

ECOTRON - EMBIEZ

Situation et Aménagement du site

A. RIVA* et N. VICENTE**

* Fondation scientifique Ricard - Observatoire de la mer
Ile des Embiez - Le Brusç - 83140 SIX FOURS LES PLAGES

** Laboratoire de Biologie Marine - Faculté des Sciences
et techniques de Saint Jérôme - 13013 MARSEILLE

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La lagune du Brusç est située au sud-ouest de Toulon, au sud du petit port de pêche du Brusç. Elle est limitée à l'est par le massif montagneux du cap Sicié, et elle est bien protégée au sud et à l'ouest par l'archipel des Embiez formé d'écueils, d'îlots et d'îles. (fig. 1).

La lagune est largement ouverte au nord-est, mais un récif-barrière formé par l'herbier de posidonies la protège des tempêtes de Mistral. La circulation de l'eau à l'intérieur de la lagune s'effectue par deux passes principales : l'une située au sud-est entre le continent et l'île du petit Gaou, l'autre au sud-ouest entre l'île du grand Gaou et l'île des Embiez. J.J. BLANC (1958) a montré que quelle que soit la direction des vents dominants (Mistral et vent d'Est) il y a deux courants principaux superficiels qui pénètrent par le sud compensés par des courants de fond empruntant les chenaux inter-mattes.

Outre ces courants principaux intéressant le centre de la lagune, se développe, selon le régime des vents, un système de courants annexes sur les bords de celle-ci.

Cette hydrologie et la présence des herbiers de posidonies filtrant les éléments sédimentaires les plus lourds devant les passes, entraînent un envasement progressif de la lagune (MOLINIER et PICARD, 1952), si bien que la profondeur moyenne varie entre 0,50 et 1 mètre par rapport au niveau de la mer.

L'ensemble des processus régissant la lagune permet l'édification de différents types de sols favorables au développement des phanérogames marines : Posidonies, cymodocées, zostères naines (DEGUEN et MOLINIER, 1961). Ces herbiers abritent une faune abondante et variée dont l'importance écologique a été soulignée par N. VICENTE (1973).

2. ETAT ACTUEL DES SALINES

Les anciens salins séparés de la lagune par un cordon

littoral, construit en 1068, occupent actuellement 4 ha environ. L'absence de communication avec la lagune a rendu ce milieu quasi abiotique.

La première partie de la saline jouxtant la lagune couvre environ 1,2 ha et possède actuellement deux ouvertures (1 buse de faible diamètre mise en place en 1975 et une autre buse en 1977) occupées à présent chacune par deux buses de plus fort diamètre (\varnothing 0,80 m) qui permettent une communication avec les eaux de la lagune. Des grilles galvanisées escamotables de 1 cm de maille ont été apposées côté lagune et des martelières réglables sont installées côté saline, permettant ainsi de contrôler la hauteur d'eau. Selon le régime des vents, des courants et des marées (relativement marquées dans la lagune) les eaux entrent ou sortent des salines, établissant une circulation quasi permanente durant toute l'année. (fig. 2).

Il existe également des communications avec l'arrière des salines lorsque les eaux sont hautes dans la lagune. Ainsi, il est envisagé, dans un premier temps, de délimiter, à l'aide d'un grillage, cette partie de la saline, afin de suivre l'évolution dynamique d'une population ichtyologique.

Durant les mois de mai et juin 1975, des bassins d'une profondeur de 1 m à 1,50 m ont été creusés le long du cordon qui sépare la saline de la lagune. Leur fond est occupé principalement par de la vase réduite.

Un herbier à Ruppia maritima ceinture le bassin presque en continu, sur une largeur de 2 m à l'est, où il apparaît très dense, et une largeur de 1 m à 5 m à l'ouest. Dans la partie nord et nord-ouest de la saline, l'herbier à Ruppia fait place à une population dense de Lamprothamniun papulosum, algue évoluée de la famille des Charophycées.

Pendant la période estivale, se propagent, en bordure et sur la surface de l'eau, des Entéromorphes et Chaetomorphes, qui finissent par se désagréger et se dessécher sous l'action du soleil. Ces algues filamenteuses deviennent de véritable piège pour les coquillages qui se sont développés dans ce milieu. En effet, lors des premiers essais (1975-1976) sur la croissance des mollusques bivalves, nous avons assisté à un ensemencement involontaire de l'espèce Cerastoderma glaucum sur une grande surface.

La densité des individus/m² sur la bordure des salins variait en 1976 entre 500 et 1500 individus/m². Actuellement la densité est de l'ordre de 2 à 126 individus/m².

L'exubérance de la population de coques correspond à la colonisation d'un milieu neuf, puis la prédation et l'exondation des animaux piégés, associées à l'insolation, ont aboutit à une très nette régression de cette population.

Une étude qualitative et quantitative du peuplement benthique est en cours de réalisation et il sera nécessaire de suivre l'évolution de la biomasse pendant toute une année. Une étude sur plusieurs années montrera peut être un enrichissement du peuplement, la saline étant en communication avec la lagune que depuis peu.

Ainsi, on a pu établir une liste des invertébrés de la macrofaune récoltés entre mars et mai 1978 :

Annélides polychètes :

- Perinereis cultrifera
- Eulalia viridis
- Scololepis fulifinosa
- Aricia faetida
- Arenicola claparedfi
- Capitella capitata

Mollusques pélecypodes :

- Cerastoderma glaucum
- Loripes lacteus
- Venerupis aurea

Crustacés :

- Idotea viridis
- Erichthonius brasiliensis
- Microdeutopus gryllotalpa
- Palaemonetes sp.
- Pachygrapsus marmoratus
- Eriphia spinifrons

Insectes diptères (larves) :

- Chironomidae

Le but essentiel de l'étude est de déterminer quelles sont les possibilités d'implantation de certaines espèces de poissons.

La biocoenose en place comporte les éléments principaux de la nourriture des poissons démersaux.

