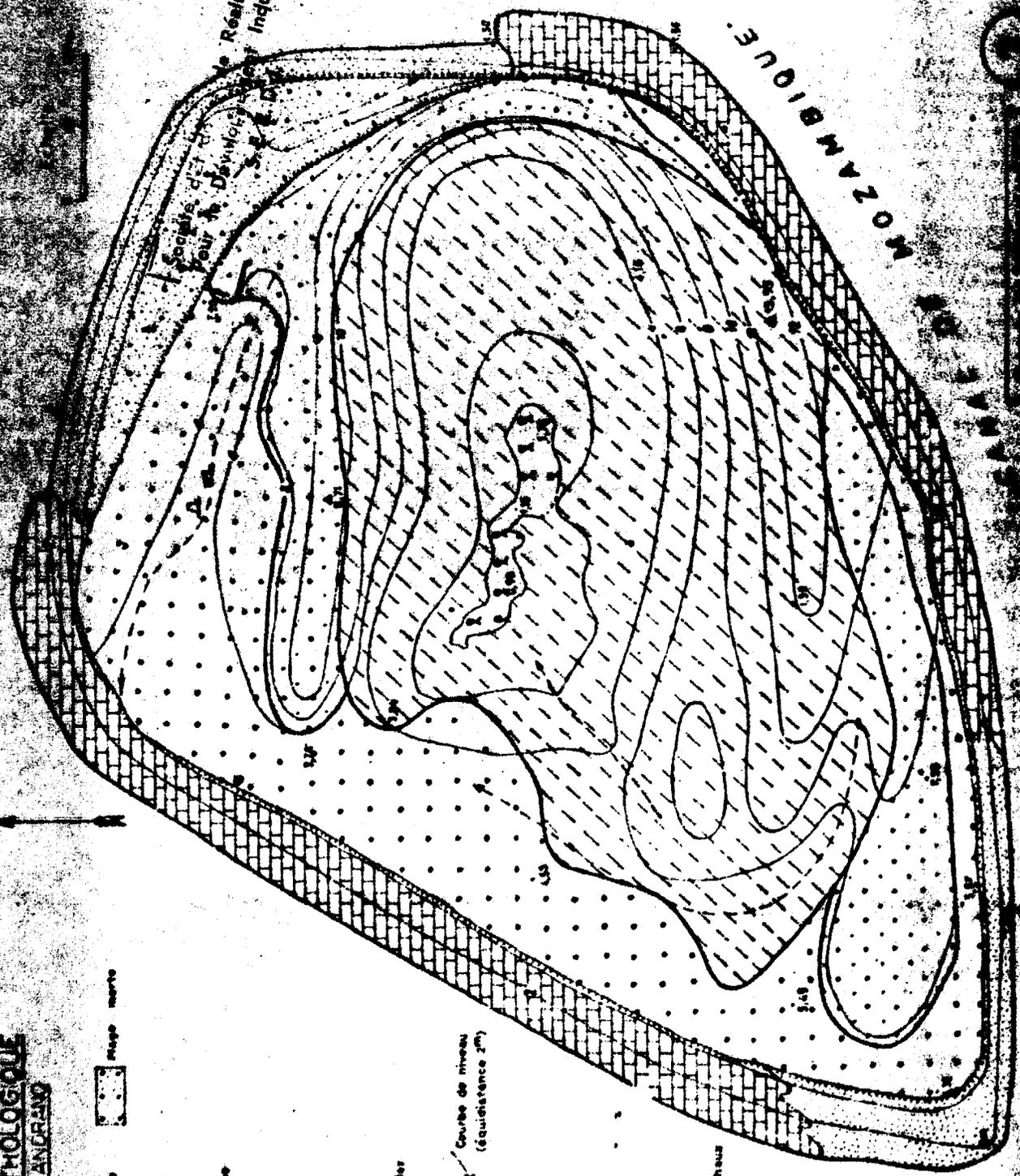
-  Roches de filons
-  Campement
-  Point coté
-  Bornes repère
-  Impétium
-  Bornes pour à chaux

NG

Le Réalisation Industrielle

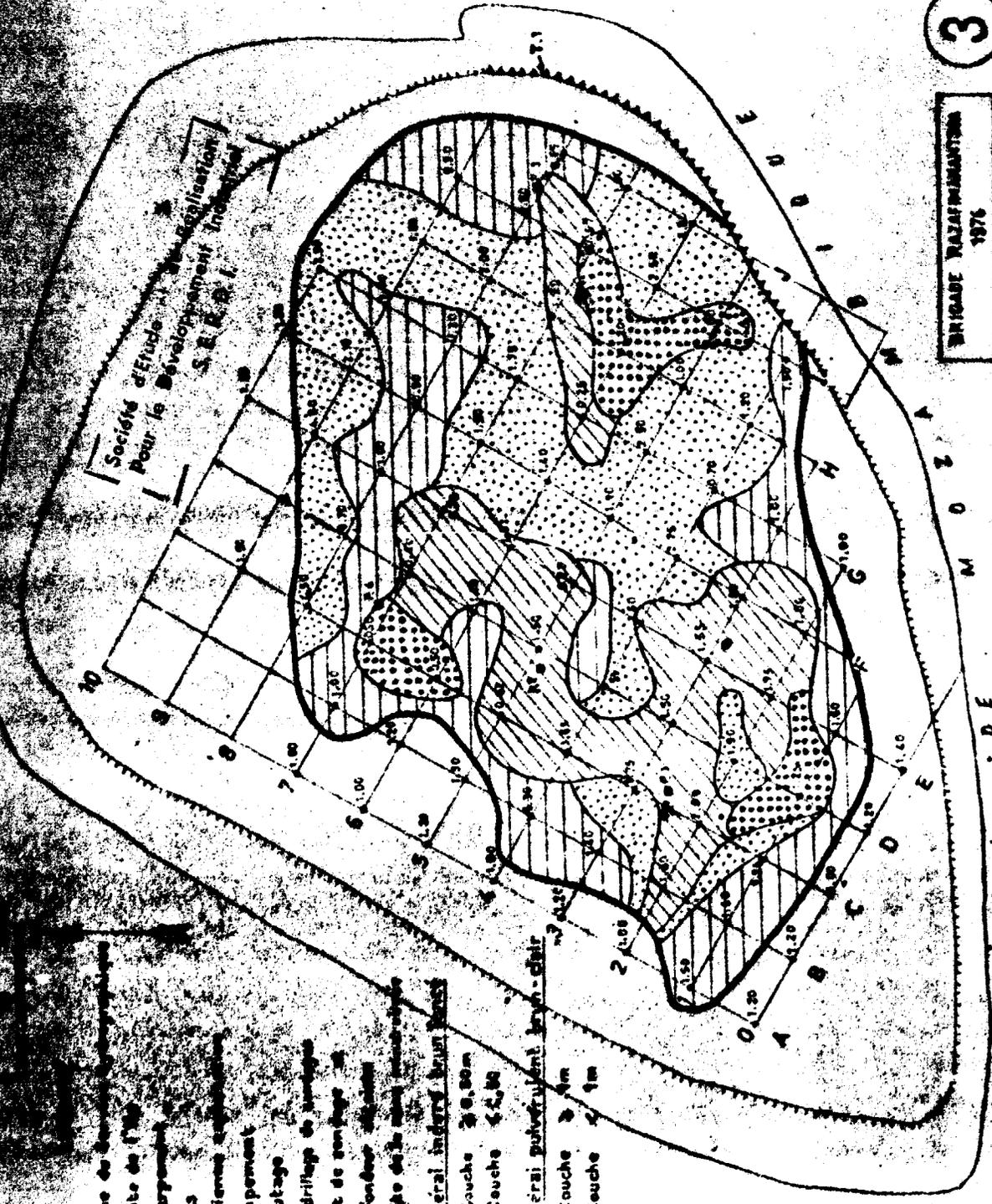
Service d'Etudes  
 pour le Développement

MOZAMBIQUE



# CARTE GÉOLOGIQUE MINIÈRE

- Bornes du territoire
  - Limite de l'Etat
  - Recarpement
  - Puits
  - Anciennes exploitations
  - Campement
  - Tr. Talutage
  - Puits Quadrillage de sondages
    - Point de sondage
    - 10m profondeur atteinte
  - Limite de la zone minière
- 
- Minéral induré brun Massif**
- ① Couche > 0,50m
  - ② Couche < 0,50m
- 
- Minéral pulvérulent brun-clair**
- ③ Couche > 1m
  - ④ Couche < 1m



BRIGADE RAJAHMANTHAM  
1976

# NOSY ANDROTRA

## MINÉRALISATIONS ET SITUATION DES TRAVAUX

ÉCHELLE  
0 40m 80m

## ESQUISSE LITHOLOGIQUE

Echelle: 1/5000

COUPE SUIVANT AB

1/5000

## LEGENDE

### Lithologie

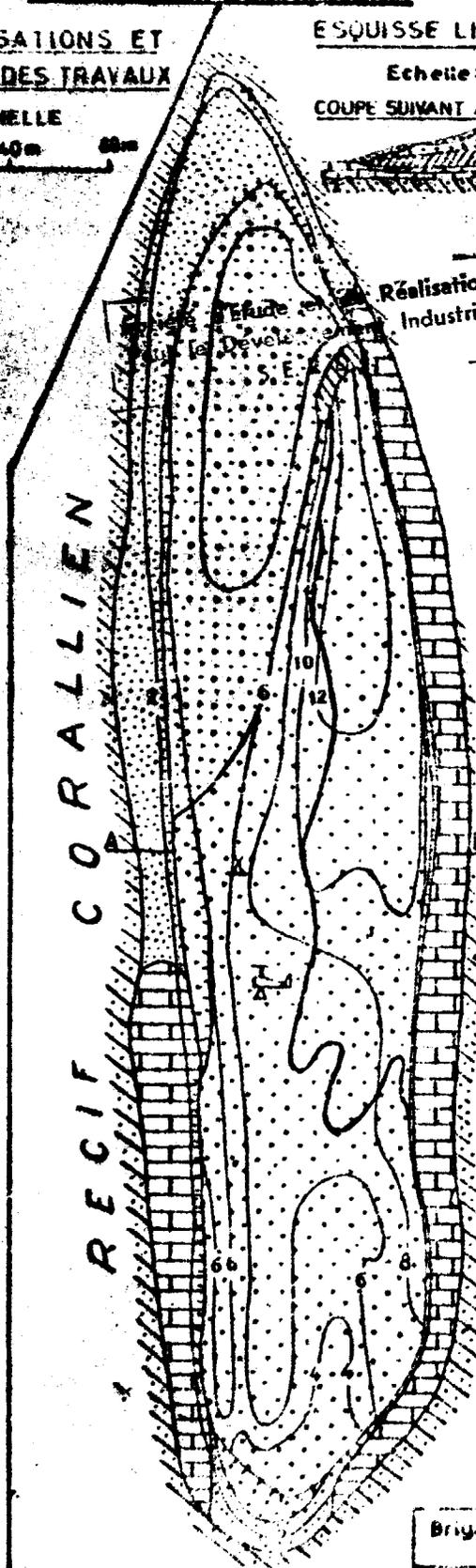
- Plage acrotale
- Plage anabasse
- Dunes plus ou moins récentes
- Dunes anciennes
- Calcaire coquillier ou à bulles
- Calcaire corallien

