

Utilisation de la télédétection et des SIG en aquaculture : cas de la lagune de Nador

H. ARID et A. MOUSTATIR

Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, Maroc

A. ORBI

Institut Scientifique des Pêches Maritimes, Casablanca, Maroc

Résumé:

La lagune de Nador se caractérise par un écosystème semi-fermé, en communication avec la mer par une étroite passe. Cet écosystème est sous l'influence de plusieurs facteurs externes tels que l'ensoleillement, l'apport en eau douce, les eaux de ruissellement, le lessivage des champs agricoles et les eaux usées urbaines. L'influence marine est faible, caractérisée par une pauvreté des débits de la passe.

L'imagerie satellitaire de haute résolution, en plus de son apport en matière de cartographie des thèmes constituant la lagune, a permis d'analyser des paramètres physiques et géomorphologiques comme la turbidité et la bathymétrie.

L'utilisation des systèmes d'information géographique combinant les données satellitaires et les données in situ a permis de modéliser des scénarios d'exploitation et d'aménagement.

Abstract:

The Nador Lagoon is a semi-closed ecosystem, in communication with the sea through a narrow pass. This ecosystem is influenced by several external factors such as sunshine, flowing water, washing agricultural fields and urban wear. Marine influence is weak due to the small delivery through the pass.

High resolution satellite data allows the analysis of some physical and geomorphological parameters like the turbidity and the bathymetry.

The use of geographical information system which compound satellite data and in situ data allows utilization and management scenarios.

Introduction

Les lagunes offrent de plus en plus de possibilités à une industrie aquacole en développement rapide à l'échelle internationale et à la pêche de loisirs. Le Maroc est parmi les pays qui ne manquent pas d'atouts dans ce domaine, étant donné qu'il dispose de plusieurs sites sur ses deux façades maritimes. Cependant, sur la façade méditerranéenne, la lagune de Nador a retenu l'attention de nombreux organismes, entre autres la CEE en 1982 et le PNUD en 1983-1984. Ces programmes ont visé essentiellement les potentialités de développement aquacole et d'exploitation de la lagune. D'autres observations ont été réalisées par la FAO (Guelorget et al., 1984).

Cette lagune a suscité également l'attention de plusieurs chercheurs nationaux de l'Institut Scientifique des Pêches Maritimes (ISPM) et de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II), qui ont axé leurs efforts sur l'étude des aspects environnementaux du site, du fait de la menace engendrée par les contaminations urbaines, industrielles et agricoles. L'installation de la station d'épuration dans la ville n'est qu'une étape de lutte contre ce fléau.

L'importance de cette lagune a conduit à l'installation de la société MAROST qui depuis 1986 multiplie les efforts techniques et matériels afin d'assurer une exploitation aquacole rationnelle de la lagune.

Présentation de la lagune

1. Cadre régional

a- Position: géographique

La lagune de Nador est localisée au nord-est du Maroc, sur le littoral méditerranéen. Elle est située à l'extrémité de la chaîne du Rif, entre le Cap des Trois Fourches au nord-ouest, le Cap de l'Eau au sud-est et entre les méridiens 20 45 - 20 55 au niveau du parallèle 35 10 N.

Cette lagune est connue sous les noms de "Marchica" qui signifie petite mer ou la "Sebkha de Bou-Areg" signifiant le marais salant de Bou-Areg, la passe d'échange de cette lagune s'étant fermée à plusieurs reprises, puis recouverte naturellement à différents endroits.

b- Morphologie

La lagune de Nador, la plus grande du Maroc, d'une superficie de 11.500 ha (longueur maximale: 25 km, largeur : 7,5 km) communique avec la Mer Méditerranée à travers une seule passe : la bokhana, ouverte à la position actuelle en mars 1981. La lagune possède une forme ovale allongée dans le sens nord-ouest / sud-est, et est séparée en deux sous-ensembles par la colline d'Atalayoun.

La Marchica est bordée par deux plaines : Bou-Areg et Gareb. Elle est également entourée de deux massifs volcaniques démantelées : Gourougou au nord-ouest et Kbdana au sud.

2. Cadre environnemental

a- Hydrologie

La courantologie actuelle est basée sur des hypothèses tirées des observations de Tesson (1977) et de données sur le régime des vents (Frison et al., 1984).

À l'intérieur de la lagune, les courants marins circulent essentiellement le long des rives, dans le sens des aiguilles d'une montre, délimitant une masse d'eau centrale dont les caractéristiques et les mouvements sont beaucoup plus stables. En dehors de la lagune, un contre-courant (0,5 nœud) instable est induit entre les deux caps par une branche de tourbillons anticycloniques, dans le sens sud-est/nord-est le long de la côte.

Pour ce qui est de la marée, elle est de type semi-diurne avec une amplitude très faible, de 30 cm, presque imperceptible au niveau de la passe. Les vents sont

fréquents et relativement forts, du secteur ouest/sud-ouest dominants de novembre à mai et de secteur est/nord-est dominants de mai à octobre.

b- Hydrodynamisme

Le renouvellement en eau de la lagune est dû principalement à l'échange avec la mer et aux apports d'eau douce:

- apport du continent : le volume d'eau douce qui pénètre dans la lagune, y compris les précipitations, est estimé de 50.106 à 150.106 m³/an (Tesson, 1977). La nappe phréatique à elle seule possède un bilan positif annuel de 45.106 m³ s'écoulant en direction de la Méditerranée, avec une partie vers la sebkha (Tesson et Gensous, 1981). A cela, il faudrait ajouter les apports récents provenant directement des canaux d'irrigation;

- apports marins : ils sont peu importants du fait de la faible amplitude de la marée (30 cm) et l'étroitesse de la passe. Le volume d'eau qui entre par la passe avec le courant de flot a été estimé entre 1,5 et 2 millions de m³ à chaque marée. Le volume total dans la Marchica étant approximativement de 340 millions de m³ il est évident que l'apport d'eau de mer par la passe est tout à fait insuffisant pour provoquer un renouvellement rapide des eaux lagunaires (Aloncle, 1986).

c- Bathymétrie et sédimentologie

La bathymétrie de la lagune de Nador ne dépasse guère 8 m. Elle augmente au fur et à mesure que l'on se dirige vers le centre de la lagune.

