



**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

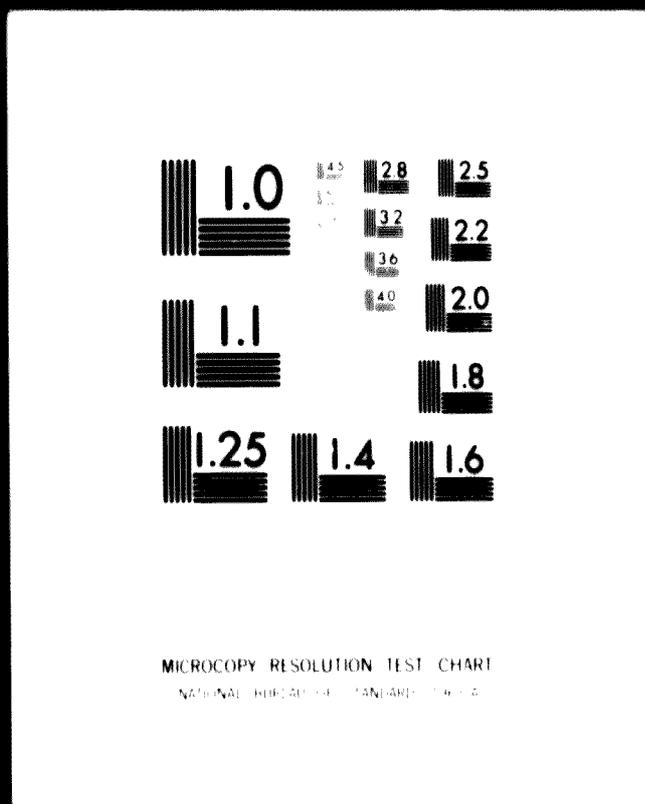
Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

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

1 OF 1

00975

F



24x  
C

We regret that some of the pages of the microfiche  
copy of this report may not be up to the proper  
quality standards, even though the best possible  
copy was used for preparation of the master fiche.

MM

00975-F



Unido/ITD/13  
Mai 1968

FRANCAIS  
Original : ANGLAIS

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

RAPPORT SUR UNE MISSION ENVOYEE A MADAGASCAR  
AU TITRE DES SERVICES INDUSTRIELS SPECIAUX  
DE L'ONUDI

afin d'étudier les aspects techniques et  
économiques de la production d'urée

PARTIE B : POSSIBILITES D'IMPLANTATION D'UNE INDUSTRIE DE L'UREE A MADAGASCAR

id.68-2027

1968

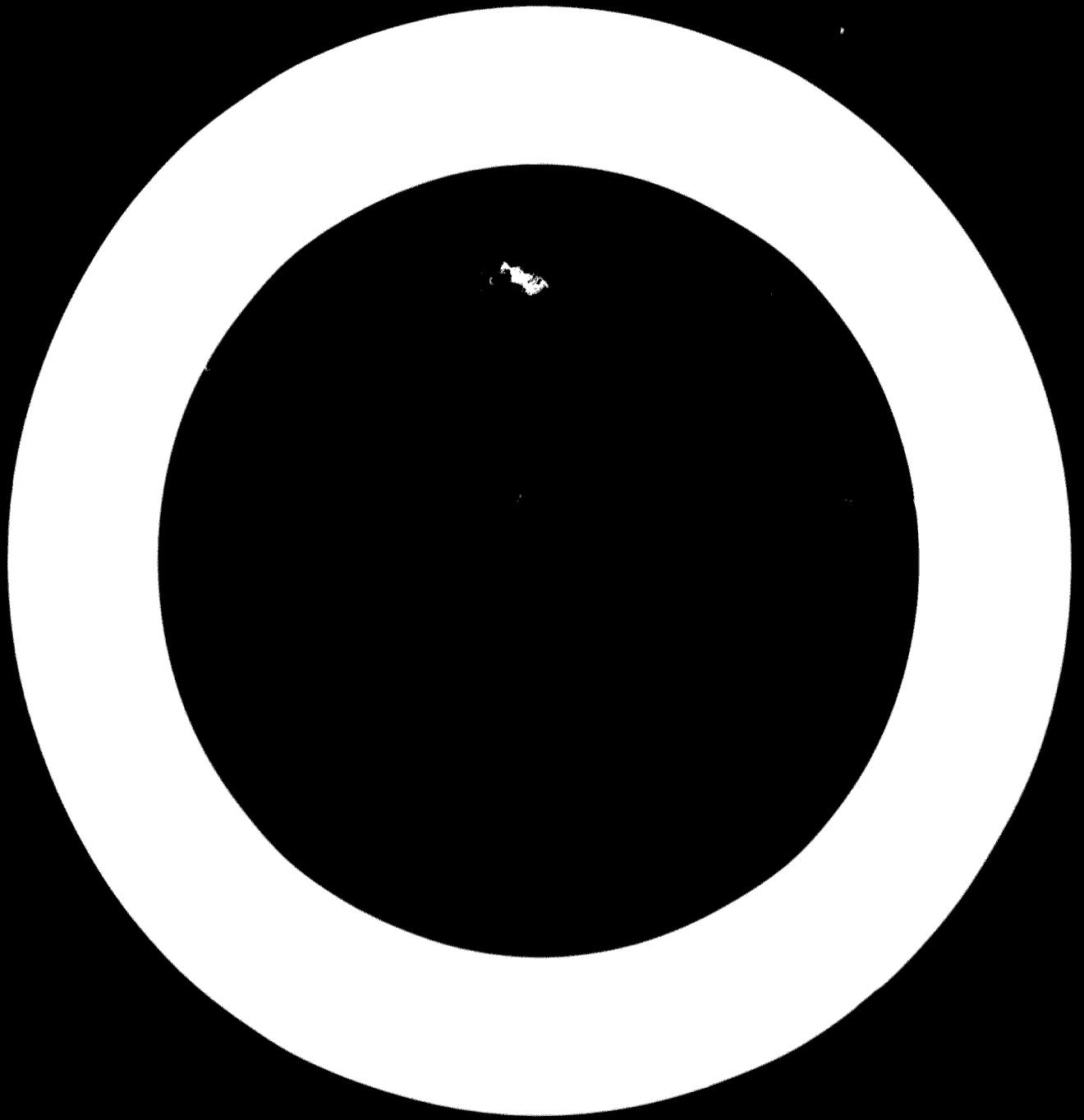


Table des-matières

	<u>Page</u>
I - Introduction	5
II - Analyse des rapports antérieurs traitant de la production d'engrais à Madagascar	6
A - Rapport de la SEDES	6
B - Autres documents (correspondance et rapports) relatifs à la production d'engrais à Madagascar	11
III - Importance de l'urée pour l'économie de Madagascar	12
IV - Méthodes de fabrication de l'urée	12
V - Matières premières nécessaires à la production de l'urée	13
VI - Description du procédé de recyclage complet employé pour la fabrication de l'urée	15
VII - Description de la fabrication de l'anhydride carbonique à partir des gaz de combustion des chaudières	20
VIII - Implantation d'une usine de production d'urée	20
IX - Coûts de premier établissement	21
X - Coût estimatif de production de l'urée granulée	23
XI - Rentabilité escomptée de la production d'urée granulée (mise en sacs de polyéthylène)	24
XII - Prix de revient, rentabilité et caractéristiques économiques	25
XIII - Organigramme - Effectif du personnel engagé au titre du projet	29
XIV - Bourses d'études	30
XV - Observations relatives à la possibilité d'approvisionner Madagascar en pâte de N-P-K produite par Maurice	31
XVI - Réalisation du projet	32
XVII - Conclusions et recommandations	33
<b>ANNEXE I</b> - Renseignements relatifs à la raffinerie de pétrole située au port de Tamatave	
<b>ANNEXE II</b> - Données techniques sur la raffinerie de pétrole du port de Tamatave	

FIGURE 1 - Description de l'équipement - Schéma de fabrication de l'urée  
(chapitre VI)

FIGURE 2 - Schéma de fabrication de l'anhydride carbonique (chapitre VII)

FIGURE 3 - Emplacement de l'usine de fabrication d'urée (chapitre VIII)

FIGURE 4 - Seuil de rentabilité de l'usine de fabrication d'urée  
granulée à Madagascar (chapitre XII)

## I. INTRODUCTION

La présente étude est consacrée à l'examen des questions suivantes : viabilité technique et économique de l'usine de production d'urée que l'on envisage de construire, montant probable des investissements et coût de production, ressources en matières premières locales ou importées et prix estimatif de ces matières premières, prix de revient de l'urée ainsi produite par rapport à celui de l'urée importée.

Cette étude venait d'être entreprise lorsqu'on s'est aperçu que la question avait déjà fait l'objet de recherches, l'analyse la plus poussée ayant été faite par la SEDES dans un rapport très détaillé. Outre ce rapport et quelques notes succinctes, il existe une correspondance qui ne dépasse guère le stade initial, avec plusieurs bureaux d'études et entreprises de travaux. Cette documentation sera étudiée plus loin dans ses grandes lignes.

Les prévisions de rendement, des investissements, les coûts de production, les délais d'amortissement et les autres indices économiques qui figurent dans le présent rapport devront être révisés et ajustés lorsque la proposition définitive de construction d'usine aura été présentée. L'étude du marché sous-régional, qui fait l'objet de la partie "A" de l'étude, devra alors être complétée par des plans précis concernant l'exportation de l'urée.

On a tenu compte, en rédigeant cette étude, des données disponibles concernant les usines de production d'engrais et leurs coûts de production. Les dépenses afférentes aux services et les estimations du coût de la main-d'oeuvre reflètent la situation existant à Madagascar.

On s'est efforcé dans toute la mesure du possible de concevoir dans le cadre du PNUD des projets qui, coordonnés, s'équilibrent mutuellement et qui soient susceptibles de contribuer au maximum au développement de l'économie de Madagascar.

## II. ANALYSE DES RAPPORTS ANTERIEURS TRAITANT DE LA PRODUCTION D'ENGRAIS A MADAGASCAR

### A. Rapport de la SEDES

En 1962, à la demande du Ministère du développement et du plan, la Société d'études pour le développement économique et social (SEDES) 67, rue de Lille, Paris-7<sup>e</sup>, a établi un rapport assez volumineux et détaillé divisé en deux volumes :

- Volume I

Le marché des engrais et ses possibilités de développement à Madagascar;

- Volume II

Possibilités d'implantation d'une industrie des engrais azotés à Madagascar.

Les principales questions étudiées dans ces deux volumes ont été résumées dans un rapport de synthèse.

La présente mission ayant pour objet principal d'étudier les possibilités de production d'engrais à Madagascar, on s'attachera surtout à évaluer les constatations publiées dans la deuxième partie du rapport de la SEDES. Les recherches de la SEDES ont essentiellement porté sur les points suivants :

- 1) Importance actuelle et future du marché intérieur et du marché extérieur;
- 2) Ressources en matières premières;
- 3) Nécessité pour le prix de vente des engrais produits localement de ne pas dépasser les prix courants C & F des engrais importés à Madagascar.

1) Importance actuelle et future du marché intérieur et du marché extérieur

La SEDES n'a procédé qu'à une très brève évaluation des possibilités d'exportation des engrais fabriqués à Madagascar dans les pays de l'Afrique de l'Est et elle a conclu à l'inutilité de pousser plus loin les recherches à cet égard. En revanche, constatant qu'à la Réunion et dans l'Ile Maurice les conditions n'étaient pas particulièrement favorables à la production d'engrais, elle a insisté sur les débouchés que constituaient ces pays pour les engrais produits à Madagascar.

Tenant compte, d'une part, du statut politique de la Réunion et, d'autre part, du fait que l'Ile Maurice appartient à la zone sterling, la SEDES a estimé que 50 % des besoins en engrais de la Réunion et 10 % de ceux de l'Ile Maurice pourraient être satisfaits par l'importation d'engrais fabriqués à Madagascar. En même temps, elle évaluait avec beaucoup d'optimisme le taux de croissance de la consommation d'engrais azotés à Madagascar, comme le montre le tableau suivant :

Consommation d'azote (en tonnes métriques)	1960	1970	Taux de croissance	Exportations
Madagascar	940	18 500	190 %	
La Réunion	4 700	7 000	5 %	3 500
Ile Maurice	8 000	12 300	2,3 %	1 230
<b>Total</b>	<b>14 640</b>	<b>37 800</b>	-	<b>4 730</b>

Il ressort toutefois des estimations données dans la présente étude que la consommation globale d'azote à Madagascar doit atteindre 7 170 tonnes par an à la fin de 1970, ce qui correspondrait au tiers environ des prévisions de la SEDES. Celle-ci semble avoir fait preuve de peu de réalisme, en estimant que la consommation locale devait augmenter de 190 % par rapport à 1960 de façon à atteindre en 1970 le chiffre précité de 18 500 tonnes.