### Minéralisations et Travaux

- Sable stérile
- Minéral mi-rocheux brun clair fait de grain de sable aggloméré
- Minéral pulvérulent
  - 1 Couche > à 0,30m
  - 2 Couche < à 0,30m
- Minéral sableux
  - 1 Couche > à 0,30m
  - 2 Couche < à 0,30m
- 0m20 Epaisseur stérile
- Point de sondage
- 0,50m Epaisseur minéralisée
- Talutage
- Anciens puits de recherche
- Limite apparente de la minéralisation

### Signes conventionnels

- Camp
- Escarpement
- Courbes de niveau
- Héliport



Brigade M RANTOANINA  
1976

4

**CARTE DES TRAVAUX MINIERS  
MAROANTALY "ILES BARREN"**

Echelle : 1/6000<sup>e</sup>

LEGENDE

TRAVAUX

At 011 Lignes de sondages

- Puits
- Point de sondage échantillonné
- Point de sondage

0,20 Epaisseur du niveau supérieur  
0,90 Epaisseur de la 2<sup>e</sup> couche  
1,50 Profondeur atteinte

 Phosphorites en blocailles

 Phosphorites pulvérielles

TOPOGRAPHIE

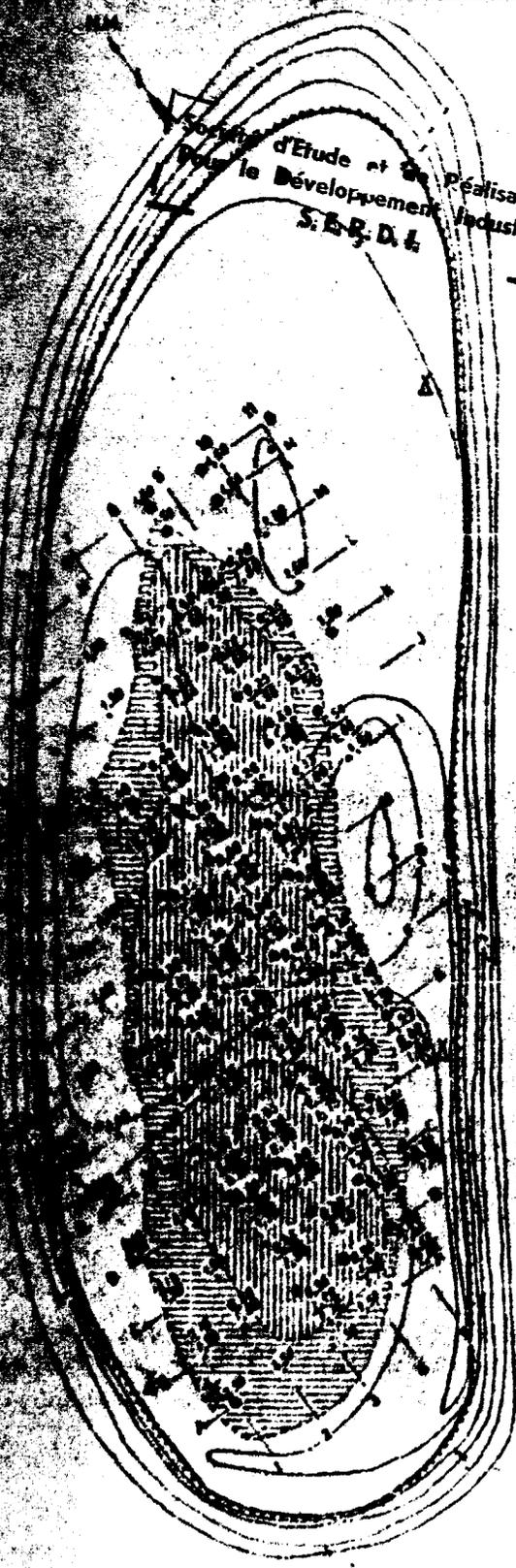
 Contour de l'île

 Courbes de niveau

 Escarpements

 Campement

 Héliport



Brigade RAMOTOARISAINA  
1976

5

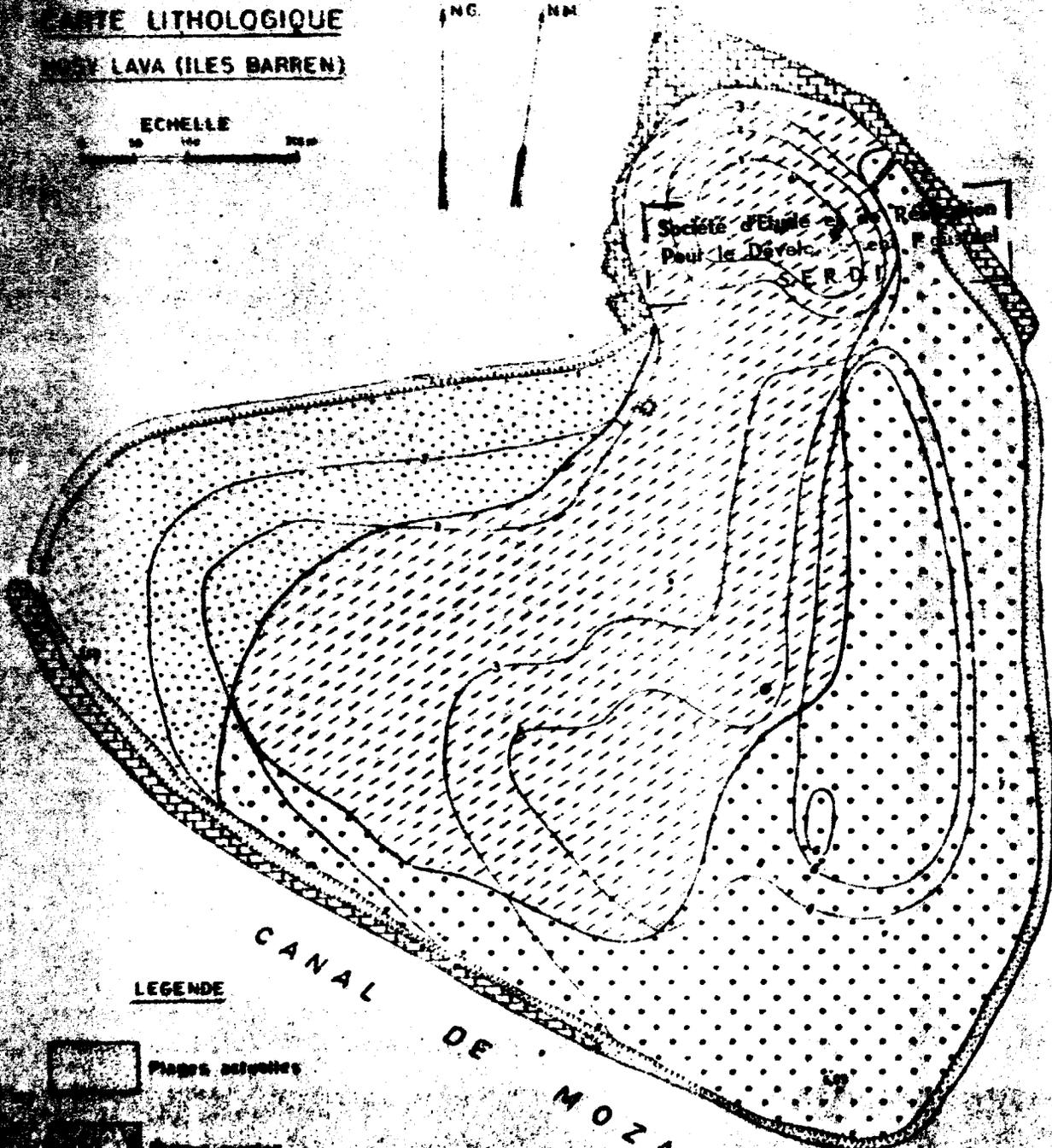
**CARTE LITHOLOGIQUE**  
**ROSE LAVA (ILES BARREN)**

ECHELLE



NG  
 NM

Société d'Etude et de Recherche  
 Pour le Développement Rural  
 S.E.R.D.I.



**LEGENDE**

-  Plage actuelle
-  Plage morte
-  Sables volcaniques
-  Planchettes
-  Grès calcaires coquilliers

Courbe de niveau  
 (équidistance 1m)

Escarpement

RAZAFIMANANTSOA, RABE Martin  
 1976

6

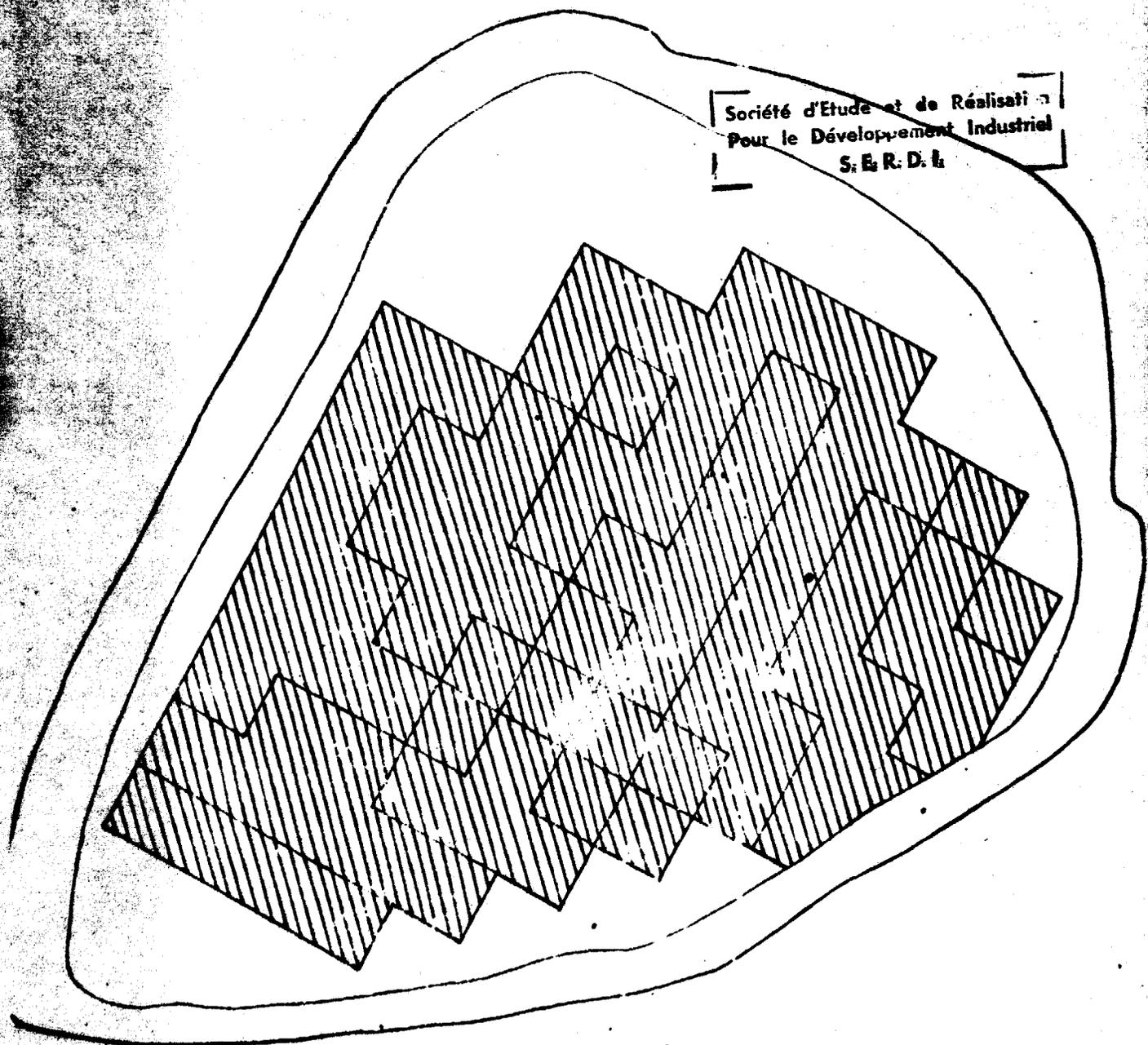


# NOSY ANDRANO

( ILE BARREN )

VUE D'ENSEMBLE

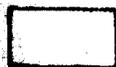
Société d'Etude et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. D. I.