En ce qui concerne les caractéristiques sédimentologiques, diverses études ont été réalisées, entre autres les prélèvements effectués par Tesson et Gensous (1977,1981), par Guelorget et al. (1984) lors du diagnostic écologique.

Ces études ont montré que les fonds vaseux se localisent en face des agglomérations de Nador, BeniEnsar et Kariat. La bordure continentale est formée d'une bande de sable fin, d'origine marine, et l'ensemble de la partie centrale est tapissé d'un sable vaseux.

En outre, les produits d'érosion de la rive sud issus de la houle d'une part, les apports terrigènes de la zone riveraine d'autre part provoquent une turbidité accentuée le long de cette rive. Par opposition, le plan d'eau de la rive nord à proximité de la passe apparaît non turbide. Ceci est dû au fait que cette zone se trouve abritée par les collines de la flèche dunaire et aussi parce qu'elle présente un fond sableux, avec absence de houle.

3. Peuplements phytoplanctoniques

La répartition des peuplements phytoplanctoniques sur l'ensemble du bassin peut se résumer comme suit:

- les dinoflagellés présentes dans tout le bassin, en particulier le long de la rive continentale (Ceratum, Dinophysis, Prorocentrum);

- les diatomés centrés essentiellement dans la partie centrale (*Chaetoceros* sp, *Rhizosolenia* sp) ;
- les chlorophacés, surtout aux extrémités du bassin (*Chlorophyceae*).

La biomasse phytoplanctonique est relativement faible (Frison et al, 1984) avec une marge allant de 0,1 à 2 mg/m³. Cette répartition de peuplement est en accord avec les mouvements des eaux dans le bassin. Les eaux marines entrantes sont pauvres en chl.a, et au cours du trajet la production phytoplanctonique s'accroît. Cependant, une augmentation importante de la concentration en chl.a sur l'ensemble du bassin a été observée, qui ne peut être expliquée que par le confinement des masses d'eau, l'apport continental considérable et les variations climatiques (Amane, 1987; ISPM, 1993).

4. Peuplements benthiques

a- La macroflore

La plupart des fonds de la lagune sont couverts d'herbiers thalassiques mixtes: *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa prolifera* (Guelorget et al., 1984).

Cet herbier se dégrade au niveau de la rive continentale à cause des engrais sédimentaires. Au niveau des extrémités sud-est et nord-ouest, les fonds sont tapissés d'herbiers caractéristiques des zones strictement paraliques tels que la *Ruppia Spiralis*.

b- La macrofaune

La macrofaune est en relation avec les types d'herbiers. La zone à herbier *Cymodocea* et *Caulerpa*, riche et diversifiée en espèces thalassiques, est représentée en particulier par les échinodermes (Guelorget et al., 1984). L'endofaune est représentée par les polychètes et mollusques. La faune est constituée de gastéropodes brouteurs (*Murex Brondaris*, *Murex Trunculus*).

Observation par satellite

1. Intérêt

L'utilisation de la télédétection spatiale permet d'étendre, d'uniformiser et d'accélérer la couverture spatiale et temporelle de certains paramètres océaniques. En effet, les satellites offrent une vue globale et répétitive de la mer et des lagunes. Ainsi, les données satellitaires permettent d'avoir un aperçu d'un grand nombre de phénomènes de grand intérêt, comme la détection de zones de remontée d'eau (upwelling), la productivité primaire, la pollution, l'étude des courants et des vents de surface, l'interaction air/ mer...

Cependant, l'information apportée par les satellites est d'interprétation délicate. D'une part les capteurs ne mesurent pas directement les paramètres océaniques, mais seulement des luminances de surface qui doivent être corrigées et transformées, et d'autre part parce que le rayonnement électromagnétique ne peut pas fournir d'information directe sur l'état interne de la mer, puisque la profondeur d'observation satellitaire dépend de la longueur d'onde et du type d'eau. A cet égard, le développement des techniques de télédétection pour le domaine marin et côtier a été plus lent que celui des techniques utilisées pour les applications terrestres et

atmosphériques. Les océans sont tridimensionnels, et en général la télédétection décrit uniquement les phénomènes superficiels. Par conséquent les caractéristiques en profondeur ne sont détectables que par leur influence à la surface, qui sont accessibles à la mesure spatiale,

