



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

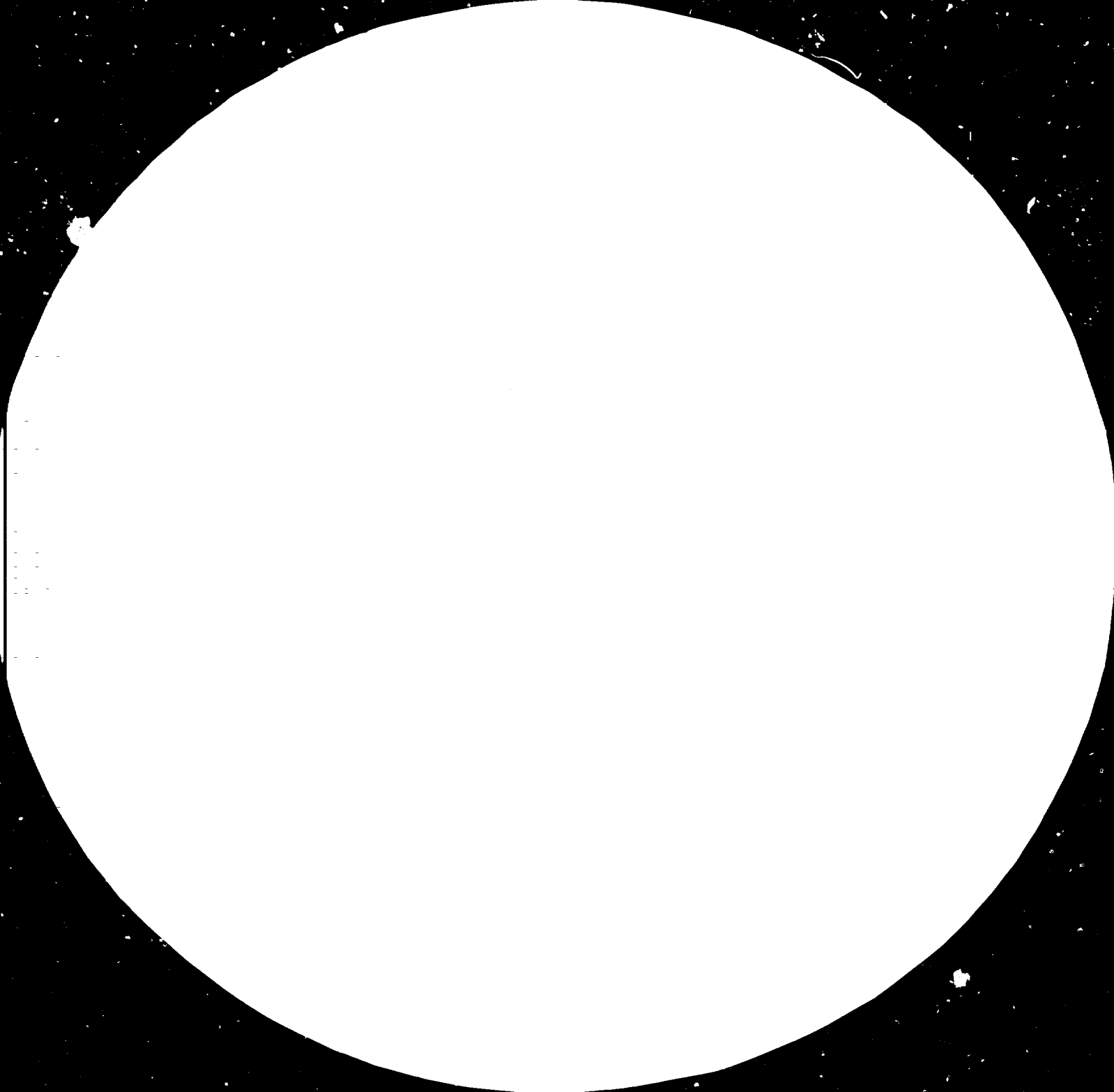
FAIR USE POLICY

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

CONTACT

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

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





3.2



DIAGNOSTIC DE POSSIBILITE DE PRODUCTION DE
SEL MARIN A PARTIR DE L'EVAPORATION SOLAIRE .

DP/PRC/79/004

REPUBLIQUE POPULAIRE DU CONGO

R.P. du Congo.
Rapport technique : Diagnostic de production de sel marin*

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

Etude de Monsieur Robert P. Dumas, Expert
en production de sel marin

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
Vienne

* Ce document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle
Les frontières indiquées sur les cartes n'emportent ni approbation ni
acceptation officielles de la part de l'ONU.

I.- RESUME

Diagnostic de possibilité de production de sel marin à partir de l'évaporation solaire en République Populaire du Congo.

Poste DP/PRC/79/004/11-54/31.6 A

Mission effectuée à Brazzaville et à Pointe-Noire du 19 Mai 1982 au 10 Juin 1982.

Par suite d'une climatologie défavorable, le bilan évaporatoire de la zone littorale de la République Populaire du Congo est déficitaire. Il n'est par conséquent pas possible de pouvoir espérer y fabriquer du sel à partir de l'eau de mer par évaporation solaire.

L'important horizon salifère reconnu entre 300 et 400 mètres de profondeur dans la Région côtière peut être susceptible de contenir du chlorure de sodium. Il serait intéressant de faire l'inventaire de tous les travaux déjà effectués dans cet horizon pour préciser la teneur exacte en Na Cl et en K Cl des couches dénommées chlorure de sodium pur. Ce n'est qu'à partir de ces résultats que l'on pourrait reprendre une étude d'exploitation par sondages avec production de saumures et fabrication de sel ignigène.

En tout état de cause, il nous paraît qu'une telle industrie nécessiterait des investissements importants et des coûts de fonctionnement et d'entretien très élevés. Le prix de revient à la tonne de sel pour une production de l'ordre de 15 000 tonnes/an, couvrant les besoins prévisibles du Congo, serait alors prohibitif et certainement très supérieur au coût actuel du sel importé.

II.- TABLE DES MATIERES

	Page
I.- RESUME	2
II.- TABLE DES MATIERES	3
III.- INTRODUCTION	4
IV.- ANALYSE SUCCINCTE DU MARCHÉ DU SEL AU CONGO	5
A.- Statistiques d'importation	5
B.- Qualités chimiques du sel	7
V.- ETUDE DES POSSIBILITES DE PRODUCTION DE SEL DE MER PAR EVAPORATION SOLAIRE	8
A.- Données climatologiques à Pointe-Noire	9
B.- Analyse de ces données	9
C.- Possibilités de production	17
VI.- EXAMEN DES AUTRES POSSIBILITES DE PRODUCTION DE SEL	20
A.- Généralités	20
B.- Etude générale de la série salifère	21
C.- Techniques d'exploitation des gisements de sel par dissolution	23
D.- Essai de détermination des coûts pour une unité de production de sel ignigène	27
VII.- CONCLUSION ET RECOMMANDATION	30
VIII.- ANNEXES	
1 à 5 Données météorologiques	
6 Stratigraphie et corrélations des sondages K1 K2 K3 K4	
7 Coûts prévisionnels approchés d'une exploitation de sel ignigène	

- 3 -
III.- INTRODUCTION

Le 20 Novembre 1981, sur la demande du Gouvernement de la République Populaire du Congo, l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel faisait appel à un expert en production de sel marin.

La description de poste DF/PRC/79/004/11-54/31.6.A précisait les objectifs de cette mission :
"diagnostiquer les possibilités de production de sel marin à partir de l'évaporation solaire".

L'expert serait rattaché au Ministère du Plan, Direction des Etudes Technico-Economiques et travaillerait en collaboration avec les techniciens de la Banque Nationale de Développement du Congo.

Ses tâches principales seraient les suivantes :

- 1.- Analyser les données météorologiques, géologiques, influence de l'eau du fleuve Congo, nature en profondeur des fonds de mer, densité de l'eau à différentes marées, hauteur et différence des niveaux de sol.
- 2.- Déterminer les localisations possibles
- 3.- Définir la capacité de production, taille et surface des bassins d'évaporation et de cristallisation, normes de production.
- 4.- Evaluer les investissements nécessaires, (saline, traitement du sel, stockage et transport) ainsi que la main d'oeuvre. L'analyse des conditions technico-économiques de production devrait permettre d'estimer les coûts de production et prix de revient du produit fini.

Contacté par l'ONUDI en Février 1982 et agréé par le Gouvernement du Congo, nous avons reçu une proposition d'engagement pour une mission d'expertise d'une durée d'un mois le 22 Avril 1982.

Nous sommes arrivés à Brazzaville, le 19 Mai 1982 après être passé par Vienne au Siège de l'ONUDI où nous avons reçu des informations complémentaires sur notre mission.

Le 10 Juin 1982, nous quittons le Congo, notre mission achevée, en direction de Vienne où nous remettons notre rapport à l'ONUDI.

V.- ANALYSE SUCCINCTE DU MARCHE DE SEL AU CONGO

A.- Statistiques d'importation

D'après les renseignements recueillis auprès de l'Office National du Commerce (OFNACOM), les importations de sel au Congo de 1976 à 1980 ont été les suivantes :

<u>1976</u>			
Provenance	Conditionné détail (Kg)	Autres Kg	
ANGOLA	45 560	18 800	
CHINE	10	20	
FRANCE	70 659	2 748	
PAYS-BAS	60 307		
PORTUGAL	2 330		
REP. FED. ALLEMAGNE	1 171 379		
SENEGAL	284 156	383 198	
TAIWAN	240		
TOGO	25 983	21 000	
ZAIRE		20 400	
TOTAL	1 660 624	446 166	

<u>1977</u>			
AFRIQUE DU SUD		4 500	
CHINE	45 792		
FRANCE	18 745	45 030	
HONG KONG	68 356		
PAYS-BAS	23 672		
REP. FED. ALLEMAGNE	2 132 057	29 620	
SENEGAL	135 668	294 858	
ZAIRE		8 000	
	2 424 290	382 008	

<u>1978</u>		
Provenance	Conditionné détail: (Ks)	Autres (Ks)
ANGOLA	2 002	1 162
CHINE	24 000	
FRANCE	127 096	100 814
ITALIE		32
PAYS-BAS	37 208	
PORTUGAL		858 780
REP.FED.ALLEMAGNE	1 316 759	
ROUMANIE		375 550
SENEGAL		992 236
ZAIRE		800
TOTAL ...	1 507 065	2 329 480

<u>1979</u>		
CHINE	48 000	
SENEGAL		2 500 000

<u>1980</u>		
CHINE	24 000	
FRANCE		500 000
REP.FED.ALLEMAGNE	1 956 240	500 000
SENEGAL		3 300 000
TOTAL ...	1 980 240	4 300 000

Les prévisions d'importation pour 1981 étaient de 7 144 tonnes de sel alimentaire conditionné ou en vrac et de 1 000 tonnes de sels destinés aux boues des forages pétroliers.

A moyen terme, en tenant compte de 6 000 tonnes supplémentaires destinées à l'industrie de la pâte à papier, c'est à environ 15 000 tonnes par an que s'élèveront les besoins du Congo en sel.