La biomasse semble très faible, mais on peut envisager de fertiliser les eaux. Le choix de l'espèce (ou des espèces) à implanter reste à définir (daurade, anguille, sole) ; ou tout simplement maintenir d'autres espèces locales, comme les muges (Mugil auratus), qui pénètrent volontiers dans ce milieu. Leur euryhalinité leur permet de vivre en milieu saumâtre et la géomorphologie des salins convient bien à leur régime essentiellement limivore. L'installation d'une Bordigue, pour la capture du poisson local, au niveau des ouvertures, est envisagée.

3. MISE EN PLACE D'UN SYSTEME EXPERIMENTAL DE PRODUCTION PRIMAIRE ET SECONDAIRE EN MILIEU NATUREL

Après les premières analyses et observations effectuées dans la lagune et les salines (A. RIVA, 1976 - P. LELONG, 1977), dont les résultats ont permis d'évaluer les possibilités du milieu, un certain nombre d'idées ont été dégagées afin d'orienter les efforts d'une équipe scientifique pluridisciplinaire vers l'étude d'un système séquentiel de la production sur une chaîne trophodynamique courte. Ce qui permettra, par voie analytique et synthétique, de définir les modalités, à plus ou moins long terme, pour qu'un écosystème intégré soit viable.

L'optimisation de la production primaire, entrainera rapidement l'augmentation de la biomasse de l'échelon secondaire (copépodes - mollusques bivalves). A cette fin, l'enrichissement du milieu est indispensable, l'eau de mer du site étant relativement pauvre en sels minéraux.

D'après P. NIVAL (Station Zoologique de Villefranche/Mer), si on ajoute des sels nutritifs sous forme concentrée dans une proportion égale à celle consommée par le phytoplancton, on aboutit à une eutrophisation rapide où des limitations du développement plus complexes et anormales, interviennent. Il est donc indispensable de créer un flux d'eau à travers le bassin expérimental et d'utiliser un enrichissement dilué.

On réalise ainsi un chemostat ou planctostat de grande dimension en milieu naturel. Il est préférable d'avoir une culture à flux de telle sorte que l'on atteigne un état stable de la biomasse du phytoplancton lié à celui des sels nutritifs.

En plein air, il est difficile d'effectuer une culture pure monospécifique, qui donne une meilleure stabilité, mais qui risque d'être contaminée par apports atmosphériques ou par le renouvellement de l'eau. Il est donc plus intéressant de laisser se développer les espèces phytoplanctoniques autochtones et, de cette façon, avoir une culture mixte qui a plus de chance d'intéresser les différents stades des consommateurs.

Pour faire suite à la production primaire, dans un bassin "secondaire", à ciel ouvert, il est souhaitable de réaliser un élevage de copépodes. En effet, ils constituent l'apport de nourriture animale vivante indispensable au développement des jeunes, stades de poissons ou crustacés susceptibles d'être élevés en cycle complet dans des bassins d'aquaculture. Les espèces choisies devront être assez tolérantes aux fluctuations des facteurs du milieu qui sont fréquentes sur ce site expérimental. R. GAUDY (Laboratoire d'Hydrobiologie marine - Marseille) a envisagé l'élevage de trois espèces particulièrement intéressantes et que l'on rencontre assez couramment dans la région, deux calanoïdes : Eurytemora velox et Acartia italica, et un Harpacticoïde : Tisbe holothuriae.

Cependant, dans un premier temps d'expérimentation, il importe d'analyser les espèces zooplanctoniques locales qui peuvent se développer dans un bassin à production secondaire, recevant un

flux continu de phytoplancton produit par le bassin dont l'eau de mer est enrichie.

La troisième phase du système consiste à récupérer l'eau circulant dans les bassins à production planctonique pour alimenter un bassin d'élevage où sont installés des filtreurs.

3.1. Aspect technique

3.1.1 Aménagement des bassins à ciel ouvert (photos 7 - 8 - 9 - 10)

- Deux bassins en béton (champ de 5,6 m x 3,4 m x 2,0 m, soit un volume total de 38,08 m³) laissés en place par la Compagnie générale Transatlantique lors de leur expérience de grossissement sur la crevette japonaise, ont été aménagés pour être alimentés en eau de mer.

- L'un des bassins est destiné à l'étude de la production primaire : analyse des compartiments bactéries hétérotrophes - sels minéraux - phytoplancton - zooplancton - phytobenthos. La connaissance de la participation de ces différents compartiments à l'écosystème est importante pour maintenir l'équilibre des populations phytoplanctoniques naturelles.

- L'autre bassin est utilisé pour suivre l'évolution de la production secondaire au niveau zooplanctonique.

- D'un point de vue plus technique, l'accès aux deux bassins a été facilité par un remblai de terre sur le pourtour et la protection des installations réalisée grâce à une clôture qui délimite l'espace des bassins. Il a été procédé également à l'aménagement de la partie comprise entre ces deux bassins pour installer l'appareillage nécessaire aux contrôles. Cet aménagement du laboratoire de campagne a consisté tout d'abord à s'isoler du sol et des canalisations d'adduction d'eau de mer, par surélévation à l'aide d'un caillebotis constitué par des lattes de bois. L'isolement a été nécessaire, car le niveau du sol compris entre les deux bassins béton correspond à celui des hautes eaux de la lagune qui est très proche. Les eaux de pluie ont tendance à s'accumuler et à stagner dans cet endroit.

Une passerelle construite en bois assure la jonction supérieure entre les deux bassins et fait fonction également de toit. Ce toit permet de supporter un bac en plastique d'un volume maximal de 480 litres qui servira de réserve pour l'enrichissement.

- Lors des premières études envisagées sur le site des Embiez, deux bassins d'élevage avaient été réalisés dans la zone Sud-Ouest de la saline, mais pour diverses raisons, ils ont été abandonnés. L'éloignement d'une source d'énergie permettant l'installation d'une station de pompage est une des raisons majeures. De plus, les bassins en béton sont situés à l'opposé et il fallait aménager un bassin d'élevage beaucoup plus proche.