Le rapport de la SEDES ne spécifie pas très clairement que l'azote nécessaire à la culture du riz à Madagascar sera fourni par l'urée; et, par ailleurs, cet engrais devra être introduit progressivement à la Réunion et à l'Ile Maurice pour être utilisé à l'avenir dans les plantations de canne à sucre.

## 2) Ressources en matières premières

La SEDES, après avoir sérieusement étudié la question, suggère deux possibilités pour la fabrication d'engrais azotés à Madagascar :

- Produire de la cyanamide calcique;
- Produire du sulfate d'ammonium, de l'urée ou du nitrate d'ammonium à partir de la synthèse de l'ammoniac.

Selon la SEDES, la première solution se justifie du fait de la présence des matières nécessaires à la production de cyanamide calcique (électricité à Mandraka,  $\text{CO}_3\text{Ca}$  à Amboondrasaka et charbon de bois fabriqué sur place avec du bois d'eucalyptus). Elle présente néanmoins certains inconvénients. En effet, la fixation d'un kilo d'azote dans la cyanamide calcique exige 14 kWh par kg d'azote, opération qui n'est pas rentable si le prix du kWh dépasse 4 millièmes de dollar des Etats-Unis. En outre, la cyanamide de calcium ne contient que 20 % d'azote, son utilisation pour la culture du riz à Madagascar n'a fait l'objet d'aucun essai, la production mondiale de cet engrais est en régression, etc. Comme le conclut la SEDES il est préférable d'abandonner cette idée car, même dans les conditions les plus favorables (4 millièmes de dollar le kWh, 1,2 "cent" le kilo de charbon de bois, 0,5 "cent" le kilo de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , etc.), le prix de l'azote fixé serait supérieur à celui de l'azote importé. Dans la suite de son étude, la SEDES semble plutôt préconiser la fabrication d'engrais à partir de la synthèse de l'ammoniac, qui requiert deux principales matières premières : l'hydrogène et l'azote.

La SEDES a étudié d'abord la possibilité de recourir pour la production d'ammoniac aux gisements de charbon de Sakoa. Après une rapide évaluation du contexte économique, elle a, à juste titre, rejeté cette idée confirmant ainsi le fait avéré depuis longtemps que, même dans les pays qui disposent de charbon à bon marché, cette matière première ne peut soutenir la comparaison, sur le plan économique, avec les produits pétroliers, gazeux ou même liquides. Éliminant donc la possibilité d'utiliser le charbon, la SEDES conclut que la meilleure solution consisterait à utiliser pour la production d'hydrogène à Madagascar le fuel-oil lourd produit par la raffinerie de pétrole de Tamatave.

Il convient de noter qu'en 1964, date à laquelle a paru le rapport de la SEDES, il n'était pas encore certain que la raffinerie serait construite. On peut se demander pourquoi la SEDES a envisagé d'importer le fuel-oil lourd au cas où la raffinerie ne serait pas construite. Il vaudrait mieux en l'occurrence importer du naphte de première obtention qui, dès 1962, était considéré comme l'une des matières premières essentielles pour la synthèse de l'ammoniac.

La SEDES estime que le prix du fuel-oil lourd produit à la future raffinerie de pétrole de Tamatave serait de l'ordre de 14 dollars des Etats-Unis par tonne. Selon les renseignements les plus récents, ce prix serait plus élevé et pourrait aller jusqu'à 18 dollars des Etats-Unis par tonne. Toutefois il faut préciser que ce chiffre, calculé d'après le prix fob de revente du fuel lourd à Tamatave qui comprend actuellement les frais supplémentaires résultant de la fermeture du canal de Suez et les droits d'entrée et de transaction, soit une somme de 1,7 dollar qui, normalement, ne devrait pas être perçue si le mazout était utilisé pour la fabrication d'engrais. Si l'on déduit 3,3 dollars des 18 dollars précités, on obtient 14,70 dollars, ce qui correspond à peu de chose près aux estimations de la SEDES.

La question de l'utilisation du fuel lourd pour la fabrication des engrais azotés fera plus loin l'objet d'un examen plus poussé, mais on peut déjà noter l'intérêt que présente une autre matière première dont il n'est pas fait mention dans le rapport de la SEDES :

- Gaz naturel utilisé comme matière première (21 000 pieds cubes/tonne de $\text{NH}_3$ à 0,10 dollar les 1 000 pieds cubes)	2,10 dollars des Etats-Unis
- Fuel-oil (0,845 tonne/tonne $\text{NH}_3$ à 14,10 dollars par tonne)	13,22 dollars des Etats-Unis
Différence en faveur du gaz/tonne de $\text{NH}_3$	<hr/> 11,12 dollars des Etats-Unis

Si l'on tient compte du coût d'autres services et du coût d'exploitation, la différence en faveur du procédé utilisant le gaz naturel comme matière première s'accroît encore. En fait, il faudrait, pour pouvoir faire la comparaison avec les estimations de la SEDES, tenir compte du volume d'électricité nécessaire pour la synthèse de l'ammoniac.

La SEDES estime que la consommation d'électricité serait de l'ordre de 2 000 kWh par tonne d'azote fixé. En réalité, ce chiffre est très élevé et la consommation devrait se situer aux alentours de 1 500 kWh par tonne d'azote fixé. Par contre, le prix du kWh estimé à 0,02 dollar des Etats-Unis (2 cents) paraît exact. Il est néanmoins très élevé par rapport au prix moyen du kWh aux Etats-Unis, soit environ 0,01 dollar (1 cent ou 10 millièmes de dollar).

Après avoir étudié la consommation probable des matières premières éventuellement disponibles, les types d'engrais qui conviennent le mieux à la culture du riz et d'autres caractéristiques de la situation à Madagascar, etc., la SEDES a recommandé de produire de l'urée (surtout pour la culture du riz), de l'acide nitrique et du nitrate d'ammonium (explosifs compris). Elle a préconisé d'adopter pour la fabrication de l'urée le procédé dit du recyclage partiel impliquant qu'une partie de l'ammoniac et de l'anhydride carbonique ne peut être recyclée et doit servir à fabriquer un sous-produit azoté, comme dans le procédé à passage unique. La SEDES a envisagé deux formules différentes auxquelles correspondent les capacités de production suivantes :

	Formule I		Formule II	
	Urée (46 %)	Urée (46 %)	Nitrate d'ammonium (33,5 %)	Explosifs (34,8 %)
NH <sub>3</sub> - 75 t par jour	127,5	82	44,8	13,6
total par an	42 075	27 060	14 820	4 500
NH <sub>3</sub> - 100 t par jour	170	110	64,3	13,6
total par an	56 100	36 300	21 220	4 500

Outre que les objectifs de production fixés dans l'une et l'autre formules ne sont pas conformes aux recommandations de l'Institut de recherche agricole de Madagascar (le nitrate d'ammonium n'est pas recommandé comme engrais pour la culture du riz), ils dépassent le niveau du marché captif de Madagascar, jusqu'en 1980, même si l'on tient compte des prévisions d'exportation vers la Réunion et l'Ile Maurice mentionnées plus haut. Les prévisions économiques concernant la production, et particulièrement le volume des ventes, ont été établies à partir des prix caf extrêmement élevés de l'azote importé à Madagascar. En fait, la SEDES a pris comme base de comparaison le prix caf à Tamatave d'une tonne d'azote, soit 252 dollars des Etats-Unis la tonne métrique (63 000 francs) ce qui mettrait la tonne d'urée à 118 dollars, soit environ 28 dollars de plus que le prix à l'importation. En outre, la SEDES a envisagé des investissements fixes s'élevant à 16 millions de dollars pour la première formule et 18 millions pour la seconde, ce qui sans aucun doute dépasse de beaucoup les ressources disponibles, particulièrement dans les conditions envisagées par la SEDES.

B. Autres documents (correspondance et rapports) relatifs à la production d'engrais à Madagascar

Pour recueillir des opinions et des avis sur les possibilités de créer une industrie de l'azote à Madagascar, le BDPI s'est adressé à plusieurs sociétés étrangères exerçant leur activité en ce domaine. Il a consulté en premier lieu les sociétés qui exploitent la raffinerie de Tamatave, à Madagascar. Le résultat de ces consultations a été négatif, les sociétés ayant été informées par leur siège que le marché de Madagascar était trop restreint pour justifier la création d'une industrie d'une certaine envergure.

Le BDPI a alors cherché à obtenir l'avis d'autres sociétés, c'est-à-dire de bureaux d'études et d'entreprises spécialisées. Il s'est adressé notamment aux organismes suivants : IDE, SATEC, SODEIX, POTASSE & ENGRAIS CHIMIQUES (PEC), Institut français d'organisation et de productivité, ENSA, SYBETRA, etc. Dans la plupart des cas, les consultations n'en sont qu'au stade initial, celui où les sociétés cherchent à se procurer les données essentielles pour se former une opinion. Néanmoins, il est clair que la discussion est axée sur les questions suivantes :

- a) Faut-il fabriquer l'ammoniac sur place ou l'importer sous forme d'ammoniac anhydre liquide ?
- b) Faut-il fabriquer de l'acide nitrique et du nitrate d'ammonium et/ou de l'urée, ou le tout à la fois ?
- c) Faut-il fabriquer aussi du sulfate d'ammonium ou seulement du sulfate d'ammonium, etc. ?

Quelle que soit la réponse, ce qui importe surtout ce sont les estimations relatives à la demande d'engrais azotés à Madagascar en 1970 et 1975, car c'est en fonction de ces estimations que seront déterminées la capacité de production et l'importance de la future industrie malgache des engrais azotés.

Les aspects caractéristiques de la question évoquée ci-dessus seront étudiés tout au long du présent rapport de viabilité ainsi que dans les recommandations finales; ils ne sont donc pas traités dans ce chapitre.

### III. IMPORTANCE DE L'UREE POUR L'ECONOMIE DE MADAGASCAR

L'urée est de plus en plus appréciée comme engrais, ce qui se traduit par un développement spectaculaire de l'industrie de l'urée dans le monde. L'urée a une forte teneur en azote; elle est peu sujette à la lixiviation, ne laisse dans le sol aucune substance résiduelle et se montre en outre d'un emploi facile. On l'utilise en particulier pour la culture du riz, du blé, du tabac, de la tomate, de la pomme de terre, du coton, de la canne à sucre, du café, des prairies et du maïs. Moyennant certaines précautions, elle peut être utilisée pour la fabrication d'engrais composés.

On mélange actuellement l'urée aux herbicides. Un nouveau produit herbicide chimique le PCP-Na (pentachlorophénol sodé) est connu et utilisé avec succès dans la culture du paddy au Japon.

L'urée sert également à l'alimentation des ruminants et à la fabrication de résine en tant qu'amollissant de divers produits cellulosiques; elle trouve enfin de multiples applications dans l'industrie chimique.

Il va sans dire que l'urée sera surtout utilisée à Madagascar comme engrais, comme composant dans la fabrication d'aliments synthétiques de complément pour le bétail et comme élément associé à un herbicide dans la fabrication d'un produit dés herbant.

### IV. METHODES DE FABRICATION DE L'UREE

On choisira entre les différentes méthodes compte tenu au produit que l'on veut obtenir et de la situation géographique de l'usine. Le procédé à passage unique et celui du recyclage partiel présentent certains avantages si l'ammoniac résiduaire doit être utilisé en totalité ou en partie pour la production d'acide nitrique ou pour l'obtention d'un sel d'ammoniac par combinaison avec un acide particulier (acide sulfurique, acide nitrique ou acide phosphorique).

Le principal avantage de la méthode à passage unique est de n'exiger qu'un investissement relativement modique en matériel puisqu'il n'est pas nécessaire de prévoir une installation de recyclage de l'ammoniac résiduel.

Dans le procédé de recyclage partiel, l'ammoniac résiduel est renvoyé au réacteur de synthèse, ce qui exige un matériel supplémentaire.

