

Modalités et résultats des études sur les gisements de sels de potasse du Sud Tunisien

L'emploi intensif des engrais dans la technique agricole moderne a eu pour conséquence une valorisation des gisements de sels de potasse. En effet, les sels usuels de potassium, chlorure et surtout sulfate, sont des fertilisateurs de premier ordre, dont la demande a connu un accroissement constant. En 1938, la production mondiale correspondait à une teneur totale de 3.000.000 de tonnes d'oxyde de potassium (K_2O) ; actuellement, une production de plus en plus importante a été développée aux Etats-Unis et la production mondiale est beaucoup plus importante qu'avant la guerre. Le tableau ci-dessous permettra de s'en rendre compte :

Pays	1938-1939	1949-1950	1950-1951	1951-1952
Allemagne occidentale	540.000	822.000	1.012.000	1.158.000
Allemagne orientale	1.100.000	1.070.000	1.130.000	1.270.000
U. S. A.	—	996.000	1.270.000	1.325.000
France	600.000	810.000	863.000	860.000
Espagne	—	100.000	178.000	196.000
Production mondiale		3.900.000	4.500.000	4.860.000

On voit que l'Allemagne, avec ses riches gisements de Stassfurt, couvre les deux tiers de la production mondiale : les réserves estimées de ces gisements seraient de l'ordre de vingt milliards de tonnes de K_2O . La France, avec ses gisements d'Alsace tient elle-même une place honorable sur le marché mondial.

Or, le Sud de la Tunisie est marqué par de nombreuses dépressions, de superficie variable, dont le remplissage alluvionnaire récent est imbibé d'une saumure relativement riche en chlorure de potassium. On pouvait penser que, dans un pays aussi peu industrialisé, il serait intéressant d'exploiter cette richesse naturelle, même sans prétendre atteindre aux niveaux de production des gisements de Stassfurt ou d'Alsace. Aussi, dans le cadre du premier plan quadriennal, le Gouvernement Tunisien plaça-t-il en première urgence l'étude et, éventuellement, l'exploitation de ces gisements.

Dès le début, la tâche à accomplir parut considérable, même au stade des études préliminaires. Il s'agissait d'une technique toute nouvelle pour la Tunisie, et pour laquelle les services du protectorat étaient très mal outillés. La formation sur place des spécialistes, l'installation des laboratoires d'analyse ou d'essais nécessaires, n'auraient pu s'admettre que dans le cadre d'une exploitation décidée, mais ne se légitimaient pas dans un premier stade de recherches. Le Gouvernement Tunisien décida donc de se rapprocher des Mines Domaniales de Potasse d'Alsace, principal producteur français, qui acceptèrent de s'intéresser à la recherche, en lui facilitant les voies par le concours de leurs techniciens, et de leurs laboratoires. Cette association avait pour la Tunisie un double avantage : d'abord celui de lui permettre de bénéficier aux moindres frais de la précieuse expérience des spécialistes des Mines Domaniales de Potasse d'Alsace ; ensuite, d'associer une éventuelle exploitation tunisienne, commercialement, avec le plus fort producteur français et un des plus importants producteurs mondiaux (il apparaissait à priori, en effet, que la Tunisie ne serait jamais qu'un petit producteur) (1).

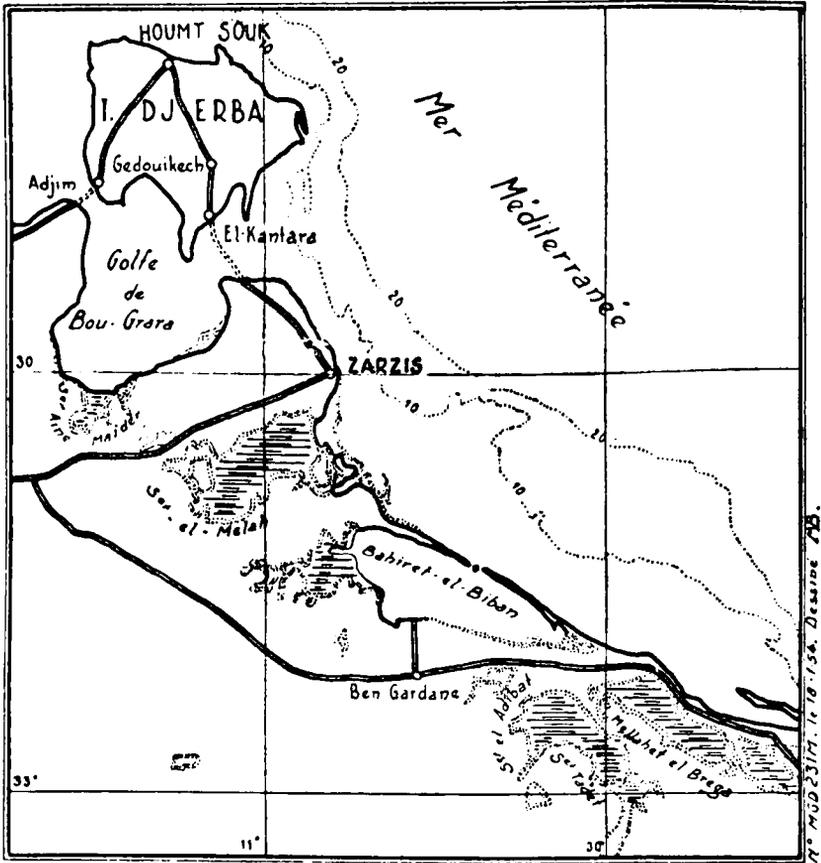
L'association entre le Gouvernement Tunisien et les Mines Domaniales de Potasse d'Alsace fut concrétisée par la fondation d'une Société à responsabilité limitée, la « Société de Recherches et d'Exploitation de sels de potasse et sels connexes en Tunisie » (S.O.R.E.P.O.T.A) au capital de dix millions de francs, réparti par moitié entre les deux participants. La Société, dirigée par un gérant sous la tutelle d'un Conseil de contrôle de quatre membres (deux représentants les Mines Domaniales de Potasse d'Alsace et deux, dont le Président, représentant l'Etat Tunisien), finançait les travaux à l'aide d'avances versées par moitié par les deux associés. Il va sans dire que le contrôle technique et financier de l'Etat Tunisien, institué par le Décret du 1^{er} avril 1948 sur les sociétés d'économie mixte, s'exerçait avec toute son efficacité habituelle sur S.O.R.E.P.O.T.A.