Un nouveau bassin a donc été creusé, en février 1976, dans le sol jusqu'au feutrage des rhizomes d'une ancienne matrice de posidonies,

et ses parois ont été consolidées par un mur végétal en cannes de Provence. Après plusieurs mois de mise en eau, on a constaté l'implantation d'un herbier de Ruppia maritima et d'algues filamenteuses qui se développent abondamment en période d'été et qui sont gênantes. Une population de Cerastoderma glaucum s'est fixée dans ce bassin, par colonisation involontaire au mois de mars 1976. On observe également un grand nombre d'espèces provenant de la lagune qui ont colonisé ce milieu neuf. (genres : Nereis, Serpula, Gammarus, Balanus, Mytilus, Botryllus, Ciona, Hydrobia, Caprella....). Ce bassin dont les dimensions sont 25 x 7,5 m a un volume moyen de 150 m³, ce qui représente une hauteur d'eau d'environ 0,80 m.

3.1.2 Station de pompage (photos 5 - 6)

Le transformateur général de l'électricité qui alimente l'île est logé dans un bâtiment en pierre, placé entre les bassins béton et le bassin d'élevage. Une station de pompage a pu ainsi être installée sur place.

L'eau de mer est pompée dans la lagune à une cinquantaine de mètres du rivage à l'aide d'une pompe GUINARD (Type EA 513 avec arbre inox, corps en plastique et joint céramique) disposée légèrement en surélévation par rapport au niveau maximum de la mer. Une crépine logée dans un bloc ciment dont l'ouverture est obturée par une toile plastique à mailles fines permet d'arrêter les gros débris. Celle-ci demande un nettoyage plus ou moins fréquent et surtout après les tempêtes de vent d'Est qui entraînent un colmatage rapide. La partie de la tuyauterie d'aspiration est en polyéthylène et est lestée par des buses en ciment enfilées par force sur le tuyau.

Caractéristiques de la pompe : 2 830 t/min., 380 volts - 50 Hz,
2.2 KW/h.

Débits : 10 m³/h pour 15.8 m de colonne d'eau
28 m³/h pour 4.5 m de colonne d'eau.

En fait la longueur et les détours de la canalisation entraînent une perte de charge et le débit réel doit être relevé par un compteur à chaque sortie du refoulement. On estime qu'il ne dépasse pas 6 m³/h lorsque la pompe débite dans le bassin à phytoplancton régulé d'avance, et le bassin d'élevage qui récupère le reste du refoulement.

Pour éviter une surchauffe du moteur pendant un fonctionnement en continu, la pompe est branchée sur une horloge permettant ainsi des arrêts pour le refroidissement. Pour Ecotron I, qui a été le premier essai du système, on a distingué un cycle diurne (2 heures ½ de marche pour une demi-heure d'arrêt) et un cycle nocturne (2 heures de marche pour une demi-heure d'arrêt). Le cycle diurne a été choisi plus long pour limiter le nombre des arrêts, et diminuer ainsi les variations thermiques et l'évaporation éventuelle dans le bassin à production phytoplanctonique. Par la suite, l'horloge a été modifiée afin d'uniformiser les temps de fonctionnement (2 h 10 de marche pour ½ heure d'arrêt), ce qui correspond sur 24 heures à : 19 h 30 de marche au total et 4 h 30 d'arrêt.

Au début de la mise en route du système, l'eau pompée arrivait directement sans filtration dans les bassins. A partir du 30.04.78 un filtre à sable de piscine (débit maximum d'efficacité : 9 m³/h) a été installé à la sortie du refoulement pompe, afin de retenir le plus de particules possible, et notamment limiter le passage du zooplancton dans la bassin à production primaire. L'utilisation d'un filtre impose un décolmatage fréquent (tous les 2 à 4 jours par temps calme, tous les jours par tempête ou dès qu'il y a une forte agitation des eaux de la lagune).

Le filtre a l'avantage de pouvoir être court-circuité, ce qui peut être intéressant dans certains cas et notamment l'ensemencement du bassin à zooplancton. En fait, le sable après une longue période de fonctionnement du filtre n'arrête pas tous les organismes zooplanctoniques, son efficacité est relativement réduite, mais il permet d'en éliminer une grande partie. Pour obtenir une plus grande efficacité, il faudrait utiliser de la diatomite. Est-ce souhaitable dans un tel système où le colmatage, qui risque d'être trop rapide, réduit la pression et dérègle la mise au point des débits ?

Un problème se pose quant à l'endroit du prélèvement de l'eau de mer. La crépine, bien que située assez loin du rivage, en allant vers le centre de la lagune, est découverte quelques fois par an, surtout pendant la période des grandes marées d'équinoxe, où il est nécessaire d'arrêter la pompe sur plusieurs jours.

3.1.3 Circuit de distribution hydraulique (fig. 3).

Le schéma général a été grandement modifié depuis son origine, il apparaît assez complexe et cependant il permet grâce à une série de vannes et de raccords d'établir un bon nombre d'opérations qui facilitent quelquefois un dépannage rapide.

Pratiquement toute la tuyauterie est en P.V.C. (63,2) et en polyéthylène (79,8) pour celle qui relie les bassins en béton à la station de pompage et au bassin d'élevage.

Le circuit d'ensemble comprend : 18 vannes à boule en P.V.C. et 9 vannes en laiton (surverse et retour passif). Deux pompes GUINARD interchangeable sont raccordées au circuit à l'aide d'une manche souple équipée avec des raccords pompier. La pompe P1 est utilisée pour la station de pompage et la pompe P2, placée entre les deux bassins béton, est prévue pour vidanger activement ceux-ci.

Une manche souple avec crépine, qui descend presque au fond, est installée dans chaque bassin. En fait, ce montage est très peu utilisé et la pompe P2 est surtout une pompe de rechange.

Le schéma hydraulique de fonctionnement est le suivant :

P1 alimente le bassin d'élevage et le bassin à production phytoplanctonique. Le bassin à production zooplanctonique peut être également alimenté directement par P1 mais dans le cadre de notre étude, il ne recevra qu'une partie des eaux de surverse du premier bassin.