Lorsqu'on utilise la méthode de recyclage total, il faut encore ajouter à l'équipement nécessaire pour le recyclage partiel un autre dispositif de récupération qui permette de récupérer tous les gaz résiduels à la sortie des épurateurs et de les renvoyer au réacteur de synthèse.

La production de l'urée seule étant recommandée pour Madagascar, il faut donc adopter la méthode du recyclage total.

Les principaux procédés employés pour la production de l'urée sont ceux des firmes suivantes : Chemico, Stamicarbon, Toyo Koatsu, Montecatini, Lonza, Pechiney-Grace, etc. Ils font appel, soit à la méthode dite à passage unique, soit à celle du recyclage partiel ou encore à celle du recyclage total. Ils se différencient principalement par le procédé utilisé pour renvoyer l'ammoniac et l'anhydride carbonique sortant des épurateurs de carbamate au réacteur de synthèse de l'urée.

On trouvera plus loin la description générale du processus de fabrication de l'urée, ainsi qu'un tableau montrant la marche des opérations.

#### V. MATIERES PREMIERES NECESSAIRES A LA PRODUCTION DE L'UREE

De manière générale, il n'est pas recommandé de reconstituer l'ammoniac à Madagascar car cette opération ne serait pas rentable. L'ammoniac préparé à partir de fuel lourd résiduel que l'on peut se procurer sur place (Bunker "C") reviendrait à environ 95 dollars la tonne, prix qui ne peut soutenir la comparaison avec celui de l'ammoniac anhydre importé de la région du Golfe persique à raison d'environ 40 dollars seulement la tonne.

On estime que la région du Golfe persique constituerait la meilleure source d'approvisionnement en ammoniac pour Madagascar. La distance est en effet inférieure de moitié à celle qui sépare Madagascar de l'Europe ou de la Trinité et les frais de transport seraient donc moins élevés. En outre, et ceci a également son importance, il serait possible de grouper les transports d'ammoniac à destination de Madagascar

et ceux d'autres pays de la sous-région de l'Afrique de l'Est où l'on envisage d'utiliser l'ammoniac anhydre pour la production d'engrais (Kenya, Maurice, etc.). Dans ce cas, les importations d'ammoniac pourraient être plus fréquentes et plus importantes ce qui en retour entraînerait une réduction des frais de transport maritime, des investissements en capital fixe pour l'entreposage de l'ammoniac et du capital de roulement nécessaire.

L'anhydride carbonique est avec l'ammoniac la matière première la plus importante pour la production de l'urée. Il est facile de se procurer ces deux substances en même temps, l'anhydride carbonique étant un sous-produit des usines de synthèse de l'ammoniac. La pureté de l'anhydride carbonique gazeux produit dans les installations de synthèse d'une usine d'ammoniac dépend en grande partie du procédé employé pour l'élimination du CO<sub>2</sub>. En général, il est souhaitable, à la fois pour faciliter le traitement et en raison du danger de corrosion, que la proportion de gaz inertes ne dépasse pas 2 % et celle de soufre 25 ppm.

Dans le cas de Madagascar, l'anhydride carbonique sera fabriqué sur place à partir du fuel lourd résiduel de la raffinerie de pétrole de Tamatave.

L'anhydride carbonique sera fabriqué au degré de pureté requis pour la synthèse de l'urée, à partir des gaz de combustion des chaudières utilisées pour la production de la vapeur nécessaire au traitement.

#### SPECIFICATIONS DES MATIERES PREMIERES

##### Ammoniac liquide :

NH <sub>3</sub>	min. 99,8 % par unité de poids
H <sub>2</sub> O	max. 0,2 % par unité de poids
Huile	10 ppm
Température	20°C
Pression	10 kg/cm <sup>2</sup>

Anhydride carbonique :

CO <sub>2</sub>	min. 98,5 % par volume
Gaz inertes	max. 1,5 % par volume
Soufre	20 ppm
Eau saturée à	30°C
Température	max. 30°C
Pression	200 mm à la colonne d'eau

Matières premières et services nécessaires (Quantités par tonne métrique d'urée granulée)

<u>UREE</u>	NH <sub>3</sub> liquide (tonne)	0,58
	CO <sub>2</sub> gazeux (tonne)	0,77
	Vapeur (kg)	1 400
	Electricité (kWh)	140 (une quantité supplémentaire mentionnée dans l'estimation des coûts de production servira au stockage de l'ammoniac)

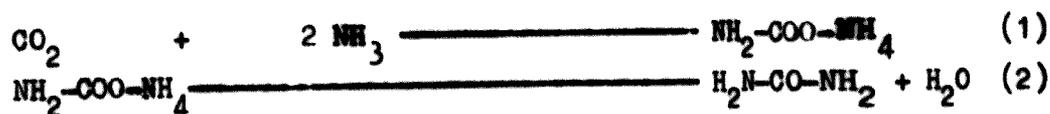
ANHYDRIDE  
CARBONIQUE

Vapeur (kg/h)	11 000
Eau de refroidissement (m <sup>3</sup> /t)	470 (dont 320 m <sup>3</sup> pourraient être mis en circulation)
Electricité (kWh)	300/h
Produits chimiques : Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	250 kg/h
"Alkacid"	1,75 kg/h

VI. DESCRIPTION DU PROCÉDE DE RECYCLAGE COMPLET  
EMPLOYÉ POUR LA FABRICATION DE L'URÉE

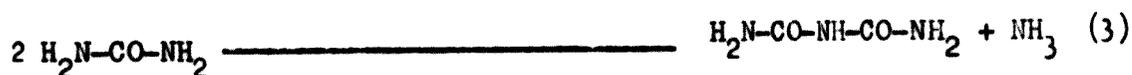
PRODUCTION DE L'URÉE

L'urée est le produit de la réaction hautement exothermique de l'ammoniac mis en présence d'anhydride carbonique sous forte pression et à haute température. Cette réaction se fait en deux temps selon les équations suivantes :



La première réaction (1) donne le carbamate d'ammonium. La réaction est immédiate et exothermique et la chaleur dégagée pendant la réaction maintient la température du mélange réactionnel au niveau thermique voulu. Dans la deuxième équation (2) une partie du carbamate d'ammonium est convertie en urée. La réaction est légèrement endothermique et se poursuit jusqu'à ce que l'état d'équilibre soit atteint.

Une autre réaction importante donne du biuret suivant l'équation (3) :



La formation de biuret est fonction de la température et de la durée de la réaction. Plus la température est élevée et plus son action est prolongée, plus la formation de biuret est abondante. La solution d'urée doit donc rester le moins longtemps possible exposée à une température élevée, de façon à limiter la formation de biuret.

Pendant la synthèse de l'urée, effectuée selon le rapport stoechiométrique des éléments entrant en réaction, la chaleur dégagée dépasse la quantité nécessaire pour maintenir la température de l'opération et il s'agit alors de trouver le moyen d'éliminer cet excédent de chaleur. Mais cela n'est pas nécessaire dans le cas présent parce que l'excédent d'ammoniac est utilisé pour la synthèse et qu'une certaine quantité de chaleur doit être ajoutée à la réaction par préchauffage de l'ammoniac. Il est alors possible d'obtenir la température de la réaction sans avoir recours au dispositif complexe d'échange thermique dans le réacteur.

En outre, l'excédent d'ammoniac facilite la conversion du carbamate d'ammonium en urée.

La synthèse de l'urée est effectuée sous une pression de 190 à 200 kg/cm<sup>2</sup> et à une température de 180 à 190°C. Le rapport molaire de NH<sub>3</sub> et de CO<sub>2</sub> est à peu près de 4 pour 1.

Comme il a été dit plus haut, la conversion du carbamate d'ammonium en urée n'est pas complète et le produit issu de la réaction est un mélange d'urée, d'eau, de carbamate d'ammonium et d'ammoniac excédentaire. Ces deux derniers éléments doivent être isolés et renvoyés dans le réacteur.

La suite de l'opération nécessite des appareils spéciaux pour la décomposition du carbamate d'ammonium et le recyclage des matières premières séparées qui n'ont pas réagi.

La solution sortant du réacteur est décompressée en deux phases jusqu'à la pression d'à peu près une atmosphère. Chaque phase nécessite le passage par un décomposeur, un séparateur des phases gazeuse et liquide et un condenseur.

Au cours de la première phase on obtient de l'ammoniac pur qui, avec de l'ammoniac frais, sert à alimenter le réacteur et, d'autre part, une solution de recyclage qui est également renvoyée au réacteur de synthèse.

Au cours de la deuxième phase, on obtient une solution d'urée et une solution pauvre de recyclage qui repart vers l'installation pour la première phase de dilatation où elle est épaissie.

La solution d'urée, concentrée à 80 % environ, subit une évaporation en deux temps pour donner l'urée fondue. Comme indiqué plus haut, la formation de biuret augmente sous l'effet de la température, l'évaporation doit donc être effectuée rapidement à la température la plus basse possible, ce qui peut se faire par l'évaporation sous vide. L'urée fondue, qui a une faible teneur d'eau, est ensuite pulvérisée dans une tour de granulation.

#### SCHEMA DE FABRICATION DE L'UREE

La figure 1 "Schéma de fabrication de l'urée" montre les différents stades de la production. Pour faciliter l'explication du processus de fabrication de l'urée on a choisi de le présenter en le divisant en six grandes étapes, à savoir : compression de l'anhydride carbonique, alimentation en ammoniac, synthèse de l'urée, recyclage de la solution provenant de la réaction, évaporation et granulation de l'urée.

#### COMPRESSION DE L'ANHYDRIDE CARBONIQUE

L'anhydride carbonique gazeux est amené du réservoir à un compresseur à phases multiples (1), et de là, il est canalisé sous forte pression, directement vers le réacteur de synthèse.

### ALIMENTATION EN AMMONIAC

Un courant continu d'ammoniac liquide est déversé dans le réservoir de  $\text{NH}_3$  (2) où il se mélange à l'ammoniac de recyclage arrivant du condenseur d'ammoniac (9). Du réservoir (2) la quantité voulue d'ammoniac est envoyée au moyen d'une pompe à plongeur à haute pression (3) vers le réacteur de synthèse (5) en passant par un appareil de préchauffage (4).

### SYNTHESE DE L'UREE

Une réaction exothermique se produit au fond du réacteur (5) entre l'ammoniac, le gaz carbonique et la solution de recyclage; elle entraîne la formation de carbamate d'ammonium et une forte augmentation de la température. L'intérieur du réacteur est chemisé avec un acier inoxydable spécial. La durée de rétention du mélange dans le réacteur (5) a été calculée en vue d'une conversion à haut rendement du carbamate d'ammonium en urée.

### RECYCLAGE

La solution sortant du réacteur à la pression d'environ  $200 \text{ kg/cm}^2$  est soumise à une décompression en deux temps. Elle passe par une soupape réductrice de pression qui ramène sa pression à environ  $18 \text{ kg/cm}^2$ ; elle est ensuite dirigée vers le décomposeur (6) où le carbamate d'ammonium non transformé est dissocié sous l'effet de la chaleur. L'excédent d'ammoniac gazeux qui se dégage, l'ammoniac et l'anhydride carbonique provenant de la dissociation du carbamate d'ammonium, ainsi qu'une partie de la vapeur produite, sont séparés de la phase liquide dans un séparateur autoclave (7).

Le mélange gazeux ainsi séparé passe dans l'absorbeur autoclave (8) tandis que la phase liquide va subir une deuxième décompression.

A la sortie du séparateur autoclave (7), la phase liquide subit une nouvelle décompression avant d'être envoyée dans le décomposeur (11). Là, sous l'effet de la chaleur, ce qui reste du carbamate d'ammonium doit se dissocier. L'ammoniac gazeux et l'anhydride carbonique sont séparés de la solution d'urée dans le séparateur à basse pression (12), puis envoyés dans l'absorbeur à basse pression (13) où, avec

l'eau utilisée pour les absorber, ils donnent une solution de recyclage pauvre. Cette solution est envoyée au moyen d'une pompe (14) dans l'absorbeur autoclave (8). A sa sortie du séparateur (12), la solution d'urée se déverse dans le réservoir (17). Dans la cuve de lavage de fin de cycle (15), on obtient de l'ammonium par élimination des gaz inertes qui sortent de l'absorbeur à basse pression (13). La solution d'ammoniac pauvre obtenue est renvoyée par une pompe dans l'absorbeur à basse pression (13).

