

Convention de recherches  
Conseil Régional Poitou-Charentes  
IFREMER

AMELIORATION DE L'EVALUATION DES STOCKS DE MOLLUSQUES  
CULTIVES EN CHARENTE-MARITIME.

Compte rendu n°2 sur l'état  
d'avancement des travaux.

Avril 1986

C. BACHER, J.M. DESLOUS-PAOLI, M. HERAL, J. PROU

Responsable Scientifique  
M. HERAL

IFREMER  
Direction des Ressources vivantes  
Laboratoire National Ecosystèmes  
Conchylicoles-La Tremblade

## Résumé :

L'expansion des exploitations d'élevage des coquillages (huîtres, moules, palourdes...) entraîne une compétition pour l'utilisation d'une quantité de nourriture limitée en particulier dans le bassin de Marennes-Oléron où la circulation des masses d'eau est lente. Augmenter les quantités de mollusques en culture entraîne sur le plan biologique :

- Une baisse des performances de croissance,
- Une augmentation des mortalités chroniques de plus en plus élevées due à une faiblesse de l'état physiologique avec un manque de réserves qui aurait permis de palier aux déficits saisonniers du milieu (fin d'hiver, etc...).

- Une vulnérabilité plus grande aux maladies, en liaison avec l'état physiologique déficient et avec l'augmentation de densité qui accroît le taux de proximité et donc la vitesse de propagation des parasites.

Pour ces raisons primordiales et l'avenir de l'ostréiculture, il est nécessaire d'acquérir un certain nombre de données. En premier lieu, il est important d'avoir une bonne estimation des stocks cultivés et de suivre la croissance et la mortalité des populations cultivées.

Par ailleurs, un modèle global donnant pour le bassin de Marennes-Oléron, les relations entre d'une part, la production commercialisée, la durée du cycle d'élevage, le taux de mortalité et d'autre part la biomasse totale en élevage est en cours d'élaboration à partir de séries historiques validées.

Dans le cadre de ce rapport, les différents points seront successivement abordés :

- Estimation des stocks en culture par photographie aérienne et échantillonnage terrain en 1985.

L'estimation des stocks d'huîtres en culture grâce à l'utilisation d'une couverture photographie aérienne au 1/10000ème et à un sous-échantillonnage photographique au 1/1500ème couplé à un échantillonnage terrain, atteint en 1985 une précision de 10 %. 32 % des parcs à plat

conçédés sont exploités et 41 % pour les parcs en surélevé. L'élevage à plat représente 33 480 tonnes tandis que l'élevage en poche est de 23 067 tonnes et le demi-élevage en collecteurs 26 175 tonnes. De 1984 à 1985 il apparaît une tendance à l'augmentation des stocks (malgré les techniques d'évaluations différentes) avec respectivement 69 000 tonnes et 83 000 tonnes. Cette augmentation est à mettre en liaison avec la quasi absence de recrutement dans le bassin en 1981 et le très fort captage de 1982.

- Recherches méthodologiques pour une analyse automatique des images numériques.

La numérisation des photographies aériennes avec une résolution de 3 m et une résolution de 1,5 m permet d'effectuer une analyse automatique par ordinateur donnant les surfaces exploitées à plat et en surélevé. La recherche plus fine de la quantification des longueurs de table nécessite de travailler avec une résolution de l'ordre de 0,5 m pour lesquels les logiciels ont été mis au point à partir des données acquises par le scanner Matra.

- Analyse historique de la production d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron.

L'analyse historique de la production d'huîtres creuses montre que la production n'a jamais dépasser 52 000 tonnes. A partir de ces courbes de production une simulation de l'évolution des stocks est présentée en tenant compte des rendements des huîtres cultivées (croissance et mortalité).

- Influence des facteurs climatiques sur la production d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron.

Après avoir démontré que les variations climatiques n'entraînent pas de modification importante des performances de croissance des élevages, il est mis en évidence que les temps de croissance pour obtenir une huître adulte sont une fonction directe de la biomasse totale en élevage. De même les courbes de mortalité augmentent avec l'accroissement du stock.

En conclusion, l'approche d'un modèle de gestion du bassin de Marennes-Oléron est ébauchée. L'élaboration d'un modèle dynamique montre que lorsque les capacités biotiques d'une bassin sont atteintes, tout accroissement des charges en élevage n'entraîne pas d'augmentation de la production mais au contraire, induit une baisse de rendement des élevages.

1) ESTIMATION DES STOCKS D'HUITRES CULTIVEES DANS LE BASSIN DE  
MARENNES-OLERON

1) Echantillonnage 1984

1.1. Introduction

La première estimation des stocks d'huîtres en élevage dans le bassin de Marennes-Oléron s'est déroulée en juillet 1984. Ni les surfaces exploitées, ni les longueurs dans le cas des surélevés, ni les mesures de poids par unité de surface ou de longueur ne peuvent être déterminées de façon exhaustives. Un plan d'échantillonnage a donc été élaboré et décrit dans les travaux de Bacher (1984).

En 1984, seul le cadastre établi par le service EPM des Affaires Maritimes servit de base à l'échantillonnage et au calcul des surfaces ou des longueurs exploitées. La seule donnée disponible étant la surface concédée totale et égale à 2 700 hectares.

5 strates géographiques furent déterminées et chacune divisée en 2 autres strates.

- Strate "surélevée" comprenant 2 types de culture : l'élevage en poches ostréicoles et le "demi-élevage" dans lequel les huîtres sont encore fixées sur les différents types de collecteurs.

- Strate "plat" comprenant tous les types de culture sur le sol qu'il soit en élevage ou en demi-élevage.

A partir de la surface concédée, un échantillonnage aléatoire simple permit de tirer au hasard 54 points du bassin (le nombre de points dans chaque strate étant proportionnel à la taille de la strate). Ils correspondent sur le terrain à autant de carrés de 1 hectare. Sur chaque point ainsi délimité, 3 mesures de poids sont effectuées. Le dénombrement exhaustif des longueurs ou des surfaces exploitées à l'intérieur du carré a permis parallèlement la détermination d'un taux d'exploitation.

Le plan d'échantillonnage 1984 peut se résumer sommairement ainsi :

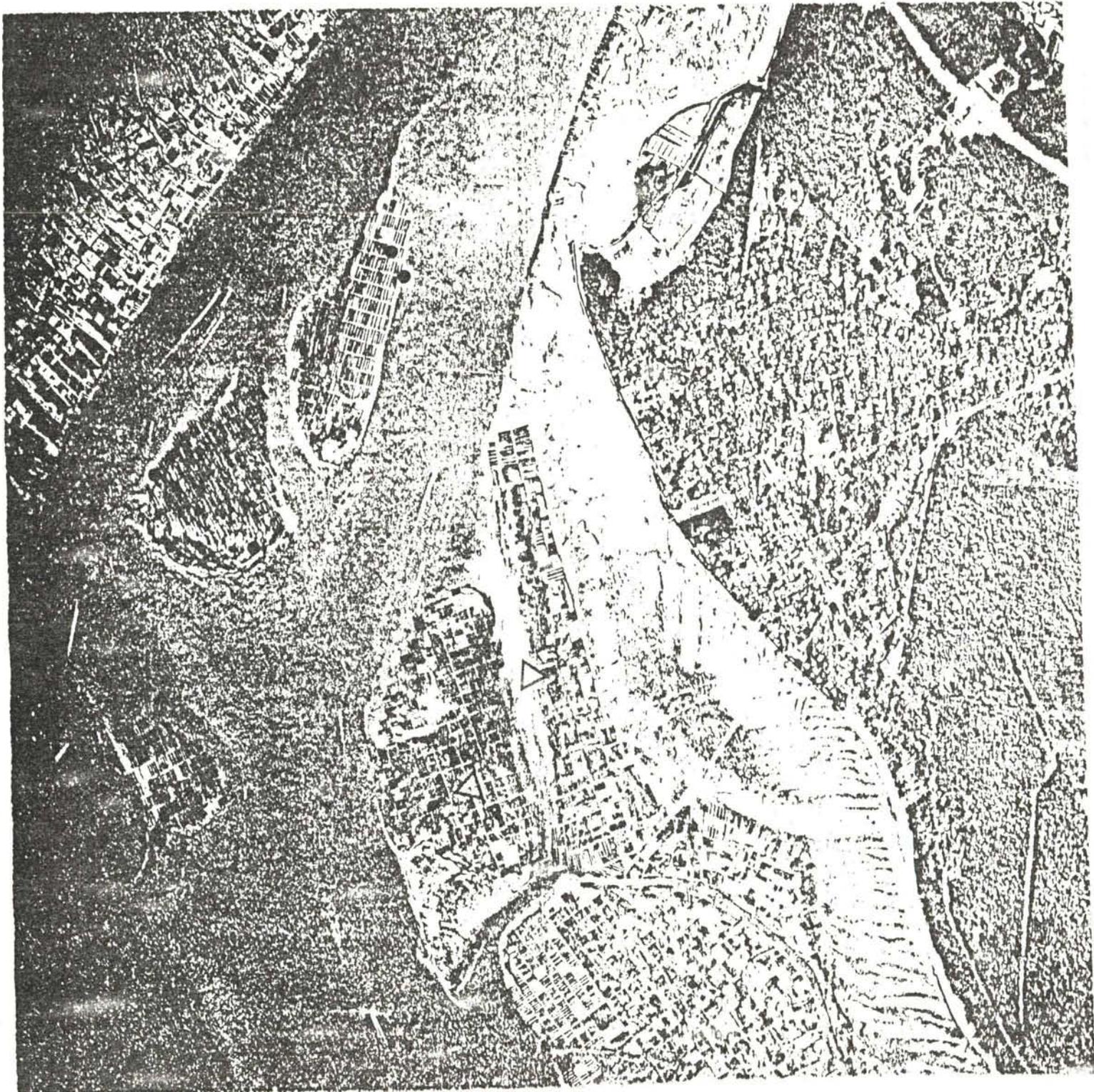
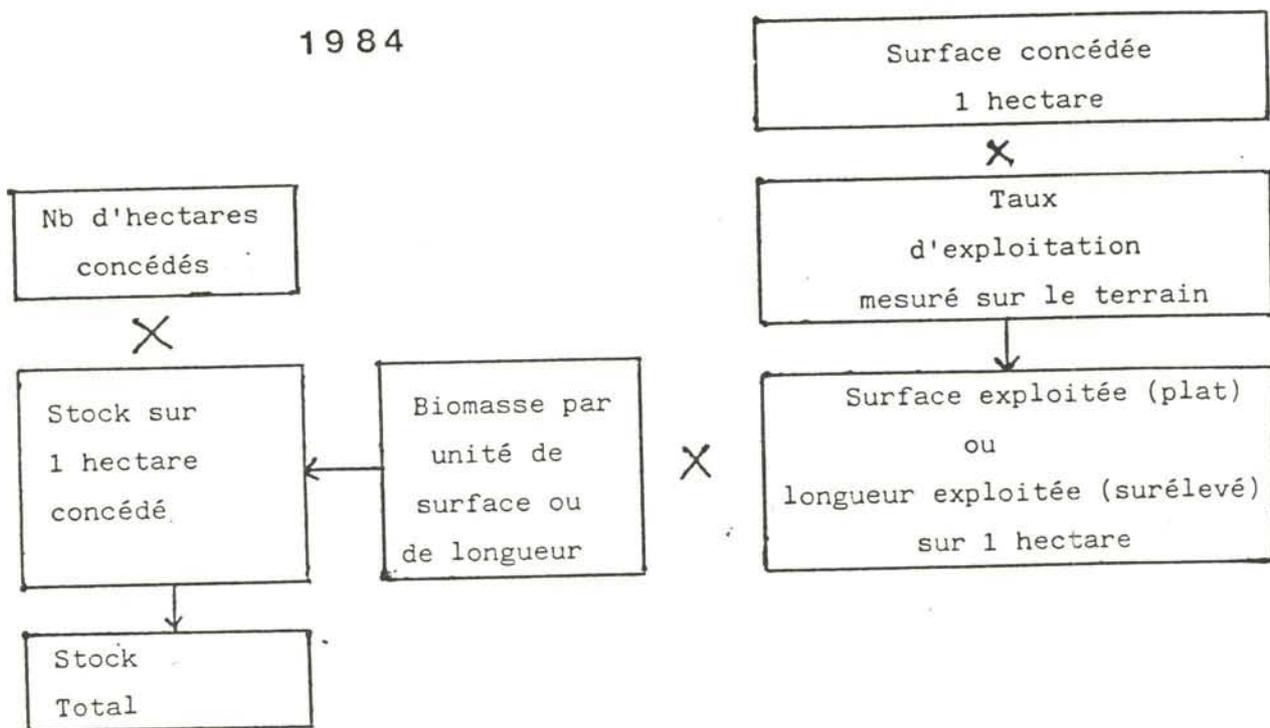


Figure 2 : Photo aérienne 1/15 000 (1984) des bancs permettant d'effectuer le tirage des points à échantillonner.

1984



Les résultats de l'estimation 1984 méritent d'être rappelés pour l'ensemble du bassin toutes strates géographiques confondues

Strate plat	30 000 tonnes	précision 25 %
Strate surélevé	38 500 tonnes	précision 25 %

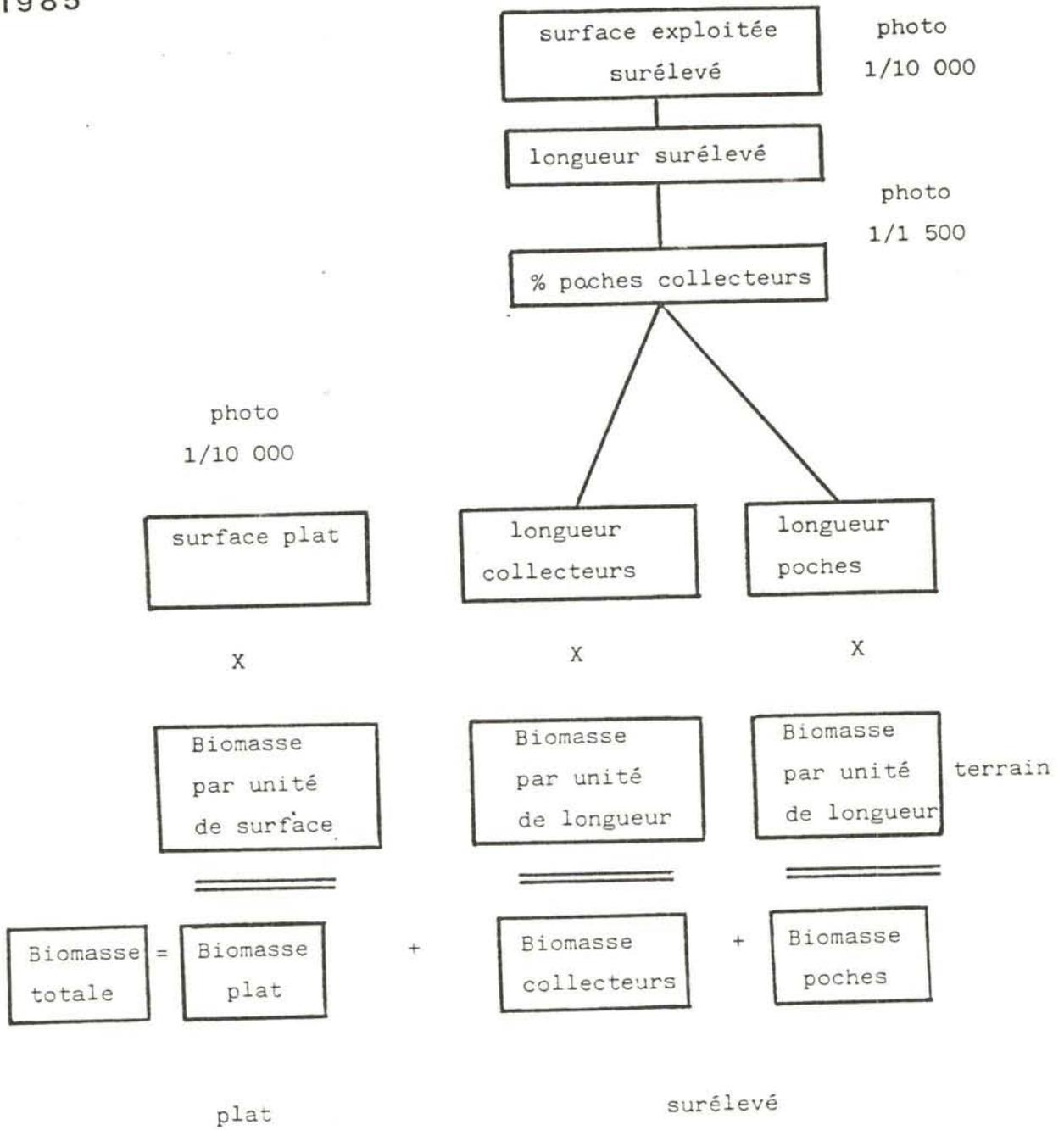
## 2) Estimation des stocks 1985

### 2.2. Echantillonnage terrain-estimation des biomasses

#### 2.2.1. Protocole

La stratégie développée est celle d'un échantillonnage à 2 degrés. L'unité primaire est fixée à 1 hectare pour la culture à plat et à 10 000 m de longueur exploitée pour la culture en surélevé. 113 points primaires ont donc été tirés aléatoirement, à partir de la couverture aérienne 1984, permettant de réaliser un tirage de points sur la surface exploitée et non plus sur la surface concédée comme en 1984. De ce fait, les zones concédées mais non exploitées ne donnent plus de biomasses nulles, améliorant ainsi sensiblement la précision (fig. 2). L'effort d'échantillonnage représente 16 % des surfaces exploitées pour l'élevage à plat et 8,5 % des surfaces exploitées pour l'élevage en surélevé.

1985



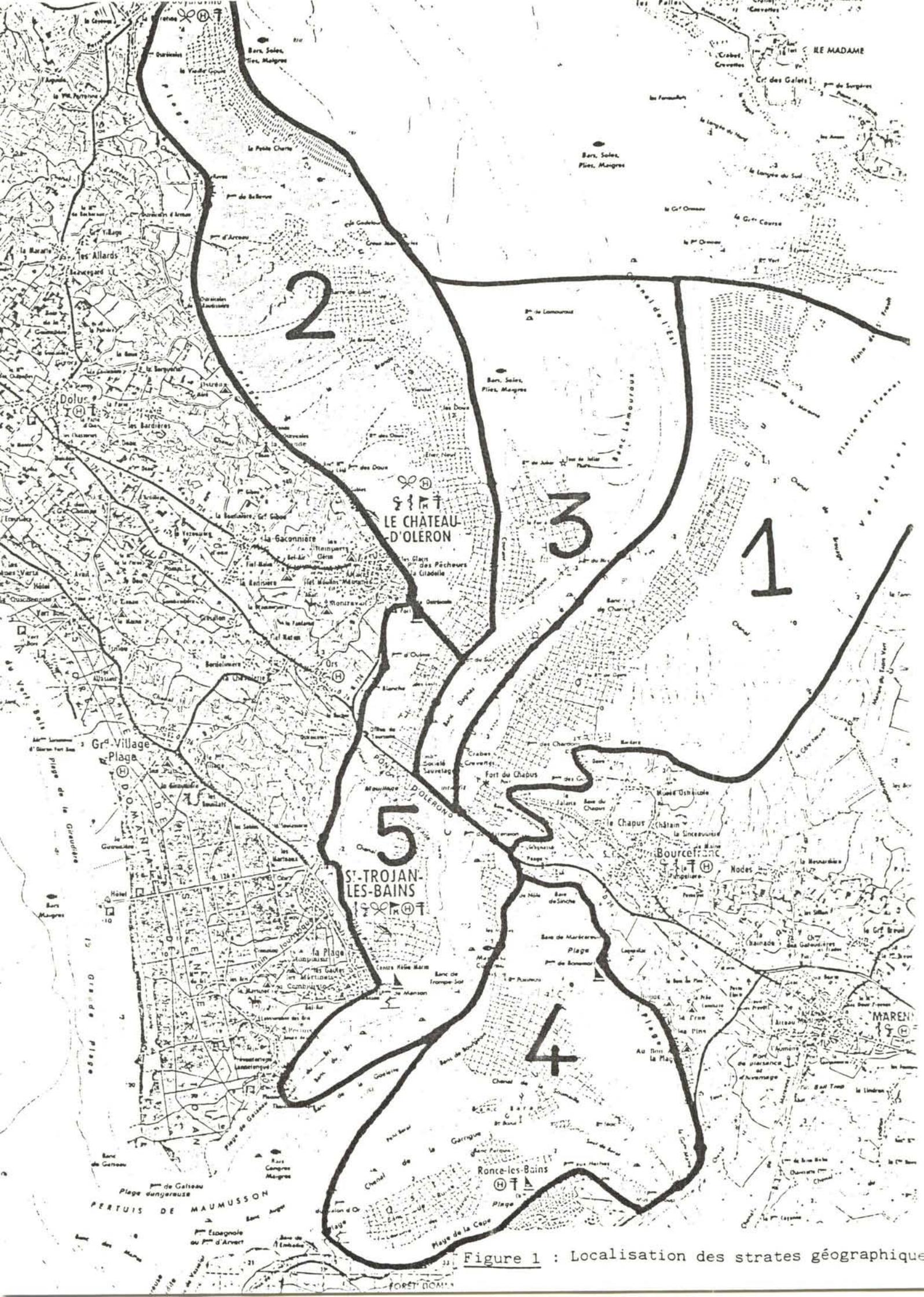


Figure 1 : Localisation des strates géographiques

Tableau 1 : Répartition du nombre de points échantillonnés dans les différentes strates

	Strates type de culture			total surélevé	total par strate géographique
	plat	elevage	demi-élevage		
1	19	3	5	8	27
2		14	18	32	32
3	10	10		10	20
4	7	7	6	13	20
5	18	15	11	26	44
total par strate type de culture	54	49	40	89	143

Pour chaque strate géographique, et pour chaque type de culture, la répartition des points tient compte de la taille des strates et des précisions obtenues en 1984.