Le bassin à phytoplancton est alimenté par le fond grâce à deux arrivées opposées (effet tourbillonnant). Le débit est contrôlé par un petit compteur d'eau (3 m³/h) et le réglage est réalisé à l'aide

d'une vanne à pointeau en P.V.C. (une vanne en laiton ne résiste pas plus de deux mois). La surverse de ce bassin, par différence de niveau, se déverse dans le deuxième bassin. Le débit dans ce bassin est environ le quart du premier bassin. Le réglage s'effectue avec une vanne laiton (dans ce cas, il s'agit uniquement d'un écoulement d'eau). Le surplus de l'eau d'écoulement du premier bassin redescend par gravité, à travers plusieurs mètres de tuyauterie, dans le bassin d'élevage.

Grâce à plusieurs vannes, l'eau de la surverse du bassin à zooplancton ainsi que l'eau de la surverse du premier bassin, peuvent être récupérées, ensemble ou séparément, pour alimenter le bassin d'élevage ou pour être rejetées directement dans la lagune, lors d'un colmatage de la tuyauterie de retour vers le bassin d'élevage. Afin d'éviter le plus possible cet inconvénient, deux grilles plastiques (logées dans une plaque de regard hermétique) sont intercalées dans la descente gravitaire des deux bassins. Ces grilles arrêtent les gros débris de végétaux.

Une vanne permet également de refouler l'eau de la pompe dans la canalisation gravitaire et de dégager de cette manière les débris obstruant le conduit.

En fonction des arrêts de pompe, le volume des bassins à production planctonique oscille par rapport à la surverse.

. Pour le bassin à phytoplancton : entre 34.8 et 34.6 m³, d'où un volume moyen de 34.70 m³ (on considérera qu'il occupe un volume de 35 m³).

. Pour le bassin à zooplancton : entre 30.18 et 29.99 m³, d'où un volume moyen de 30.0 m³.

La différence de volume entre les deux bassins s'explique par l'obligation d'avoir une différence de niveau pour éviter une éventuelle remontée des organismes zooplanctoniques dans le bassin à phytoplancton.

L'alimentation en eau du bassin d'élevage se fait par apport d'eau lagunaire et par l'écoulement d'une des deux surverses des bassins à production planctonique. L'eau est déversée par le fond sur toute la longueur du bassin, et l'eau parcourt celui-ci jusqu'à la surverse pour être rejetée dans la lagune.

Dans le regard de surverse, une paroi centrale permet l'ajustement du niveau dans le bassin, et évite les remontées d'eau de la lagune.

Le rejet du bassin d'élevage dans la lagune sera détourné vers les salines, ce qui permettra peut-être un enrichissement de celle-ci. En effet, on a pu observer que pendant les périodes où le phytoplancton ne se multipliait pas dans le premier bassin, il restait encore une quantité plus ou moins importante de sels nutritifs qui était déversée dans le bassin d'élevage.

Pour permettre une meilleure étude sur les possibilités nutritionnelles d'une telle production primaire sur la croissance des bivalves, il est envisagé d'installer une série de bacs compartimentés, dont la circulation de l'eau sera en steeple-chase. Cet aménagement est réalisé près du bassin d'élevage.

3.1.4. Enrichissement de l'eau de mer.

A l'origine le programme Ecotron envisageait la possibilité d'utiliser des effluents de stations d'épuration considérés comme bon marché, afin d'améliorer la production primaire. Le Canal de Provence, moyennant finance, était prêt à contrôler la qualité des rejets qui seraient utilisés dans notre système. La situation de nos installations sur une île ne pouvant fournir de manière régulière ce type d'effluent, nous a obligés d'orienter notre choix sur un enrichissement beaucoup plus contrôlable. Ainsi l'utilisation d'engrais de type agricole, proposée par l'équipe MAESTRINI (Station marine d'Endoume) a été retenue. On a tendance à considérer que les engrais coûtent cher, ce qui est vrai dans la mesure où on calcule la quantité nécessaire pour une grande surface d'exploitation terrestre. Cela paraît impressionnant lorsqu'on utilise des volumes, mais la quantité d'engrais utile dans le système de planctostat marin proposé est assez faible, même si l'on désire atteindre des valeurs en sels nutritifs proches des plus fortes concentrations rencontrées dans les zones à upwelling. Il est évident que le volume de notre bassin à production primaire est peu important comparé par exemple au volume d'eau de la saline ou de la lagune. S'il s'agissait d'enrichir un plus grand volume, l'utilisation d'un autre type d'enrichissement serait souhaitable. Il reste à la définir ?

3.1.4.1. Engrais utilisés.

Les engrais agricoles ont donc été choisis de préférence aux effluents domestiques.

1. Le nitrate d'ammonium (O.N.I.A.) dose 35 % d'azote inammoniacal - minitrique (avantage des deux formes). Produit très soluble dans l'eau et très hygroscopique : 118 Kg/100 l à 0°, 192 Kg/100 l à 20° ; il libère facilement l'ammoniac en présence de sels alcalins. Il peut être mélangé à l'avance avec les phosphates naturels. Il associe deux formes d'azote qui peuvent être utilisées de manière très différentes.

2. Le superphosphate de 16 à 20 % de P_2O_5 (le plus commun de tous les engrais). Le constituant fondamental du mélange est le phosphate monocalcique monohydraté $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ qui est soluble dans l'eau. Par contre le sulfate de calcium (40 à 50 %), en fait le plâtre, n'est que peu soluble. Le mélange est peu hygroscopique. Le superphosphate physiologiquement neutre est sans action sur le pH et présente un caractère d'universalité d'emploi. Il semble qu'il ait une action bactériostatique, voire bactéricide.

3. Les sels d'azote et de phosphore ne sont pas seuls limitants, il est nécessaire en milieu marin d'apporter de la silice si l'on désire maintenir une ou plusieurs populations de diatomées. L'apport de silicate de sodium ne sera effectué que pour l'expérimentation Ecotron III. Malheureusement, il est délicat d'affirmer que sous cette forme, on aboutisse à une solubilisation de la silice dans le milieu. Le silicate de sodium pose d'énormes problèmes : forme peu soluble, floccule dans le mélange d'engrais (pH = 5-6) et colmate par conséquent l'intérieur des tuyaux qui servent à amener le mélange dans le bassin. La seule façon de solubiliser ce produit est d'atteindre un pH de 10, ce qui est pratiquement inutile puisqu'au contact de l'eau de mer (pH = 7.8 - 8.4) il y aurait à nouveau floculation.