### EVAPORATION

La solution d'urée qui se trouve dans le réservoir (17) est graduellement envoyée par une pompe doseuse (18) vers l'évaporateur primaire (19). Les vapeurs sont séparées de la solution d'urée épaissie dans le séparateur (20) et sont ensuite condensées dans le condenseur (21). Un éjecteur de vapeur (22) maintient sous vide le système de séparation. La solution d'urée sortant du séparateur (20) est envoyée à l'évaporateur secondaire (23) et les vapeurs séparées de l'urée fondue dans le séparateur (24) sont introduites dans le condenseur (25) pour y être condensées. Un éjecteur de vapeur maintient l'installation sous vide profond (26). L'urée fondue est amenée à la pompe (27) qui l'envoie au sommet de la colonne de granulation.

Les vapeurs condensées sorties des deux évaporateurs s'accumulent dans le réservoir de condensation (28) d'où elles sont envoyées par une pompe (29) vers la cuve de lavage de fin de cycle.

### GRANULATION

L'urée fondue sortant des évaporateurs est amenée dans la centrifugeuse (30). Les gouttelottes pulvérisées se refroidissent et durcissent en tombant au contact d'un contre-courant d'air produit par des ventilateurs (31). Un rateau spécial (32) pousse les granulés accumulés au bas de la colonne sur un convoyeur à courroie (33) qui les transporte jusqu'à un élévateur (34). L'élévateur les déverse à son tour dans un calibreur (35) qui élimine les granulés n'ayant pas le calibre voulu. Les autres sont transportés par un convoyeur à courroie jusqu'à l'entrepôt où ils sont ensachés ou expédiés en vrac. Les granulés éliminés au calibrage vont dans la cuve de fusion (36) et une pompe (37) renvoie l'urée fondue à la production.

## VII. DESCRIPTION DE LA FABRICATION DE L'ANHYDRIDE CARBONIQUE A PARTIR DES GAZ DE COMBUSTION DES CHAUDIERES

Les gaz de combustion des chaudières passent dans une tour de ruissellement d'eau (1) avant d'entrer dans une tour de lavage de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (2) pour être débarrassé du  $\text{SO}_2$ . La solution de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usée est éliminée au bas de la tour (2). Les gaz de combustion traversent ensuite successivement deux tours de lavage (3 et 4) servant à éliminer le  $\text{CO}_2$ . Une solution de soude ("Alkacid") pauvre est utilisée pour absorber le  $\text{CO}_2$  des gaz de combustion. La solution riche obtenue est pompée dans l'absorbeur (3) et passe par un échangeur de chaleur (8) avant d'atteindre la tour de désorption (5) où elle échange de la chaleur avec la solution de soude régénérée au bas de la tour de désorption (5). La solution régénérée est pompée au travers d'un échangeur de chaleur (8) et d'un refroidisseur (6) jusqu'au sommet de la tour d'absorption (4). Depuis la tour d'absorption (4) la solution partiellement absorbée est pompée jusqu'au sommet de l'absorbeur (3). Le circuit de la solution alcaline dans le système est alors complet. Une partie de la solution de soude passe à travers un filtre (7) qui la débarrasse de toutes ses particules solides. La vapeur nécessaire à la désorption du  $\text{CO}_2$  de la soude est dirigée vers un rebouilleur (10). Le  $\text{CO}_2$  récupéré au sommet de la tour de désorption est refroidi dans un condenseur (9), puis pour parvenir au degré voulu de pureté, il passe par des filtres au charbon activé (11 et 12) avant d'être emmagasiné dans un gazomètre (13).

La figure 2 donne le schéma de la fabrication du  $\text{CO}_2$  à partir des gaz de combustion de chaudière.

## VIII. IMPLANTATION D'UNE USINE DE PRODUCTION D'UREE

Le choix du site où sera érigée l'usine de production d'urée est également important du point de vue technique et économique. Des entretiens préliminaires ont eu lieu avec le représentant des autorités portuaires de Tamatave et avec le conseiller du BDPI responsable de la zone industrielle de Tamatave, en vue d'obtenir une superficie de 7 hectares environ dans la zone portuaire même à l'intérieur de l'enceinte de sécurité. Si cela se révélait impossible, il faudrait au moins obtenir que le réservoir d'ammoniac soit situé à proximité des docks en eau profonde, car il est

indispensable de réduire le plus possible la distance entre le lieu d'arrivée des bateaux-citernes transportant l'ammoniac anhydre et le réservoir terminal afin d'éviter les frais inutiles de pompage par une conduite plus longue. D'autre part, en raison de l'élévation de température provoquée par le frottement à l'intérieur de la conduite et le travail mécanique, l'ammoniac risquerait de se volatiliser à son arrivée dans le réservoir terminal. Les vapeurs devraient alors être recomprimées et renvoyées à l'état liquide vers les citernes d'entreposage, ce qui augmenterait le coût d'exploitation du système terminal de réfrigération.

Il faut environ un demi-hectare de terrain pour une installation terminale d'une capacité de 3 000 tonnes. D'après les renseignements obtenus, le sol aurait une résistance suffisante pour recevoir cette installation sans qu'il soit nécessaire de procéder à de coûteux travaux de consolidation.

Si l'usine de production d'urée proprement dite est située dans la "zone industrielle" de Tamatave, elle bénéficiera d'un accès facile aux installations fluviales, au système d'égouts, au réseau électrique et aux canalisations d'eau. Elle se trouvera alors en face de la raffinerie de pétrole de Tamatave à un endroit où la résistance du sol est suffisante (voir figure 3 - Implantation de l'usine de production d'urée).

Le terrain se trouvant à Tamatave, il n'y a pas à prévoir la construction de logements pour le personnel près de l'usine.

#### IX. COUTS DE PREMIER ETABLISSEMENT

##### Estimation des dépenses d'investissement fixe pour l'établissement d'une usine expérimentale de production d'urée à Tamatave (Madagascar)

- I. Capacité de l'usine : 33 000 tonnes d'urée granulée (46 % N) par an,  
travail en trois équipes 330 jours par an.
- II. Site de l'usine : Zone industrielle du port de Tamatave (Madagascar).

(en milliers de dollars des Etats-Unis  
et de francs malgaches)

Catégorie de frais	Monnaie étrangère (dollars des Etats-Unis)	Monnaie nationale (francs malgaches)	Total (en dollars des Etats-Unis)
1. Aménagement du terrain ( ha de terrain plat, aucun obstacle au-dessous ou au-dessus de la surface)		5 000	20
2. Clôtures, routes et égouts	30	7 500	60
3. Fondations et bâtiments	50	95 000	430
4. Installations techniques, machines et matériel de fabrication (y compris les chaudières)	1 900		1 900
5. Frêt et assurance	150		150
6. Construction et montage	250	62 500	500
7. Installations d'entreposage de l'ammoniac (3 000 tonnes)	450	12 500	500
8. Installation d'entreposage de l'urée et des produits chimiques	50	87 500	400
9. Installation des services (eau, air comprimé, électricité)	300		300
10. Service d'ensachage	30		30
11. Pièces de rechange	80		80
12. Matériel de sécurité et de laboratoire	85		85
13. Matériel de transport, de manutention et d'entretien	130		130
14. Génération de vapeur	70	6 500	96
15. Bourse d'études	42	7 500	72
16. Frais divers	25		25
17. Imprévus	100		100
	<u>3 742</u>	<u>284 000</u>	<u>4 878</u>

Base d'amortissement : 3 885 000 dollars des Etats-Unis pour l'usine d'urée seulement (les frais d'amortissement et autres frais de production pour la fabrication du CO<sub>2</sub> sont inclus dans le prix de revient de la tonne de CO<sub>2</sub>).

X. COUT ESTIMATIF DE PRODUCTION DE L'UREE GRANULEE

Capacité de l'usine 100 tonnes par jour

Valeur ajoutée (en dollars)	Coûts variables	Quantités	Coût unitaire (en dollars)	Coût par tonne d'urée (en dollars)	Coût annuel (en dollars)
-	Approvisionnement en NH <sub>3</sub> liquide	0,58 t	40,00	23,20	
7,40	Approvisionnement en CO <sub>2</sub> gazeux	0,77 t	18,80	14,50	
5,00	Electricité (y compris pour l'en- treposage du NH <sub>3</sub> )	250 kWh	0,02	5,00	
1,20	Eau de refroidis- sment	150 m <sup>3</sup>	0,008	1,20	
2,00	Divers (y compris les sacs)			7,00	
<u>15,60</u>				<u>50,90</u>	1 679 700
	<u>Coûts semi-variables</u>				
7,00	Main-d'oeuvre et maîtrise			9,50	
1,40	Entretien (3 % des dépenses d'investissement fixe)			3,00	
3,00	Frais généraux (40 % de la main-d'oeuvre)			3,80	
<u>11,40</u>				<u>16,30</u>	537 900
	<u>Coûts fixes</u>				
1,00	Taxes et assurance (1 % des dépenses d'investissement fixe)			1,00	
3,00	Amortissement (10 % des dépenses d'investissement fixe)			11,00	
<u>4,00</u>				<u>12,00</u>	396 000

31,00	Coût total de la production	79,20	2 613 600
= 40 % du coût total de production	Total des ventes - Formule I (prix caf actuels)	90,30	2 979 900
	Total des ventes - Formule II (prix marginaux caf futurs)	84,30	2 780 000
	Bénéfice total (avant déduction des princi- pales taxes et paiement de l'intérêt sur la totalité des capitaux investis) Formule I	11,10	366 300
	Bénéfice total (avant déduction des princi- pales taxes et paiement de l'intérêt sur la totalité des capitaux investis) Formule II	5,10	166 400

XI. RENTABILITE ESCOMPTEE DE LA PRODUCTION D'UREE GRANULEE  
(MISE EN SACS DE POLYETHYLENE)

1. Effet des variations du taux de la production - calcul du seuil de  
rentabilité sur une base annuelle

	<u>Dollars des Etats-Unis</u>
a) <u>Coûts</u>	
Coûts variables	1 679 000
Coûts semi-variables	537 900
Coûts fixes	396 000
	<hr/>
Total du coût de production	2 613 600
b) <u>Ventes</u>	
33 000 tonnes d'urée en sacs à 90,30 dollars des Etats-Unis (Formule I)	2 979 900
33 000 tonnes d'urée en sacs à 84,30 dollars des Etats-Unis (Formule II)	2 780 000
c) <u>Bénéfice total</u>	
Formule I (avant déduction des principales taxes et paiement de l'intérêt)	366 000
Formule II (avant déduction des principales taxes et paiement de l'intérêt)	166 400

2. Calcul de la valeur ajoutée à l'usine par tonne 31,00 dollars des Etats-Unis =  
40 % du coût total de production

(Note : la valeur ajoutée a été calculée du point de vue de l'économie nationale, c'est-à-dire qu'elle comprend l'ensemble des frais encourus à Madagascar.)

3. Evaluation économique

Formule I - taux de rendement du capital investi  $\frac{366\ 300}{4\ 878\ 000} = 7,4\ \%$

Formule II - taux de rendement du capital investi  $\frac{166\ 400}{4\ 878\ 000} = 3,4\ \%$

Formule I - seuil de rentabilité 60 %, soit une capacité de 19 800 tonnes par an

Formule II - seuil de rentabilité 76 %, soit une capacité de 25 080 tonnes par an

4. Economie de devises par tonne produite sur place

Dollars des Etats-Unis

Formule I 31,00 + 11,00 = 42,10

Formule II 31,00 + 5,10 = 16,10

5. Economie annuelle totale de devises

Formule I 1 389 000

Formule II 1 191 300

6. Economie de prix par tonne d'urée fabriquée sur place

Formule I 11,10

Formule II 5,10

XII. PRIX DE REVIENT, RENTABILITE ET CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES

Au cours des entretiens de Madagascar, on a souvent exprimé la crainte que le prix de l'urée fabriquée sur place soit plus élevé que celui de l'urée importée. Il y aurait à cela plusieurs raisons :

- La capacité relativement faible de production prévue pour l'usine d'urée de Madagascar qui aurait une influence considérable à la fois sur les investissements en capital fixe et sur les frais d'exploitation par tonne de capacité réelle;

- L'insuffisance des ressources en ce qui concerne la plupart des matières premières entrant dans la fabrication de l'urée;
- La tendance à la baisse des prix caf enregistrés à Tananarive pour les engrais autrefois importés.