Le programme de recherches de S.O.R.E.P.O.T.A. comportait en premier lieu l'étude de la Sebkha el Melah, près de Zarzis, ensuite celle du Chott Djerid. Il était tout indiqué de commencer par la Sebkha el Melah sur laquelle on connaissait déjà quelques éléments et qui était particulièrement bien placée pour une exploitation éventuelle. Il était non moins indiqué d'étudier ensuite, en bénéficiant des renseignements déjà obtenus à Zarzis, le Chott Djerid dont l'immensité paraissait une garantie pour une future exploitation. Les rapports définitifs faisant le point des résultats obtenus furent rédigés respectivement en 1950 et 1951. C'est un résumé de ces rapports qui fait l'objet du présent article.

(1) La Palestine Potash, exploitant en Israël les saumures de la Mer Morte dans des conditions beaucoup plus faciles qu'il ne serait possible dans le Sud Tunisien, reste un producteur tout à fait modeste (de l'ordre de vingt à trente mille tonnes K₂O par an).

I. — RESULTATS DE LA PROSPECTION DE LA SEBKHA EL MELAH

Nous donnerons tout d'abord quelques explications sur la structure géologique de la Sebkhja, anticipant ainsi sur l'exposé des travaux de la S.O.R.E.P.O.T.A. qui contribuèrent pourtant de façon déterminante à fixer les idées que l'on pouvait avoir sur la question



Echelle : 0 10 20 30 40 km

Fig. 1. — Sebkhjas du Sud-Est de la Tunisie

La Sebkhja el Melah, au Sud-Ouest de Zarzis, fait partie de la série des Sebkhjas qui, de Djerba à la Tripolitaine, occupent les bas-fonds de la plaine de la Djeffara : Sebkhja el Biban, Sebkhja el Melah, Mellahet el Brega, Mellahet ben Nouina, Sebkhret el Adibat, Sebkhret Tadet, etc... Séparée de la mer par un cordon littoral, elle se présente sous forme d'une vaste étendue plane de vingt kilomètres de long sur huit kilomètres de large, de quinze mille hectares de superficie (fig. 1). En hiver, les eaux de ruissellement provenant

de la terre, et les débordements de la mer qui, par fort vent d'Est, franchit le cordon littoral, inondent la majeure partie de la Sebkhah (fig. 2). L'été suivant, cette nappe liquide s'évapore laissant une étendue sèche absolument désertique dont le niveau moyen est à un mètre au-dessous du niveau de la mer. Le sol de la Sebkhah extrêmement salé et dans lequel apparaissent de gros cristaux de sel marin, est imprégné d'une eau très chargée en sels minéraux, sel marin, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, bromure de magnésium, chlorure de potassium enfin. Cette saumure s'épanche parfois en surface par des puits naturels, dits aïouns, au voisinage desquels le sol est extrêmement fissuré; la cheminée d'écoulement des saumures qui constitue l'aïoun ne tarde pas d'ailleurs à se recouvrir d'une couche de sels solides qui finit par l'obstruer complètement. Il convient de préciser que la gènèse et, dans une large mesure, le fonctionnement des aïouns restent encore inexpliqués.



Fig. 2. — Inondation de la Sebkhah

Au point de vue géologique, la Sebkhah se présente comme une vaste cuvette faisant partie de la zone de subsidence quaternaire correspondant à la plaine de la Djeffara. Les sédiments quaternaires de cette plaine, allant des croûtes gypseuses des plateaux au Sud de Zarzis, qui sont les plus anciens, aux alluvions des oueds et aux dunes de formation récente, reposent sur un miocène à allure très régulière. La Sebkhah apparaît comme une simple dépression de surface du miocène, dont les sondages ont confirmé l'allure extrêmement calme, remplie de sédiments quaternaires marins, continentaux ou lagunaires. La nature de ces sédiments reproduit fidèlement l'histoire

de la Sebkhâ. Au-dessus d'un fond, formé d'argiles sableuses très peu fossilifères, une couche gypsifère et salée, contenant de nombreux fossiles marins, correspond à une époque où la Sebkhâ, communiquant largement avec la mer, recevait des quantités importantes d'alluvions des oueds qui s'y décantaient. Puis, le climat devenant plus sec, la communication avec la mer se faisant plus précaire, une masse importante de sel marin, avec faible teneur en gypse, d'origine continentale, se déposa. A l'époque actuelle, enfin, caractérisée par un climat plus humide et par une alimentation plus importante à partir des oueds et de la mer correspond une couche alluvionnaire formée d'un mélange de sel marin et de gypse.

Le fait intéressant du point de vue minier, consiste dans l'imprégnation très générale des sédiments par une saumure contenant une proportion appréciable de sels de potasse. Les travaux de S.O.R.E.P.O. T.A. avaient pour but, en gros, d'étudier d'abord la possibilité, ensuite éventuellement, la rentabilité d'une exploitation qui aurait comporté le *pompage des saumures dans la Sebkhâ par puits filtrants*, l'extraction des sels contenus en salins et le traitement industriel des sels bruts ainsi recueillis, en vue de les rendre marchands. Il importe d'ailleurs de noter qu'au cours de la guerre 1914-1918, une exploitation avait déjà eu lieu, en vue d'extraire des saumures le brome, importante matière première industrielle. Traitant un million et demi de mètres cubes de saumure, pompées à partir de l'aïoun le plus important, on avait alors fabriqué deux mille tonnes de brome. Le Directeur de l'usine à brome, M. Bovis, s'était d'ailleurs intéressé également à la production de sels de potasse, et les résultats de ses études sur la cristallisation des saumures en salins constituent un document de base qui fut largement utilisé pour guider les travaux de S.O.R.E. P.O.T.A.

Bien que les études de S.O.R.E.P.O.T.A. aient été menées simultanément, il est commode pour la clarté de l'exposé, de décomposer en trois parties, reproduisant au fonds les trois étapes de l'exploitation envisagée, le compte rendu des résultats :

a) **Extraction de la saumure — Réserves**

Onze forages furent exécutés, dont les emplacements sont indiqués sur la figure 3 et qui, traversant les sédiments imprégnés, furent poussés jusqu'à la rencontre du substratum miocène constituant le fond de la Sebkhâ. Ces forages, qui avaient pour but de préciser la constitution géologique de la Sebkhâ, permirent de se rendre compte que l'on avait affaire à une cuvette dont le fond imperméable d'argiles rouges isole, hydrologiquement, le remplissage des terrains sous-jacents. Ce fait a malheureusement une grosse importance, car il détruit l'hypothèse d'une alimentation souterraine importante de la Sebkhâ, et par conséquent, d'un renouvellement des réserves. Bien qu'il ne soit pas exclu qu'une percolation souterraine apporte une certaine alimentation à partir de la mer (comme semblent le montrer des

perturbations locales relevées dans la composition des saumures prélevées au voisinage de la bordure Est de la Sebkhah), les seuls apports liquides importants qui paraissent possibles résultent du ruissellement des eaux de pluie ou des débordements de la mer par-dessus le cordon littoral. Un calcul, même grossier, montre que ces alimentations accidentelles ne sont pas de nature à influencer sensiblement sur le bilan hydraulique, encore moins sur le bilan en sels minéraux de la Sebkhah.

