

7903



DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

ESTIMATION DES STOCKS DE MOULES  
DANS LE PERTUIS BRETON  
EN 1987

par

J. MAZURIE et M.J. DARDIGNAC - CORBEIL

33915.  
HASSON  
par  
MAZURIE  
304

Station IFREMER de La Rochelle  
Laboratoire Régional de Conchyliculture Loire-Gironde



IFREMER  
 Station de L'Houmeau  
 BP 7  
 L'HOUMEAU  
 17137 NIEUL S/MER  
 Tél. : 46.50.93.50

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES  
 DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES

AUTEURS : MAZURIE Joseph, DARDIGNAC-CORBEIL Marie-José	CODE : DRV-88.002 RA/L'HOUMEAU
TITRE :  ESTIMATION DES STOCKS DE MOULES DANS LE PERTUIS BRETON EN 1987.	Date : janvier 1988 Tirage nb : 50
	Nb pages : 25 Nb figures : 10 Nb tableaux : 20
CONTRAT	DIFFUSION Libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>

RESUME :

Une estimation de la biomasse de moules présente sur les bouchots du Pertuis Breton situés au sud de la Sèvre niortaise a été réalisée en 1987. Le but était de mettre au point une stratégie d'échantillonnage adaptée à ce mode de culture. La méthode utilisée est décrite et une optimisation de l'effort d'échantillonnage réalisée ; elle détermine pour différentes précisions l'effort à consentir.

La biomasse étudiée a été estimée à 4 722 tonnes avec une précision de 14 %.

Mots-clés : Moules, bouchots, biomasse, échantillonnage, Pertuis Breton.

Key words : Mussels, biomass, sampling, Pertuis Breton

## S O M M A I R E

	Pages
1 - <u>INTRODUCTION</u> .....	1
2 - <u>LA MYTILICULTURE DANS LE PERTUIS BRETON</u> .....	2
2.1. Technique d'élevage	
2.2. Zones d'élevage	
3 - <u>PERIODE D'ECHANTILLONNAGE ET SECTEUR D'ETUDE</u> .....	3
4 - <u>STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE</u> .....	3
4.1. Composantes de la biomasse	
4.2. Plan d'échantillonnage	
4.3. Formule	
5 - <u>RECUEIL DES DONNEES</u> .....	7
6 - <u>RESULTATS</u> .....	11
7 - <u>OPTIMISATION</u> .....	11
7.1. Rappel de la Stratégie utilisée	
7.2. Objets et principes de l'optimisation	
7.3. Optimisation partielle	
7.4. Optimisation globale	
7.4.1. Estimations indépendantes	
7.4.1.1. Contrainte unique	
7.4.1.2. Contraintes supplémentaires	
7.4.2. Tirages non indépendants	
7.4.3. Résultats - Discussion	
7.4.3.1. Mesure des sections	
7.4.3.2. Stratification	
7.4.3.3. Indépendance	
7.4.3.4. Densité	
7.5. Conclusion	

## 1 - INTRODUCTION

L'expérience a montré depuis longtemps que dans un bassin conchylicole il y a diminution de la croissance et de la qualité des mollusques lorsque, à partir d'une certaine biomasse, les quantités d'animaux en élevage augmentent. Une analyse récente de l'évolution de l'ostréiculture dans le bassin de Marennes-Oléron met bien en évidence une tendance à la surcharge du bassin qui se traduit par un allongement appréciable de la durée d'élevage et une augmentation des mortalités courantes ; en conséquence, à partir d'une certaine biomasse en culture la production tend à plafonner (rapport interne IFREMER, 1986). Ces résultats indiquent que la production d'un bassin semi-fermé comme celui de Marennes-Oléron est limitée par la capacité trophique du milieu et que la conchyliculture connaît des problèmes de surexploitation de la productivité des écosystèmes marins.

Pour améliorer la gestion des bassins conchylicoles et tenter d'optimiser leur production, il est donc nécessaire de mettre au point des modèles prévisionnels capables de représenter l'évolution dans le temps de la biomasse de mollusques cultivés en fonction d'un certain nombre de paramètres. Selon la démarche suivie, ces modèles sont plus ou moins ambitieux en ce qui concerne leur caractère explicatif. Cependant, dans tous les cas, ils nécessitent une connaissance aussi précise que possible de la biomasse présente. Enfin, la connaissance du stock en culture, lorsqu'il est décomposé en classes de taille, permet une prévision des ventes pour l'année à venir.

Depuis une dizaine d'années la production de moules venant du Pertuis Breton est relativement stable. En réalité, les chiffres déclarés englobent les moules cultivées dans le pertuis même et celles venant d'autres secteurs d'élevage ou de gisements naturels. Selon une étude du FIOM réalisée en 1981, ces apports extérieurs ne seraient pas négligeables, mais comme les statistiques dont on dispose ne permettent pas de les distinguer, il est difficile de connaître l'importance réelle et l'évolution de la production autochtone. Par ailleurs, la question est régulièrement posée par les Professionnels de savoir s'il serait ou non possible d'augmenter la biomasse. Une estimation des stocks de moules en élevage dans le Pertuis Breton a donc été entreprise. Les travaux réalisés en 1987 n'ont concerné qu'un petit secteur afin de mettre au point une stratégie d'échantillonnage adaptée à ce mode de culture. En 1988 l'estimation concernera l'ensemble du pertuis.

## 2 - LA MYTILICULTURE DANS LE PERTUIS BRETON

### 2.1. Technique d'élevage

Les grands principes de la mytiliculture dans le Pertuis Breton sont rappelés ici.

L'élevage des moules est pratiqué sur "bouchot". Un bouchot est une ligne de pieux plantés dans le sol (fig. 1 et 2) ; sa longueur et le nombre maximal de ses pieux sont déterminés par la Réglementation. Les bouchots sont installés dans la zone de balancement des marées, généralement entre les cotes - 0,70 et + 1,5 m par rapport au zéro des cartes : plus haut, les moules trop longtemps émergées ne poussent pas ; plus bas, les pieux ne peuvent être correctement travaillés car ils ne découvrent pas suffisamment.

Les différentes étapes de l'élevage sont les suivantes. Les jeunes moules (naissain) se fixent, au terme de leur vie pélagique, soit directement sur des pieux préalablement nettoyés, soit sur des cordes installées sur des bouchots qui ne sont destinés qu'à cet usage (bouchot à cordes ou bouchot de captage). Le captage terminé, les cordes sont transférées sur des pieux d'élevage.

Au fur et à mesure qu'elles grossissent, les moules tendent à former des paquets qui s'écartent du support et risquent de tomber ; encore trop petites pour être commercialisées, elles sont prélevées et mises dans des filets tubulaires, les boudins, qui sont enroulés sur de nouveaux pieux.