Tous ces arguments sont valables et difficiles à réfuter, mais d'un autre côté, étant donné sa situation géographique, Madagascar pourrait faire une économie appréciable sur les frais de transport si elle n'était plus obligée d'importer des engrais d'Europe ou d'autres régions lointaines. Dans l'étude de la société A.D. Little relative au projet de création d'une usine d'engrais à Maurice, on trouve la brève analyse suivante qui est valable également pour Madagascar :

"En raison de son isolement, Maurice offre aux producteurs d'engrais européens un marché commode où ils peuvent écouler au rabais leurs excédents en période de mévente saisonnière. De cette façon, Maurice peut certaines années s'approvisionner à bon compte en achetant des marchandises sacrifiées mais doit aussi payer le prix fort quand le marché européen est favorable."

En d'autres termes, il faut s'attendre à une grande instabilité plutôt qu'à une diminution constante des prix des engrais importés à Madagascar.

Si l'urée était fabriquée à Madagascar, l'usine fournirait sans délai des engrais à des **prix** stables, avec une certaine marge bénéficiaire que l'Etat pourrait éventuellement réutiliser pour subventionner l'industrie des engrais. En admettant que, par la suite, le prix du marché de l'urée importée vienne à baisser, il n'en restera pas moins, dans le cas de l'urée fabriquée à Madagascar, que sa valeur ajoutée, soit 40 % de son prix, aura été acquise sur place, c'est-à-dire que Madagascar réalisera une importante économie de devises.

Dans le coût de production de l'urée à Madagascar entrent deux éléments très importants, ce sont le prix de l'ammoniac, qui doit être importé, et celui du fuel de soute "C", que l'on peut se procurer sur place; ce fuel sert à la génération de la vapeur nécessaire pour le traitement de l'urée et à la fabrication de l'anhydride carbonique gazeux à partir des gaz de combustion.

Pour ce qui est de l'ammoniac on a déjà vu qu'il serait plus rentable de l'importer du Golfe persique. Pour le fuel-oil, celui de la raffinerie de pétrole de Tamatave n'est pas seulement cher; il a aussi une teneur assez élevée en soufre (environ 3,5 % par unité de poids). Il faudra éliminer ce soufre, ce qui entraînera une augmentation des dépenses d'investissement et du coût de production du CO<sub>2</sub>. La fabrication de l'urée serait plus rentable si l'on pouvait se procurer du fuel d'une teneur en soufre moins élevée et à un prix plus avantageux.

Outre le prix de revient, le prix estimatif de vente de l'urée joue un rôle important dans le calcul de la rentabilité. On a donc envisagé deux formules (I et II) basées sur des estimations différentes du prix de vente. La première formule (I) est basée sur le prix caf Tamatave le plus bas pour l'urée granulée mise en sacs, soit 90,30 dollars, prix qui constitue l'offre la moins élevée que le Gouvernement malgache ait reçue en réponse à ses appels d'offre internationaux. Dans la deuxième formule (II), on a retenu le prix caf Tamatave de 84,30 dollars la tonne d'urée granulée mise en sacs comme base d'évaluation économique. On considère que ce prix est un prix limite du point de vue de la rentabilité de l'usine. Néanmoins, il est impossible d'affirmer que cette marge de 6,6 % au-dessous du prix du marché actuel de l'urée importée permettra de compenser une baisse éventuelle du prix de l'urée sur le marché international.

Tant que le prix de revient de la tonne d'urée granulée restera inférieur à 79,20 dollars, une marge bénéficiaire subsistera, mais au-dessous de ce chiffre le prix de vente serait égal au prix de revient et il n'y aurait plus aucun bénéfice. Cette question a été longuement discutée à Madagascar avec le représentant du gouvernement. Les principaux conseillers économiques auprès du gouvernement se sont déclarés d'avis de construire l'usine d'urée, même si le prix de vente devait être plus élevé que le prix caf de l'urée importée. Ils ont estimé, en effet, qu'il fallait juger les mérites d'une telle opération sous l'angle de l'économie nationale, c'est-à-dire en tenant compte de la valeur ajoutée, des économies de devises ainsi réalisées et d'autres bénéfices qui ne peuvent pas être mesurés. Tels sont les facteurs qui doivent entrer en ligne de compte pour décider s'il convient ou non de créer l'usine.

Comme on l'a déjà vu en utilisant l'ammoniac importé à 40 dollars la tonne caf Tamatave, et l'anhydride carbonique gazeux fabriqué sur place à 18,80 dollars la tonne, il sera possible de produire de l'urée granulée ensachée pour un prix de revient de 79,20 dollars la tonne. Ce prix se situe bien au-dessous du prix actuel le plus bas, soit 90,30 dollars (formule I), de l'urée importée et représente une économie d'environ 11,10 dollars, soit 12,3 %. L'économie en devises réalisée sur une tonne d'urée fabriquée localement serait de 42,10 dollars soit 1 389 000 dollars par an. Le rendement du capital investi, avant déduction des taxes et paiement des intérêts s'élèverait à 7,4 % et le seuil de rentabilité s'établirait à 60 % de la capacité totale de production envisagée.

Si l'urée fabriquée localement était vendue au prix le plus bas de 84,30 dollars (formule II), le bénéfice estimé serait de 5,10 dollars la tonne, soit 6 %, et une économie de devises de 30,10 dollars serait réalisée sur chaque tonne d'urée fabriquée localement, soit 1 191 300 dollars par an. Le rendement du capital investi, avant déduction des taxes et paiement des intérêts, s'élèverait à 3,4 % et le seuil de rentabilité se situerait à 75 % de la capacité totale de production envisagée.

Par mesure de prudence, il a été décidé d'adopter la formule II (prix estimatif caf Tamatave de la tonne d'urée granulée : 84,30 dollars) comme base pour les conclusions et recommandations ultérieures.

Les indices estimatifs de rentabilité indiqués plus haut ont été calculés compte tenu de la capacité totale de production de l'usine, soit 33 000 tonnes d'urée granulée par an. La figure 4 "seuil de rentabilité de l'usine de production d'urée à Madagascar", montre l'effet des variations du taux de production sur le coût de production, sur les bénéfices avant déduction des taxes, des intérêts, etc.

XIII. ORGANIGRAMME - EFFECTIF DU PERSONNEL ENGAGE AU TITRE DU PROJET

		<u>Directeur général</u> (1)	<u>Bureau</u> (2)	
	<u>Secrétariat</u> (2)	<u>Directeur de la fabrication</u> (1)	<u>Personnel</u> (1)	
			<u>Relations publiques</u> (1)	
			<u>Transports</u> (1)	9
<u>Entretien et sécurité</u> (4)	<u>Production</u> (5)	<u>Contrôle chimique</u> (2)	<u>Service commercial</u> (1)	12
<u>Mécaniciens</u> (8)	<u>Opérateurs</u> (16)	<u>Chimistes</u> (4)	<u>Achats</u> (2)	
<u>Electriciens</u> (4)			<u>Ventes</u> (3)	
<u>Outillage</u> (4)			<u>Magasin</u> (1)	
			<u>Comptabilité</u> (3)	
			<u>Administration</u> (3)	
<u>Atelier</u> (5)			<u>Dactylographes</u> (5)	56
			Total	77
			Personnel journalier d'entretien	20
			Atelier	10
			Production	24
			Magasin	4
			Laboratoire	4
			Transports	6
			Total général	145

XIV. BOURSES D'ETUDES

BOURSES EN VUE DE LA FORMATION DE RESSORTISSANTS MALGACHES

<u>Nombre</u>	<u>Profession</u>	<u>Mois d'études</u>
1	Directeur de la fabrication	6
2	Entretien	24
3	Production	27
1	Fabrication	12
1	Ateliers	6
1	Outillage	6
2	Service commercial	12
<u>11</u>	Total	<u>93</u> = 31 000 dollars des Etats-Unis
		Frais de voyage = 11 000 "
		Total = 42 000 dollars des Etats-Unis

SALAIRES LOCAUX DES BOURSIERS ENVOYES A L'ETRANGER

<u>Nombre</u>	<u>Profession</u>	<u>Mois</u>	<u>Coût (en dollars par mois)</u>	<u>Total (en dollars des Etats-Unis)</u>
1	Directeur de la fabrication	6	500	3 000
2	Entretien	24	300	7 200
3	Production	27	300	8 100
1	Fabrication	12	350	4 200
1	Atelier	6	200	1 200
1	Outillage	6	250	1 500
2	Service commercial	12	400	4 800
		<u>93</u>		<u>30 000</u>

BOURSIERS PRESENTS PENDANT LA CONSTRUCTION ET LA MISE EN ROUTE DE L'USINE D'UREE

<u>Nombre</u>	<u>Profession</u>	<u>Mois</u>	<u>Coût (en dollars par mois)</u>	<u>Total (en dollars des Etats-Unis)</u>
1	Directeur de la fabrication	24	500	12 000
2	Entretien	32	300	9 600
3	Production	36	300	10 800
1	Fabrication	12	350	4 200
1	Atelier	18	200	3 600
1	Outillage	12	250	3 000
2	Service commercial	10	400	4 000
		<u>144</u>		<u>47 200</u>

XV. OBSERVATIONS RELATIVES A LA POSSIBILITE D'APPROVISIONNER MADAGASCAR  
EN PATE DE N-P-K PRODUITE PAR MAURICE

La possibilité d'approvisionner Madagascar en pâte de N-P-K produite à Maurice a été évoquée dans la partie A du présent rapport. Cette possibilité intéressante certes, serait surtout avantageuse pour Maurice. Tout dépend du niveau des prix caf Tamatave des pâtes de N-P-K choisies, transportées de Maurice à Madagascar, ainsi que des aspects généraux du développement économique de Madagascar. On pense que même si les prix des pâtes de N-P-K étaient encore inférieurs à ceux qui sont mentionnés dans la partie A du rapport, cette possibilité serait à rejeter, étant donné les conditions qui prévalent à Madagascar. Madagascar est un vaste pays dont les ressources devraient permettre un développement presque illimité de l'agriculture et qui doit donc posséder sa propre manufacture d'engrais.

Il est recommandé, en attendant que l'ampleur du marché local des engrais azotés et des aliments synthétiques pour le bétail justifie la construction d'une usine de fabrication d'urée, de maintenir et d'augmenter le rendement des installations de mélange à sec de N-P-K proposées en utilisant du phosphate produit localement à partir d'os broyés.

Par la suite, l'urée produite localement pourrait entrer dans la composition d'aliments synthétiques pour le bétail, être utilisée comme engrais simple et comme élément de mélange N-P-K. En troisième lieu, on passerait enfin à la production d'engrais ammoniacaux composés obtenus en mélangeant des éléments de base selon un procédé à voie humide.

La situation est différente à la Réunion. Le peu de terres arables que possède cette île montagneuse est déjà exploité et convenablement amendé. L'utilisation d'engrais pourrait augmenter légèrement mais sans dépasser certaines limites. Dans ces conditions, la Réunion devrait étudier la possibilité d'importer de la pâte de N-P-K de l'île Maurice et de la convertir en engrais N-P-K granulé ensaché.

#### XVI. REALISATION DU PROJET

Il a été souligné constamment dans le présent rapport que les conditions ne sont pas idéales pour l'implantation d'une entreprise de production d'engrais azotés à Madagascar. L'ammoniac liquide doit être importé et l'anhydride carbonique nécessaire à la fabrication de l'urée doit être produit sur place à partir d'un fuel-oil résiduaire coûteux. Une telle entreprise ne semble pas très rentable, en particulier si le prix caf Tamatave de l'urée importée doit baisser. En revanche, elle présente des avantages certains sur le plan de l'économie nationale.

Il convient de voir si le volume de la consommation locale justifie la création d'une entreprise de production d'urée à Madagascar. Le tableau 11 (Consommation d'engrais à Madagascar (pour le riz et d'autres cultures)) et la figure 4 (seuil de rentabilité d'une usine de production d'urée granulée à Madagascar) montrent que la consommation locale d'engrais est encore faible. Avec le soutien actif du Gouvernement malgache, la consommation devrait accuser une nette augmentation en 1968 et 1969. Si les quantités d'engrais indiquées par le gouvernement dans ses appels d'offre à l'échelle internationale étaient réellement consommées au cours de ladite période, l'objectif principal serait atteint.