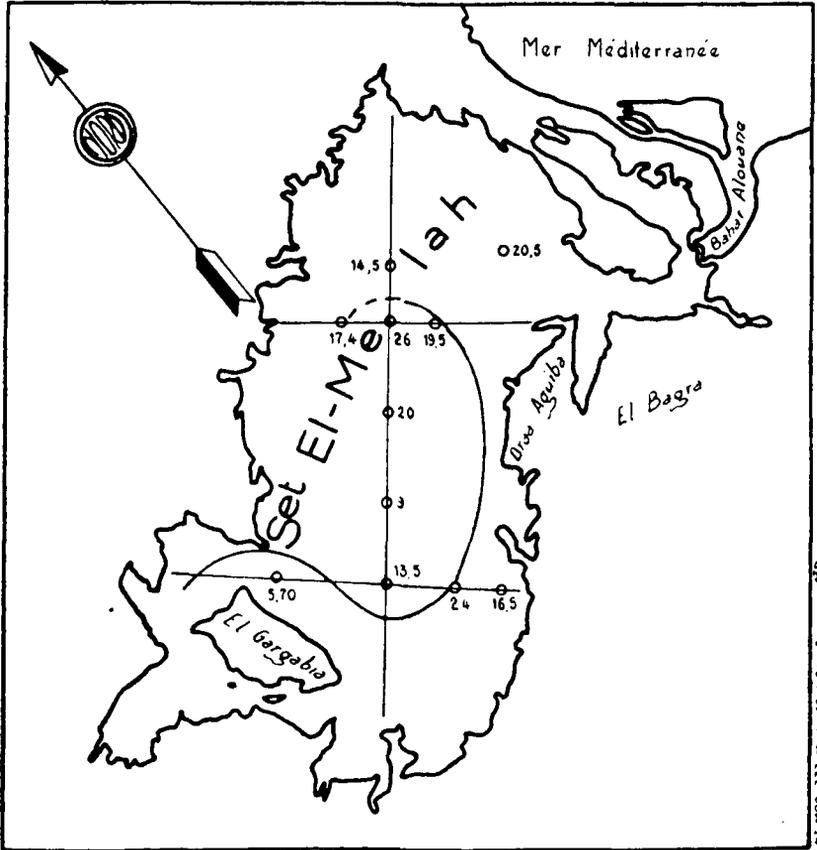


Fig. 3. — Carte des sondages exécutés par la S.O.R.E.P.O.T.A.

o : Sondages zone des Aïouns

13,5 : Profondeur atteinte

Ainsi, le calcul des réserves en saumure se ramène en définitive au calcul de la quantité actuellement en place. Il faut en plus tenir compte du fait que le volume de saumure exploitable par puits filtrants ne représenterait qu'une fraction du volume total en place. Dans le tableau ci-après, on trouvera une évaluation des réserves en saumure, établie en supposant une porosité des terrains de 20%

(qui paraît résulter des expériences limitées que l'on a pu effectuer) et un drainage possible de 40% des saumures en place.

Superficie exploitable	42 Km ²
Epaisseur moyenne des terrains exploitables	14,3 m.
Volume des terrains exploitables	605.000.000 de m ³
Volume de saumure contenue	120.000.000 de m ³
Volume de saumure drainable	48.000.000 de m ³

Il ne faut évidemment accorder aux chiffres précédents qu'une valeur indicative d'ordre de grandeur ; mais ils suffisent, nous le verrons plus loin, à montrer la faiblesse du tonnage récupérable.

On trouvera d'autre part dans le tableau ci-après un résumé des analyses que l'on a pu faire, en ce qui concerne les sels les plus importants contenus dans les saumures prélevées dans la Sebkhā. Ce tableau n'indique pas la teneur en sel marin, qui reste en moyenne de l'ordre de 150 grammes par litre de saumure.

Prélèvements	Teneur en g/litre de (1)			Teneurs en molécules pour 100 molécules en :		
	Mg Cl ²	SO ⁴ Mg	K Cl	Mg	SO ⁴	K ²
Sondage 2	132 »	34,9	17 »	80,6	13,9	5,48
Sondage 10	108 »	26,2	13 »	81,63	13,11	5,25
Sondage 8	130 »	31,4	15,6	81,69	13,07	5,22
Sondage 7	168 »	35,4	18,1	83,22	11,88	4,89
Sondage 15	167 »	34,4	18,8	83,69	11,70	4,59
Sondage 1	171 »	33,2	15,9	84,42	11,21	4,32
Aïoun 3 (1918)	146 »	36,9	16,8	81,73	13,26	5,00
Aïoun 3 (actuel)	178,6	35,8	16,6	84,15	11,54	4,30
Paroi Aïoun 3	160 »	33 »	12,9	84,00	12,32	3,67
Paroi Aïoun 3	216 »	42,7	17,7	84,74	11,44	3,81
Analyse 1916	141 »	32 »	13 »	83,21	12,63	4,15

(1) Mg Cl² : Chlorure de magnésium.
 SO⁴ Mg : Sulfate de magnésium.
 Cl K : Chlorure de potassium.

Les résultats de ce tableau, et surtout de la deuxième partie à droite, sont tout à fait remarquables, car ils montrent la constance de la composition des saumures, surtout si l'on ne considère que les échantillons correspondant à des saumures n'évoluant pas actuellement, c'est-à-dire prélevées dans les forages.

Enfin, les forages exécutés devaient permettre d'étudier les possibilités d'extraction de la saumure du gisement par pompage.

Les expériences faites montrèrent que l'épuisement du gisement par les couches inférieures du remplissage est possible et que le débit que l'on pourrait raisonnablement espérer à partir d'un puits filtrant est de l'ordre de cinq cents mètres cubes heure. Les essais ne pouvaient revêtir l'ampleur ni la durée qui auraient permis de prévoir l'évolution du débit dans le temps, dans le cas d'un pompage conti-

nu massif. Le seul fait que l'on peut citer donnant quelque indication à ce sujet est le pompage dans un aïoun, en 1917, de un million et demi de mètres cubes de saumure pour l'usine à brome, sans qu'aucune chute du débit ait été enregistrée.

b) Extraction des sels de potasse par salins

Les conditions locales d'une exploitation par salins furent tout d'abord déterminées sur place. Il apparut tout de suite que la surface des salins, si l'on voulait obtenir une production annuelle de sels de potasse correspondant à vingt mille tonnes d'oxyde de potassium (nous verrons plus loin l'explication de ce chiffre) devait être de l'ordre de huit cents hectares. Le sol de la Sebkha ne peut absolument pas convenir à l'établissement de salins car, formé de sable mêlé de sel marin, il entraînerait des pertes considérables de saumure par infiltration, à moins de consentir des dépenses prohibitives pour en assurer l'étanchéité (2). La seule solution acceptable consisterait en l'utilisation de la dalle calcaire située en bordure de la côte, qui pourrait être rendue étanche en y déversant une couche de vase noire prélevée dans la Sebkha ; néanmoins, dans ce cas, les salins seraient inondés chaque hiver, et les frais d'installation seraient très élevés.