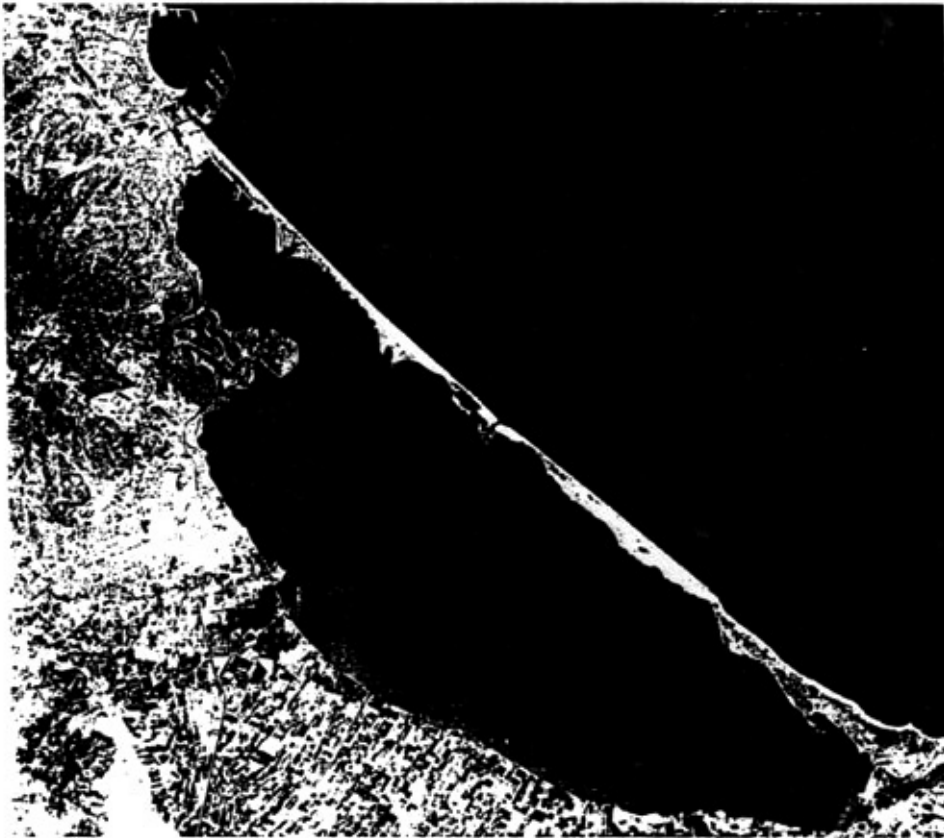


Fig. 1. Image multispectrale Spot de la lagune de Nador (11/07/1993).

© CNES / Spot Image / Traitement CRTS

- la mise au point et la validation avec des mesures in situ des algorithmes d'inversion des données spatiales.

Notre choix de l'image satellitaire Spot (Fig. 1) s'est basé sur le fait qu'elle autorise une étude spatiale plus fine avec son capteur HRV. Les canaux XS1 et XS2, opérant dans le visible, ont permis d'extraire quelques informations sur les paramètres physiques de la lagune, notamment sur la matière en suspension et sur la bathymétrie.

Du fait de ces limitations, l'étude de la lagune de Nador devrait combiner des données spatiales, des données de terrain et une modélisation des phénomènes. Cette combinaison a comporté deux étapes:

- la recherche et l'étude des paramètres significatifs

2. Modélisation

a- Matière en suspension

la détermination des matières en suspension a été réalisée à l'aide d'un modèle linéaire qui suppose la corrélation entre les valeurs radiométriques des canaux XSi et XS2 et les concentrations en matière en suspension.

En présence de matières minérales en suspension (indice s), de phytoplancton et dérivés (c) et de matières organiques (y) dans l'eau (w), et en notant bx et ax les coefficients de rétrodiffusion et d'absorption spécifiques de l'élément x, cx sa concentration, la réflectance marine sous la surface (R) s'écrit (Martel, 1990)

$$(1) R = \frac{\lambda(bw + bs.cs + cc.cc + by.cy)}{(aw + as.cs + ac.cc + ay.cy)}$$

(avec λ = constante)

Avec l'hypothèse que les matières en suspension sont non absorbantes et plus rétrodiffusantes que le phytoplancton et la matière organique, la réflectance marine juste au dessus de la surface (Rmar) devient:

$$(2) R_{mar} = \frac{\lambda(bw + bs.cs)}{(aw + as.cs + ac.cc)}$$

Si l'on considère que la composition en phytoplancton et matière organique varie très peu dans la zone considérée, en un point x on a (dépendance avec la longueur d'onde μ):

$$(3) R_{mar}(\mu, x) = A(\mu) + B5(\mu) \cdot Cs(x)$$

Cette relation s'intègre sur chaque bande spectrale et devient:

$$(4) R_{mar}(XSi, X) = Ai + Bi.Cs(X) \quad i=1,2$$

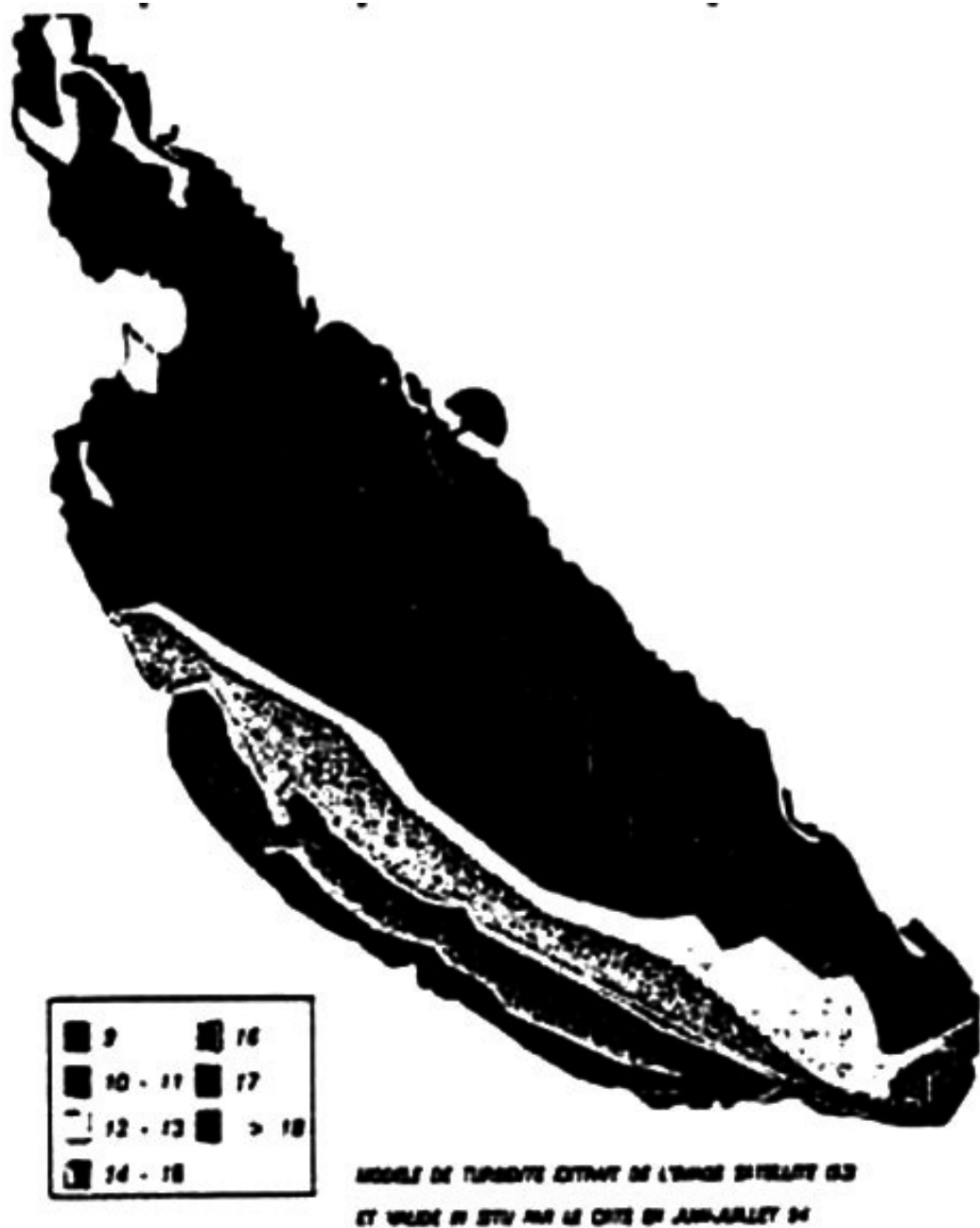
Dans chaque canal Xsi, cette équation linéaire (4) se cale en deux points [Rmar(XSi), Cs]. On suppose qu'au large Rmar = 0 et Cs = 0 mg/l. Les mesures in situ de concentrations de matières en suspension permettent d'attribuer à un point Xo [de réflectance Rmar(XSi)] la valeur C(x0) en mg/l. De ce calage, on déduit la relation:

$$(5) C(Xsi) = [R_{mar}(XSi) \cdot C(Xo)] / R_{marx0}(XSi)$$

On outre, en faisant l'hypothèse que les Rmar(XSi) et les radiométries sont très corrélées, on peut donc substituer les valeurs de réflectance par les valeurs radiométriques. L'équation devient:

$$(6) CXSi = [R_{mar}(XSi) \cdot C(XO)] / Rx0(XSi)$$

En faisant la moyenne des valeurs trouvées dans les deux canaux, les images traitées ont des pixels qui ne sont plus représentés par une radiomètre, mais plutôt par une charge de matière en suspension. Ceci nous a permis de caractériser les différents plans d'eau de la lagune et de mettre en évidence des situations différentes au niveau de l'image traitée. Ce résultat a été confirmé par les mesures de terrain réalisées par ISPM pendant la même période.



**Fig. 2. Résultat du modèle des matières
en suspension.**

Dans la bordure sud continentale, il y a présence de concentrations très élevées (de l'ordre de 10 à 20 mg/l). Cette bande est toujours plus ou moins turbide en raison de l'attaque du littoral par les vagues qui persistent dans cette région. De plus, cette zone présente un caractère confiné suite à sa faible bathymétrie et aux apports terrigènes de la zone riveraine (rejets urbains, eaux de drainage, charge de l'Oued Selouane). La turbidité apparente est étroitement liée à la courantologie du bassin qui est de type dextre opérant un large mouvement pour revenir en surface le long de la rive continentale (Guelorget et al., 1984).

Ainsi, au cours de la remontée des eaux, il y a brassage des sédiments entraînant donc une remise en suspension très importante. Les charges de l'Oued Selouane, entraînées à leur tour par la courbure du bassin vers le côté ouest, vont être piégées suite à la faible bathymétrie et la géomorphologie caractéristique de la zone.

Par opposition, le plan d'eau de la rive nord ne présente pas de turbidité apparente, étant donné que cette zone est abritée par les collines de la flèche dunaire. Sur le reste du bassin, et en particulier dans les zones centrales, la masse d'eau présente des mouvements beaucoup plus lents. De ce fait, les valeurs de turbidité enregistrées sont relativement faibles de l'ordre de 8 à 10 mg/l.

Par ailleurs, les teneurs de 9 à 12 mg/l caractérisant la bordure sud-ouest peuvent être expliquées par la minceur de la tranche d'eau et par les apports détritiques importants. Au niveau de la passe, le flux d'eau marine entrant entraîne un brassage fort de la faible couche d'eau, qui explique les fortes teneurs de matière en suspension (16 à 20 mg/l)

b- Modélisation de la bathymétrie

Le modèle adopté dans cette étude (modèle logarithmique) suppose une correspondance des valeurs radiométriques des canaux XS1 et XS2 avec la profondeur réelle. Ainsi, plusieurs points de calage ont été relevés. Les couples "radiométrie mesurée bathymétrie réelle" servent au calcul des coefficients A, B et C de l'équation de modélisation

$$Z = A \cdot \ln(R_1 - R_{1\text{inf}}) + B \cdot \ln(R_2 - R_{2\text{inf}}) + C$$

Avec Z = profondeur

1, 2, indices des canaux XS1 et XS2

R = Radiométrie

R_{i inf} = Radiométrie infinie mesurée sur les grands fonds dans le canal i.

Ce modèle calculé fournit une image où chaque pixel du domaine marin est représenté non plus par une radiométrie mesurée, mais par une profondeur. Cependant, le résultat obtenu présente souvent une certaine marge d'erreur, ce qui amène à effectuer une compensation (méthode des moindres carrés). Comparées aux résultats de l'ISPM (1993) et ceux de Frisoni (1984), les informations de l'image traitée sont satisfaisantes.



Fig. 3. Résultat du modèle bathymétrique en mètres.

Système d'information géographique

Les cartes ainsi générées à partir des modèles de turbidité et de bathymétrie issus des images satellites sont combinées avec d'autres sources d'information relevées à partir des missions de terrain à la même période (ISPM, 1993 ; CRTS, 1994) (salinité, concentrations en phosphates¹ nitrates, oxygène dissous,...). Toutes ces informations constituent une base de données qui a été introduite dans un système d'information géographique. Ce système permet à un gestionnaire de fixer des

critères d'aménagement, de gestion et du choix de l'adaptabilité des zones à un type donné d'aquaculture. Pour notre cas, c'est l'aquaculture en cages flottantes.