3.1.4.2. Alimentation en engrais du module expérimental.

Les engrais azotés et phosphatés sont mélangés dans de l'eau douce. Les concentrations dans le bac de mélange de 480 litres ont été calculées en fonction du débit imposé, du volume et de la concentration finale désirée dans le bassin.

Pendant les premières expérimentations, la concentration en azote et phosphore était beaucoup trop forte.

La possibilité d'un dosage immédiat aurait évité les erreurs dans l'appréciation de la quantité d'engrais à utiliser. Le calcul pour Ecotron I avait été effectué en fonction du % indiqué sur les sacs d'engrais. Aussi pour Ecotron III, on a obtenu les valeurs suivantes par le dosage sur technicon des engrais utilisés :

	Conc.	NO ₂ +NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si	(en µg)
Engrais P	1 mg/l	0	0	2.1	0.2	
Engrais N	1 mg/l	11.6	14.6	0.05	0	
Sol. Na ₂ SiO ₃	1 ml/10 ⁻⁶ ml	0	0	0	3.30	

Le débit d'engrais est continu ; il ne marque pas d'arrêt comme le renouvellement d'eau de mer dans le bassin. On utilise, pour faciliter le calcul, le renouvellement en eau par jour ramené à l'heure. La quantité d'engrais à mettre dans le bac de mélange peut être calculée comme suit, si l'on se fixe arbitrairement un débit constant de l'enrichissement égal à 2 l/h (représente pour le bac de 480 litres, 10 jours de fonctionnement) :

$$I) \quad CR = \frac{C \times R}{24 \times 2}$$

$$II) \quad \frac{CR}{CD} = E$$

$$III) \quad E \times 430 = ET$$

R = quantité d'eau de mer renouvelée par jour

C = concentration prévue dans le bassin en µatg/l

CR = concentration de renouvellement en µatg/l/h

CD = concentration dosée dans les engrais en µatg/mg

E = quantité d'engrais en mg/l

ET = quantité d'engrais total en gramme qu'il faut mettre dans le bac de mélange.

Ainsi pour chaque litre d'eau de mer renouvelée, une certaine quantité de sels nutritifs s'ajoute au milieu afin de maintenir la même concentration dans la totalité du bassin. Il suffit d'enrichir au départ les 35 m³ et mettre ensuite le système d'addition d'engrais en fonction. L'addition en continu du mélange est effectuée par une pompe EHEIM qui comporte un by-pass pour ne pas fatiguer la pompe qui a un débit supérieur (4 l/min.) à celui désiré. Une dérivation permet de faire circuler le mélange d'engrais dans un débitmètre à bille que l'on peut calibrer de façon à régler assez précisément l'écoulement à 2 l/h.

Ce système est en surélévation par rapport au bassin, pour éviter un siphonnage possible, car l'addition d'engrais se fait par le fond près d'une arrivée d'eau.

De plus, afin d'obtenir l'homogénéisation du milieu dans le bassin, il a été placé au centre de trois parois, des "air-lift" dont le débit est supérieur à 1 l/s. L'air est pulsé à l'aide d'un compresseur à grand débit pour aquarium.

3.2 Expérimentations

Elles ont été menées de manières différentes.

	Période	Dates d'expérimentation de la product. I ^{live}	Bassins mis en eau
Ecotron I	Printemps	du 27/4/77 au 20/5/77	B ₁ et B ₂
Ecotron II	Automne Hiver	du 24/10/77 au 23/3.77	B ₁ et B ₂
Ecotron III	Printemps	du 30/3/78 au 19/5/78	B ₁ - B ₂ et B ₃

Débits et enrichissement :

	Valeurs théoriques en µatg/l désirées dans le bassin				Débit B ₁	Débit B ₁
	N	P	Si	N/P		
E I	100	6.25	sans	16	1 m ³ /h	0.25 m ³ /h
E II	100	6.25	sans	16	1 m ³ /h et 0.5m ³ /h	-
E III	32	2	14	16	1 m ³ /h	0.25 m ³ /h

Quantité d'engrais utilisé:

Pour Ecotron I : la quantité d'engrais était excessive.

Pour Ecotron II: 3.840 Kg d'engrais azoté et 1.100 Kg d'engrais phosphaté pour 480 litres (quantité encore trop forte).

Pour Ecotron III: 255 g d'engrais azoté et 372 g d'engrais phosphaté et 1 litre de silicate de sodium, pour 480 litres.

Renouvellement des bassins pour E II et E III :

. B_1 : le volume d'eau de mer circulant dans le bassin, d'après les observations quotidiennes, varie entre 16 l/min. et 18 l/min., correspondant à un volume moyen de 1 020 l/heure. Le renouvellement réel par jour est de l'ordre de 20 m³ (en tenant compte des arrêts de pompe). Ce qui donne un débit réel non pas de 1 m³/h mais de 0.83 m³/h. Le renouvellement complet de l'eau du bassin s'effectue en 42 heures ($R = 1.75 J^{-1}$).

. B_2 : le renouvellement qui doit être le $\frac{1}{4}$ du débit B_1 est réglé à l'aide d'une éprouvette et d'un chronomètre. Le débit est relativement constant et s'effectue pratiquement en continu, même lorsqu'il y a interruption de l'alimentation en eau dans B_1 . Le débit varie entre 3.75 L/min. et 3.33 L/min. et correspond à un volume moyen de 212 l/h ($830 \text{ l} / 212 \text{ l} = 3.92$; débit pratiquement au $\frac{1}{4}$). Le renouvellement complet s'effectue sur environ 6 jours ($R = 0.17 J^{-1}$).

En remarque, lors d'Ecotron II, le flux d'eau entrant dans le bassin B_1 a dû être diminué en cours d'expérience, car il a été constaté sur un cycle d'étude de 24 h, que le taux de croissance du phytoplancton était trop faible pour compenser le lessivage. Le débit a été diminué de moitié (0.5 m³/h).