## LEGENDE

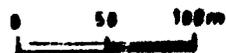


Surface prévue à travailler



Surface à résultats connus

## ECHELLE



8

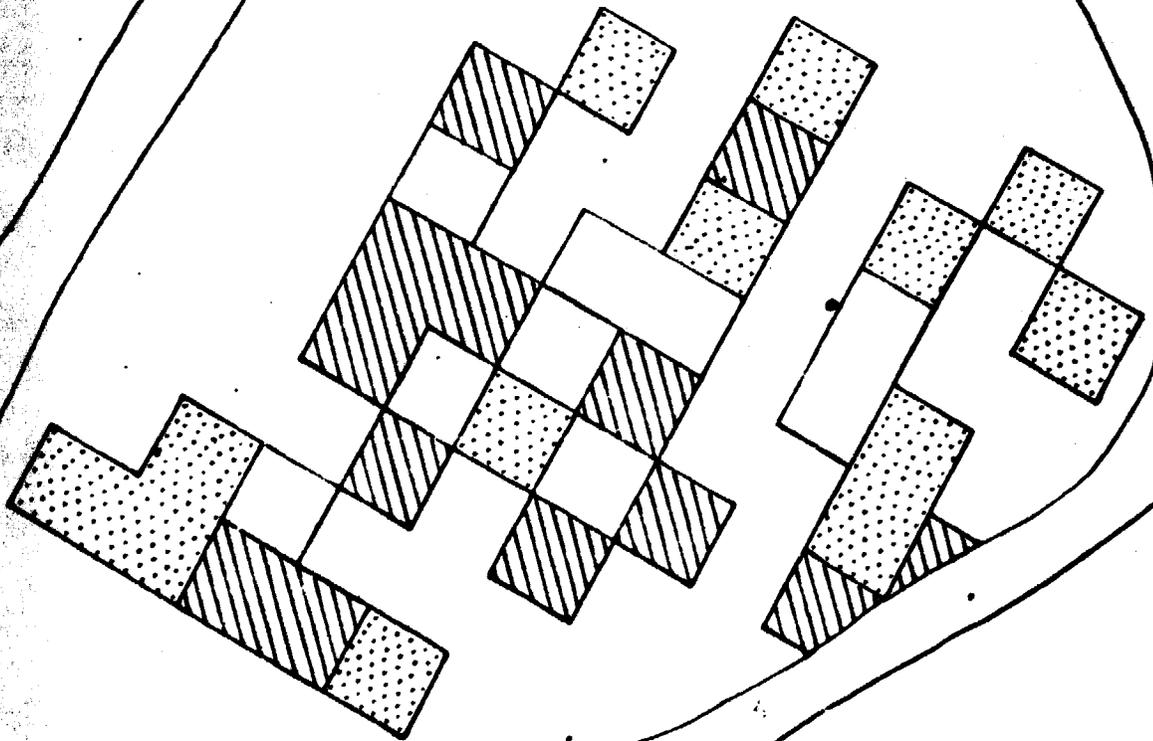
J. R. RATSIMBAZAFY  
1985

# NOSY ANDRANO

( ILE BARREN )

## RESULTATS PONCTUELS

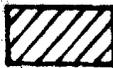
Société d'Etude et de Réalisation  
Pour le Développement Industriel  
S. E. R. D. I.



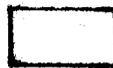
### LEGENDE



$P_2O_5$  < 18 %



$P_2O_5$  ]18% 30%]



$P_2O_5$  > 30%

### ECHELLE



9

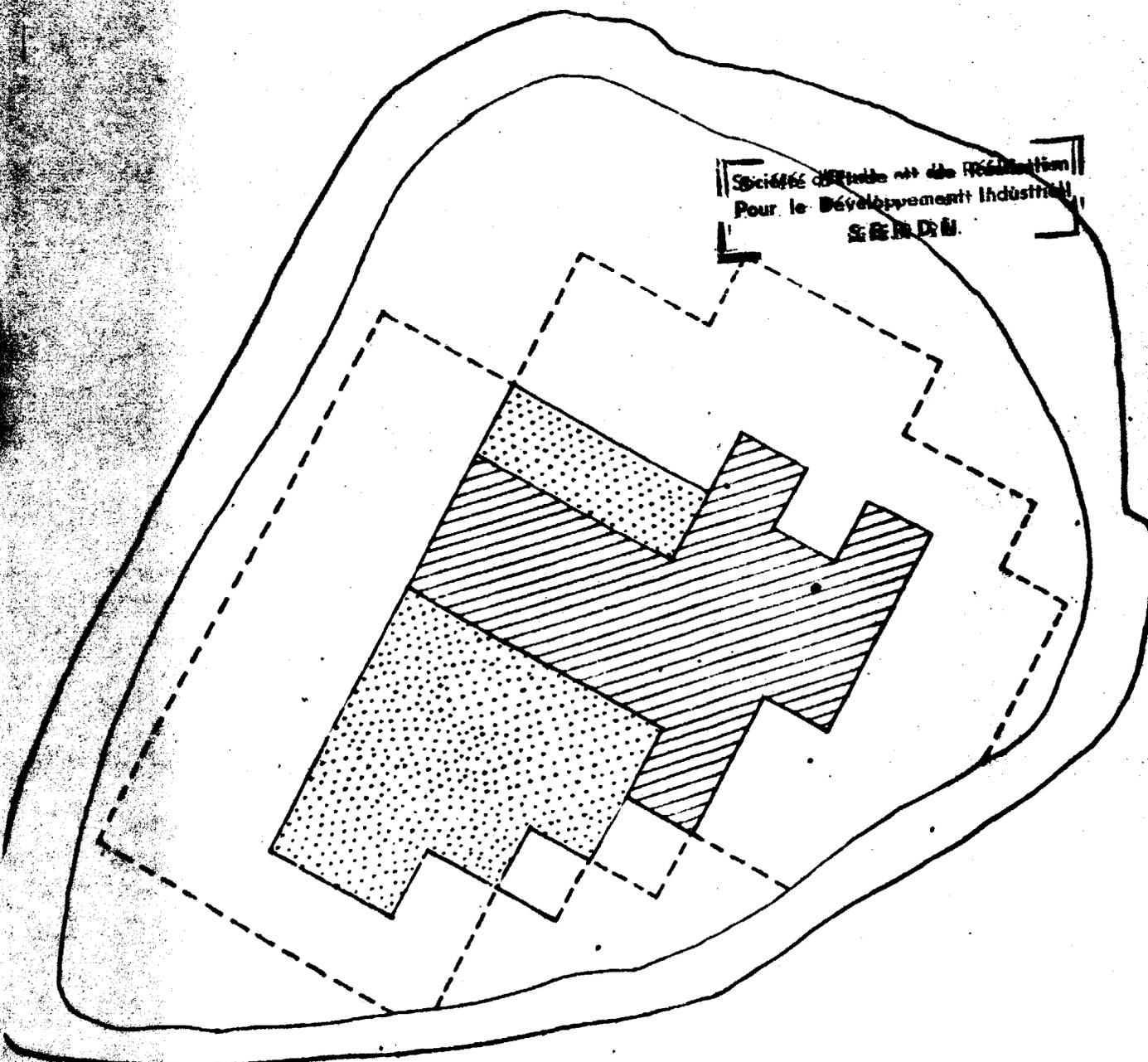
J. R. RATSIMBAZAFY  
1985

# NOSY ANDRANO

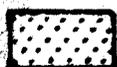
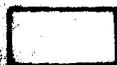
( ILE BARREN )

## RESULTATS D'INTERPRETATION

Société Malgache de Réhabilitation  
Pour le Développement Industriel  
S.E.M.D.M.