La récolte se fait en plusieurs fois : les moules situées à la périphérie poussent plus vite et sont prélevées les premières ; la pêche du reliquat a lieu un peu plus tard. La durée d'élevage est d'au minimum 15 mois et peut s'étendre jusqu'à 24 ou 30 mois. Ainsi deux classes d'âge au moins, parfois trois, sont présentes dans les bouchots.

### 2.2. Zones d'élevage

Les bouchots du Pertuis Breton représentent près de 373 km ; ils s'étendent le long du littoral entre la Tranche sur Mer et la pointe de Digolet et occupent une superficie d'environ 940 hectares (figure 3). Ils produisent généralement entre 7000 et 9000 tonnes soit environ 15 à 20 % du total national.

Trois grandes zones peuvent être distinguées :

- de la Tranche sur Mer à la Pointe d'Arçay ;
- entre l'embouchure du Lay et la Pointe de l'Aiguillon ;
- au sud de l'anse de l'Aiguillon.

### 3 - PERIODE D'ECHANTILLONNAGE ET SECTEUR D'ETUDE

Dans le Pertuis Breton, la vente des moules commence généralement au mois de juin. Elle atteint son maximum en juillet, reste élevée jusqu'en septembre puis diminue pour s'arrêter en janvier-février. Nous avons choisi d'évaluer l'importance de la biomasse à un moment où elle subit peu de variations, c'est à dire avant le début de la pêche pour la commercialisation. L'estimation a donc été effectuée entre le 14 mai et le 12 juin.

Comme il a été dit plus haut elle n'a été réalisée que sur un petit secteur : zone hachurée de la figure 3.

### 4 - STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

#### 4.1. Composantes de la biomasse

La méthode la plus simple d'évaluation de la biomasse repose sur la formule :

Biomasse = nb pieux x poids moy./pieu.

Pour minimiser les prélèvements nécessaires à l'estimation du poids moyen par pieu, on peut décomposer ce paramètre en hauteur du pieu x poids par unité de hauteur ou encore en volume x poids par unité de volume. Nous avons choisi cette dernière méthode car la densité a une variance obligatoirement plus faible que le poids par unité de hauteur et entraînera donc moins de prélèvements pour son estimation. De plus, il est envisageable de se contenter du volume total comme estimation des quantités de moules, et de se passer alors totalement de prélèvement.

La décomposition maximale de la biomasse en produit de composantes élémentaires permet en outre d'envisager une estimation par échantillonnage de chacun des termes du produit à partir d'effectifs inégaux, fonction des variances et des coûts de mesures élémentaires.

Cette décomposition peut s'écrire :

$$B = N \times M \times h \times S \times D \quad (1)$$

B : biomasse

N : nombre de bouchots occupés

M : nombre de pieux occupés par bouchot

h : hauteur de moules par pieu

S : section de moules

D : densité

La section moyenne de moules peut être estimée par deux méthodes :

Méthode 1 : estimations indépendantes (tirages différents) de sections totales (moules + pieu) et de sections de pieux non garnis.

$$\bar{S} = \bar{St} - \bar{Sp}$$

$\bar{S}$  : section de moules moyenne

$\bar{St}$  : section totale moyenne

$\bar{Sp}$  : section de pieu moyenne

Chaque section étant fonction de son périmètre, assimilé ici à une circonférence, sera calculée par la formule :  $S = C^2/4\pi$

Méthode 2 : chaque section nette est évaluée en soustrayant de la section totale la section du pieu à ce niveau. En moyenne :

$$\bar{S} = \bar{St} - \bar{Sp}$$

Cette méthode suppose de dégarnir le pieu à cet endroit afin d'estimer sa section nue. Pour éviter cet inconvénient nous avons estimé l'épaisseur de moules autour du pieu. Si cette dernière était homogène, la section nette, représentant la différence entre deux cercles concentriques, serait :

$$S = \pi R^2 - \pi r^2$$

et en remplaçant R et r respectivement par  $C/2\pi$  et  $R - e$  :

$$S = Ce - \pi e^2$$

Comme l'épaisseur de moules autour d'un pieu n'est pas régulière, nous avons réalisé sur la circonférence un tirage de 2° degré de points où l'épaisseur a été mesurée. Chaque section a été calculée avec la moyenne des différentes épaisseurs correspondantes :

$$S = \bar{C}e - \pi \bar{e}^2$$

Dans le calcul de la variance, le terme de variance de second degré étant multiplié par f, fréquence d'échantillonnage de 1e degré, ici proche de 0, disparaîtra.

#### 4.2. Plan d'échantillonnage

La figure 4 montre la disposition des bouchots dans le secteur étudié. Deux zones peuvent être identifiées : les lignes à terre et les lignes à la mer. Les lignes à terre, situées le plus près de la côte, sont constituées de bouchots dont les pieux sont installés sur une seule rangée de 50 mètres ; la réglementation n'autorise que 80 pieux par bouchot. La croissance étant de plus médiocre à cet endroit, les bouchots d'élevage sont de plus en plus supplantés par les bouchots à cordes pour le captage (fig. 5).

Les lignes à la mer sont construites sur 2 rangs de 60 m et peuvent comprendre jusqu'à 120 pieux. Comme les rendements y sont dans l'ensemble bons, il y a moins de bouchots de captage et la plupart des pieux d'élevage sont occupés.

La différence entre ces deux zones nous a incité à procéder, pour certains éléments, à un échantillonnage stratifié, chacune des deux zones constituant une strate.

Pour la mise au point de la méthode, nous avons choisi d'estimer successivement les différents paramètres (1 marée pour les nombres, 2 marées pour les hauteurs...). Restait à décider de l'indépendance des estimations en choisissant entre un tirage de bouchots et de pieux différent pour chaque paramètre (estimations indépendantes) et un tirage en partie commun (estimations non indépendantes). Habituellement ce choix ne peut être fait a priori, puisque l'utilisation de tirages différents entraîne un temps d'accès plus important d'où un moins grand nombre d'unités échantillonnées mais, à nombre égal, une meilleure précision. Dans notre cas, les estimations se faisant successivement, des tirages différents et donc des estimations indépendantes pouvaient être réalisées sans perte de temps. C'est donc le choix qui a été fait sauf pour les hauteurs et les nombres de pieux mesurés sur les mêmes bouchots dans la strate à la mer, par le fait même du tirage à 2 degrés.

Les stratégies adoptées pour les différents paramètres peuvent être résumées ainsi :

- nombre moyen de pieux par bouchot : deux strates avec dans chaque strate un échantillonnage aléatoire simple (E.A.S.)
- hauteur moules sur pieu :  
deux strates avec EAS dans la strate à terre et échantillonnage à deux degrés dans la strate à la mer ;
- Section totale (moules + pieu) :  
deux strates avec EAS dans chaque strate ;
- Section pieux nus : EAS ;
- Section moule par la méthode des épaisseurs :  
deux strates avec échantillonnage à deux degrés dans chaque strate ;
- densité : EAS.