3.3 Problèmes rencontrés au cours des expérimentations.

. Engrais phosphate peu pratique, la partie inerte est insoluble et gêne le fonctionnement du débitmètre. Il serait souhaitable d'obtenir le produit d'origine pur, sans plâtre. De plus il contient des métaux lourds tel que le plomb.

. Malgré la remontée des eaux du fond en surface par air-lift, est-ce que la hauteur d'eau dans le bassin (1.80 m) n'est pas une gêne pour la croissance du phytoplancton ? Faut-il augmenter ce brassage ? Un air-lift fait circuler normalement en moins de 10 heures un volume d'eau égal au volume total du bassin.

. Le développement intense du phytobenthos après un à deux mois de fonctionnement pose un problème, car il est en compétition directe avec le phytoplancton vis-à-vis des sels nutritifs et son étalement en surface empêche la pénétration des rayons lumineux dans les eaux du bassin. Il faut pour éliminer ces algues filamenteuses, soit trouver un brouteur que l'on peut introduire dans le milieu, soit utiliser un deuxième bassin qui permettrait d'alterner pour effectuer le nettoyage des parois.

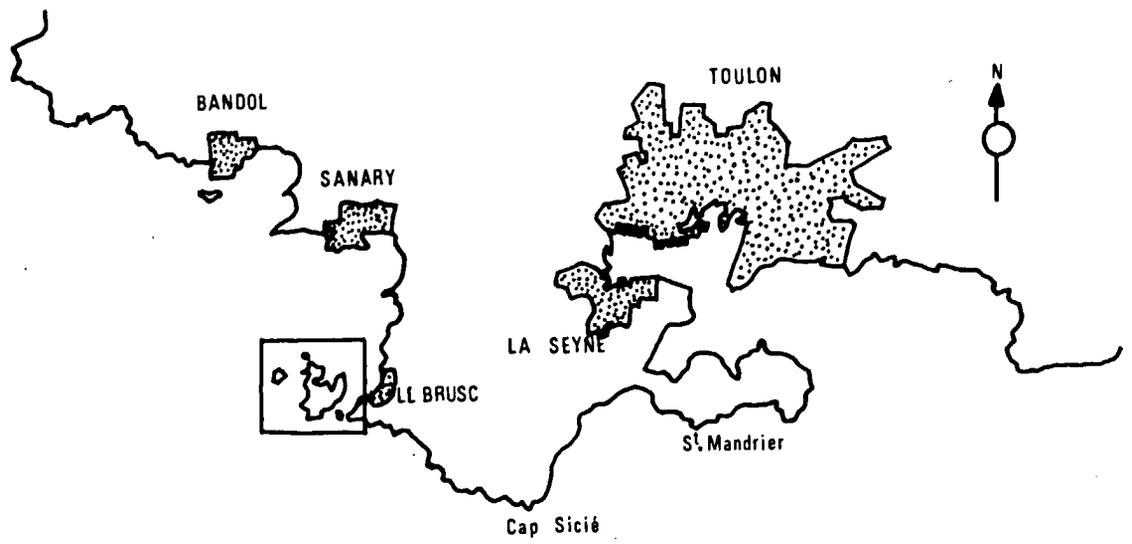
4. Discussion

Le but à atteindre est de mettre en place un système simple, demandant le moins d'entretien possible, et donc peu coûteux. Actuellement pour Ecotron III, le prix de fonctionnement du module est de l'ordre de 400.francs par mois. Ceci comprend l'électricité à 30 centimes du KWh et environ 3.francs d'engrais pour dix jours. On constate que ce ne sont pas les engrais qui reviennent le plus cher mais la station de pompage.

La quantité d'engrais utilisée est limitée et la moindre modification dans le système d'enrichissement perturbe le développement des organismes planctoniques. Pourtant les valeurs d'azote et de phosphore sont très proches des valeurs mesurées dans l'upwelling artificiel de St Croix (U.S, Virgin Island) qui a donné d'excellents résultats sur la croissance des bivalves.

Remerciements à Mr. J. DESCATOIRE qui a participé très activement aux installations.