Prix à l'importation

En 1980, les prix à la tonne importée ont été :

- Sénégal • 40 090 F.CFA (133 Dollars US) par tonne de sel tout venant
- France : 36 250 F.CFA (120 Dollars US) "- "- "-
- Allemagne 31 205 F.CFA (104 dollars US) "- "- "-

Pour le sel conditionné, les prix pratiqués étaient :

- Allemagne : 48 913 F.CFA (163 dollars US) la tonne
- Chine : 35 416 F.CFA (118 Dollars US) la tonne

Le montant total des importations s'est élevé pour 1980 à 259 428 948 francs CFA soit environ 865 000 Dollars US soit un prix moyen à la tonne de 41 309 francs CFA ou 138 Dollars US.

B.- Qualités chimiques du sel

Les exigences des clients concernant les qualités chimiques du sel varient suivant l'utilisation qui en est faite.

Pour du sel destiné à l'alimentation c'est la blancheur qui prime et l'on exige généralement une teneur en matières insolubles inférieure à 0,1% ; par contre les normes pour le Mg et le Ca sont moins rigoureuses et l'on admettra des sels à 0,1 % de Mg et 0,08% de Ca.

Pour du sel destiné à l'industrie chimique, c'est la teneur en Mg qui est importante et les exigences des clients de la chimie peuvent, suivant les utilisations, aller jusqu'à 0,01% de Mg.

En ce qui concerne les sels sodiques et potassiques complexes, nous n'avons pas de renseignements sur les teneurs limites en ions K admissibles avec le Na Ce , mais nous savons que les Mines Domaniales des Potasses d'Alsace produisent des quantités importantes d'un sel complexe très impur qui n'est pas considéré comme sel par les statistiques françaises.

C'est un résidu du traitement de la sylvinite qui est rejeté.

Nous indiquons ci-après les analyses complètes d'une eau de mer de densité 1,0256 (Méditerranée) et de la saumure saturée issue de cette eau de mer après concentration jusqu'à une densité de 1,2156.

Nature des sels	Densité 1,0256		Densité 1,2156	
	Gr/litre	% du poids total des sels	Gr/litre	% du poids total des sels
Na Cl	28,457	77,6	259,332	80,2
Sels de Magnesium SO ₄ Mg et Mg Cl ₂	5,956	16,2	54,271	16,8
Sels de Calcium SO ₄ Ca et (Co 3H) ₂ Ca	1,456	4,0	2,190	0,7
K Cl	0,735	2,0	6,700	2,1
Na Br	0,085	0,2	0,770	0,2
Total	36,689	100	323,253	100

V.- ETUDE DES POSSIBILITES DE PRODUCTION DE SEL DE MER
PAR EVAPORATION SOLAIRE.-

Le procédé qui consiste à déposer du sel par concentration de l'eau de mer à l'aide de l'évaporation solaire remonte aux époques les plus reculées de l'humanité. Simple et économique, il ne nécessite que des investissements relativement modestes proportionnés à la dimension et à la sophistication des installations projetées. Les frais de fonctionnement et d'entretien sont également modérés.

Ce procédé est évidemment fonction des conditions climatologiques de la région étudiée. En effet, pour qu'il y ait dépôt de sel, il faut concentrer l'eau de mer, qui contient en moyenne 29 grammes de Na Cl par litre, jusqu'à 260 grammes de Na Cl par litre.

Cette concentration ne peut se faire que par l'évaporation et dans la mesure où la pluie ne vient pas anihiler ses effets.

A.- Données climatologiques à Pointe-Noire

La façade océanique de la République Populaire du Congo est relativement étroite et couvre environ 170 kilomètres entre 4° et 5° de latitude Sud, depuis Coukouati au Nord jusqu'à Fouta au Sud. Nous considérerons dans la suite de cette étude que les conditions climatologiques relevées à Pointe-Noire sont représentatives de l'ensemble du littoral congolais.

Tous les chiffres relevés dans les divers tableaux nous ont été communiqués par la Météorologie Nationale Congolaise, Agence Nationale de l'Aviation Civile.

Nous avons enfin estimé que des statistiques portant sur 10 années de 1971 à 1980 étaient suffisantes pour donner une moyenne correcte de la climatologie de Pointe-Noire.

Pour cette période, nous avons relevé les renseignements suivants fournis en annexe :

pour chacun des 12 mois des 10 années considérées :

- précipitations
- vitesse moyenne des vents
- température moyenne de l'air sous abri
- humidité relative

En ce qui concerne les évaporations, nous avons relevé les évaporations mensuelles cumulées mesurées au Piche droit sous abri.

Toutes ces observations ont été recoupées et vérifiées à Brazzaville et à Pointe-Noire. Nous avons en outre visité les parcs de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et nous tenons à souligner l'excellente tenue de ces stations et le soin apporté aux relevés systématiques.

B.- Analyse des données météorologiques

Tableau des principales données météorologiques moyennes mensuelles.

Evaporations à Pointe-Noire en m/m par mois

Comparaison entre les valeurs données par le Piche (Météorologie Nationale ANAC)
par la formule de Sutton et par le bac d'évaporation (corrélation établie à Brazzaville)

	Piche	Sutton	Bac corrélé	Observations
Janvier	55,9	40,9	87,8	<p><u>Piche</u> : relevés par la Météorologie Nationale ANAC à la station de Pointe-Noire</p> <p><u>Sutton</u> : calculés à partir des éléments en annexe de la Météorologie Nationale</p> <p><u>Bac corrélé</u> : $\text{Piche} \times 1,57$</p> <p>1,57 est le coefficient de proportionnalité trouvé entre mesures au Piche et mesures sur bac classe A à Brazzaville sur 6 ans et pour les mois non pluvieux de juillet, août et septembre.</p>
Février	58,9	45,5	92,5	
Mars	63,8	43,7	100,2	
Avril	55,6	40,8	87,3	
Mai	52,6	34,7	82,6	
Juin	52,3	30,6	82,1	
Juillet	56,0	29,1	87,9	
Août	58,8	34,4	92,3	
Septembre	59,5	43,5	93,4	
Octobre	69,7	61,1	109,4	
Novembre	56,9	49,2	89,3	
Décembre	51,3	43,0	80,5	
Total	691,3	496,5	1 085,3	

1.- Précipitations mensuelles

Ce sont les cumulés des relevés journaliers effectués sur pluviomètre classique. Ces données sont généralement fiables et ne prêtent pas à discussion. On remarquera tout de suite qu'il y a une saison sèche bien marquée en Juin, Juillet, Août et Septembre avec deux mois de transition Mai et Octobre. En fait la saison sèche proprement dite commence le 15 Mai et se termine le 15 octobre.

Du 1er Mai au 31 Octobre, le total des pluies s'élève à 103 m/m, alors que du 1er Novembre au 30 Avril il s'élève à 926,5 m/m, soit un total annuel moyen des précipitations de 1029,5 m/m.

Dans le détail de chaque mois, on constate que :

- Janvier , avec 12 jours de précipitation, connaît une densité journalière de 15,45 m/m par jour de pluie
- Février avec 12 jours et 14,29 m/m par jour est analogue
- Mars est pluvieux pendant 13 jours avec 12,02 m/m par jour de pluie
- Avril reçoit 10,4 m/m chacun des 10 jours de pluie
- Mai a 6 jours de pluie avec 6,87 m/m par jour
- Juin Juillet et Août sont pratiquement secs
- Septembre reçoit 1,1 m/m journalier pendant 11 jours
- Octobre reçoit 2,63 m/m journaliers pendant 18 jours
- Novembre a une intensité journalière de 12,65 m/m pendant 17 jours
- Décembre enfin reçoit 7,26 m/m journaliers pendant 13 jours

A cet exposé, on voit qu'il n'y a vraiment que trois mois secs pour 6 mois de pluies intenses et trois mois comprenant de nombreuses journées de petites pluies; peu importantes, mais peu propices non plus à une bonne évaporation.

2.- Vitesse moyenne journalière des vents :

Chaque jour et toutes les 3 heures, on effectue une mesure de vitesse et de direction du vent. A partir de ces mesures on peut établir toutes les statistiques possibles :

Vitesse maxi

Vitesse mini

Vitesse moyenne des vents dominants

Vitesse moyenne journalière des 8 mesures

Nous n'avons retenue que cette dernière que nous avons elle-même moyenné sur chaque mois.

On constate que ces vitesses de vent sont extrêmement faibles puisqu'elle varient entre 1,2 et 2 mètres/seconde.

Les maxi relevés varient entre 5 et 12 mètres/seconde. Les vitesses des vents dominants varient entre 1 et 4 mètres/seconde. Il convient en outre de préciser que la totalité des vents dominants sur toute l'année, vient du secteur Sud, donc de l'Océan, c'est-à-dire qu'ils sont des vents très humides.

3.- Température moyenne mensuelle de l'air sous abri :

Les températures sont mesurées sous abri et au sol (10cm de profondeur). On effectue les relevés des maxi et mini journaliers et l'on fait un relevé systématique toutes les trois heures.

Nous n'avons retenu que les valeurs sous abri, moyenne, maxi et mini journalières, et nous les avons moyenné sur chaque mois.

A titre indicatif on notera sur 10 ans la température mini absolue de 13°6 en Août 1972 et Juillet 1976 et un maxi absolu de 34° en Mars 1975.

4.- Humidité relative moyenne mensuelle :

Toujours suivant le même principe de relevés, on effectue huit mesures par jour au psychromètre et on moyenne par mois.

On notera que l'humidité est très élevée et très constante sur toute l'année. On passe dans la journée par un minimum qui se situe généralement autour de midi et qui est de l'ordre de 65% à 70% ; le maximum se situe entre 95% et 97%. Les moyennes journalières sont de l'ordre de 84% à 87%.

5.- Evaporations : voir tableau ci-après

Les seuls relevés d'évaporation effectués systématiquement à Pointe-Noire sont des relevés au tube de Pêche droit placé sous abri anglais.

On trouve une évaporation totale annuelle de 691,3 m/m répartie en 348,9 m/m du 1er Mai au 31 octobre et 342,4 m/m du 1er Novembre au 30 Avril.

On constate ici une grande stabilité de ces valeurs mensuelles et également une faiblesse certaine puisqu'on n'atteint pratiquement jamais 2 m/m d'évaporation journalière sur eau douce.

Météorologie Nationale A.N.A.C - Pointe-Noire
Principales données météorologiques moyennes mensuelles

MOIS	Températures			Humidité %	Vents m/sec	Pluies m/m	Observations
	Mini	Maxi	Moyenne				
Janvier	21,0	31,0	26,0	86	1,3	185,4	
Février	21,3	31,7	26,7	84	1,3	171,5	
Mars	21,3	32,1	26,8	85	1,4	156,2	
Avril	21,7	32,0	26,6	86	1,3	104,0	
Mai	20,2	30,8	25,6	87	1,2	41,2	
Juin	16,6	28,3	22,8	86	1,2	0,3	
Juillet	15,1	26,6	21,5	86	1,2	1,2	
Août	15,5	26,7	22,0	85	1,3	0,8	
Septembre	17,7	27,8	23,0	85	1,7	12,2	
Octobre	20,6	28,0	24,9	84	2,0	47,3	
Novembre	21,3	30,0	25,4	86	1,8	215,0	
Décembre	21,1	30,0	25,4	87	1,6	94,4	
Total	23,3	29,6	24,7	86	1,4	1 029,5	

Surpris de la faiblesse de ces valeurs et conscient du fait que le tube de Piche sous abri sous-estimait les évaporations, nous avons recoupé ces résultats, à partir des éléments en notre possession, en calculant l'évaporation à partir de la formule de Sutton.