Il appartiendra ensuite aux autorités de suivre l'évolution de la consommation des engrais azotés afin de voir si les prévisions du tableau 11 se réalisent ou non. Il convient de faire observer à cet égard que l'urée suffit à satisfaire les besoins

en azote, c'est-à-dire qu'elle devra remplacer tous les engrais azotés, simples ou composés, utilisés à Madagascar. Si ces conditions étaient remplies et si la consommation réelle d'engrais azotés correspondait aux prévisions du présent rapport, l'usine de production d'urée pourrait démarrer en 1972 et sa production permettrait de disposer de 6 360 tonnes d'urée pour l'exportation et pour l'alimentation du bétail lorsque serait atteint le seuil de rentabilité, qui se situe à 76 % de la capacité annuelle prévue pour l'usine. Mais si la consommation locale d'engrais azotés est inférieure aux prévisions du présent rapport ou si l'exportation n'offre pas de débouchés suffisants, ou encore si l'urée n'est pas utilisée pour l'alimentation du bétail, la construction de l'usine devra être remise à une date ultérieure.

La comparaison des prévisions relatives à la consommation d'engrais azotés, et notamment des graphiques indiquant le seuil de rentabilité, avec les chiffres de consommation réelle et les prix exacts caf Tananarive de l'urée au moment précis où l'on effectue cette comparaison permettra aux autorités compétentes de prendre la décision la plus sage en ce qui concerne la date de construction de l'usine.

Si la conjoncture se prête à l'établissement de l'usine, sa construction devra commencer deux ou trois ans avant la date prévue pour la mise en marche de cette usine.

En effet, les travaux préliminaires (établissement des plans, fourniture des matériaux et construction des bâtiments) prendront deux ou trois ans environ.

## **XVII. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

Les conclusions et recommandations présentées ci-après viennent compléter celles qui sont formulées dans la partie "A" du rapport :

- 1) Madagascar n'est pas très bien placée pour entreprendre la production d'engrais azotés, car elle ne dispose pas des matières premières les plus avantageuses et la demande intérieure de ce type d'engrais n'est pas assez importante. L'usine de production d'urée qui devrait être conçue uniquement pour alimenter le marché local aurait une capacité de production bien inférieure à celle d'entreprises analogues dans d'autres pays. Les coûts de production dépasseront donc ceux des entreprises situées dans des pays plus favorisés qui bénéficient déjà d'économies d'échelle.

- 2) En revanche, Madagascar réaliserait des économies en éliminant les frais de transport qu'elle doit actuellement payer pour importer ses engrais d'Europe ou d'autres régions lointaines.
- 3) Si l'urée est fabriquée à Madagascar, l'usine fournira des engrais sans délais **et à des prix stables** et concurrentiels dans les conditions **actuelles** du marché.
- 4) La production locale d'urée contribuera certainement pour beaucoup au développement soutenu de l'agriculture de Madagascar. Elle permettra notamment d'augmenter le rendement des cultures de paddy et de fournir à l'important cheptel du pays un apport supplémentaire en protéines (voir le bref rapport, rédigé à part, sur l'utilisation de l'urée dans l'alimentation du bétail).
- 5) En conséquence, les avantages qu'offrirait l'installation d'une usine de fabrication d'urée à Madagascar doivent être évalués non seulement en termes de rentabilité de l'usine, mais aussi du point de vue de l'économie nationale, en tenant compte de la valeur ajoutée et de tous autres avantages secondaires mesurables ou non, qu'en retirerait le pays.
- 6) On a étudié avec beaucoup d'attention la question de la production et de l'importation d'ammoniac. On a comparé les dépenses en devises pour l'importation des biens d'équipement nécessaires à une usine de fabrication d'ammoniac et les dépenses en devises pour l'importation d'ammoniac. Après avoir abouti à la conclusion qu'une tonne d'ammoniac produite localement reviendrait à 95 dollars environ, on recommande d'importer l'ammoniac de pays où les matières premières nécessaires à la fabrication de l'ammoniac sont abondantes et d'un prix avantageux, c'est-à-dire de la région du Golfe persique.
- 7) Si l'ammoniac est importé, les frais de transport dépendront à la fois de la quantité requise et de la fréquence des livraisons. Le prix de l'ammoniac importé devrait être calculé sur la base des prix caf Tamatave, le fournisseur éventuel étant chargé de trouver les bateaux citernes qui amèneront l'ammoniac à Madagascar. De cette manière, l'administration de l'usine, en tant qu'acheteur, n'aura pas à se soucier de l'organisation du transport et le fournisseur aura toute latitude de chercher dans la région d'autres acheteurs disposés à acquérir le restant de sa cargaison.

La responsabilité du transport incombe en premier lieu au fournisseur, toutefois, il est conseillé de coordonner les achats avec ceux d'autres acheteurs éventuels résidant dans la région afin de jouir d'une position renforcée lors des négociations avec le fournisseur. En outre, il sera plus facile à l'administration de l'usine d'obtenir du fournisseur des crédits à court terme ou à moyen terme que de recourir au crédit local pour financer l'élément fret du prix caf. Le fournisseur et aussi l'acheteur, dans une certaine mesure, auront intérêt à conclure des contrats à long terme (pouvant aller jusqu'à 10 ans) pour les transports d'ammoniac. Le fournisseur pourra établir à l'avance un plan de chargement des bateaux citernes, afin de réduire au maximum les frais de transport. Toutefois, l'acheteur devra être protégé contre les pertes qu'il risquerait de subir si, pendant la durée du contrat, l'ammoniac pouvait être obtenu à d'autres sources ou à un prix inférieur.

Il serait possible de parer à une telle éventualité en prévoyant une clause aux termes de laquelle l'acheteur pourrait pendant la durée du contrat revoir les prix avec le fournisseur à des dates déterminées. Il est évident que les conditions du contrat seraient plus favorables pour l'acheteur s'il existait un "marché des acheteurs", c'est-à-dire si la fourniture de l'ammoniac faisait l'objet d'une concurrence honnête. La direction de l'usine devrait s'entourer de sérieuses garanties et prendre conseil auprès d'experts très qualifiés pour la rédaction du contrat de fourniture de l'ammoniac.

- 8) Le coût de production de l'anhydride carbonique est essentiellement fonction du prix du fuel-oil résiduaire fourni par la raffinerie de pétrole voisine. Il serait souhaitable que le gouvernement ou la direction de l'usine obtienne au meilleur prix le fuel-oil nécessaire pour produire de la vapeur et fabriquer de l'anhydride carbonique. Le prix définitif devrait être inférieur à 12 dollars la tonne métrique, sans droit ni taxes.
- 9) Si le projet est mis à exécution, il est essentiel de voir avec la direction de la raffinerie de pétrole voisine si celle-ci peut mettre certains services à la disposition de l'usine de fabrication d'urée. On prévoit l'expansion de la

raffinerie de pétrole; la coordination des travaux permettrait une certaine réduction des frais d'investissement pour les deux parties.

- 10) La capacité de production recommandée est de 33 000 tonnes par an d'urée granulée. L'usine fonctionnerait 330 jours par an, avec trois équipes successives.
- 11) Le coût en capital du projet est estimé à 4 878 000 dollars des Etats-Unis, dont environ 3 742 000 proviendraient de sources étrangères.
- 12) Le prix de revient de l'urée granulée produite à partir d'ammoniac importé au prix de 40 dollars des Etats-Unis la tonne caf Tamatave et d'anhydride carbonique gazeux produit sur place au prix de 18,80 dollars la tonne, serait de 79,20 dollars la tonne si l'usine travaille à plein rendement, alors que le prix caf de l'urée importée est actuellement de 90,30 dollars. L'économie réalisée serait donc d'environ 11,10 dollars pour une tonne d'urée granulée produite localement et destinée à être utilisée à Madagascar même. L'économie de devises sur une tonne d'urée produite localement serait de 42,10 dollars, soit 1 389 000 dollars par an. Le rendement du capital investi, avant déduction des taxes et de l'intérêt, serait de 7,4 % et le seuil de rentabilité serait atteint à 60 % de la capacité de production prévue.
- 13) L'importance du fonds de roulement sera essentiellement fonction de la fréquence de la fourniture d'ammoniac et de la quantité d'urée en stock. Les autres facteurs déterminants ont une influence bien moindre.
- 14) Ce type d'industrie étant nouveau dans le pays, divers problèmes se poseront, en particulier pour ce qui est du fonctionnement de l'entreprise, de l'achat de l'ammoniac et de la commercialisation de l'urée. Il conviendrait d'envisager sérieusement la collaboration d'une société expérimentée et versée dans la commercialisation de ce produit ou de produits similaires. La direction du projet devra être associée à la préparation et à la construction de l'usine dès les tout premiers stades (négociations en vue de la conclusion d'un contrat, choix d'un adjudicataire capable de mener à bien cette entreprise, établissement du programme et contrôle de la mise en oeuvre du projet, etc.) et devra bénéficier d'un appui total et constant.

- 15) L'usine devrait être située à proximité du port de Tamatave ou tout au moins dans la zone industrielle, en face de la raffinerie de pétrole existante. Les installations destinées à entreposer l'ammoniac importé devront être situées dans la zone portuaire, le plus près possible du mouillage des bateaux-citernes. La capacité de résistance du sol, évaluée à 2,5 kg par m<sup>2</sup>, est satisfaisante. Tout le personnel pourra résider à Tamatave. Il ne sera pas nécessaire de construire des logements spéciaux aux environs de l'usine. Il n'y aura pas non plus de problèmes de transport du personnel.
- 16) Des ingénieurs, des opérateurs, des chimistes et des ouvriers qualifiés seront formés dans le cadre du projet, ce qui ouvrira la voie au développement ultérieur de l'industrie chimique dans le pays.
- 17) L'utilisation de la zone industrielle du port et des installations portuaires favorisera l'économie du pays.
- 18) Il est difficile au stade actuel de suggérer la marche à suivre pour la réalisation du projet.

On ignore encore la politique qu'adoptera le gouvernement à l'égard du projet; on peut néanmoins envisager trois possibilités :

- a) Le projet sera complètement intégré au secteur public;
- b) La réalisation du projet sera entreprise conjointement par le secteur public et le secteur privé, l'Etat étant le principal actionnaire;
- c) La réalisation du projet sera entreprise conjointement par le secteur public et le secteur privé, l'Etat étant minoritaire.

La méthode choisie influencera la nature de l'aide que l'Organisation des Nations Unies pourrait apporter par la suite à la réalisation de ce projet.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas oublier que :

- i) L'urée produite localement devra remplacer tous les autres engrais simples ou composés importés actuellement;

- ii) L'usine devra être assurée de jouir du monopole de la production de l'urée à Madagascar si ses prix de revient sont compétitifs du point de vue national par rapport aux prix caf de l'urée importée;
- iii) Si la valeur ajoutée est considérée comme facteur déterminant pour la décision de construire ou de ne pas construire l'usine, il faudra fixer pour l'urée vendue sur le marché local un prix laissant une marge bénéficiaire raisonnable, sinon l'entreprise n'aurait guère de chances d'attirer les capitaux privés. Cette façon de procéder n'est pas nouvelle; elle est en fait assez répandue même dans les pays développés.

ANNEXE I

RENSEIGNEMENTS RELATIFS A LA RAFFINERIE DE PETROLE  
SITUEE AU PORT DE TAMATAVE

La raffinerie de pétrole de Tamatave est administrée par la "Société malgache de raffinage" qui a porté son capital par actions à 3 millions de dollars des Etats-Unis en mars 1965.

Le Gouvernement malgache détient 15 % des actions, le reste étant réparti comme suit :

- 8 % Société des pétroles de Madagascar (SPM)
  - 27 % Groupement des exploitants pétroliers (GEP)
  - 13,7 % Esso Standard Eastern Inc. (ESSO)
  - 12,1 % California Texas Oil Corporation (CALTEX)
  - 12,9 % Bataafsche Petroleum Maatschappij (SHELL) et British Petrol (BP)
  - 6,5 % Compagnie française des pétroles et Desmarais Frères (TOTAL)
  - 4,8 % Agenzia Generale Italiana Petroli (AGIP)
- 
- 85,0 %

Les sociétés citées fournissent le pétrole brut à la raffinerie (65 % en provenance du Qatar, 18 % du Koweït, 17 % de l'Arabie Saoudite) et assurent le traitement de ce pétrole brut ainsi que la distribution du produit fini à Madagascar, à la Réunion et aux Comores. Elles se chargent en même temps d'exporter l'excédent de fuel résiduel. Le seul autre produit en excédent est le gaz de raffinerie (environ 5 000 tonnes par an).