Sur le plan pratique, l'EAS de bouchots (estimation de  $\bar{M}$ ) a été réalisé par numérotation sur photographie aérienne et tirage sans remise. Pour l'E.A.S de pieux (estimation de  $\bar{h}$ ), il a été procédé à un tirage avec remise de bouchots (considérés de taille égale) et dans

chaque bouchot, à un choix de pieu "au hasard", sur place, sans tirage. La sélection des pieux pour l'estimation de la densité s'est faite uniquement parmi les bouchots dont le concessionnaire était présent et autorisait le prélèvement. De plus, des pieux de forme régulière ont été choisis afin de minimiser les erreurs. Pour l'échantillonnage des sections et des densités, il fallait en outre choisir un emplacement sur le pieu sélectionné : ce choix n'a pu se faire que dans la partie émergée du pieu (50 à 70 %), la partie immergée étant supposée en moyenne non différente.

#### 4.3. formule

La biomasse a été définie précédemment comme le produit des termes :

$$B = N \cdot M \cdot h \cdot S \cdot D \quad (1)$$

Pour en obtenir une estimation à partir des estimations élémentaires, il faut la décomposer au maximum en sommes et produits de variables indépendantes. Compte tenu de la stratégie suivie, nous obtenons l'estimateur :

$$B = \left[ N_1 \bar{H}_1 (\bar{St}_1 - \bar{Sp}) + N_2 \bar{M}_2 \bar{h}_2 (\bar{St}_2 - \bar{Sp}) \right] \bar{D}$$

$N_1$  et  $N_2$  : nombre de bouchots occupés respectivement dans la strate à la mer et la strate à terre

$\bar{M}_2$  : nombre moyen de pieux occupés dans un bouchot de la strate à terre.

$\bar{h}_2$  : strate à terre : hauteur de moules moyenne par pieu

$\bar{H}_1$  : strate à la mer : hauteur de moules moyenne par bouchot

$\bar{St}_1$  et  $\bar{St}_2$  : section de moules moyenne dans chacune des deux strates

$\bar{Sp}$  : section moyenne des pieux nus.

$\bar{D}$  : densité moyenne.

La biomasse  $B$  étant écrite sous la forme de sommes et produits de variables indépendantes, sa variance peut s'écrire à partir des seules variances élémentaires. Nous n'écrirons pas les termes en produit de variance, négligeables par rapport aux autres,

$$\begin{aligned} \text{Var}(B) = & (N_1 \bar{S}_1 \bar{D})^2 \text{var} \bar{H}_1 + (N_1 \bar{H}_1 \bar{D})^2 \text{var} \bar{S}_1 \\ & + (N_2 \bar{h}_2 \bar{S}_2 \bar{D})^2 \text{var} \bar{M}_2 + (N_2 \bar{M}_2 \bar{S}_2 \bar{D}) \text{var} \bar{h}_2 \\ & + (N_2 \bar{M}_2 \bar{h}_2 \bar{D})^2 \text{var} \bar{S}_2 \\ & + \left[ (N_1 \bar{H}_1 \bar{S}_1)^2 + (N_2 \bar{M}_2 \bar{h}_2 \bar{S}_2)^2 \right] \text{var} \bar{D} \end{aligned}$$

$$\text{avec : } \bar{S}_1 = \bar{St}_1 - \bar{Sp}$$

$$\bar{S}_2 = \bar{St}_2 - \bar{Sp}$$

## 5 - RECUEIL DES DONNEES

Le nombre total de bouchots a été obtenu à partir d'une photo aérienne (fig. 4) et le nombre de bouchots occupés déterminé en éliminant après un comptage exhaustif sur le terrain tous les bouchots de captage (fig. 5) et tous ceux ayant moins de dix pieux occupés.

En ce qui concerne les hauteurs, les moules ne colonisent pas le pieu jusqu'en bas et l'importance de la partie dégarnie peut être très différente d'un pieu à un autre (fig. 6). En outre, la quasi totalité des mesures doit se faire alors que les bouchots ne sont découverts qu'à mi-hauteur environ. Pour mesurer la partie occupée nous avons utilisé un rateau : son extrémité inférieure nous permettait, en le remontant le long du pieu, de repérer la limite des moules ; les graduations faites sur le manche nous indiquaient la hauteur du pieu occupée (fig. 9).

Les circonférences ont été mesurées à l'aide d'un mètre de couturière (fig. 7 et 8). Pour les épaisseurs, une règle graduée était enfoncée dans la masse des moules perpendiculairement au pieu.

Les volumes nécessaires à l'estimation de la densité ont été calculés en multipliant la hauteur du prélèvement par la section nette de moules, cette dernière étant égale à la section totale moyenne moins la section moyenne du pieu. Comme précédemment, chaque section est calculée à partir d'un périmètre assimilé à une circonférence. Après recueil des éléments nécessaires au calcul du volume, les moules étaient enlevées du pieu et pesées (fig. 10).

La moyenne et la variance de cette densité ont été calculées selon la méthode des variables quotient. Dans le calcul de la variance, la variance de 2° degré a été négligée.

Les résultats sont présentés dans les tableaux qui suivent.

Les unités utilisées sont le mètre, le kilogramme et la minute, sauf spécifications différentes.

	Nombre total de bouchots	Bouchots vides	Bouchots captages	Bouchots élevage occupés
Strate à terre	508	110	61	337
Strate à la mer	809	16	43	750
TOTAL	1 317	126	104	1 087

Tableau 1 - Nombre de bouchots

	Strate à terre	Strate à la mer
Bouchots échantillonnés	40	45
Nombre moyen de pieux par bouchot $\bar{M}$	61,20	105,22
Variance de M	532,93	654,04
Précision 95	11,20 %	7,03 %

Tableau 2 - Nombre moyen de pieux par bouchots

<u>STRATE A TERRE (EAS)</u>	
Nombre de pieux échantillonnés	32
Hauteur moyenne de moules par pieu $\bar{h}$	1,81
Variance de h	0,185
Précision 95	8,39 %
<u>STRATE A LA MER (2 degrés)</u>	
Nombre bouchots échantillonnés	33
Nombre pieux échantillonnés par bouchot	2 à 3
Hauteur moyenne de moules par bouchot $\bar{H}$	228,20
Variance de H	4 692,29
Précision 95	10,24 %