SITUATION GENERALE



Archipel des Embiez

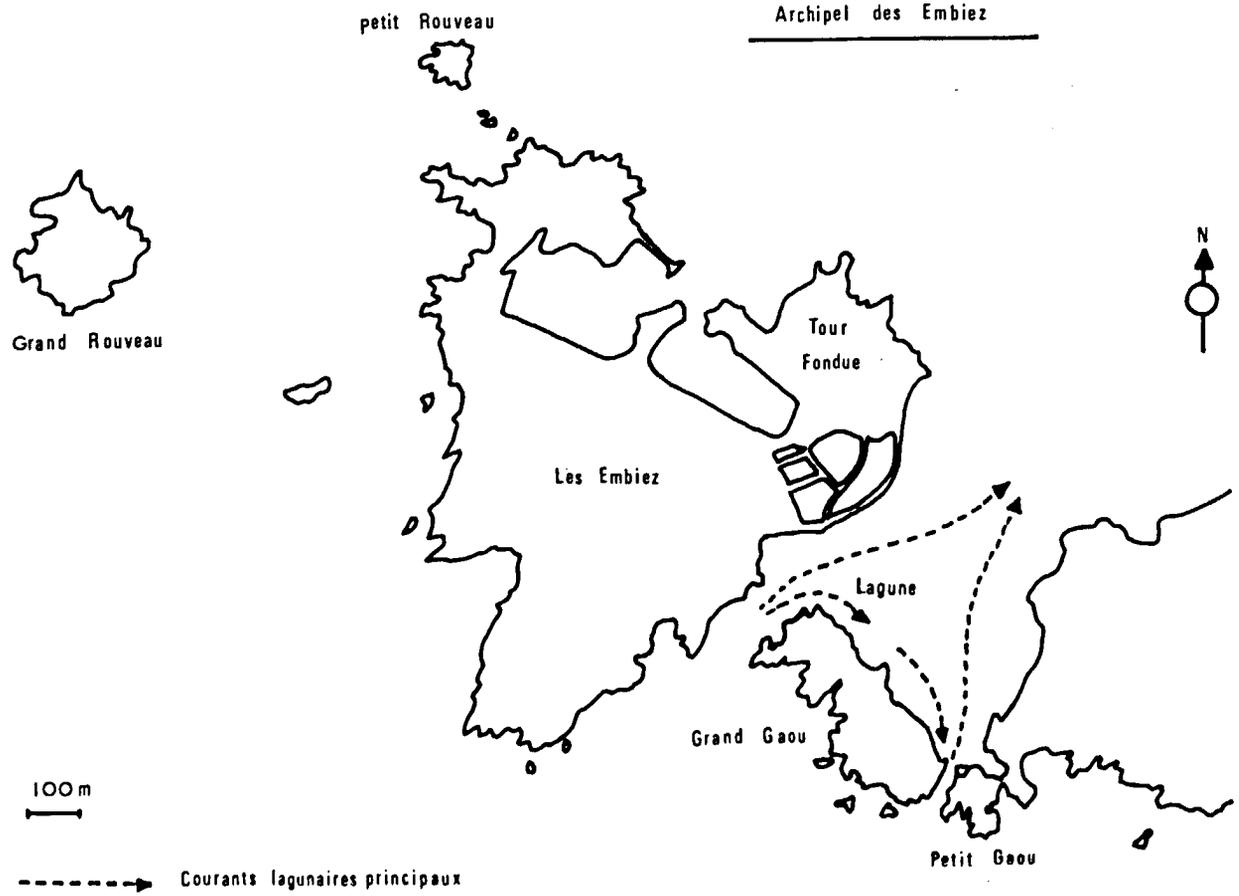


FIGURE 1

ETAT ACTUEL DES SALINS

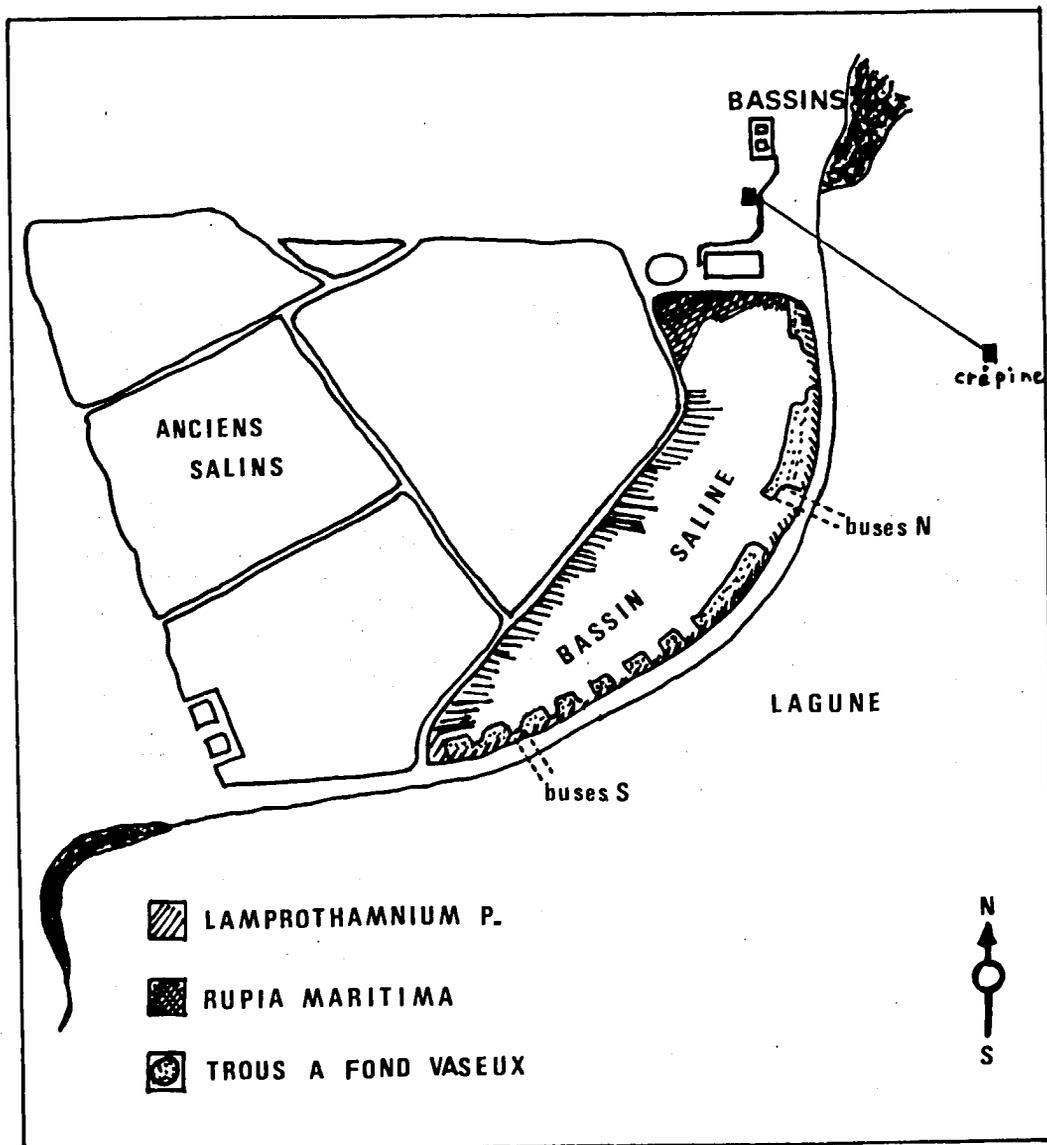
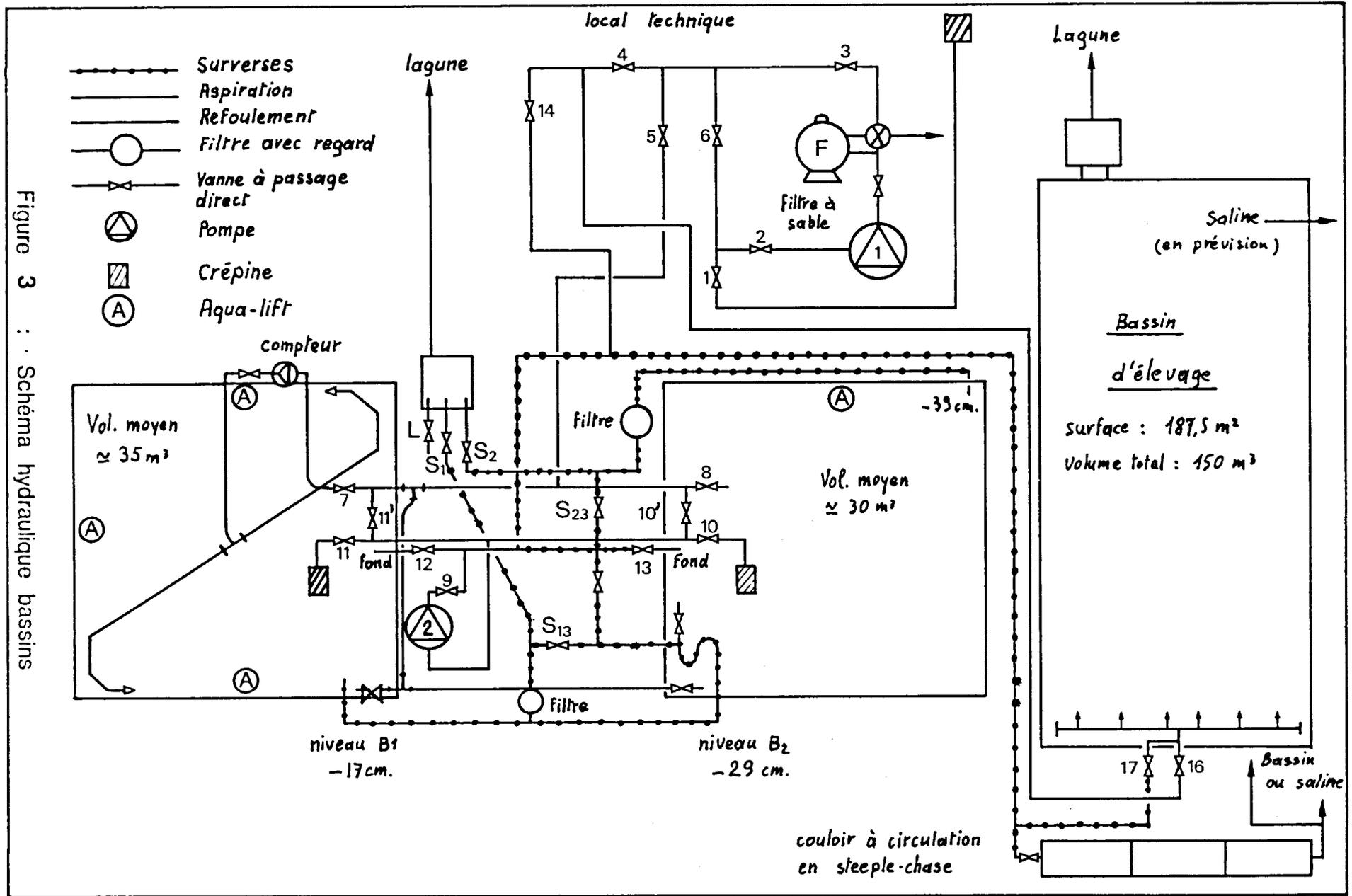