Le contrat de construction de l'entreprise qui devait être livrée "clés en main", a fait l'objet d'un appel d'offres sur le plan international. La firme française TECHNIP a emporté le contrat. La raffinerie est entrée en activité le 10 octobre 1966, 18 mois environ après le commencement des travaux.

La raffinerie est située le long de la ligne de chemin de fer de Tamatave à Tananarive, à proximité du port et couvre une surface de 30 hectares. Elle peut traiter chaque année 540 000 tonnes de pétrole brut du Moyen-Orient. Pour l'instant elle travaille à plein rendement et il est prévu d'augmenter la production à partir de 1970. La raffinerie comprend une installation pour la distillation atmosphérique (d'une capacité de 540 000 tonnes par an), où sont séparés les hydrocarbures légers, le gaz-oil et le mazout, une installation pour la désulfuration (d'une capacité de 160 000 tonnes par an), où les hydrocarbures légers sont débarrassés du soufre qu'ils contiennent, une installation de fractionnement (d'une capacité de 160 000 tonnes par an) qui produit les gaz utilisés dans la raffinerie, le butane étant commercialisé après épuration. L'essence légère et le pétrole lourd une fois stabilisés passeront par l'installation de **reforming** catalytique (d'une capacité de 70 000 tonnes par an) pour augmenter leur teneur en octane. La capacité de production envisagée pour la raffinerie correspond au "Light Arabian brut" mais on pourrait tout aussi bien traiter le "Hassi Messaoud brut", la capacité de production étant alors légèrement inférieure.

La capacité totale des réservoirs de stockage est de 130 120 m<sup>3</sup> (75 750 m<sup>3</sup> pour le pétrole brut, 6 010 m<sup>3</sup> pour les produits intermédiaires, 48 240 m<sup>3</sup> pour les produits finis et 120 m<sup>3</sup> pour le butane).

Les produits de la raffinerie sont transportés par wagons-citernes, camions-citernes et péniches. Une certaine quantité de produits, acheminée par pipelines vers le port de Tamatave, est expédiée par bateau à la Réunion et aux Comores. L'excédent de fuel (150 000 tonnes par an) est exporté par pétroliers, les mêmes installations étant utilisées pour le déchargement du pétrole brut et le chargement du fuel-oil.

La raffinerie a en outre son propre réseau de services comprenant :

- Une centrale de pompage d'eau douce (d'une capacité de 15 m<sup>3</sup> par heure) équipée pour le traitement de l'eau des chaudières;
- Deux chaudières (d'une capacité de 16 tonnes à l'heure chacune) pour la production de vapeur sous haute pression;
- Trois groupes générateurs diesel de 220/380 V (d'une capacité de 900 kVA chacun);

- Un système de distribution d'électricité pouvant au besoin être raccordé au réseau urbain;
- Trois compresseurs (d'une capacité totale de 1 200 m<sup>3</sup> à l'heure) pour l'air de fonctionnement et pour d'autres services;
- Une station de pompage (d'une capacité de 150 m<sup>3</sup> à l'heure) pour l'eau de refroidissement;
- Un système d'épuration des eaux usées (d'une capacité de 350 m<sup>3</sup> à l'heure);
- Un atelier d'entretien, avec réserve de pièces détachées.

En 1966, le personnel de la raffinerie comprenait 21 experts venus de l'étranger (7 ingénieurs, 14 contremaîtres, 1 technicien et 5 ouvriers hautement qualifiés), ainsi que 163 personnes recrutées localement (3 ingénieurs, 13 contremaîtres, 64 ouvriers spécialisés et 83 ouvriers semi-spécialisés et non spécialisés). Un grand nombre de ces travailleurs ont reçu une formation en cours d'emploi; une école professionnelle a été ouverte à Tamatave et compte actuellement 19 étudiants.

ANNEXE II

DONNEES TECHNIQUES SUR LA RAFFINERIE DE PETROLE DU PORT DE TAMATAVE

Essence légère	- densité à 15°C	0,675
	Point initial 38°C	Point terminal 115°C
	% S	0,001 par unité de poids
Fuel-oil résiduel	- densité de 0,930 à 0,940	
	coefficient de viscosité de 200 à 300 unités cgs à 38°C	
	point de coulée	+ 20°C
	chaleur de combustion	10 000 kcal/kg
	% S	3,8 par unité de poids
Gaz de raffinerie	- H <sub>2</sub>	35 - 45 %
	C <sub>1</sub>	10 - 15 %
	C <sub>2</sub>	10 - 15 %
	C <sub>3</sub>	20 - 25 %
	1C <sub>4</sub>	4 - 6 %
	4C <sub>4</sub>	6 - 8 %
	Chaleur de combustion	12 000 kcal/kg

L'état du sol est satisfaisant; il n'est pas nécessaire de procéder à des travaux de soutènement.

FIGURE 1

DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

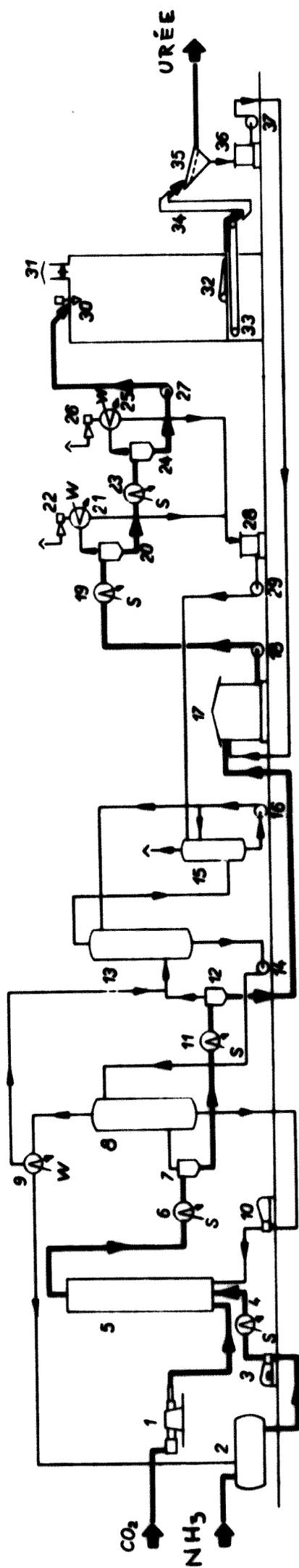
No	Désignation
1.	Compresseur
2.	Réservoir de $\text{NH}_3$
3.	Pompe de $\text{NH}_3$ à haute pression
4.	Préchauffeur de $\text{NH}_3$
5.	Réacteur de synthèse
6.	Décompresseur
7.	Séparateur azéotrope
8.	Absorbant azéotrope
9.	Condenseur de $\text{NH}_3$

No	Désignation
10.	Pompe de recyclage à haute pression
11.	Décompresseur à basse pression
12.	Séparateur à basse pression
13.	Absorbant à basse pression
14.	Pompe de recyclage
15.	Cuve de lavage de fin de cycle
16.	Pompe de recyclage
17.	Réservoir de stockage de la solution d'ammoniac
18.	Pompe doseuse

No	Désignation
19.	Evaporateur I
20.	Séparateur de l'évaporateur I
21.	Condenseur de l'évaporateur I
22.	Ejecteur de vapeur I
23.	Evaporateur II
24.	Séparateur de l'évaporateur II
25.	Condenseur de l'évaporateur II
26.	Ejecteur de vapeur II
27.	Pompe pour l'urée fondue

SCHEMA DE FABRICATION DE L'UREE

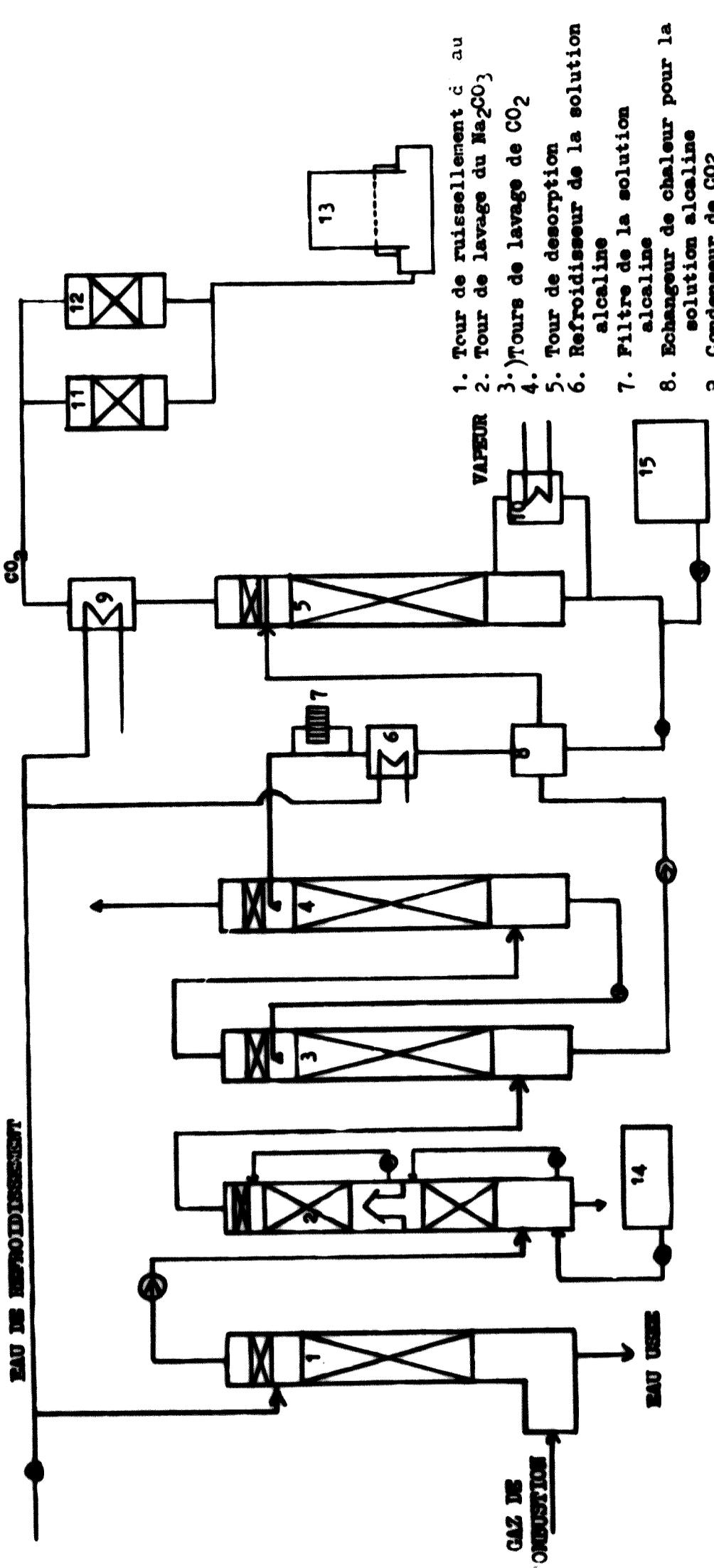
No	Désignation
28.	Réservoir pour le produit de condensation
29.	Pompe pour le produit de condensation
30.	Centrifugeuse
31.	Ventilateur
32.	Râteau
33.	Convoyeur à courroie
34.	Élévateur
35.	Calibreur
36.	Cuve de fusion
37.	Pompe de renvoi