D'autre part, le fonctionnement pendant un an d'une station météorologique permit d'étudier le climat de Zarzis, en ce qui concerne toutes les conditions influant sur l'évaporation des eaux : température, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, degré hygrométrique de l'air, etc... Les résultats obtenus permirent de mettre en évidence une saison favorable à la récolte dont on trouvera les caractéristiques ci-dessous : on remarquera le niveau élevé que garde toute l'année le degré hygrométrique de l'air ; ce fait est en soi extrêmement défavorable.

Grandeurs mesurées	Saison de récolte (1-5/31-10)	Saison défavorable (1-11/30-4)
Température à 6 h.....	20 à 23° C.	10 à 12° C.
Température à 12 h.....	28° C.	18° C.
Température à 18 h.....	24 à 27° C.	16° C.
Température moyenne.....	25° C.	15° C.
Degré hygrométrique moyen.....	67 %	70 %
Evaporation (eau pure).....	9 à 10 m/m jour	4 m/m jour

En outre, les essais d'évaporation en salins expérimentaux montrèrent que, compte tenu de la nécessité de limiter au maximum les pertes en salins par manque d'étanchéité, le rendement optimum des

(2) La grande perméabilité du remplissage de la sebkha contraste singulièrement avec l'imperméabilité du fond qu'il recouvre.

salins était obtenu pour une lame liquide de vingt centimètres de profondeur, l'évaporation journalière était en moyenne de 4 m/m pour une saumure densité moyenne 1,241, 3 m/m pour une saumure de densité 1,32. Ces chiffres peuvent être doublés ou triplés par temps de sirocco, tandis que l'addition de vert naphthol aux saumures permet de les augmenter de l'ordre de 10 à 20%.

L'étude des conditions même de la cristallisation et des sels que l'on pourrait obtenir en salin, firent l'objet d'essais, sur place et en laboratoire en France. Encore les essais sur place furent-ils fort incomplets du fait de l'irrégularité de la saison, et les résultats les plus intéressants furent obtenus en laboratoire, en reproduisant autant que possible les conditions d'une évaporation réelle à Zarzis. Avant d'exposer les résultats obtenus, il est bon de développer quelques considérations théoriques sur le problème posé. Les sels que l'on peut obtenir par cristallisation d'une solution contenant, en proportions diverses, les mêmes éléments que la saumure de la Sebkhâ sont extrêmement complexes.

Nous citerons ci-dessous les plus importants :

— Kaïnite	$\text{SO}^4\text{Mg, Cl K, 3 H}^2\text{O}$
— Carnallite	$\text{Cl}^2\text{Mg, Cl K, 6 H}^2\text{O}$
— Kieserite	$\text{SO}^4\text{Mg, H}^2\text{O}$
— Hexahydrate	$\text{SO}^4\text{Mg, 6 H}^2\text{O}$
— Bishoffite	$\text{Mg Cl}^2, 6 \text{H}^2\text{O}$

En 1917, par M. Bovis, Directeur de l'usine à brome de Zarzis, puis en 1948 dans les laboratoires spécialisés de la Métropole, des expériences ayant pour but de déterminer les précipitations isothermes (3) à espérer à partir des saumures de Zarzis furent effectuées. Toutes ces études amenaient à la conclusion que dans des conditions régulières d'évaporation, les saumures de Zarzis devaient déposer d'abord du sel marin, puis un mélange de sel marin et de sulfate de magnésium hydraté, plus ou moins accompagné, suivant la température, de Kaïnite ; le troisième terme de la précipitation, constitué par un mélange de sel marin, de carnallite et de sulfate de magnésium, ne commençant qu'après l'élimination de la majeure partie du sulfate de magnésium.

Mais les expériences effectuées montrèrent qu'il ne fallait pas espérer dans les conditions réelles d'une exploitation en salins (variation de température entre le jour et la nuit en particulier) d'élimination préalable du sulfate de magnésium : il n'y a en fait aucune phase intermédiaire entre la précipitation de sel marin et la précipitation carnallitique.

Pour fixer les idées, citons la composition des sels réellement obtenus :

a) Jusqu'à atteindre une concentration de 34° baumé se produit une

(3) Précipitations effectuées en évaporant une solution à température constante.

précipitation de sel marin, souillé de 1% de sulfate de calcium, de 1% de sulfate de magnésium, et de 3% de chlorure magnésium.

b) A partir de 34,5° Baumé, la saumure laisse déposer des sels de composition variable suivant les conditions extérieures de l'évaporation. On a obtenu par exemple en salin expérimental les compositions ci-dessous :

— Chlorure de potassium	16 à 19%
— Chlorure de magnésium	25 à 27%
— Sulfate de magnésium	7 à 10%
— Chlorure de sodium	8 à 16%

Ce sel est relativement riche en sulfate de magnésium, tandis que le sel déposé par l'évaporation naturelle des saumures s'épanchant des aïouns, est relativement très pauvre.

En résumé, nous pouvons conclure que par évaporation en salins, les saumures de Zarzis peuvent donner d'abord du sel marin relativement impur (sel industriel de deuxième qualité), puis un sel carnallitique mêlé à de fortes proportions de sulfate de magnésium, de chlorure de magnésium, et de chlorure de sodium.

Le rendement matière de l'opération, qui doit être arrêtée quand la concentration de la solution devient telle que l'absorption des rayons solaires est très limitée et ne permet plus d'évaporation rapide (environ 37,5° Baumé) serait de l'ordre de 75% en chlorure de potassium (c'est-à-dire que les eaux-mères que l'on doit évacuer en fin de salins emportent encore 25% du chlorure de potassium contenu dans la saumure initiale correspondante). D'autre part, si l'on tient compte du défaut d'étanchéité inévitable des salins, provoquant des pertes de saumure (et de sels contenus) par infiltration, le rendement global de toute l'opération est de l'ordre de 55%. Ainsi, pour un litre de saumure mise en évaporation, contenant environ 15 grammes de chlorure de potassium, on récupère 8 grammes de chlorure de potassium dans les sels bruts de salins.

c) **Traitement des sels bruts en vue de les rendre marchands**

Nous ne nous étendrons pas longuement sur les divers procédés qui ont été proposés pour extraire des sels bruts de salins un produit marchand. Qu'il nous suffise de définir les deux conditions que devraient respecter les procédés de traitement :

1°) Elimination des sels de magnésium et surtout de chlorure, nuisible aux plantes.