Tableau 3 - Hauteur de moules

<u>Estimation de <math>\bar{S}_p</math> (EAS)</u>		
Nombre pieux échantillonnés		125
Section moyenne d'un pieu nu $\bar{S}_p$		0,0142
Variance de $S_p$		$0,207 \cdot 10^{-4}$
Précision 95		5,70 %
<u>Estimation de <math>\bar{S}_t</math> par Strate</u>	Strate à terre	Strate à la mer
Poids de la strate	0,207	0,793
Nombre de pieux échantillonnés	35	62
Section totale moyenne $\bar{S}_t$	0,0478	0,0505
Variance de $S_t$	$1,684 \cdot 10^{-4}$	$1,188 \cdot 10^{-4}$
Précision 95	9,18 %	5,48 %
<u>Estimation de <math>\bar{S}_t</math> dans le secteur étudié</u>		
$\bar{S}_t$	=	0,0499
$\text{Var}(\bar{S}_t)$	=	$0,0141 \cdot 10^{-4}$
<u>Estimation de la section de moules moyennes <math>\bar{S}</math></u>		
$\bar{S}$	=	$\bar{S}_t - \bar{S}_p$
$\bar{S}$	=	0,0357
$\text{Var}(\bar{S})$	=	$\text{Var}(\bar{S}_t) + \text{Var}(\bar{S}_p)$
	=	$0,0157 \cdot 10^{-4}$
Précision 95	=	7,02 %

Tableau 4 - Estimation de la section moyenne de moules avec la méthode 1

	Strate à terre	Strate à la mer
<u>Estimation de <math>\bar{S}</math> par Strate</u>		
Poids de la Strate	0,207	0,793
Nombre de pieux échantillonnés	35	62
Section de moule moyenne $\bar{S}$	0,0344	0,0382
Variance de S	$1,450 \cdot 10^{-4}$	$1,091 \cdot 10^{-4}$
Précision 95	11,81 %	6,94 %
<u>Estimation de <math>\bar{S}</math> dans le secteur étudié</u>		
$\bar{S}$	= 0,0374	
Var( $\bar{S}$ )	= $0,0128 \cdot 10^{-4}$	
Précision 95	= 6,06 %	

Tableau 5 - Estimation de la section moyenne de moules avec la méthode 2.

Nombre de pieux échantillonnés	30
Densité en Kg/m <sup>3</sup> $\bar{D}$	632,39
Variance de D	133,735
Précision 95	3,66 %

Tableau 6 - Densité des moules

## 6. RESULTATS

Les calculs ont été réalisés en utilisant pour l'estimation de la section des moules la méthode 1 :

section moules = section totale - section pieux nus.

Les raisons de ce choix sont expliquées dans le chapitre sur l'optimisation.

B = 3928 t + 793 t  
(Strate à la mer) (Strate à terre)

Soit au total : 4722 tonnes

Var (B) =  $11,01 \cdot 10^{10}$

Précision 95 = 14,05 %

## 7. OPTIMISATION

### 7.1. Rappel de la stratégie utilisée

La méthode employée a les caractéristiques suivantes :

a - Objectif : estimation du poids total de moules dans le secteur concerné.

b - Stratégie globale : estimations successives et indépendantes des principales composantes de ce poids (sauf hauteurs et nombre de pieux dans la strate à la mer).

c - Plans d'échantillonnage : stratification pour la plupart des paramètres avec EAS dans chaque strate (sauf hauteurs dans la strate à la mer où un échantillonnage à 2 degrés a été effectué).

d - Effort d'échantillonnage

Nombres : 1 marée (environ 5 heures de mer/3 personnes)  
Hauteurs : 2 marées  
Sections : 2,5 marées  
Densités : 1,5 marée

Cette méthode a permis d'obtenir une précision d'environ 14 %.

## 7.2. Objets et principes de l'optimisation

L'optimisation de la méthode peut s'appliquer à chacune des caractéristiques précédentes.

### a - Objectif

Il peut être envisagé une évaluation de volume et non de poids comme indicateur de charge, ce qui éviterait la mesure des densités et supprimerait donc tout prélèvement.

### b - Stratégie globale

Il est évident que l'évaluation successive des différents paramètres a un rapport temps de déplacement sur temps de mesure très défavorable. Elle sera donc remplacée dans l'optimisation par une évaluation simultanée (au cours du même parcours entre lignes et bouchots).

Concernant l'indépendance entre estimation des paramètres, 2 cas seront étudiés :

- tirages indépendants de tous les paramètres,
- évaluation sur les mêmes bouchots du nombre de pieux par bouchot et de la hauteur moyenne d'un pieu dans le cadre d'un tirage à deux degrés. Ce lien se traduit par un gain de temps permettant d'augmenter le nombre d'unités échantillonnées, mais par une perte de précision à nombre égal.

### c - Plan d'échantillonnage

La stratification avec allocation d'effort à peu près proportionnelle à la taille des strates qui a été pratiquée aboutit normalement à une meilleure précision qu'un échantillonnage aléatoire simple étant donné les différences entre les moyennes des paramètres dans chacune des 2 strates (COCHRAN 1977).

Elle comporte cependant une contrainte : Le nombre d'unités d'échantillonnage dans la strate la plus petite doit dépasser 30 pour que l'approximation par la loi Normale soit valable. Cette contrainte peut entraîner une dépense de temps qui aurait pu être utilisée avec autant ou plus de profit, en termes de précision, en augmentant l'effectif global dans un E.A.S. L'utilité de la stratification sera donc examinée.

Cette même raison a conduit à ne pas stratifier pour l'estimation des densités (30 mesures au total).

Dans l'échantillonnage à 2 degrés des hauteurs, le nombre optimum d'unités de second degré à échantillonner sera estimé séparément, ce nombre n'étant pas fonction du coût total ou de la précision totale souhaitée.

Les 2 méthodes d'estimation de la section nette de moules seront comparées à coût égal.

### d - Effort d'échantillonnage

La stratégie globale et les plans d'échantillonnage étant définis, l'optimisation de l'effort d'échantillonnage consistera à déterminer, pour une précision souhaitée, la combinaison d'efforts élémentaires (pour chaque paramètre, par strate) qui minimise le coût total.

Ceci étant fait pour différentes précisions permet d'obtenir la courbe Précision = fonction (Coût) dont dépendra le choix de l'effort ou coût à consentir.

La méthode utilisée est celle du multiplicateur de Lagrange (MARTEL 1979).

Nous présenterons dans le paragraphe 7.3 l'optimisation du nombre d'unités du second degré (hauteurs de moules ici) réalisable séparément. L'optimisation du nombre à échantillonner pour les autres paramètres ne peut être réalisée que globalement (paragraphe 7.4). L'établissement des formules n'est détaillé que dans le cas d'estimations indépendantes et de contrainte unique portant sur la précision. Les résultats numériques sont présentés dans les tableaux finaux et discutés.