LEGE  
 V - VAPOR  
 S - SAU

FIGURE 2

SCHEMA DE FABRICATION DE L'ANHYDRIDE CARBONIQUE



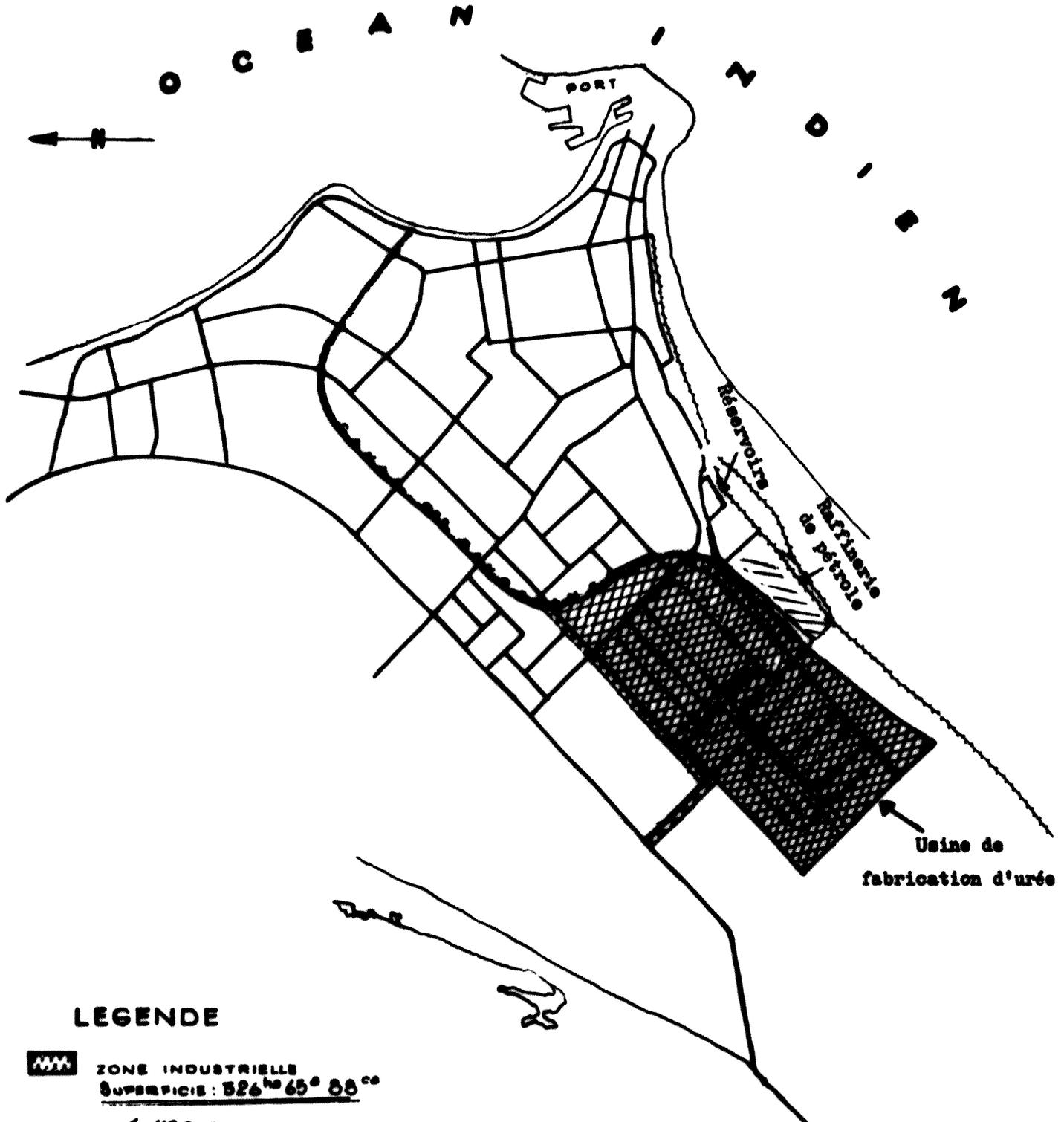
1. Tour de ruissellement à l'eau
2. Tour de lavage du  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
3. Tours de lavage de  $\text{CO}_2$
4. Tour de desorption
5. Tour de refroidisseur de la solution alcaline
6. Refroidisseur de la solution alcaline
7. Filtre de la solution alcaline
8. Echangeur de chaleur pour la solution alcaline
9. Condenseur de  $\text{CO}_2$
10. Rebouilleur
11. Absorbants (au charbon activé)
12. Réservoir de  $\text{CO}_2$
13. Cuve de régénération du  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
14. Cuve de régénération de la solution alcaline
15. Réservoir de  $\text{CO}_2$

RECUPERATION DE  $\text{CO}_2$  25 000 tonnes par an

# TAMATAVE

FIGURE 3

EMPLACEMENT DE L'USINE DE FABRICATION D'URÉE



## LEGENDE



ZONE INDUSTRIELLE  
SUPERFICIE : 526<sup>ha</sup> 65<sup>a</sup> 88<sup>ca</sup>

1:40,000

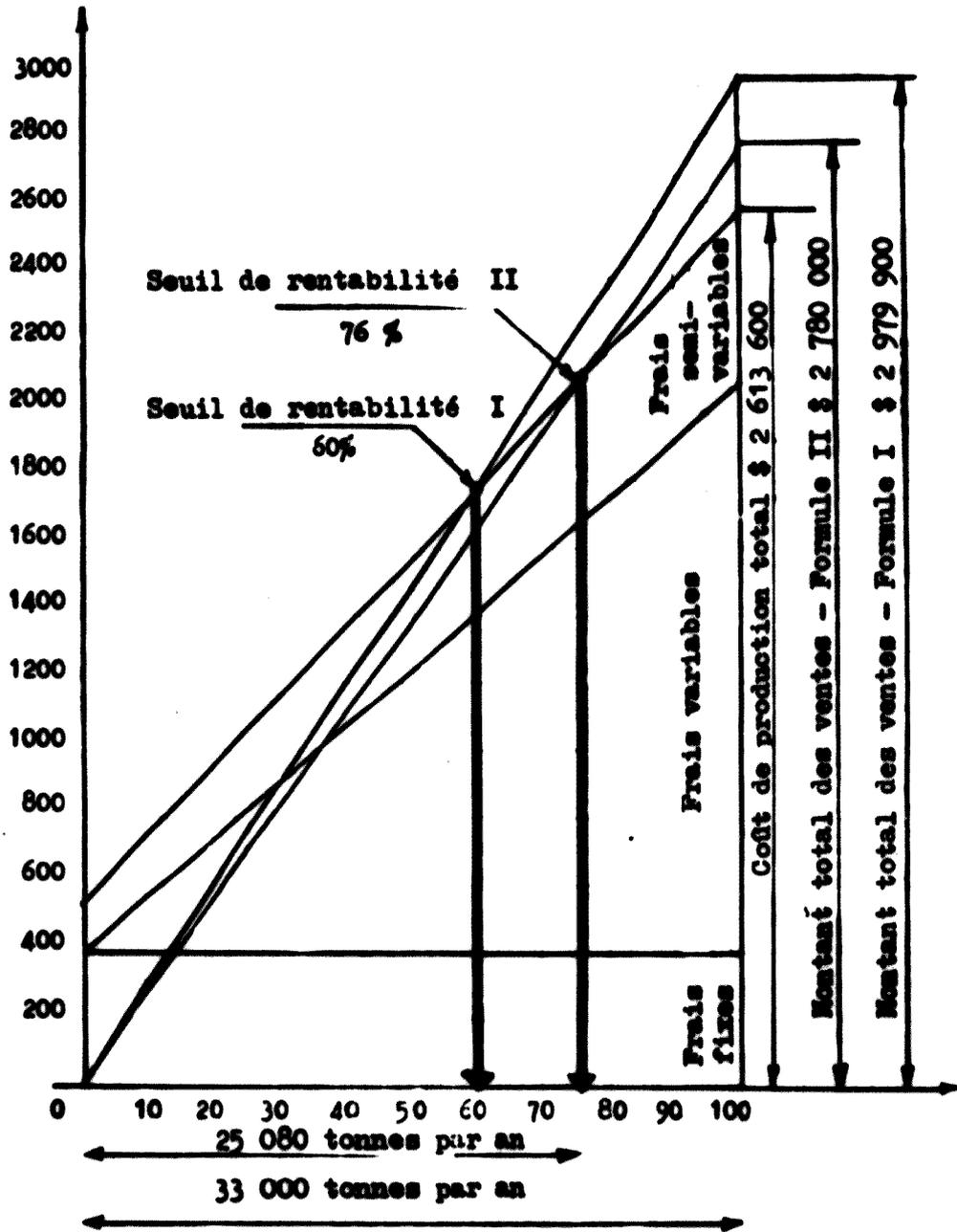
**FIGURE 4**

**SEUIL DE RENTABILITE DE L'USINE DE FABRICATION  
D'UREE GRANULEE A MADAGASCAR**

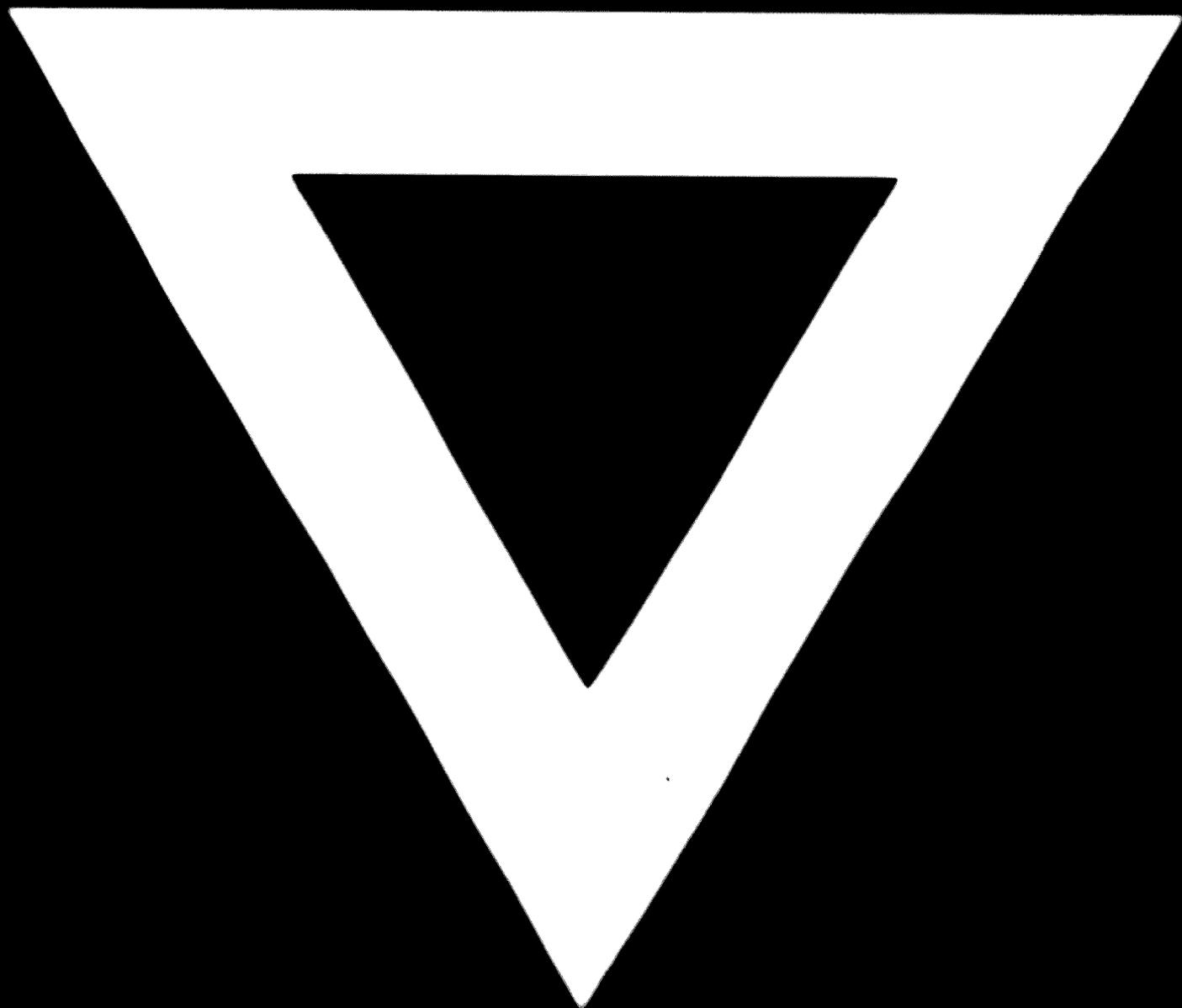
**CONSUMATION ANNUELLE**

1969 - 11 900 tonnes	
1970 - 14 400 "	
	Exp. 10 680 tonnes
1971 - 16 560 tonnes	
1972 - 18 720 "	Exp. 6 360 tonnes
1973 - 20 880 tonnes	Exp. 4 200 tonnes
1974 - 23 040 tonnes	Exp. 2 040 tonnes
1975 - 25 200 tonnes	

Milliers de dollars des Etats-Unis



**B - 350**



**80.11.24**