### LEGENDE

-   $P_2O_5 \sim 30\%$
-   $P_2O_5 \sim 24\%$
-   $P_2O_5 < 18\%$

### ECHELLE

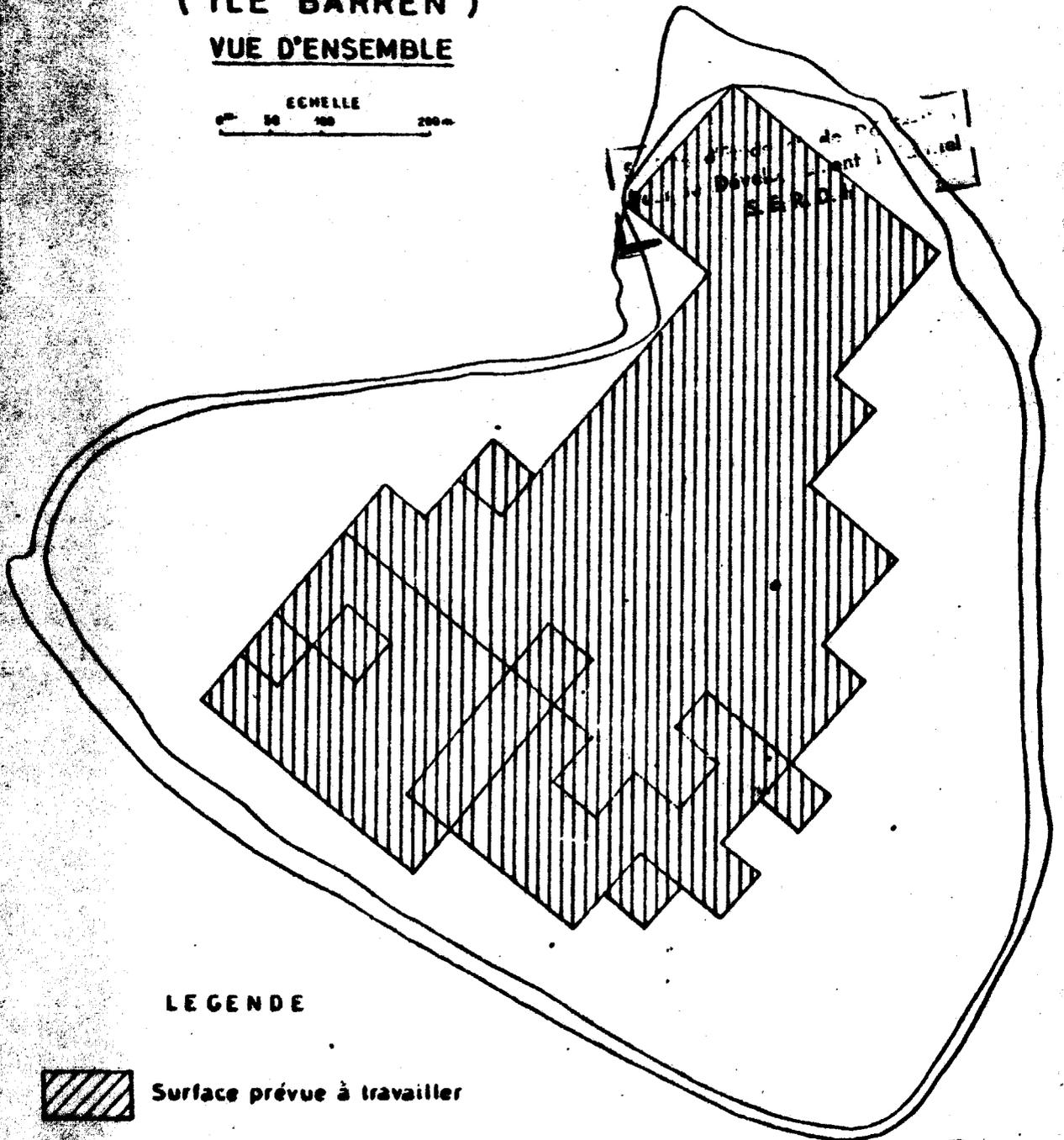


10

J.R. RATSIMBAZAFY  
1985

**NO SY LAVA**  
**( ILE BARREN )**  
**VUE D'ENSEMBLE**

ECHELLE  
0 50 100 200m



**LEGENDE**



Surface prévue à travailler



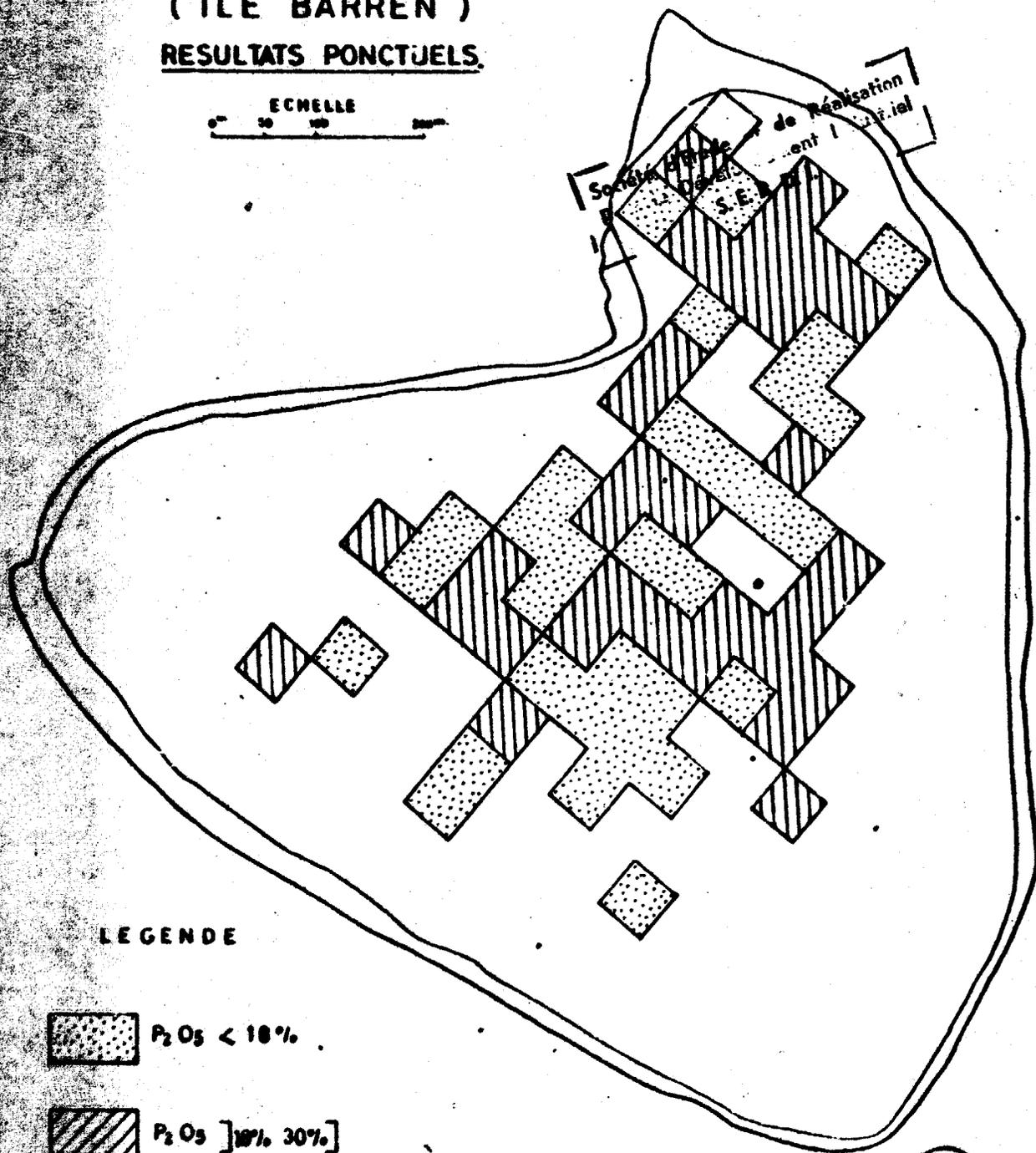
Surface à résultats connus

11

J. R. RATSIMBAZAFY  
1985

**NOSY LAVA**  
**( ILE BARREN )**  
**RESULTATS PONCTUELS.**

ECHELLE  
0 50 100 200



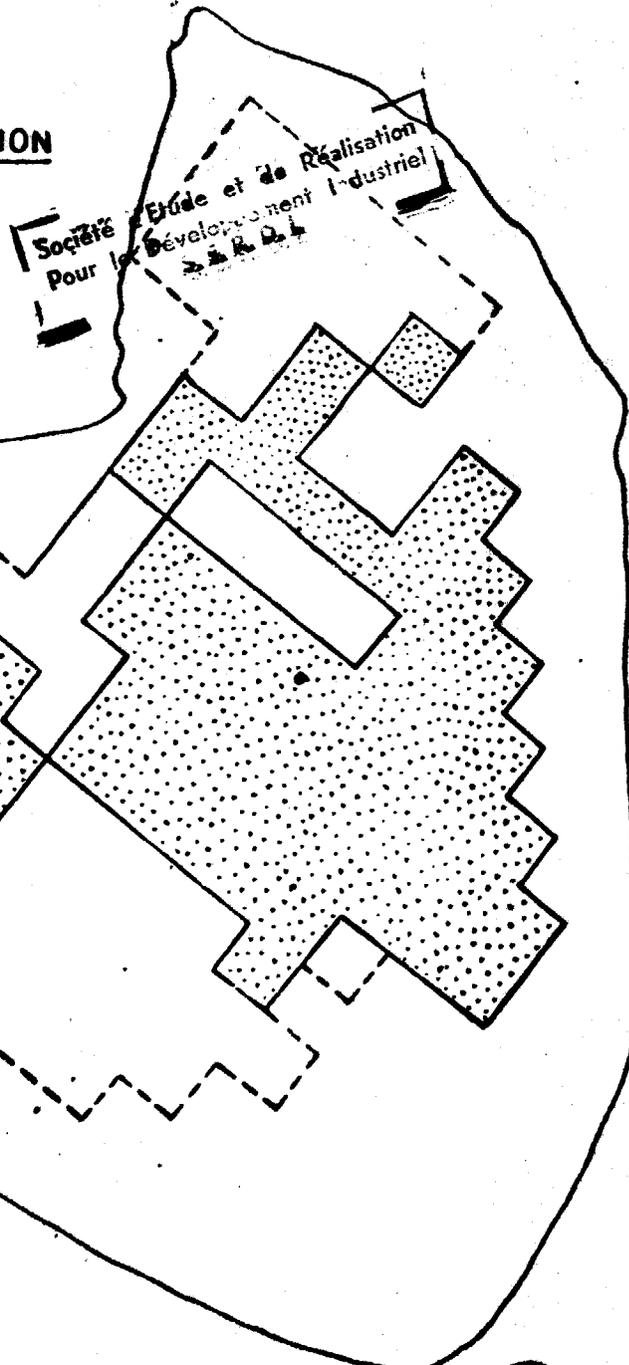
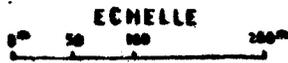
**LEGENDE**

-  P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> < 18%
-  P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ]18% 30%]
-  P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > 30%

12

J. R. RATSIMBAZAPY  
1985

**NOSY LAVA**  
**( ILE BARREN )**  
**RESULTATS D'INTERPRETATION**



**LEGENDE**

-   $P_2 O_5 \geq 18\%$
-   $P_2 O_5 < 18\%$

13

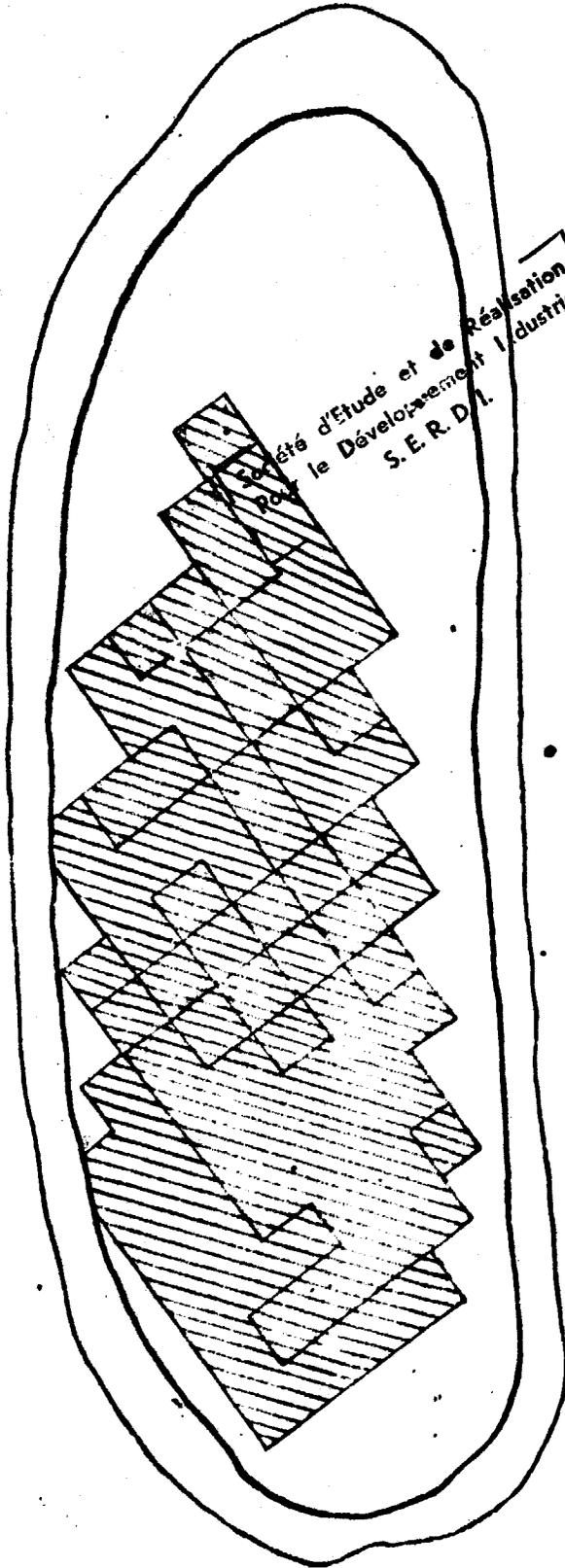
J. R. RATSIMBAZAFY  
1985

# NOSY MAROANTALY

(ILE BARREN)