### 7.3. Optimisation partielle : nombre d'unités de second degré

Le nombre optimum de pieux à mesurer par bouchot peut s'écrire (COCHRAN 1977) :

$$mopt = \frac{s^2}{\sqrt{s^2_b - s^2_2/m'}} \sqrt{C_1/C_2}$$

avec  $s^2_b$  variance inter-bouchots pondérée  
 $s^2_2$  variance intra-bouchots pondérée  
 $C_1$  temps de trajet le long du bouchot pour inventaire et repérage des pieux  
 $C_2$  temps d'amarrage (30 sec) + mesure (20 sec)  
 $m'$  nombre de pieux par bouchot (pré-échantillon)

Application numérique :

$s^2_b = 0,24$   
 $s^2_2 = 0,13$   
 $m' \approx 3$   
 $C_1 = 1,5$   
 $C_2 = 0,83$

$mopt = 1,46$  soit  $mopt = 1$

### 7.4. Optimisation globale

#### 7.4.1. Estimations indépendantes des différents paramètres (nombre, hauteur, section, densité)

La fonction de coût à minimiser peut s'écrire :

$$C = l + n_{M1}.C_M + n_{M2}.C_M + n_{h1}.C_h + n_{h2}.C_h \\ + n_{t1}.C_s + n_{t2}.C_s + n_{p1}.C_s \\ + n_{p2}.C_s + n_D.C_D$$

$$C = l + \sum n_i C_i \text{ en notation abrégée}$$

avec :

C : coût total une fois rendu sur le secteur  
 l : temps de trajet entre les lignes  
 nm1, nm2, nh1, nh2, nt1, nt2, np1, np2, nd : nombres d'unités d'échantillonnage dans les strates 1 ou 2 (bouchots, pieux, sections totales, sections pieux nus, densités).  
 Cm, Ch, Cs, Cd temps de mesure des différents paramètres (nombre, hauteur, section, densité), depuis l'inter-ligne.

Ce temps de travail sur place C doit être un multiple du temps de travail maximum par marée (le temps de trajet optimisé restant à peu près le même quel que soit le nombre de marées) :  $C = k u$

L'estimation du poids total de moules étant :

$$B = \left[ N_1 \cdot \overline{M_1} \cdot \overline{h_1} (\overline{S_{t1}} - \overline{S_{p1}}) + N_2 \cdot \overline{M_2} \cdot \overline{h_2} (\overline{S_{t2}} - \overline{S_{p2}}) \right] \overline{D}$$

$$B = V \cdot \overline{D} \quad (V \text{ volume net de moules})$$

La contrainte de précision s'écrira :

$$p^2 = \frac{t^2}{B^2} \text{ var } B \quad (t \text{ variable de student } \approx 2)$$

avec

$$\begin{aligned} \text{Var } B = & (\overline{D} \cdot N_1 \cdot \overline{h_1} \cdot \overline{S_1})^2 \text{ var } M_1 / nm_1 + \text{idem Strate 2} \\ & + (\overline{D} \cdot N_1 \cdot \overline{M_1} \cdot \overline{S_1})^2 \text{ var } h_1 / nh_1 + \text{idem Strate 2} \\ & + (\overline{D} \cdot N_1 \cdot \overline{M_1} \cdot \overline{h_1})^2 \text{ var } S_{t1} / nt_1 + \text{idem Strate 2} \\ & + (\overline{D} \cdot N_1 \cdot \overline{M_1} \cdot \overline{h_1})^2 \text{ var } S_{p1} / np_1 + \text{idem Strate 2} \\ & + V^2 \cdot \text{var } D / nd \end{aligned}$$

Les termes en produit de variance sont négligeables dès que le nombre échantillonné dépasse 30 environ.

En notant

$$\begin{aligned}
 a_{M1} &= \frac{N1 \overline{h1} \overline{S1} \overline{D}}{B} = \frac{B1 \overline{M1}}{B} \quad \text{Poids Strate 1/bouchot} \\
 a_{M2} &= \dots \\
 a_{h1} &= \frac{N1 \overline{M1} \overline{S1} \overline{D}}{B} = \frac{B1 \overline{h1}}{B} \quad \text{Poids Strate 1/mètre de pieu} \\
 a_{h2} &= \dots \\
 a_{t1} &= \frac{N1 \overline{M1} \overline{h1} \overline{D}}{B} = \frac{B1 \overline{S1}}{B} \quad \text{Poids Strate 1/m}^2 \text{ de section nette} \\
 a_{t2} &= \dots \\
 a_{p1} &= \frac{N \overline{M1} \overline{h1} \overline{D}}{B} = \frac{B1 \overline{S1}}{B} \\
 a_{p2} &= \dots \\
 a_D &= \frac{V}{B} = \frac{B \overline{D}}{B} \quad \text{Volume total moules}
 \end{aligned}$$

On obtient

$$p^2 = \frac{t^2}{B^2} \cdot \frac{a_{M1}^2}{n_{M1}} \cdot \text{var } M + \dots + \frac{t^2}{B^2} \cdot \frac{a_D^2}{n_D} \cdot \text{var } D$$

$$p^2 = \frac{t^2}{B^2} \sum_i \frac{a_i^2 \text{ var } i}{n_i}$$

#### 7.4.1.1 Contrainte unique : précision donnée

La fonction L à minimiser sera :

$$L(n_i, \lambda, p^2) = C(n_i) + \lambda [p^2(n_i) - p^2]$$

Les solutions de  $n_i$  s'obtiennent en annulant les dérivées partielles de L par rapport à  $n_{M1} \dots n_D$ , et  $\lambda$ . On obtient :

$$n_i = \frac{t}{B} \frac{a_i s_i}{\sqrt{\lambda C_i}}, \quad \text{avec } \sqrt{\lambda} = \frac{t}{p^2 \cdot B} \sum a_i s_i \sqrt{C_i} \quad (s_i = \text{écart-type})$$

soit

$$n_{i \text{ opt}} = \frac{1}{p^2} \frac{t^2}{B^2} (\sum a_i s_i \sqrt{C_i}) \frac{a_i s_i}{\sqrt{C_i}} \quad (1)$$

Ceci est la combinaison de  $n_i$  de coût minimum aboutissant à la précision  $p^2$ .

En reportant ces valeurs de  $n_{i \text{ opt}}$  dans l'équation de coût, on obtient :

$$P = \frac{t}{B} \frac{\sum a_i s_i \sqrt{C_i}}{\sqrt{u_k - 1}} \quad (2)$$

Ceci représente la courbe finale Précision = fonction (nombre de marées k).

L'allocation optimale de l'effort d'échantillonnage entre les strates et les paramètres, exprimée en fonction de la précision en (1), peut s'écrire en fonction du nombre de marées k :

$$n_{i\text{opt}} = (uk - 1) \frac{a_i s_i / \sqrt{C_i}}{\sum a_i s_i \sqrt{C_i}} \quad (3)$$

#### 7.4.1.2 Contraintes supplémentaires sur certains effectifs

En rajoutant des contraintes sur certains effectifs, telle que  $n_i = 30$ , les équations deviennent :

$$C - 1 = ku - 1 = \sum_{\substack{iv \\ \text{nombre} \\ \text{variables}}} n_{iv} C_i + \sum_{\substack{if \\ \text{nombre} \\ \text{fixés}}} n_{if} C_i$$

$$p^2 = \frac{t^2}{B^2} \sum_{iv} \frac{a^2_i s^2_i}{n_{iv}} + \frac{t^2}{B^2} \sum_{if} \frac{a^2_i s^2_i}{n_{if}}$$

$$= p^2_v + p^2_f$$

Précision en fonction du nb de marées k

$$p^2 = p^2_f + \frac{t^2}{B^2} \frac{(\sum_{iv} a_i s_i \sqrt{C_i})^2}{(ku - 1 - \sum_{if} n_{if} C_i)}$$

Allocation des  $n_i$  variables en fonction de k

$$n_{iv} = (ku - 1 - \sum_{if} n_{if} C_i) \frac{a_i s_i / \sqrt{C_i}}{\sum_{iv} a_i s_i \sqrt{C_i}}$$

Le tableau 1 résulte d'une optimisation sans contrainte. Dans les autres tableaux, les nombres dans la Strate 2 et les nombres de densités sont fixés à 0 ou 30.