Sur le tableau 1, on remarque l'effort effectué sur l'élevage à plat dans les strates 1 et 5, sur le surélevé dans les strates 2 et 5. Ces deux derniers secteurs correspondant à la côte oléronnaise dont le faciès indiquant poches et collecteurs induit une variance assez forte sur la biomasse en élevage (fig. 1).

Sur chacun des 54 points tirés dans la strate d'élevage à plat, 3 pesées d'huîtres sont effectuées, sur une surface de  $0,5 \text{ m}^2$ .

Sur les 59 unités primaires tirées dans l'élevage en surélevé, 3 pesées de poches et/ou 3 pesées de collecteurs sont aussi effectuées afin de déterminer la biomasse au mètre linéaire d'installation. Le  $\text{m}^2$  de culture à plat et le m de culture en surélevé représentent les unités secondaires.

L'opération terrain s'est déroulée durant 2 marées de vives-eaux, du 15 au 22 août puis du 28 août au 3 septembre. Le coût personnel s'est élevé à 120 personnes jour.

#### 2.2.2. Résultats (tableau 2)

##### a) Culture à plat

La densité moyenne est de  $9,89 \text{ kg/m}^2$  avec une précision de 10 %. On notera la faible biomasse de la strate n° 5 ( $6,3 \text{ kg/m}^2$ ) correspondant souvent à des cultures de demi-élevage à plat, et les valeurs de  $11,95$  et  $11,38 \text{ kg/m}^2$  dans les strates 3 et 4 consacrées traditionnellement à l'élevage proprement dit.

##### b) Culture en surélevé/demi-élevage sur collecteurs

La biomasse moyenne est de  $20,75 \text{ kg/m}$ . On opposera facilement les résultats de strate n° 2 ( $12,97 \text{ kg/m}$ ) montrant une biomasse assez faible et constante ( $\sigma = 2,62$ ) dans le secteur d'Oléron et ceux de la

Tableau 2 : Résultats de l'échantillonnage terrain,  
Biomasses et écart-type par strates.

	Plat kg/m <sup>2</sup>	$\sigma$	SURELEVE		SURELEVE	
			Demi élevage	$\sigma$	élevage	$\sigma$
1	8,7	0,55	19,26	2,69	22,34	1,05
2	-	-	12,97	2,62	23,59	1,62
3	11,95	1,23	-	-	23,22	1,37
4	11,38	1,16	26,09	6,25	19,03	1,45
5	6,3	0,49	20,17	4,65	23,48	1,18
	9,89*	0,49*	20,75*	2,45*	22,35*	0,93*

\* moyenne toutes strates

strate n° 4 (26,09 kg/m) où le banc de bourgeois sert souvent de dépôt aux expéditeurs de la vallée de la Seudre.

c) Culture en surélevé (élevage en poche)

La biomasse est homogène dans toutes les strates et présente peu de variations. La moyenne s'établit à 22,35 kg/m.

2.3. Echantillonnage photos-Estimation des surfaces et des pourcentages

2.3.1. Estimation des surfaces en exploitation

Comme en 1984, une couverture totale aérienne du bassin fut effectuée le 19 août 1985 par un coefficient de 99 et à l'échelle de 1/10 000 (fig. 3).

En 1984, l'échantillonnage terrain avait permis de calculer un taux d'exploitation reliant la surface concédée et la surface réellement exploitée.

En 1985, la couverture aérienne permet de calculer directement la surface en exploitation.

A l'aide d'une grille de points espacés de 3 mm, plaquée sur la partie de la photo dont on veut déterminer la surface, un comptage des points sur la surface considérée est effectué, déterminant ainsi la surface en exploitation. Le comptage est effectué 3 fois en déplaçant légèrement la grille. Une précision de la méthode est ainsi appliquée à l'estimation de la surface. Cette précision est en moyenne de 3 %.

Cet échantillonnage systématique sur photos donne les résultats suivants :

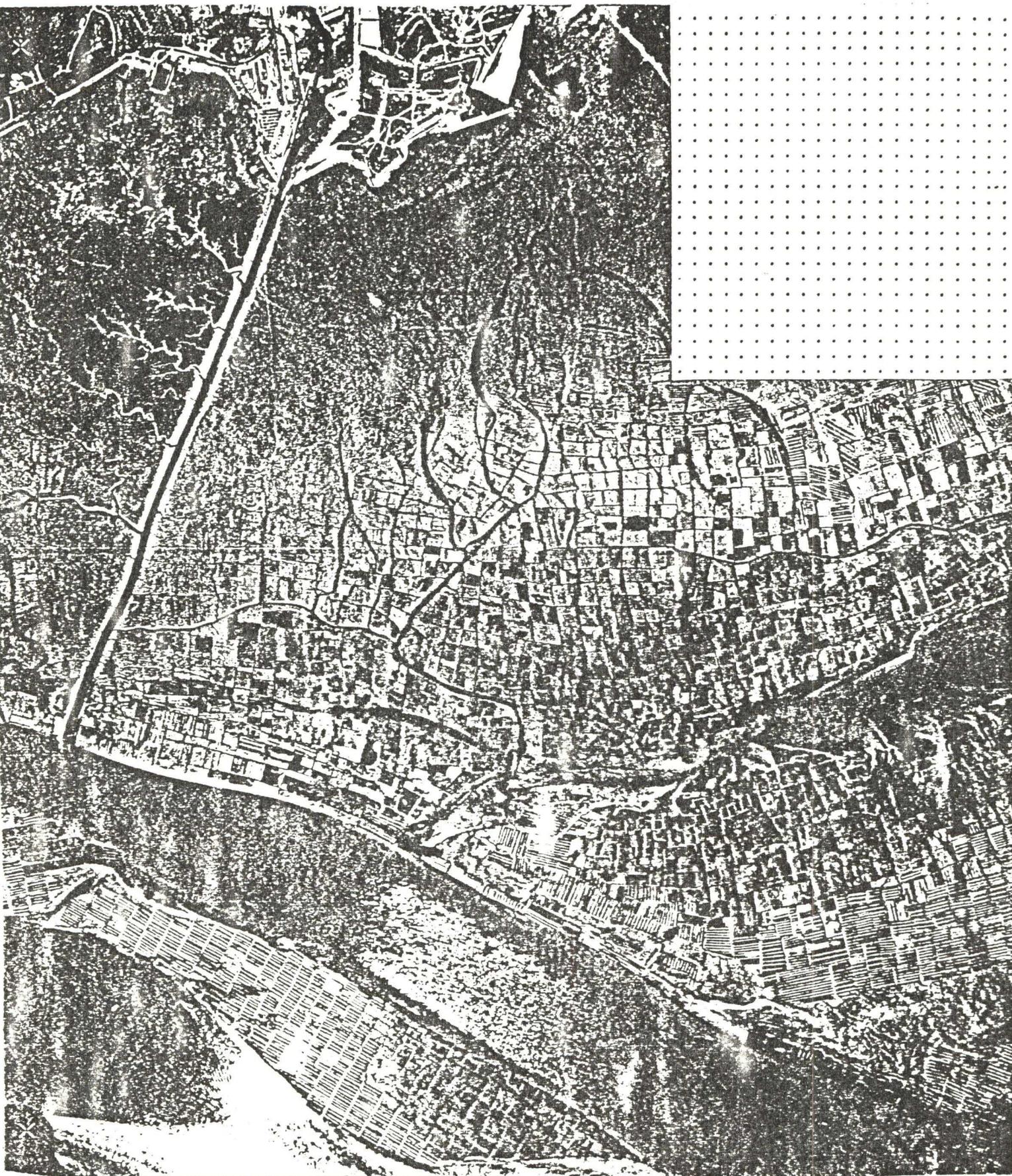


Figure 3 : Photo aérienne 1/10 000 (1985) des bancs avec grille de points espacés de 3 mm pour estimation des surfaces en exploitation.

	Culture à plat en hectare	Culture en surélevé en hectare
1	94	27
2		334
3	94	176
4	90	132
5	60	26
Total	338	695

Surfaces cultivées dans chaque strate

soit 1 033 ha exploités pour une surface concédée étudiée de 2 700 ha donnant un taux d'exploitation moyen de 31 % avec 32 % pour le plat et 41 % pour le surélevé.

Par rapport au pourcentage exploité trouvé en 1984, il apparaît que l'élevage à plat (59 %) a été surévalué à cause de la stratégie d'échantillonnage retenue (terrain + cadastre). Par contre les résultats sont identiques pour l'élevage en surélevé.

#### 2.3.2. Estimations des longueurs en surélevé, élevage et demi-élevage

Les estimations de surfaces sur les photos au 1/10 000 donnent directement la surface exploitée pour la culture à plat. Pour la culture

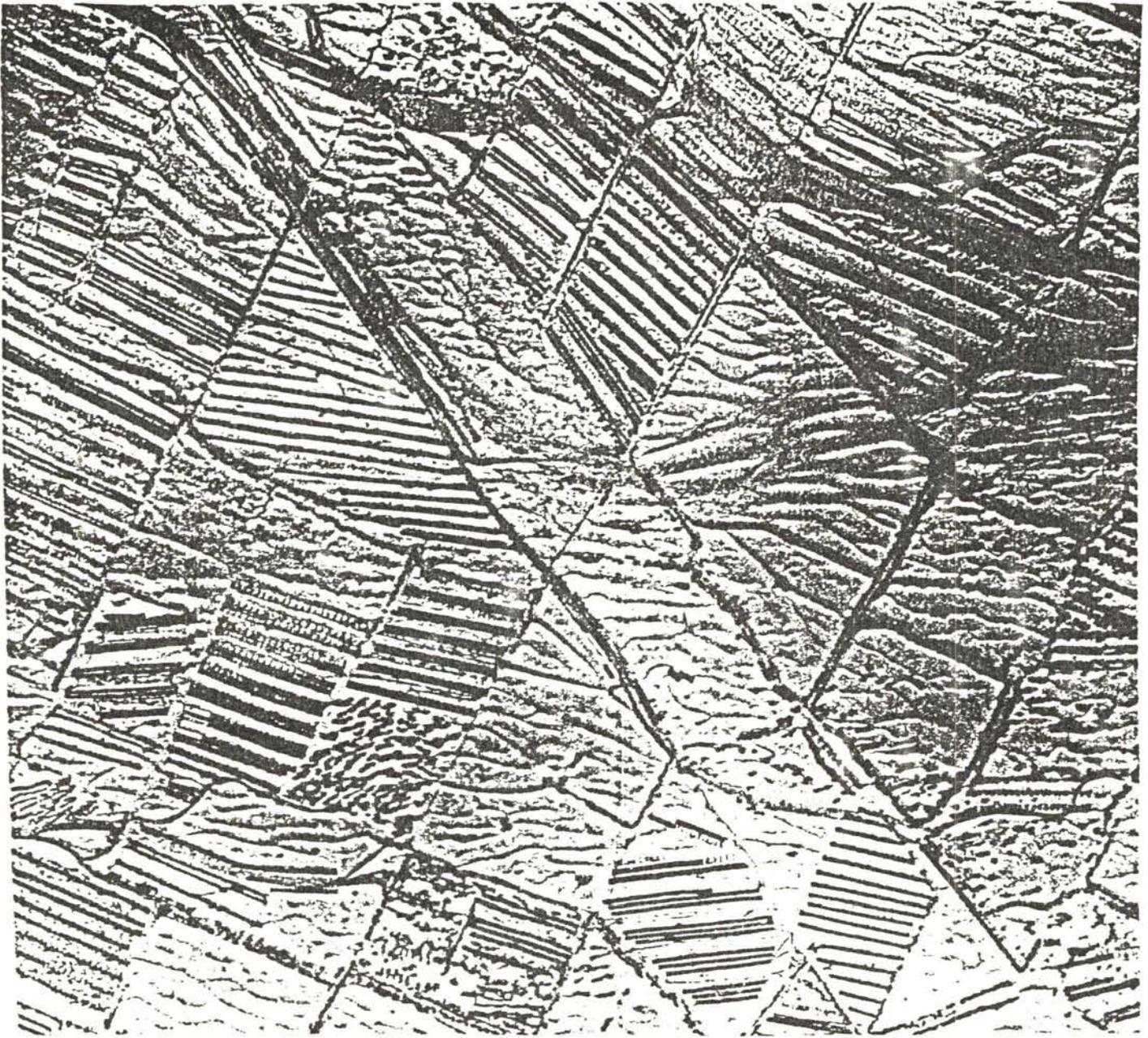


Figure 4 : Photo aérienne hélicoptère 1/15 00 (1985) permettant d'estimer le taux d'occupation et le pourcentage poches-collecteurs pour les cultures en surélevé.

en surélevé, il convient de déterminer les longueurs exploitées et les pourcentages de poches et de collecteurs. C'est pourquoi une deuxième couverture aérienne est effectuée à une échelle de 1/1 500. L'échelle ne permettant pas la couverture totale du bassin, 96 points ont été tirés et les photos correspondantes effectuées (fig. 4).

Sur chaque photo 2 mesures sont faites :

1) Le calcul du "taux d'occupation", rapport de la longueur exploitée et de la surface en exploitation correspondante. Dans la réglementation du DPM, ce taux est généralement de 33 %.

L'échantillonnage sur photos donnent des résultats très similaires avec une très bonne précision de l'ordre de 1 %, montrant que la réglementation est suivie.

Strates	taux d'occupation
1	0,33
2	0,34
3	0,35
4	0,34
5	0,33

2) Le pourcentage de poches ou de collecteurs dans le type de culture en surélevé.

La mesure directe des longueurs en poches ou en collecteurs est faite sur les photos.

Les résultats par strate sont les suivants :

Strates	% collecteurs	$\sigma$
1	68	5
2	68	9
3	4	1
4	43	6
5	35	5

On notera que la strate n° 3 au centre du bassin est presque uniquement consacrée à l'élevage en poches. La mauvaise précision est due à l'enchevêtrement des modes de culture, le pourcentage de demi-élevage passant fréquemment de 0 à 100 % dans une strate donnée.

#### 4) Calculs de stocks et optimisation

##### 1) Plat

$$\text{STOCK} = B_{\text{plat}} \times S_p$$

où  $B_p$  est la biomasse en  $\text{kg/m}^2$

et  $S_p$  la surface exploitée en  $\text{m}^2$

$$B = 9,89 \times (338 \times 10\,000) = 33\,480 \text{ tonnes}$$

La précision est la racine carrée de la somme des carrés des précisions soit :

$$\text{Précision} = \sqrt{10^2 + 1,5^2} = 10,1 \%$$

##### 2) Poches

$$\text{STOCK} = B_{\text{poches}} \times L \times T_x \times \% \text{ poches}$$

où  $B_{\text{poches}}$  = biomasse en  $\text{kg/m}$

$L$  = longueur de culture en surélevé en m

$T_x$  = taux d'occupation

% = pourcentages de poches dans la culture en surélevé

$$B = 22,35 \times (6,95 \times 10\ 000) \times \frac{33}{100} \times \frac{45}{100} = 23\ 067 \text{ tonnes}$$

$$\text{précision} = \sqrt{8,3^2 + 2,2^2 + 13^2} = 15,6 \%$$

### 3) Collecteurs

$$\text{STOCK} = B_{\text{coll}} \times L \times T_x \times \%_{\text{coll}}$$

$B_{\text{coll}}$  = biomasse en kg/m

$L$  = longueur de culture en surélevé en m

$T_x$  = Taux d'occupation

$\%_{\text{coll}}$  = pourcentage de collecteurs

$$B = 20,75 \times (695 \times 10\ 000) \times \frac{33}{100} \times \frac{55}{100} = 26\ 175 \text{ tonnes}$$

$$\text{Précision} = \sqrt{23^2 + 2^2 + 13^2} = 26,5 \%$$

### 4) Stock surélevé

$$\begin{aligned} S_{\text{surel}} &= S_{\text{coll}} + S_{\text{poches}} \\ &= 26\ 175 + 23\ 067 = 49\ 242 \end{aligned}$$

$$\text{Précision} = 15,87 \%$$

### 5) Stock total

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{surel}} + S_{\text{plat}} \\ &= 49\ 242 + 33\ 480 = 82\ 722 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

$$\text{Précision } 10,3 \%$$

### Optimisation et coût :

a) Par ordre d'importance, on notera la faible précision de l'estimation des biomasses de demi-élevage sur collecteurs (23 %), liée assurément à deux facteurs :

1°) L'augmentation des temps de croissance dans le bassin entraîne une date de détroquage très variable suivant les professionnels. Les huîtres sur collecteurs peuvent donc être détroquées à 9 mois pour la vente du naissain dans d'autres bassins mais surtout à 21 et 33 mois. Les variations de poids du collecteur étant de ce fait très variables.

2°) Le mode de culture des collecteurs fait varier passablement le nombre de collecteurs au mètre linéaire.

De ces 2 remarques on retiendra l'importance d'une opération visant à séparer la strate collecteurs en d'autres sous-strates définies par l'âge ou le poids des huîtres. Ce développement devrait améliorer sensiblement la précision de l'estimation de la biomasse collecteurs.

L'estimation de la taille de ces sous-strates semble par contre beaucoup plus difficile à réaliser. En effet, les photos aériennes même en basse altitude ne permettent pas de déterminer l'âge ou le poids des huîtres sur collecteurs, l'enquête sur le terrain devient à nouveau indispensable pour l'évaluation de ces paramètres, augmentant du même coup fortement le coût de l'échantillonnage.

Par contre, elle permettrait de mieux cerner la composition et l'évolution de ce secteur de la production.

b) La précision relative au pourcentage de collecteurs ou de poches dans la culture en surélevé reste assez faible (13 %).

Deux solutions sont envisageables :

- Redéfinir certaines strates géographiques dans lesquelles les secteurs dédiés au demi-élevage ou à l'élevage sont bien séparés

- Augmenter l'échantillonnage par photographies basses altitudes dans les strates ou demi-élevage et élevage sont étroitement enchevêtrés.

En conclusion la détermination de la taille des strates demande un effort toujours plus important; précision de 3 % sur la surface en

exploitation, 13 % sur le critère poches/collecteurs. Pour améliorer en 1986 la précision il faudra encore définir la surface des strates de collecteurs d'âges différents. Par contre l'estimation des biomasses ne semblent pas représenter un coût très important dans l'échantillonnage, la stratification en zones géographiques, en type de culture et en classe d'âge où le poids devrait améliorer nettement la précision.

## 2) RECHERCHES METHODOLOGIQUES POUR UNE ANALYSE AUTOMATIQUE DES IMAGES NUMERIQUES

Alors que l'estimation des stocks de mollusques cultivés se généralise en France, les méthodes employées pour l'estimation des surfaces occupées par ces cultures restent encore très dispendieuses en temps et en personnel. Parallèlement la mise au point de méthodes numériques reste relativement lente du fait des moyens à mettre en oeuvre. Cependant les résultats déjà obtenus sont prometteurs tant pour l'estimation des surfaces occupées par les cultures que pour la quantification des cultures par unité de surface (Deslous-Paoli et al., 1985).

### - Acquisition des données

. Spot : La demande de programmation du satellite a été faite auprès de SPOT image, pour les 10-11 mars, 26-27 mars, 24-25 avril, 24 mai 1986. L'acquisition par l'IFREMER d'une première scène sur Marennes-Oléron sera faite dès que la couverture nuageuse le permettra. Une deuxième scène sera acquise pendant la période estivale.

. Images numériques haute résolution : Plusieurs voies sont actuellement testées :

\* La numérisation en laboratoire grâce à une caméra vidéo ou à CCD de photographies aériennes classiques obtenues par le STU.

\* La mise au point d'un système d'acquisition d'images numériques aéroportées grâce à une caméra vidéo ou à CCD. Cette mise au point est effectuée par l'IFREMER et les premiers tests se feront en juin.

La forte place mémoire occupée par une image 512 x 512 pixels et codée sur 8 bits (256 Ko) nécessitera dans tous les cas de doter le matériel de mémoires importantes (disque dur, dérouleur de bande etc...)

