

المملكة المغربية
ROYAUME DU MAROC

المكتب الوطني للصيد
OFFICE NATIONAL DES PÊCHES

DEVELOPPEMENT DE LA PECHE MARITIME

INSTITUT SCIENTIFIQUE DES PÊCHES MARITIMES

Régime hydrologique et Hydrodynamique
de la Sebkhia Bou Areg.

(Lagune de Nador - Maroc).

Bilan du Printemps 1976.

Par

Michel TESSON (1).

Travaux et Documents n°21.

Casablanca

Mars 1977.

A V A N T - P R O P O S

La Sebka Bou Areg, ou " Mar Chica de Nador ", avec sa superficie de 115 Km², est la plus grande lagune du Maroc. De ce fait, pour des raisons variées mais convergentes, elle a retenu l'attention de plusieurs organismes scientifiques et techniques, relevant de ministères différents :

- La Faculté des Sciences, de l'Université Mohammed V, trouvant là un excellent terrain d'études géologiques et sédimentologiques,

- Le Ministère des Travaux Publics (- Direction des Ports Secondaires) pour qui la lagune est liée à l'aménagement de la région ,

- L'Institut Scientifique des Pêches Maritimes (Office National des Pêches), enfin, qui estime cet endroit riche en possibilités pour la pêche lagunaire, d'une part, mais surtout pour l'élevage d'espèces commerciales, telles que les crevettes ou les moules, d'autre part.

Ainsi, l'étude de la Sebka Bou Areg est avant tout une entreprise collective réalisée grâce aux efforts conjugués de ces différents organismes.

Les premières études, commencées en 1976 et qui seront poursuivies en 1977, ont pour objectif principal la compréhension des problèmes spécifiques à la lagune, dont l'évolution peut avoir des conséquences directes sur les populations riveraines. Elles auront donc un aspect plutôt fondamental mais leur caractère technique et appliqué restera toujours sous-jacent.

Elles seront mises en parallèle avec d'autres travaux intéressant plus directement l'Office National des Pêches, à savoir l'évaluation de l'état des stocks halieutiques et leur évolution probable, l'étude des problèmes liés à la pollution de la lagune, et des expériences d'aquiculture.

Ces différents aspects seront soulignés par la publication fragmentaire de rapports scientifiques marquant les stades successifs d'avancement des connaissances.

Il nous appartient, au commencement de ces travaux, d'adresser nos remerciements aux personnes qui nous ont assurés de leur concours :

- Monsieur LAYACHI, Directeur des Ports secondaires au Ministère des Travaux Publics.
- Monsieur le Colonel NAJIH, ayant permis l'installation de notre mission sur le terrain militaire de l'Atalayoun.
- Monsieur MOUJANE, ingénieur des Travaux Publics de Nador, et tous ses collaborateurs, pour leur aide matérielle de tous les instants.
- Monsieur le Chef du Quartier Maritime de Nador.
- Monsieur le Délégué de l'O.N.P à Al Hoceima.

R E S U M E.

L'étude complète de la Sebkhya Bou Areg (lagune de NADOR, Maroc) a été commencée en 1976.

Un exposé des connaissances antérieures sur l'environnement de la lagune (cadre géologique, océanographique et hydrographique) et sur le milieu lagunaire proprement dit précède la présentation des observations effectuées au mois de juin 1976.

Les données hydrologiques (température, salinité, oxygène dissous) et hydrodynamiques (évaluation des échanges entre la lagune et la mer Méditerranée) montrent une diminution des apports marins et une dessalure des eaux lagunaires. On note, en outre, une mauvaise homogénéisation des masses d'eau.

Ces phénomènes doivent entraîner des modifications des conditions hydrodynamiques et biologiques du milieu lagunaire.

S U M M A R Y.

The complete study of Sebkhya Bou Areg (lagoon of NADOR, Marocco) started in 1976.

A statement of previous knowledges upon environment of the lagoon (geologic, oceanographic and hydrographic plan) and also upon the very lagoon circle, precedes the introduction of observations carried on in June 1976.

Hydrologic data (temperature, salinity and dissolved oxygen) and hydrodynamic ones (estimates of exchanges between the lagoon and Mediterranean Sea) show a diminution of marine broughths and a soaking of lagoon waters Besides, we notice a homogeneousless of water mass.

These phenomena must lead to modifications of the lagoon circle hydrodynamic and biological conditions.

- - - - -

1) INTRODUCTION

2) LE CADRE REGIONAL

2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

- Situation
- Topographie
- Hydrographie

2.2. CADRE GEOLOGIQUE

2.3. CLIMATOLOGIE

- Pluviométrie
- Températures
- Vents

2.4. BILAN HYDROLOGIQUE

- Hydrologie continentale de surface
- Hydrologie - Etude des nappes phréatiques
- Eaux Méditerranéennes
- Irrigation

2.5. OCEANOGRAPHIE

- Océanographie physique
- Océanographie géologique

3) LE MILIEU LAGUNAIRE

3.1. MORPHOLOGIE ET BATHYMETRIE

- Morphologie
- Bathymétrie

3.2. NATURE DES FONDS

3.3. MILIEU BIOLOGIQUE

- Peuplement animal et végétal
- Inventaire ichtyologique
- Equilibres biologiques

4) REGIMES HYDROLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE LAGUNAIRES ACTUELS

4.1. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES EAUX

- Salinités
- Oxygène dissous
- Températures
- Bilan

4.2. FONCTIONNEMENT DE LA BOKHANA

- Morphologie
- Courants de marée
- Débits liquides
- Nature des échanges hydrologiques
- Bilan des échanges Méditerranée/Sebka bou Areg

4.3. APPORTS D'EAUX DOUCES

- Approche quantitative
- Localisation des exutoires

4.4. SCHEMA HYDRODYNAMIQUE ACTUEL

- Description
- Incidences possibles
- Notion d'unités hydrologiques

5) EVOLUTION HYDROLOGIQUE RECENTE

5.1. LA SEBKA BOU AREG EN 1960

- La Bokhana
- Echanges avec la Méditerranée
- Hydrologie lagunaire
- Bilan hydraulique

5.2. NATURE DES EVOLUTIONS

- Morphologie lagunaire
- Bilans hydrauliques
- Hydrologie lagunaire
- Nature des fonds

6) CONCLUSIONS

7) BIBLIOGRAPHIE

1) INTRODUCTION

Le travail exposé ici représente le premier d'une série destinée à éclaircir les problèmes posés par la Lagune de Nador. Il comporte deux grandes parties.

La première partie est consacrée à un récapitulatif, aussi détaillé que possible, des données actuellement disponibles sur l'ensemble de l'environnement de la lagune de Nador. En effet, un tel milieu n'est pas strictement clos, et ses caractéristiques actuelles sont déterminées par son passé géologique aussi bien que par les agents dynamiques qui l'affectent.

Il ne sera plus revenu sur cette présentation de l'environnement lagunaire, qui servira de référence pour les travaux ultérieurs. Seuls quelques points seront complétés par des études spécifiques.

La deuxième partie est consacrée au bilan des régimes hydrologiques et hydrodynamique de la Sebka Bou Areg, pour le printemps 1976.

Les mesures classiques de température, salinité, oxygène dissous ont été effectuées en surface et au fond sur dix-sept stations réparties sur toute la surface lagunaire. Ces mesures ont été répétées pour éliminer les petites variations journalières et elles ont été complétées par des stations en point fixe. Des mesures courantométriques ont en outre, été effectuées dans la passe afin d'évaluer les échanges entre la Méditerranée et la lagune.

Les résultats ne concernent donc qu'une seule saison, et il serait peu judicieux de les généraliser. Toutefois, il apparaît un certain nombre de caractères qui permettent compte tenu du passé de la lagune d'avancer certaines idées sur sa situation actuelle et sur son évolution.

2) LE CADRE REGIONAL

2.1. LE CADRE GEOGRAPHIQUE

a) Situation

Localisée sur la côte méditerranéenne, entre le Cap des Trois Fourches au Nord-Ouest et le Cap de l'Eau au Sud-Est, la Sebka Bou Areg était autrefois dénommée " Mar Chica " ou Petite Mer ", par opposition à la Méditerranée ou Mar Grande. C'est une grande lagune, de 115 Km² de superficie, s'étendant entre les méridiens 2° 55 et 2° 45, au niveau du parallèle 35° 10 Nord. Elle se situe donc à l'extrémité Est du Rif Oriental Marocain.

b) Topographie

La lagune occupe la majeure partie de l'extrémité aval d'une sorte de gouttière orientée grossièrement Sud-Ouest-Nord-Est. Cette gouttière est constituée par deux plaines étagées se relayant vers la mer, la plaine du Gareb et la plaine de Bou Areg.

Le littoral se présente sous la forme d'un arc de cercle, de concavité tournée vers le large, et ses deux extrémités constituées par le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau matérialisent une direction locale de la côte Nord-Ouest - Sud-Est.

La plaine intérieure (plaine du Gareb), de topographie régulière à base de bombements très amples de glacis quaternaires, est assez aride.

La plaine aval (plaine du Bou Areg) qui lui fait suite, après un étrangelement dû aux plateaux villafranchiens de Selouane, dessine un croissant autour de la Sebka Bou Areg. Elle descend en pente régulière vers la mer.

L'ensemble constitué par ces deux plaines est encadré par deux alignements de hauteurs topographiques dessinant une sorte de V dont les extrémités des branches seraient les deux caps " des Trois Fourches " et " de l'Eau."

Le premier alignement, N-NE/S-SE, est constitué par le massif volcanique du Gurugu relayé au S.O. par les Beni Bou Ifrouer et le Jebel Tistoutine, alors que le second alignement E-NE/O-SO comprend la chaîne des Kbdana et les Kerker au S.O. Le bassin versant ainsi délimité a une superficie d'environ 900 Km² dont 400 Km² pour les deux plaines.

La topographie côtière est dominée par la nature de l'arrière pays. Ainsi, au Nord-Ouest, l'alignement sur-élevé du Cap des Trois Fourches massif du Gurugu détermine une côte très accore, aux pentes raides et tourmentées plongeant directement dans la méditerranée, jusqu'à Melilla.

Entre Melilla et l'extrémité Nord-Est de la lagune, les pentes raides du Gurug sont séparées de la Méditerranée par des glacis dont le niveau inférieur, en pente adoucie et inter-pénétrés de dépôts marins se raccorde avec l'extrémité Nord-Ouest de la lagune. Puis, au Sud-Est de Nador, la basse plaine de Bou Areg donne un relief continental très aplati à pente très douce.

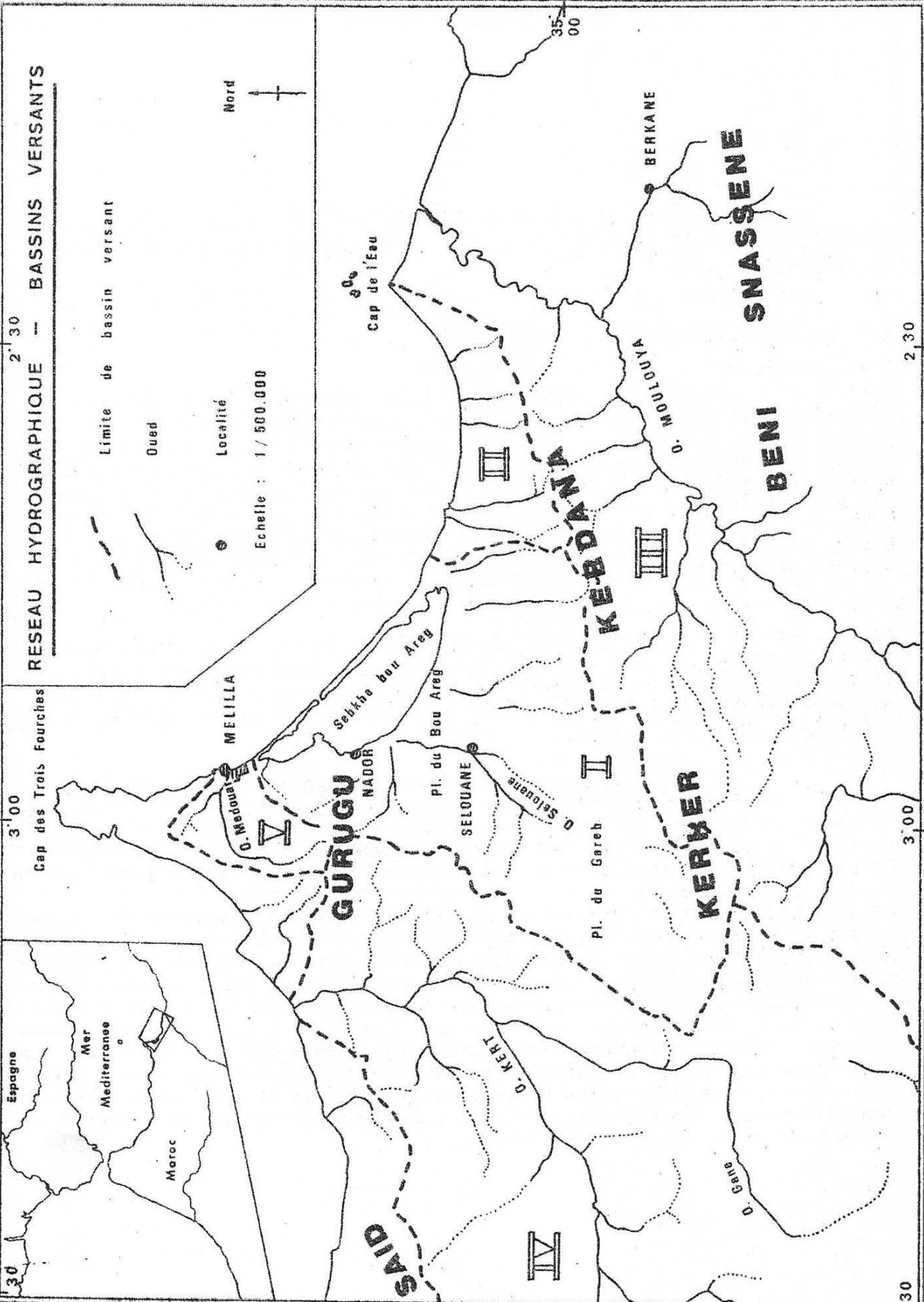
Entre l'extrémité S.E. de la lagune et le Cap de l'Eau, le flanc nord du massif des Kbdana présente une pente assez régulière, quoique notable, vers la mer. Ce piedmont des Kbdana, profondément raviné par l'érosion linéaire des oueds, se termine vers la mer par une falaise pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Les nombreux oueds entaillant le piedmont atteignent la mer où ils élaborent des cônes de déjection.

c) Hydrographie (planche 1)

Il n'existe pas de fleuve ou rivière d'importance notable dans la région de notre étude. L'ensemble constitué par les plaines du Gareb et du Bou Areg, de superficie restreinte, forme un bassin versant clos. Les fleuves voisins, Oued Kert à l'Ouest et Moulouya à l'Est, drainent par ailleurs une partie des massifs montagneux encadrant ce bassin. Quant au massif des Kbdana, ses eaux de ruissellement, entre l'extrémité Sud-Est de la lagune et le Cap de l'Eau, alimentent les très nombreux Oueds entaillant le piedmont et sont évacuées directement dans la Méditerranée.

Dans le bassin versant nous intéressant, les petits oueds sont très nombreux, mais, en règle général, leur lit se perd dans la basse plaine de Bou Areg. Lors des orages méditerranéens, il arrive parfois que les écoulements atteignent la lagune. Le plus souvent les eaux s'infiltrent en cours de route.

RESEAU HYDROGRAPHIQUE -- BASSINS VERSANTS



Le seul oued à écoulement plus important est l'oued Selouane, très souvent desséché et alimenté en grande partie par la nappe phréatique de la plaine de Gareb.

2.2. LE CADRE GEOLOGIQUE (planche 2)

La lagune se place dans un cadre géologique fort complexe dont l'étude d'ensemble n'avait été qu'approchée jusqu'à maintenant, les investigations géologiques ayant été surtout motivées par les problèmes de métallogénie. Les connaissances géologiques en général viennent d'être bouleversées par le concept, nouvellement repensé et admis par la communauté scientifique, de " tectonique des plaques ". Or, dans ce schéma, cette zone d'étude présente les caractéristiques supposées propres à une zone de contact entre les deux plaques Afrique et Europe. Il y a donc de fortes chances que toutes les connaissances acquises soient bientôt reconsidérées, et que des recherches nouvelles soient entreprises.

Cela peut avoir une incidence directe sur cette région car, les plaques Afrique et Europe sont animées d'un mouvement différentiel permanent. On peut donc supposer que, même si la région est en phase de repos ou inactive, il n'en a pas été de même très récemment encore, et que cela pourrait ne pas durer.

Tout cela sera repris dans une publication ultérieure sur la gènesse de la Sebkhia Bou Areg, essayant de reconstituer les milieux de sédimentation anciens et actuels, à la lumière de la tectonique locale et des phases d'oscillation de la Méditerranée au Quaternaire. Ce paragraphe ne fournit donc qu'une esquisse du cadre géologique tel qu'admis jusqu'alors.

L'ensemble géologique local peut être caractérisé par l'opposition entre des formations autochtones (Infra-Lias à Jurassique) permettant de considérer qu'il s'agit d'un avant-pays atlasique, et des lambeaux subsistant localement d'une nappe d'éléments (paleozoïque, Trias, Lias + marno-schistes) d'affinités rifaines, aux racines inconnues mais situées très au Nord, mise en place à l'Helvétien (Miocène). Les formations plus récentes recouvrent ou bordent ces ensembles, selon une géométrie liée aux fluctuations marines et aux déformations de ces unités antérieures, jusqu'au Quaternaire récent, avec des intercalations locales plus ou moins importantes d'un volcanisme à andésites, trachytes, basaltes mis en place de la fin du Miocène jusqu'au début du Quaternaire.