#### 7.4.2 Tirages non indépendants

L'optimisation présentée jusqu'ici suppose que les nombres de pieux, les hauteurs, les sections et les densités soient mesurés sur des bouchots et des pieux tirés indépendamment, et donc pour la plupart différents.

On peut être tenté de gagner du temps en réalisant une partie de ces estimations sur les mêmes bouchots et les mêmes pieux (échantillonnage à 2 ou 3 degrés). Dans cette hypothèse, les variables ne sont pas indépendantes, ce qui conduit à une perte de précision, à nombres échantillonnés égaux. Pour savoir si cette perte est compensée par l'augmentation du nombre échantillonné, il faut résoudre le système d'équations de Lagrange avec de nouvelles équations des coûts et des variances prenant en compte la liaison entre variables.

La seule corrélation connue étant celle entre le nombre de pieux et les hauteurs dans la strate 1, c'est le seul cas qui sera étudié, dans les tableaux 9 bis et 9 ter. Dans les formules, la variable unique  $\bar{H}$  remplace les 2 variables  $\bar{M}$  et  $\bar{h}$ , avec

$$\bar{H} = \bar{M} \bar{h}$$

$$\text{var } \bar{H} \approx \text{var } H/n_H$$

$$C_H = C_M + m.C_h$$

$$a_{H1} = N1.S1.D = B1/H1$$

#### 7.4.3 Résultats numériques - Discussion

Les données numériques et les résultats de l'optimisation figurent dans les tableaux suivants :

Stratification	+	+	+	+	+	-	-	-	
Méthode sections	1	1	1	1	1	1	1	2	
Estim. indép.	+	+	+	-	-	+	+	+	
Nb pieux/bouchot				1	2				
$n_{2i} = 30$ et $n_p = 30$	-	+	-	+	+	+	+	+	
$n_p = 0$	-	-	+	-	-	-	-	-	
$n_p = 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	
n° Tableau	Données numériques	7	7	7	7bis	7ter	11	11bis	11ter
	Optimisations	8	9	10	9bis	9ter	12	12bis	12ter

#### 7.4.3.1 Méthodes de mesure des sections (Tableaux 12, 12 bis, 12 ter)

En 4 marées, la méthode 1 aboutit à une précision de 10,9 % contre 10,4 % pour la méthode 2. Cependant, si on considère que les pieux nus peuvent être mesurés à coût nul (à l'occasion d'autres sorties), la précision de la méthode 1 passe à 10,3 % du fait de l'augmentation du nombre d'unités des autres paramètres échantillonnés.

Nous préconisons donc d'estimer les sections de moules par la méthode 1 dans laquelle les sections de pieux nus sont estimées séparément. En outre, sur le plan pratique, cette méthode est plus simple.

#### 7.4.3.2 Stratification

Le tableau 8 montre qu'il faudrait un très grand nombre de marées pour que tous les effectifs optimisés sans contrainte atteignent au moins 30. En conséquence, le nombre d'unités dans la strate 2 ainsi que le nombre de densités doit être fixé à 30.

Dans ces conditions le tableaux 12 comparé au tableau 9 montre qu'il est légèrement préférable de garder les 2 strates.

#### 7.4.3.3 Indépendance

La comparaison des tableaux 9 et 9 bis montre qu'il aurait été préférable, en mesurant un seul pieu par bouchot, de choisir ce pieu sur les mêmes bouchots que ceux dénombrés. Cependant, un EAS de pieux indépendant du tirage de bouchots à dénombrer redevient préférable, si on s'impose 2 pieux par bouchot dans le tirage à 2 degrés (Tab. 9 ter).

#### 7.4.3.4 Densité

Pour un objectif de précision de 10 %, l'effort d'échantillonnage passe de 4 marées à 3 marées si on ne mesure pas les densités (cf tableaux 9 et 10).

### 7.5 Conclusion

La meilleure stratégie pour ce secteur serait très probablement de lier les 3 variables M, h, S par un tirage à 3 degrés :

- tirage de bouchots pour comptage de pieux ;
- tirage d'un pieu de chacun de ces bouchots pour mesure de hauteur ;
- sur ce pieu, mesure de 3 circonférences totales.

Le lien entre ces variables pourra être mesuré et introduit dans les calculs (terme en covariance), mais peut être présumé suffisamment faible pour que le gain de temps résultant ne se fasse pas au préjudice de la précision.

TAB.7 : DONNEES NUMERIQUES/ 2 STRATES/ INDEPEND.

		$s^2_i$	$a_i$	$nif$	$ci$
N <sub>1</sub>	750				
M <sub>1</sub>	105,22	654	36765		1,5
h <sub>1</sub>	2,093	0,247	1848268		1,4
St <sub>1</sub>	0,051	0,000119	104552037		1,24
Sp <sub>1</sub>	0,014	0,0000214	104552037		1,24
N <sub>2</sub>	337				
M <sub>2</sub>	61,2	553	13468		1,5
h <sub>2</sub>	1,809	0,184	455628		1,4
St <sub>2</sub>	0,0475	0,000168	23616939		1,24
Sp <sub>2</sub>	0,0126	0,0000117	23616939		1,24
D	633	134	7413		4,24
V	7413,3594				
B	4692656,5				
u	180				
l	60				

TAB.8 : OPTIMISATION SANS CONTRAINTE : 2 STRATES

Nb MAREES	1	2	3	4	5
PRECISION	0,205	0,130	0,102	0,987	0,077
nm1	17	44	70	96	122
nh1	18	44	71	97	124
nt1	23	58	93	128	163
np1	10	25	40	54	69
nm2	6	14	23	32	40
nh2	4	9	15	21	26
nt2	6	16	25	34	44
np2	2	4	7	9	12
nd	1	2	4	5	7

TAB.9 : OPTIMISATION  $n_D=30/ n_{i2}=30$

Nb MAREES	1	2	3	4	5
PRECISION	IMPOSS.	0,512	0,130	0,097	0,083
nm1		2	36	70	105
nh1		2	37	71	106
nt1		3	48	94	140
np1		1	21	40	59
nm2		30	30	30	30
nh2		30	30	30	30
nt2		30	30	30	30
np2		30	30	30	30
nd		30	30	30	30