- Traitement des données

. Estimation des surfaces d'occupation des sols en conchyliculture

Ces estimations sont réalisées à partir d'images numériques multispectrales ou panchromatiques dont la taille du pixel est supérieure ou égale à la taille des structures à détecter (environ 1 m pour les cultures en surélevé)

En l'attente des premières données du satellite SPOT, lancé au début de l'année 1986, des photographies aériennes de la campagne du STU en 1984 correspondant au secteur de Bourgeois déjà traité lors de la simulation SPOT (fig. 1) (Populus et Deslous-Paoli, 1985) ont été numérisées par la société TIGRE à des résolutions de 3 m (1 image 512x512 pixels) et 1,5 m (4 images 512 x 512 pixels) (fig. 2). L'analyse de ces données par une méthode s'inspirant de celles proposées par Pujol (1985) permet de séparer les secteurs cultivés à plat et inoccupés des secteurs de culture en surélevé, et de coroborer les résultats obtenus, pour ce secteur, par la simulation SPOT (SPOT 20 m : 73,0 hect ; image numérique résolutions 3 m : 73,26 hct ; image numérique résolution 1,5 m : 74,33 hct).

. Quantification des tables ostréicoles

La taille des pixels des images utilisées doit être inférieure à la taille des structures à étudier et probablement de l'ordre de 0,5 m (Deslous-Paoli et al., 1985) ou moins selon le but à atteindre.

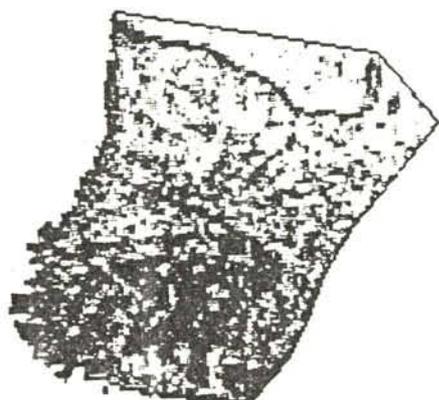
Malgré la forte déformation géométrique et la résolution peu adaptée (1,7 m), l'analyse détaillée des données du scanner MATRA a permis d'adapter les algorithmes de morphologie mathématique à la quantification des installations en surélevé (Pujol, 1985) (fig. 3). Le

S  
P  
O  
T  
  
M  
A  
R  
E  
E  
N  
N  
E  
S  
  
O  
C  
E  
A  
N  
O  
G  
R  
A  
P  
H  
I  
E

# BANC DE BOURGEOIS

## CULTURES EN SURELEVE

IMAGE REDRESSEE- PROJECTION LAMBERT



VUE GENERALE



SURFACE CULTIVEE  
73 HA

0 ————— 1 KM

DRU/RA  
DERO/AT  
DIT/DI

 IFREMER

Figure 1 : Traitement de la simulation SPOT sur le banc de Bourgeois :  
culture en surélevé (Populus, Deslous-Paoli, 1985).



Figure 2 : Photographie au 1/15 000ème numérisée par microdensitomètre  
à une résolution de 1,5 m

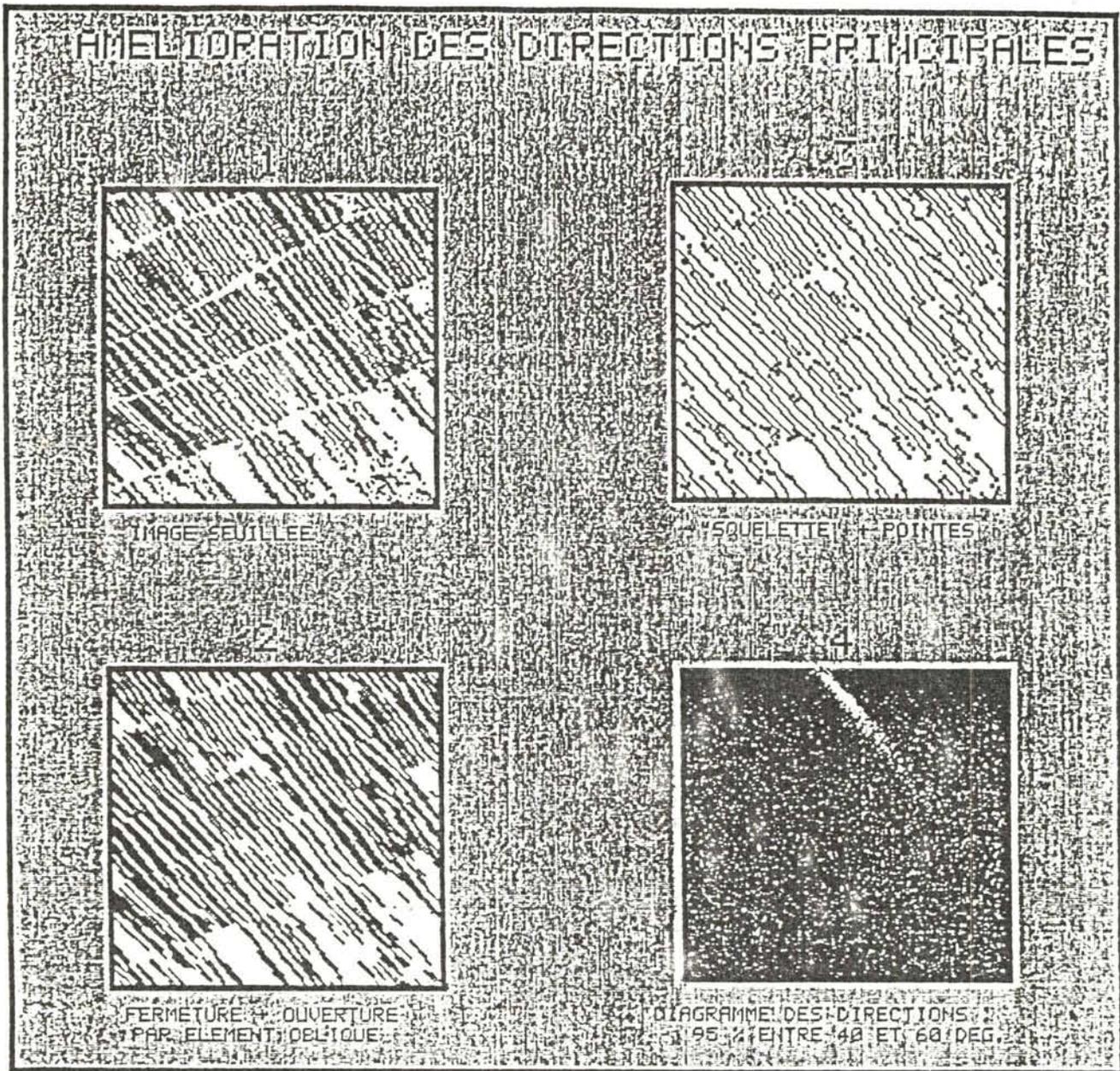


Figure 3 : Différentes étapes du traitement des images obtenues par scanner MATRA (Pujol, 1986).

traitement actuellement en cours, de photographies aériennes au 1/20000ème numérisées avec une résolution de 0,8 m (fig. 4), 0,4 m 0,2 m (fig. 5) et 0,1 m doit permettre de définir la résolution optimale pour estimer la longueur des tables ostréicoles utilisées pour l'élevage. Les premiers résultats font état d'une détermination automatique de longueurs à 8 % près à la résolution 0,2 m confirmées sur 4 scènes d'1 hectare chacune. Des scènes supplémentaires vont être numérisées afin de certifier cette précision. Dans le cas d'une analyse nécessitant une reconnaissance manuelle avant traitement automatique, la détermination des longueurs se fait sans erreur. La dégradation de l'information induite par le passage par un négatif photographique avant numérisation ne permet pas encore d'aborder le problème de la différenciation sur les tables ostréicoles de l'élevage (poches) du demi-élevage (collecteurs).

. Essai de typologie des marais atlantiques (Cunin, 1985).

L'exploitation des données de la campagne de simulation SPOT acquises en 1984 a été confrontée aux photographies aériennes classiques acquises simultanément ou non et à des contrôles de terrain en mai-juin et début septembre 85. Pour ces raisons et parce que la résolution de SPOT demeure, semble-t-il, à la limite de la perception du faciès que l'on désire cartographier (zones humides aménagées et bassins ostréicoles), nous ne pouvons, à l'heure actuelle, tirer de conclusions définitives;

Cependant, de la réflexion menée, et en considérant les résultats prometteurs de la classification par masques (fig. 6), qui, tout en restant très incomplète, permet de laisser pressentir des résultats intéressants, on peut programmer un plan de recherches et d'action tel que ci-dessous :

\* Recherches en spectroradiométrie :

Les faciès observés sont extrêmement variés, or il n'existe pas de connaissances des différentes signatures spectrales de ces faciès. La poursuite des campagnes initiées est absolument nécessaire en tant qu'aide à l'exploitation des images multispectrales.

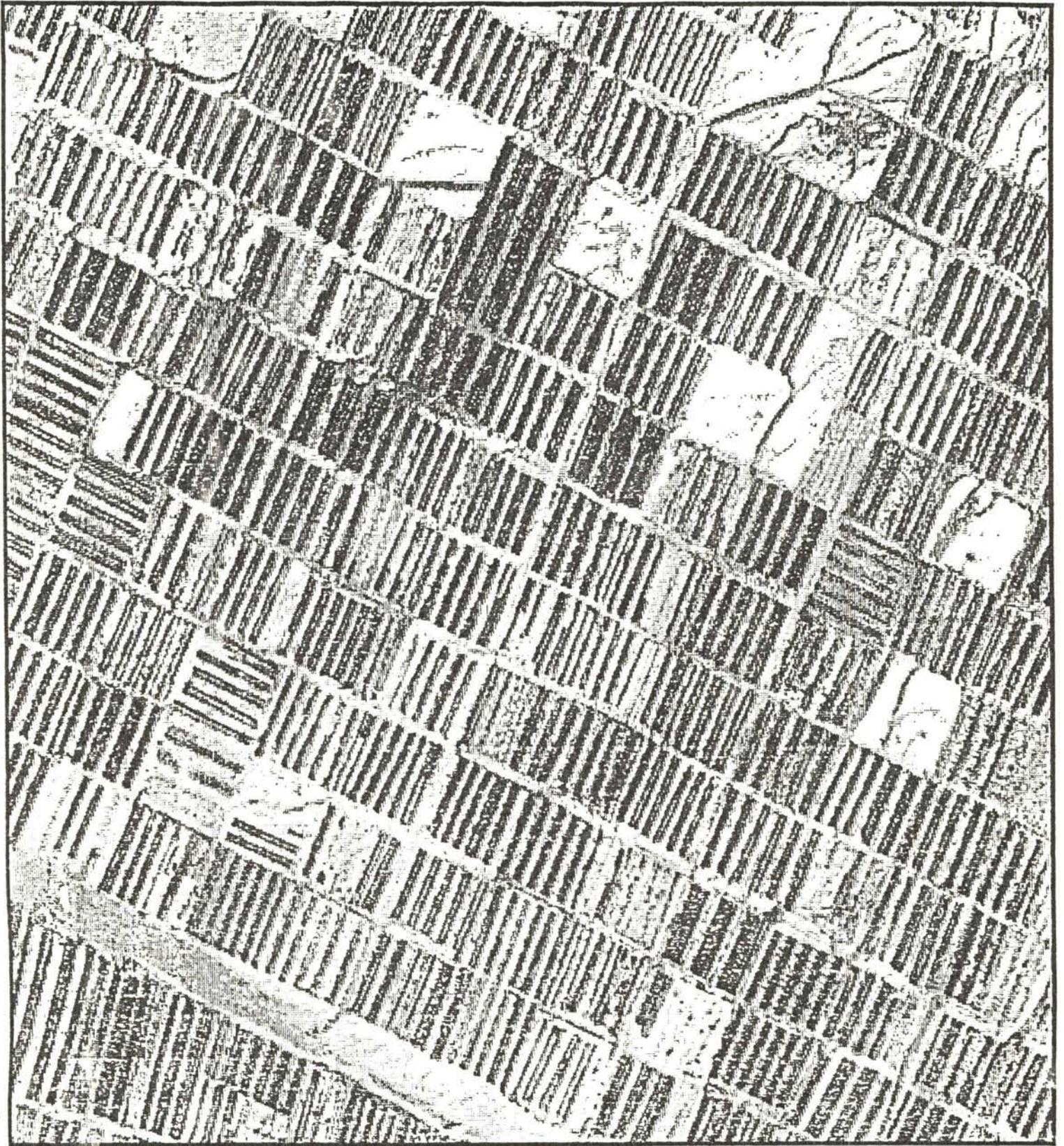
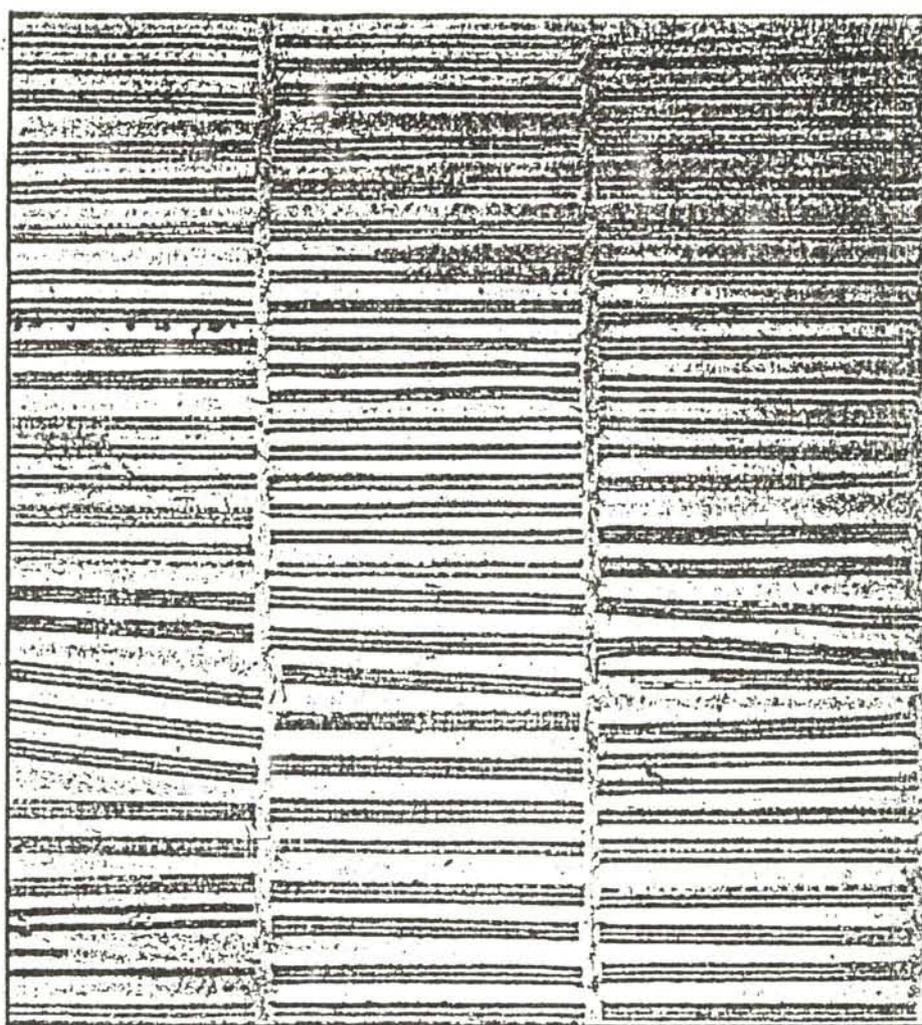
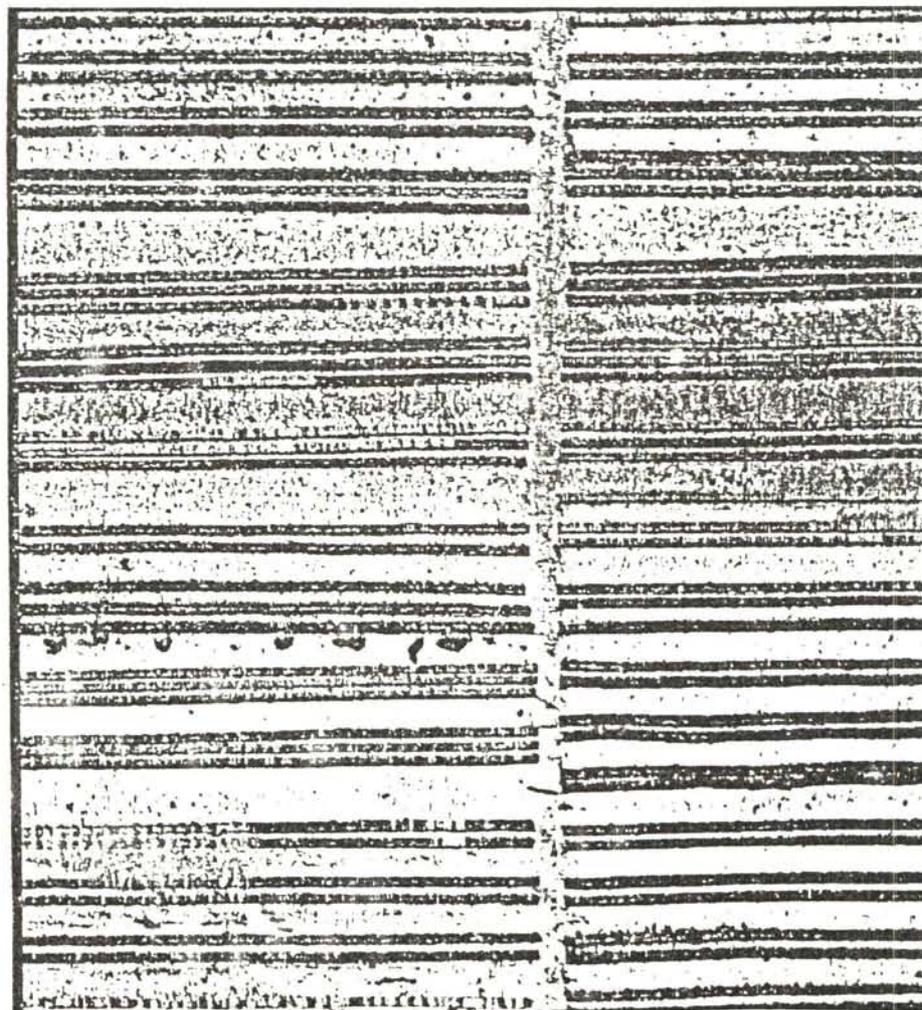


Figure 4 : Photographie au 1/2 000ème numérisée avec une résolution de 0,8 m : scène de 512 x 512 pixels.



A



B

Figure 5 : Photographie au 1/2 000 ème numérisée avec une résolution de 0,4 m (A) et 0,2 m (B) : scène de 512 x 512 pixels.

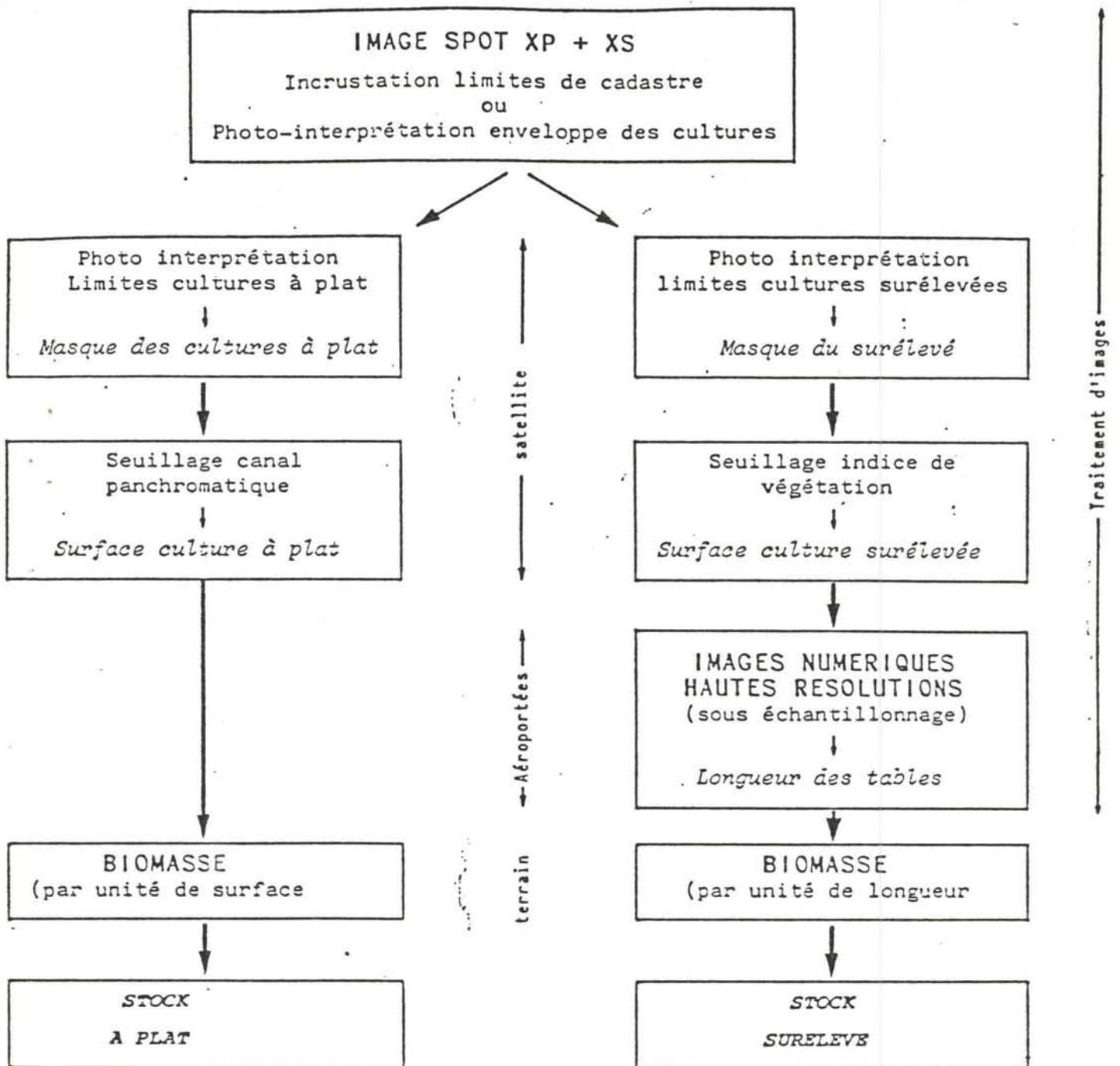


Figure 8 : Diagramme synthétique d'une méthode à niveau multiple d'estimation des stocks d'huîtres cultivées en surélevé et à plat sur estran.