Formule de Sutton :

$$E = 0,23 V^{0,78} D$$

ou E = évaporation journalière sur eau douce (en m/m)

V = vitesse du vent en mètres/seconde

D = PA - PB en millibars

avec PA = tension de vapeur saturante de l'air

PB = tension de vapeur réelle de l'air ambiant

et PB = PA x $\frac{H}{100}$ où H est l'humidité de l'air ambiant

Connaissant V et H, D étant déterminé par les tables de Mollier et Regnault, il est aisé de calculer les valeurs de l'évaporation journalière et les moyennes mensuelles.

Il apparait ainsi que les valeurs des évaporations calculées par la formule de Sutton sont inférieures à celles données par le Piche.

Il existe sur la station météorologique ANAC de Brazzaville un bac d'évaporation de type A dont les évaporations journalières sont mesurées en même temps qu'on les mesure au tube Piche.

Nous sommes partis du raisonnement suivant lequel, s'il existe une proportionnalité entre les mesures du Piche et celles du bac type A à Brazzaville, il n'y avait a priori pas de raisons pour que la proportionnalité ne soit pas la même à Pointe-Noire.

De cette manière, nous pouvions extrapoler les mesures d'évaporation du Piche à Pointe-Noire à celles d'un bac fictif de type A, ce qui à notre avis donne des chiffres plus réalistes.

Description du bac de type A en service à Brazzaville :

Il s'agit d'un bac circulaire en acier inoxydable de 121,9 m/m de diamètre et de 29, - centimètres de hauteur avec une profondeur d'eau de 17,5 à 20 cm. Il est équipé d'un dispositif de mise à niveau par pointe et vis micrométrique.

De manière à éliminer toute possibilité d'erreur provenant des pluies, nous n'avons comparé les mesures Piche et Bac que sur les mois de Juillet, Août et Septembre qui sont des mois secs et de 1975 à 1980 à Brazzaville.

Les coefficients trouvés sont les suivants :

	! Juillet	! Août	! Septembre	!
! 1975	! 1,55	! 1,57	! 1,64	!
! 1976	! 1,82 *	! 1,55	! 1,56	!
! 1977	! 1,62	! 1,49	! 1,57	!
! 1978	! 1,55	! 1,56	! 1,69	!
! 1979	! 1,58	! 1,50	! 1,60	!
! 1980	! 1,51	! 2,92 *	! 1,86 *	!

après avoir éliminé les valeurs de Juillet 1976, Août 1980 et Septembre 1980 manifestement anormales, nous trouvons un coefficient de proportionnalité de 1,57.

En affectant les valeurs Piche de ce coefficient, nous trouvons de nouvelles valeurs "Bac corrélé" qui nous paraissent plus réalistes. C'est ainsi que les évaporations moyennes journalières varient de 2,6m/m en Décembre à 3,5 m/m en Octobre avec un total annuel de :

1 085,3 m/m se répartissant en

547,7 m/m du 1er Mai au 31 Octobre

537,6 m/m du 1er novembre au 30 Avril

Observation :

Dans la suite de cette étude, nous adopterons pour les évaporations, les valeurs artificielles du bac corrélé. La valeur réelle ne doit pas être très éloignée de ces chiffres ; nous ne pensons pas qu'en aucun cas elle puisse être supérieure à cause des facteurs climatologiques suivants :

- hygrométrie très élevée
- vitesse des vents très faible
- vents dominants humides
- températures relativement peu élevées.

C.- Possibilités de production

Sur un salin, le bilan évaporatoire annuel est de la forme
 $KE - P. W.$

ou E est le total de l'évaporation sur eau douce, K est appelé coefficient d'évaporation, il est égal au rapport

évaporation sur saumure
évaporation sur eau douce

En effet, si on mesure simultanément les évaporations sur différents bassins contenant les uns de l'eau douce et les autres des saumures à différentes concentrations, on note que les évaporations enregistrées diminuent au fur et à mesure que la concentration augmente. La salinité de la saumure change la tension de vapeur saturante donc l'évaporation.

Des expériences ont montré que sur des saumures échelonnées entre l'eau de mer et la saturation le coefficient d'évaporation variait de 0,97 à 0,50. On calcule qu'il est égale à 0,70 en moyenne pour un salin contenant tout l'échelonnement des concentrations depuis l'entrée d'eau de mer jusqu'à la production de saumures saturées.

P est le total des pluies

W est le coefficient d'impluvium c'est-à-dire le rapport entre la surface totale où tombe la pluie et la surface des plans d'eau sur lesquels s'effectue l'évaporation.

En supposant que W est égal à 1, c'est-à-dire que tous les bords d'étang sont parfaitement verticaux et juxtaposés, ce qui est tout à fait impossible à réaliser dans la pratique, le bilan évaporatoire annuel dans la région de Pointe-Noire devient :

$$0,70 \times 1085,3 - 1029,5 = - 269,79 \text{ m/m}$$

Le bilan évaporatoire annuel est négatif. Ceci exclut sans aucune ambiguïté la possibilité de fabriquer du sel par évaporation solaire suivant un cycle annuel.

Examinons cependant ce qui se passerait en ne faisant travailler les eaux que pendant la saison sèche suivant un processus qui serait le suivant :

début Mai = pompage d'eau de mer

de Mai à fin octobre = concentration de cette eau ; calcul du sel éventuellement déposé ou calcul de la concentration atteinte par les saumures

de Novembre à Mai de l'année suivante = calcul de la dilution des saumures précédentes sous l'effet des pluies.

Suivant le résultat obtenu, redémarrage d'un nouveau cycle.

Avant d'aborder les calculs, nous allons donner deux définitions de base :

Evaporation efficace = l'évaporation efficace est la différence entre les évaporations et les pluies

Volumes correspondants : un volume de 1 000 cc d'eau de mer contenant 29 grammes de Na Cl par litre se réduit, après concentration, à un volume de 110 cc de saumure saturée contenant 260 grammes de Na Cl par litre.

1 000 cc et 110 cc sont appelés volumes correspondants ou caractéristiques aux concentrations 29 gr/l et 260 gr/l.

L'évaporation efficace nécessaire pour passer d'une concentration C1 à une concentration finale C2 est une fonction de l'épaisseur d'eau moyenne contenue sur les surfaces d'évaporation, et des volumes correspondants à ces deux concentrations.

En supposant que l'épaisseur moyenne des eaux contenues dans les surfaces d'évaporation était de 250 m/m, ce qui correspond à un salin parfaitement nivelé et hautement performant, on calcule qu'il faut 788m/m d'évaporation efficace pour passer de la concentration de l'eau de mer à celle de la saumure saturée à partir de laquelle il y a dépôt de sel.

Or l'évaporation efficace du 1er Mai au 31 Octobre est égale à Pointe-Noire à :

$$547,7 \text{ m/m} - 103 \text{ m/m} = \underline{444,7 \text{ m/m}}$$

Nous voyons ainsi qu'il est exclus d'amener à saturation en une saison sèche de l'eau de mer pompée au début de cette saison.

En fait le calcul nous montre que nous atteindrons une concentration égale à 98,2 grammes de Na Cl par litre de saumure, ce qui est loin de la concentration de saturation égale à 260 grammes de Na Cl par litre de saumure.

Supposons maintenant qu'au 1er novembre cette saumure à 98,2gr/l soit emmagasinée dans des bassins profonds à bords droits pour limiter au mieux la dilution par les pluies.

Pour rester dans des hypothèses réalistes, nous supposerons que ces bassins sont des surfaces d'évaporation dont les berges ont été rehaussées pour permettre de passer à une épaisseur d'eau de 1 mètre. Donc pendant la saison sèche, elles travaillent en surface d'évaporation classique avec 0,25m d'épaisseur d'eau, et pendant la saison des pluies, elles travaillent en bassins de réserve avec 1m d'épaisseur d'eau.

Quelle sera dans ces conditions la valeur de la dilution par les pluies d'hiver.

Supposons 1 mètre cube de saumure à 98,2 grammes de Na Cl par litre, qui contiendra donc 98,2 Kg de Na Cl, sur une surface de 1 mètre carré et sur 1 mètre de hauteur. Cette surface va recevoir pendant la saison des pluies 926,5 litres d'eau douce qui, s'ajoutant aux 1 000 l. de saumure d'origine donneront un volume final de 1926,5 litres. En fait il faut retrancher l'évaporation soit 537,6m/m avec un coefficient d'évaporation de 0,86 soit 462,6 litres.

Le volume final est effectivement de $1926,5 - 462,3 = 1464,2$ litres qui contiendront, en supposant qu'il n'y ait pas d'infiltrations, 98,2 Kg de Na Cl soit une concentration en fin de saison des pluies de $\frac{98\ 200}{1464,2} = \underline{67 \text{ grammes par litre}}$

Ce calcul est optimiste car il ne tient pas compte des infiltrations qui font évidemment perdre du Na Cl. Il montre également que, pour pouvoir absorber les pluies, les bords des bassins de réserve devraient avoir en fait 1,50m de hauteur.

On constate donc, qu'avec les valeurs des évaporations et des pluies relevées dans la Région de Pointe-Noire, il n'est absolument pas possible de fabriquer du sel par évaporation solaire en République Populaire du Congo.

Le simple fait qu'il n'existe sur toute la côte aucune trace de fabrication artisanale de sel par évaporation solaire est en quelque sorte une confirmation historique de notre conclusion.

Remarque : Des relevés effectués par CRSTOM * sur le wharf de Pointe-Noire montrent que la plupart du temps, la concentration de l'eau de mer en Na Cl est inférieure à 29 grammes par litre et souvent assez largement. Comme nous n'avons pas pu vérifier ces concentrations en d'autres points de la côte, nous ne tenons pas compte de cette circonstance aggravante, et supposons que l'eau de mer contient constamment 29 grammes de Na Cl par litre.

VI.- EXAMEN DES AUTRES POSSIBILITES DE PRODUCTION DE SEL

A.- Généralités

Il existe sur l'ensemble du bassin littoral congolais, entre le massif du Mayombe et la Côte, un horizon salifère important qui a d'ailleurs été exploité à Makola pour l'extraction des sels de potasse. Il s'agissait de sels complexes de sodium et de potassium qui étaient traités par flottation de manière à recueillir le chlorure de potassium et à rejeter le chlorure de sodium. Ce dernier était inutilisable à cause des additifs chimiques nécessaires à la flottation.