TAB.10 : OPTIMISATION/ sans D/ ni2=30

Nb MAREES	1	2	3	4	5
PRECISION	IMPOSS.	0,151	0,104	0,086	0,076
nm1		26	60	95	129
nh1		27	61	96	130
nt1		35	81	126	172
np1		15	34	54	73
nm2		30	30	30	30
nh2		30	30	30	30
nt2		30	30	30	30
np2		30	30	30	30
nd		0	0	0	0

TAB.7bis : DONNEES NUMERIQUES/ M1 et h1 liés/ m1=1

		s <sup>2</sup> i	ai	nif	ci
N1	750				
m1	1				
H1	200,65	4733	17566		2,33
St1	0,051	0,000119	95258588		1,24
Sp1	0,014	0,0000214	95258588		1,24
N2	337				
M2	61,2	533	13468	30	1,5
h2	1,809	0,184	455628	30	1,4
St2	0,0475	0,000168	23616939	30	1,24
Sp2	0,0126	0,0000117	23616939	30	1,24
D	633	134	6870	30	4,24
V	6870,1404				
B	4348798,9				
u	180				
l	60				

TAB.7ter : DONNEES NUMERIQUES/ M1 et h1 liés/ m1=2

		s <sup>2</sup> i	ai	nif	ci
N1	750				
m1	2				
H1	200,65	4733	17566		3,16
St1	0,051	0,000119	190517175		1,24
Sp1	0,014	0,0000214	190517175		1,24
N2	337				
M2	61,2	533	13468	30	1,5
h2	1,809	0,184	455628	30	1,4
St2	0,0475	0,000168	23616939	30	1,24
Sp2	0,0126	0,0000117	23616939	30	1,24
D	633	134	6870	30	4,24
V	6870,1404				
B	4348798,9				
u	180				
l	60				

TAB.9bis : OPTIMISATION/  $m_1$  et  $h_1$  liés/  $m_1=1$

Nb MAREES PRECISION	1 IMPOSS.	2 0,477	3 0,123	4 0,093	5 0,080
$n_{H1}$		3	43	84	125
$n_{t1}$		3	51	99	147
$n_{p1}$		1	22	42	62
$n_{M2}$		30	30	30	30
$n_{h2}$		30	30	30	30
$n_{t2}$		30	30	30	30
$n_{p2}$		30	30	30	30
$n_D$		30	30	30	30

TAB.9ter : OPTIMISATION/  $M_1$  et  $h_1$  liés/  $m_1=2$

Nb MAREES PRECISION	1 IMPOSS.	2 0,743	3 0,186	4 0,136	5 0,114
$n_{H1}$		1	24	46	69
$n_{t1}$		4	66	127	189
$n_{p1}$		2	28	54	80
$n_{M2}$		30	30	30	30
$n_{h2}$		30	30	30	30
$n_{t2}$		30	30	30	30
$n_{p2}$		30	30	30	30
$n_D$		30	30	30	30

TAB.11 : DONNEES NUMERIQUES/ EAS/ SECTIONS METH.1

		$s^2_i$	$a_i$	$n_{if}$	$C_i$
N	1087				
M	90,66	1098,91	50430		1,5
H	2,008	0,327	2276889		1,4
St	0,0508	0,00012	125260078		1,24
Sp	0,0143	0,0000207	125260078		1,24
D	633	134	7223	30	4,24
V	7222,7375				
B	4571992,8				
u	180				
l	60				

TAB.11bis : DONNEES NUM./SECT. METH.1/np1 coût nul

		s <sup>2</sup> <sub>i</sub>	ai	nif	ci
N	1087				
M	90,66	1098,91	50430		1,5
H	2,008	0,327	2276889		1,4
St	0,0508	0,00012	125260078		1,24
Sp	0,0143	0,0000207	125260078	50	0
D	633	134	7223	30	4,24
V	7222,7375				
B	4571992,8				
u	180				
l	60				

TAB.11ter : DONNEES NUMERIQUES/SECTIONS METH.2

		s <sup>2</sup> <sub>i</sub>	ai	nif	ci
N	1087				
M	90,66	1098,91	52088		1,5
H	2,008	0,327	2351745		1,4
S	0,0377	0,000128	125260078		1,57
D	633	134	7460	30	4,24
V	7460,1974				
B	4722304,9				
u	180				
l	60				

TAB.12 : DONNEES NUMERIQUES/ EAS/ SECTIONS METH.1

Nb MAREES	1	2	3	4	5
PRECISION	IMPOSS.	0,191	0,134	0,109	0,094
nm1		41	84	126	169
nh1		33	68	102	136
nt1		37	76	114	153
np1		15	31	47	63
nd		30	30	30	30

TAB.12bis : OPTIMISATION/ EAS/ SECT. METH.1/ np1 coût nul

Nb MAREES	1	2	3	4	5
PRECISION	IMPOSS.	0,174	0,124	0,103	0,091
nm1		46	94	142	190
nh1		37	76	115	136
nt1		42	85	128	153
np1		0	0	0	50
nd		30	30	30	30

TAB.12ter : OPTIMISATION/ EAS/ SECT. METH.2

Nb MAREES PRECISION	1 IMPOSS.	2 0,183	3 0,128	4 0,104	5 0,090
nm1		44	91	137	183
nh1		36	73	110	148
ns1		36	73	110	147
nd		30	30	30	30

## BIBLIOGRAPHIE

- COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques. 3rd Edition, Wiley and sons, New York, 413 p.
- HERRY P. et GRANRY E., 1982. L'offre française et communautaire des moules de pêche. FIOM, 2 documents 149 p. et annexes, 27 p.
- IFREMER, 1986. Evolution et état du cheptel ostréicole dans le bassin de Marennes-Oléron : intérêt d'une régulation. Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles, station de La Tremblade. 35 p. Rapport interne, DRV 86-06-AQ/TREM
- MARTEL A., 1979. Techniques et applications de la recherche opérationnelle. 2nd Edition, Gaëtan Morin