VUE D'ENSEMBLE

ECHELLE 1/6.000'



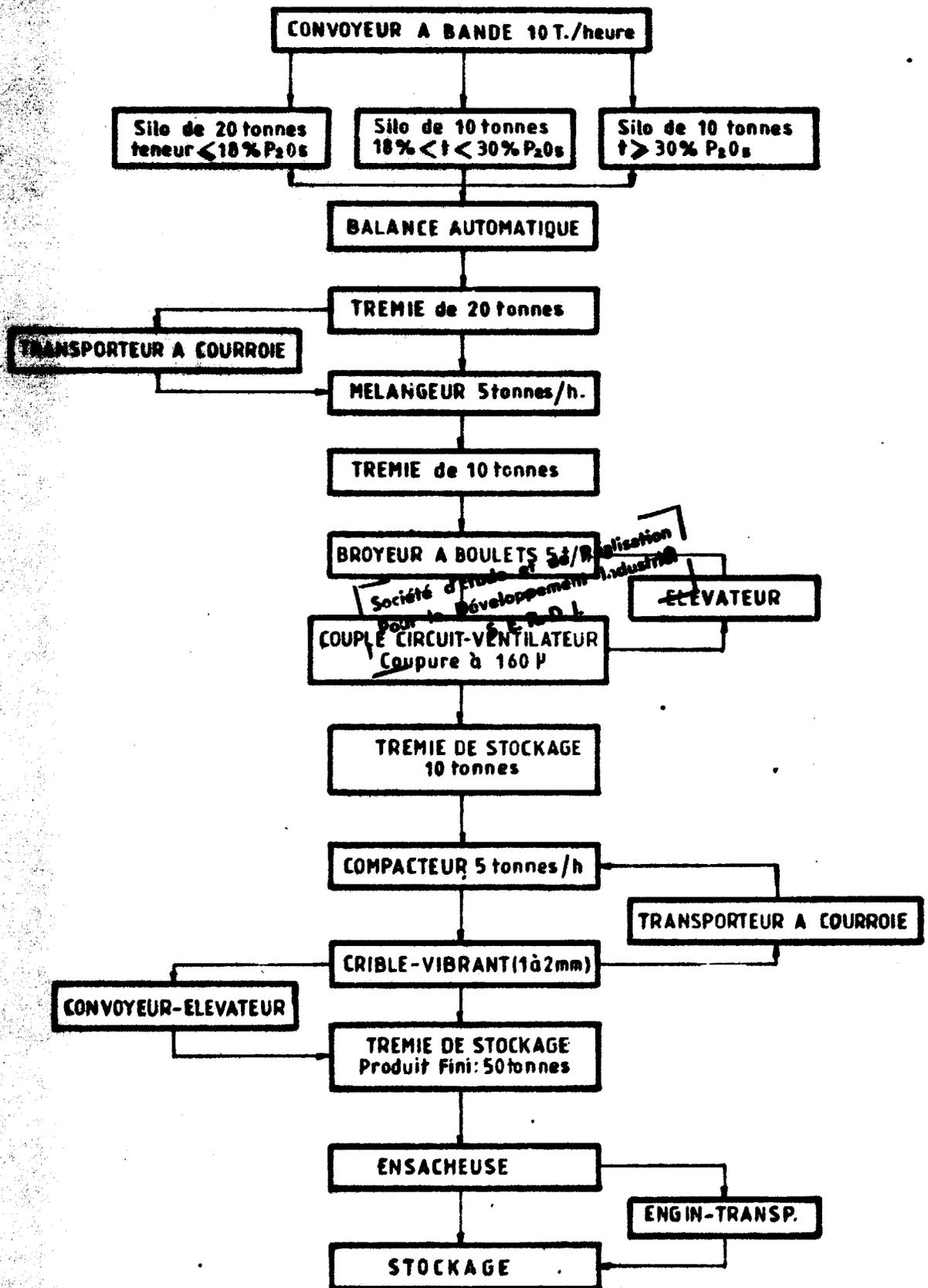
## LEGENDE

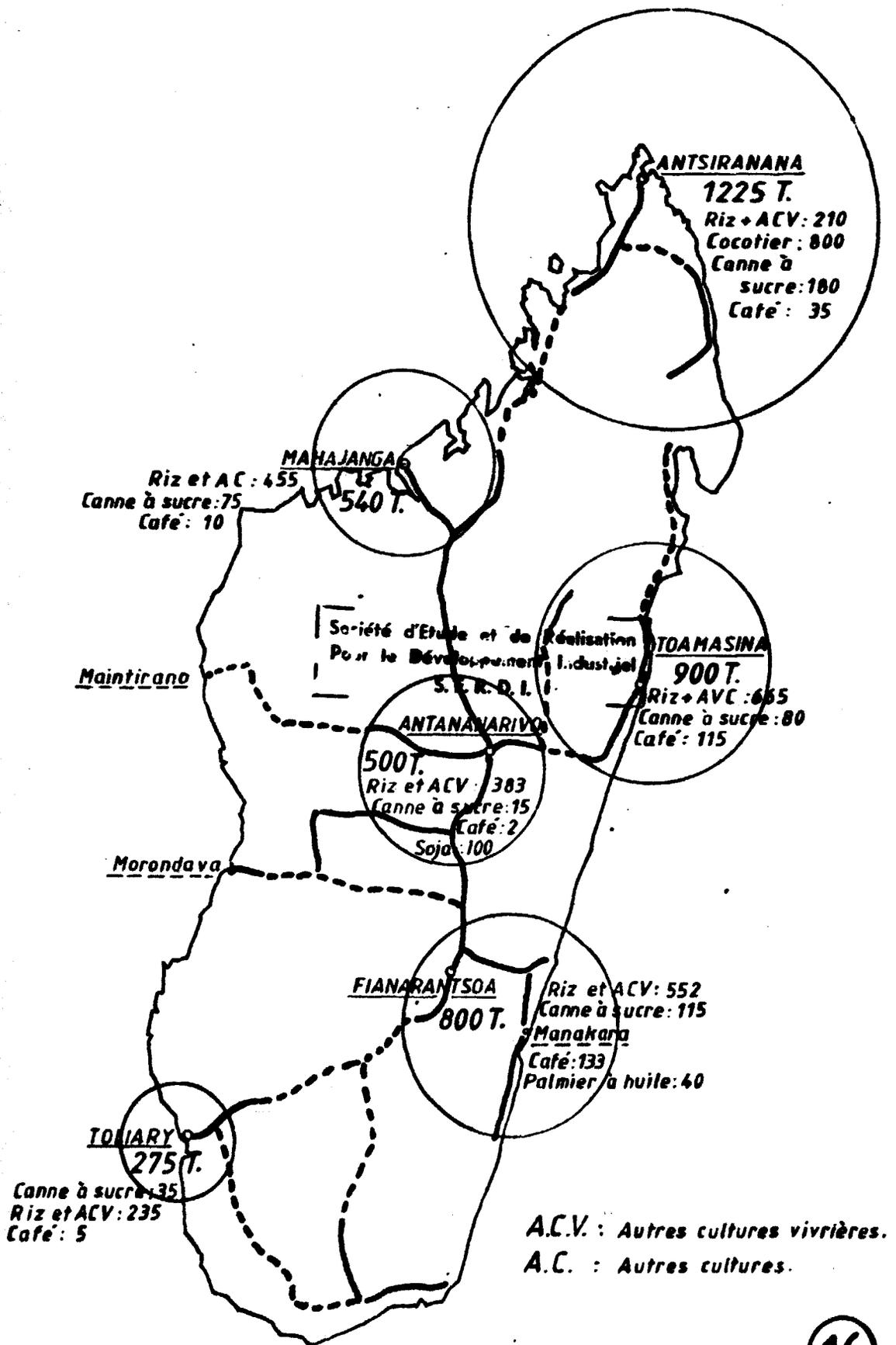
 Surface prévue à travailler

 Surface à résultats connus

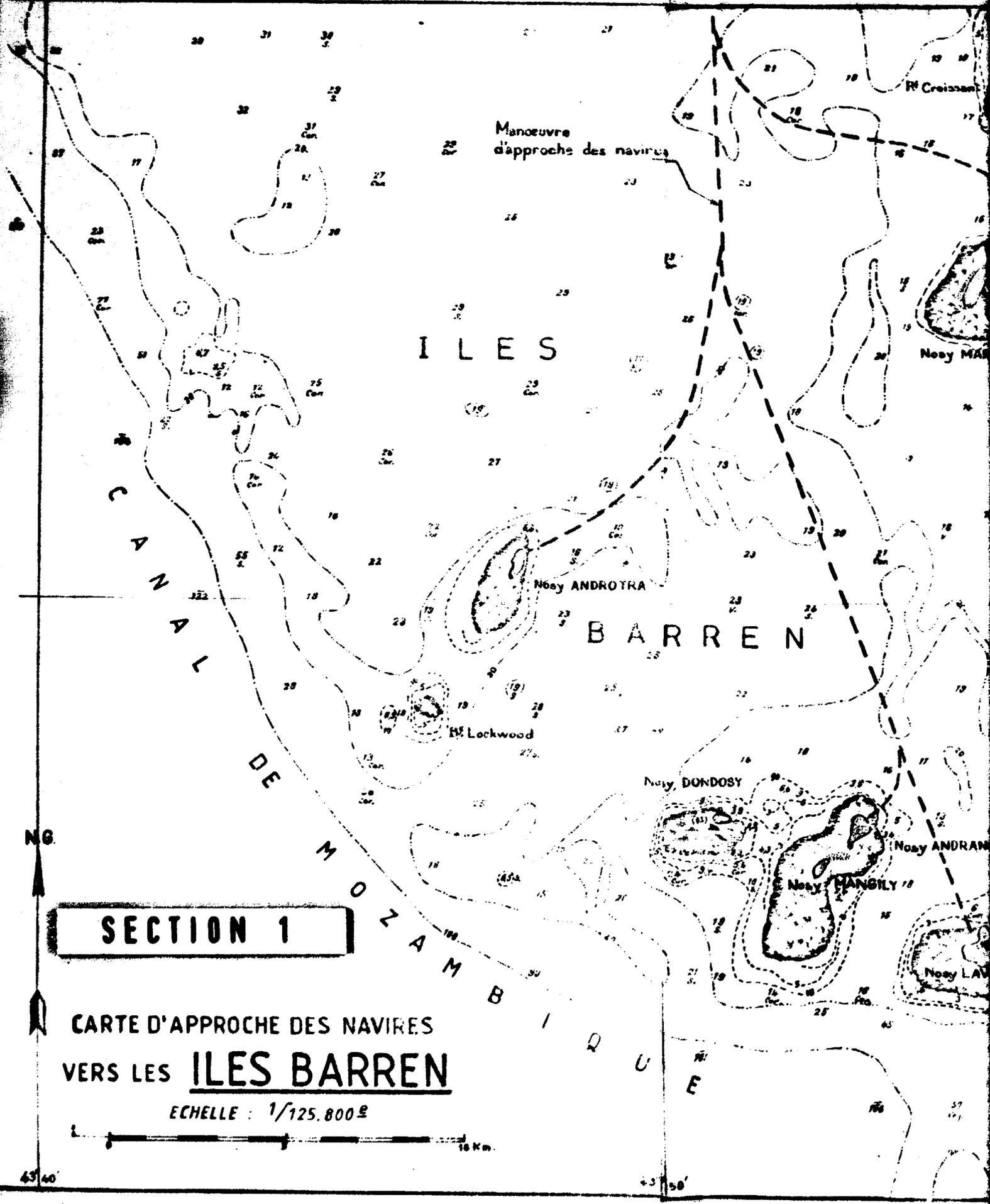
14

# FLOW-SHEET DE L' USINE DE TRAITEMENT





**REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES CONSOMMATIONS D'ENGRAIS PHOSPHATES.**



Manoeuvre  
d'approche des navires

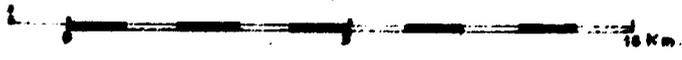