2°) Emploi de procédés mettant en œuvre le moins d'énergie possible (autre évidemment que l'énergie solaire).

Le procédé de traitement suivant fut retenu, à la suite d'études théoriques et pratiques effectuées en laboratoire en France :

1°) Décomposition de la carnallite brute obtenue en salins : le mode opératoire consiste à agiter pendant un temps assez long (une ou quelques heures) le sel de salin séché et broyé en présence d'un

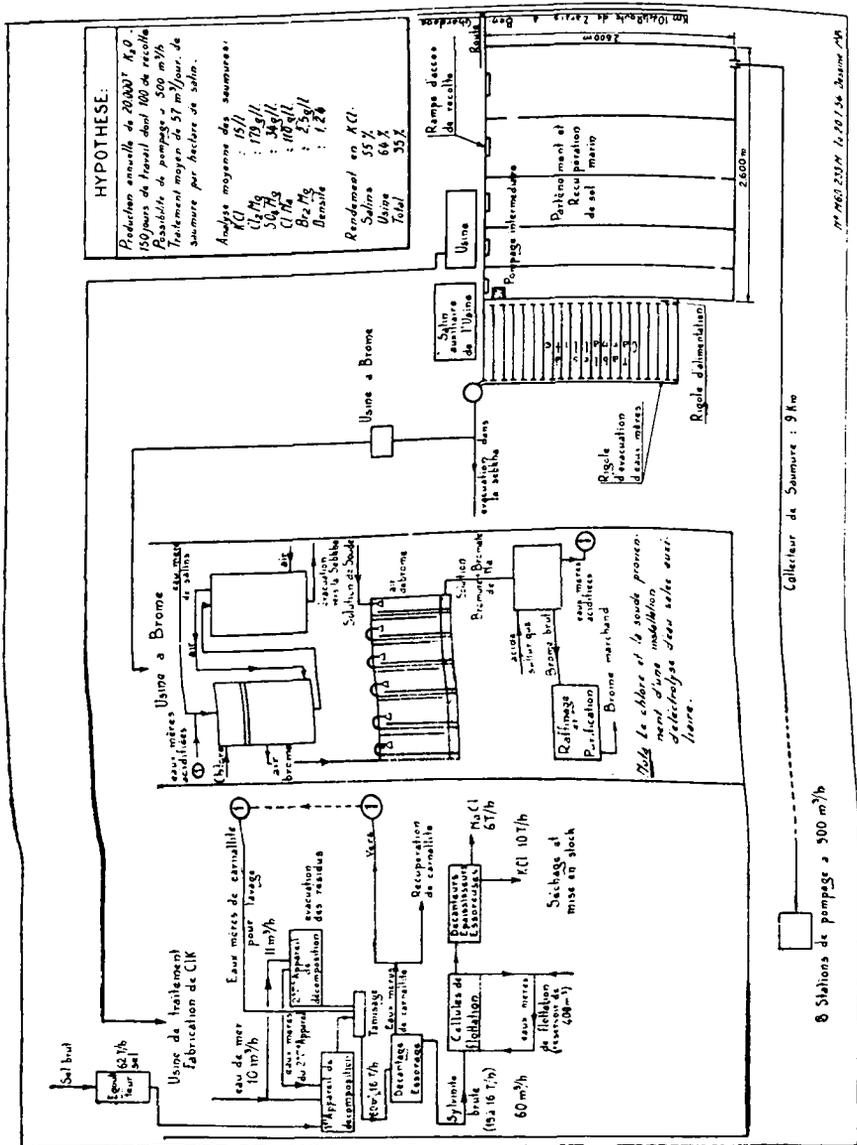


Fig. 4. — Schema d'une exploitation de 20.000 T. de potasse par an

solvant (eau, eau salée, lait de chaux, solution saturée de chlorure de sodium, alcool, etc...) ; les sels de magnésium passent alors en solution en presque totalité et peuvent être soit évacués, soit récupérés par évaporation. Le produit obtenu est une sylvinite brute (la sylvinite pure est un mélange en quantités égales de chlorure de potassium et de chlorure de sodium) encore souillée de quelques pourcents de sels de magnésium. Les résultats de l'opération sont d'ailleurs suffisamment constants pour que la quantité de solvant à employer puisse être déterminée a priori avec une bonne précision.

2°) Traitement de la sylvinite obtenue pour en extraire le sel marin par tamisage et flottation (flottation dans une solution saturée en chlorure de potassium et pauvre en chlorure de magnésium, l'oléate de sodium étant employé comme agent moussant). On peut obtenir ainsi un chlorure de potassium à haute teneur, avec un bon rendement.

Le rendement total du traitement décrit serait au maximum de l'ordre de 64% en chlorure de potassium (75% pour la décomposition du sel brut, 85% pour la flottation).

Etude économique et conclusion

Les éléments exposés dans ce qui précède montrent qu'à aucun moment le projet d'exploitation des saumures de la Sebkha el Melah ne rencontre d'obstacle technique majeur, toutes les opérations permettant d'arriver à un produit marchand ayant été expérimentées avec succès soit sur place, soit en laboratoire au stade semi-industriel.

L'étude économique pouvait donc partir de bases assez solides. Il fallait d'abord choisir la dimension de l'exploitation. Le niveau de la production annuelle est limité supérieurement par la nécessité d'assurer une exploitation de durée assez longue pour permettre l'amortissement raisonnable du matériel de traitement : en fait, une durée de quinze ans au moins paraît nécessaire pour une usine. Pour une réserve totale de :

$15 \times 48.000 = 720.000$ tonnes de chlorure de potassium récupérable, il faudrait prévoir une production annuelle maximum de 36.000 tonnes, soit environ 20.000 tonnes K^2O par an ; encore doit-on tenir compte du fait qu'en fin d'exploitation, les conditions dans lesquelles elle s'effectuerait seraient considérablement aggravées. D'autre part, pour obtenir une installation optima (comparable aux unités opérant en Allemagne) de traitement, et un niveau acceptable des frais généraux, il ne faudrait pas produire moins de 10.000 tonnes de K^2O par an. Ainsi, des calculs de rentabilité furent effectués, qui montrèrent qu'en toute probabilité, la production optima s'établirait à 20.000 tonnes K^2O par an.