SCHEMA STRUCTURAL DU MAROC ORIENTAL

Cap des Trois Fourches

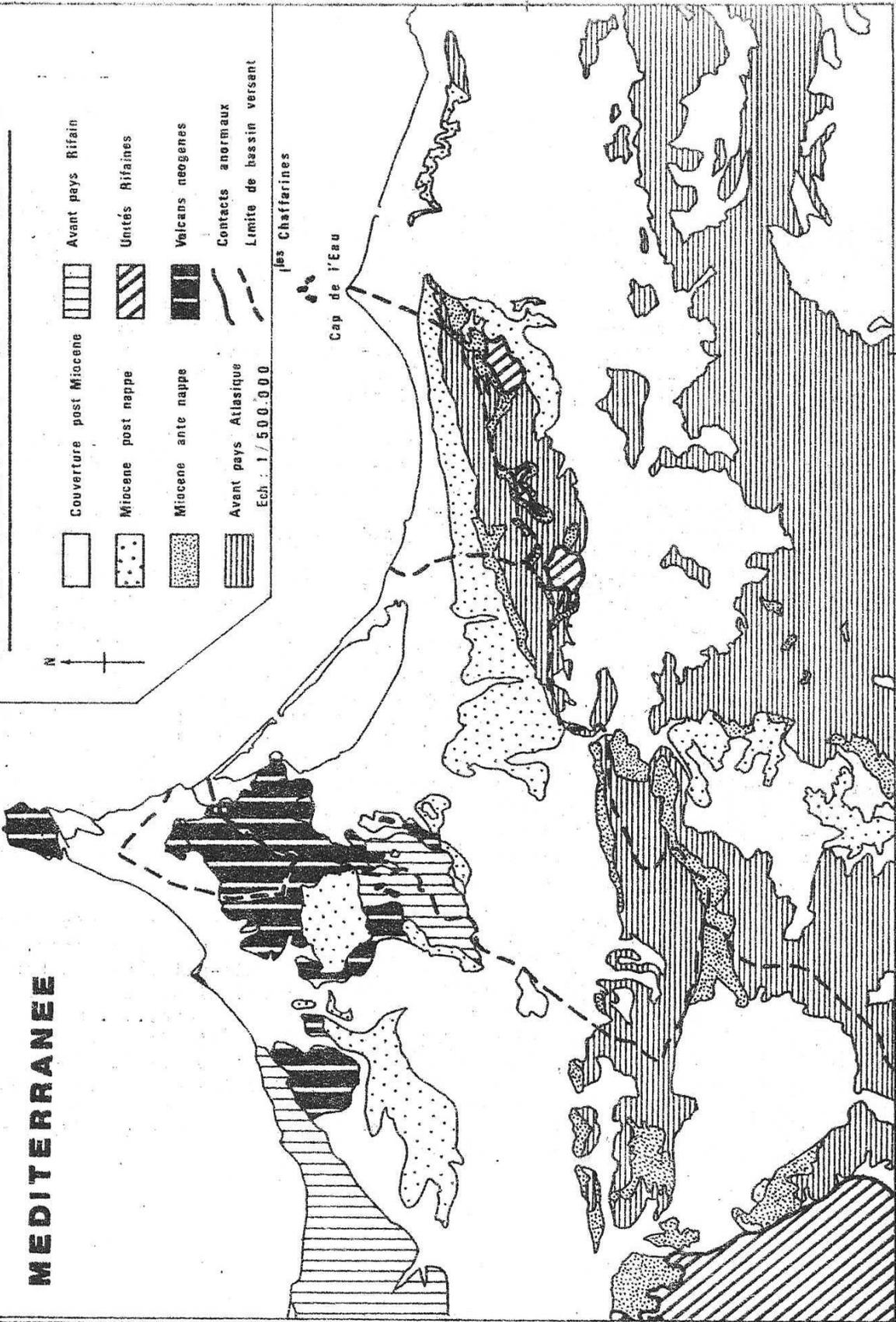
MEDITERRANEE



- | | | | |
|---|-------------------------|---|-------------------|
|  | Couverture post Miocene |  | Avant pays Rifain |
|  | Miocene post nappe |  | Unités Rifaines |
|  | Miocene ante nappe |  | Volcans neogenes |
|  | Avant pays Atlasique |  | Contacts anormaux |
- Ech. : 1 / 500.000
- Limite de bassin versant

les Chaffarines

Cap de l'Eau



L'autochtone du type avant-pays atlasique se trouve dans les massifs des Kibdana et des Beni bou Ifrou (flanc sud du Gurugu) dont le relief a été fortement découpé par une orogénèse pré-Burdigalienne. Une transgression dite Cartenienne a déposé des éléments transgressifs (Miocène ante-nappe) en une série discordante très épaisse que l'on retrouve partout dans les Kibdana et un peu sur le flanc Sud-Ouest des Beni bou Ifrou, alors que des calcaires détritiques ont été retrouvés par forage dans la plaine de Gareb sous 220 m de Plio-Quaternaire. La nappe s'est mise en place au milieu du Miocène (Helvetien) et il en subsiste quelques lambeaux, peut identifiables, dans les Beni bou Ifrou.

Une nouvelle phase orogénique a replissé les Kibdana, puis la transgression de fin du Miocène (ou post-nappe) a laissé ses dépôts discordants, sur l'autochtone et la nappe des Kibdana, avant une nouvelle phase de plissement. Ce Miocène post-nappe se retrouve dans une zone faillée dépressive du Cap des Trois Fourches (Aguilman). Dans la plaine du Gareb, ce Miocène supérieur marin, marneux, a été retrouvé par forage, mais son passage au Pliocène susjacent est peut net, les facies regressifs de fin-Miocène pouvant être pris pour les facies transgressifs du Pliocène. Par la suite, au niveau des Kibdana, les événements géologiques sont plus difficiles à suivre. Sur le piedmont nord, le Pliocène est argilo-gréseux continental, alors qu'il est continental et lacustre au sud des Kibdana, et lacustre au niveau de Sélouane. Par contre, au Nord de Melilla le facies est marin, pouvant être très puissant, et constitue une grande partie du promontoire du Cap des Trois Fourches. Très souvent le Pliocène à facies continental passe sans transition nette aux dépôts quaternaires anciens. Sur le flanc nord des Kibdana, il est difficile de différencier les dépôts Néogènes après le Miocène post-nappe. Il s'agit d'épandages continentaux argilo-gréseux à couches indurées de sables et graviers entrecroisés, quaternaires. Le quaternaire est puissant, et continental, dans la plaine de bou Areg.

Les déformations tectoniques se sont donc faites sentir très tard, on peut les suivre jusqu'au Miocène post-nappe dans les Kibdana. Il faut leur rattacher les manifestations volcaniques mio-pliocènes du Cap des Trois Fourches, du Gurugu et des Beni bou Ifrou, ainsi que d'autres petits pointements et volcans (J'Aglab-Iles Zafarines etc...). De la même façon, les marnes pliocènes de la région du Cap des Trois Fourches présentent un pendage vers l'Est, qui est certainement lié à un exhaussement de l'axe Nord-Sud médian de cette région. De même, l'épaisseur du quaternaire continental de la plaine de bou Areg (plus de 120 m) ne montre pas de variations eustatiques, mais suppose plutôt un enfoncement par réajustement tectonique locaux ou subsidence.

En conclusion, les ajustements tectoniques récents et alliés au volcanisme, certaines anomalies dans les sédiments quaternaires en faveur de réajustements et d'une subsidence quaternaire, fourniront peut-être une explication de l'origine de la Sebkhâ bou Areg dont l'existence apparaît dynamiquement injustifiée.

3.3. CLIMATOLOGIE (planche 3)

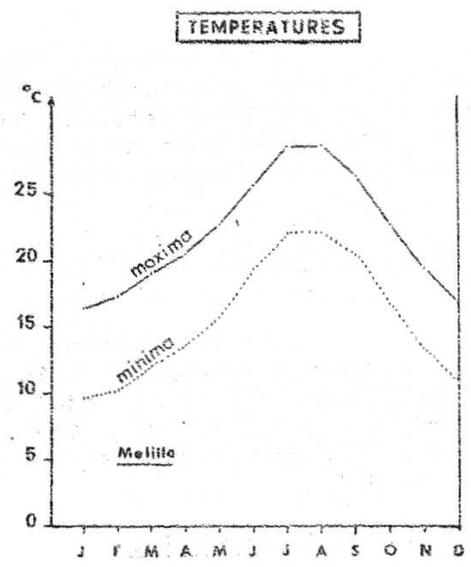
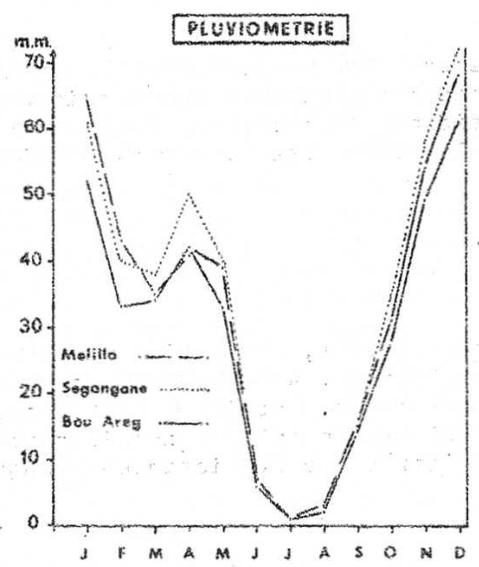
Les informations disponibles seront, complétées par des statistiques espagnoles pour les 10 dernières années. Actuellement, pluies et températures ont été l'objet d'une étude de Ph. Carlier (1971) pour une période allant de 1933 à 1963. Les résultats en ont été repris partiellement. Le régime des vents est établi d'après des statistiques espagnoles de Melilla.

a) Pluviométrie.

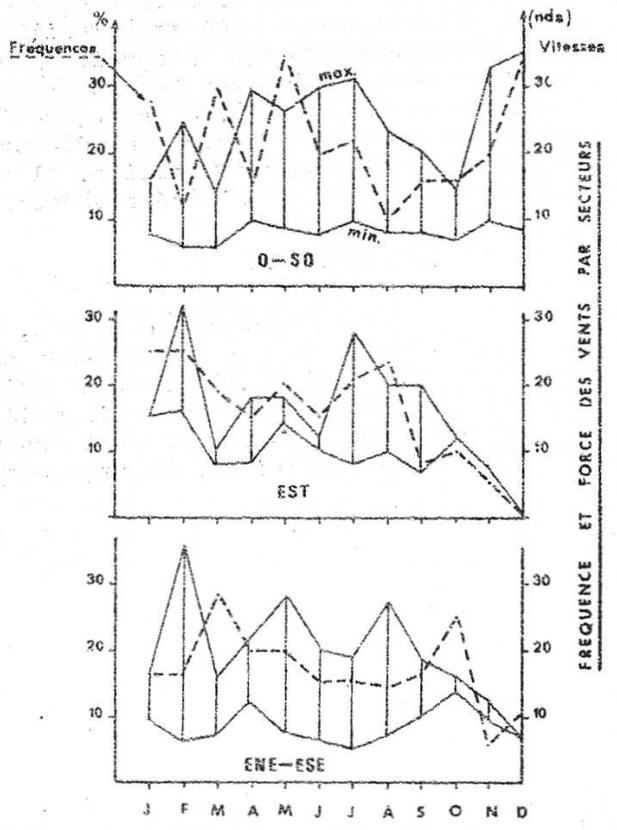
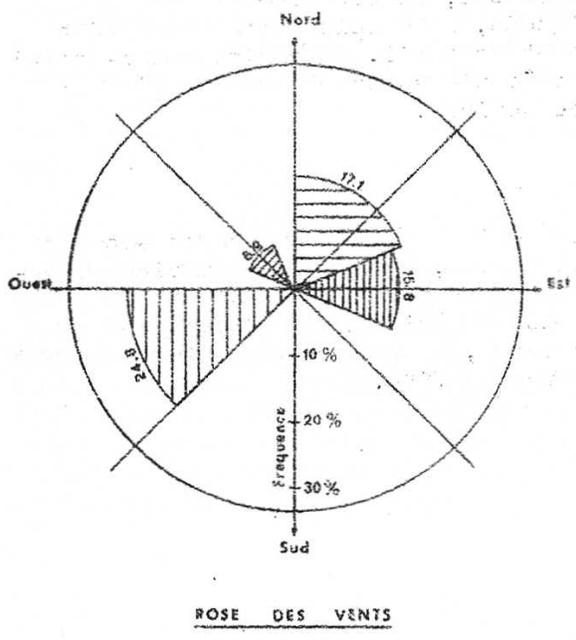
La moyenne annuelle varie, pour l'ensemble des deux plaines du Gareb et de la Bou Areg, entre 310 mm à Tistoutine et 420 mm à Segangane. Un module de 400 mm paraît représenter correctement la pluviométrie de la plaine de Bou Areg (401 mm à Melilla et 330 mm à Nador). Les moyennes mensuelles montrent que les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre sont les plus secs (6,0 % et 14 % du total annuel, respectivement dans le Gareb et la Bou Areg). Le reste de l'année, les pluies sont assez bien réparties avec deux maxima en Décembre et en Avril. Le régime pluri-annuel des pluies est assez irrégulier. Il paraît nécessaire de parler d'une alternance de séries d'années sèches ou humides.

b) Températures

Dans la plaine de Gareb, les mois les plus chauds et secs vont de Juin à Novembre. Les maxima sont peu élevés, leur moyenne variant localement de 30.0°C à 34.5°C pour le mois le plus chaud. Les mois froids et humides vont de Décembre à Avril mais, du fait d'un reste d'influence de la Méditerranée, les gelées sont assez rares, la moyenne des minima du mois le plus froid (Janvier) étant supérieure à 4.5°C.



VENTS



Dans la plaine du Bou Areg, l'influence de la mer est très nette. Il y a une saison chaude et sèche, de Mai à Novembre, avec un mois le plus chaud (Juillet ou Août) où la moyenne des maxima reste aux environs de 30°C. Une saison froide et humide s'étend de Décembre à Mars, avec un mois le plus froid (Janvier ou Février) dont la moyenne des minima est supérieure à 6.3°C.

c) Les Vents

Le régime général des vents est principalement lié aux variations barométriques. Entre Novembre et Mai les vents prédominants sont de secteur Ouest-Sud Ouest. Sur l'ensemble des observations annuelles leur fréquence est de 24.8 ‰. Entre Mai et Octobre les vents prédominants sont de secteur Est-Nord Est avec une fréquence de 17,1 ‰ pour les directions Nord-Nord Est et de 15.8 ‰ pour les directions Est.

Les vents les plus forts accompagnent le passage de dépressions. Lorsque ces dépressions passent au Nord de la côte, suivant une trajectoire d'Ouest en Est, les vents d'Ouest sont très forts. Par contre, le passage d'une dépression dans le Sud est à l'origine de violentes tempêtes d'Est. Ces tempêtes se produisent surtout de Novembre à Février, avec des vents pouvant largement dépasser 30 noeuds (plus de 50 Km/h).

Au régime général des vents se superpose, par beau temps, l'alternance journalière des brises de terre et de mer. Enfin de journée ces brises de mer sont très fortes.

2.4. BILAN HYDROLOGIQUE (planche 4)

La configuration morphologique régionale montre que l'ensemble des apports en eaux douces au bassin versant incluant les plaines du Gareb et de Bou Areg va être évacué en direction de la Méditerranée. La position des limites de ce bassin versant laisse prévoir, en outre, que ces eaux douces continentales atteindront tout d'abord la Sebkhâ Bou Areg, qui va donc se présenter comme la zone de rencontre des eaux salées marines et des eaux douces continentales.

a) Hydrologie continentale de surface.

Sur la base d'une pluviométrie moyenne de 400 mm/an, le volume des pluies pour le bassin versant total serait d'environ $400 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Une faible partie atteint la nappe phréatique dans les plaines et une fraction gagne, par ruissellement, le lit des oueds. Le caractère méditerranéen de ces pluies, violentes et courtes, rend difficile le jaugeage des oueds. La part des eaux de pluie atteignant l'embouchure des oueds peut varier entre 10 et 50 %.

b) Hydrogéologie ou étude des nappes phréatiques.

Les travaux de A.M. Derekoy et Ph. Carlier ont abouti à un essai de bilan hydraulique des nappes du Gareb et du Bou Areg en 1971, pour le compte de la Division des Ressources en Eaux.

La nappe phréatique du Gareb couvre une superficie de 290 Km^2 environ. Elle est constituée par des formations lacustres villafranchiennes, et par des limons à lits de galets et graviers au S-Ouest. L'épaisseur de la nappe est supérieure à 80 m au Sud, mais se réduit (moins de 20 m) entre Monte-Arrouit et Selouane avec à Monte-Arrouit, une épaisseur d'environ 5.0 m. La côte du toit de la nappe est à 186 m au plus haut et à 60 m au plus bas (Selouane). La profondeur sous le sol du toit de la nappe (fig 4) est minimum au Sud et S-E de Monte-Arrouit.

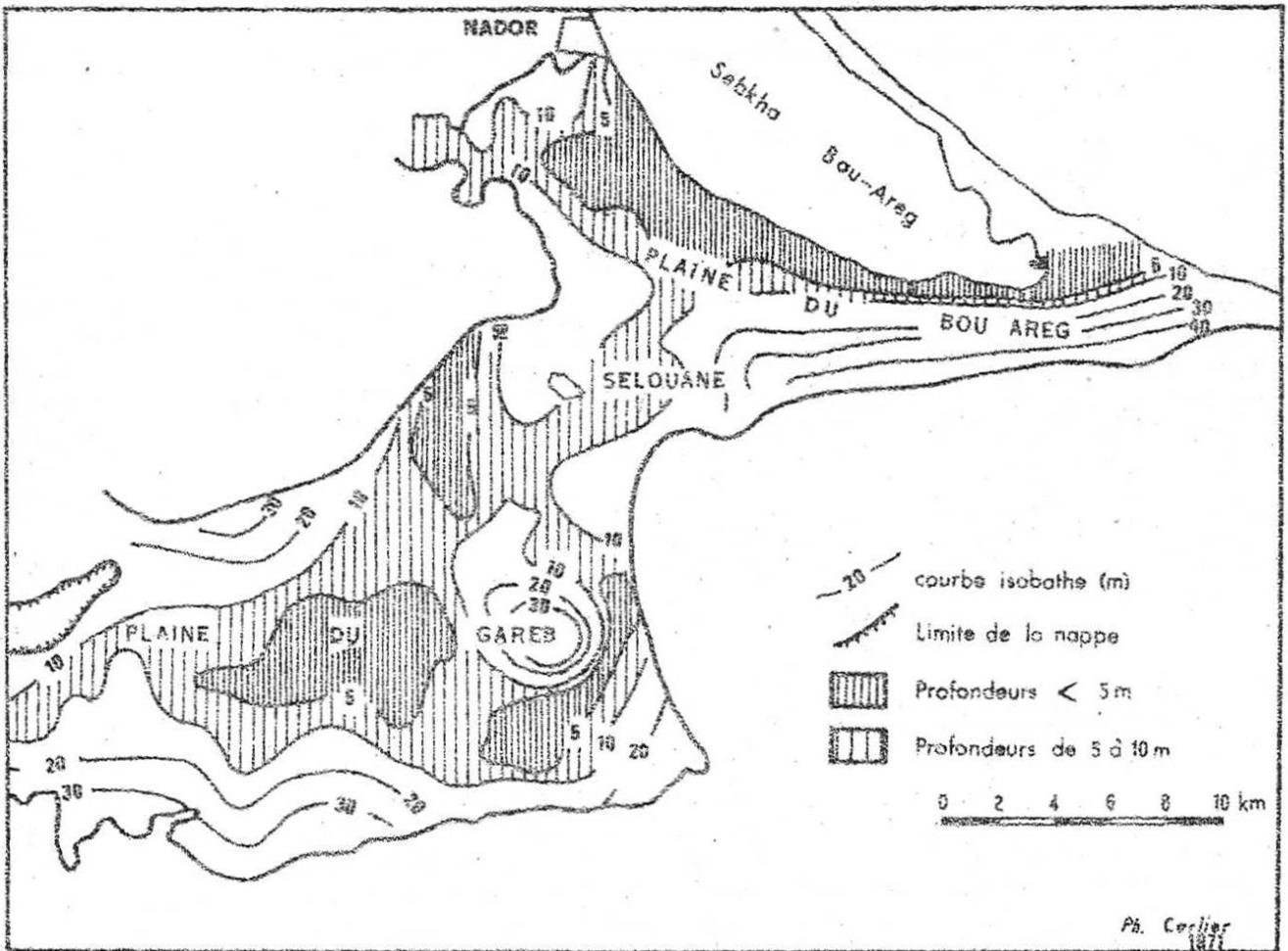
Les apports liquides à la nappe sont estimés à $32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ par infiltration des eaux de pluie et des eaux de ruissellements issues des massifs montagneux adjacents.

Les prélèvements à la nappe dus à l'irrigation, aux usages domestiques, au drainage par l'Ouest Selouane ($1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$) et à l'évaporation des zones très proches de la surface, peuvent être évalués à $18,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Le solde positif s'établit à $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, dont $7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ sont évacués vers la nappe du Bou Areg. Les $7.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ excédentaires, sur la période de ces calculs théoriques, se sont traduits par un relèvement de la nappe.

NAPPE PHREATIQUE

PROFONDEUR SOUS LE SOL



avec une vitesse de 1 noeud. Il induit un contre-courant erratique de 0,5 noeud entre le Cap de l'Eau et le Cap des Trois Fourches, souvent perturbé par le régime des vents. En fait, le tourbillon anti-cyclonique n'est pas stable et cela introduit de fortes variations dans les salinités, même en profondeurs (températures de 14° à 17°, et salinité de 36.4°/oo à 37.5°/oo à 100 m) (ERIMESCO P. 1965).