ILES

BARREN

**SECTION 1**

CARTE D'APPROCHE DES NAVIRES  
VERS LES **ILES BARREN**

ECHELLE : 1/125.800<sup>2</sup>



43° 40'

43° 50'

Manoeuvre  
d'approche des navires

E S

BARREN

Lockwood

Noisy DONDOSY

Noisy ANDRANO

Noisy MANGILY

Noisy LAVA

B<sup>e</sup> Simpson

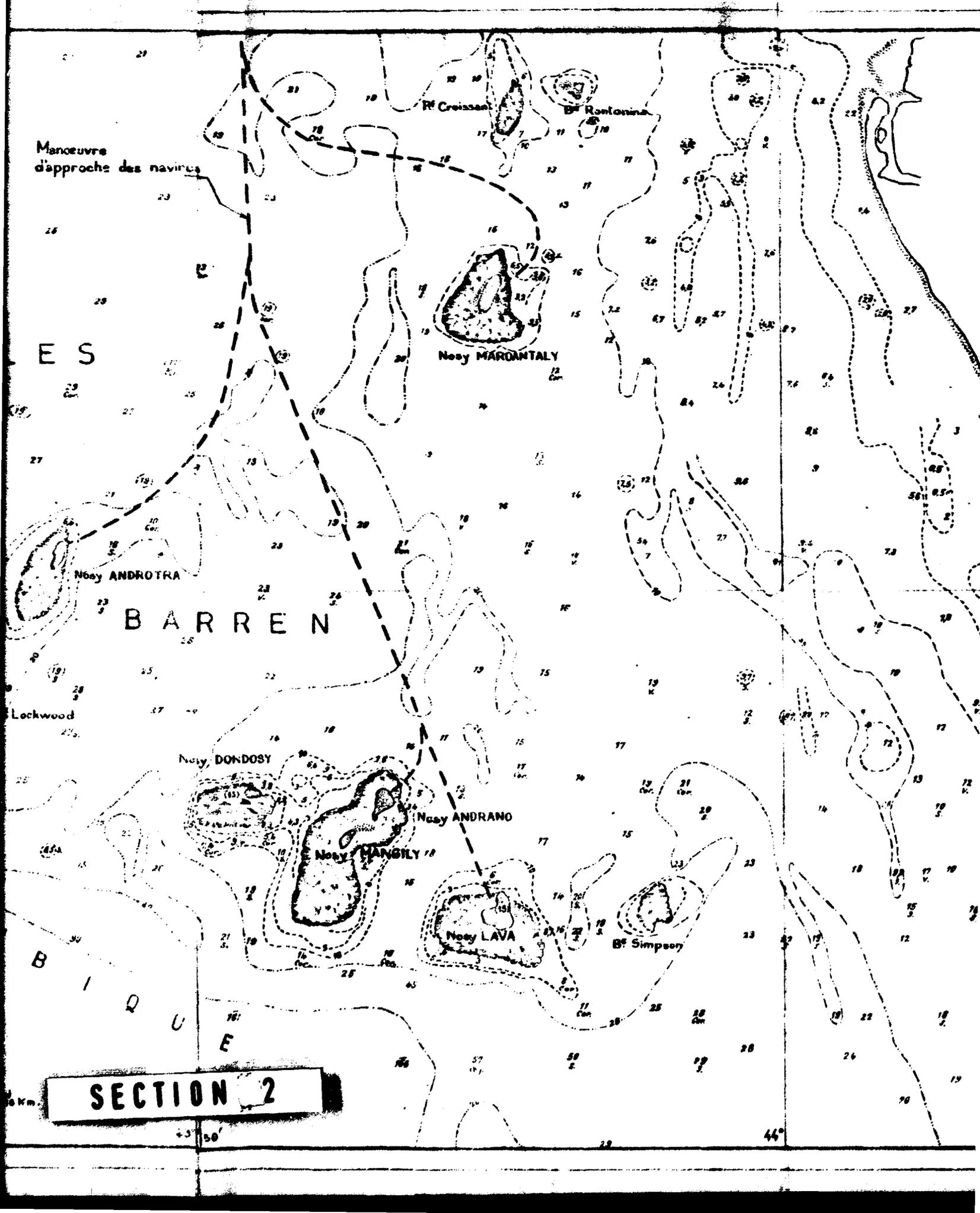
B<sup>e</sup> Croissant

B<sup>e</sup> Rantonina

SECTION 2

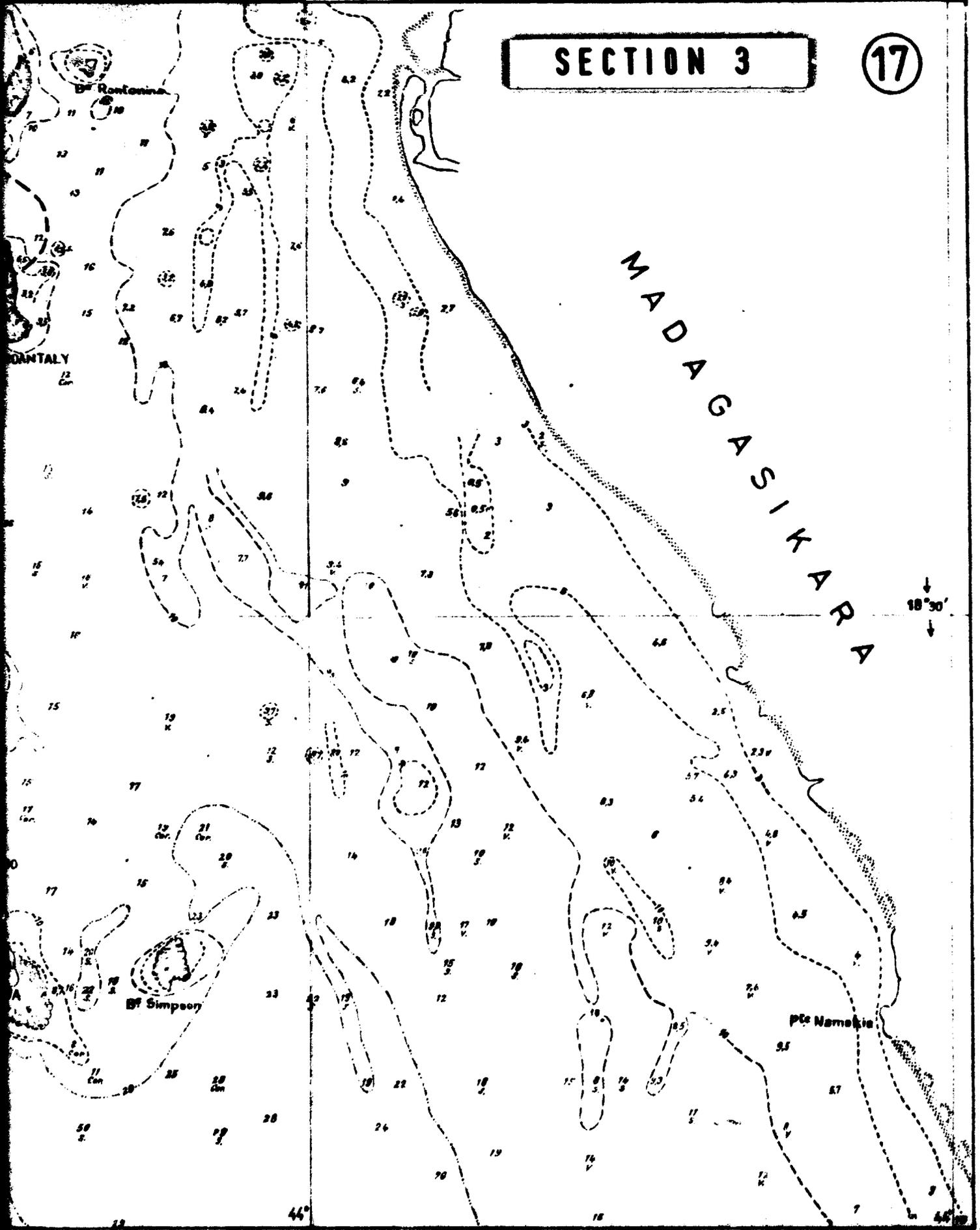
+3° 50'