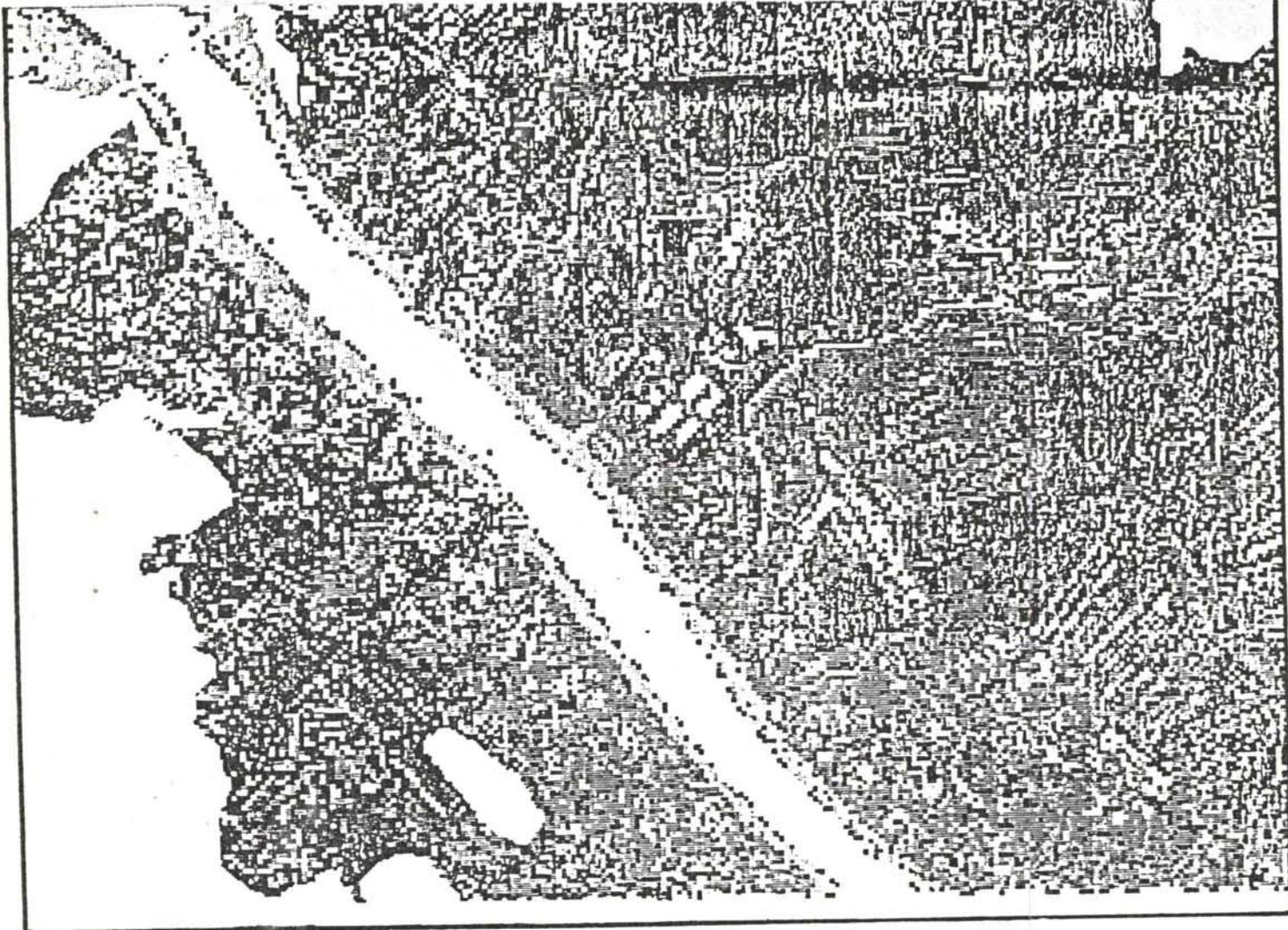


Figure 6 : Classification par masque d'un secteur des marais de la Sèvre acquis lors de la simulation SPOT de 1984.

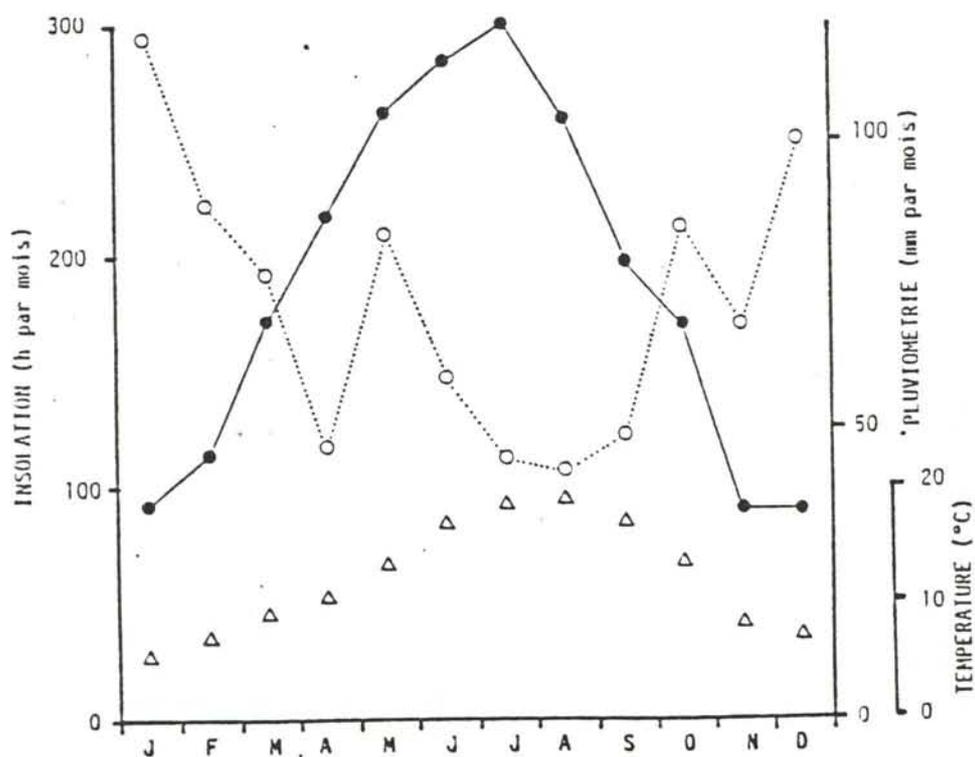


Figure 7 : Conditions climatiques sur le secteur de Marennes-Oléron : (.) normale des isolations sur 10 ans, (O) normale des pluviométries sur 30 ans, ( $\Delta$ ) normale des températures sur 30 ans.

\* Au cours de ce travail, il est apparu que la bibliothèque de logiciels disponibles devait être complétée par des algorithmes complémentaires tels que classification par maximum de vraisemblance, agrégation autour de centres mobiles, lissage, généralisation...

\* D'un point de vue pratique toutefois, dès le lancement du satellite, un plan de programmation, tenant compte de l'évolution naturelle ou artificielle des faciès permettra sans nul doute de préciser considérablement la discrimination des différents thèmes (végétation, cultures, claires, etc...).

- Conclusion

Malgré quelques problèmes techniques, l'utilisation de la morphologie mathématique pour la quantification tant des surfaces occupées par la culture des huîtres que des structures de culture en surélevé, est envisageable à moyen terme et devrait permettre un gain de temps appréciable. Par contre, la différenciation des collecteurs par rapport aux poches ostréicoles placées sur les tables reste soumise à l'acquisition de données de très bonne qualité avec une forte résolution, la présence d'algues réparties de façon hétérogène tant sur les installations et les huîtres à plat que dans les secteurs non cultivés entraîne une incertitude importante sur les résultats. Il faudra donc se poser la question de la période optimum d'acquisition des données en prenant en compte non seulement les critères inhérent à la culture (stabilité des élevages, période de croissance, de détachement, etc...) mais aussi les critères climatiques (fig. 7) et l'évolution de la réponse radiométrique (présence ou absence d'algues). Pour cela des études multitemporelles restent à entreprendre tant sur les élevages que sur leurs environnements alguaux.

La perception des paysages étant à la limite de la résolution disponible, seule une classification supervisée peut apporter des résultats. Il se pose donc de façon cruciale le problème de la légende de départ. Ce problème doit se trouver intimement lié à l'utilisation que l'on veut faire de la classification. La légende doit donc servir une meilleure appréciation des facteurs d'exploitation, d'aménagement et de sauvegarde. Or de tels facteurs sont encore très mal élucidés. Il y a donc une importante recherche à effectuer en ce domaine, ainsi qu'en sémiologie graphique, pour l'élaboration d'une cartographie.

De plus l'intégration de plusieurs méthodologies (haute et basse résolution) et de sous-échantillonnages stratifiés pour l'acquisition d'images (fig. 8) ne peut qu'entraîner une amélioration des résultats.

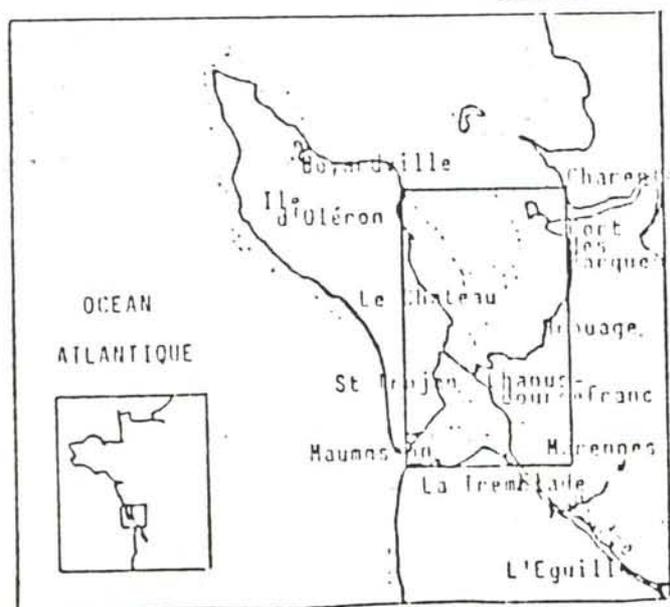
### 3) ANALYSE HISTORIQUE DE LA PRODUCTION D'HUITRES DU BASSIN DE MARENNES-OLÉRON

Avant de pouvoir parler d'aménagements côtiers, de gestion de la ressource et de gestion du littoral pour la conchyliculture française, un minimum d'études de base sont nécessaires pour proposer les lignes directrices de développement, de maintien ou de réduction des biomasses cultivées. Parmi ces études, connaître la production de mollusques qui s'effectue dans un secteur déterminé et la dynamique de ces populations cultivées par les ostréiculteurs sont les données de base à acquérir. Ainsi s'il est mis en évidence des périodes d'allongement de la croissance, en fonction de l'augmentation des stocks cultivés, on pourra se poser la question de savoir si l'équilibre entre charges en élevage et capacités biotiques du milieu n'est pas rompu et si la baie considérée n'est pas dans un état de surexploitation dû à un développement inconsidéré des cultures. On peut donc penser que l'aménagement des biomasses conchylicoles dépendra principalement des progrès qui pourront être effectués dans l'étude des productions des stocks des espèces cultivées (huîtres, moules, palourdes...) et de leur dynamique de croissance. Parallèlement à une action de recherche sur l'étude des stocks d'huîtres menée par photographie aérienne et par échantillonnage terrain (Bacher, 1984) ou par télédétection (Deslous-Paoli et al., 1985) il est nécessaire de faire le point sur l'état des statistiques de production d'huîtres disponibles en France. Cet exercice est réalisé sur le bassin ostréicole de Marennes-Oléron (fig. 1) car la production d'huîtres commercialisée annuellement dans cette baie représente près de la moitié de la production d'huître française. Après avoir étudié les données historiques disponibles, les auteurs les comparent et les confrontent.

#### Statistiques de production

- Statistiques officielles : Elles sont élaborées par les Affaires Maritimes qui dans chaque quartier (secteur géographique) possèdent un service spécialisé avec dans de nombreux ports un syndic chargé de la saisie de l'information de base. Ce service dépend de la Direction des Pêches Maritimes qui publie un volume annuel "statistique des pêches maritimes", représentant les statistiques de production des différents ports français. Pour les mollusques cultivés, il est possible de retrouver cet état annuel statistique sur pratiquement un siècle car les premières données exploitables datent de 1867 mais la ventilation par port n'est effectuée qu'à partir de 1995. La série chronologique est complète si l'on exclut la période 1939-1944, ainsi la période historique de développement de l'ostréiculture est quasiment couverte par ces données car, d'après Héral (1985), l'ostréiculture française passe du stade de cueillette au stade d'élevage vers 1870.

Figure 1 : Bassin de Marennes-Oléron.



Le bassin de Marennes-Oléron est limité au Nord par l'estuaire de la Charente et au Sud par le pertuis de Maumusson (fig. 1). Les données de production sont le total des productions des ports du Château d'Oléron, de Boyardville et de Saint-Trojan pour l'Ile d'Oléron, de Rochefort et de Port des Barques pour l'estuaire de la Charente, de Brouage et du Chapus-Bourcefranc pour le bassin, et de Marennes. La Tremblade et l'Eguille pour l'estuaire de la Sèvre (fig. 1). Selon les périodes considérées les productions sont regroupées d'un port sur l'autre, et la somme de l'ensemble représente la production commercialisée par le bassin de Marennes-Oléron.

Les données sont exprimées en nombre d'huîtres de 1896 à 1964 et de 1964 à 1984 en poids avec un taux de conversion de 20 huîtres pesant 1 kg. Si l'on utilise ce taux pour transformer les données antérieures à 1964 en données pondérales la courbe de la figure 3 est obtenue.

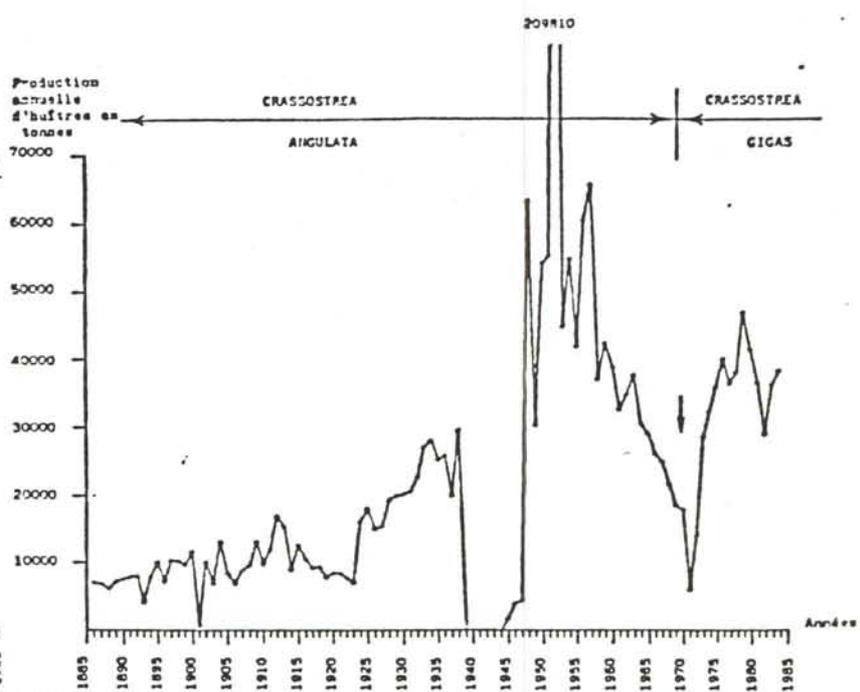
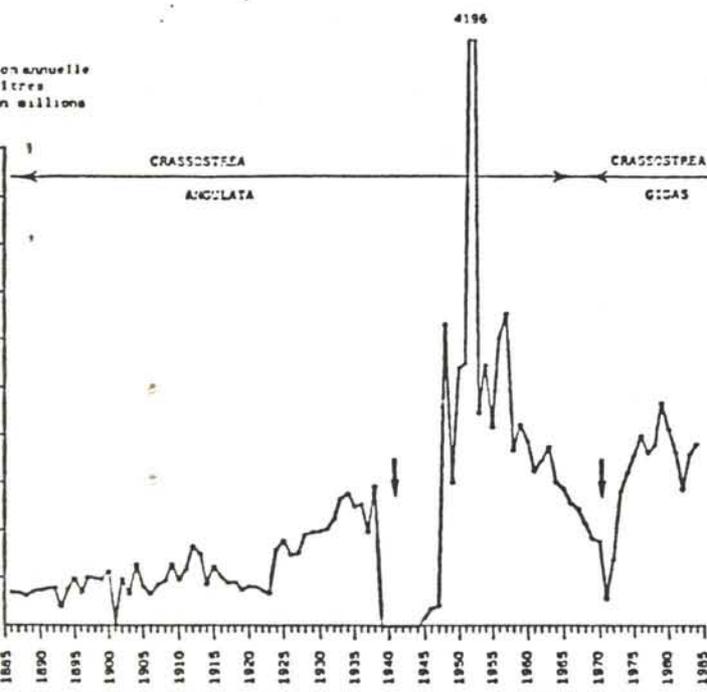


Figure 2 : Production annuelle d'huîtres portugaises et japonaises dans le bassin de Marennes-Oléron, données en nombre de 1886 à 1964, en poids de 1965 à 1984 avec le taux de conversion de 20 huîtres au kg.

Figure 3 : Production annuelle d'huîtres portugaises et japonaises du bassin de Marennes-Oléron en poids (tonnes) calculée avec le taux de conversion de 20 huîtres pesant 1 kg.

Cependant il semble plus judicieux de faire évoluer ce taux de conversion en fonction du temps, en effet il apparaît que le poids moyen des huîtres commercialisées évolue avec un certain nombre de paramètres : état du stock, temps de croissance, habitudes alimentaires du consommateur, évolution des prix... Il apparaît ainsi une tendance à la diminution du poids moyen des huîtres commercialisées de 83 g de 1886 à 1930 (12 huîtres au kg) à 66 g de 1930 à 1959 (15 huîtres au kg) pour atteindre 50 g (20 huîtres au kg) de 1960 à 1984 (source archives ostréiculture-cultures marines). Cette modification des taux de conversion (nombre-poids) amplifie la production antérieure à 1960 (fig. 4).

Une analyse de cette courbe de production fait apparaître plusieurs faits marquants :

- Une production d'huîtres *Crassostrea angulata* supérieure à 70 000 tonnes de 1948 à 1957, atteignant un maximum de 280 000 tonnes en 1952,
- Une baisse brutale de la production d'huîtres creuses de 1965 à 1970 due à une double épizootie virale (Comps et al., 1976),
- Un remplacement rapide de *Crassostrea angulata* par *Crassostrea gigas* après 1972, pour atteindre une production supérieure à 40 000 tonnes.

Pour vérifier ces résultats, il est possible de confronter ces données avec diverses autres sources d'archives qui peuvent fournir des statistiques de production :

- Etiquettes de salubrité
- Transports par chemin de fer

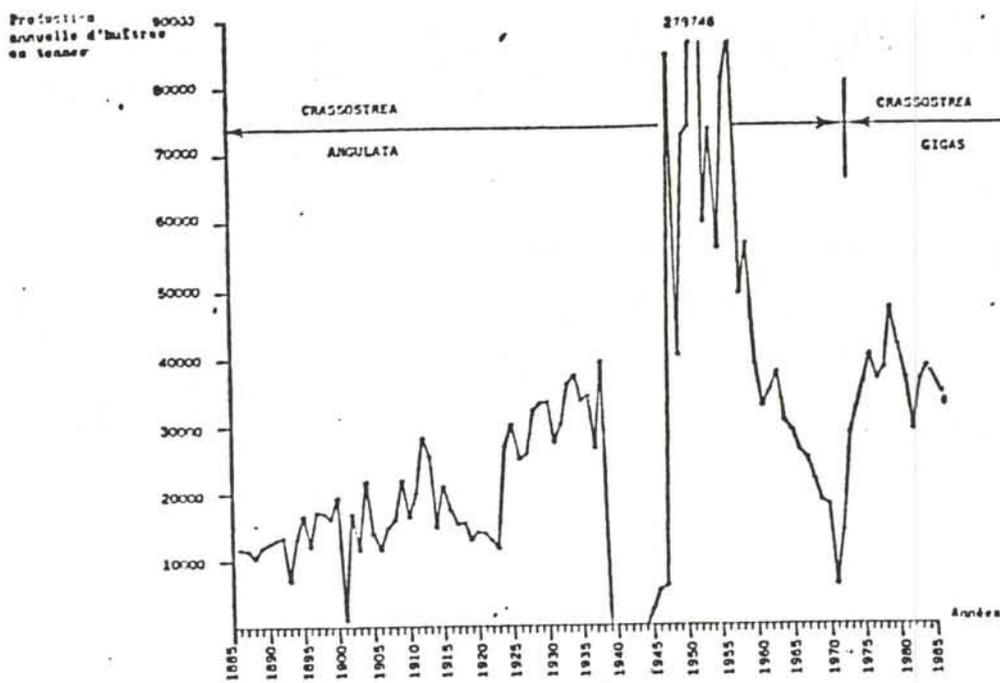


Figure 4 : Production annuelle d'huîtres portugaises et japonaises du bassin de Marennes-Oléron en poids (tonnes) calculée avec des taux de conversion variables.