Il a paru expédient de résumer dans le schéma de la figure 4, dans l'hypothèse d'une production de 20.000 tonnes d'oxyde de potassium par an, les installations à prévoir, en partant des hypothèses pratiques indiquées.

Une exploitation de cette taille pourrait fournir, outre les sels de potasse équivalent à 20.000 tonnes d'oxyde de potassium :

- 300.000 tonnes de sel marin de deuxième qualité
- 4.000 tonnes de brome.

La production de 4.000 tonnes de brome a été écartée car, d'une part, elle posait un problème de stockage et surtout d'alimentation en énergie (10 millions de KwH annuels) très difficile. En outre, sur un marché mondial déjà saturé (de l'ordre de 30.000 tonnes), le placement de 4.000 tonnes de brome serait pratiquement impossible, à un prix couvrant le seul prix de revient marginal de sa production.

Dans ces conditions, on peut préciser quelles auraient été les conditions financières d'une exploitation en 1950, période de relative euphorie économique, cette exploitation étant, au point de vue technique, supposée se dérouler dans les conditions les plus favorables, c'est-à-dire :

- production de 20.000 tonnes d'oxyde de potasse, et de 300.000 tonnes de sel marin, sans production annexe de brome.
- campagne annuelle de 180 jours.
- Amortissements en quinze ans (on laisserait le quart du gisement en place parce que trop difficile à extraire).

Il fallait alors prévoir un investissement total de 2.600 millions, pour une recette annuelle maxima de 510 millions. Les amortissements devaient être de 170 millions environ, les frais d'exploitation de 270 millions ; la marge entre les recettes et les dépenses serait de l'ordre de 70 millions, insuffisante à rémunérer le capital investi (il faudrait 130 millions pour le rémunérer à 5%).

On comprend parfaitement que dans ces conditions, la S.O.R.E. P.O.T.A. ait préféré éviter une entreprise qui, même dans les meilleures conditions, paraissait si peu intéressante au point de vue financier.

Depuis 1950, les conditions se sont encore aggravées et ont encore renforcé la position de la S.O.R.E.P.O.T.A. Tandis que les prix industriels en Tunisie ont augmenté de 20% depuis 1950, et les salaires de 37%, le prix de vente mondial de la potasse a baissé de 10%, celui du sel marin de 25% en moyenne. Ainsi, l'exploitation de Zarzis aurait été dès le début de son fonctionnement, placée dans une situation financière extrêmement difficile, bien pire qu'on ne pouvait même le prévoir en 1950.

II. — RESULTATS DE LA PROSPECTION DU CHOTT DJERID

L'étude de la Sebkh el Melah avait eu pour base d'anciens travaux et, de ce fait, était tout indiquée pour un début. Dans le Chott Djerid, aucune exploitation, même embryonnaire, n'avait eu lieu, et la S.O.R.E.P.O.T.A. avait donc, en s'aidant des résultats acquis à

Zarzis, à effectuer un travail absolument inédit. Même sans mentionner la présence à Tozeur du départ d'un chemin de fer permettant l'évacuation facile et économique des produits d'une éventuelle exploitation, les raisons qui ont fait choisir le Chott Djerid apparaissent tout de suite. En effet, l'obstacle essentiel s'opposant à la mise en exploitation de la Sebkha el Melah, était la faiblesse — et l'incertitude — des réserves exploitables. On pouvait espérer que le Chott Djerid, beaucoup plus vaste et profond, contiendrait, lui, de quoi alimenter une exploitation de longue durée.

Le Chott se présente grossièrement sous forme d'une ellipse dont les axes auraient respectivement cent dix et soixante-dix kilomètres, et de superficie approximative : cinq mille kilomètres carrés. La surface du Chott est extraordinairement plane et aride (fig. 5) ; ses bords Sud très plats, formés de dunes de sable, contrastent singulièrement avec les bords Nord, dominés par un relief de collines beaucoup plus accentué (Djebel Kerfane, Djebel Morra, Djebel el Asker, Djebel Sif el Laham, Djebel Hachichina, Djebel Haidoudi, Djebel Torrich).

Sur l'origine de ce Chott, et de tous les Chotts du Sud, on a, dans le passé, beaucoup discuté. Certains admettaient qu'il constitue une dépression naturelle comblée par des sédiments continentaux récents, imprégnés d'une saumure provenant du lessivage par les eaux de pluie des affleurements triasiques voisins. D'autres le considéraient comme un ancien golfe communiquant avec le Golfe de Gabès, comblé peu à peu par les sédiments ; dans cette dernière hypothèse, les sels minéraux qu'il contient, solides ou dissous dans l'eau interstitielle, ne seraient que les restes, plus ou moins remaniés, des sels contenus dans l'eau de mer, et auxquels s'ajouterait d'ailleurs un apport provenant du lessivage des terrains voisins par les eaux de ruissellement. Il faut noter que les sondages effectués dans le Chott par la S.O.R.E.P.O.T.A. ont permis la découverte de fossiles nettement marins (foraminifères, crustacés) et d'une faune fossile identique, dans certains cas, à celle qui avait été trouvée dans la Sebkha el Melah, dont l'origine marine paraît peu douteuse. Ainsi, un certain nombre d'arguments renforcent l'hypothèse attribuant au Chott Djerid une origine marine.

Logiquement, on peut considérer le Chott comme une cuvette, probablement envahie par la mer, puis par une lagune d'origine marine, à une certaine époque et dont le remplissage alluvionnaire se serait effectué pendant le quaternaire. La structure et la nature géologique du fond de la cuvette ne sont pas connues, sauf sur les bords. On verra plus loin qu'au point de vue d'une éventuelle exploitation, cette connaissance serait dépourvue d'intérêt. Par contre, les forages de la S.O.R.E.P.O.T.A. ont permis de préciser en quelques points, la nature profonde du remplissage.