Dés prélèvements ont été effectués en 1975 et 1976 au large du chenal de communication de la Sebkhah Bou Areg avec la Méditerranée (Bokhana), par 25 m de fond. Ils ont montré que les eaux méditerranéennes ont une salinité homogène (36 / 45°/oo) en surface et au fond, et un léger réchauffement en surface (21.3°C contre 20°C à 25 m de fond). Ceci confirme les mesures de salinité effectuées en 1961 par P. Erimesco (salinité de 36.0 à 36.5 en Méditerranée).

d) Irrigation

Depuis les études de A.M. DEREKDY et F. MORTIER (1961) et Ph. CARLIER (1971) les plaines du Gareb et de Bou Areg ont fait l'objet d'aménagements pour l'irrigation. Les projets initiaux prévoyaient des besoins totaux en eau de $120 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ pour le Gareb et $139 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ pour la Bou Areg. Une partie de ces projets a été réalisée mais les chiffres exacts sont difficiles à obtenir. Or, les conséquences sur le plan de la remontée des nappes phréatiques sont énormes, et cela revient à dire que, pour l'heure, le bilan hydrologique relaté n'offre d'intérêt que pour les campagnes d'étude de la Mar Chica effectuées par P. Erimesco en 1961.

2.5. OCEANOGRAPHIE

2.5.1. Océanographie physique

a) Les courants.

Les courants généraux en Méditerranée, mer sans marées ou presque, sont peu importants. Par ailleurs, les grands fonds ne produisent pas un déphasage de l'onde marée, déphasage générateur des courants de marée. En Mer d'Alboran, le tourbillon anti-cyclonique marque une circulation, à une vitesse moyenne de 1.2 noeuds des masses d'eaux. Une branche, passant à 1 mile du Cap de l'Eau et se dirigeant vers l'Est, induirait un

contre-courant côtier instable entre le Cap de l'Eau et le Cap des Trois Fourches. Ce contre-courant aurait des vitesses moyennes de $\frac{1}{2}$ noeud, avec annulation lors des vents d'Ouest et amplification à 2 noeuds lors de forts vents d'Est. Les seuls courants notables sont ceux dûs à la marée, et que l'on rencontre dans le chenal de communication entre la Sebkhah Bou Areg et la Méditerranée, où des vitesses maxima proches de 1.0 m/s ont été notées.

b) La marée

Depuis Gibraltar en allant vers l'Est, l'amplitude de l'onde de marée décroît. D'après J. ROUCH (1932) la marée se ferait sentir jusqu'au Penon de Velez de la Gomera. Mais à Melilla on observe, en vive-eau 0,5-0,6 m d'amplitude, et 0,1-0,2 m en morte eau. Ce marnage est le même à Melilla et aux Cap de l'Eau. Cette marée est du type semi-diurne.

c) Les houles

Les informations directes concernant les houles font complètement défaut sur la côte Méditerranéenne du Maroc. En fait, la solution habituelle consiste à extrapoler les fréquences et les caractéristiques des houles à partir des informations concernant le régime des vents. A cela il y a deux écueils importants : il faut avoir une information très détaillée du régime des vents locaux (ce qui n'est pas le cas), et avoir une information aussi détaillée sur le régime général des vents au large de la Méditerranée, puisque les grandes houles d'origine lointaine sont aussi importantes.

Sur ces bases incertaines un rapport technique des Travaux Publics avance un certain nombre de résultats très problématiques, dont la vérification se révèle impossible. En tout état de cause une étude prospective est en cours.

Par analogie avec les vents, les houles viennent principalement de l'Ouest et du Nord-Est, avec une fréquence plus grande pour les lames d'Ouest.

L'amplitude des houles du Nord-Est, du fait d'un fetch très grand, puisque prenant la Méditerranée en diagonale, sera la plus forte.

La fréquence probable de houles de diverses amplitudes est fournie dans le tableau suivant.

Hauteur des lames en mètres.	Nombre de fois dans l'année.
2.25	10
3.00	4
4.00	1
5.00	0,22
6.00	0,05
7.00	0,01

Le tableau suivant indique la fréquence et la direction des houles d'amplitude supérieure à 2.0 m en divers points de la côte, après réalisation de plans de houles pour tenir compte des modifications imposées par la topographie des fonds du plateau continental.

Zone.	Nombre de fois par an.	Direction des lames en degrés.
Melilla	24	40° . 70°
Cap de l'Eau	31 (11	270° . 300°
Saïdia	12 (17	20 . 30
Saïdia	12 (13	50 . 60
		20 . 50

2.5.2. Océanographie géologique.

Les documents disponibles pour une description morphologique et géologique des fonds au large de la zone comprise entre le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau sont tous relatifs aux travaux effectués par les services hydrographiques de France et d'Espagne. En 1950 l'Instituto Hidrografico de la Marina, de Cadix, a effectué un lever bathymétrique de la frange côtière de cette zone, incluant les fonds de la Sebka Bou Areg et du plateau continental jusqu'à l'isobathe des 100 m environ.

La carte bathymétrique n° 1843 du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Française, a repris ces données. Ces deux cartes portent des indications sur la nature des fonds et les facies meubles (sable, vase, coquilles), qui ont été utilisées par l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc pour l'établissement d'un croquis de pêche.

Les investigations en matière d'Océanographie géologique pure, portent sur les structures des grands fonds méditerranéens. Mais, en ce qui concerne le plateau continental, il faudra attendre le dépouillement de la mission géophysique américaine qui s'est déroulée en 1976 et dont les investigations ont, pour la première fois, porté sur le plateau continental et son rebord.

L'aspect morphologique du plateau continental entre le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau montre une certaine variabilité de la pente des fonds entre certaines isobathes particulières. Ainsi, entre 0 45 m, les courbes sont assez régulièrement espacées, disposées en arcs de cercle à fonds aplatis parallèles à la côte. Seules les isobathes de 10 m et 20 m, viennent progressivement en contact avec les falaises du piedmont des Kâbdana et du Cap des Trois Fourches. Par contre, au niveau de 45/55 m les isobathes se resserrent quelque peu, montrant un accroissement local de pente. Ensuite, les courbes s'espacent à peu près régulièrement entre 55 et 100 mètres, sauf à proximité du Cap des Trois Fourches où la pente devient très forte.

La nature des fonds traduit les dispositions morphologiques aériennes et sous-marines. En bordure de côte les deux extrémités de l'arc de cercle recèlent des fonds rocheux en face des massifs montagneux et de leurs piedmonts, alors que la zone centrale présente des facies de dépôts sableux, relayés vers le large par des facies plus vaseux.

Au delà des fonds de 50 m le facies vaseux subsiste seul, à l'exclusion de l'extrémité du Cap des Trois Fourches où roches et sables coquilliers s'étendent jusqu'aux fonds de 100 m. La zone à pente plus faible, entre les isobathes 45 m et 55 m est marquée par la présence de coquilles sur les cartes bathymétriques.

Une étude sédimentologique des fonds superficiels est en cours, entre le Cap des Trois Fourches et la Moulouya, et fera l'objet de publications détaillées.

3) LE MILIEU LAGUNAIRE

3.1. MORPHOLOGIE ET BATHYMETRIE

a) Morphologie (planche 5)

La Sebka Bou Areg se présente sous la forme d'un ovale allongé parallèlement à la côte et dont le grand axe est orienté Nord-Ouest/Sud-Est. Ses dimensions maxima sont de 25 Km en longueur pour une largeur de 7.5 Km, ce qui lui confère une superficie de 115 Km² environ à la côte 0.

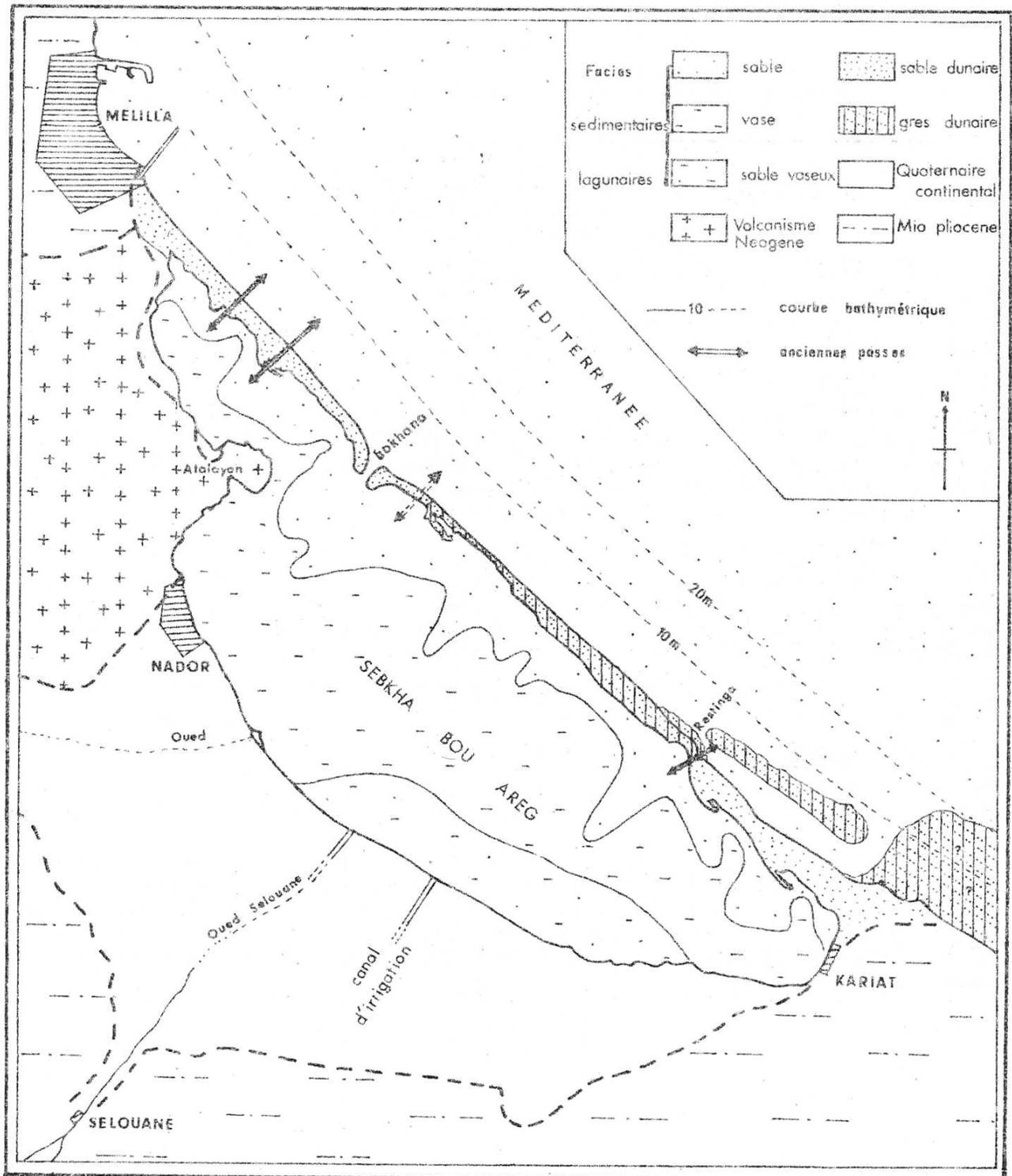
Son flanc Sud-Ouest est bordé par une plaine basse, la Bou Areg. Celle-ci est constituée de formations sédimentaires argilo-sableuses, données pour quaternaires, se relevant progressivement vers l'intérieur du pays. Elles passent, vers le Sud, au Néogène du piedmont du massif liasique des Kbdana, orienté Ouest-Sud Ouest/Est ; Nord-Est et qui culmine à 998 mètres.

L'extrémité Nord-Ouest de ce flanc de la lagune est en contact plus ou moins direct avec une zone au relief très accusé constituée par le massif volcanique du Gurugu. Ses roches volcaniques, trachy-andésites et basaltes, constituent une partie du soubassement du port de Nador et une presqu'île cônique appelée Atalayun, s'avancant dans la lagune.

Le flanc Nord-Est de la Sebka est constitué par un cordon sableux, étroit, partiellement consolidé en gré, d'une longueur de 25 Km environ qui la sépare de la Méditerranée. La largeur de ce cordon est variable, oscillant entre 300 m et 400 m, généralement, et un maximum de 2.0 Km à son extrémité Sud-Est. Il est percé par une ouverture, ou Bokhana, située actuellement au niveau de son premier tiers en partant de l'extrémité Nord-Ouest.

Ce cordon, en observation de surface, montre une ossature résistante de grés coquilliers (fragments de coquilles de la classe des arenites, consolidés) plus ou moins bien consolidés, à stratifications obliques. Cette ossature se retrouve sur toute la partie du cordon située au Sud-Est de la Bokhana. Ces grés constituent, alors, soit des tronçons entiers du cordon, culminant à 19 m et portant des cultures céréalières,

- pl. 5 - **SEBKHA BOU AREG**



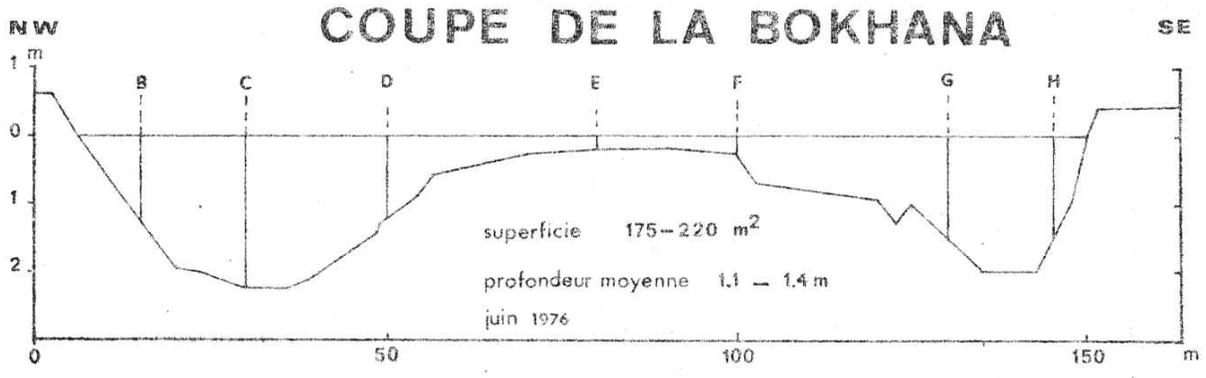
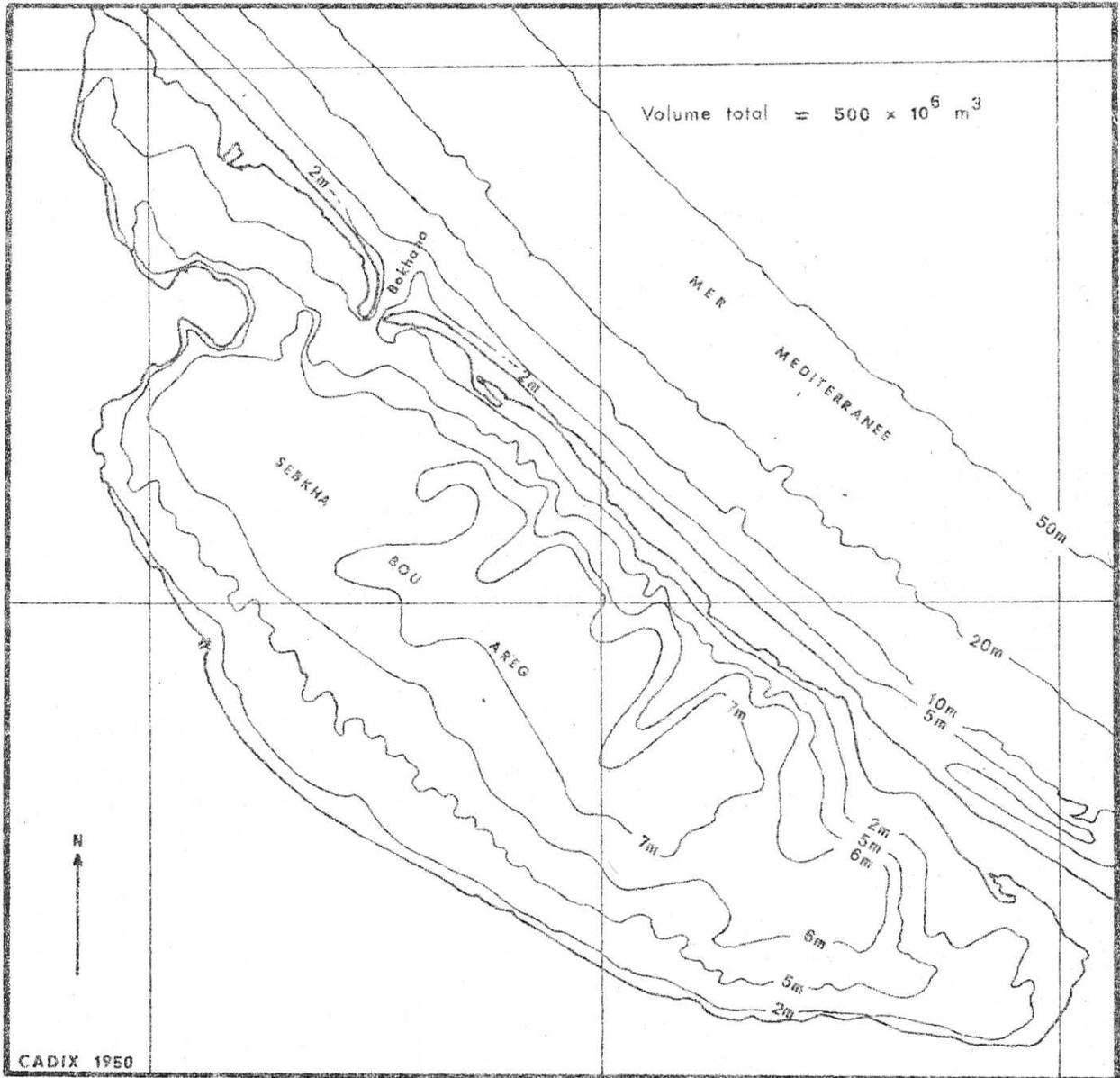
soit des pointements en dents de scie, localisés sur la bordure soumise à l'action des houles méditerranéennes, reliés entre eux par des zones basses érodées et recouvertes de sable coquillier. Ce sable coquillier, constitué de sable marin franc et du sable résultant de la désagrégation des grès, double alors l'alignement des pointements gréseux sur toute la face interne lagunaire du cordon, au sud-Est de la Bokhana. A proximité de la Bokhana les pointements gréseux disparaissent et le cordon semble constitué exclusivement de sable coquillier. Le cordon est alors très plat, pouvant être submergé localement lors des tempêtes. Cet aspect est également celui de toute la partie du cordon situé au Nord-Ouest de l'actuelle Bokhana.

La Bokhana n'apparaît pas comme une structure pérenne. En effet, outre la nécessité de draguer pour maintenir des fonds acceptables, il est aisé de retrouver les crochons sédimentaires et les deltas de marée internes élaborés lors du fonctionnement de la Bokhana en d'autres sites du cordon. Trois emplacements sont particulièrement nets, des vestiges du chenal de marée subsistant encore (pl. 4). Deux autres possibilités sont probables, situées au Sud-Est de Restinga, et matérialisées par l'existence dans la lagune de masses sableuses importantes remodelées par les clapots. Toutes ces ouvertures sont situées en des zones où les grès ne sont pas visibles en affleurement.

L'actuelle Bokhana, large d'environ 150 m à la côte 0, présente des fonds inférieurs à 2.0 m. Ses extrémités sont fortement obstruées par deux deltas de marée interne et externe, en demi-lunes, et partiellement découvrants. Le chenal lui-même est encombré par un banc longitudinal médian. Les conditions limites sont atteintes pour une fermeture imminente à l'occasion de tempêtes.

b) Bathymétrie (pl. 6)

Le levé bathymétrique exécuté en 1950 par les Espagnols montre que, proportionnellement aux dimensions de la lagune, les profondeurs sont faibles, ne dépassant pas 7.80 m. De ce fait, la lagune se présente sous la forme d'une gouttière, allongée selon un axe Nord-Ouest/Sud-Est parallèle à la côte, et dont le flanc adossé à la mer est en pente légèrement plus forte. Si l'on exceptait l'anomalie constituée par la presqu'île d'Atalayoun, les fonds présenteraient une symétrie parfaite par rapport à un axe fictif Nord-Est/Sud-Ouest perpendiculaire à la côte, et passant à mi-distance des extrémités de la lagune.



Un faciès sablo-vaseux apparaît sur le flanc continental de la lagune entre la rive et les fonds de 6.0 m, délimitant une bande longue de 12.0 Km encadrant le point de deversement du principal canal d'irrigation.