1. Constitution d'une base de données sur la lagune

Les résultats des modèles de turbidité et de bathymétrie ainsi que les vérités de terrain issues des missions de l'ISPM, ont été structurés sous forme de couvertures cartographiques à la même échelle, permettant une analyse facile par superposition et par comparaison avec les seuils respectifs de tolérance.

a- Matières en suspension

la figure 2 permet de caractériser la répartition des matières en suspension qui ne représentent que des particules minérales et organiques d'origine détritique, ainsi que des organismes phyto et zooplanctoniques. Les teneurs au niveau de la lagune sont très variables et fluctuent entre 9 mg/l et plus 18 mg/l.

Généralement, les élevages de mollusques filtreurs sont très sensibles aux grandes concentrations qui entraînent un accroissement de leur taux de filtration, et donc une dépense énergétique pour éliminer les particules non nutritives. Globalement, seule la rive continentale sud-st présente des teneurs élevées.

b- Profondeur

C'est ce paramètre qui conditionne le plus le choix du site d'élevage aquacole quand la technique adoptée est celle des cages flottantes. La figure 3 fait apparaître les différents traits bathymétriques au niveau de la lagune. Il faut noter que cette figure représente le résultat final des corrections apportées, après validation sur le terrain de l'image classée.

c- Oxygène

Il faut rappeler que parmi les gaz dissous l'oxygène est celui qui joue le rôle le plus important pour la qualité biotique des eaux d'élevage. Il est indispensable à la respiration des organismes et facilite la dégradation des matières organiques détritiques et l'accomplissement des cycles biochimiques.

L'observation de la figure 4.a. permet de constater que la fourchette de variation des concentrations en oxygène dissous est restreinte. En effet, les teneurs varient peu (<8 mg/l) et ces limites sont tolérables dans un élevage aquacole.

d- Salinité

la salinité joue un rôle important sur la reproduction, la nutrition et la croissance des organismes c'est pourquoi ce paramètre a été intégré en tant que couche pour décider sur la convenance du site.

L'image présentée dans la figure 4.b. montre l'existence d'un caractère sur salé sur l'ensemble de la lagune. En effet, la salinité dépasse 40‰ dans la majeure partie du bassin. Cependant, il existe des particularités difficilement interprétables (ISPM, 1993) et qui sont relatives à des masses d'eau bien délimitées de 35 à 40 ‰ de concentration.

e- Phosphates

Ils constituent l'un des éléments nutritifs le plus utilisé par le phytoplancton. L'analyse de la figure 4.c. montre de grandes variations de teneurs en phosphates dont les seuils restent toujours tolérables. Néanmoins, il existe de petites zones où les concentrations sont relativement élevées.

f- Nitrates

C'est l'un des paramètres importants de qualité pour le fonctionnement d'un écosystème aquatique. L'examen de la figure 4.d. montre qu'il n'existe aucune teneur de nature critique sur l'ensemble du bassin.

2. Critères d'établissement d'une aquaculture potentielle en cages flottante

L'analyse des exigences environnementales relatives aux élevages de poissons suppose avoir tout d'abord défini les caractéristiques de l'environnement aquatique, et avoir distingué parmi celles-ci, celles susceptibles d'avoir une influence sur la physiologie des organismes. Il est intéressant de rappeler que les organismes aquatiques sont amenés à supporter des contraintes du milieu et des variations d'environnement dont les amplitudes sont souvent importantes. Les principaux facteurs impliqués sont la teneur en oxygène dissous, la température, la salinité, l'intensité lumineuse, le pH et la pression hydrostatique (Pionetti, 1984). A côté de cela, il existe d'autres facteurs qui devraient être considérés, car ils sont amenés à jouer un rôle important, Si ce n'est déterminant, sur la physiologie d'animaux en développement, tels que les teneurs en ammoniacque, nitrites, nitrates et la présence de composés minéraux ou organiques.