Cette exploitation qui a fonctionné approximativement de 1969 à 1977 s'est achevée par l'inondation accidentelle de la mine. Nous avons visité les installations abandonnées et en cours de récupération par les ferrailleurs.

Cette mine, exploitée par la Compagnie des Potasses du Congo, comprenait l'équipement du fond et d'extraction, une flottation, une centrale thermique, des ateliers, des laboratoires, des bureaux, des magasins, ainsi que toute une infrastructure sociale : habitations, dispensaires, restaurant, mess, salle de réunion etc... Il faut y ajouter à Pointe-Noire les importantes installations de stockage et de chargement des navires avec un wharf de plusieurs centaines de mètres de longueur.

* CRSTOM : Office de Recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer

Prévue pour exploiter environ 400 000 tonnes par an, cette affaire a nécessité de très importants investissements et s'est malheureusement soldée par un échec. Il semblerait que les conditions d'exploitation se sont avérées beaucoup plus difficiles que prévues par suite de l'irrégularité de la couche exploitée.

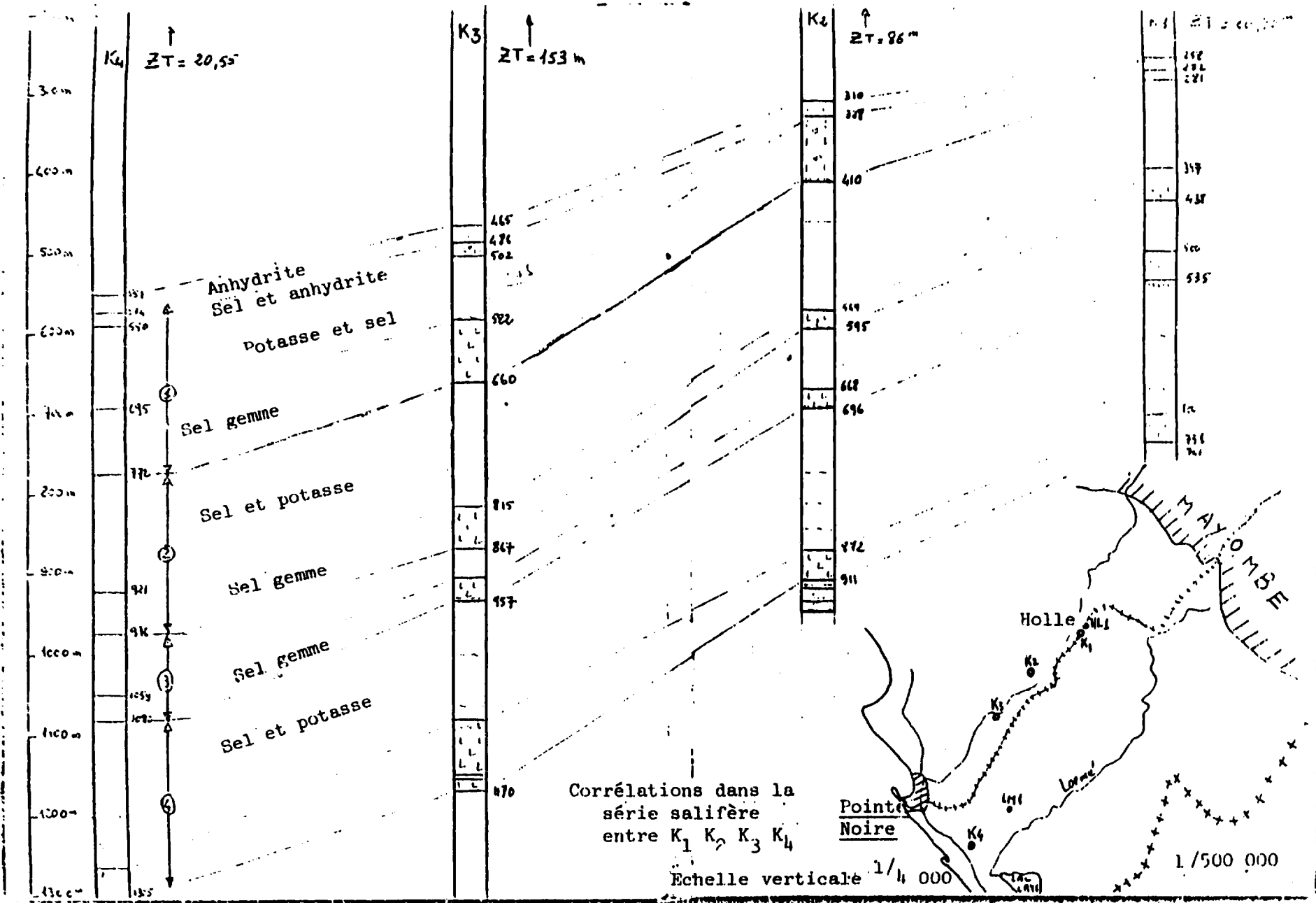
Grâce à l'obligeante amabilité des techniciens d'Elf-Congo, nous avons pu avoir communication de quelques documents permettant de préciser la nature et l'allure de cet horizon salifère. La Compagnie des potasses avait effectué une très importante campagne de sondages de reconnaissance qu'elle avait d'ailleurs prolongé en profondeur au dessous de la série salifère à la suite d'un contrat passé avec Elf Congo.

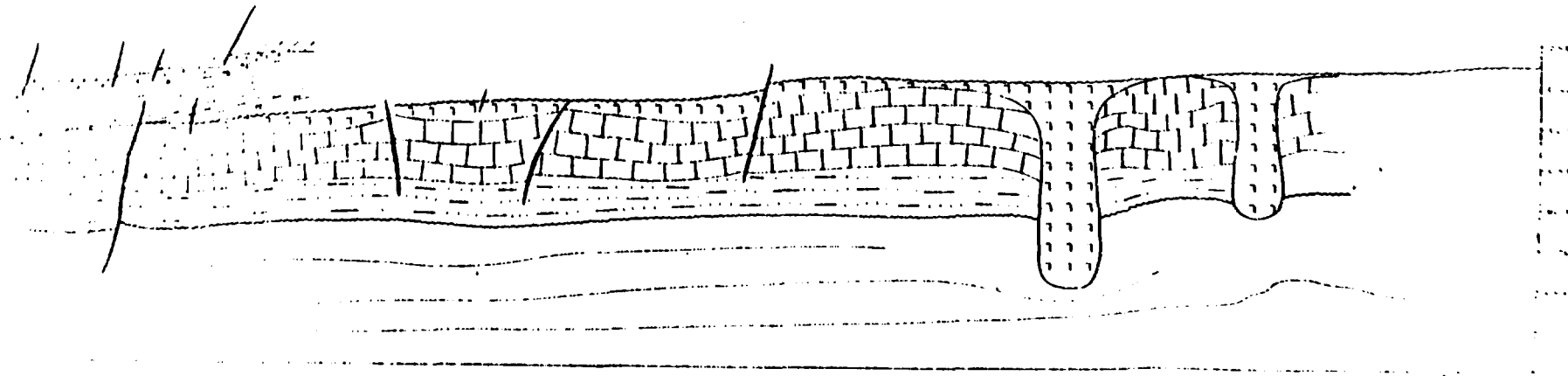
Nous n'avons malheureusement trouvé aucune trace d'analyse chimique des carottes et nous ne savons pas à quoi correspondent exactement les dénominations "sel et potasse", "sel massif", "sel gemme" mentionnées sur les coupes. On peut simplement préciser que ces appellations correspondent pour les pétroliers aux résultats des radiocarottages ; on mesure la radioactivité naturelle des couches traversées et l'on assimile à du sel gemme "pur" les couches à faible radioactivité alors que les couches potassiques sont nettement plus radioactives.

B.- Etude générale de la série salifère

La coupe structurale ci-jointe NE-SW à travers le bassin congolais depuis le massif du Mayombe jusqu'à la mer, montre l'allure de la série salifère.

Il s'agit d'un véritable horizon géologique situé dans l'aptier inférieur et dénommé "série des évaporites". Son pendage général NE-SW fait que cette série est plus proche de la surface à proximité du contact avec le socle cristallin, le long du massif du Mayombe, et qu'elle s'approfondit vers la mer.