3.3. LE MILIEU BIOLOGIQUE

Cet aspect du milieu lagunaire sera repris très sérieusement dans les volets futurs consacrés aux problèmes biologiques posés par l'évolution récente du milieu physico-chimique lagunaire. Toutefois, un bref rappel des connaissances antérieures n'est pas inutile.

a) Peuplement animal et végétal des fonds

En 1961, H. ALONCLE notait la présence de trois zones de peuplement selon l'immersion :

- de 0 à 1,5 m : peuplement d'actinies essentiellement, avec oursins dans les zones rocheuses
- de 1,5 m à 3,5 m : faciès à holothuries avec fortes concentrations locales (surtout partie Ouest). Quelques prairies de Zoostères (Zoostéra marina) remontent souvent jusque dans la zone supérieure.
- au-delà de 3,5 m : prairie rase de posidonies (Posidonia caulini).

b) Inventaire Ichtyologique

Une liste complète des poissons signalés dans la Sebkhâ Bou Areg a été établie par H. ALONCLE (1961) complétant les renseignements de F. LOZANO CABO (1953), dans le bulletin n°7 (Sept. 1961) de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc.

Il semble cependant plus intéressant de ne considérer que les espèces qui, faisant l'essentiel de l'effort de pêche, permettront aisément de suivre les évolutions des distributions entre 1961 et 1976. En 1961, les poissons présentant un intérêt économique étaient : le Pageot (Pagellus mormyrus), le Rouget (Mullus barbatus, et Mullus surmuletus rarement), le Mulet (cinq espèces), la Dorade, la Crevette (Penaeus kerathurus) et l'Anguille (durant les mois de Janvier et Février).

c) Equilibre biologique de la Sebkha Bou Areg

En 1961, H. ALONCLE et P. ERIMESCO ont entrepris un inventaire biologique et hydrologique de la Sebkha en vue de préciser ces équilibres biologiques et, le cas échéant, les déséquilibres existants ou à envisager. Il est juste de dire que le premier auteur a souffert de l'absence de statistiques sérieuses et assez longues sur les tonnages pêchés, et que l'autre n'avait pas les moyens matériels appropriés à l'étude d'une lagune aussi importante.

Sur le plan hydrologique du milieu en 1961, les conclusions de P. ERIMESCO font ressortir une tendance de la lagune à une sur-salinité, par suite d'un renouvellement insuffisant des eaux. Le maintien d'une ouverture adéquate sur la Méditerranée paraît alors indispensable pour atténuer ce problème. Sur le plan biologique, H. ALONCLE souligne que la fermeture progressive de l'ouverture sur la Méditerranée a pour double conséquence un ralentissement de la montée des poissons migrateurs venant de l'extérieur et la création d'un milieu physico-chimique (T° et salinités trop élevées) incompatible avec la biologie de certaines espèces.

En définitive, en 1961, le problème clef était celui du maintien d'un volume des échanges lagune - Méditerranée assez conséquent pour permettre la libre circulation des espèces biologiques et pour éviter que la lagune ne devienne sursalée et trop chaude.

4) REGIME HYDROLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE LAGUNAIRES ACTUELS

4.1. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES EAUX.

Les eaux de la lagune subissent, outre des apports d'eaux d'origines et de caractéristiques physico-chimiques différentes, des actions mécaniques directes (liées à la propagation de l'onde de marée) ou indirectes (énergie solaire se transformant en chaleur). Ce milieu ne peut donc être considéré comme homogène, aussi notre méthodologie d'études a été basée sur : la réalisation

* la réalisation, en 17 stations positionnées par bouées, de mesures hydrologiques en surface et au fond, à trois dates différentes ;

* l'exécution, en des positions bien déterminées, de stations hydrologiques d'une durée de 13 heures consécutives, avec mesures en surface et au fond.

Pour les paramètres mesurés (salinité, oxygène dissous, température) il n'a été tenu compte que des décimales significatives.

4.1.1. Répartition spatiales des salinités

Les résultats des diverses mesures ont été ramenés à leur moyenne de façon à obtenir les salinités moyennes en surface et au fond pour l'ensemble de la durée de l'étude. (pl. 7 et pl. 8).

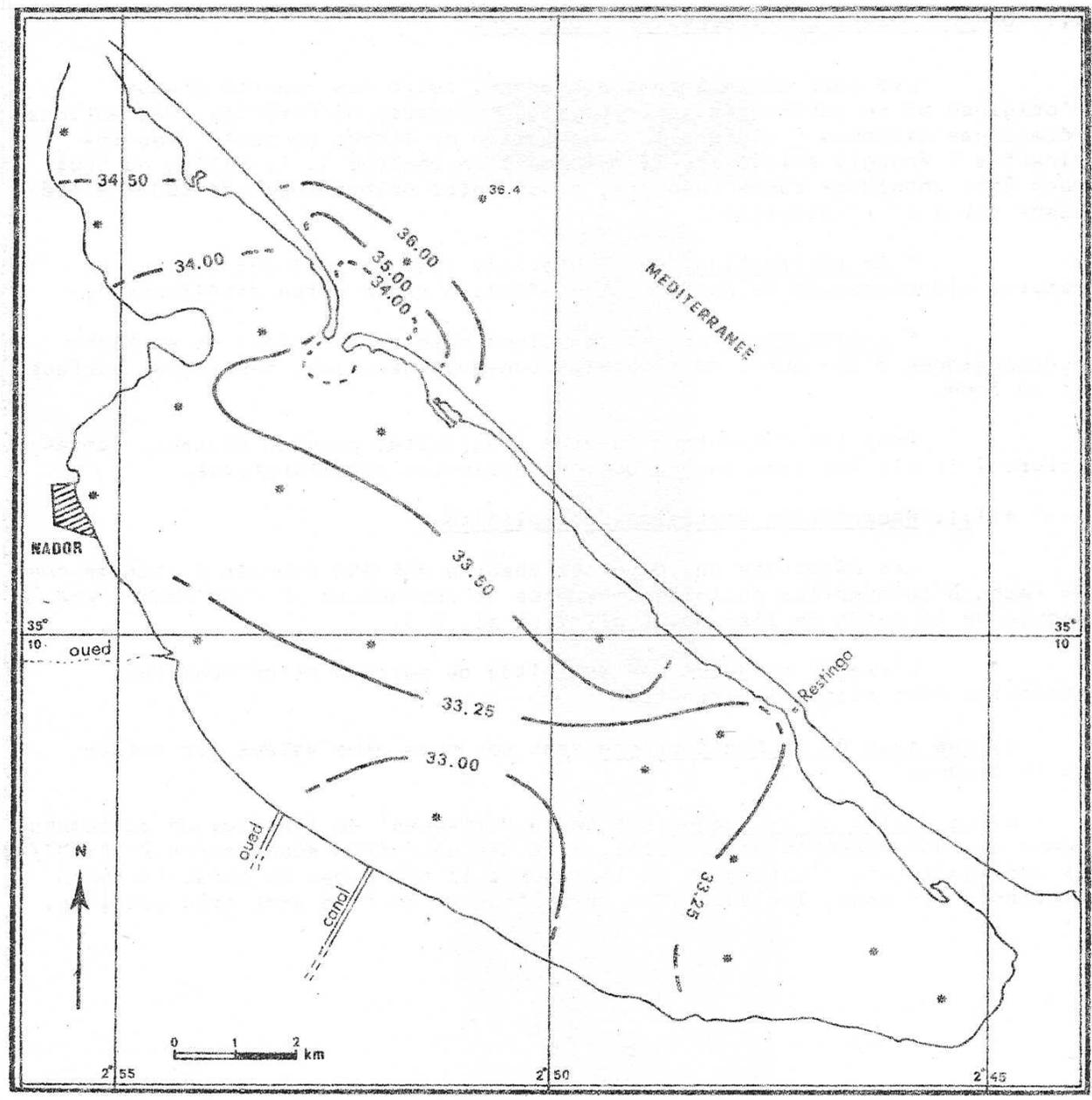
L'examen conjugué des salinités de surface et de fond fait ressortir cinq points importants.

a) Les eaux de la Méditerranée sont toujours plus salées que celles de la lagune.

b) La partie de la lagune située au Nord-Ouest de l'Atalayoun se compose comme un sous-ensemble particulier, avec des salinités supérieures à 34.00‰ et croissant vers l'extrémité de la lagune. Il n'y a pas de stratification verticale des eaux, les salinités de surface et de fond sont très voisines.

SALINITE ‰

MOYENNE
SURFACE
JUN 1976



 courbe iso-haline
* station hydrologique

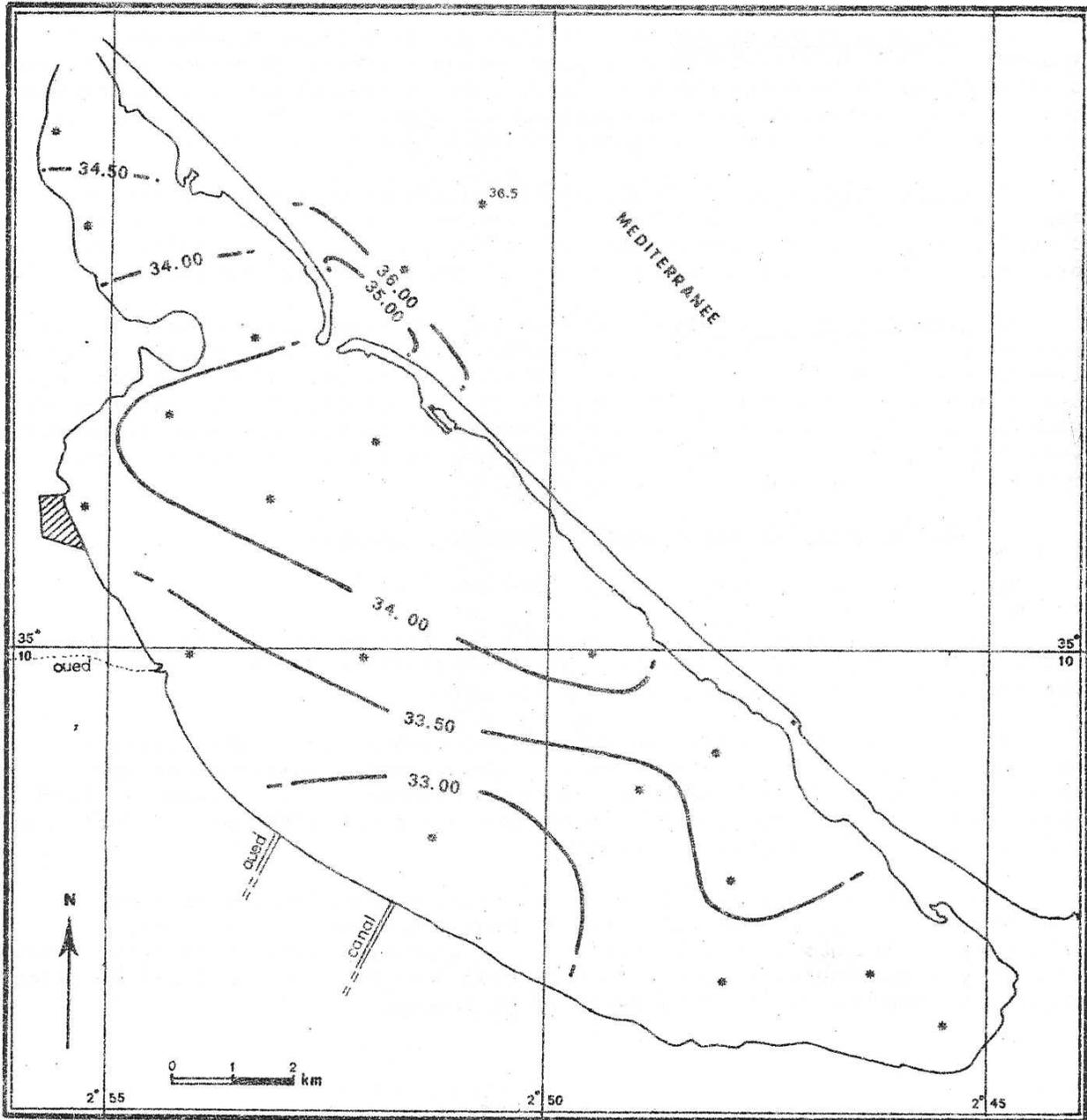
SALINITE

‰

MOYENNE

FOND

JUIN 1976



 courbe iso-haline

 station hydrologique

c) Des eaux moins salées sont situées sur la bordure Sud-Ouest de la lagune, en face de l'exutoire de l'Oued Selouane récalibré depuis les travaux d'irrigation. En surface, comme au fond, cela se traduit par une disposition des courbes iso-halines presque parallèles à l'axe longitudinal de la lagune. Les eaux plus salées semblent repoussées vers le flanc Nord-Est.

d) L'extrémité Sud-Est de la lagune montre, en surface, des salinités supérieures à celles des eaux les moins salées. Cela se traduit, par la disposition de l'iso-haline de surface de 33.25 en forme d'excroissance barrant toute la lagune en biais, selon un axe Oued Selouane/Restinga.

e) Les salinités de fond et de surface sont assez différentes, traduisant un net gradient vertical de salinité. Les eaux les plus salées se localisent au fond de la lagune et sur sa bordure Nord-Est. Elles sont centrées sur la Bokhana et traduisent l'influence de la Méditerranée. En surface, les eaux les plus salées sont également centrées sur la Bokhana, mais le gradient vertical exprime alors plus nettement la dessalure due aux eaux du flanc Sud-Ouest de la lagune.

4.1.2. Repartition des teneurs en oxygène dissous.

Les deux planches (9) et (10) montrent :

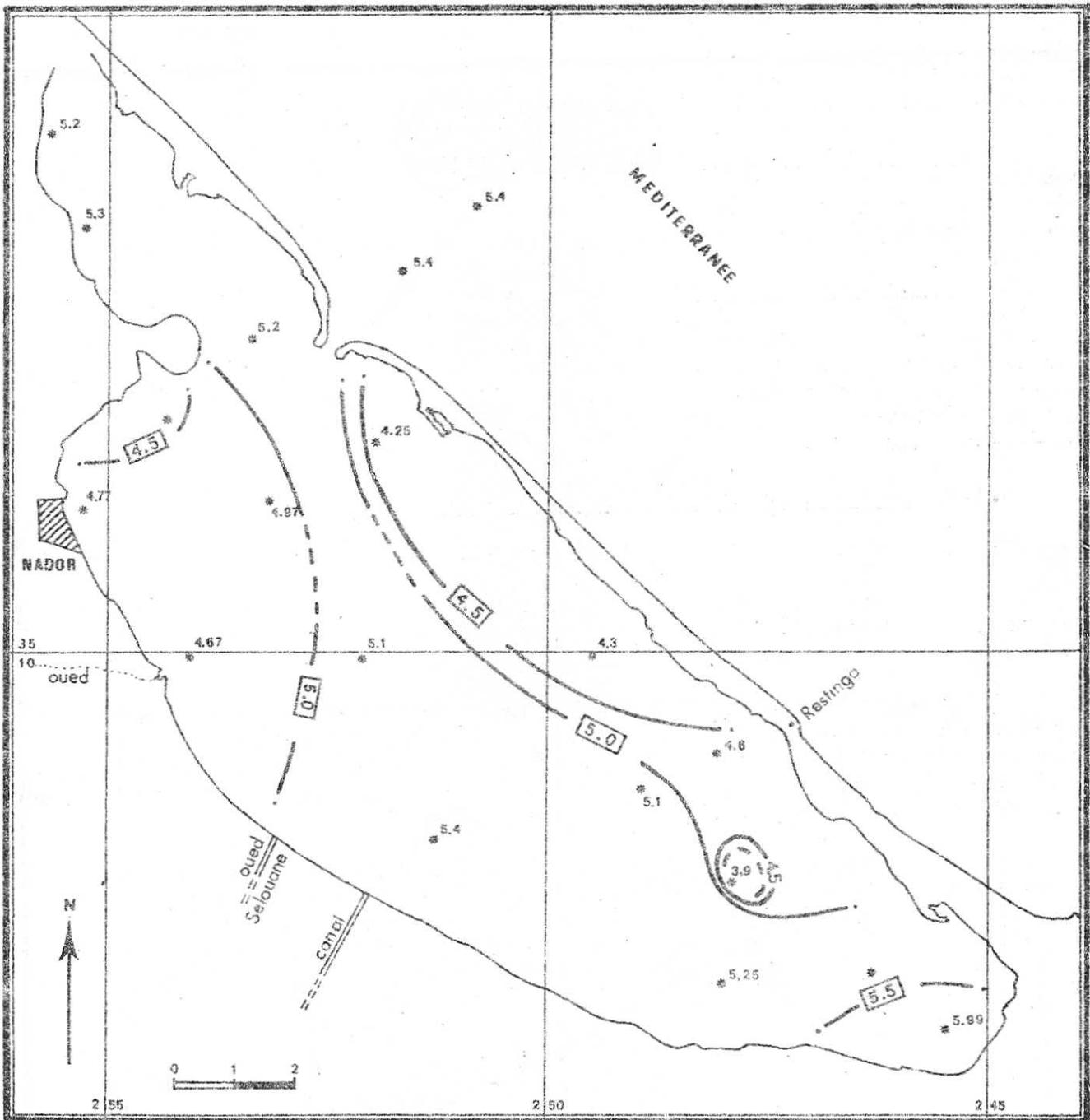
Pour cette étude, les mesures des teneurs en oxygène dissous ont pour but immédiat, l'évaluation du renouvellement ou de la stagnation des eaux, et l'influence des rejets d'eau usée.

a) La grande homogénéité en surface des teneurs en oxygène dissous (moyenne 5.6 ml/l) sur l'ensemble de la lagune, avec l'existence de deux sous-zones : une zone à teneurs un peu plus élevées que la moyenne à l'extrémité Sud-Est de la lagune, une seconde zone à teneurs légèrement inférieures à la moyenne dans les environs de Nador.

b) Une variabilité un peu plus grande des teneurs au fond (maximum 6.0 ml/l, minimum 4.25 ml/l), pour une moyenne de 4.92 ml/l. On retrouve, comme en surface, l'existence des deux sous-zones précitées, avec, en outre, l'existence de valeurs inférieures à la moyenne aux trois stations situées en bordure du flanc Nord-Est de la lagune.