. Étiquettes de salubrité :

Depuis 1939, un décret régit, en France, le contrôle sanitaire des coquillages, il stipule que tout colis d'huîtres commercialisé doit être accompagné d'une étiquette sanitaire portant les coordonnées de l'établissement expéditeur. Ce décret est rentré progressivement en vigueur, à partir de 1942 on peut considérer que l'application de ce décret est effective pour le bassin de Marennes-Oléron. Ces étiquettes sanitaires sont vendues par l'OSTPM jusqu'en 1953 puis par l'ISTPM jusqu'en 1984 et actuellement par l'IFREMER. Elles sont un indicateur précis du nombre de colis d'huîtres vendu annuellement.



Figure 5 : Evolution du nombre de colis d'huîtres commercialisés à Marennes-Oléron d'après le nombre d'étiquettes sanitaires.

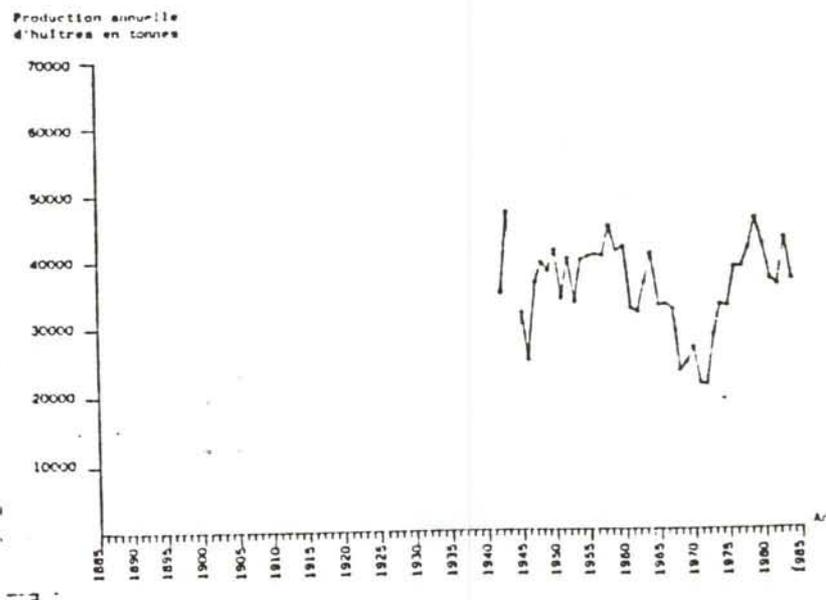


Figure 6 : Estimation de la production annuelle d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron, données calculées en multipliant le nombre d'étiquettes sanitaires par un coefficient pondéral variable (tableau 1).

La figure 5 met en évidence l'augmentation permanente du nombre de colis commercialisés avec un accroissement sensible de leur nombre depuis 1970. Depuis 1977, l'individualisation de deux étiquettes distinctes, B1 pour des colis de poids inférieur à 7 kg et B2 pour des colis dont le poids varie entre 7 et 18 kg, montre une tendance récente à l'augmentation du nombre de petit colis et une stabilisation voire une diminution du nombre de colis de taille supérieure.

Pour convertir le nombre de colis commercialisés avec étiquette sanitaire, en production annuelle il est nécessaire de connaître le poids moyen des colis d'huîtres commercialisés. Ce poids moyen est déterminé par enquête auprès d'anciens vanniers pour la production antérieure à 1952, par enquête auprès des fabricants de cageots pour la production postérieure (25 % de la production de colis sont échantillonnés). De même, les séries de pesées effectuées par la SNCF ont été examinées ainsi qu'un certain nombre de données historiques communiquées par les ostréiculteurs expéditeurs d'huîtres ou par les journaux syndicaux de la profession ostréicole.

Années	1942	1953	1957	1961	1965	1968	1978	
	à	à	à	à	à	à	à	à
	1952	1956	1960	1964	1967	1977	1984	
Poids moyen en kg	25	20	18	15	13	10	5	14

Années	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Tonnage vendu avec biais étiquette en tonnes	1 000	2 000	2 500	3 000	3 000	3 500	3 500

Tableau 1 : Evolution des poids moyens des colis d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron.

Tableau 2 : Estimation des tonnages commercialisés par la vente directe avec un biais d'étiquette sanitaire.

L'analyse des résultats, résumés dans le tableau 1, montre la décroissance très nette du poids moyen des colis en quarante ans. Cette évolution est due à l'abandon progressif des paniers en osier, à la standardisation des emballages en bois déroulé et à la demande de plus en plus importante de cageots de faible poids par la clientèle des super et hyper marchés.

L'évolution de la production d'huîtres estimée à partir du nombre d'étiquette sanitaire est erronée pour l'année 1944 ; les bureaux de l'OSTPM ont été fermés pour délivrance des étiquettes sanitaires et ouvert ultérieurement mais à 60 km du bassin à Saintes, entraînant une fraude quasi générale.

On peut d'ailleurs se poser la question du biais sur étiquettes sanitaires provoqué par la consommation d'huîtres dans des circuits non officiels, principalement dû à la consommation des producteurs : éleveurs et expéditeurs, et leurs familles (au sens large du terme). De même la fraude peut être estimée en première approximation à partir des contrôles routiers de camions expédiant des colis d'huîtres à la consommation sans étiquettes sanitaires (service de la gendarmerie). En l'état actuel de notre enquête nous avons retenu un pourcentage total de 10 % de l'estimation de la production à partir des étiquettes sanitaires. Par contre, en ce qui concerne la vente directe des huîtres sur les marchés par les producteurs, ou dans les établissements d'élevage en période estivale, l'estimation du biais est plus difficile à cerner. Depuis 1978, principalement à cause de la stagnation des prix de vente des huîtres, la vente directe s'est développée pour atteindre actuellement près de 15 000 tonnes, environ 30 % des établissements d'expédition pratiquent ce type de vente. Malgré l'absence d'éléments précis sur le biais, notre enquête n'ayant pas réuni suffisamment de résultats en fonction de la diversité de la nature de la vente directe, nous l'estimons en 1984 à 25 % du tonnage commercialisé par la vente directe. Le défaut sur l'étiquette sanitaire est principalement dû au fait que la même étiquette va être utilisée plusieurs fois par le vendeur. Dans nos calculs ultérieurs, nous avons retenus l'hypothèse suivante (tableau 2) :

Si la production commercialisée est majorée de ces biais sur étiquettes sanitaires, il faut la minorer de la production vendue dans le bassin de Marennes-Oléron mais produite dans d'autres bassins français. Les importations d'huîtres marchandes provenant de pays étrangers (Portugal, Italie) sont toujours restées très limitées, car contrôlées puis interdites pour réimmersion dans les eaux françaises pour des raisons zoosanitaires. Par ailleurs, l'élevage de l'huître creuse a connu une grande extension particulièrement en Normandie, à l'initiative d'ostréiculteurs du bassin de Marennes-Oléron, passant d'une production de 140 tonnes à 5 300 tonnes pour le secteur d'Isigny pendant les dix dernières années (1974-1984) et d'une production de 860 tonnes à 12 600 tonnes pour la côte Est et Ouest du Cotentin pour la même période. Si l'on considère différentes sources (ostréiculteurs de Marennes-Oléron, de Normandie, Sections Régionales du CIC, techniciens des Etablissements des Pêches Maritimes des Affaires Maritimes), il apparaît que 80 % de la production d'huîtres d'Isigny sont commercialisés dans le bassin de Marennes-Oléron, ainsi que 50 % de la production de la côte Est du Cotentin alors que la production de la côte Ouest du Cotentin est commercialisée localement.

Années	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Isigny	1 040	1 480	1 540	1 950	2 350	2 830	4 000	4 080	4 270
Côte Est Cotentin	700	1 500	1 500	1 600	1 750	1 850	1 950	2 100	2 250
Bretagne	3 620	4 270	4 070	4 860	5 030	4 550	3 220	4 120	7 560
Total	5 360	7 250	8 610	8 410	9 130	9 230	9 175	10 300	14080

Tableau 3 : Bilan des transferts d'huîtres entre les huîtres élevées en Bretagne et en Normandie et commercialisées dans le bassin de Marennes-Oléron.

- De même, en Bretagne, suite aux deux épizooties qui ont atteint l'huître plate *Ostrea edulis*, les ostréiculteurs effectuent une reconversion vers la culture de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dont la production pour les dix dernières années (1974-1984) est passée de 4 400 tonnes à 25 200 tonnes. Il est considéré que 30 % de la production de Bretagne sont commercialisés dans le bassin de Marennes-Oléron, le quartier de Morlaix (Bretagne nord) représentant près de la moitié de cette exportation d'huître vers la Charente (source Affaires Maritimes et Grizel com. pers.).

Le bassin de Marennes-Oléron, grâce à ses vastes surfaces de claires (3 500 ha) a de tout temps importé des huîtres d'autres secteurs d'élevage pour pratiquer l'affinage en claire avant commercialisation, mais le tableau 3 met en évidence que les transferts d'huîtres en direction du bassin de Marennes-Oléron ont été multipliés par 3, de 1976 à 1984 et qu'il est nécessaire de déduire ces mollusques qui ont été élevés dans d'autres centres, de la production biologique du bassin ; l'affinage de ces huîtres s'effectuant dans les marais pour une période courte.

La figure 7 permet d'obtenir une estimation des huîtres élevées dans le bassin de Marennes-Oléron. La comparaison avec les statistiques de production (fig. 4) met en évidence 2 divergences notables :

1°) La production d'huîtres *Crassostrea angulata* de 1948 à 1957 est dans notre estimation de 45 000 tonnes avec un maximum de 52 000 tonnes contre 70 000 tonnes et 280 000 tonnes pour les statistiques.

2°) Après les épizooties de *Crassostrea angulata* la production est descendue en 1971, d'après les étiquettes sanitaires à 25 000 tonnes contre 6 000 tonnes pour les statistiques.

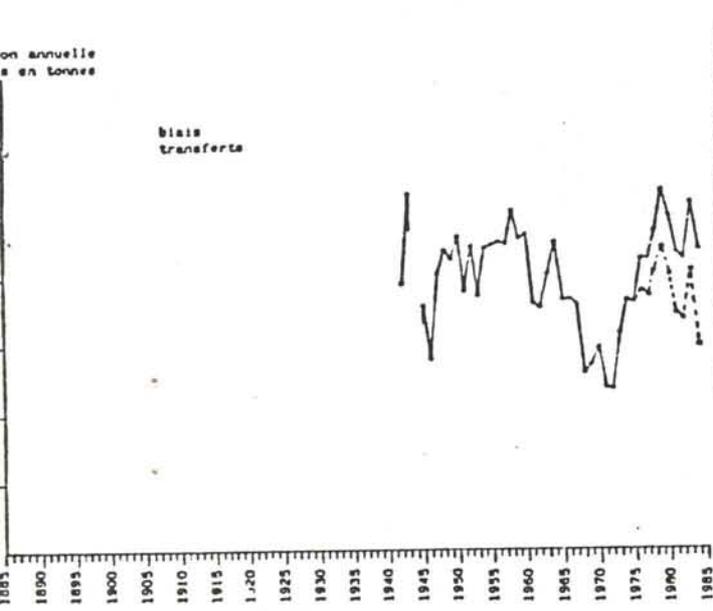


Figure 7 : Estimation de la production annuelle d'huîtres élevées dans le bassin de Marennes-Oléron en y ajoutant les biens des étiquettes sanitaires et en en déduisant les transferts des huîtres adultes produites dans d'autres centres d'élevage.

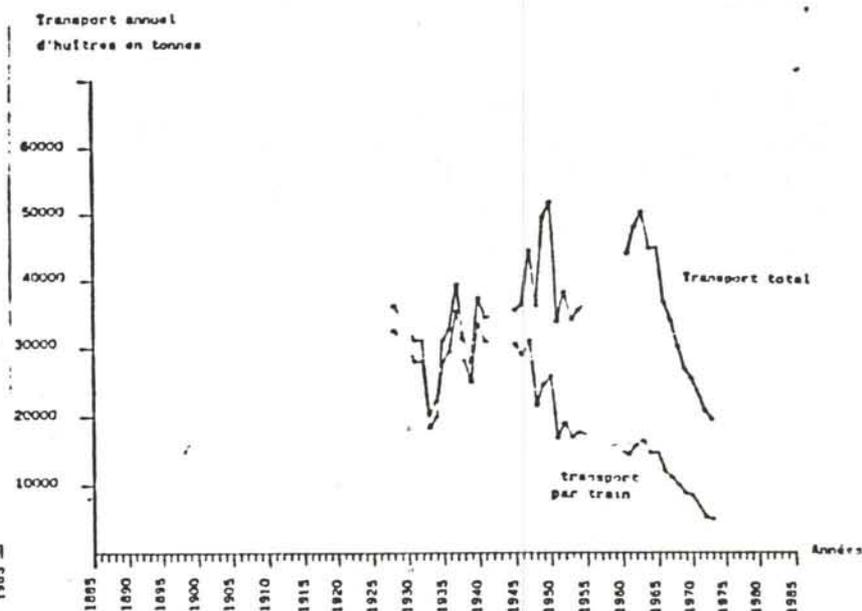


Figure 8 : Evolution du tonnage d'huîtres transportées par chemin de fer à partir des gares du bassin de Marennes-Oléron et estimation de la production totale à partir des données de la SNCF concernant le transport effectué par la route.

#### Transport par chemin de fer :

Ces données présentent l'intérêt d'apporter une connaissance précise des tonnages commercialisés complètement indépendante des autres sources. Les états les plus anciens que nous avons exploités datent de 1928. Jusqu'en 1945, il apparaît que ce mode de transport représente 90 % des expéditions. Ultérieurement la concurrence entre chemin de fer et transport par route se développe et la hausse de 35 % des tarifs en 1947, ainsi que la nécessité d'effectuer des groupements pour expédition par wagon entier en 1949, entraînent rapidement un déclin du transport de la SNCF (fig. 8). Une estimation du tonnage transporté par route et par voie ferrée est effectuée régulièrement par les services de la SNCF permettant d'obtenir une production totale commercialisée annuellement (fig. 8).

Si on compare les données transports (fig. 8) avec les deux estimations précédentes : statistiques (fig. 4) et étiquettes sanitaires corrigées (fig. 7), il apparaît que les résultats de la figure 8 sont du même ordre de grandeur que ceux de la figure 7 mettant ainsi en évidence que la production des années 1950 est largement surévaluée par les statistiques. En effet cette production ne dépasse guère les 50 000 tonnes contrairement au tonnage moyen de 70 000 tonnes avec un maximum de 280 000 tonnes annoncé par les statistiques. Cependant, dès 1949, Dubreuil, précise le mode de calcul retenu par les Affaires Maritimes pour calculer les productions d'huîtres commercialisées pour chaque bassin français. A partir des étiquettes sanitaires de l'OSTPM, le nombre de colis expédié à la consommation est connu. La détermination du poids moyen des colis d'huîtres

permet d'obtenir des données pondérales, tandis que la nombre d'huîtres de chaque colis, en fonction de la catégorie permet d'en connaître le nombre.

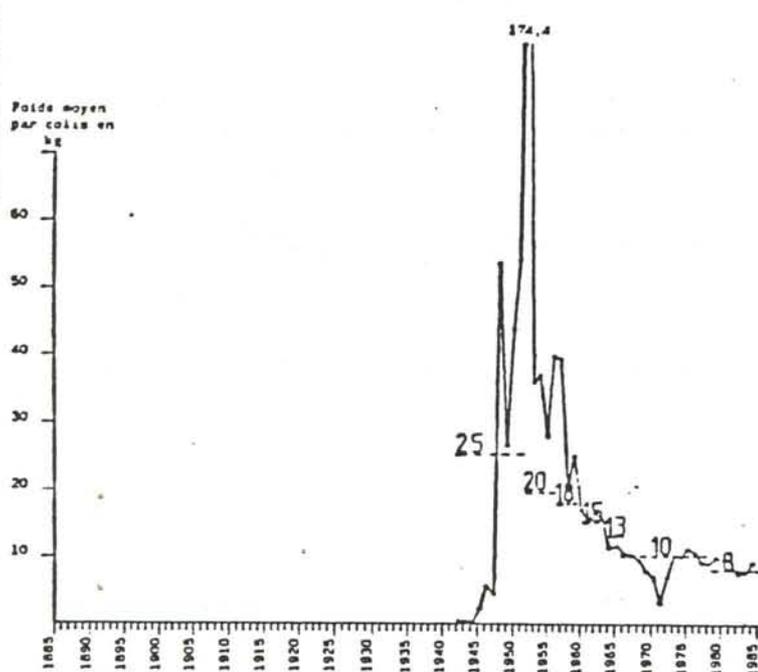


Figure 9 : Rapport entre statistiques officielles (fig. 4) et le nombre d'étiquettes sanitaires (fig. 5) L'évolution des poids moyens des colis (tableau 1) est indiqué pour comparaison.

Ainsi le rapport entre statistique de production et nombre d'étiquettes sanitaires définit le poids moyen des colis d'huîtres (fig. 9). Ce rapport varie de 2 à 174 kg, il peut être mis en relation avec l'évolution du poids moyen des colis (tableau 1 reporté sur la figure 9). Il apparaît des différences notables de 1945 à 1947 avec des poids de colis de 2 à 5 kg, de 1948 à 1957 avec des poids de 26 à 54 kg et une valeur extrême de 174 kg alors que le poids retenu pour cette période est de 25 kg jusqu'en 1952 et de 20 kg jusqu'en 1956. De 1958 à 1968, on constate une similitude entre les deux sources de données, mais de 1968 à 1972, période des épizooties de *C. angulata*, le poids moyen par colis descend à 2,8 kg. Ces observations mettent en évidence qu'il est préférable de se baser sur les estimations réalisées à partir des étiquettes sanitaires plutôt que de tenir compte des statistiques officielles qui apparaissent comme entachées d'un biais important, variable selon la période considérée.

Pour représenter l'évolution de la production d'huître creuse commercialisée pendant un siècle dans le bassin de Marennes-Oléron (fig. 10) les données sélectionnées sont les suivantes :

- de 1886 à 1937 données statistiques Affaires Maritimes en nombre multipliées par le coefficient pondéral de 12 à 15 huîtres au kg.
- de 1938 à 1941 données transport par les chemins de fer.
- de 1942 à 1984 données étiquettes sanitaires multipliées par le poids moyen par colis variant de 25 à 4 kg, auxquelles est ajouté le biais sur étiquettes sanitaires et dont est soustraite la production importée des autres bassins français.

### Conclusion

La courbe de l'évolution de la production d'huître commercialisée élevée dans le bassin de Marennes-Oléron illustre l'histoire du développement de l'ostréiculture. Implantée accidentellement dans l'estuaire de la Gironde en 1866, l'huître portugaise gagne dès 1874 les bancs de Marennes-Oléron (Héral, 1985). Dix ans plus tard, la production dépasse 10 000 tonnes et est principalement due à la pêche sur des gisements naturels.

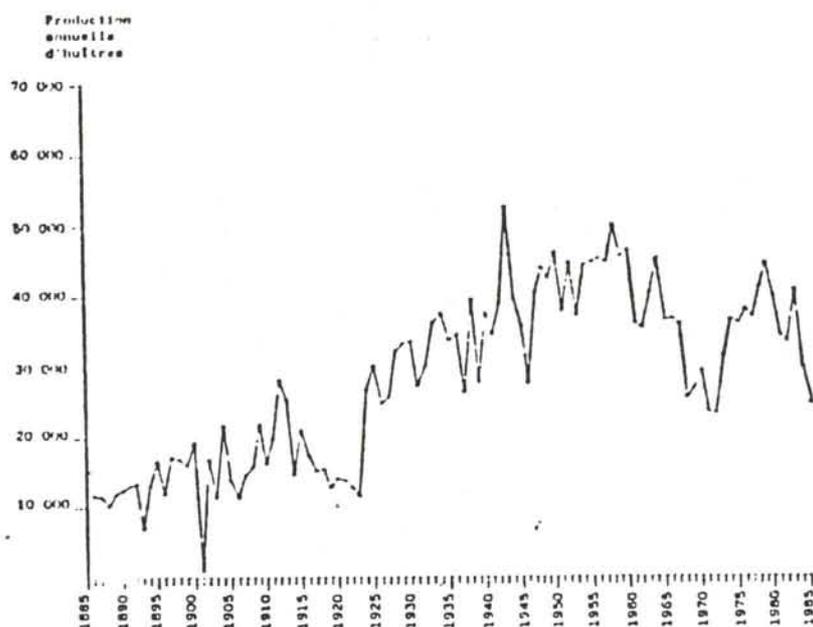


Figure 10 : Courbe choisie pour représenter la production annuelle d'huîtres élevées dans le bassin de Marennes-Oléron.