POINTE
HAUTE
MCM

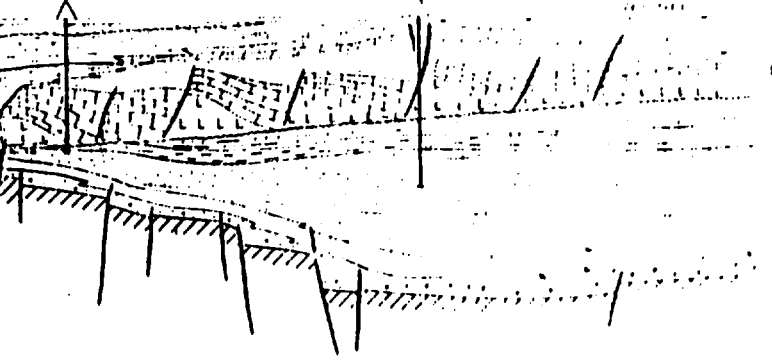


Permian

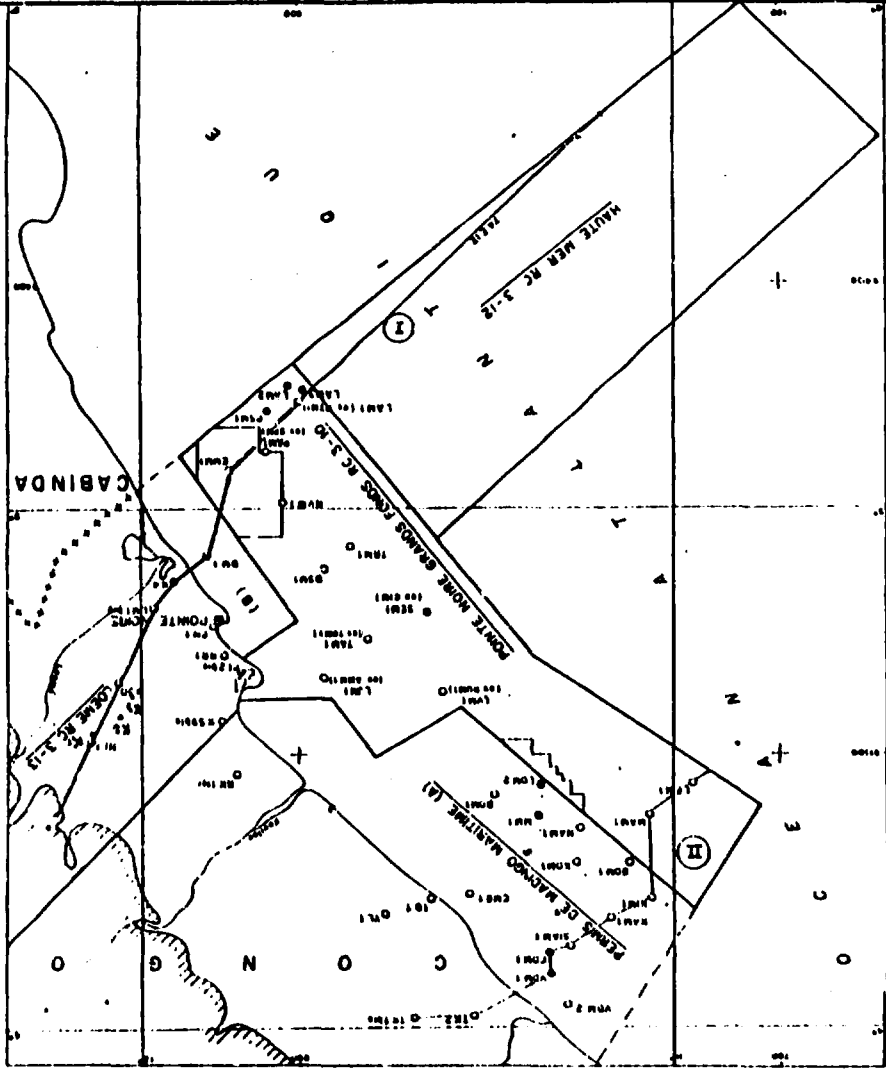
PAGE

PAI OLKOU
SLO MARINE
P10 1

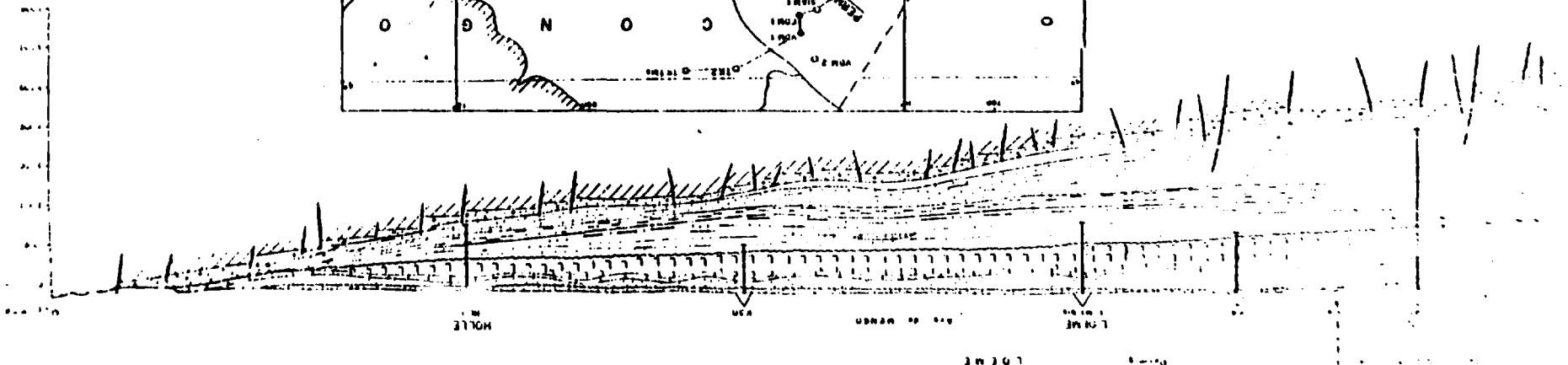
EMEN-AGE
LOW



COUPE STRUCTURALE NE-SW
 A TRAVERS LE BASSIN CONGLAIS
 MAYENNE-LINOUILA-HAUTE-MEUN
 PL. 3
 G. I. C. O. R. G. S.
 J. O. N. E. S.
 M. I. G.



Legend
 (1) ...
 (2) ...
 (3) ...
 (4) ...
 (5) ...
 (6) ...
 (7) ...
 (8) ...
 (9) ...
 (10) ...
 (11) ...
 (12) ...
 (13) ...
 (14) ...
 (15) ...
 (16) ...
 (17) ...
 (18) ...
 (19) ...
 (20) ...
 (21) ...
 (22) ...
 (23) ...
 (24) ...
 (25) ...
 (26) ...
 (27) ...
 (28) ...
 (29) ...
 (30) ...
 (31) ...
 (32) ...
 (33) ...
 (34) ...
 (35) ...
 (36) ...
 (37) ...
 (38) ...
 (39) ...
 (40) ...
 (41) ...
 (42) ...
 (43) ...
 (44) ...
 (45) ...
 (46) ...
 (47) ...
 (48) ...
 (49) ...
 (50) ...
 (51) ...
 (52) ...
 (53) ...
 (54) ...
 (55) ...
 (56) ...
 (57) ...
 (58) ...
 (59) ...
 (60) ...
 (61) ...
 (62) ...
 (63) ...
 (64) ...
 (65) ...
 (66) ...
 (67) ...
 (68) ...
 (69) ...
 (70) ...
 (71) ...
 (72) ...
 (73) ...
 (74) ...
 (75) ...
 (76) ...
 (77) ...
 (78) ...
 (79) ...
 (80) ...
 (81) ...
 (82) ...
 (83) ...
 (84) ...
 (85) ...
 (86) ...
 (87) ...
 (88) ...
 (89) ...
 (90) ...
 (91) ...
 (92) ...
 (93) ...
 (94) ...
 (95) ...
 (96) ...
 (97) ...
 (98) ...
 (99) ...
 (100) ...



MONTIÈRE GRANDS LOGES
 PAYS DE MAYENNE MASTIME (M)

La coupe passant par les sondages K1, K2, K3 et K4 depuis Holle jusqu'au Sud Est de Pointe-Noire, montre que la puissance de cette série salifère varie entre :

659 mètres pour le sondage K1

585 mètres pour K2

684 mètres pour K3

731 mètres pour K4

et que le toit de cette série salifère est à la profondeur de :

272 mètres en K1

328 mètres en K2

486 mètres en K3

574 mètres en K4

Dans ce qui suit, nous limiterons notre étude de détail aux sondages K1 et K2 qui ont rencontré la couche salifère le moins profondément.

Etudions maintenant de quoi se compose cette série salifère ou série des évaporites.

Elle comprend 4 ensembles salifères formés eux mêmes d'alternances de sel gemme et de potasse ou de carnallite, avec des joints d'argile, de marnes, de dolomie.

Etude du sondage K1 :

Attaqué à la côte + 66,80m, il rencontre une couche de potasse et de sel correspondant à l'ensemble salifère n°2, entre les niveaux - 281m et - 438m.

Dans cette couche, le sel gemme apparaît à la profondeur de 397 mètres et il a une puissance de 41 mètres. Il est probable que ce banc est entrecoupé de joints marno-argileux ou dolomitiques.

Une deuxième couche de sel, d'une puissance de 35 mètres, apparaît dans l'ensemble salifère n°3 à la profondeur de 500 mètres. Enfin une 3ème couche apparaît dans l'ensemble salifère n°4 à 700 mètres de profondeur et avec une puissance de 31 Mètres.

Etude du sondage K2 :

L'ensemble salifère n°1 qui était laminé dans le sondage K1 existe ici entre 328 et 400 mètres de profondeur. Il semble être constitué de sel gemme avec intercalations d'anhydrite salifère et de joints marno-dolomitiques. Sa puissance est de 82 mètres.

Le sel correspondant à l'ensemble salifère n°2 apparaît à 549 mètres de profondeur et il a une puissance de 46 mètres. Celui correspondant à l'ensemble n°3 apparaît à 668 mètres de profondeur sur une puissance de 28 mètres.

Enfin, à 827 mètres de profondeur et sur 39 mètres de puissance, on trouve le sel correspondant à l'ensemble n° 4.

On peut donc dire qu'à hauteur de Holle et entre 300 et 400 mètres de profondeur, il existe une couche de sel dont la puissance varie entre 40 et 80 mètres. Il ne nous est pas possible de préjuger de la qualité de ce sel et il importe de rechercher s'il existe dans les archives de la Compagnie des Potasses du Congo, des analyses détaillées de cette couche.

Nous insistons tout particulièrement sur le fait qu'au point de vue technique, aucune suite ne pourra être donnée à un quelconque projet de production de sel gemme ou ignigène au Congo, tant que l'or ne connaîtra pas la structure exacte et la composition chimique de la couche décrite ci-dessus.

C.- Techniques d'exploitation des gisements de sel par dissolution

Les techniques de mise en solution des gisements salifères font appel à un principe simple qui consiste à injecter de l'eau douce dans le gisement par l'intermédiaire de sondages, à laisser se saturer cette eau par dissolution du sel, puis à remonter à la surface la saumure ainsi saturée. Dans un deuxième temps, on provoque la cristallisation du sel contenu par évaporation à l'aide d'une source d'énergie.

1.- Sondages de dissolution

On a longtemps utilisé la technique du sondage unique à double tubage. L'injection d'eau douce est faite par le tube central, cette eau se sature au contact du sel et l'on considère que la saturation est obtenue pour une teneur d'environ 330 grammes de Na Cl pour 1 000 grammes d'eau à la température de 20 degrés centigrades. Dans un deuxième temps, on injecte par le tube central de l'air ou du gaz sous pression qui fait remonter la saumure dans la partie annulaire. C'est la technique du gaz-lift bien connue des pétroliers.

Cette méthode relativement simple présente plusieurs inconvénients:

- aspect discontinu de la phase de production: il faut laisser le temps à l'eau douce injectée de se saturer.
- création à l'extrémité du sondage d'une poche de dissolution de plus en plus importante qui risque de provoquer des éboulements et de détériorer précocement le sondage
- obligation de forer en gros diamètre pour assurer les débits, d'où coût de sondage élevé.

Ce sont les raisons pour lesquelles on lui préfère la méthode d'hydrofracturation. Deux sondages sont descendus jusqu'à proximité du mur de la couche salifère. L'un deux sera cimenté jusqu'au passage du toit de la couche et tubé jusqu'à proximité du mur. Il servira à l'extraction des saumures.

Le deuxième sondage est implanté à une distance variant avec les caractéristiques du gisement. Elle est de l'ordre de 150 à 200 mètres. Simplement tubé jusqu'à proximité du mur, il servira à l'injection de l'eau douce sous pression.

On tient compte évidemment des directions et des rejets des fractures pour implanter les sondages.

Sous l'effet de l'eau injectée sous pression, la liaison entre les 2 sondages s'effectue au bout d'un temps plus ou moins long et le plus souvent au contact du mur. La dissolution se fait en cloche du mur vers le toit entre les deux sondages et le temps de cheminement de l'eau entre les deux sondages suffit généralement à assurer la saturation.

La durée de vie du sondage d'injection dépend des caractéristiques du gisement. Six à huit mois paraissent une bonne moyenne.

Le transport des saumures depuis le sondage jusqu'à l'unité de production est généralement assuré par un saumoduc.

On a intérêt à réduire la longueur de ce transport car les risques d'entartrage sont élevés. Le saumoduc est en général parallèle à la canalisation d'eau douce de manière à pouvoir procéder périodiquement à des chasses de détartrage par des systèmes de by-pass.