44°

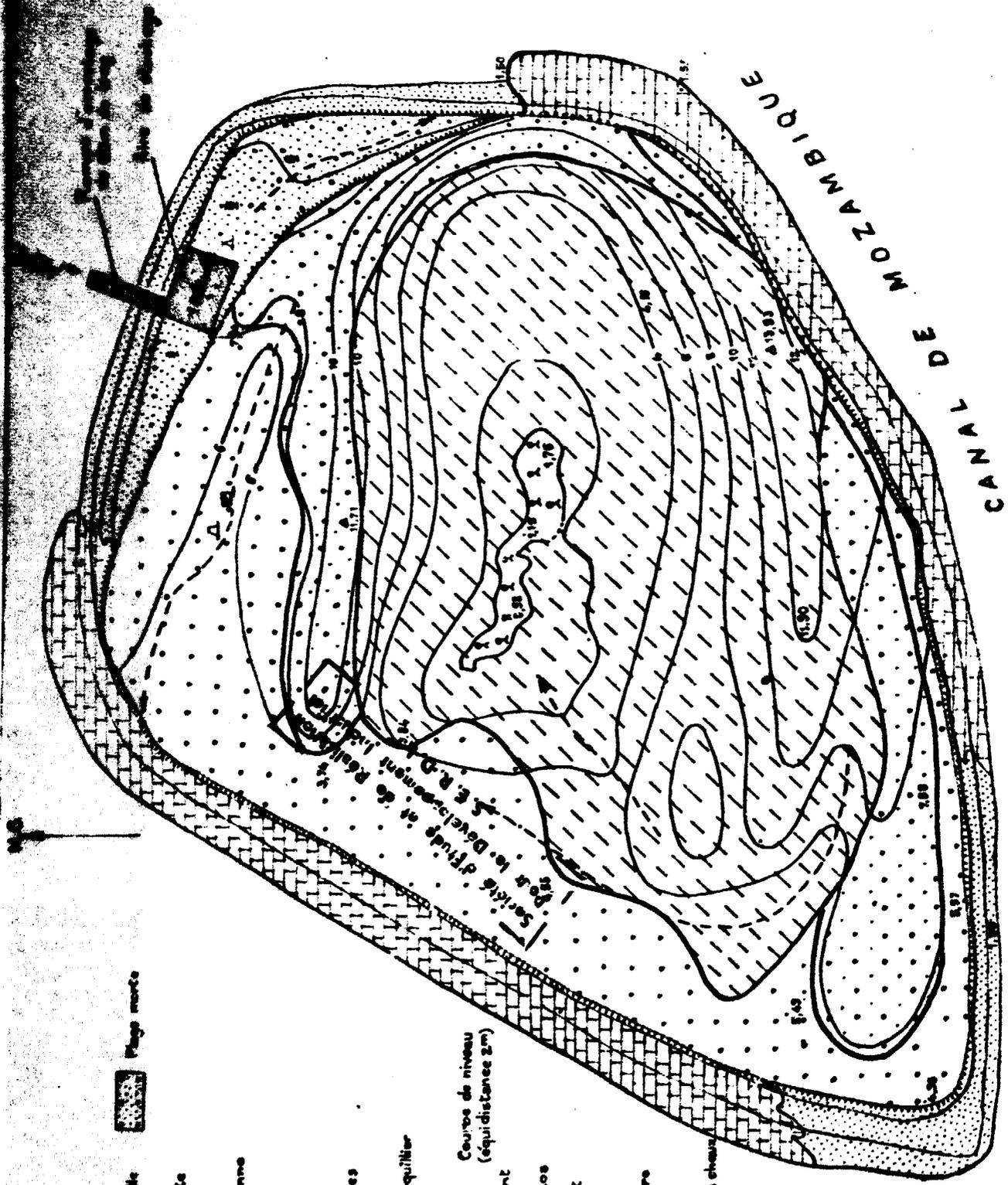


SECTION 3

17



CANAL DE MOZAMBIQUE



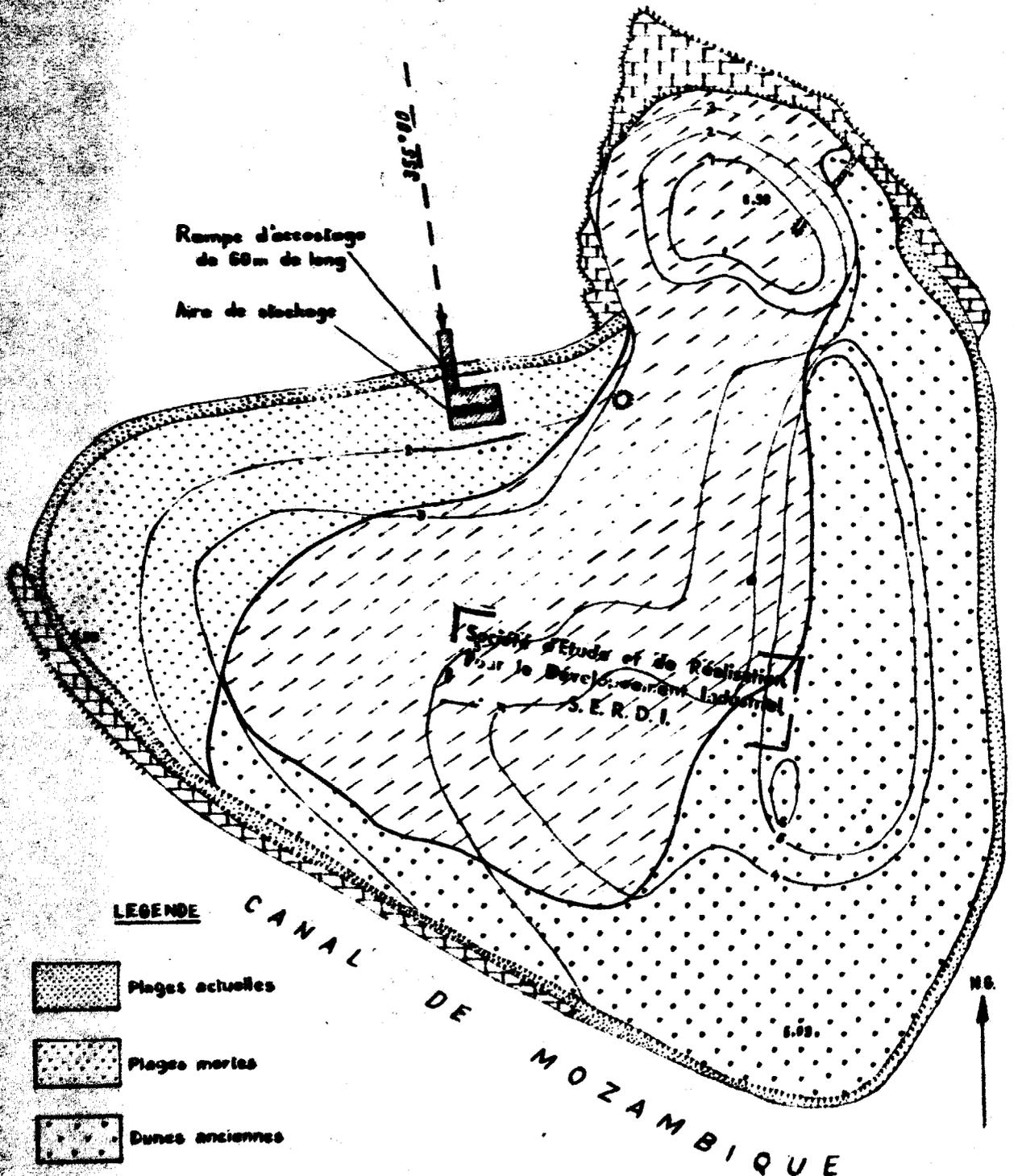
- Plage actuelle
  - Dune récente
  - Dune ancienne
  - Palétuvier
  - Phosphorites
  - Calcaire coquillier
  - Thalweg
  - Escarpement
  - Ruds de filao
  - Campement
  - Point côté
  - Borne repère
  - Impluvium
  - Ancien four à cheux
- Courses de niveau (équidistance 2m)

Echelle 1:100

Localisation du point d'accostage.

(ILES BARDEN) MOZAMBIQUE

# Localisation du point d'accostage

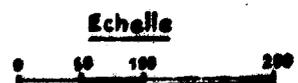


## LEGENDE

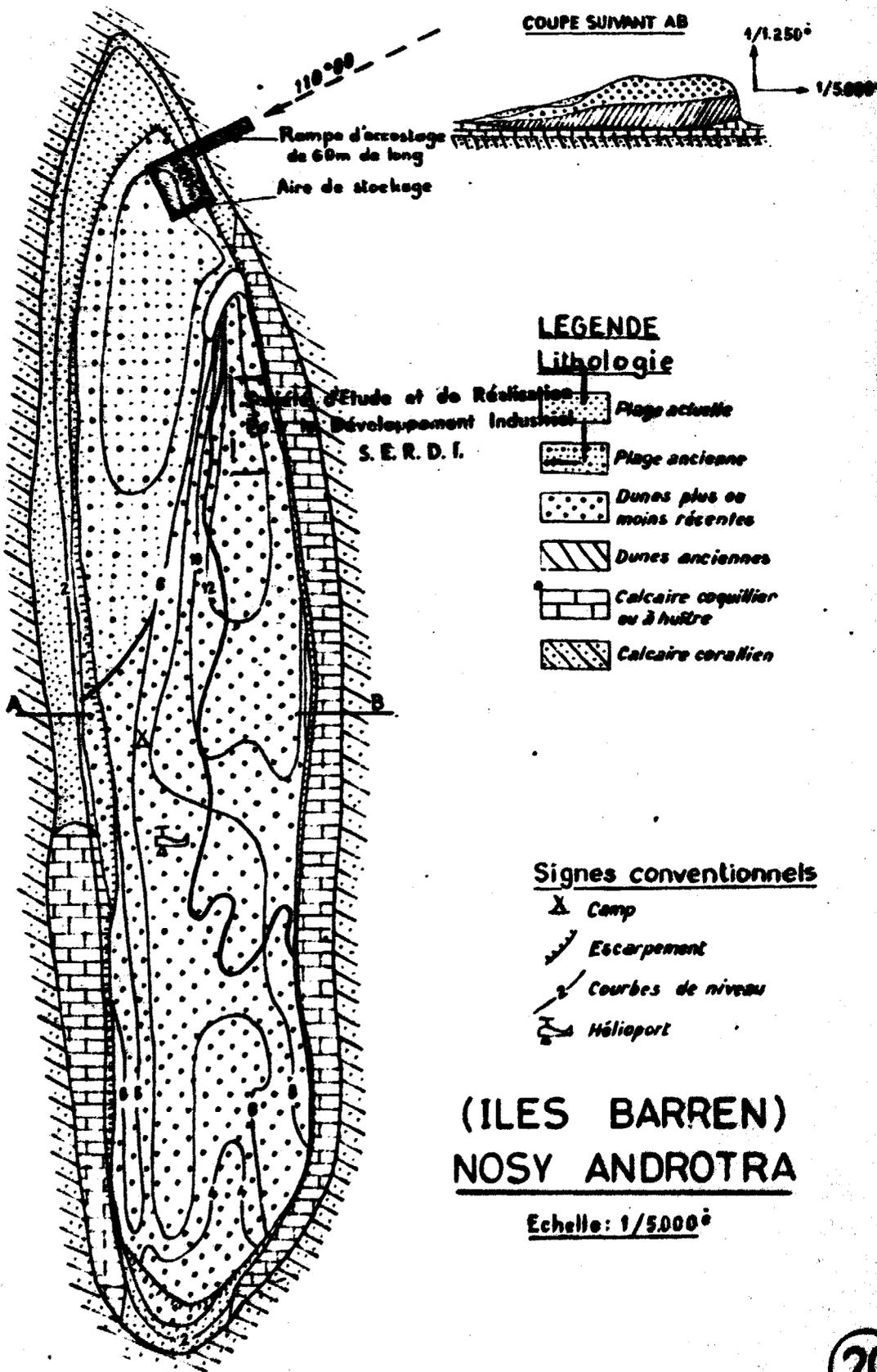
-  Plages actuelles
-  Plages mortes
-  Dunes anciennes
-  Phosphorites
-  Grès calcaires coquilliers