- pl. 9 - OXYGENE DISSOUS
(ml/l)

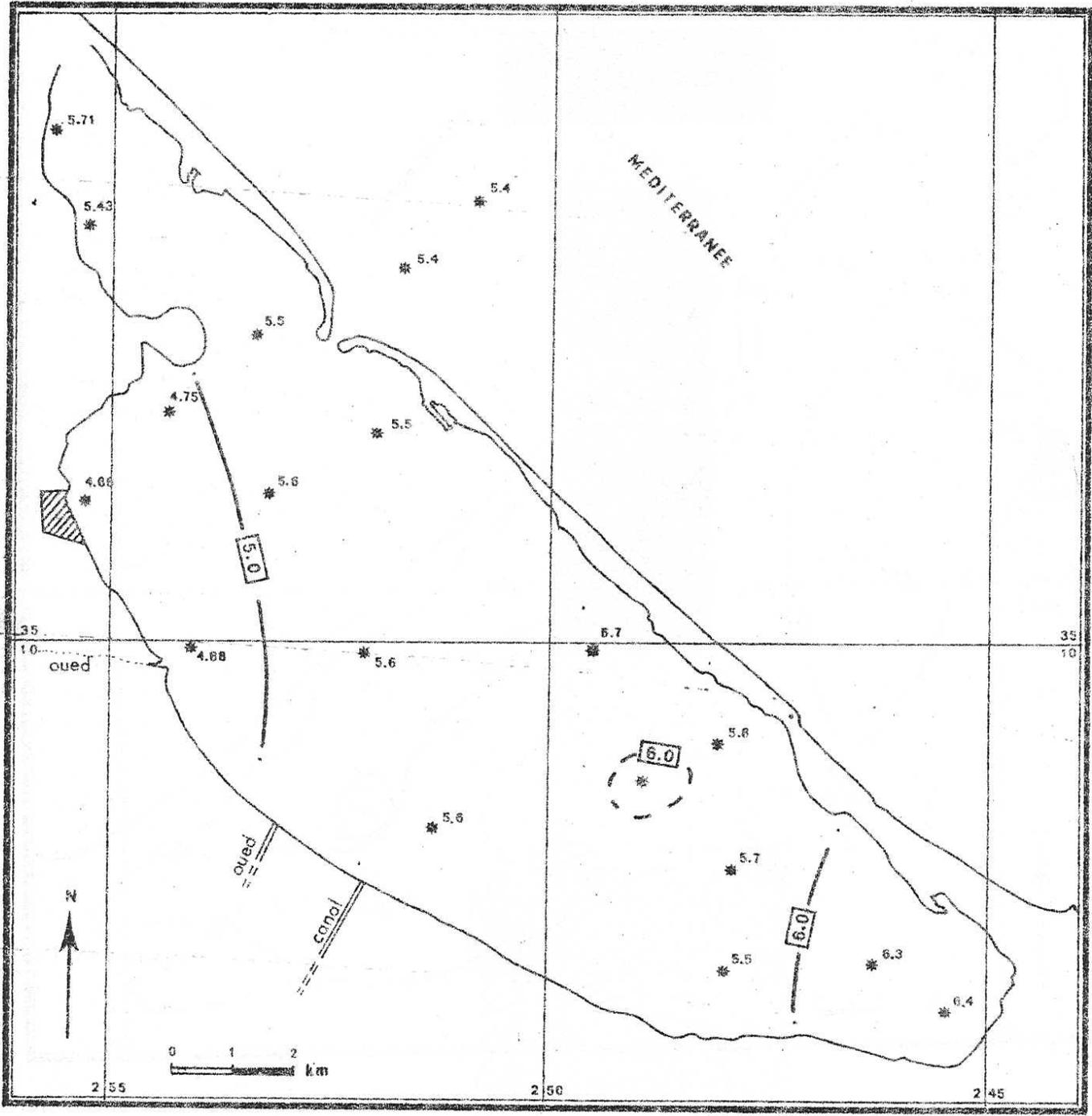
MOYENNE
FOND
JUIN 1976



* station hydrologique

- pl. 10 - OXYGENE DISSOUS
(ml/l)

MOYENNE
SURFACE
JUN 1976



* station hydrologique

c) Les teneurs en oxygène dissous en Méditerranée, constantes en surface et au fond (côte - 25.0 m) sont de 5.4 ml/l.

4.1.3. Les températures de surface et du fond. p1. 11

a) Températures de surface.

Les températures de surface traduisent le stade d'ensoleillement à un moment donné, et celui-ci est par définition le même sur toute la surface, au même moment de la journée et pour un éclaircissement uniforme. Nous voyons cependant, trois particularités :

- une masse d'eau de température inférieure à 25°C en travers de la lagune au niveau de son premier tiers à partir de l'extrémité Sud-Est.

- une aire d'eau légèrement moins chaude à proximité de la Bokhana.

- une petite zone d'eaux de température supérieure à 26.0°C en face de l'Oued situé au Sud de Nador.

b) Au fond les températures font à nouveau ressortir le particularisme du flanc Sud-Ouest de la lagune. Les eaux y sont plus chaudes (T 25°C) que partout ailleurs dans la lagune, excepté à son extrémité Sud-Est. Il semble exister, selon l'axe central longitudinal de la lagune une masse d'eau nettement plus froide (T 25°C), peut-être en relation avec la Bokhana.

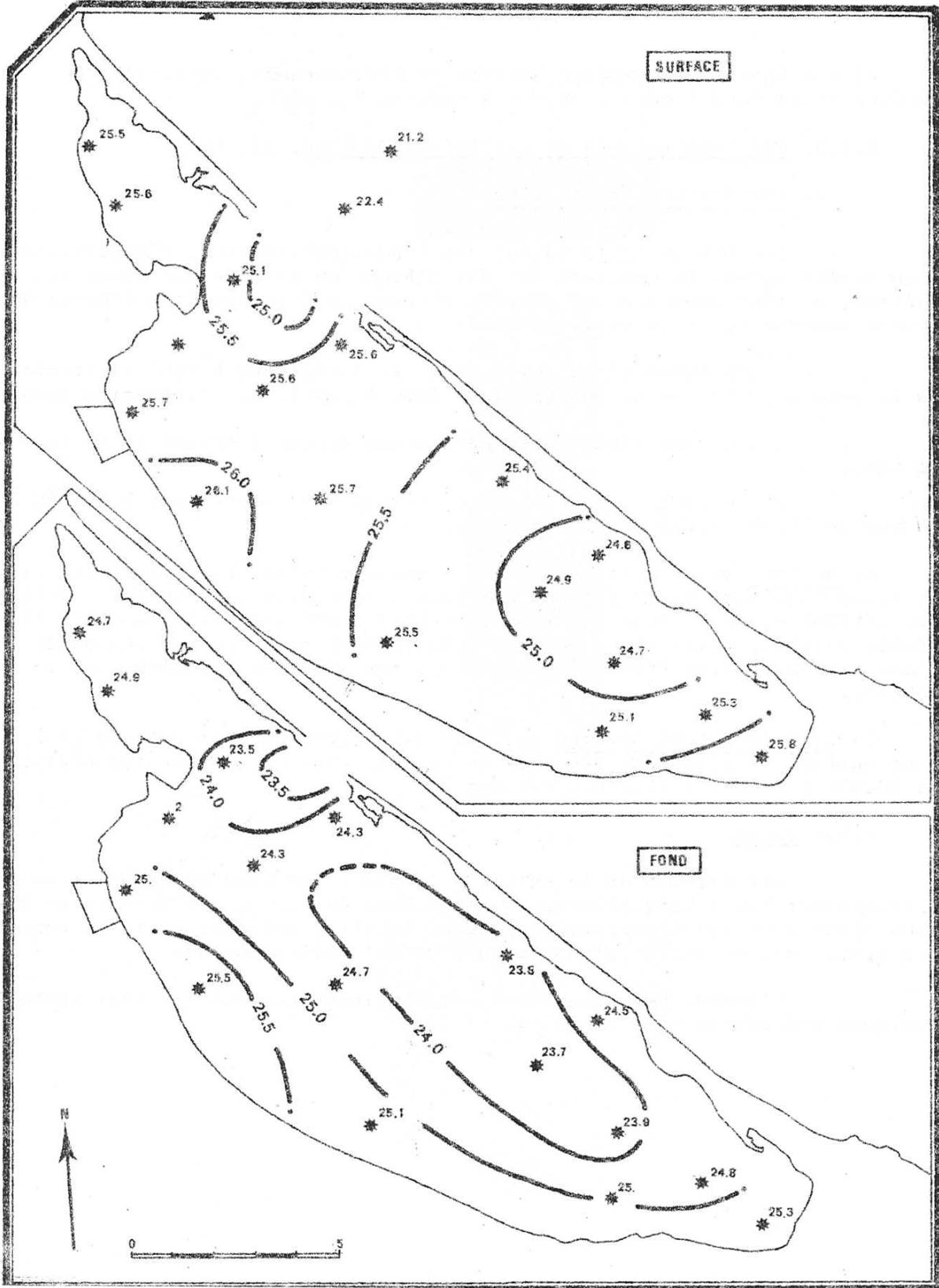
c) La température moyenne des eaux lagunaires oscille entre 23.7°C (en surface), alors que les eaux de la Méditerranée ont une température de 20.0°C (fond) à 21.2°C (surface).

4.1.4 BILAN

Les valeurs de ~~la~~ salinité semblent les plus utilisables pour caractériser les traits généraux de la Sebka Bou Areg, les teneurs en oxygène dissous et les températures pouvant servir à préciser certains aspects des problèmes, ou servir d'indicateurs de phénomènes annexes.

L'examen des paramètres hydrologiques précédant a fait ressortir quelques phénomènes essentiels :

JUN 1976



a) Les eaux lagunaires sont moins salées que les eaux de la Méditerranée ($S = 36.5$ ‰ environ). Les salinités maximales et minimales notées dans la lagune sont de 34.50 ‰ et 32.75 ‰.

b) Deux influences se font sentir, l'une est méditerranéenne et concerne les eaux du flanc Nord-Est de la lagune, l'autre est continentale et concerne les eaux du flanc Sud-Ouest de la lagune.

c) Les deux extrémités Nord-Ouest et Sud-Est de la Sebkhah ne semblent pas marquées par l'une ou l'autre influence. L'extrémité Nord-Ouest présente une salinité assez élevée traduisant le double effet d'une circulation des eaux peu développée et de l'évaporation. L'extrémité Sud-Est a des eaux de caractéristiques assez homogènes, avec des salinités variant de 33.25 ‰ à 23.50 ‰, ce qui montre un milieu peut-être un peu dessalé.

d) Les gradients verticaux de température et certaines valeurs un peu faibles (4.0 mg/l à $4,5$ mg/l) des teneurs en oxygène dissous semblent reliées à l'existence de petites " fosses " topographiques où les mouvements mécaniques sont particulièrement faibles.

Il apparaît donc nécessaires, maintenant, d'observer de plus près les mécanismes permettant aux influences méditerranéennes et continentales de se faire sentir dans la Sebkhah Bou Areg.

4.2. FONCTIONNEMENT DE LA BOKHANA

La Bokhana est la communication existant entre la Mer Méditerranée et la Sebkhah Bou Areg, percée au travers de la flèche littorale sableuse lagunaire. Il n'est pas du propos de cet exposé d'expliquer les mécanismes hydrodynamiques ayant eu pour effet de créer cette communication et de la maintenir, ou non, en état de fonctionnement. Seules les modalités de son fonctionnement sont abordées ici.

4.2.1. Morphologie de la Bokhana

L'étude détaillée de la morphologie de la Bokhana sera reprise ultérieurement, son instabilité dans le temps, avec ses causes et conséquences, ayant justifié toute une analyse sédimentologique et hydrodynamique appropriée.

Actuellement, la Bokhana se présente comme un chenal de marée dessinant un " S " allongé dont le sommet est tourné vers la lagune. Ce S est déterminé par des accumulations sableuses de trois types.

Le premier type correspond aux berges creusées dans le cordon littoral lagunaire sableux, avec de grosses coquilles de lamellibranches Taxodontes du genre Pectunculus (5 - 6 cm) concentrées en niveaux horizontaux par des mécanismes hydrodynamiques. Les facies lagunaires des deux extrémités du cordon sont rebroussées vers l'intérieur de la lagune, en crochons sédimentaires.

Le second type d'accumulation correspond à un delta externe de marée. Il s'élabore à partir de sables de dérive littorale de houle. Ceux-ci sont bloqués et redistribués par l'épi hydraulique constitué par le chenal de marée qu'ils tendent à faire déplacer latéralement, ou à combler totalement lors des grandes tempêtes.

Le troisième type d'accumulation est constitué par un delta interne de marée. Celui-ci résulte de la décantation des eaux du flot chargées en sables très fins transportés en suspension et suspension graduée, et du charriage sur le fond du chenal. Ces matériaux représentent la fraction fine des sables du delta externe tombés dans le chenal, la fraction plus grossière ne pouvant être transportée jusque dans la lagune et demeurant stockée dans la partie centrale de la Bokhana sous la forme d'un banc médian longitudinal. La section mouillée, au niveau de notre profil d'étude (pl. 6) varie de 175 à 220 m² avec une profondeur moyenne de 1.1 à 1.4 m, pour une profondeur maximum de 2.0 m. Le maximum de largeur locale du chenal est d'environ 130 m.

4.2.2. Les courants de marée

La Méditerranée, nous l'avons vu, est soumise à l'action d'une onde de marée de type semi-diurne (deux cycles complets en un peu plus de 24 heures). L'amplitude de cette onde de marée est faible, et dans notre zone d'étude elle atteint environ 0.60 m en vives eaux à Melilla. Cette onde, qui se déplace d'Ouest en Est, pénètre dans la Sebkhah Bou Areg par la Bokhana et, par frottement sur les hauts-fonds, subit un déphasage. Par conséquent, le niveau de pleine mer n'est pas atteint à la même heure à Melilla et à Nador. Il s'en suit donc une déformation du plan d'eau entre ces deux lieux, génératrice de courants dits " de marée ". La Bokhana, de par sa topographie resserrée, est le lieu où ces courants créés par la différence de côte entre la Méditerranée et la Sebkhah, ont les plus fortes valeurs. Ces courants sont bidirectionnels et alternatifs, une phase correspondant à la vidange de la Sebkhah (courants de jusant) l'autre à son remplissage (courant de flot).

- Onde de marée et alternance des courants de flot et de jusant.

Les vitesses et directions du courant dans la Bokhana ont été mesurées, en parallèle avec les lectures de marée, à intervalles d'environ une heure durant un cycle de marée complet (12 h. 30). L'opération a été reconduite pour différentes valeurs du marnage (amplitude de la marée).

Sur la planche (12) la cote du plan d'eau est exprimée en mètres par rapport à un niveau zéro de référence qui est celui du Nivellement Général du Maroc.

Les courants de flot sont des courants dirigés de la Méditerranée vers la lagune et, pour le jusant, le processus est inverse.

Le début des courants de flot s'établit à mi-marée montante, et ils s'annulent au $\frac{1}{3}$ supérieur de la marée descendante. Les vitesses maximales sont atteintes au moment de la pleine-mer.

Les courants de jusant commencent au $\frac{1}{3}$ supérieur de la marée descendante et s'annulent à mi-marée montante. Les vitesses maximales de jusant semblent atteintes avant le moment de la basse-mer. La durée des écoulements de flot paraît nettement inférieure à celle des écoulements de jusant.

- Marnage et vitesses des courants

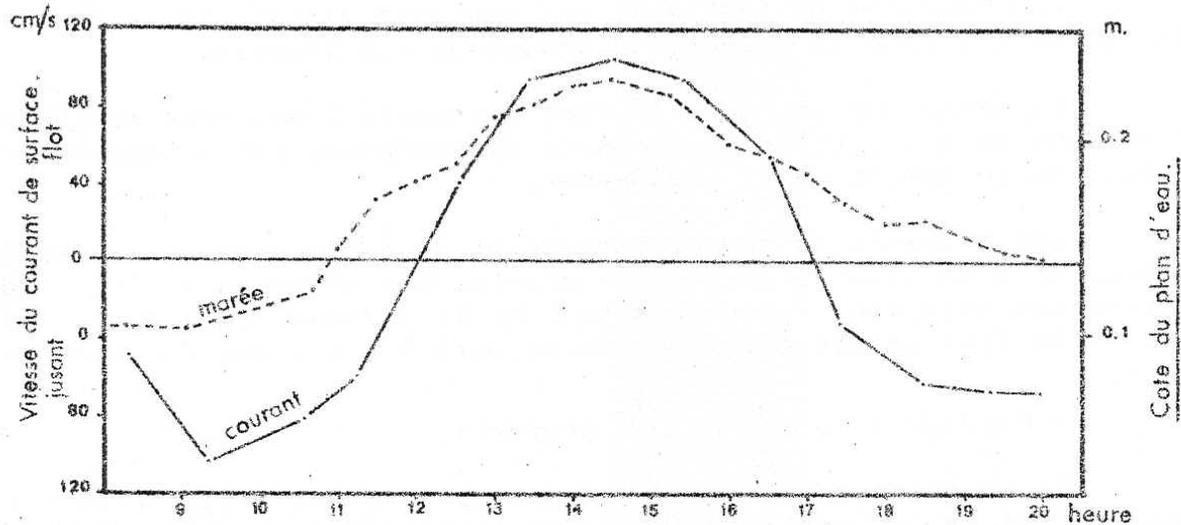
En un point donné de la Bokhana, les vitesses atteintes par les courants de flot et de jusant dépendent de la valeur du marnage. La planche (12) montre que, pour un marnage de 6.4 cm (19-6-76) les courants de flot et de jusant n'atteignent pas 0.6 m/s, alors que pour un marnage de 13.0 cm (10.6-76) ils dépassent 1.0 m/s. En cette saison les marnages n'atteignent pas leurs valeurs maximales, il faut donc attendre les grandes marées d'équinoxe pour avoir les vitesses de courant maximales. Il faut noter également que les mesures du 3-6-76 et du 19-6-76 ont montré que les vitesses les plus fortes sont atteintes par les courants de flot.

4.2.3. Les débits liquides dans la Bokhana.

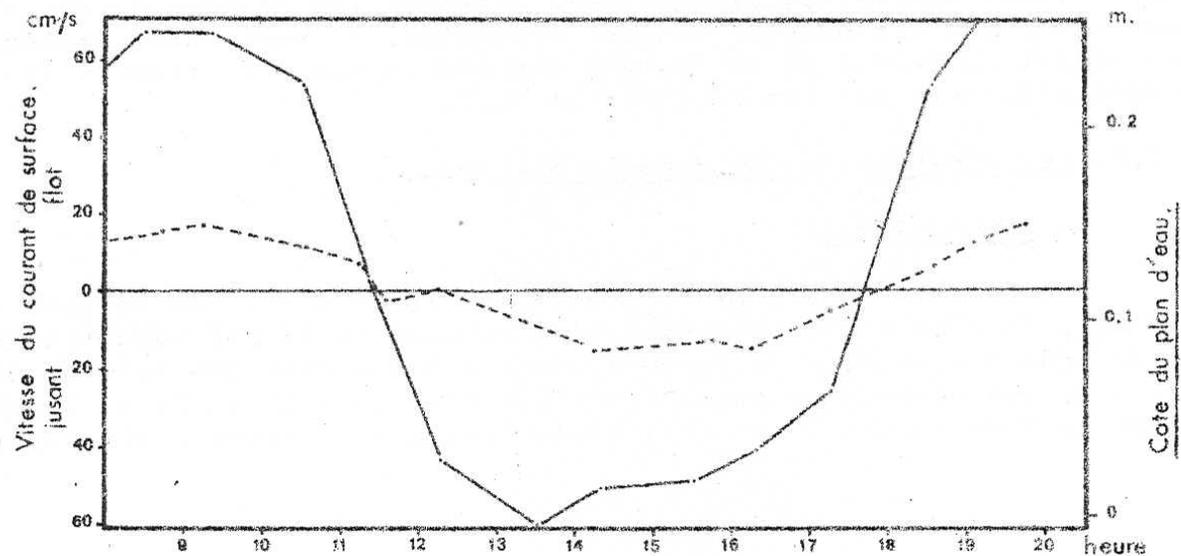
- Méthodologie.

La section du chenal retenue a été imposée par des raisons de sécurité car, la côte étant très basse, il ne nous était pas possible de travailler trop à proximité de la zone soumise à l'action des houles. Selon 7 verticales, les mesures de courant ont été réalisées en surface, à mi-profondeur et au fond durant 13 heures, à intervalle de 1 heure (pl. 13).

INFLUENCE DE L'AMPLITUDE DE LA MAREE — Station C



10-6-76 : Marée d'amplitude 13.0 cm dans la Bokhana.



19-6-76 : Marée d'amplitude 6.4 cm dans la Bokhana.

Ces mesures ont été reconduites 3 fois sur une période de 15 jours, avec des lectures de marée concomitantes en quatre emplacements sur la lagune et dans la Bokhana. Les calculs ont été effectués par méthode graphique aux normes de l'International Standard ISO - 748-1973 (E) adapté aux chenaux ouverts avec variation de niveau (pl. 13).

- Débit liquides instantanés (pl. 14).

Les débits n'ont pas dépassé $250 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une largeur de chenal de 130 m environ, ce qui s'explique par une profondeur moyenne faible (1.1 à 1.4 m) et par l'absence de très forte marée en cette époque.

Les débits maxima du 10-6-76 (marnage 13 cm) sont plus du double de ceux du 19-6-76 (marnage 6.0 cm). Par opposition, le 3-6-76, un marnage de 14.0 cm n'a pas fourni des débits très supérieurs à ceux du 19-6-76 (marnage 6.0 cm). Cette anomalie tient à ce que, le 3-6-76, le marnage aurait théoriquement dû être de 9-10 cm environ. Un fort vent du large, soufflant durant le montant est responsable de ce fait.

- Volumes liquides transitants de flot et de jusant.