2.- Application à la couche salifère de Pointe-Noire

Trois principes essentiels sont à respecter :

- être certain de la présence d'une couche de sel pur
La pureté dépend de l'utilisation que l'on veut faire du sel. On se reportera à ce sujet au paragraphe IV E. Généralement il est exclu d'exploiter au dessous de 99% de Na Cl. Au dessous de cette teneur on serait en effet obligé de prévoir un raffinage, en jouant par exemple sur la différence de solubilité en fonction de la température entre Na Cl et KCl. Ceci ajouterait à la complexité des installations.
- la couche de sel pur doit avoir un toit et un mur parfaitement imperméables. Il est en effet probable que les autres couches entourant celle qui a été choisie pour sa pureté sont moins pures et contiennent du KCl. Il ne faut pas que la dissolution s'étende à ces couches moins pures ce qui polluerait les saumures et nous ramènerait au cas précédent.

- Enfin, ce qui paraît évident, il faut connaître parfaitement la couche exploitée = puissance, pendage, ondulations, accidents tectoniques, pour positionner judicieusement les sondages.

A notre connaissance, aucune de ces trois conditions ne nous paraît remplie à ce jour, en aucun point du secteur intéressé.

3.- Unité de production

A partir d'une saumure saturée à 330 grammes de Na Cl par 1 000 grammes d'eau, il faut une installation d'évaporation artificielle qui produira le sel cristallisé.

Les diverses techniques utilisées dans l'industrie sont :

- La poêle à feu direct

Elle est constituée d'un foyer à grille tournante chauffant directement et par des canaux une poêle dont la surface peut varier de 100 à 200 mètres carrés, et qui est alimentée en saumure. Le tirage du sel se fait manuellement. Une phase de production dure environ six semaines puis elle est interrompue pour procéder à la vidange et au nettoyage de la poêle.

Ce système très artisanal permet une production d'environ 40 Kgs de sel par 24 heures au mètre carré de poêle. Il nécessite une consommation d'énergie d'environ 2600 kilocalories par tonne de sel.

De faible capacité de production, il exige un entretien onéreux par suite des surchauffes accidentelles qui détériorent les briquetages et les fonds de poêle.

Une variante de cette méthode est le chauffage par une lyre de circulation de vapeur immergée dans la saumure, c'est :

- la poêle à circulation

Cette technique, plus élaborée, consiste à chauffer la saumure par de la vapeur vive dans des réchauffeurs de façon à la faire circuler entre 100° et 85° dans une poêle où elle dépose son sel. On améliore généralement le rendement de l'installation par séparation et lavage de la vapeur détendue, puis compression, avant de la renvoyer vers les réchauffeurs avec adjonction de vapeur vive. On récupère l'eau condensée qui peut être utilisée pour un préchauffage, pour le lavage de la vapeur recyclée et évidemment pour la chaudière.

Le sel est extrait mécaniquement par raclage, puis il est passé sur des filtres d'où il sort avec une humidité de 20%. On doit ensuite effectuer un séchage pour obtenir une humidité résiduelle acceptable.

La production spécifique d'une poêle à circulation est au maximum de l'ordre de 500 kilogrammes de sel de granulométrie 1 m/m par 24 heures et par mètre carré de surface.

Pour une tonne de Na Cl humide, la consommation d'énergie est d'environ 3 tonnes de vapeur et 110 Kwh pour une installation parfaitement équipée.

Enfin, nous citerons pour mémoire les évaporateurs à multiple effet nécessitant des installations très élaborées et destinées à des unités de grande production de l'ordre de 500 000 tonnes/an.

D.- Essai d'évaluation des coûts pour une unité de production de sel ignifère

Nous supposons dans ce qui suit que toutes les conditions sont remplies pour que l'on puisse réaliser une unité de production de 15 000 tonnes de sel ignifère couvrant les besoins prévisibles du Congo.

On utilisera la technique d'extraction des saumures par hydrofracturation et l'unité de production de sel sera constituée par une poêle à circulation de 100 mètres carrés de surface.

Nous admettons un rendement de 60% et un fonctionnement pendant 235 jours par an 24 heures sur 24, soit 4,5 jours de production par semaine et 1,5 jour d'arrêt pour entretien et divers ; la production annuelle sera donc de :

$$800 \text{ Kg} \times 0,80 \times 100 \times 235 = 15 \text{ 000 tonnes}$$

L'installation comprendra :

- un sondage d'extraction entièrement cimenté dont la durée de vie sera de l'ordre de quatre à cinq ans
- des sondages d'injection. En admettant une durée de vie de 8 mois pour ce type de sondage, il faut prévoir 1,5 sondages par an. La longueur de ces sondages sera de l'ordre de 400 mètres.
- une réserve d'eau douce et une station de pompage d'injection sous pression
- une double ligne de saumoduc avec by-pass pour transport de l'eau douce et de la saumure
- une pompe de circulation des saumures
- des réservoirs de saumure pour garantir au moins 15 jours de marche de l'unité de production soit 3000 m³ environ
- une chaudière à vapeur alimentant l'unité de production et qui fournira 10 tonnes/heure de vapeur à 3,5 bars. Elle sera alimentée en eau douce déminéralisée.
- l'unité de production proprement dite comprenant :
 - une poêle à circulation
 - une pompe de circulation
 - 2 réchauffeurs
 - 1 laveur de vapeur
 - 1 surpresseur

- l'unité de filtrage et séchage
- un hangar de stockage de sel
- un atelier de conditionnement
- un atelier d'entretien important compte tenu d'un milieu très corrosif
- une infrastructure d'exploitation et de gestion
- enfin, il est indispensable de disposer d'énergie sous forme de gaz pour la chaudière et de Kwh pour les moteurs électriques et l'éclairage:

Nous admettons qu'il faut avec les diverses déperditions 3000 Kcalories pour fabriquer une tonne de sel soit 45 millions de Kcalories. En admettant un gaz à 10 000 Kcalories au mètre cube, il faut 4 500 m³ par an.

Pour l'électricité, il faut 110 Kwh pour une tonne de sel à 20% d'humidité, soit 140 Kw/h pour une tonne de sel sec, ou 2 100 000 Kwh par an plus 500 000 Kwh pour les consommations annexes soit un total de 2 600 000 Kwh.

Nous n'avons pas suffisamment d'éléments pour pouvoir chiffrer le montant des investissements correspondant à ce type d'installation. Lors de notre prochain passage à Paris, nous effectuerons des recherches de coût prévisionnel dont nous joindrons les résultats en annexe de notre rapport définitif.

Nous pouvons cependant dire que pour être compétitif avec les prix du sel importé, le prix de revient à la tonne ne devrait pas être supérieur à :

42 000 francs CF. soit environ 138 dollars.

Or à notre avis, le total des amortissements à 10% et des frais d'exploitation seront très supérieurs à ce prix pour une production de 15 000 tonnes par an.

En tout état de cause, on voit combien il serait important de procéder à une étude économique très série si les problèmes de qualité, de technique et d'implantation venaient à être résolus.

VII.- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Par suite de conditions climatologiques défavorables, il n'est pas possible d'envisager une quelconque production de sel marin par évaporation solaire en République Populaire du Congo.

Les sondages de recherche effectués par la Compagnie des Potasses du Congo et par les pétroliers d'Elf Congo et d'Agip, ont prouvé l'existence d'un important horizon salifère dans le bassin littoral congolais.

Si l'on est certain que cet horizon contient des sels de potasse, puisqu'ils ont été exploités, dans des conditions malheureuses il est vrai, on ne sait rien de précis sur l'existence de couches de sel gemme et surtout sur leur teneur en Na Cl et en sels connexes.

Même si une telle couche existait, nous pensons que son exploitation ne serait pas rentable, compte tenu des difficultés d'équipement et du faible tonnage prévu.

Dans la mesure où l'on désirerait approfondir les aspects technico-économiques d'une exploitation de sel ignigène, nous émettons les suggestions suivantes :

- 1.- obtenir de la Compagnie des Potasses du Congo, ou de tout autre organisme qui peut les détenir, les analyses détaillées qui ont probablement été effectuées lors des importantes campagnes de recherches par sondages. Cette étude portera sur le plus grand nombre de sondages possible et sera effectuée en priorité sur la Région de Holie.
- 2.- Si ces premiers résultats démontreraient effectivement l'existence d'une couche de sel gemme pratiquement pur, peu profonde et bien délimitée, il faudrait confirmer ces résultats par des sondages complémentaires carottés et analysés au passage de la couche.

5.- Suivant le résultat de ces travaux, il faudrait effectuer une étude économique très complète en tenant compte des problèmes de maintenance et d'approvisionnement énergétique inhérents à une industrie de sel ignigène. On calculera soigneusement le taux de rentabilité correspondant à une production annuelle de 15 000 tonnes couvrant les besoins prévisibles à moyen terme de la République Populaire du Congo.

Brazzaville, le 7 juin 1982

Météorologie Nationale A.N.A.C.

Annexe 1

Relevé des précipitations mensuelles à Pointe-Noire

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1971	204,2	136,6	129,2	72,3	34,8	0	0	0,3	3,9	97,3	108,9	40,6
1972	80,0	71,6	37,6	41,3	22,3	1,4	Tr	Tr	11,0	29,7	362,8	139,8
1973	257,9	133,5	113,9	52,1	37,6	0,7	0,4	Tr	13,7	30,8	272,1	29,7
1974	107,3	89,9	226,2	158,0	8,1	Tr	Tr	1,3	3,4	32,2	290,4	47,0
1975	103,5	254,2	111,7	75,0	99,0	Tr	0,7	Tr	5,8	120,8	587,4	140,3
1976	98,9	452,9	302,3	126,5	48,9	Tr	0,2	0,9	15,2	38,7	38,7	279,2
1977	327,4	65,9	234,0	142,4	16,5	0,3	Tr	1,0	26,2	57,3	103,5	14,7
1978	308,0	8,7	23,6	10,7	2,2	0,8	Tr	2,2	24,8	21,8	190,9	137,3
1979	171,6	166,3	239,6	134,4	48,1	Tr	10,0	2,7	9,7	16,9	8,8	88,7
1980	195,5	334,9	143,8	226,9	94,2	Tr	0,5	0	8,0	27,0	186,1	26,2
Moyenne	185,4	171,5	156,2	104,0	41,2	0,3	1,2	0,8	12,2	47,3	215,0	94,4

Moyenne annuelle = 1 029,5 m/m dont

103 m/m du 13 mai au 31 octobre

926,5 m/m du 1er novembre au 30 avril

Nombre moyen de jours de pluie par mois :

12	12	13	10	6	0 à 1	0 à 1	2	11	18	17	13
----	----	----	----	---	-------	-------	---	----	----	----	----

Météorologie Nationale A.N.A.C

Vents - Vitesse moyenne journalière en m/sec. - Pointe-Noire

Etablie à partir de 8 mesures journalières

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1971	2,3	1,9	1,9	1,7	1,7	1,7	1,8	1,6	1,9	2,3	2,0	1,5
1972	1,5	1,9	2,4	1,9	1,4	1,6	1,4	1,6	2,0	2,5	2,1	1,6
1973	1,3	1,7	1,7	1,5	1,3	1,2	1,3	1,6	2,0	2,7	2,3	1,7
1974	1,6	1,5	0,9	1,0	1,2	0,9	0,8	0,8	1,2	1,5	1,3	1,9
1975	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	1,3	1,4	1,1	1,5
1976	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,0	1,2	1,7	1,7	0,9
1977	0,9	0,9	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,6	2,2	1,5	0,8
1978	0,9	1,0	1,3	1,1	0,9	0,8	0,9	0,9	1,3	1,8	1,2	1,6
1979	1,1	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,1	1,2	1,4	1,8	1,9	1,8
1980	1,5	1,7	1,2	1,5	1,2	1,1	1,5	2,4	2,8	2,4	3,2	2,2
Moyenne	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,7	2,0	1,8	1,6

Météorologie Nationale A.N.A.C.