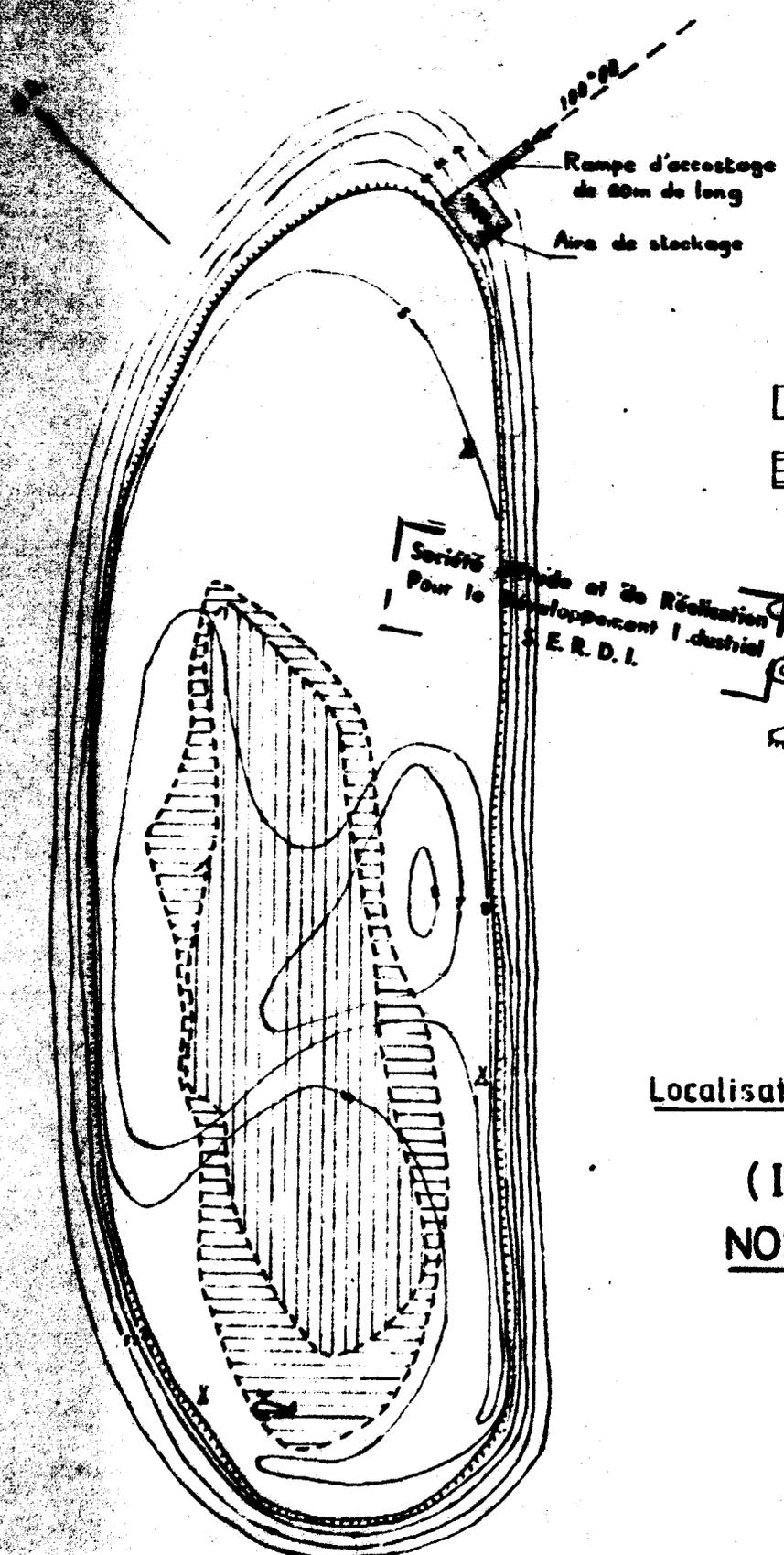
 Courbe de niveau (équidistance 1m)       Escarpement

(ILES BARREN) NOSY LAVA



# Localisation du point d'accostage





**LEGENDE**

-  Phosphorites en blocailles
-  Phosphorites pulvérisantes

**TOPOGRAPHIE**

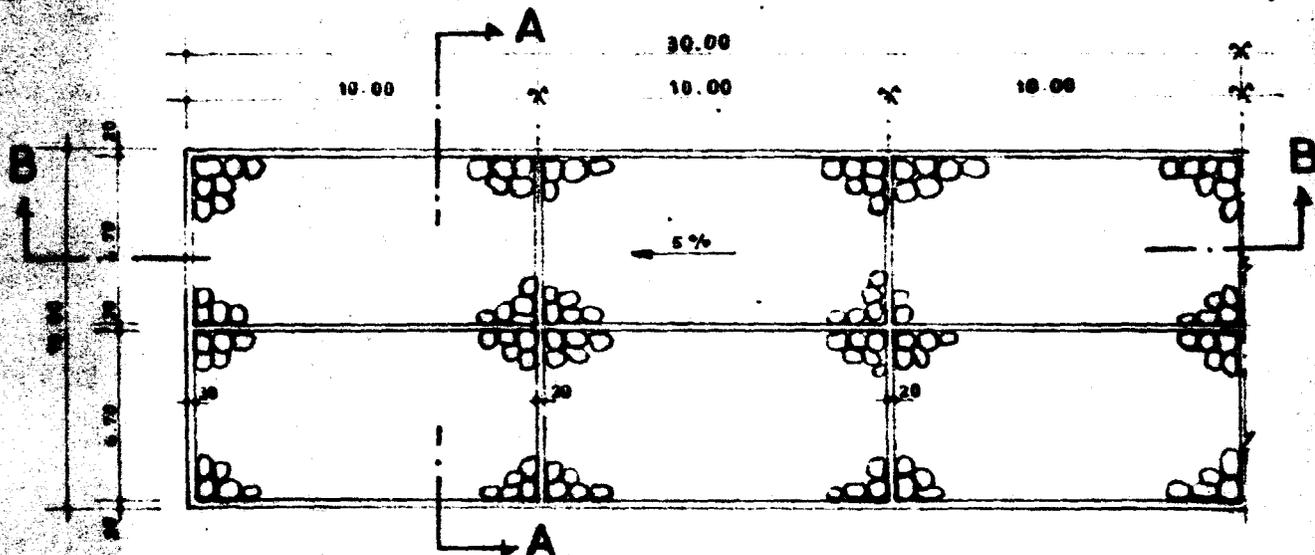
-  Contour de l'île
-  Courbes de niveau
-  Escarpements
-  Campement
-  Hélicoptère

Localisation du point d'accostage

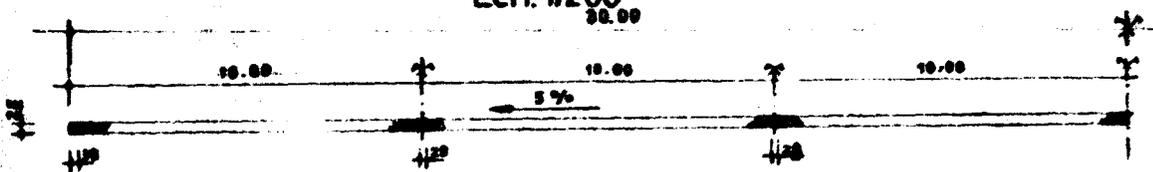
**( ILES BARREN )  
NOSY MAROANTALY**

Echelle : 1/6000<sup>e</sup>

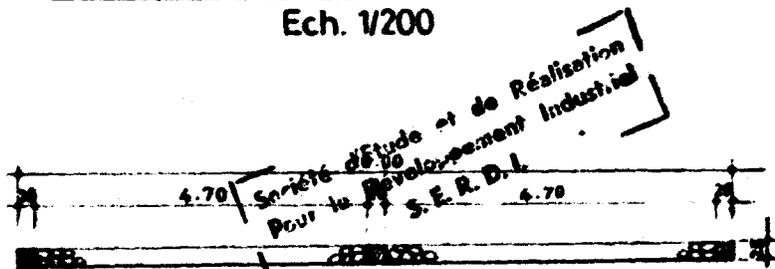
# RAMPE DE BEACHAGE



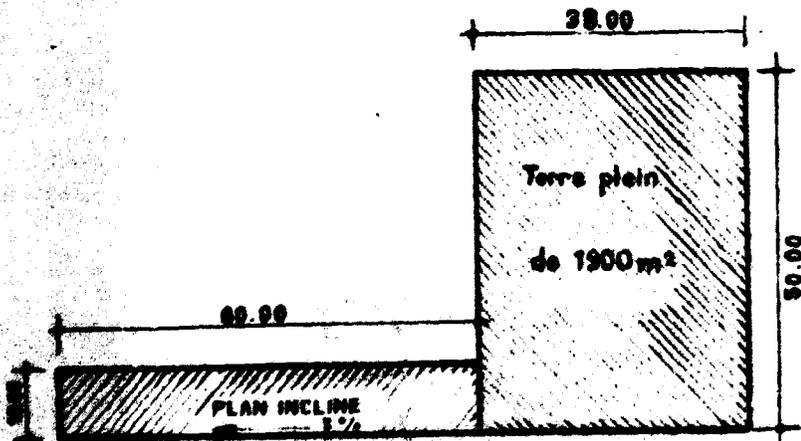
**PLAN INCLINE**  
**DEMI-COUCPE EN PLAN**  
 Ech. 1/200



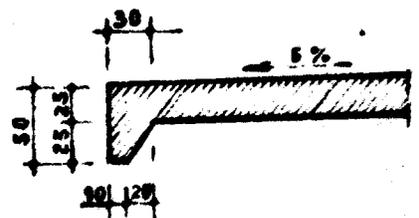
**DEMI-COUCPE LONGITUDINALE B-B**  
 Ech. 1/200



**COUCPE TRANSVERSALE A-A**  
 Ech. 1/100



**PLAN D'ENSEMBLE**  
 Ech. 1/1000



**PLAN INCLINE**  
**DETAIL DES BECHES**  
**EN AVANT ET AMONT**  
 Ech. 1/50

Société d'Etude et de Réalisation  
 Pour le Développement Industriel  
 S. E. R. D. I.