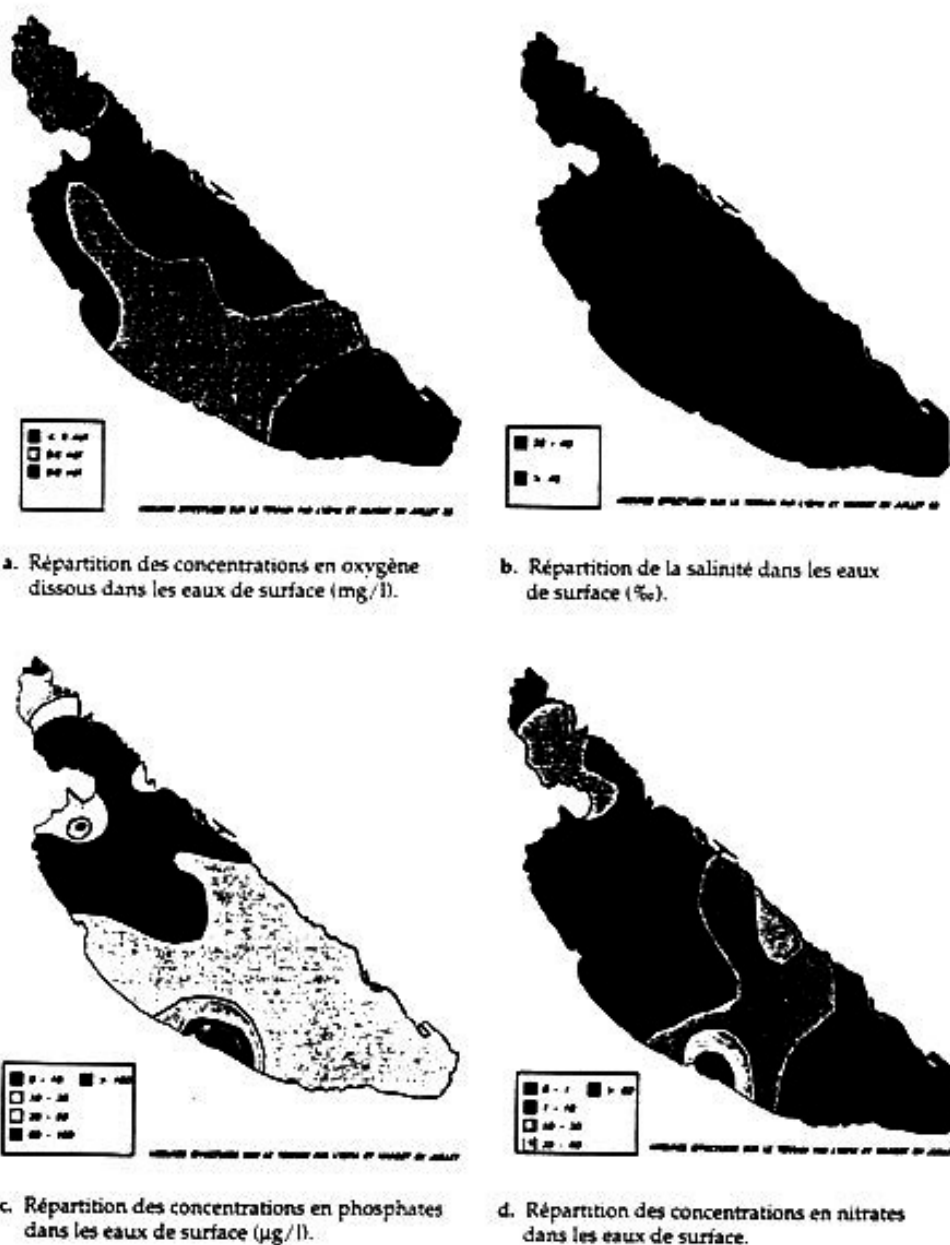


Fig. 4. Synthèse de certains paramètres physico-chimiques.

Ces contraintes environnementales ne constituent pas toutes pour autant des éléments perturbateurs de l'équilibre métabolique des animaux aquatiques. En effet, ceux-ci peuvent développer des stratégies d'adaptation métabolique et morphologique en tenant compte des conditions du milieu. Mais, il est fondamental que le niveau de perturbation reste en dessous du seuil tolérable pour la population considérée. Toutefois, cette notion de seuil tolérable est peu satisfaisante pour l'aquaculture, car certaines perturbations, sans conduire à la perte d'une population en élevage, peuvent ralentir la croissance ou encore fragiliser les animaux vis-à-vis

d'agents pathogènes et contribuer à l'obtention de mauvais rendements (Pionetti, 1984).

a- Méthodologie

L'analyse va englober la majorité des facteurs environnementaux qui sont issus des différentes sources (données de terrain, données satellitaires). Pour effectuer un choix judicieux des sites, il est nécessaire dans un premier temps de présenter les limites optimales des différents paramètres physico-chimiques qui permettent de prendre la décision sur la convenance d'un site, et dans un second temps d'examiner les conditions réelles du site d'étude.

L'ensemble des données a été introduit dans un système d'information géographique permettant l'intégration, la superposition et l'analyse des scénarios pour l'extraction des zones convenables à la mariculture.

b- Conditions optimales d'un milieu potentiellement aquacole

Il n'existe pas de conditions standards spécifiques à la qualité des eaux des fermes aquacoles, mais le contrôle des paramètres physico-chimiques est nécessaire, particulièrement lorsqu'il s'agit d'une lagune. Un groupe d'experts réunis par la F.A.O. (Coche, 1981) a estimé que les valeurs limites tolérables pour l'élevage des poissons, crustacés et Mollusques étaient de :

- Oxygène dissous : > 5mg/l pour les salmonidés;
- Ammoniaque : 0,1 mg/NH₃-N/l;
- Nitrites : 0,1 mg/NO₂-N/l;
- Nitrates : < 100 mg/NO₃-N/l.

Il est à noter que les tolérances varient en fonction des espèces élevées, pour lesquelles les conditions optimales de croissance doivent être déterminées dans chaque cas. En ce qui concerne les espèces aquacoles les plus élevées à Nador et qui sont la daurade (*Sparus auratus*) et le loup (*Dicentrarchus labrax*), les paramètres physico-chimiques dans les conditions de prégrossissement sont résumés (Barnabé, 1989) dans le tableau 1.

	Minimum	Optimum	Maximum
Température °C	11 à 15	23 à 27	29
Oxygène dissous mg/l	3	90 % Saturation	Saturation
Salinité ‰	0.5	10à30	-----
pH	7,5	7,7.-8,3	-----

Tableau I: Critères de tolérance.

Pour ce qui est des phosphates (P/P04), la valeur limite est de 0,15 mg/l pour les eaux stagnantes et 0,3 mg/l pour les eaux courantes.

c- Conditions du site d'étude

Compte tenu des résultats de la mission de UISPM en juin 1993 qui reflètent bien les conditions actuelles du site, il a été jugé bon d'intégrer ces résultats dans un SIG afin de déterminer les zones convenables à l'activité aquacole dans la lagune. Dans cette étude, les paramètres retenus pour le choix des emplacements à potentiel aquacole sont multiples. On y trouve principalement la température, la salinité, l'oxygène dissous, les nitrates, les phosphates, la matière en suspension et la profondeur. Il est à noter qu'aucun des deux facteurs, température et pH ne présente de caractère critique pour l'activité aquacole sur l'ensemble du bassin. Par conséquent, ils n'ont pas été intégrés dans le SIG comme critères de base.

3. Détermination de la zone potentiellement aquacole

a- Démarche

Il s'agit de la combinaison de deux ou plusieurs couches d'information permettant de dégager une analyse globale tenant compte de toute la base de données disponible. En effet, le croisement de deux couvertures ou couches correspond d'une part à la superposition des contours des polygones (données géographiques), et aussi à la juxtaposition des données descriptives.