Température moyenne de l'air sous abri (8 observations journalières)

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1971	25,4	26,5	26,4	26,7	26,2	23,4	21,6	24,8	22,9	24,6	24,6	24,1
1972	25,4	26,0	26,4	26,1	25,3	22,1	21,5	21,1	22,7	24,6	25,8	26,6
1973	27,0	27,3	27,4	26,9	25,8	23,0	22,1	21,7	23,7	25,6	25,4	25,0
1974	25,8	26,3	26,5	26,9	26,3	22,8	21,3	21,8	23,1	24,7	25,2	25,0
1975	26,0	26,5	26,6	26,6	25,8	23,3	21,6	21,5	23,6	24,8	25,3	25,4
1976	25,6	26,1	26,4	26,4	24,9	21,3	20,5	21,5	23,1	24,1	25,2	25,5
1977	26,1	26,7	26,8	27,0	25,8	22,9	21,5	22,3	20,7	25,3	25,8	25,3
1978	25,9	27,2	27,2	25,5	24,9	23,1	21,5	22,0	23,3	25,2	25,6	26,2
1979	26,5	27,1	27,2	27,2	25,2	23,3	22,1	21,8	23,3	24,6	25,5	25,6
1980	26,2	26,8	27,0	27,1	25,5	22,5	21,2	21,4	23,5	25,2	25,5	25,5
Moyenne	26,0	26,7	26,8	26,6	25,6	22,8	21,5	22,0	23,0	24,9	25,4	25,4

Météorologie Nationale A.N.A.C

Annexe 4

Relevé de l'humidité relative moyenne mensuelle

Ces valeurs sont les moyennes d'humidité journalières, elles-mêmes moyennes sur huit observations

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1971	84	85	86	89	88	87	86	85	85	85	85	87
1972	86	82	85	86	86	84	84	83	83	85	84	86
1973	85	84	86	84	88	87	86	83	83	83	83	86
1974	85	85	85	84	82	82	84	84	84	83	83	87
1975	86	85	83	86	86	85	85	83	83	82	85	87
1976	86	86	85	85	87	85	85	85	85	85	86	88
1977	86	85	86	87	88	88	88	88	86	87	88	88
1978	85	80	78	86	86	86	85	84	84	82	88	86
1979	88	84	86	88	90	90	89	86	87	87	87	88
1980	86	87	86	88	89	88	86	84	85	84	87	88
Moyenne	86	84	85	86	87	86	86	85	85	84	86	87
Minimum moyen	67	66	66	67	69	66	64	64	66	68	71	69
Maximum moyen	97	96	97	97	97	97	97	96	95	94	96	97

Météorologie Nationale A.N.A.C

Relevé des évaporations mensuelles mesurées au Piche droit sous abri à Pointe-Noire

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1971	55,0	56,2	60,4	56,0	53,4	57,4	59,2	59,6	59,4	70,0	50,0	50,2
1972	55,9	67,2	63,3	52,3	48,4	57,7	61,5	65,4	58,9	68,5	48,0	55,6
1973	52,4	52,5	53,3	54,0	44,0	49,5	50,7	60,2	57,3	74,8	54,5	54,1
1974	59,5	51,2	61,5	62,3	70,0	52,0	55,1	58,0	61,8	67,3	54,6	47,1
1975	59,2	53,3	62,7	52,8	53,5	52,1	57,1	56,0	65,0	53,2	47,4	48,5
1976	50,4	50,1	57,7	53,6	51,9	54,5	59,0	55,4	57,4	68,9	77,4	47,7
1977	52,6	56,7	61,9	57,4	51,5	56,8	54,4	54,1	58,2	68,3	47,4	52,4
1978	64,6	83,7	95,9	63,9	56,8	52,3	56,2	59,1	61,2	81,0	56,4	58,8
1979	54,5	64,3	63,2	52,9	52,3	45,5	54,3	58,6	53,6	72,3	68,5	49,8
1980	55,0	53,3	58,2	50,5	44,3	45,0	52,3	61,7	61,8	72,2	64,5	49,2
Moyenne	55,9	58,9	63,8	55,6	52,6	52,3	56,0	58,8	59,5	69,7	56,9	51,3

Moyenne annuelle 691,3 m/m dont

348,9 m/m du 1er mai au 31 octobre

342,4 m/m du 1er novembre au 30 avril

IV - G E O L O G I E

A - STRATIGRAPHIE

K-1	K-2	K-3	K-4	
3,50 40,00	3,50 46,00	3,50 172,00	3,50 36,00	Série des cirques.
40,00 234,00	46,00 272,00	172,00 465,00	36,00 551,00	Séries suprasalifères (Aptien sup. à sénonien supérieur).
234,00 731,00	272,00 911,00	465,00 1170,00	551,00 1305,00	Série des évaporites (Aptien inférieur).
731,00 741,50	911,00 944,50	1170,00 1189,50	1305,00 1329,50	Séries infrasalifères (Cocobeach).

B - DESCRIPTION LITHOLOGIQUE ET CORRELATIONS (Cotes SPE)

K-1	K-2	K-3	K-4	
66,80	86,00	152,90	20,50	Z
				I - <u>SERIE DES CIRQUES</u> (cf. pl. 13)
				La limite inférieure de la série des cirques est difficile à préciser. Nous l'avons placée approximativement au toit des sables à concrétions ferrugineuses, là où une corrélation semble pouvoir s'établir.
				Elle est formée de :
3,50	3,50	3,50	3,50	- Sable blanc puis ocre et argileux, à passées d'argile sableuse ocre ou rouge.
40,00	46,00	82,00	30,00	
		172,00	36,00	Argile plastique sableuse lie de vin.

K-1	K-2	K-3	K-4	
40,00 234,00	46,00 272,00	172,00 465,00	36,00 551,00	II - <u>SERIES SUPRASALIFERES</u> (cf. pl. 13)
				<p>On peut distinguer, à K4 et à Pointe-Noire, 3 séries grès-dolomitiques et une série calcaréo-dolomitique, qui se réduisent, à l'Est de MENGO, à une série sableuse, une série grès-dolomitique et une série calcaréo-dolomitique.</p>
			36,00	<p>a)- <u>SERIE GRESO-DOLOMITIQUE SUPERIEURE</u> :</p> <p>Grès fin dolomitique, rouge à gris-bleu plus ou moins cimenté, à passées d'argile plastique sableuse. Ce terme ne paraît exister qu'à l'Ouest de Mengo.</p>
40,00	46,00	172,00	177,00	<p>b)- <u>SERIE GRESO-DOLOMITIQUE MOYENNE</u> ou <u>SERIE DES SABLES FERRUGINEUX</u> :</p> <p>A K1, K2, K3 ensemble de sables mal classés à gros galets roulés, à concrétions ferrugineuses plus ou moins abondantes et à minces passées d'argile sableuse et de silt argileux jaune à rosé.</p> <p>A K4 grès fins dolomitiques et marnes grès-dolomitiques rouges à gris-verdâtre.</p> <p>Le passage latéral des sables aux grès s'effectue donc à l'Ouest de Mengo.</p>
162,00	161,00	304,00	349,00	<p>c)- <u>SERIE GRESO-DOLOMITIQUE INTERIEURE</u> :</p> <p>Grès fins dolomitiques plus ou moins argileux, jaunes ou roses, puis gris-bleu à passées de silt et d'argile silteuse bleue, avec des petits cristaux de pyrite.</p> <p>Les grès qui sont peu cimentés et se présentent sous l'orme d'agrégats, passent vers le haut, à K4, à des marnes gréseuses, tandis qu'à K3 et K4 ils se présentent sous un faciès rouge dans les quelques mètres inférieurs.</p>

K-1	K-2	K-3	K-4	
234,00	272,00	410,00	480,00	... d)- <u>SERIE CALCAREO-DOLOMITIQUE</u> :
				Calcaire dolomitique gris-bleu, gréseux au sommet, marneux ensuite et recoupé de bancs de dolomie brune plus ou moins vacuolaire, et de quelques passées de marne plastique.
258,00	310,00	465,00	514,00	A K4 la partie inférieure de la série est formée de calcaire gypso-crayeux.
			551,00	
258,00	310,00	465,00	551,00	II - <u>SERIE DES EVAPORITES</u> :
731,00	911,00	1170,00	1305,00	
				a)- <u>SERIE ANHYDRITIQUE</u> :
				Anhydrite massive bleutée, parfois gypseuse au sommet, et recoupée par des bancs d'argile noire ligniteuse plus ou moins marneuse.
272,00	328,00	486,00	574,00	... b)- <u>SERIE SALIFERE</u> :
				Des corrélations valables établies entre les différents puits à l'aide de repères ligniteux ou marneux, permettent de préciser l'évolution de la série salifère d'Est en Ouest dans le bassin. On constate ainsi le passage de niveaux potassiques à des zones de sel gemme, et on s'aperçoit que la division de la série salifère en zones de "sel et potasse" et en zones de "sel massif" n'est pas toujours valable.
				L'ensemble No 1 correspond à l'ancienne zone A et aux deux premières zones de sel massif.
				Les ensembles No 2, 3 et 4, correspondent respectivement aux anciennes zones B, C, D et aux zones de sel massif qui leur sont sous-jacentes

K-1	K-2	K-3	K-4	
				<p>Ces ensembles peuvent être subdivisés en cycles sédimentaires, qui, numérotés de A à I (de bas en haut) constituent l'unique division adoptée par le Syndicat de Recherches de Potasses au Congo.</p> <p>Chaque cycle débute, dans l'ordre du dépôt, par un niveau ligniteux ou marneux, et se continue par des dépôts salifères avec enrichissement en potasse vers le haut.</p>
			574,00	<p><u>ENSEMBLE SALIFERE No 1 :</u></p>
				<p>Cycle I : Sel massif. Ne se rencontre qu'à K4</p>
		486,00	590,00	<p>..... Repère I : Anhydrite dolomitique. Sel avec quelques passées de carnallite.</p> <p>N'existe qu'à K4 et K3.</p>
		503,00	602,00	
				<p>Cycle H : Carnallite recoupée par des petits bancs de sel (Ancienne zone A).</p>
		586,00	687,00	
	328,00			<p>Sel à intercalations d'anhydrite salifère.</p> <p>L'épaisseur de cette zone est très réduite à K1 où elle représente le sommet de la série salifère.</p> <p><u>Repère H</u> : Plaquettes marno-dolomitiques beige.</p>
272,00				
281,00	410,00	660,00	772,00	<p>..... <u>ENSEMBLE SALIFERE No 2 :</u></p> <p>Alternance de sel gemme et de potasse en bancs assez épais (Ancienne zone B)</p> <p>Sylvinite au sommet à K1 (bancs répartis de 283 à 311m.) et dans la partie inférieure à K4 (un banc de 885 à 886,50m).</p>
				<p>Cycle G</p>