Progressivement le captage et la culture se développent, particulièrement après 1925 période où l'huître plate indigène disparaît, la production d'huîtres creuses atteignant 30 000 tonnes. Jusqu'en 1955, l'augmentation de la production est constante pour atteindre un maximum de 50 000 tonnes puis la décroissance est rapide avec une production minimale de 24 000 tonnes en 1971 due aux deux parasites de l'huître *Crassostrea angulata*. L'introduction de l'huître japonaise *Crassostrea gigas* permet un démarrage rapide de la production qui culmine en 1979 à 45 000 tonnes puis décroît pour atteindre 30 000 tonnes en 1984.

Nous avons vu que pour avoir une bonne connaissance des niveaux de production d'un bassin conchylicole, il est envisageable de se baser sur le nombre d'étiquettes sanitaires mais l'utilisation de ces données nécessite de porter un effort d'enquête sur le poids moyen par colis, sur le biais en particulier dû à la vente directe, et de proposer une stratégie pour préciser les transferts de production inter-bassins.

A partir de ces courbes de production et en connaissant la dynamique de population des huîtres cultivées, il est possible de calculer les stocks exploités et d'en effectuer une analyse permettant alors de proposer un aménagement des charges en culture.

#### 4) INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION D'HUITRES DU BASSIN DE MARRENS-OLERON

Un certain nombre d'auteurs ont étudié l'influence des caractéristiques climatiques sur des populations de poissons mais rares sont les travaux sur les mollusques. Ainsi Dow (1972) met en évidence que l'importance des apports de pêche de *Mya arenaria* dans l'état du Maine est inversement corrélée avec la moyenne annuelle de la température de l'eau lors du recrutement (5 ans auparavant) et positivement pour *Mercenaria mercenaria*. Dow (1981) précise ces résultats pour ces mêmes espèces et montre que l'importance de la pêche du Maine de *Plactopecten magellanicus* est directement contrôlée par les températures annuelles les plus basses. Ce même auteur, en 1983, calcule des coefficients de corrélation positifs hautement significatifs pour *Crassostrea virginica* dont l'abondance de la pêche est fonction des températures élevées au moment du recrutement alors que pour *Mytilus edulis* l'abondance de la récolte est dépendante des périodes froides. Parallèlement Ulanowicz et al. (1982) ont construit un modèle de variations d'abondance de *Mya arenaria* dans le Maryland avec une régression multiple intégrant les écarts cumulés de température d'eau de l'année antérieure et les écarts cumulés de la salinité de l'année n-2. Par contre on peut se poser la question de savoir si un stock cultivé est autant dépendant des facteurs climatiques. L'homme par son intervention à tous les niveaux, du recrutement à la production, s'est-il affranchi des variations climatiques, exception faite des accidents météorologiques majeurs ?

##### 1. Données disponibles

###### 1.1 Production d'huîtres

La production d'huîtres creuses du bassin de Marennes-Oléron a été estimée de 1885 à 1984 par trois approches différentes (Héral et al., 1986). L'analyse des différentes sources statistiques est réalisée, les données sont comparées et la validation des résultats aboutit à la figure 1. Ainsi vingt ans après son implantation dans l'estuaire de la Gironde, la production de *Crassostrea angulata* dépasse 10 000 tonnes dès 1890 et est principalement due à la pêche sur des gisements naturels. Progressivement le captage et la culture se développent particulièrement après 1925, période où l'huître plate indigène disparaît ; la production d'huîtres creuses atteint alors 30 000 tonnes. Jusqu'en 1940-1945 l'aug-

mentation de la production est régulière pour atteindre un maximum de 50 000 tonnes. Elle tend ensuite à se stabiliser à ce chiffre avant de décliner de 1957 à 1972 (24 000 tonnes). Ce déclin correspond à l'apparition de deux épizooties chez l'huître *Crassostrea angulata*. L'introduction de l'huître japonaise *Crassostrea gigas* permet alors un redémarrage rapide de la production qui culmine en 1979 à 45 000 tonnes puis décroît pour atteindre 30 000 tonnes en 1985.

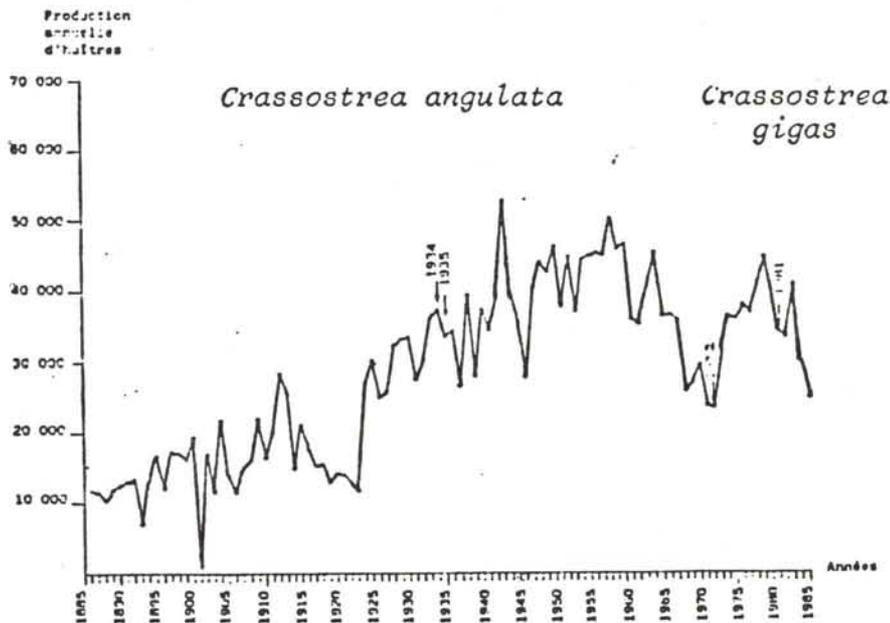


Figure 1 : Evolution de la production annuelle d'huîtres creuses élevées dans le bassin de Marennes-Oléron.

### 1.2 Stocks d'huîtres cultivées

Les stocks d'huîtres d'élevage du bassin de Marennes-Oléron ont été simulés, pour la période considérée, à partir de la courbe de production en tenant compte de l'évolution des rendements des huîtres cultivées : croissance et mortalité, et des importations (Héral et al., sous presse). La courbe de l'évolution des stocks en élevage (fig. 2) met en évidence qu'ils oscillent autour de 20 000 tonnes jusqu'en 1925 et croissent progressivement pour atteindre 100 000 tonnes en 1943. Une brusque augmentation après la guerre, entraîne un haut niveau des stocks variant autour de 180 000 tonnes de 1950 à 1965. Les deux épizooties provoquent une rapide baisse tandis que la biomasse de *Crassostrea gigas* croît pour plafonner dès 1974 autour de 80 000 tonnes.



Figure 2 : Evolution des stocks d'huîtres *Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas* cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron.

## 2. Données météorologiques

### 2.1 Températures air-eau

Les températures de l'eau, relevées tous les 15 jours dans le bassin de Marennes-Oléron (Héral et al., 1983) sont en relation directe avec les températures de l'air (fig. 3). L'été, les températures de l'air et de l'eau coïncident. L'hiver le pouvoir tampon de l'eau de mer, lié à son volume quoique restreint dans le bassin de Marennes-Oléron, entraîne des températures d'eau nettement supérieures à celles de l'air (DT maxi 5°C). En raison de l'absence de longues et complètes séries historiques sur la température de l'eau, il est cependant possible d'utiliser les températures de l'air en se rappelant qu'elles augmentent les écarts été-hiver et qu'elles amplifient nettement les périodes froides de courtes durées.

### 2.2 Température air

Angot établit dès 1895 un catalogue des observations météorologiques faites en France. Pour la Charente-Maritime ce relevé a été complété et mis à jour en 1926. Ainsi, si les premières observations ont été réalisées dès 1778 il n'existe que des séries partielles pour toutes les stations de Charente-Maritime. Ce n'est par exemple qu'après 1945 que la station du laboratoire à La Tremblade fonctionne sans discontinuité et

il faut attendre 1949 pour que la station de La Rochelle devienne une station de la Météorologie Nationale.

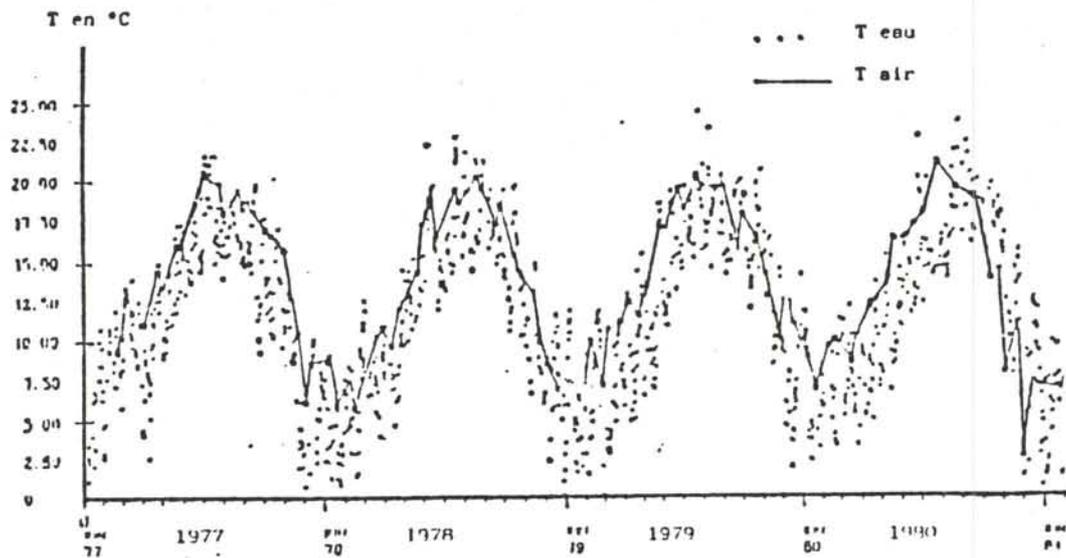


Figure 3 : Evolution des températures moyennes de l'air (.) et de l'eau (-) dans le bassin de Marennes-Oléron.

Pour constituer une série chronologique continue et homogène de 1885 à 1984 les stations de Bordeaux distantes de 120 km du bassin de Marennes-Oléron ont été retenues (fig. 4) : Floirac de 1880 à 1923, Villenave d'Ornon de 1923 à 1950, Bordeaux-Mérignac de 1951 à 1984.

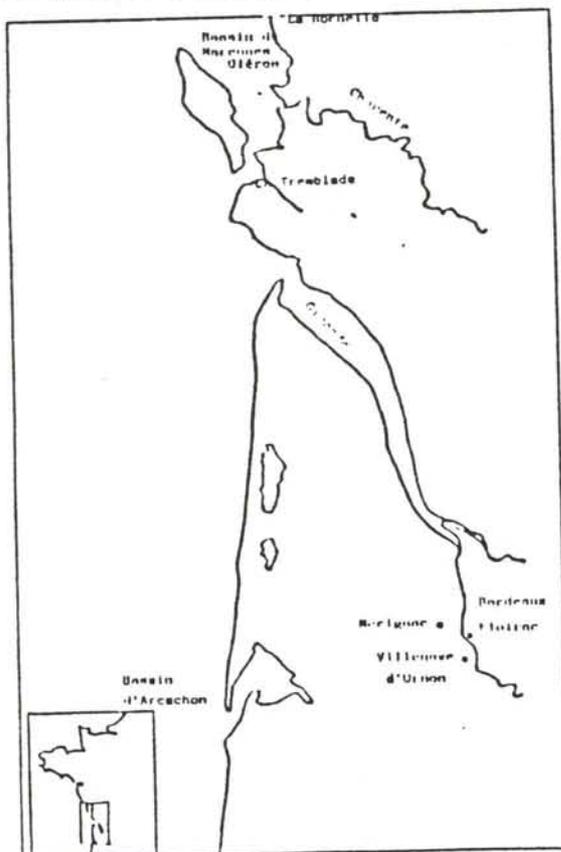


Figure 4 : Localisation des stations météorologiques.

La confrontation des moyennes mensuelles sur 30 ans (1951-1980) de Bordeaux et de La Tremblade montre pour les températures une valeur légèrement plus chaude pour Bordeaux (+ 0,8°C) (tableau 1). En hiver, les températures sont très voisines mais en été l'écart est plus élevé (+ 1°C) dû à la tendance continentale et à la localisation plus au sud de Bordeaux. Pour la pluviométrie, la moyenne des précipitations annuelles est identique entre les deux stations (tableau 1). La Tremblade présente des hivers plus pluvieux (+ 20 mm)

alors qu'en été, Bordeaux a des pluies plus abondantes dues à la fréquence des orages (+ 20 mm).

Températures	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	■
Bordeaux	5,9	6,9	9,3	11,6	15	18,1	20,2	20,2	18,2	14	9	6,7	12,9
La Tremblade	5,3	7,0	9,1	10,5	13,7	16,9	18,8	18,9	17,0	13,4	8,3	6,8	12,1
Précipitations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	■
Bordeaux	99,7	86,0	73,8	59,5	69,7	64,5	54,2	64,1	79,8	82,6	95,6	103,9	854
La Tremblade	121,1	91,1	77,2	47,5	61,9	59,5	43,8	43,5	46,2	82,3	69,4	95,6	850

Tableau 1 : Comparaison des températures moyennes exprimées en °C et des pluviométries moyennes exprimées en mm pour les stations de Bordeaux et de La Tremblade pour la période 1951-1980.

### 3. Résultats

#### 3.1 Température

L'évolution des moyennes des températures annuelles montre des fluctuations importantes. L'application de moyenne mobile d'ordre 5 ( $y = \frac{y^{n-2} + y^{n-1} + y + y^{n+1} + y^{n+2}}{5}$ ) met en évidence des variations cycliques avec un réchauffement notable au début du siècle et dans les années 1940-1948. Ce dernier réchauffement déjà signalé par Leroy Ladurie (1983) n'est que passager et il n'est pas mis en évidence de tendance au réchauffement à l'échelle du siècle contrairement à ce qui a été trouvé pour le Nord de l'Europe et de l'Amérique du Nord (Mitchell, 1963).

#### 3.2 Précipitations

Les fluctuations des précipitations annuelles oscillent autour de la moyenne de 849 mm. En deux ans, on passe d'un extrême (1219 mm en 1952) à l'autre (493 mm en 1953). Les périodes plus chaudes mises précédemment en évidence correspondent à des années consécutives où les précipitations sont plus faibles.

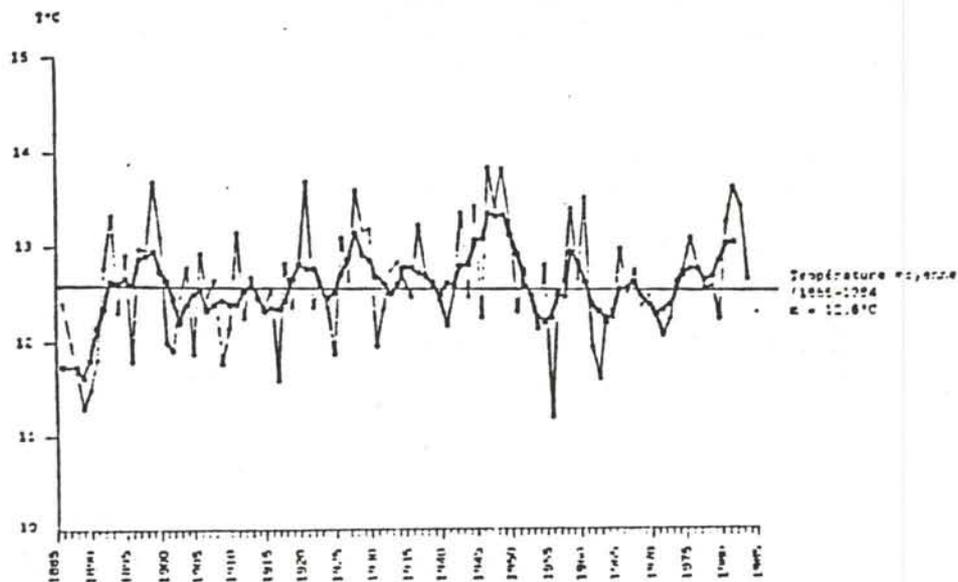


Figure 6 : Evolution des moyennes annuelles de la température, valeurs brutes (+) et moyennes mobiles d'ordre 5 (.).

### 3.3. Recrutement

La laboratoire effectue depuis 1929 (Chaux-Thévenin, 1929) des numérations de larves d'huîtres présentes au-dessus des zones de captage avec un suivi hebdomadaire voire bihebdomadaire en période estivale. A partir de ces données d'abondances larvaires et du suivi du captage, il est mis en évidence chez *Crassostrea angulata* que deux années successives 1934 et 1935 ont présenté un fort déficit de recrutement.

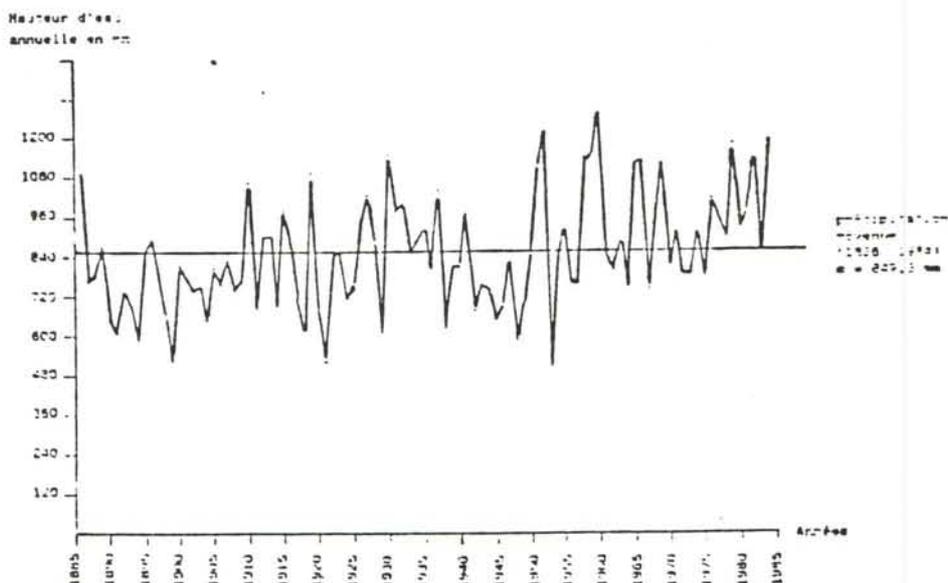


Figure 7 : Evolution des précipitations moyennes annuelles (stations de Floirac de 1886 à 1940, de Villenave d'Ornon de 1941 à 1950 et de Bordeaux Mérignac de 1950 à 1984).

De même pour *Crassostrea gigas* les années 1972 et 1981 sont caractérisées par un captage irrégulier, très faible, ou nul dans certains secteurs.

Il est généralement considéré que la température, chez les mollusques, présente une action directe sur les géniteurs en jouant sur la vitesse de la gamétogenèse (Lubet, 1980). Ainsi la somme des degrés-jour, c'est à dire la quantité de chaleur nécessaire pour le développement de la gamétogenèse est mise en relation, mois par mois, avec la date de ponte pendant la période concernée par le cycle d'élevage de *Crassostrea gigas* (1971-1984) (tableau 2). La date de ponte est déterminée par la détection des premières émissions larvaires abondantes du bassin.

	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin
r	0,135	0,028	0,041	-0,011	-0,263	-0,485	0,202	0,192	-0,152	-0,472

Tableau 2 : Coefficients de corrélations entre la date de ponte et la somme des degrés-jour de chaque mois pour l'huître *Crassostrea gigas* (1971-1984)  $r$  à 95 % = 0,532.