Dans cette étude, la combinaison va être réalisée dans un premier temps entre les trois couches de salinité, d'oxygène dissous et de profondeur, et dans un second temps entre les couches de nitrate, de phosphate et de matière en suspension (MES). Ainsi, après croisement des deux couches résultats, la reconnaissance des zones à potentiel aquacole va être simplifiée.

b- Croisement des couches résultats

la première zone se caractérise par des profondeurs de 6 à 7 m très favorable à l'installation des cages flottantes ou des tables aquacoles fixes. Généralement, les filets d'élevage ont une hauteur de 5 m, ce qui laisse donc un écart de là 2m entre le fond et la base de la poche du filet afin d'assurer une bonne circulation d'eau et une possibilité de rejets des déchets des poissons.

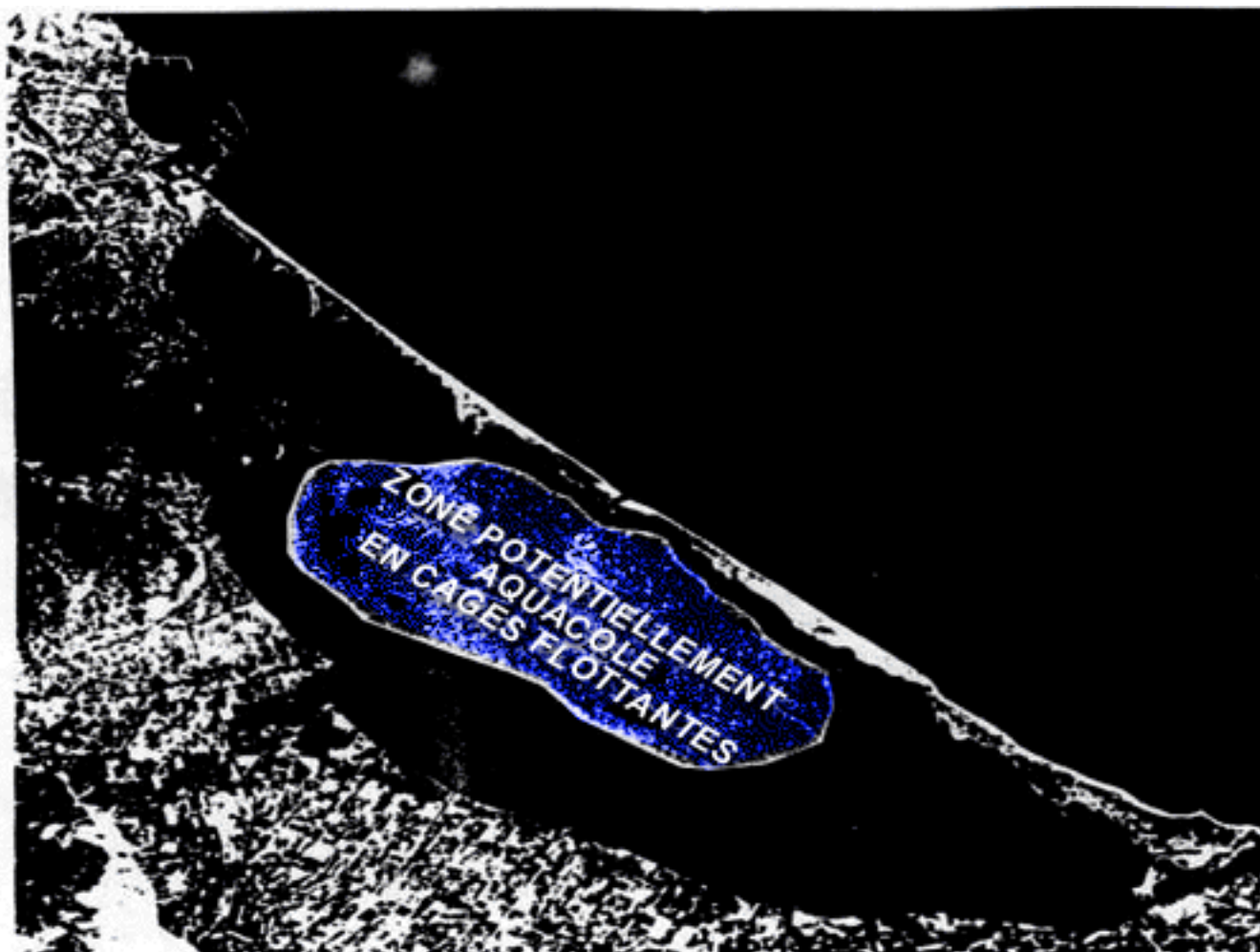


Fig. 5. Zone potentiellement aquacole en cages flottantes.

Quant aux concentrations d'oxygène dissous dans cette première zone, elles varient dans une fourchette très restreinte ($<5,6$ mg/l), mais elles restent tolérables tant qu'on n'a pas encore atteint le seuil de 3mg/l ou celui de la sursaturation. La salinité enregistrée varie entre 35 et 40‰. Il est vrai que la teneur est un peu trop élevée, mais elle reste acceptable du fait que les espèces élevées peuvent développer un caractère d'adaptation sans aucun signe de perturbation. De là, on peut dire que cette première zone est favorable à l'activité aquacole, contrairement à la deuxième zone qui, même si elle présente des teneurs en salinité et en oxygène tolérables, se caractérise par une bathymétrie faible variant de 1 à 5 m, éliminant donc toute possibilité d'élevage en cages flottantes.

Il est à noter qu'aucune des zones ne présente de valeurs critiques en teneur de phosphates ou de nitrates. Les concentrations enregistrées sont beaucoup plus faibles aux seuils critiques. Par contre, le paramètre de MES est pour beaucoup derrière cette distinction entre les deux zones. La zone favorable se caractérise par des teneurs de 9 à 11 mg/l par opposition à la zone défavorable qui se caractérise par des concentrations au delà de 11 mg/l.

Le croisement des couches d'information permet de distinguer deux grande zones (Fig. 5). Une première, très favorable, représentant la zone potentiellement aquacole du fait qu'elle répond à tous les critères des paramètres de décision, et une deuxième zone défavorable. Il importe de noter qu'effectivement dans une partie de la zone potentiellement aquacole on pratique actuellement de l'aquaculture.