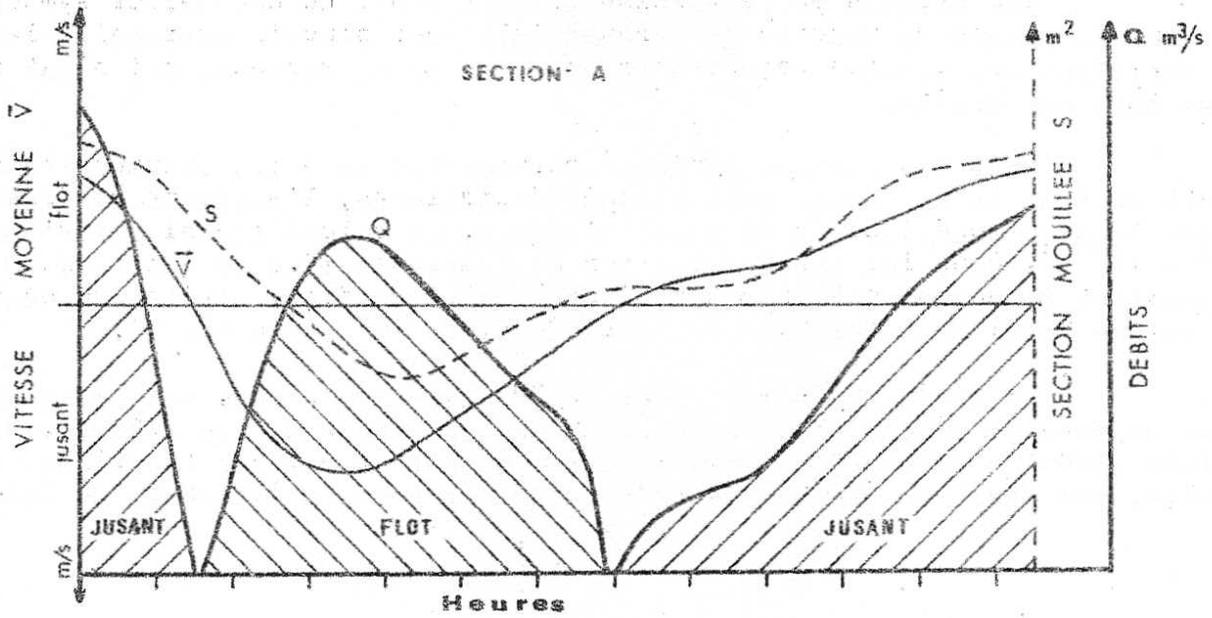
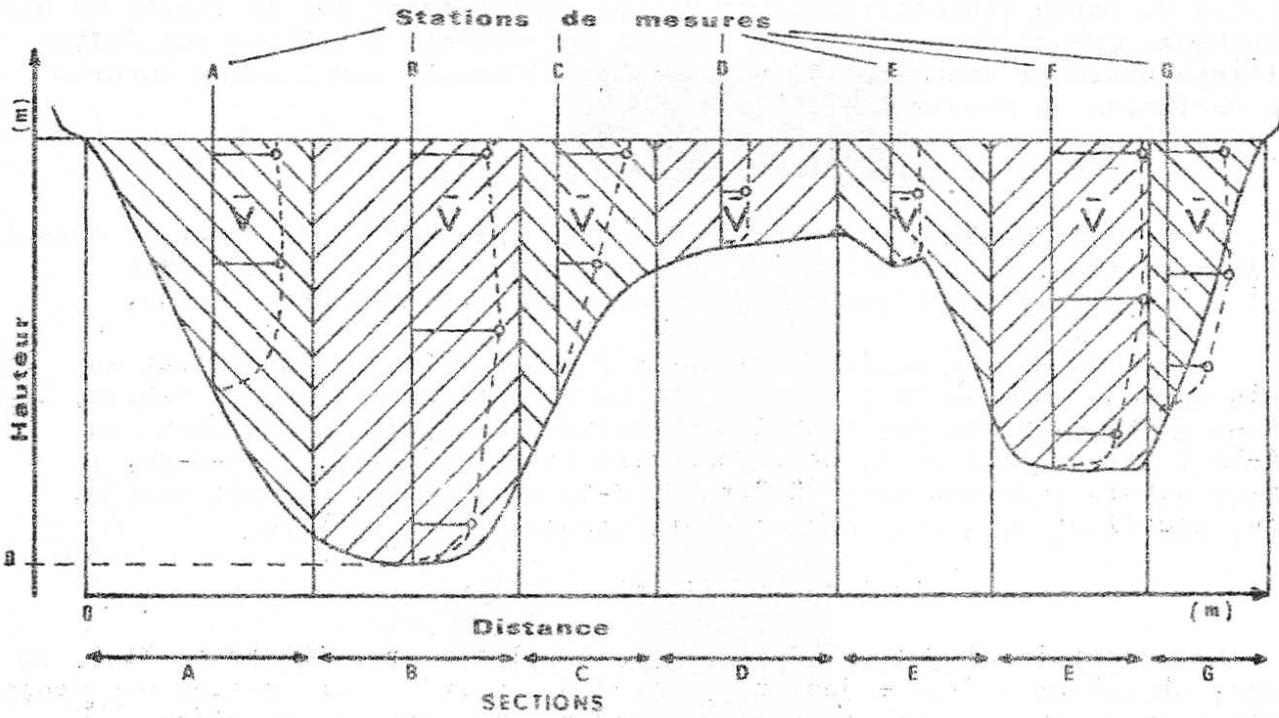
Sur la planche (15), fig b, les volumes transitants de flot, de jusant, et totaux (flot + jusant), ont été reportés pour chacune des trois journées de mesures. Le marnage correspondant est porté en abscisse.

Les droites de regression tracées n'ont qu'une valeur symbolique puisque le nombre de mesures est trop faible pour pouvoir extrapoler la loi de variation des volumes transitants en fonction du marnage, qui n'est pas, bien sûr, une droite.

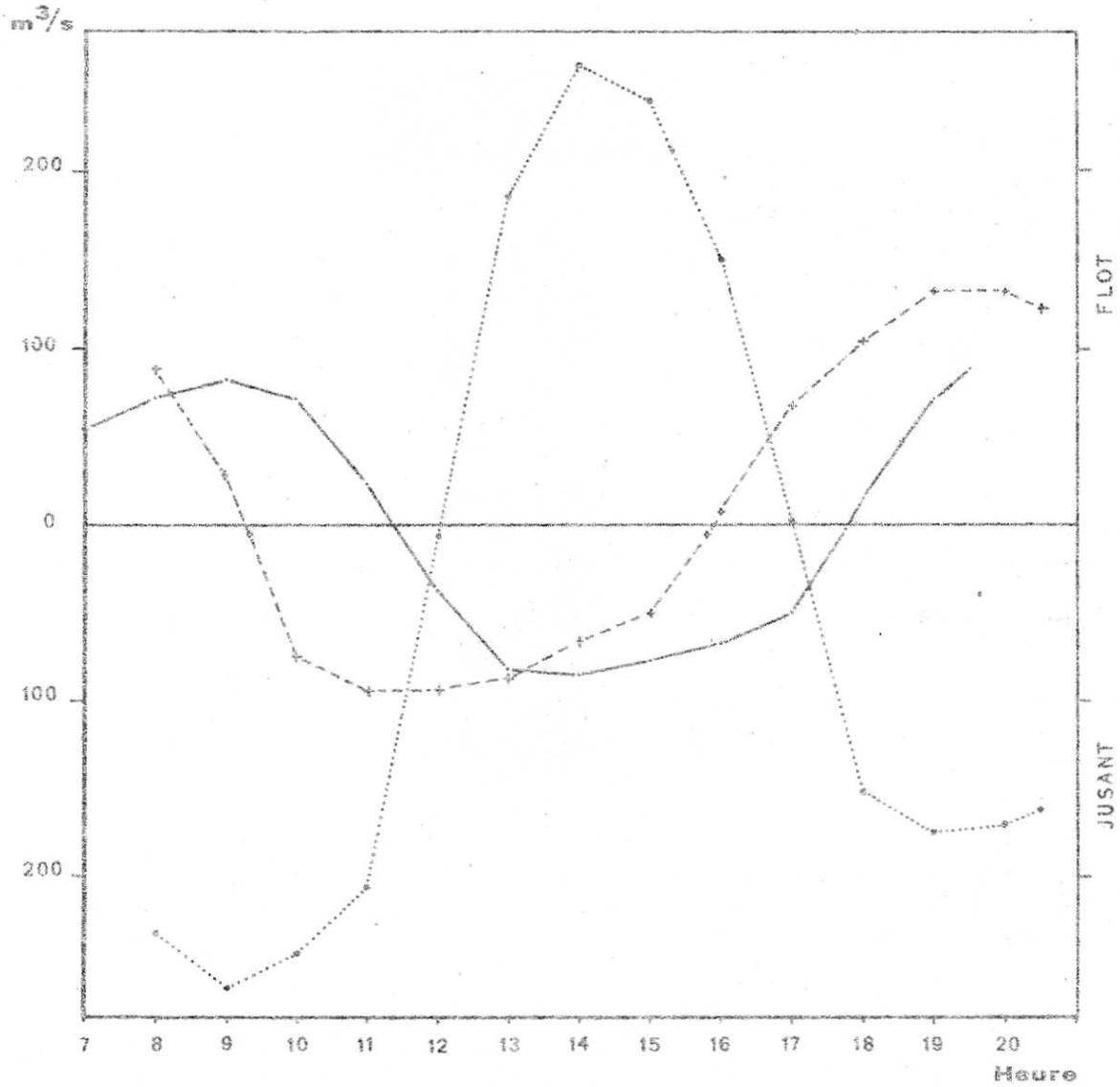
Pour les petites marées (marnage 6.0 cm) les volumes transitants de flot et de jusant sont presque équivalents, l'excédent de jusant étant à peine supérieur à la marge d'erreur. Le volume global est d'environ $2.7 \times 10^6 \text{ m}^3$. Pour les marées plus fortes (marnage 13.0 cm) le volume transitant de jusant est très supérieur à celui de flot, environ du double. Le volume total des échanges est alors de $4.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 12h 30.

La marée du 3-6-76, pour de fort vent du large, est particulière avec un marnage réel de 14.0 cm pour un marnage théorique de 9.10 cm. Son volume global d'échanges est celui correspondant au marnage théorique. Par contre, son débit de jusant est très inférieur à ce qu'il aurait dû être,

CALCUL DES DEBITS - METHODE GRAPHIQUE



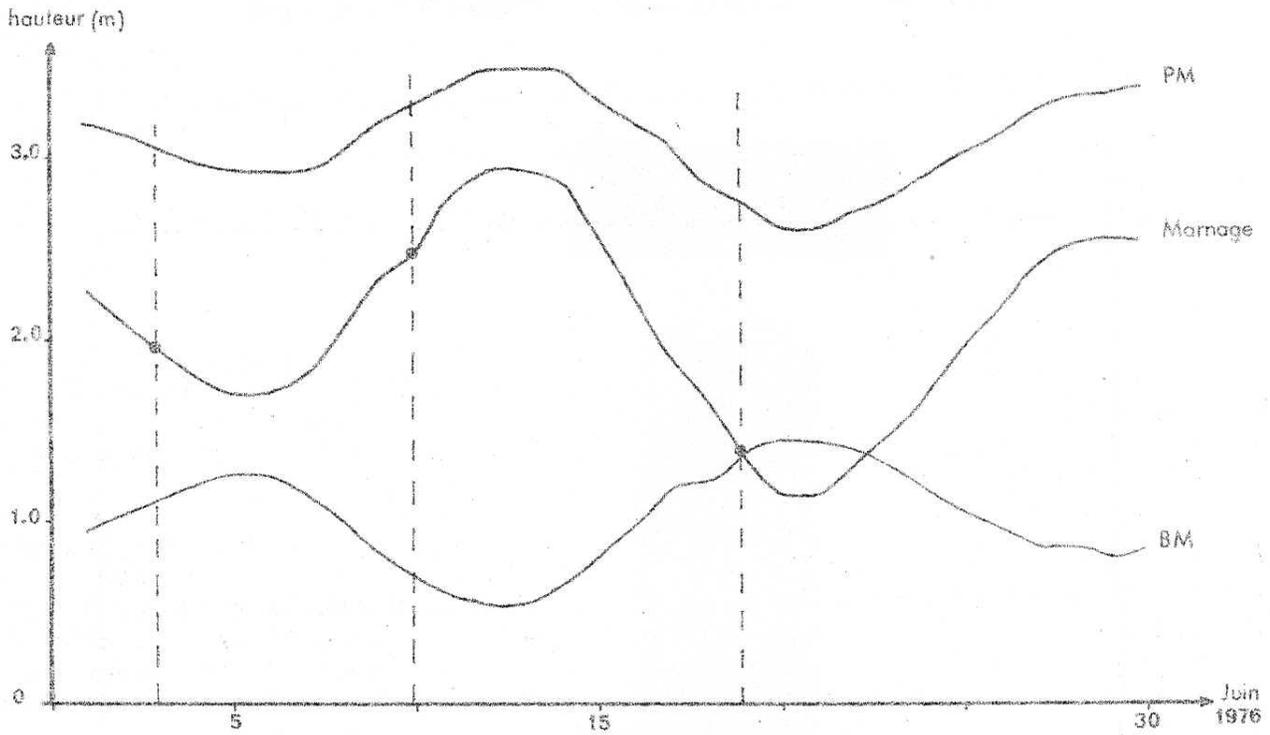
DEBITS LIQUIDES INSTANTANES



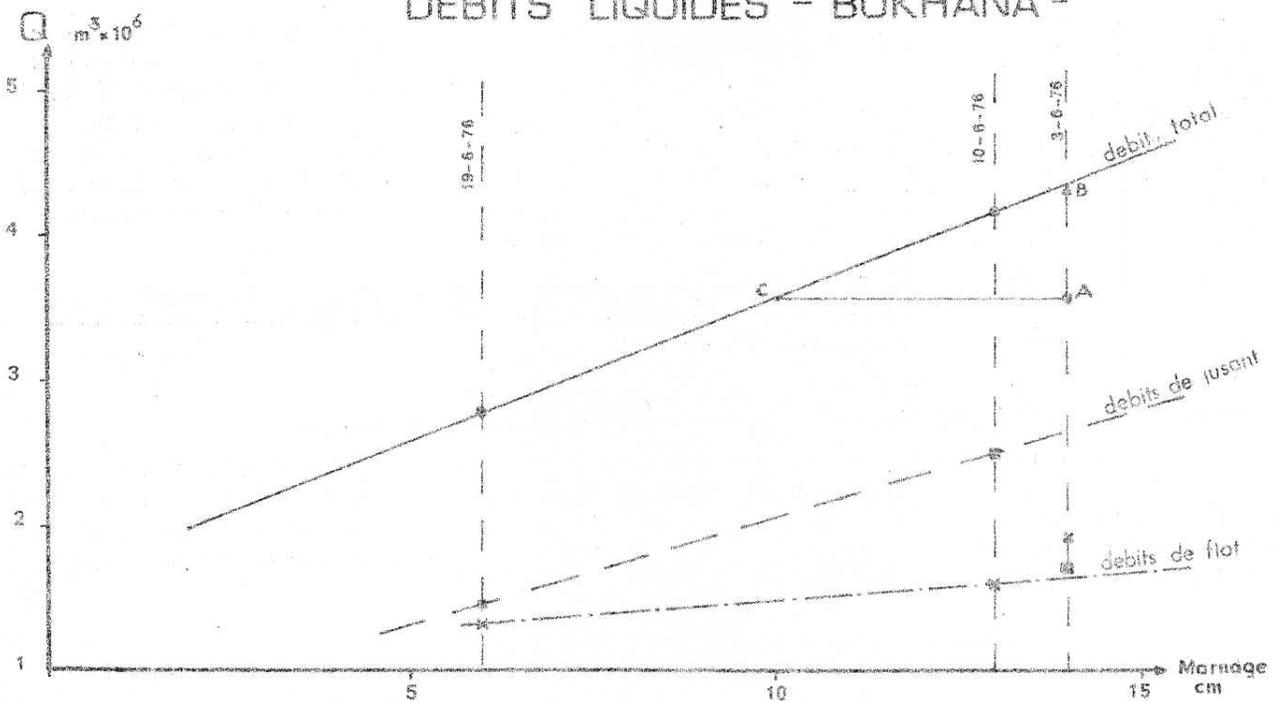
Débits exprimés en m^3/s pour toute la largeur de la Bokhana

- + - - - - + courbe des débits du 3-6-1976
- o courbe des débits du 10-6-1976
- courbe des débits du 19-6-1976

MAREE A CASABLANCA



DEBITS LIQUIDES - BOKHANA -



quelque soit le marnage considéré, alors que celui de flot est légèrement amplifié. Le vent n'ayant soufflé que durant le flot, il faut penser qu'il a accru la durée et l'intensité du flot, diminuant par contre le jusant suivant, avec sur-élévation du niveau de la pleine-mer.

4.2.4. Nature des échanges hydrologiques au niveau de la Bokhana.

a) Les eaux transitant par la Bokhana.

Une station hydrologique a été réalisée en un point fixé de la Bokhana durant 12.000 heures, la veille de mesures de débits liquides. Les paramètres étudiés ont été la température et la salinité des eaux, les teneurs en oxygène dissous ne paraissant pas très exploitables étant donné l'intense brassage naturel des eaux en ces lieux.

La station hydrologique (pl. 16) montre la pénétration, durant le flot, d'une eau de salinité supérieure à 35.00 ‰ et de température assez basse, inférieure à 23.5°C. La fin du jusant montre la tendance à l'expulsion d'eaux lagunaires de salinité inférieure à 33.75 ‰ et dont la température croît au fur et à mesure que l'on se rapproche du jusant. Il apparaît donc une caractérisation de deux masses d'eaux différentes, dont le mélange partiel est typique d'eaux expulsées au début du jusant.

b) Relations avec l'eau marine franche.

Des prélèvements en mer, en surface et au fond, l'un en zone marine franche et l'autre dans la limite d'extension des eaux expulsées au jusant, ont permis de compléter les données et d'exécuter un diagramme T.-S (pl. 17). On y remarque la caractérisation très nette des eaux marines franches qui ne pénètrent pas directement dans la lagune. Le reste du diagramme traduit l'existence des différentes masses d'eaux déjà signalées. Il montre qu'au niveau de la Bokhana il y a oscillation d'eaux à caractères mixtes, mais pas réellement d'apports marins francs continus.

4.2.5. Bilan des caractéristiques des échanges entre la Méditerranée et Sebkha Bou Areg.

Il ressort de tout ce qui précède que :

- La morphologie de la Bokhana (section mouillée, largeur, profondeurs maximales et moyennes, encombrement des extrémités) conditionné la propagation de l'onde de marée, et donc le champ des courants de vidange et de remplissage, et par voie de conséquence, le volume des échanges liquides de flot, de jusant et globaux.