La surface est constituée par une mince couche de sel blanchâtre sous laquelle se succèdent des couches argilo-gypseuses horizontales d'allure extrêmement tranquille et qui au Nord vont buter contre des sédiments plus anciens fortement redressés. Le faciès argilo-gypseux, interrompu parfois par des couches lenticulaires de gypse



Fig. 5. — Vue de la surface du Chott

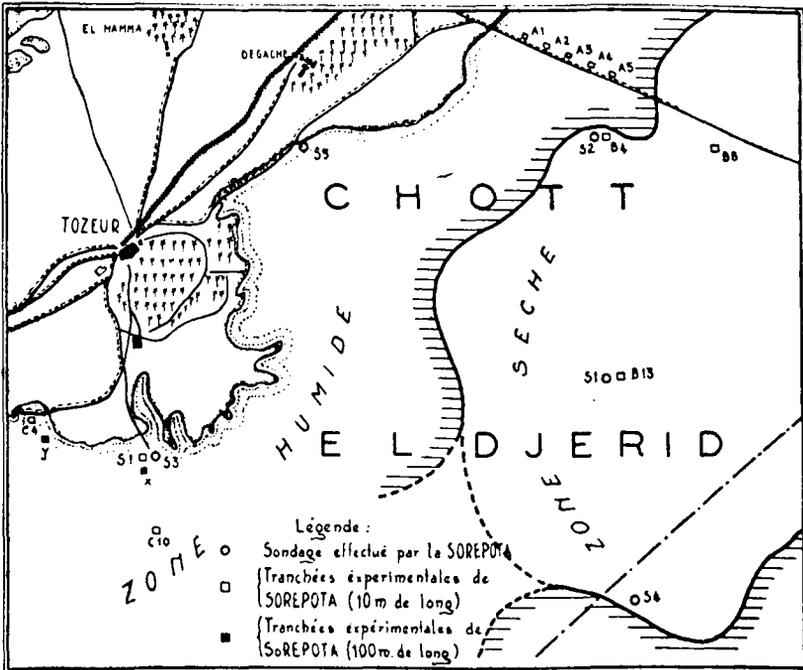


Fig. 6. — Sondages et tranchées de la S.O.R.E.P.O.T.A.

crystallisé, est remarquablement constant sur toute la surface connue du Chott. Il repose sur un ensemble sableux où se manifestent encore des intercalations argilo-gypseuses. Tout ce que l'on peut dire sur l'épaisseur de ces sédiments c'est que le fond de la cuvette qu'ils comblent paraît se relever en pente douce vers le Sud et se relever au contraire brutalement vers le Nord ; c'est donc au Nord que l'on devrait enregistrer les plus grandes épaisseurs. Les sédiments de remplissage, quels qu'ils soient, sont imprégnés d'une saumure riche en sels de potasse, dont on donnera plus loin la composition.

Les travaux de la S.O.R.E.P.O.T.A. sur le Chott Djerid furent beaucoup plus limités qu'à Zarzis, car dès le début il apparut qu'un obstacle technique, la difficulté extraordinaire à récolter des saumures en quantité industrielle et de teneur suffisante, handicaperait dès le départ toute exploitation : l'étude ne fut donc pas poussée au-delà de la détermination des réserves et des possibilités d'extraction.

Dans un premier programme de prospection par sondages, la zone à reconnaître avait été délimitée par un périmètre compris entre la piste de Kriz Kebili, une ligne Nord-Sud passant par Tozeur, une autre passant à vingt-cinq kilomètres à l'Est de Tozeur et une ligne Est-Ouest à vingt kilomètres au Sud de Tozeur.

Le choix de ce périmètre répondait au souci d'opérer dans une zone où l'on puisse circuler facilement, et en particulier établir des sondes. En fait, les cheminements effectués sur le Chott permirent de délimiter une zone relativement sèche où des véhicules légers pouvaient circuler, et une zone humide où aucune circulation autant en véhicule léger qu'à pied n'était possible : le programme de sondages fut modifié en conséquence. On trouvera l'indication des cinq emplacements retenus sur la figure 6 (S¹ à S⁵).

Les résultats des sondages, au point de vue géologique, sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Sondages	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Faciès des terrains					
Faciès argilo-gypseux	0 à 47 m.	0 à 70,5 m. fin du sondage	0 à 17,5 m.	0 à 37,5 m.	0 à 22 m.
Faciès à couches de sable siliceux	47 à 124,5		17,60 à 70 m. fin du sondage	37,5 à 62 m	22 à 88,5 m fin du sondage
Fonds présumé de la cuvette	124,5 (fin du sondage à 130 m.)			62 m. (fin du sondage à 70 m.)	

On peut voir par ces résultats que les variations d'épaisseur des couches sur ce bord Nord du Chott sont extrêmement importantes, bien que les mêmes faciès se retrouvent de façon très constante.

Dans le graphique 7, on a figuré un schéma des sondages 1, 2 et

3, en indiquant les teneurs en chlorure de potassium des saumures prélevés à diverses profondeurs.

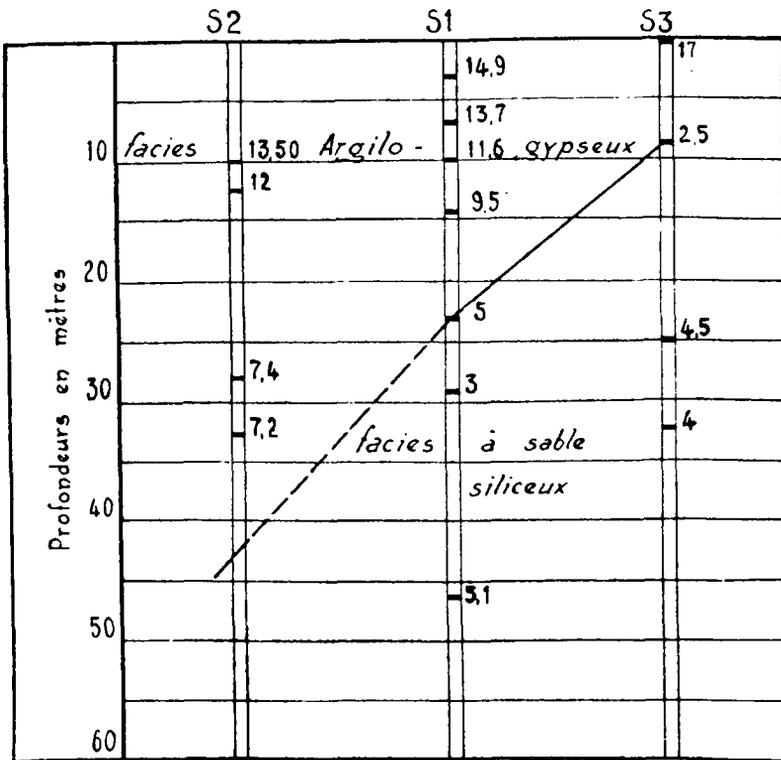


Fig 7: Teneurs en ClK dans les Sondages 1, 2 et 3

Ces résultats, si incomplets soient-ils, suffisent à montrer que la séparation entre les faciès de terrains est en même temps une frontière à partir de laquelle les saumures ont une teneur très faible en chlorure de potassium. Le bloc argilo-gypseux supérieur aurait conservé la masse des sels minéraux, une certaine quantité de sels étant toutefois contenue dans le faciès perméable sous-jacent qui, accessible du fait même de la perméabilité des terrains aux apports d'eau douce latéraux, ne contient que des saumures très diluées, dont la teneur en chlorure de potassium ne dépasse pas cinq grammes. La teneur en chlorure de magnésium des saumures ne dépasse guère trente grammes au litre et tombe souvent à moins de dix grammes. Enfin, les analyses ont permis de mettre en évidence une zone où les saumures extraites sont relativement riches en sulfate de magnésium (de dix à quinze grammes/litre) et une autre où la teneur en sulfate de magnésium est très faible (parfois moins de un gramme/litre). Ainsi, à la différence de ce qui s'était passé à Zarzis, le fait dominant au Chott Djerid est une extrême diversité des saumures prélevées, à la fois en ce qui concerne les densités, c'est-à-dire la

teneur globale en sels par litre, et en ce qui concerne les proportions des différents sels contenus. Un tel fait compliquerait singulièrement les modalités d'extraction en salins, qu'il faudrait à tout instant adapter aux variations de concentration et de composition des saumures traitées.