Conclusion

La lagune de Nador se caractérise par son écosystème semi-fermé. Elle n'est en communication avec la mer que par une étroite passe. Cet écosystème est sous l'influence de plusieurs facteurs externes tels que l'ensoleillement, l'apport en eau douce, les eaux de ruissellement, le lessivage des champs agricoles et les eaux usées urbaines. L'influence marine apparaît pratiquement inexistante, ce qui est confirmé par la pauvreté des débits de la passe.

L'analyse de l'évolution de chaque paramètre physico-chimique, dans le temps et dans l'espace, permet de relever des variations significatives. Il apparaît clairement que le confinement général de l'écosystème s'est accentué, conséquence directe de l'ensablement progressif de la passe et de son étroitesse, insuffisante à provoquer un renouvellement rapide des eaux lagunaires. L'examen de la qualité de l'eau a révélé une diminution significative de la teneur en oxygène dissous et une hausse sensible des biomasses chlorophylliennes à côté de celle de la teneur en nitrates. Cet état de chose ne peut être expliqué que par une évolution vers une certaine eutrophisation. Par conséquent, il est urgent de stopper cette évolution en réhabilitant et en stabilisant la passe.

Actuellement, vue la nécessité d'améliorer les conditions de circulation à l'intérieur de la lagune ainsi que le flux d'échange avec la mer, un programme d'extension de l'ouverture de Bokhana a été entrepris visant une ouverture d'échange avec la mer de 150 à 300 m et une profondeur au niveau de la passe de 3 m. Les travaux d'installation des digues ont déjà été terminés et les dragages sont en cours. Cette embouchure artificielle aura sans nul doute un effet positif pour une meilleure circulation à l'intérieur de la lagune. Toutefois, un suivi doit être envisagé pour évaluer l'impact de ces aménagements.

Il faudrait par ailleurs installer d'autres stations de traitement des eaux dans la lagune, particulièrement dans la zone sud-est. Au niveau de l'embouchure de l'Oued Selouane, on peut installer soit un système de dégrillage soit un système de décantation, afin de réduire les fortes teneurs de matière en sus pension caractérisant cette zone.

Au niveau de la zone de rejet du canal d'irrigation, on doit procéder à une nitrification, car de fortes concentrations de nitrates et d'ammonium ont été enregistrées. Un suivi des différents paramètres de la qualité d'eau s'avère nécessaire pour vérifier les éventuelles évolutions, et partant de prendre les mesures nécessaires, dès que les potentialités biologiques et physico-chimiques sont menacées, et que le site présente de possibles dangers d'eutrophisation.

Références bibliographiques

Aloncle, H. (1986). L'a Pêche dans la Marchica de Mellila. Bull. Inst. Pêches du Maroc, n° 7, pp. 13-22.

Amane, H. (1987). Contribution à l'étude de la Croissance et de la Reproduction de l'Huître Plate *Ostrea Edulis* dans la Lagune de Nador. Mémoire de Fin d'Etudes Halieutiques, IAV Hassan II, Rabat.

Barnabé, G. (1989). Aquaculture vol i et 2. Ed 2. Paris, 1295 p.

Coche, A.G. (1981). Report of the Symposium on New Development in the Utilization of Heated Effluent and Recirculation Systems for Intensive Aquaculture. Stravanger 29-30 mai 1981, Technical paper n° 39.

Frisoni, G. F., Guelorget, O., Vetillart, T. (1984). Définition d'un Ouvrage de Communication entre la Mer et une Lagune Littorale, en Vue d'une Exploitation Aquacole du Milieu. Choix d'une Solution Optimale sur la Base d'une Diagnose Ecologique. Cas de la Marcchia (Maroc). Rapport n° 1, XVIII Journée de l'Hydraulique, Marseille, 11,12 et 13 Septembre 1984.

Guelorget, O., Frisoni, G. F., Nonti, O., Perthuisot, J. P., (1984). Développement de l'Aquaculture Marine et de la Pêche Lagunaire

Guerimej, M. (1983). Etude des Paramètres Ecologiques des Eaux Côtières de Temara. Mémoire de Fin d'Etudes en Halieutique, IAV Hassan II, Rabat.

Goudan, A. (1986). Pollution physico-chimique dans la Lagune de Nador. Mémoire de Fin d'Etudes. IAV Hassan II, Rabat.

ISPM (1993). Etude de la Lagune de Nador (Maroc) Résultats de la Mission de Juin 1993.

Kharmiz, O. (1989). Contribution à l'étude physico-chimique de la Lagune de Nador. Mémoire de Fin d'Etudes. IAV Hassan II, Rabat.

Martel, C. (1990). Analyse Géométrique et Physique d'Images d'Observation de la Terre. Eléments d'Hydrodynamique Côtière. Doc. Univ. Paul Sabatier. Toulouse.

Pionetti, J. M. (1984). Exigences Environnementales et Indicateurs Physiologiques et Biochimiques au Cours de l'Ontogenèse de Poissons Marins en Aquaculture. INRA, Paris. pp. 127-137.

Slimani, A. (1986). Essai d'Elevage de l'Huître Plate *Ostrea Edulis* dans la Lagune de Nador. Mémoire de Fin d'Etudes. IAV Hassan II, Rabat.

Tesson, M. (1977). Régime Hydrologique et Hydrodynamique de la Sebkha Bou Areg (Lagune de Nador). Bilan du Printemps, 1976. Trav. Doc. Dév-Pêche. Maroc, 21, 67 p..

Tesson, M., Guensous, B. (1981). Quelques Caractères de la Géochimie d'une Lagune Microtidale : la Sebkha Bou Areg (Maroc) - 16ème Congrès National des Sociétés Savantes. Perpignan, 1981, Sciences, Fasc. III, pp. 183-194.

Tournier, H., Hamon, P., Landrein, S. (1982). Synthèse des Observations Réalisées par l'ISPM sur les Eaux et le Planc-ton de l'Etang de Thau de 1974 à 1980. Rev. Trav-Pêches Maritimes, vol. 45, pp. 183-318.