HYDROLOGIE - 9-6-76

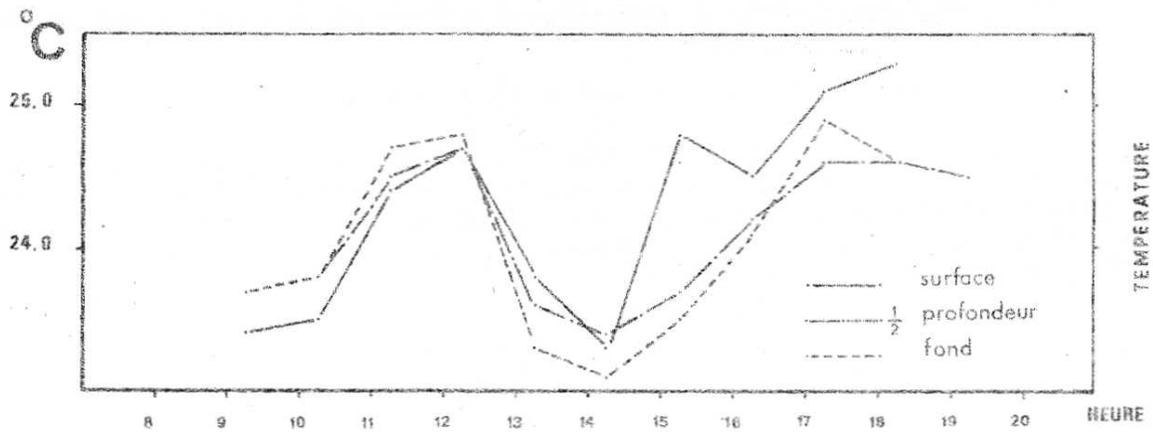
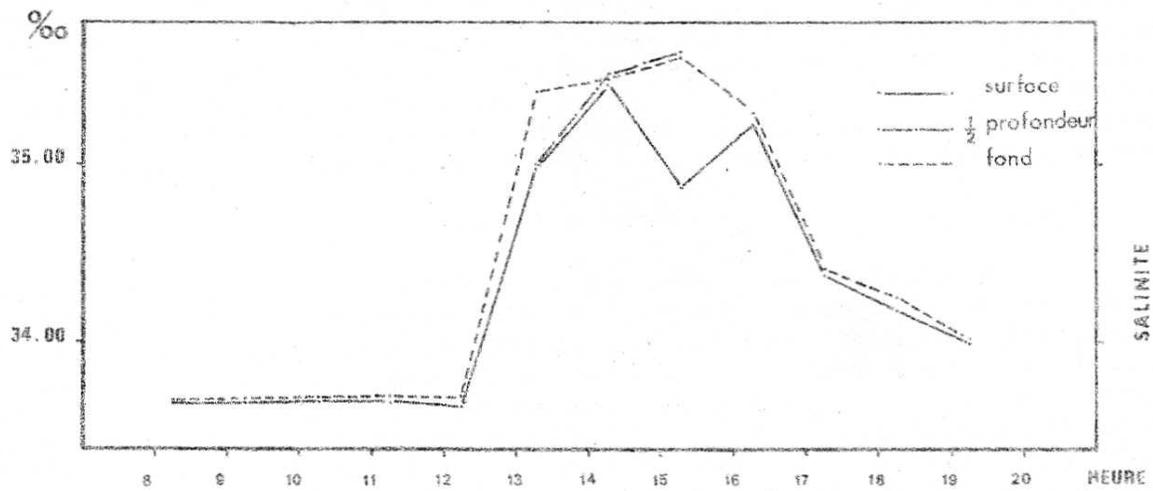
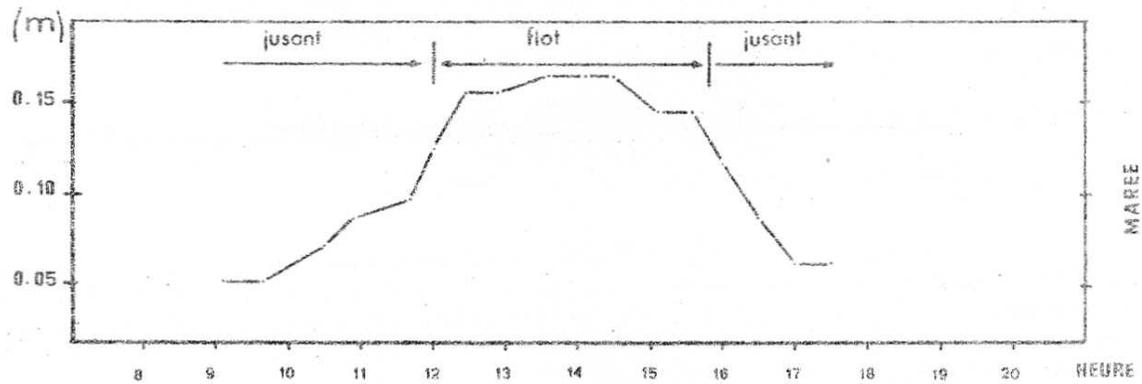
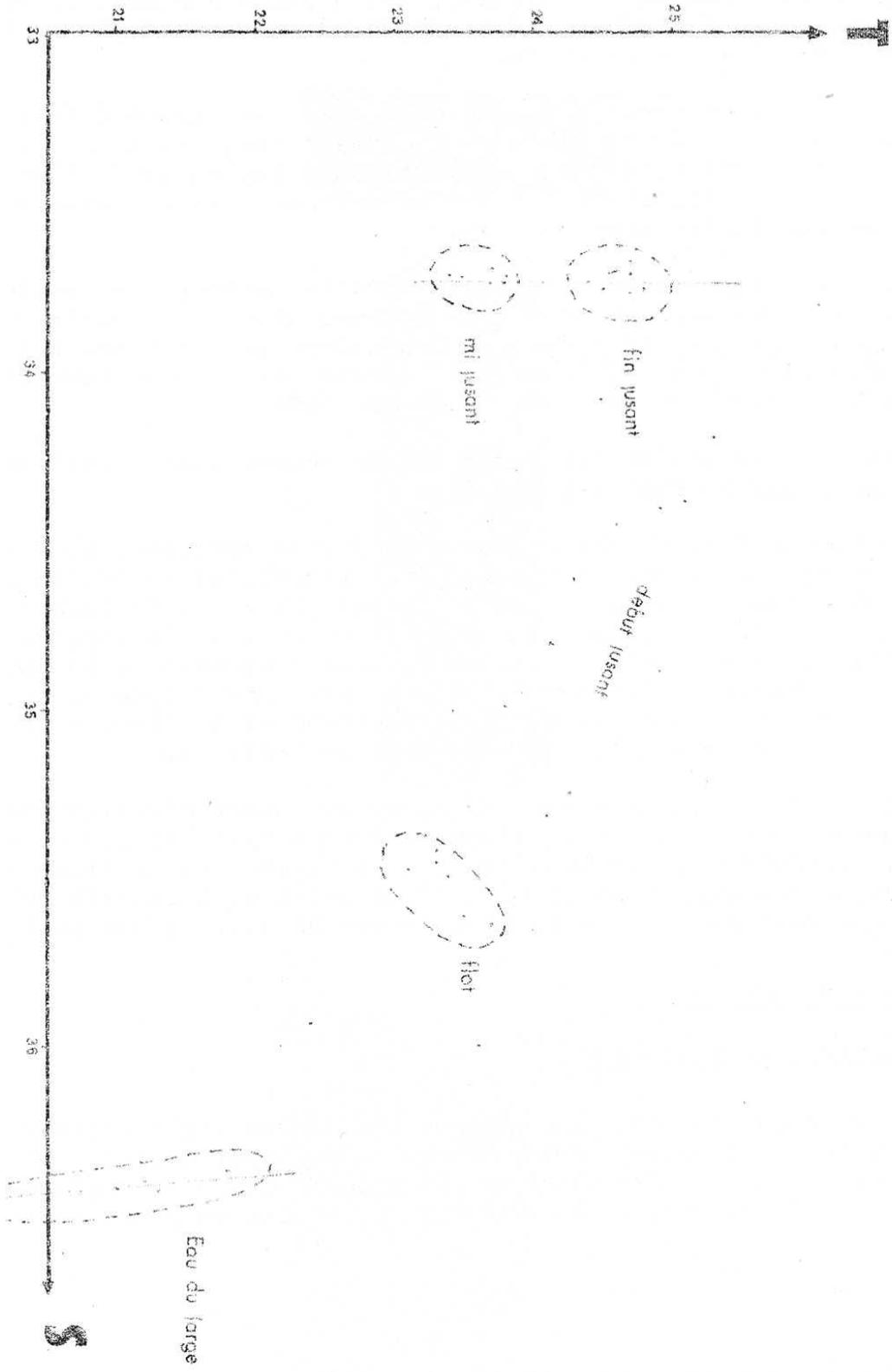


DIAGRAMME T-S

BOKHANA 9-6-76



insuffisantes. En effet, les apports directs par ruissellement, en zone climatique méditerranéenne, sont pratiquement non mesurables avec un réseau hydrographique non hiérarchisé. Les limites actuelles des calculs possibles sont les suivantes, pour une pluviométrie moyenne de 400 mm :

115 Km²) : - Volume des pluies annuelles tombant sur la Sebka (superficié

$$115 \times 10^6 \times 0.4 = 46.10^6 \text{ m}^3/\text{an.}$$

Ph. Carlier ; - Apport de la nappe phréatique, période 1962-1966, d'après

$$18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an} \text{ (la totalité n'atteignant peut-être pas la lagune)}$$

versant (1000 Km²) - Estimation du volume des eaux de ruissellement du bassin

$$1.000 \times 10^6 \times 0.4 \times 0.1 = 40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an} \text{ (ruissellement atteignant la lagune = 10 \%)}$$

$$1.000 \times 10^6 \times 0.4 \times 0.5 = 200 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an} \text{ (ruissellement atteignant la lagune = 50 \%).}$$

- Apports dûs à l'irrigation des plaines de Gareb et Bou Areg.

a) Estimation des besoins prévus, Ph. Carlier (1961)

$$260 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

b) Mesures effectuées en Juin 1976 sur l'Oued Selouane calibré pour l'irrigation, 1 Km en amont de l'exutoire :

$$50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an.}$$

c) Modifications apportées au bilan hydraulique des nappes (non connu pour l'instant).

En définitive, les calculs ne pourront être poussés plus loin que lorsque les renseignements concernant les volumes d'eaux douces introduites artificiellement dans le bassin versant à des fins d'irrigation seront connues pour fixer les idées, les apports d'eaux douces seraient compris dans une fourchette de

$$230 \text{ à } 500 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{an.}$$

4.3.2. Localisation

Sur le porteur de la Sebkha un nombre impressionnant de lits d'Oueds asséchés converge vers la lagune. En cette saison ils sont desséchés et, même en période de pluie, l'eau n'atteint que rarement la Sebkha car elle se perd d'abord par évaporation et infiltration. Le seul exutoire naturel notable est l'Oued Selouane, situé sur le flanc Sud-Est de la lagune, à environ 70 Kms au sud de Nador. Il a été récalibré et sert également d'exutoire aux eaux d'irrigation. Un autre petit Oued se jette dans la lagune à 1 Km au sud de Nador, et présente un petit promontoire deltaïque. Son débit est très faible.

A l'extrémité Sud-Est de la lagune, deux petits ruisseaux fournissent un débit liquide quasi-continu extrêmement faible et doivent drainer la nappe à cet endroit.

4.4. SCHEMA DYNAMIQUE ACTUEL.

4.4.1. Description

La planche (18) synthétise l'état de nos connaissances sur le régime hydrologique actuel de la Sebkha Bou Areg. Il apparaît ainsi, de façon un peu schématique, le rôle exercé par les influences marines, dont la voie d'accès est la Bokhana, et continentales qui se font sentir principalement au niveau de l'Oued Selouane.

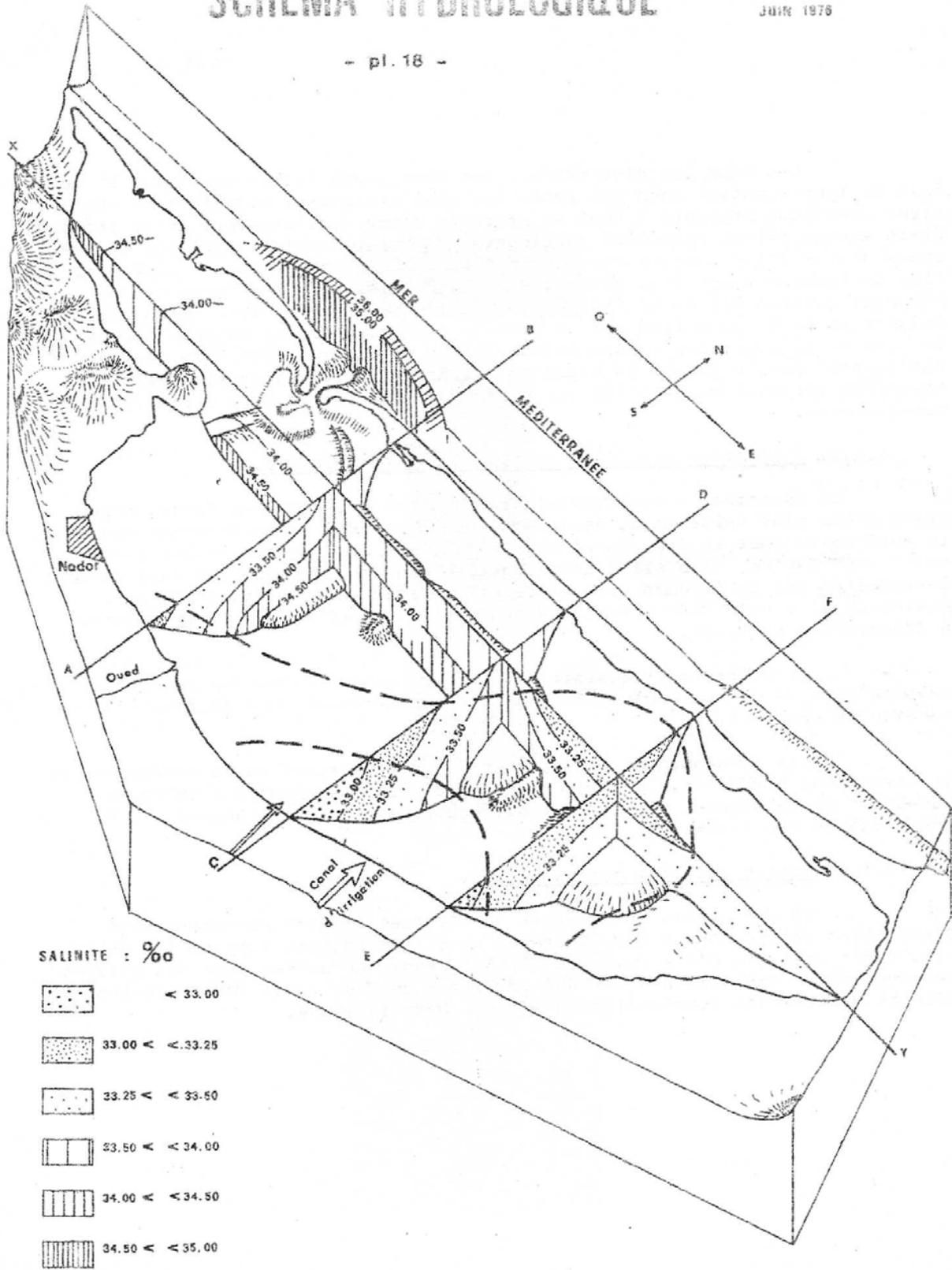
Il apparaît clairement que les eaux marquées par l'influence marine sont maintenues plaquées le long du cordon littoral et que leur limite d'extension vers le Sud-Est coïncide avec les alignements transversaux de hauts-fonds.

Ces eaux s'enfoncent vers le Sud-Ouest, comme un coin salé, sous les eaux marquées par l'influence continentale, due aux eaux douces déversées par l'Oued Selouane. Ces eaux légèrement dessalées s'étalent en surface, formant même une sorte de barrière hydrologique (salinité $< 33,25$ ‰) en travers de la Sebkha. Les deux extrémités de la Sebkha apparaissent comme des zones particulières, maintenues un peu à part de ce schéma dynamique.

SCHEMA HYDROLOGIQUE

JUIN 1978

- pl. 18 -



Les eaux les plus salées, par leur assez faible extension et du fait de leur maintien dans les zones les plus profondes, suggèrent le mécanisme dynamique probable : tout se présente comme si l'ensemble de la lagune était marqué par un caractère continental dessalé, contrebalancé par le piégeage d'eaux d'influence marine injectées par la Bokhana lors de la fin du flot en faibles quantités, mais piégées dans la cuvette des fonds maxima. Ces eaux marines salées et froides introduites en fin de flot, après avoir franchi le seuil constitué par la Bokhana peu profonde, se répandent dans le fond de la gouttière topographique. Elles ne peuvent plus être évacuées directement par le jusant et elles sont alors soumises progressivement à un transfert vertical de salinité par diffusion dans les couches moins salées sus-jacentes.

4.4.2. Incidences possibles du type de schéma élaboré.

Ce mécanisme a pour corrolaire le maintien, dans les fonds, d'une masse d'eau plus salée mais, également, moins exposée à des échanges avec la surface surtout en été. En effet, en été, les eaux continentales sont moins importantes, mais elles sont beaucoup plus chaudes que les eaux marines introduites par la Bokhana. Les gradients thermiques et de salinité sont maxima et il y aura donc stratification verticale nette, qui devrait tendre à disparaître en hiver.

Ce schéma expliquerait les valeurs plus faibles des teneurs en oxygène dissous rencontrées au fond et particulièrement dans la zone d'extension de ces eaux.

Les conséquences biologiques qui dériveraient de ce schéma seront intéressantes à déceler. Déjà, le maintien d'eaux dessalées sur le flanc Sud-Ouest de la lagune, s'est matérialisé par une abondance anormale des anguilles en ces lieux.

4.4.3. Notion d'unités hydrologiques.

Il est apparu intéressant de vérifier l'existence des masses d'eaux bien différenciées que le schéma dynamique faisant supposer. A cette fin, trois stations d'une durée de 10.00 heures (écourtées pour des raisons de sécurité de navigation) ont été réalisées en deux zones intéressantes afin de déceler les éventuelles variations hydrologiques.

- Une station a été réalisée dans l'extrémité Nord-Ouest de la Sebkha, le 14-6-76. Ainsi que prévu, les caractéristiques de salinité, température, teneur en oxygène dissous sont restées constantes durant toute la durée de la station. En outre, les valeurs de surface et de fond sont voisines. Cela traduit bien le caractère particulier des eaux de cette zone, sans stratification verticale et sans mouvements translatifs horizontaux.

La seconde station, réalisée le 8.6.76 au milieu de la Sebkha, a parfaitement illustré l'hypothèse relative à l'existence de masses d'eaux individualisées, avec leurs limites tant latérales que verticales (pl. 19). Ainsi, pendant la première moitié de la station, une masse d'eau de salinité moins élevée 33.20 % et de teneurs en oxygène dissous supérieures à 5.0 mg/l s'est trouvée superposée à une unité hydrologique sous-jacente à la salinité plus forte (34.50 %) et teneurs en oxygène dissous faibles (3.0 à 3.5 mg/l) traduisant une stagnation relative. La seconde partie de la station a vu disparaître cette masse d'eau de fond qui doit donc être animée de pulsations latérales liées au cycle de marée.

L'existence d'unités hydrologiques, bien individualisées paraît certaine à cette saison, et l'existence d'une sorte de nappe salée au fond de la lagune se précise.