Les résultats des essais de pompage furent encore moins encourageants. En effet, tandis que le faciès argilo-sableux permet d'obtenir un débit de vingt mètres cubes/heure, en raison de sa grande perméabilité, le faciès argilo-gypseux ne donne qu'un débit très faible, de l'ordre de 1,5 mètres cubes/heure. Situation éminemment défavorable puisque les débits acceptables ne pourraient être obtenus que dans les zones où les réserves de saumure sont à faible teneur, si faible qu'elles seraient inexploitablement par salins. On ne pouvait donc envisager une extraction des saumures par puits filtrants.

Compte tenu du fait que les saumures contenues dans les couches superficielles sont les plus riches en sels de potasse, il parut intéressant d'envisager l'étude du drainage de la surface du Chott à l'aide de tranchées. Dans ce but, trente-trois tranchées de dix mètres et deux de cent mètres de longueur furent creusées pour étudier les possibilités de drainage des couches superficielles. Dans la zone sèche, où les forages avaient eu lieu, les tranchées de dix mètres avaient une section rectangulaire (un mètre de largeur et deux mètres de profondeur). Dans la zone humide, il fallut adopter pour éviter les éboulements, une forme trapézoïdale (2,5 mètres de grande base en surface, un mètre de petite base au fond, deux mètres de profondeur). Dix-huit tranchées furent creusées dans la zone sèche, le reste dans la zone humide (fig. 8 et 9).

Dans la zone sèche, les mesures effectuées révélèrent un débit insignifiant, alors que la concentration des saumures est la plus élevée qu'on ait rencontrée dans le Chott Djerid (poids spécifique de 1,238 teneur de douze grammes de chlorure de potassium au litre) : ce fait s'explique facilement si l'on songe que l'imperméabilité des terrains superficiels permet, dans ces zones, une appréciable concentration sur place par évaporation.

Dans la zone humide où les conditions étaient beaucoup plus encourageantes, les études de débit furent plus nombreuses et c'est dans cette zone en particulier que furent creusées les deux tranchées de cent mètres de long dont il a été parlé plus haut. On a pu alors faire les remarques suivantes :

Sur les bords du Chott, les débits sont irréguliers et les teneurs en sels de potasse faibles, car il a dû y avoir apports locaux d'alluvions ou d'eaux douces différents d'un point à un autre, modifiant profondément la perméabilité des couches superficielles, et la concentration des saumures d'imprégnation.

Sans que la régularité absolue s'établisse, on constate, quand on se déplace vers le centre du Chott, à la fois une augmentation du débit horaire drainé par les tranchées, et de la teneur en sels de potasse. Néanmoins, le débit reste faible et ne dépasse pas, par dix mètres de tranchées, deux mètres cubes/heure. De faibles variations



Fig. 8. — Tranchée avant remplissage



Fig. 9. — Tranchée après remplissage

de faciès des couches recoupées suffisent à introduire des différences considérables entre deux tranchées très voisines.

D'autre part, quel que soit le lieu d'expérience, l'imperméabilité des couches recoupées rend le drainage extrêmement lent ; et la circulation difficile des saumures à travers les couches superficielles ne laisse guère espérer que le drainage atteigne des zones très éloignées des tranchées elles-mêmes.

Quel serait, dans ces conditions, l'avenir d'une exploitation par tranchées ? Le calcul, s'appuyant sur les résultats obtenus et dont il a été rendu compte plus haut, montre que pour une production de sels potassiques correspondant à vingt mille tonnes d'oxyde de potassium par an, il faudrait construire soixante kilomètres environ de tranchées, par exemple en quatre tranchées de quinze kilomètres de longueur. Dans les hypothèses les plus favorables où l'on arriverait par tranchées à drainer sur dix mètres de profondeur jusqu'à une distance double de la longueur des tranchées, en supposant les quatre tranchées disposées en éventail autour du point de récolte (4), la durée maximum d'une exploitation produisant l'équivalent de vingt mille tonnes d'oxyde de potassium par an serait à peine de neuf ans. Dès lors, les charges d'amortissement et les frais d'entretien très élevés des tranchées et des salins inondés chaque hiver, rendent toute exploitation impossible, dans des conditions satisfaisantes de rentabilité.

CONCLUSION D'ENSEMBLE

Bien qu'à priori il ait pu paraître séduisant de procéder à l'exploitation des richesses naturelles en sels de potasse que la Tunisie possède dans le Sud, les travaux de la S.O.R.E.P.O.T.A. ont montré qu'une étude plus approfondie des problèmes posés devait inspirer beaucoup moins d'optimisme. Dans les deux cas étudiés, les conditions naturelles sont en effet si défavorables qu'elles rendent tout à fait déficitaire l'exploitation même la plus simplifiée. Au fond, si l'on songe aux difficultés qu'a pu rencontrer l'exploitation de la Mer Morte, où pourtant les conditions étaient beaucoup plus favorables que dans le Sud Tunisien, tant par l'importance des réserves que par la facilité de leur extraction et par la qualité du climat, on ne doit pas être trop surpris des résultats obtenus en Tunisie. Beaucoup de problèmes relatifs aux Sebkhass du Sud restent encore à résoudre et l'on ne peut que souhaiter de les voir élucidés à l'avenir. Mais le résultat des travaux de la S.O.R.E.P.O.T.A., sans parler de leur intérêt scientifique, aura au moins été de montrer que du point de vue industriel, le manque d'intérêt des gisements liquides est à peu près total.

Henri RASTOUL,
Ingénieur Principal
des Travaux Publics.

(4) Cette disposition serait imposée par la nécessité de centraliser les saumures recueillies dans un salin unique situé sur les bords du Chott au voisinage de l'usine de traitement.