FIGURE 2

Figure 3 : Schéma hydraulique bassins





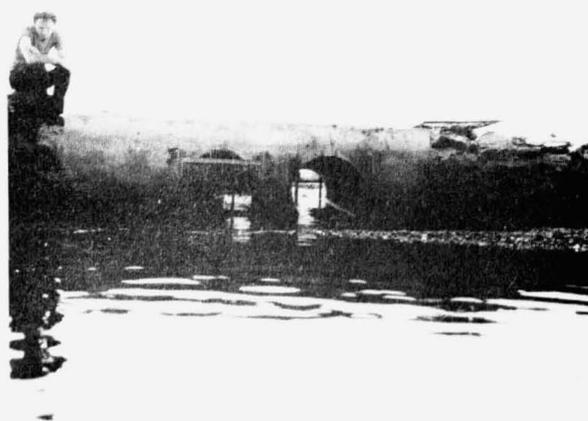
1. Vue sur la saline
située à proximité
de la lagune (côté Nord)



2. Vue sur la saline
(côté Sud-Ouest)



3. Vue sur le centre
de la saline

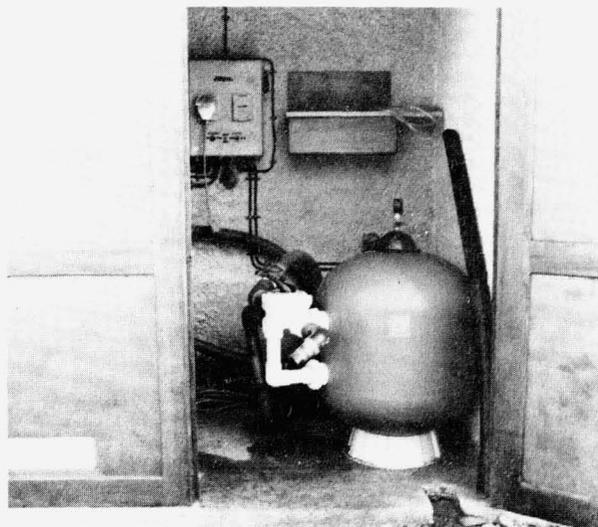


4. Communication
Lagune - Saline = Buse Nord
(vue de l'extérieur
vers l'intérieur)

PLANCHE PHOTOS 1



5. Lieu de pompage Lagune



6. Station de pompage



7. Bassins à production planctonique



8. Bassin phytoplancton



9. Bassin zooplancton



10. Bassin d'élevage