Les coefficients des mois de septembre, octobre, novembre sont très faibles et de signe contraire signifiant ainsi une indépendance de la gamétogenèse vis à vis des températures automnales. Il en est de même pour les mois de mars et avril. Par contre, la somme des degrés-jour du mois de février et celle du mois de juin sont assez fortement corrélées avec la date de ponte ainsi les températures du mois de février joueraient un rôle de déclenchement de la gamétogénèse et celles du mois de juin, supérieures à 15°C agiraient sur la vitesse de la gamétogenèse. La variable expliquée dans la régression multilinéaire est la date de ponte et les variables explicatives sont les sommes de degrés-jour de chaque mois, sélectionnées par ordre de coefficient de corrélation décroissant selon la méthode de Blanc et Leveau (1973). Le test F est appliqué à chaque variable pour vérifier sa significativité et voir le gain de variance extrait par le paramètre supplémentaire, entraînant ainsi une diminution significative de l'erreur résiduelle.

$$y = 297,7 - 0,13 T \text{ fév.} - 0,11 T \text{ juin} \quad r = 0,71$$

La durée de la gamétogenèse et la date de ponte sont expliquées avec 51 % de variance par les sommes des températures des mois de février et juin. L'adjonction de mois supplémentaires n'entraîne qu'un faible gain de variance. Il semble donc que d'autres facteurs que la somme des degrés-jour influent sur la gamétogenèse avec un poids non négligeable. Le cumul de la somme des degrés-jour de chaque mois de février à la date de ponte est calculé pour chaque année (tableau 3). La valeur moyenne (2390° jours) est du même ordre de grandeur que celle trouvée par Muranata et Lannan (1984) pour *Crassostrea gigas* conditionnée à des températures de 18 à 22°C pour des salinités de 20 à 30‰.

année	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	m	σ
jour de ponte	224	212	207	205	210	196	216	220	222	207	234	200	212	214	213	70
Σ ° jour	2510	2277	2179	2186	2362	2267	2459	2452	2541	2185	2898	2281	2472	2349	2387	184

Tableau 3 : Date de ponte et somme des degrés-jour de février à la date de ponte pour l'huître *Crassostrea gigas* (1971-1984)

La date de ponte est comprise à 95 % entre le 193ème jour et le 233ème jour soit un écart de 40 jours, trop grand pour pouvoir assurer une prédiction précise. Comme la gamétogenèse est dépendante à la fois de la température et du temps d'exposition à la température, la notion de degrés-jour a été développée. Ainsi Mann (1979) étudie les besoins en degrés-jour pour atteindre la ponte chez *Crassostrea gigas* en utilisant la formule suivante :

$$D = d (t - t_0) \quad (1)$$

où D est le besoin en degrés-jour, d est le nombre de jours de maturation nécessaires pour atteindre le stade de ponte, t est la température moyenne à laquelle les huîtres sont exposées et t<sub>0</sub> est la température en dessous de laquelle il n'est pas constaté de développement des gonades. La résolution de (1) donne t<sub>0</sub> = 10,55 et D = 592 jours. De même Devergee (in Lubet, 1980) d'après les travaux menés dans l'écloserie commerciale de la Satmar sur la durée du conditionnement d'huîtres *Crassostrea*

*gigas* trouve que pour une huître du milieu naturel, prélevée au début du mois de février, il lui faut 748°jours avant de pouvoir déclencher une ponte. Dans le bassin de Marennes-Oléron, comme les températures de février sont corrélées avec la date de ponte, le nombre de jours de maturation (d) est calculé à partir du 1er février, la température moyenne (t) est de 12,7°C. La résolution de l'équation (1) avec D de Devergee donne  $t_0$  égal à 8,6°C et avec D de Mann  $t_0$  est égal à 9,5°C. Ces températures correspondent à celles de fin février début mars. Le premier développement des gonades observable débiterait à cette période ce qui n'exclut pas une influence des températures antérieures sur les mécanismes de déclenchement de la gamétogenèse.

Par l'examen des caractéristiques thermiques des années présentant un défaut de recrutement et par calcul des écarts thermiques par rapport à la moyenne (1885-1984), les anomalies thermiques sont mises en évidence (fig. 8). L'année 1934 est caractérisée par des températures inférieures à la normale pendant toute la phase de développement des gamètes d'avril à juillet. En 1934-1935, il apparaît un déficit thermique important en décembre et en juin-juillet. Par contre, pour 1972 le seul déficit notable est en février-mars et en 1981 en mars et avril.

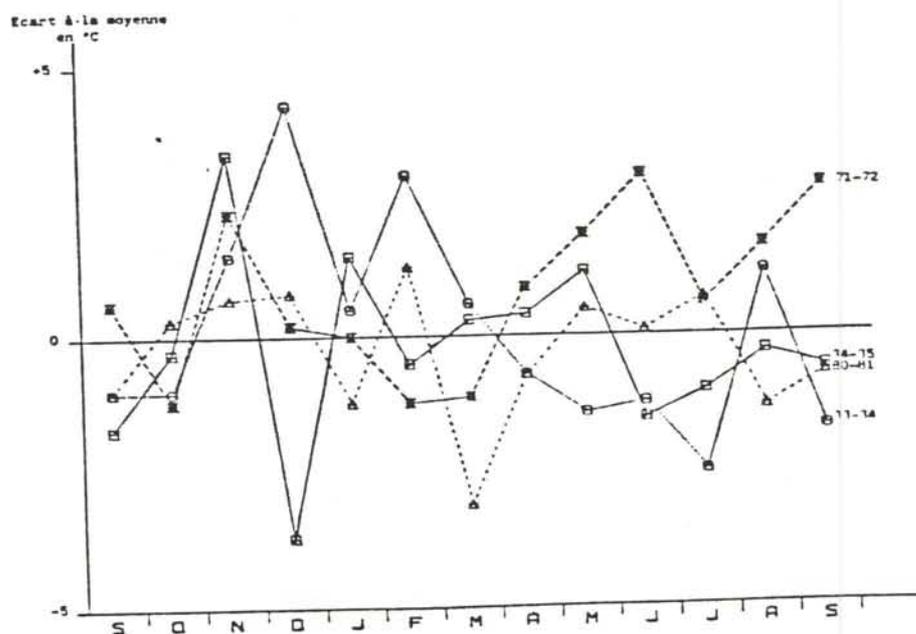


Figure 8 : Ecart thermique par rapport à la moyenne pour les années 1933-34 (⊖), 1934-35 (□), 1971-72 (⊗), 1980-81 (Δ).

S'il existe un minimum de degrés-jour nécessaire pour la gamétogénèse, la ponte et la survie larvaire nécessitent une température de l'eau élevée supérieure à 16°C pour *C. angulata* (Marteil, 1976) et supérieure à 18°C pour *C. gigas* (Mann, 1979). Les conditions optimales des températures pour assurer la meilleure croissance des larves étant de l'ordre de 22°C pour *C. angulata* et de 23°C pour *C. gigas* (Marteil, 1976). Ceci explique la non reproduction régulière de *Crassostrea gigas* en France au Nord de la Rochelle. Pour *C. angulata*, en 1934 et 1935, les températures des mois de juillet, août et septembre sont particulièrement basses, de même aux mois d'août et septembre en 1981 pour *C. gigas*.

L'impact des défauts de recrutement sur la production (fig. 1) n'est guère sensible après 1934-1935, les ostréiculteurs ont pallié à ce déficit par l'importation de jeunes huîtres du Portugal. Cependant ces deux déficits ont un effet sur l'évolution du stock qui présente un épaulement marqué en liaison avec ce défaut de recrutement (fig. 2). En 1972, le non captage de *Crassostrea gigas* ne modifie guère l'évolution des courbes de production et de stock, l'importation massive de naissain du Japon pour la reconstitution du cheptel comblant le non recrutement. Par contre en 1981, le défaut de captage induit une baisse de production 3 ans après, liée au temps de croissance, avec un effet cependant moins marqué sur les stocks, la classe d'âge suivante (1982) étant très abondante.

#### 4. Production

La mise en relation des productions annuelles commercialisées de l'ensemble des années avec la température de l'année de production (n) montre une liaison significative à 95 %. La production étant dépendante du niveau d'exploitation du bassin, elle est séparée en 4 périodes caractéristiques de l'état des cultures pour mettre en évidence si un de ces états est plus dépendant des facteurs climatiques : cueillette et début de l'ostréiculture (1886-1923), augmentation rapide des stocks (1924-1944), production maximale de *Crassostrea angulata* (1945-1969), production maximale de *Crassostrea gigas* (1974-1984). Aucun de ces résultats n'est significatif pour la température et pour la pluviométrie (tableau 4).

Production	Prod n 1885-1886	Prod n 1886-1923	Prod n 1924-1944	Prod n 1945-1966	Prod n 1974-1984
T'n	0,251	0,183	0,222	0,063	-0,284
Tn-1	0,190	0,059	0,102	-0,133	-0,284
Tn-2	0,134	-0,037	-0,285	-0,146	-0,107
Tn-3	0,182	-0,058	-0,234	-0,091	-0,158
Tn...n-3	0,273	0,017	-0,248	-0,010	-0,423
Fn	0,297	0,097	-0,423	0,096	-0,253
Fn-1	0,277	-0,027	-0,120	-0,053	0,206
Fn-2	0,279	0,368	0,078	-0,330	-0,398
Fn-3	0,235	0,213	0,207	-0,347	-0,322
Fne...n-3	0,478	0,493	-0,381	-0,433	-0,482
r 95 %	0,206	0,326	0,423	0,368	0,602
r 99 %	0,267	0,418	0,537	0,496	0,735

Tableau 4 : Coefficients de corrélations entre les variables météorologiques annuelles et la production d'huîtres avec un décalage de temps variable de 1 à 4 ans.

Comme la température et la pluviométrie peuvent jouer sur le recrutement mais aussi sur la vitesse de croissance, des corrélations décalées sur 4 ans (n à n -3) sont établies ainsi que l'action cumulée de la température sur la croissance pendant les 4 années. Il n'apparaît pas de résultats significatifs pour la température exception faite de la température cumulée.

Par contre; pour la pluviométrie, des corrélations significatives à 99 % sont trouvées pour l'ensemble des années, pour l'année n-2, n-3 et pour le cumul des 4 années (r = 0,478). Les relations ont lieu lors du début de l'ostréiculture de *Crassostrea angulata* (1886-1923) en particulier pour l'année (n-2) c'est à dire l'année du recrutement. On peut avancer l'hypothèse d'une relation entre l'abondance du recrutement et les fortes pluviométries, relation qui n'est plus mise en évidence lorsque la culture se développe avec une maîtrise plus grande du captage.

L'analyse des moyennes des températures annuelles et des précipitations totales annuelles peut être non discriminante comme Héral et Lemonnier (1977) l'ont mis en évidence, il peut être nécessaire dans le cadre de relations entre analyse météorologique et production de descendre plus loin dans l'analyse des séquences et retenir les variations saisonnières voire mensuelles.

P	année n				année n-1				année n-2				année n-3			
	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver
1890-1923	-0,214	-0,073	0,071	0,273	-0,030	0,096	0,158	0,174	-0,206	0,040	0,142	0,151	0,237	-0,228	-0,179	0,096
1924-1944	0,534	0,192	-0,090	-0,232	0,532	0,207	-0,021	-0,304	0,124	-0,091	0,020	0,024	-0,221	-0,275	0,024	0,357
1945-1969	0,251	0,077	-0,316	0,020	-0,166	0,015	-0,162	-0,094	-0,033	-0,098	-0,219	-0,059	0,018	0,130	0,020	0,185
1974-1984	-0,547	-0,149	-0,004	-0,154	-0,244	-0,361	0,214	0,407	0,578	-0,116	0,181	-0,183	0,632	0,397	-0,048	0,093
1890-1984	0,146	-0,069	0,096	0,194	0,142	-0,070	0,062	0,160	0,140	-0,111	0,027	0,155	0,177	-0,130	0,047	0,232

Tableau 5 : Coefficients de corrélations entre les températures saisonnières et la production d'huîtres avec leur décalage de temps de 1 à 4 ans.

Les corrélations entre les températures saisonnières et les productions des différentes périodes concernées avec un décalage variable de 1 à 4 ans (tableau 5) mettent en évidence :

- pour l'année n : une corrélation positive pour la température du printemps pendant la période 1924-1944.

- pour l'année n-1 : une corrélation positive pour la température du printemps pendant la période 1924-1944.

- pour l'année n-2 : le coefficient de corrélation le plus élevé est celui du printemps pour la période 1974-1984.

- pour l'année n-3 : le coefficient de corrélation le plus élevé est celui du printemps pour la période 1974-1984.

Il apparaît ainsi qu'il semble exister une tendance, quoique non constante selon les périodes entre la température du printemps (mars à juin) et le volume annuel d'huîtres adultes commercialisées.

## 5. Biomasse

La biomasse totale d'huîtres d'élevage est indépendante de la moyenne de la température annuelle pour l'année n, n-1, n-2 et n-3, comme pour la production annuelle, et n'est corrélée qu'avec la température cumulée 4 années antérieures négativement de 1924 à 1944 et positivement pour *Crassostrea gigas* de 1974 à 1983. Comme pour la production, la pluviométrie est en liaison étroite avec les stocks du début de la période de l'ostréiculture (1886-1923) et plus particulièrement en liaison avec le recrutement (n-2) (tableau 6).

Biomasse	Stock n 1885-1964	Stock n 1888-1923	Stock n 1924-1944	Stock n 1945-1969	Stock n 1974-1983
T <sup>n</sup>	0,180	0,169	-0,194	-0,146	0,138
T <sup>n-1</sup>	0,150	0,044	-0,171	-0,174	0,384
T <sup>n-2</sup>	0,184	-0,013	-0,273	0,040	0,415
T <sup>n-3</sup>	0,174	-0,028	-0,057	-0,091	0,308
T <sup>n...n-3</sup>	<u>0,242</u>	0,029	<u>-0,768</u>	-0,099	<u>0,759</u>
F <sup>n</sup>	<u>0,263</u>	0,091	-0,291	-0,001	0,545
F <sup>n-1</sup>	<u>0,237</u>	0,078	-0,046	0,028	-0,111
F <sup>n-2</sup>	<u>0,210</u>	<u>0,358</u>	-0,113	0,042	0,019
F <sup>n-3</sup>	0,203	0,159	-0,095	-0,010	-0,016
F <sup>n...n-3</sup>	<u>0,402</u>	<u>0,538</u>	<u>-0,454</u>	-0,092	-0,127
r 95 %	0,208	0,325	0,423	0,388	0,707
r 99 %	0,267	0,418	0,637	0,498	0,834

Tableau 6 : Coefficients de corrélations entre les variables météorologiques annuelles et le stock d'huîtres avec un décalage de variable de 1 à 4 ans

La décomposition par séquences caractéristiques met en évidence des liaisons significatives :

- pour l'année n-2 avec la température du printemps pour toutes les années
- pour l'année n-3 avec la température du printemps pour toutes les années avec une sensibilité plus importante pour *Crassostrea gigas* (tableau 7).

S	année n				année n-1				année n-2				année n-3			
	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver
1890-1923	-0,205	-0,076	-0,072	0,315	-0,067	0,024	0,073	0,187	-0,134	0,062	0,189	0,190	0,236	-0,211	-0,133	0,119
1924-1944	0,383	0,033	-0,295	-0,228	0,414	-0,087	-0,115	-0,021	0,179	-0,018	0,184	-0,012	-0,008	-0,018	0,137	0,160
1945-1969	-0,091	-0,082	-0,396	0,104	-0,098	-0,230	-0,191	0,144	-0,077	-0,113	-0,165	0,139	-0,113	-0,230	-0,124	0,171
1974-1984	-0,129	-0,652	-0,177	-0,020	-0,051	-0,435	-0,120	-0,451	-0,193	-0,189	-0,273	0,344	0,554	0,368	-0,152	0,218
1890-1984	0,151	-0,126	0,078	0,126	0,187	-0,111	0,008	0,107	0,228	-0,105	0,033	0,135	0,267	-0,084	0,065	0,079

Tableau 7 : Coefficients de corrélations entre les températures saisonnières et les biomasses totales en élevage avec un décalage de temps de 1 à 4 ans.

Les relations mises en évidence entre les variables météorologiques et la biomasse sont les mêmes que celles qui agissent sur la production :

- action de la pluviométrie sur le recrutement pour les stocks sauvages de *Crassostrea angulata*.
- tendance à une liaison entre les températures printanières élevées et l'augmentation des stocks en particulier pour *Crassostrea gigas*.

## 6. Discussion

L'étude de l'influence de la température sur la reproduction de *Crassostrea gigas* met en évidence un effet sur la durée de la gamétogenèse avec de fortes corrélations entre la date de ponte et les sommes des degrés-jour des mois de février et de juin expliquant à eux seuls 51 % de la variance de la date de ponte. La somme des degrés-jour, en utilisant les résultats de Mann (1979) et de Devergee (in Lubet, 1980), permet de préciser en liaison avec la période de maturation que la température de début de la phase active de la gamétogenèse varie entre 8,6°C et 9,5°C. Ces résultats sont en accord avec les observations de Lubet (1980) qui signale chez *Crassostrea gigas* une quasi indépendance vis à vis de la température hivernale. Devergee montre qu'il n'existe pas de période de repos sexuel pour cette huître. Auger (1976) constate que la gamétogenèse débute chez cette espèce à 7-8°C et Lubet (1980) rappelle que la reprise de l'activité génitale coïncide avec les plus basses températures hivernales (8-9°C), alors que Mann calcule que le début de la gamétogenèse active est à 10,55°C. Par ailleurs Marteil (1960) et Le Dantec (1968) ont montré qu'un hiver doux et un réchauffement printanier raccourcissent la période de gamétogenèse pour *Ostrea edulis* et *Crassostrea angulata*. L'étude détaillée des années de non recrutement montre un déficit notable soit en période de début de gamétogenèse (1972,1981) soit en fin de maturation (1934,1935). Par ailleurs, les températures estivales des années (1934,1935 et 1981) sont particulièrement basses ne permettant pas une survie larvaire optimale. Cependant il faut rappeler que la température n'est pas le seul facteur qui joue sur la gamétogenèse. Ainsi Ranson (1936) constate un développement moindre des gonades en 1934 et en 1935, cet auteur l'explique par un déficit nutritionnel des huîtres adultes. De même Deslous-Paoli et al. (1981) mettent en évidence, par rapport à une année de reproduction normale, une baisse notable de la teneur en glucides et en lipides chez les mâles comme chez les femelles adultes de *Crassostrea gigas*. Cette baisse de qualité biochimique des gamètes est mise en relation avec le déficit de nourriture particulière détritique ou phytoplanctonique qui pourrait être induit par les anomalies thermiques de 1981. Ceci rejoint les travaux de Muranata et Lannan (1984) qui montrent l'influence de la nutrition des géniteurs lors du conditionnement sur le développement des gonades de *Crassostrea gigas*.

La pluviométrie et donc inversement la salinité sont en relation avec l'abondance du recrutement de *Crassostrea angulata* de 1885 à 1924, période intermédiaire entre la pêche et la culture. Ceci rejoint les travaux de Le Dantec (1968) qui met en évidence que la durée de la gamétogenèse, fonction de la température est aussi influencée par la salinité, 28 ‰, paraît être la salinité optimale pour l'évolution des larves de *Crassostrea angulata*. De même Walne (1974) confirme pour *Crassostrea gigas* que les conditions optimales d'évolution larvaire sont réunies pour une température élevée correspondant à des salinités de 30 à 32 ‰. Cependant pour la période de culture intensive de l'huître portugaise, comme pour celle de l'huître japonaise, aucune relation pluviométrie recrutement n'est mise en évidence, ce qui laisse supposer que l'abondance du captage est contrôlée par d'autres facteurs.

La température, en particulier celle du printemps semble jouer sur l'augmentation des productions annuelles et des biomasses d'huîtres en élevage. Ceci rejoint les travaux de nombreux auteurs sur l'observation de la simultanéité entre les phases de croissance des mollusques et l'augmentation de la température permettant de modéliser les fluctuations saisonnières de la croissance linéaire des mollusques (Bodoy, 1982 ; Hamon, 1983 ; Bachelet, 1984 ; Rodhouse et al., 1984). La croissance de la chair étant due principalement aux conditions nutritives alors que la température agit directement sur la croissance de la coquille des huîtres comme Héral et al. (1984) l'ont mis en évidence dans le bassin de Marennes-Oléron.

Les travaux sur les populations de mollusques non cultivés ont montré une dépendance étroite entre facteurs climatiques et abondance des stocks (Dow, 1983). L'influence est due à une variabilité du recrutement liée principalement à la température, en particulier pour les espèces à la limite de leur aire de répartition. Pour la population d'huîtres cultivées du bassin de Marennes-Oléron une relation de même nature n'est pas mise en évidence pour plusieurs raisons principales :

- l'huître portugaise et l'huître japonaise quoique transplantées dans cet écosystème sont des exemples d'implantations réussies car n'étant pas à la limite de leur extrêmes thermiques, elles assurent un recrutement régulier présentant une moindre sensibilité aux variations du

climat, contrairement aux populations de ces deux mêmes espèces implantées au Nord de la Charente-Maritime.

- Dans ces populations cultivées, le recrutement est placé sous le contrôle d'une activité humaine. L'abondance du recrutement dépend principalement du nombre de collecteurs posés par les ostréiculteurs, activité régie par des critères sociaux-économiques plutôt que par des variables biologiques ou climatiques contrairement aux populations naturelles.

- L'action de l'homme qui pratique une culture, se retrouve par le comblement des défauts de recrutements en important massivement des juvéniles de secteurs voisins ou de pays étrangers, régulant ainsi les productions commercialisées annuellement.