K-1	K-2	K-3	K-4	
397,00	549,00	816,00	922,00	
<u>438,00</u>	<u>595,00</u>	<u>867,00</u>	<u>974,00</u>	<p>Sel gemme massif.</p> <p><u>Repère G</u> : Argile noire ou gris-blanchâtre et dolomie-beige.</p> <p><u>ENSEMBLE SALIFERE No 3</u> :</p> <p>Fine alternance de sel gemme et de carnallite (ancienne zone C).</p> <p>Cycle F L'épaisseur de cette zone est réduite à K3 où sa partie inférieure passe à du sel massif.</p>
<u>508,00</u>	<u>668,00</u>	<u>903,00</u>	<u>1059,00</u>	
<u>535,00</u>	<u>696,00</u>	<u>957,00</u>	<u>1080,00</u>	<p>Sel gemme massif.</p> <p><u>Repère F</u> : Argile noire</p> <p><u>ENSEMBLE SALIFERE No 4</u> :</p> <p>Fine alternance de carnallite et de sel gemme, avec à K3 et K4, au sommet, 25 à 30 m. de Bischofflite recoupée d'argile ligniteuse.</p>
<u>602,00</u>	<u>775,00</u>	<u>1008,00</u>	<u>1167,00</u>	<p><u>Repère E</u> : Argile noire</p> <p>Cycle D Alternance de carnallite et de sel gemme avec à la base un banc épais de sel gemme surmontant lui-même un banc de 3 à 5m. de marnes.</p>
<u>642,00</u>	<u>812,00</u>	<u>1063,00</u>	<u>1206,00</u>	<p><u>Repère D</u> : Argile noire.</p> <p>Carnallite à minces passées de sel gemme.</p> <p>Cycle C (La base de ce cycle sédimentaire n'est bien marquée qu'à K1)</p> <p><u>Repère C</u> : Marne brun-clair (absent à K2 et K3)</p>
<u>659,00</u>	<u>828,00</u>	<u>1073,00</u>	<u>1226,00</u>	

K-1	K-2	K-3	K-4	
				Cycle B Un banc de carnallite surmontant un banc de sel gemme plus ou moins strié de carnallite.
672,00	843,00	1094,00	1236,00
				Cycle A Carnallite interstratifiée de sel gemme. A K3, cette zone passe à du sel gemme massif. (C'est la base de l'ancienne zone D).
704,00	872,00	1094,00	1265,00
				Sel gemme massif. Le début du cycle A est marqué par une alternance de lignite et marno-calcaire avec des passées anhydritiques à Kl.
731,00	902,00	1054,00	1295,00 Repère A : Lignite et marno-calcaire beige.
				Cycle A Sel massif.
931,00	911,00	1170,00	1305,00 Mur du sel.
				Lignite, marno-calcaire et marne brune, à inclusions anhydritiques et parfois salifères.
735,00	913,00	1171,00	1306,00 Mur de la série évaporitique. On constate que le mur du sel est toujours net, tandis que les premiers dépôts évaporitiques apparaissent plus ou moins près du toit des sables du Chela. Dans un but de simplification nous continuons à prendre comme toit des séries infrasalifères, le mur du sel. s.s.

Essai d'évaluation du coût à la tonne de sel ignigène

Le calcul est établi pour une unité de production de 15 000 tonnes par an. Elle est constituée d'une poêle simple à circulation de 350 m² sans thermo-compression pour éviter trop de sophistication et pour limiter les investissements.

Energie : CFA F/t

Production de saumure (eau douce + énergie)
 4,5 m³/t x 20 F 90

Vapeur :

4 500 m³ de gaz à 10 000 K calories au m³
 ou 4 tonnes de vapeur par tonne de sel. Le coût de l'énergie pour produire une tonne de vapeur est en France de l'ordre de 250 FF. En supposant qu'il s'agit de gaz fatal fourni par les pétroliers à moitié prix, nous compterons par tonne de vapeur :

$$\frac{12\ 500\ \text{FCFA}}{2} = 6\ 000\ \text{FCFA/tonne de vapeur}$$

Soit à la tonne de sel 6 000 x 4 = 24 000

Electricité :

40 Kwh/tonne à 15 F 600

Total énergie 24 690

Main-d'oeuvre : Soit 12 mois par an, soit 2 000 h par an

Par poste :	1	contremaître	60 000 x 12	=	720 000
	3	ouvriers production	3 x 300 x 2 000	=	1 800 000
	1	" tirage du sel	250 x 2 000	=	500 000
	1	" manutention	250 x 2 000	=	500 000
	1	" divers	150 x 2 000	=	300 000
	1	" gardien	150 x 2 000	=	300 000
					4 120 000

et pour 4 postes	4 120 000 x 4 =	16 480 000
2 agents administratifs	2 x 50 000 x 12 =	1 200 000
1 magasinier	40 000 x 12 =	500 000
1 directeur	500 000 x 12 =	6 000 000
1 secrétaire	40 000 x 12 =	500 000
1 expatrié	1 500 000 x 12 =	18 000 000
		<hr/>
		42 680 000

Frais accessoires de main-d'oeuvre 35 %

Total : 42 680 000 x 1,35 = 57 620 000 F

Soit à la tonne Total MO

3 840 F/t

Amortissements : linéaires sur 10 ans

	FF en France
Investissements : 2 poêles de 350 m ²	15 000 000
2 sondages .	2 500 000
2 000 m ² bâtiments	3 000 000
Engins	1 000 000
Poste électrique	1 000 000
Véhicules et divers	500 000
	<hr/>
	23 000 000

Majoration de 30 % pour prix franco importé

23 x 1,30 = 30 000 000 Francs français

soit 1,5 milliards CFA

Frais de chantier et de ler établissement

3 % x 1,5 = 0,045 M^d

Intérêt intercalaire (durée 2 ans)

12 % x 1,5 = 0,185

Coût total de l'investissement = 1 M^d 730 CFA

Amortissement à la tonne $\frac{1\ 730\ 000\ 000}{10 \times 15\ 000}$

11 530 F/t

Frais financiers comptés à 12 %

$1,730 \times \frac{12}{100} = 204\ 600\ 000$ soit à la tonne 13 840 F/t

Décomptés à 50 % pour tenir compte des remboursements

6 920 F/t

Remboursement d'emprunt 1/10 par an sur 10 ans

11 530 F/t

Coût de l'entretien estimé à 10 % de l'investissement

$$1,5 \text{ Md CFA} \times 10 \% = \frac{150\,000\,000}{15\,000}$$

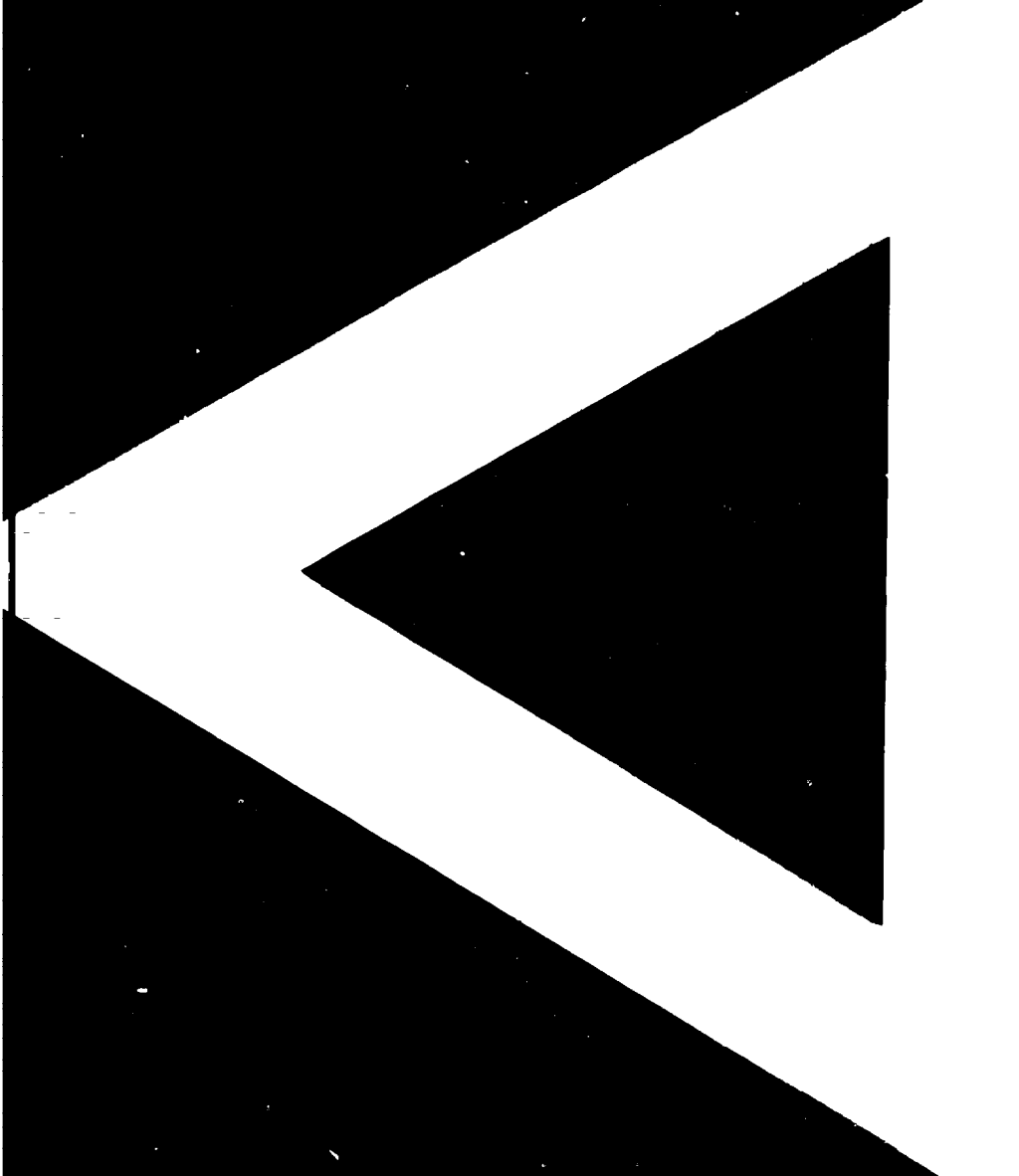
10 000 F/t

RECAPITULATIF

	<u>FCFA/tonne</u>
Energie	24 690
M.O.	3 850
Entretien	10 000
Amortissement fiscal	11 500
Remboursement prêts	11 500
Frais financiers	6 900
	<u>68 440 FCFA/tonne</u>

A comparer au prix de la tonne importée de sel tout venant : 36 250 F.





-

=

-

-

-

-

-