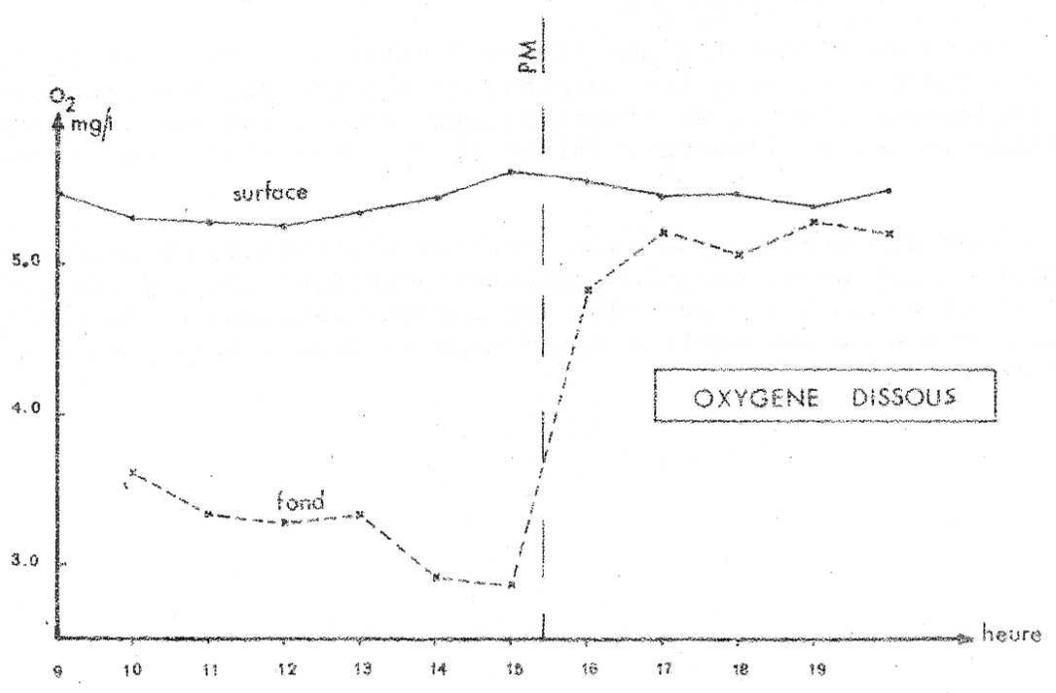
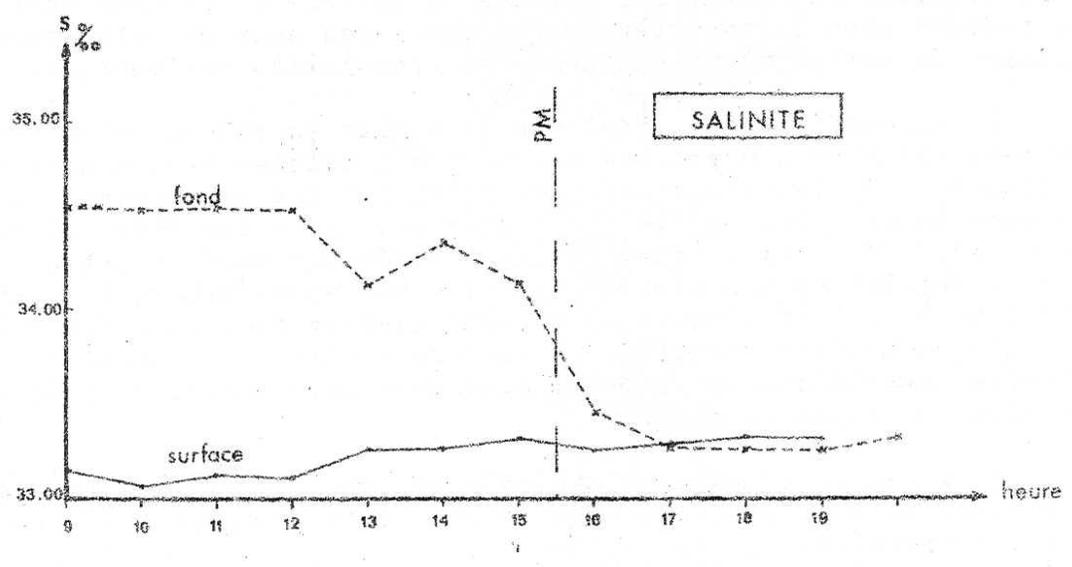
Il restera à en tirer les conclusions sur le plan biologique.

5) EVOLUTION HYDROLOGIQUE RECENTE.

En 1960, l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc et le Ministère des Travaux Publics ont, pour les besoins, l'un d'une étude exhaustive du milieu biologique et l'autre de l'installation d'un grand port, effectué une approche scientifique de l'hydrodynamique et de l'hydrologie de la Sebkha Bou Areg.

Bien que beaucoup de leurs sources d'informations soient plus ou moins bibliographiques, certaines mesures physiques ont été réalisées. Elles permettent de se faire une idée des caractéristiques de la Sebkha Bou Areg à cette époque et des évolutions introduites depuis lors par la nature ou par l'homme.

8-6-76



5.1. LA SEBKHA BOU AREG EN 1960

5.1.1. La Bokhana

La section mouillée de la passe avoisinait alors 600 m^2 avec des profondeurs inférieures à 7.0 m . Il était nécessaire de draguer pour permettre de maintenir des profondeurs acceptables et tout laissait supposer que la cessation des dragages entrainerait le comblement.

La position de la Bokhana semble proche de la situation actuelle mais, selon les esquisses de P. ERIMESCO, elle se serait alors située environ 1.0 Km plus au Sud-Est. Cela paraît peu probable au vu des photos aériennes prises en 1957 et en 1963.

5.1.2. Les échanges avec la Méditerranée.

Les informations concernant le volume des échanges sont contradictoires. En vive-eau, l'une des sources donne pour le flot un débit total de $19 \times 10^6 \text{ m}^3$, et l'autre avance $1.5 \text{ à } 2 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'information sur le chiffre maximum paraît résulter d'un calcul purement théorique simplifié, sans rapport avec la réalité. Par contre, la valeur minimale (P. ERIMESCO en 1961) est certainement très en dessous de la réalité puisque, actuellement, une section de 220 m^2 et des courants plus faibles que ceux notés en 1961 (1.70 m/s max), nous avons ces mêmes valeurs.

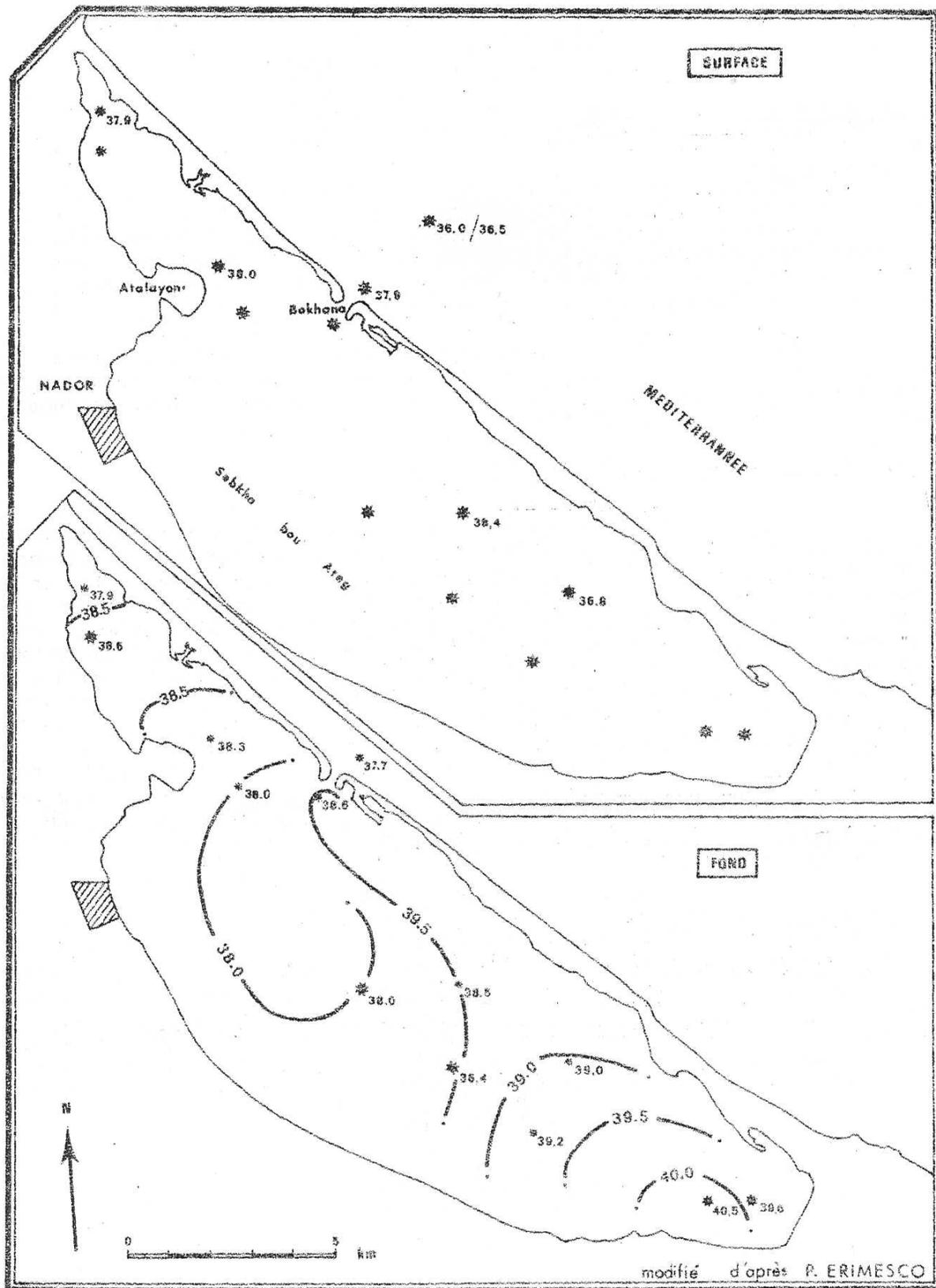
5.1.3. Hydrologie lagunaire.

Des mesures ont été faites par P. ERIMESCO et, par comparaison avec nos mesures actuelles sur la Méditerranée, considérée comme un milieu stable, elles doivent être prises pour exactes.

En 1961, au mois de Juillet, la Sebkhah Bou Areg était un milieu sursalé (pl. 20). Les salinités oscillaient entre 37.9% et 40.5% . Les eaux les plus salées se rencontraient aux deux extrémités de la lagune où cependant, des arrivées minimales d'eaux douces se faisaient sentir. Au large de la Bokhana, le jusant expulsait en Méditerranée une " plume " d'eau sursalée.

SALINITE ‰

JUILLET 1961



5.1.4. Bilan hydraulique.

MERONO A.S. en 1946, reprenant les travaux de DEBREL G. (1941) a estimé que la lagune était soumise à une évaporation de $17.544 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui équivaut à $153.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. En vérité, la seule chose d'à peu près sûre c'est que, de 1907 à 1910, la Bokhana étant fermée, le niveau de la lagune aurait baissé de $0,7 \text{ m/an}$. Cet abaissement du niveau représente une perte annuelle de $70 \times 10^6 \text{ m}^3$, correspondant à la différence entre le volume évaporé durant cette période et les apports d'eaux douces par ruissellement, pluie directe et nappe phréatique. Il apparaît donc que ce déficit était compensé par des apports extérieurs par la Bokhana. Cela conduit donc à estimer que les apports liquides de flot étaient supérieurs à ceux de jusant, le solde positif annuel de flot étant alors de $70 \times 10^6 \text{ m}^3$.

5.1.5. Schéma hydrologique.

Il est délicat à établir avec les renseignements disponibles, cependant P. ERIMESCO avait noté que les courants très lents dans la Sebkha tendaient à introduire les eaux de flots provenant de la Bokhana, selon un circuit tournant en sens inverse des aiguilles d'une montre. Cela est en contradiction avec les effets de la force de Coriolis mais il faut supposer que nous en ignorons la cause exacte, sauf si l'on invoque le maintien d'un chenal dragué profondément vers l'intérieur de la lagune, entre la Bokhana et Nador. Dans tous les cas, ce type de circulation ne peut pas se concevoir dans l'hypothèse d'une stratification verticale des eaux du type actuel. Il faut donc éliminer cette possibilité de stratification, d'autant que les eaux de la lagune chaudes et sursalées, et les eaux marines moins salées mais plus froides, avaient des densités très proches. Il n'y a alors aucune raison de considérer que les eaux marines aient pu se disposer en profondeur. Au contraire, durant l'hiver, ce seraient plutôt elles qui auraient eu tendance à s'étendre en surface.

5.2. NATURE DES EVOLUTIONS

- Morphologie laqunaire

La position de la Bokhana n'a certainement pas changé depuis 1961. En effet, la carte bathymétrique espagnole de 1950 est, en ce point particulier, comparable à la carte actuelle au 1/50000, de l'Institut Géographique. Donc le fond de carte ^{depuis 1961} utilisé par P. ERIMESCO en 1950 devait être périmé.

La forme de la Bokhana et des deltas de marée a évalué.

Ce fait est confirmé par la concordance des différentes sources de renseignements. La section mouillée de la Bokhana, sa largeur et sa profondeur étaient très supérieures à ce qu'elles sont actuellement. Il y a donc fermeture progressive de la passe, avec formation de bancs sableux faisant obstacles à la navigation. Le delta interne de marée était creusé, selon un axe médian, par un chenal résultant plus ou moins d'efforts humains de dragages. Ce chenal est maintenant comblé, sa position ancienne n'étant plus marquée que par une petite encoche de flot. Deux chenaux se sont ouverts, longeant les extrémités internes des deux pointes de la flèche littorale. Le chenal portant au Sud-Est est le plus important, mais il est séparé du corps médian de la passe par un seuil sableux.

La forme générale de la Sebkha Bou Areg paraît peu changée,

à l'exception des bordures littorales internes situées au Sud-Est de Restinga. Son volume total avait été estimé à $340 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 1961. Ce chiffre est faux, puisque la carte bathymétrique espagnole, très précise, conduit pour 1950 à un volume de $540 \times 10^6 \text{ m}^3$. Un contrôle très approximatif en 1976, en attendant un levé bathymétrique détaillé que nous réaliserons au printemps 1977, montre localement une remontée des fonds de l'ordre de 0.5 m. Cela conduirait, pour 1966, à un volume d'eaux lagunaires d'environ $500 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ces derniers résultats ne sont pas assez précis pour estimer le taux de sédimentation récent.

- Bilans hydrauliques

Les échanges avec la Méditerranée ont diminué.

Bien que les chiffres fournis en 1950 soient contradictoires, il est certain que les débits liquides de flot et de jusant étaient plus élevés qu'actuellement, la section de la passe étant 3 fois plus grande. Les volumes liquides introduits en flot étaient supérieurs à ceux expulsés en jusant, le solde annuel devant compenser le déficit entre l'évaporation et les apports d'eaux douces continentales, soit $70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (sur les bases de la période 1907 - 1910).

Les apports en eaux douces se sont accrus

par le simple fait de l'aménagement des plaines du Gareb et de Bou Areg par irrigation. Les besoins à satisfaire ont été estimés à $260 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ en 1961 pour l'ensemble du bassin versant. Il est actuellement difficile de savoir quel est le stade de réalisation atteint, d'autant que ces apports nouveaux peuvent gagner la Sebkha Bou Areg par voie indirecte (mise en charge de la nappe) et sont peu perceptibles en observation visuelle. Deux canaux récents évacuent des eaux douces dans la Sebkha, l'un est artificiel et l'autre consiste en un recalibrage du lit de l'Oued Selouane qui reçoit des eaux douces d'origine nouvelle.

Des mesures de débit, en Juin 1976, sur l'Oued Selouane près de son exutoire ont donné 2 - 3 m³/s ce qui, par extrapolation hasardeuse, est de l'ordre de grandeur de l'ancien déficit évaporation-apports eaux douces (1907 - 1910) de 70 x 10⁶ m³/an.

- Hydrologie lagunaire

La Sebkhâ Bou Areg était, en 1961, un milieu sursalé. Elle est devenue, en 1976, sous-salée.

En 1961, il semble que la lagune ne présentait que des gradients latéraux de salinité, les deux extrémités Sud-Est et Nord-Ouest étant génératrices de saumures. Il ne paraît pas y avoir eu de gradients verticaux de salinité-température-oxygène dissous à caractère permanent.

En 1976, il y a toujours des gradients latéraux, mais leur distribution est totalement changée, et leur sens est inversé. Les salinités décroissent généralement en s'éloignant de la Bokhana, et tout le flanc Sud-Ouest de la lagune est générateur d'eaux déssalées. Il y a maintenant une stratification verticale des eaux, conduisant à l'existence de cellules hydrologiques. Près du fond, une/plusieurs cellules semblent conduire à la création de milieux plus ou moins clos (sous toutes réserves, les déficits en oxygène dissous pouvant être partiellement liés à la respiration des Zostères durant la nuit).

- Nature des fonds

Du point de vue sédimentologique, entre 1950 et 1976 il y a une forte extension du facies vaseux ou silto-vaseux. Les fonds à sable fin, plus ou moins coquilliers, sont recouverts par des dépôts vaseux récents. Les facies sableux purs ne sont conservés que le long de la bordure Nord-Est de la lagune. Une étude très détaillée sera bientôt publiée.

Le peuplement des fonds traduit l'évolution exposée. La zonation existe toujours, mais beaucoup de prairies et d'herbiers sont en voie de développement. Les thalles des algues sont recouverts d'un film de sédiment argileux et sont peu vivaces. La couche supérieure du sédiment montre une grande abondance de restes végétaux en décomposition.

6) CONCLUSION

Il serait prématuré, sur une seule mission d'observation, de vouloir tirer des conclusions très détaillées, d'autant que certaines lacunes dans nos connaissances ne seront comblées qu'un peu plus tard. Toutefois, les grands traits de l'évolution récente de la lagune se précisent :

- Changement complet de l'hydrologie du milieu qui, de sursalé, est devenu dessalé. Les causes en sont les apports récents d'eaux douces d'irrigation compensées par les échanges avec la Méditerranée puisque la Bokhana se comble.

- Une modification des biotopes, qui se répercute sur la distribution qualitative et quantitative des espèces biologiques.

- Une inversion du fonctionnement de la Bokhana qui, sur le plan hydraulique, se transforme en ~~exu~~utoire et en embouchure du type estuarien.

- Une évolution du milieu de sédimentation qui va devenir de plus en plus continental vers l'amont (flanc Sud-Ouest de la lagune)

- La création d'un nouveau schéma de circulation interne des eaux, avec une forte différenciation entre circulation de surface et circulation en profondeur.

- Une mauvaise homogénéisation des eaux limitant les problèmes de dispersion mécanique et de diffusion, ce qui sera très important sur le plan de la biologie animale et végétale, et en matière d'hygiène sociale.

En définitive, les évolutions constatées et les conséquences susceptibles d'en découler justifient pleinement le travail fait et le programme qui reste à réaliser.

B I B L I O G R A P H I E

- - - - -

- ALONCLE H. (1961) La pêche dans la Mar Chica de Melilla. Bulletin de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc, n°7 (Septembre 1961).

- CARLIER PH. (1971) Plaines du Gareb et du Bou Areg. Notes et Mémoires du Service Géologique n°231 Ressources en Eau du Maroc. Tome 1. Rabat (1971).

- COLLIGNON J. (1965) La côte et le plateau continental marocain. Bulletin de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc n° 13 (Septembre 1965).

- DEBREL G. (1911) Geografía General de la provincia de Rif y Kabilas de Guelaia-Kebdana-Beni Saïd. Melilla - (1911).

- DEREKOY A.M. et MORTIER F. (1961) Hydrogéologie de la plaine du Gareb et du Bou Areg Mines et Géologie, Rabat, n° 14, pp 83-91 , 4 Fig.

- ERIMESCO P. (1961) La Mar Chica de Melilla. Bulletin de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc n°7 (Septembre 1961).

- ERIMESCO P. (1965) La mer et l'atmosphère des côtes marocaines. Bulletin de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc n° 13 (Septembre 1965).

- FALLOT P. de LIZAUR J. MARCAIS J. SUTER G. (1952) Maroc Septentrional (Chaîne du Rif). Livret guide des excursions 131 et C31 du Congrès Géologique International d'Alger. Série Maroc n° 7 (1952).

- INSTITUTO HIDROGRAFICO
DE LA MARINA
(1950) Costa norte de Africa, desde el Cabo de
Tres Forcas hasta Ras Quiviana, escala
1/52-500, hoja nº 410 CADIZ (1950).

- Costa norte de Africa, desde Ras Quiviana
hasta la desembocadura del Rio Muluya,
escala 1/ 52500, hoja nº411 (CADIZ 1950).

- MERONO A.S.
(1946) Biografia de Mar Chica. Africa -
(Madrid 1946).

- NEDECO.
(1956) Etude du problème portuaire du Maroc
Oriental. Rapport inédit de la Société
NEDECO Ministère des Travaux Publics
Rabat - 1959.

- ROUCH J.
(1932) Le Maroc maritime. Revue de géographie
marocaine nº 4 1932.

- SERVICE HYDROGRAPHIQUE
ET OCEANOGRAPHIQUE DE
LA MARINE. - Côte d'Algérie des Iles Zafarines à la
Tafna 1/102500, feuille nº 6011 - 1946.

- Entrée de la Méditerranée, feuille nº1843,
1860 - 1959.

E R R A T U M .

Travaux et Documents n°19.

Page 10 paragraphe 3.3.2 : Facteurs de corrections.

Deuxième ligne : lire 3,1 dB au lieu de 6,2 dB.

Quatrième ligne: lire $10 \frac{3,1}{10}$ au lieu de $10 \frac{6,2}{20}$.