#### Conclusion :

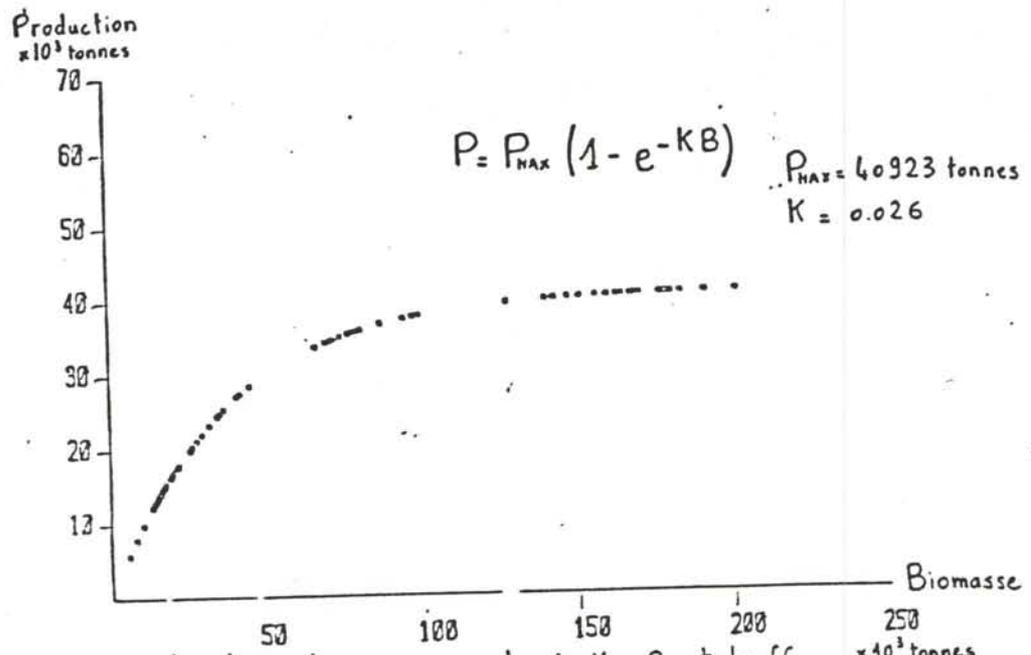
L'estimation des stocks d'huîtres cultivés dans le bassin a été effectuée pour la première fois en 1984, mettant en évidence une biomasse de 69 000 tonnes avec une précision de 25 %. En 1985, une précision de 10 % a pu être atteinte grâce à l'utilisation simultanée de couvertures photographiques aériennes au 1/10000ème permettant de déterminer les surfaces exploitées et grâce à un sous-méchantillonnage photographique au 1/1500ème permettant de sous-stratifier l'élevage en surélevé : poches et collecteurs. L'élevage à plat représente 33 480 tonnes (précision de 10,1 %, tandis que l'élevage en poche est de 23 067 tonnes (précision de 15,6 %), et le demi-élevage en collecteurs est de 26 175 tonnes (précision de 26,5 %). Il est difficile de comparer les résultats 1984 et 1985 à cause des techniques d'évaluation différentes (cadastre en 1984, photographies aériennes en 1985) et des précisions différentes (25 % en 1984, et 10 % en 1985). Cependant, il apparaît une tendance à l'augmentation 69 000 tonnes en 1984 et 83 000 tonnes en 1985. Ceci est à mettre en relation avec l'absence de recrutement en 1981 et le très fort captage en 1982.

En ce qui concerne les recherches méthodologiques pour une analyse automatique des images numériques, le satellite spot avec une résolution de 20 m peut donner des surfaces exploitées à plat ou en surélevé. Ce travail sera repris en 1986 depuis que le satellite a été lancé. La

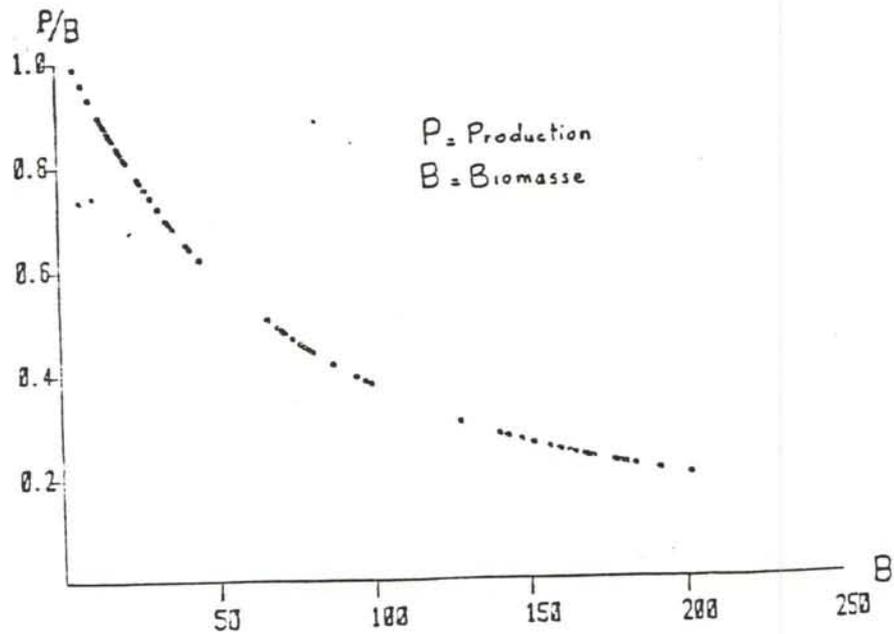
numérisation des photographies aériennes avec une résolution de 3 m et une résolution de 1,5 m permet de séparer les secteurs à plat et inoccupés et ceux cultivés en surélevé et d'en connaître la surface exploitée. La recherche plus fine de la mesure des longueurs de tables ostréicoles nécessite une résolution de l'ordre de 0,50 m, ce travail réalisé à partir des données du scanner Matra a permis la quantification des installations en surélevé.

L'analyse des statistiques officielles des productions commercialisées d'huîtres creuses (Crassostrea angulata et Crassostrea gigas) est réalisée de 1886 à 1984 en nombre et en poids d'huître pour le bassin de Marennes-Oléron. Les étiquettes de salubrité multipliées par le poids moyen d'un colis permettent aussi de déterminer la production commercialisée, à condition qu'elle soit augmentée des biais et minorée des productions extérieures au bassin. Ainsi la production d'huîtres portugaises n'est que 45 000 tonnes de 1948 à 1957 avec un maximum de 52 000 tonnes pour respectivement 70 000 tonnes et 280 000 tonnes pour les statistiques. De même, avec les épizooties de Crassostrea angulata, la production est descendue en 1971 à 25 000 tonnes d'après les étiquettes sanitaires contre 6 000 tonnes pour les statistiques. Le recueil des données concernant le transport d'huîtres par chemin de fer, permet de comparer les résultats et valide les estimations basées sur les étiquettes sanitaires.

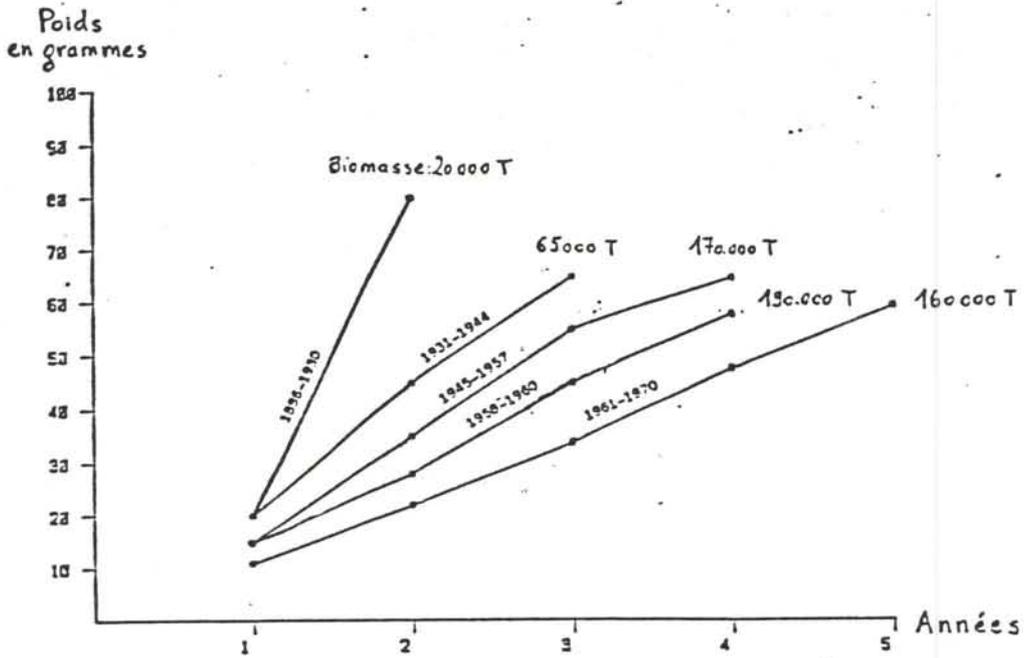
A partir de ces courbes de production, il est possible de simuler l'évolution des stocks en tenant compte de l'évolution des rendements des huîtres cultivées (croissance et mortalité). Il est intéressant de vérifier si le climat peut avoir une influence sur la production du bassin, c'est pourquoi le recrutement, les productions commercialisées, les stocks en élevage des huîtres Crassostrea angulata et Crassostrea gigas sont mises en liaison avec les statistiques de la Météorologie Nationale pour les années correspondantes : 1885-1984. La température agit sur la date de ponte mais n'explique que partiellement les défauts de recrutement, qui présentent moins d'impact sur la production commercialisée, que sur le stock d'huîtres. Les caractéristiques annuelles et saisonnières des précipitations et des températures de l'air ne montrent pas de corrélations étroites avec les variations de la production et du stock pour ces populations cultivées contrairement à la



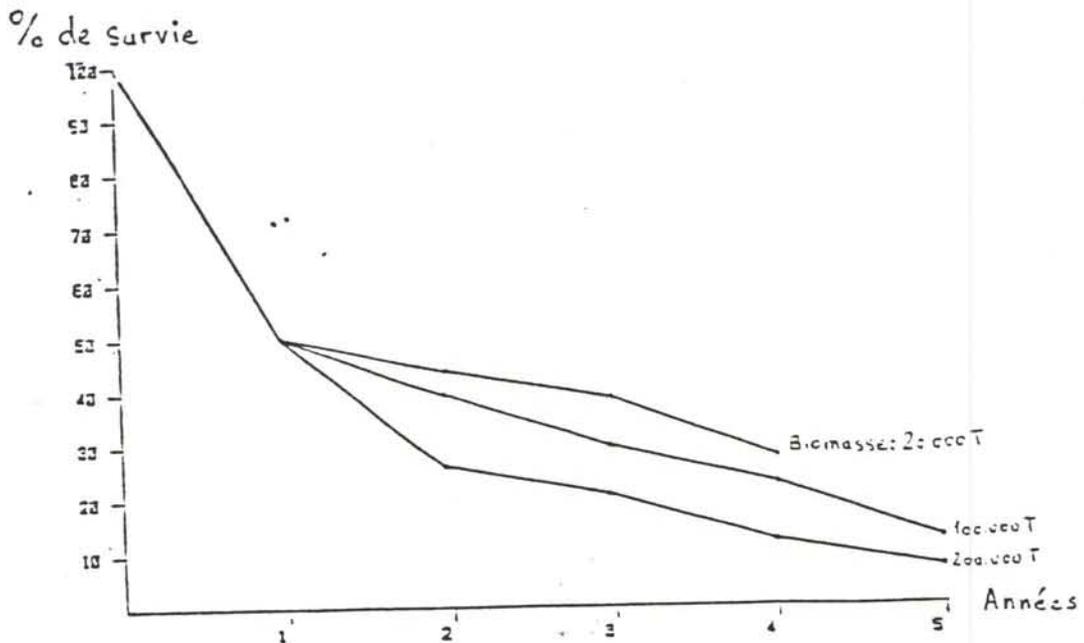
Ajustement par une courbe de Von Bertalanffy  
 de la variation de la production en fonction de  
 la biomasse totale dans le bassin de Marennes  
 (1886 - 1971)



Ajustement de la variation du rapport  $P/B$   
 en fonction de la biomasse totale dans  
 le bassin de Marennes-Oléron.



Courbe de croissance de l'huître portugaise de 1886 à 1971



Courbes de mortalité de l'huître portugaise de 1886 à 1971 dans le bassin de Marennes

sensibilité des populations naturelles de mollusques vis à vis des facteurs climatiques. Ainsi il apparaît que les variations climatiques d'une année sur l'autre n'entraînent pas de modification importante notable des performances de croissance des élevages. Par contre, les temps de croissance pour obtenir une huître adulte sont une fonction directe de la biomasse totale élevage. De même les courbes de mortalité augmentent avec l'accroissement du stock. L'évolution de la production en fonction de la biomasse peut être modélisée par une équation du même type que celle appliquée aux croissances de populations. Ainsi pour l'huître portugaise l'équation de Bertalanffy est de la forme  $P = P_{max} (1 - e^{-KB})$  ou  $K = 0,026$  et  $P_{max} = 40\ 923$  tonnes.  $P_{max}$  en l'occurrence correspond à la production maximale du bassin ostréicole de Marennes-Oléron.

Ce modèle dynamique reste à améliorer, il présente l'avantage de montrer les grandes tendances de l'évolution des cultures. Il pourra être amélioré par des observations complémentaires sur la période historique et validé au fur et à mesure de l'observation des stocks en élevage et des productions commercialisées dans les années à venir.

## BIBLIOGRAPHIE : ANALYSE NUMERIQUE

Cunin L., 1985. Essai de typologie des marais atlantiques par télédétection spatiale haute résolution (SPOT). Rapport de stage ENSG, cycle IT3 : 61 p + annexes.

Deslous-Paoli J.M., Populus J., L'Herroux M., Brussieux M., 1985. Estimation des stocks conchylicoles par télédétection : résultats et perspectives. 4ème colloque interdisciplinaire Franco-Japonais, Marseille, 16-21 septembre : sous presse.

Populus J., Deslous-Paoli J.M., 1985. Essai d'estimation des surfaces exploitées en conchyliculture par télédétection haute résolution (simulation SPOT) : Problèmes rencontrés. Rapport int. IFREMER 23 pp.

Pujol J.L., 1985. Essai de reconnaissance automatique des types d'occupation d'un bassin ostréicole sur images numériques haute résolution. Rapport DEA, Univ. Paris VII : 77 p.

## BIBLIOGRAPHIE : ANALYSE HISTORIQUE

BACHER C., 1984. Echantillonnage du stock d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron rapport de DEA, Université de Paris, 38 p.

COMPS M., BONAMI J.R., VAGO C., CAMPILLO A., 1976. Une virose de l'huître portugaise Crassostrea angulata. C.R. Acad. Sci., Paris, 282 Série O : 1991-1993.

DESLOUS-PAOLI J.M., POPULUS J., L'HERROUX M., BRUSSIEUX M., 1985. Estimation des stocks conchylicoles par télédétection : résultats et perspectives. 4ème colloque scientifique interdisciplinaire Franco-Japonais Océanographie. Marseille 16-21 sept. 1985, 8 p.

GRELON M., 1978. Saintonge, pays des huîtres vertes. Ed. Rupella (La Rochelle) 364 p.

HERAL M., 1985. L'ostréiculture française traditionnelle. Aquaculture. Lavoisier (Paris) 50 p. (sous presse).

HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., PROU J., 1986. Analyse historique de la production conchylicole du bassin de Marennes-Oléron (France). 4ème colloque scientifique interdisciplinaire Franco-Japonais océanographie.

HERVE P., 1935. Les huîtres. Ed. A. Barbault (Marennes) 232 p.

RANSON G., 1951. Les huîtres : biologie-culture. Ed. P. Lechevalier (Paris) 258 p.

SOURCES D'ARCHIVES. Marine Marchande, statistiques des pêches maritimes, la voix ostréicole, le littoral, la voix de l'écouleur, Rivages de France, Ostréiculture cultures marines, cultures marines, Bulletin de la Section régionale du CIC Marennes-Oléron. SNCF.

## BIBLIOGRAPHIE : INFLUENCE CLIMATIQUE

- ANGOT A., 1895. Premier catalogue des observations météorologiques faites en France, depuis l'origine jusqu'en 1850. *Annales du Bureau Central météorologique de France*, 89 p.
- AUGER C., 1976. Etude de deux variétés de *Crassostrea gigas* Thunberg ; leur acclimatation en rivière d'Étel (Morbihan). Thèse doct. sp. Paris VI 80 p.
- BACHELET G., 1981. Application de l'équation de Von Bertalanffy à la croissance du bivalve *Scrobicularia plana*. *Cahiers de Biologie Marine* 22 : 291-311.
- BLANC F., LEVEAU M., 1973. Plancton et eutrophie. Aire d'épandage rhodanienne et Golfe de Fos (traitement mathématique des données). Thèse Etat Sci. nat., Univ. Aix-Marseille II.
- BODOY A., 1982. Croissance saisonnière du bivalve *Donax trunculus* (L.) en Méditerranée Nord-Occidentale (France). *Malacologia* 22 (1-2) : 353-358.
- CHAUX-THEVENIN H., 1929. Observation sur la reproduction des huîtres portugaises dans la région de Marennes. *Rev. Trav. Off. Pêches*, 2 (1) : 103.
- DESLOUS-PAOLI J.M., HERAL M., BERTHOME J.P., RAZET D., GARNIER J., 1981. Reproduction naturelle de *Crassostrea gigas* Thunberg dans le bassin de Marennes-Oléron en 1979 et 1981 : aspects biochimiques et énergétiques. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 45 (4) : 319-327.
- DOW R.L., 1972. Fluctuations in gulf of Maine sea temperature and specific molluscan abundance. *J. Cons. int. Explor. Mer.* 34 (3) : 532-534.
- DOW R.L., 1981. Influence of sea temperature cycles on the abundance and availability of marine and estuarine species of commerce. *Oceans* 81 conference record, Boston, Vol. 2 : 775-779.
- DOW R.L., 1983. Sea temperature and ocean fish abundance cycles *Marine Technology Society Journal* 17 (1) : 42-44.
- HAMON P.Y., 1983. Croissance de la moule *Mytilus edulis provincialis* (Lmk) dans l'étang de Thau : estimation des stocks de mollusques en élevage. Thèse d'Etat Université des Sciences et Techniques du Languedoc 331 p.
- HERAL M., 1985. Evaluation de la capacité biotique des écosystèmes conchylicoles. Séminaire International sur la recherche en soutien du développement et de l'aménagement de la conchyliculture, sous presse 22 p.

- HERAL M., PROU J., DESLOUS-PAOLI J.M., 1986. Influence des facteurs climatiques sur la production conchylicole du bassin de Marennes-Oléron. Haliotis (à paraître).
- HERAL M., LEMONNIER P., 1977. Météorologie et production de sel dans les marais salants de Guérande : application de l'analyse factorielle des correspondances. *Bulletin de la Fédération Thermale et climatique de Bretagne* 35 p.
- HERAL M., RAZET D., DESLOUS-PAOLI J.M., MANAUD F., TRUQUET I., GARNIER J., 1984. Hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron : Résultats du réseau national d'observation : 1977-1981. *Ann. Soc. Sci. Nat. Charente-Maritime*, 7 (2) : 259-277.
- HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., RAZET D., PROU J., 1984. Essai de mise en évidence *in situ* de paramètres biotiques et abiotiques de l'eau et de l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas*. *Océanis*, Vol. 10 (4) : 465-475.
- HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., PROU J. 1986. Analyse historique de la production conchylicole du bassin de Marennes-Oléron (France). 4ème colloque scientifique interdisciplinaire Franco-Japonais Océanographie 10 p. (sous presse).
- HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., PROU J.. Estimation of the optimal production of oysters for the bay of Marennes-Oleron. (article soumis à comité de lecture).
- LE ROY LADURIE E., 1983. Histoire du climat depuis l'an mil. edit : Champs Flammarion Paris Vol. 1 287 p.
- LE DANTEC J., 1968. Ecologie et reproduction de l'huître portugaise (*Crassostrea angulata* Lamarck) dans le bassin d'Arcachon et sur la rive gauche de la Gironde. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 32 (3) : 237 - 362.
- LUBET P.E., 1980. Influence des facteurs externes sur la reproduction des mollusques lamellibranches. *Oceanis*, 6 (5) : 469-489.
- MANN R., 1979. Some biochemical and physiological aspect of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 59 : 95-110.
- MARTEIL L., 1976. Biologie de l'huître et de la moule. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 40 (2) : 149-346.
- MURANAKA M.S., LANNAN J.E., 1984. Broodstock management of *Crassostrea gigas* : environmental influences an broodstock conditioning. *Aquaculture*, 39 : 217-228.

- RANSON G., 1936. L'absence de naissain d'huîtres portugaises en 1934 et 1935 dans la région de Marennes. Causes et conséquences. *Rev. Trav. Off. Pêches* 9 (1) : 67.
- RODHOUSE P.G., RODEN C.M., HENSEY M.P., RYAN T.H., 1984. Resource allocation in *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture *Mar. Biol.*, 84 : 27-34.
- ULANOWICZ R.E., ALI M.L., VIVIAN A., HEINLE D.R., RICHKUS W.A., SUMMERS J.K., 1982. Identifying climatic factors influencing commercial fish and shellfish landings in maryland. *Fishery Bulletin* 80 (3) : 611-619.