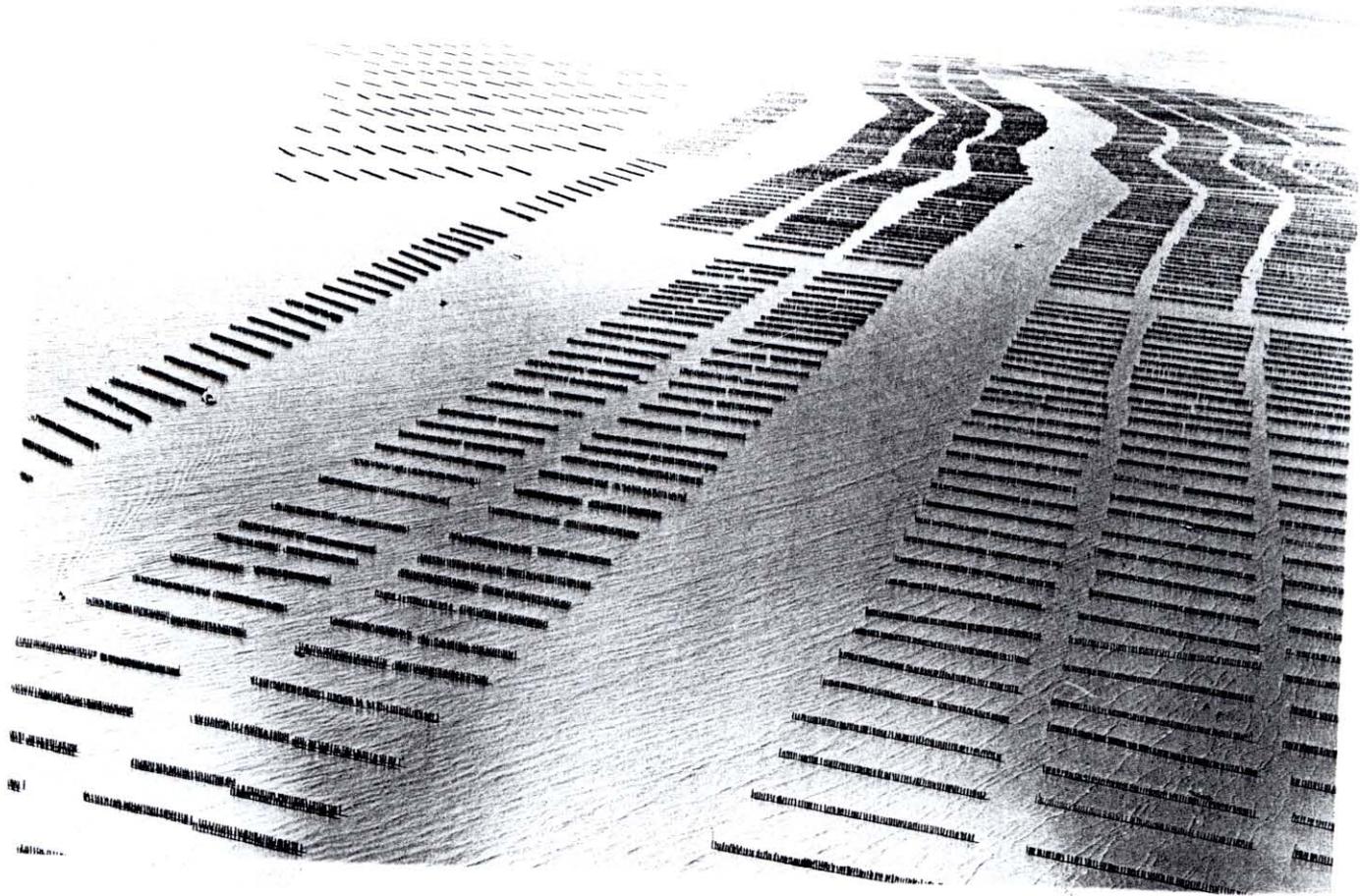


Fig. 1 - Vue aérienne de bouquets



Fig. 2 - Un bouquet

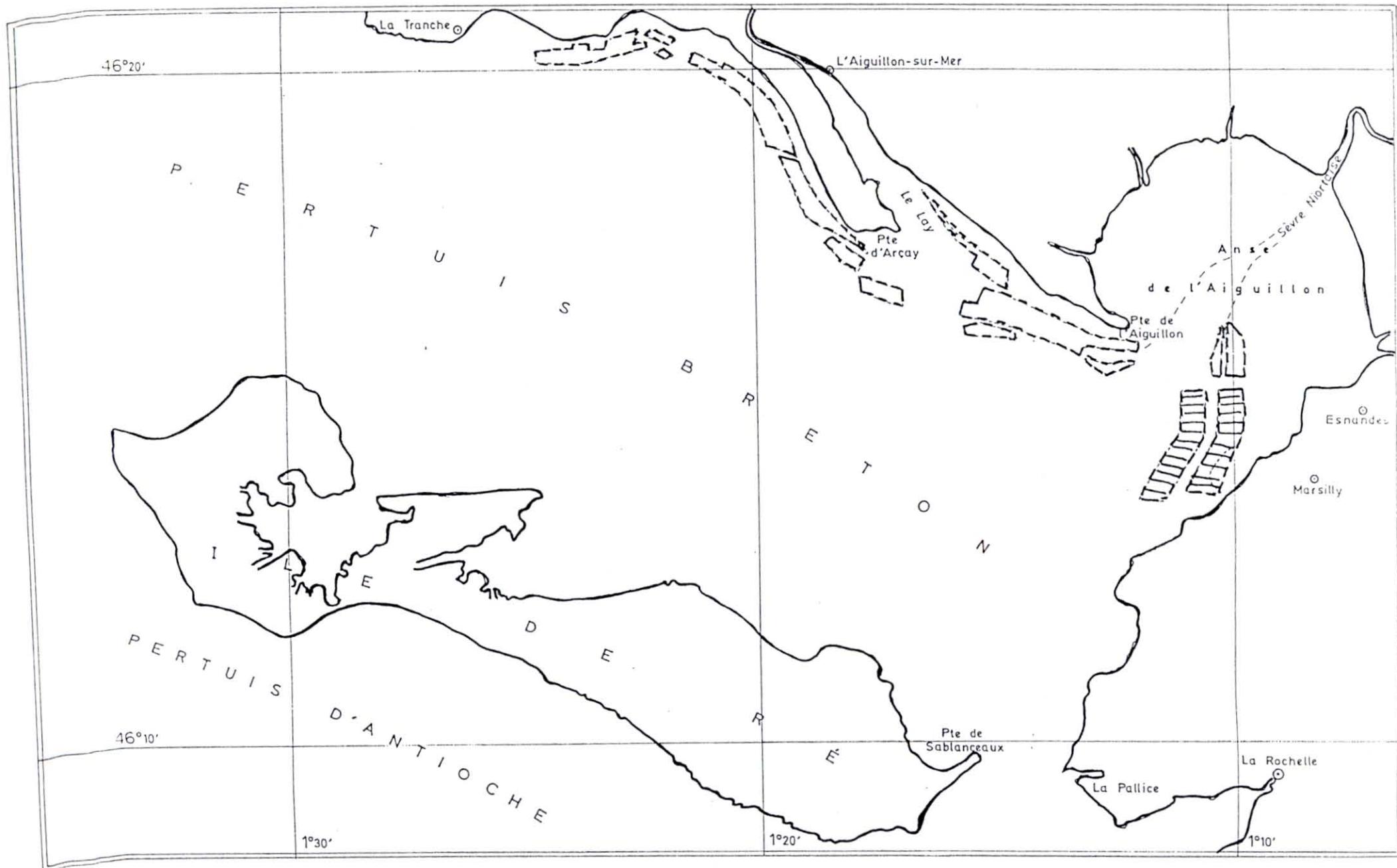
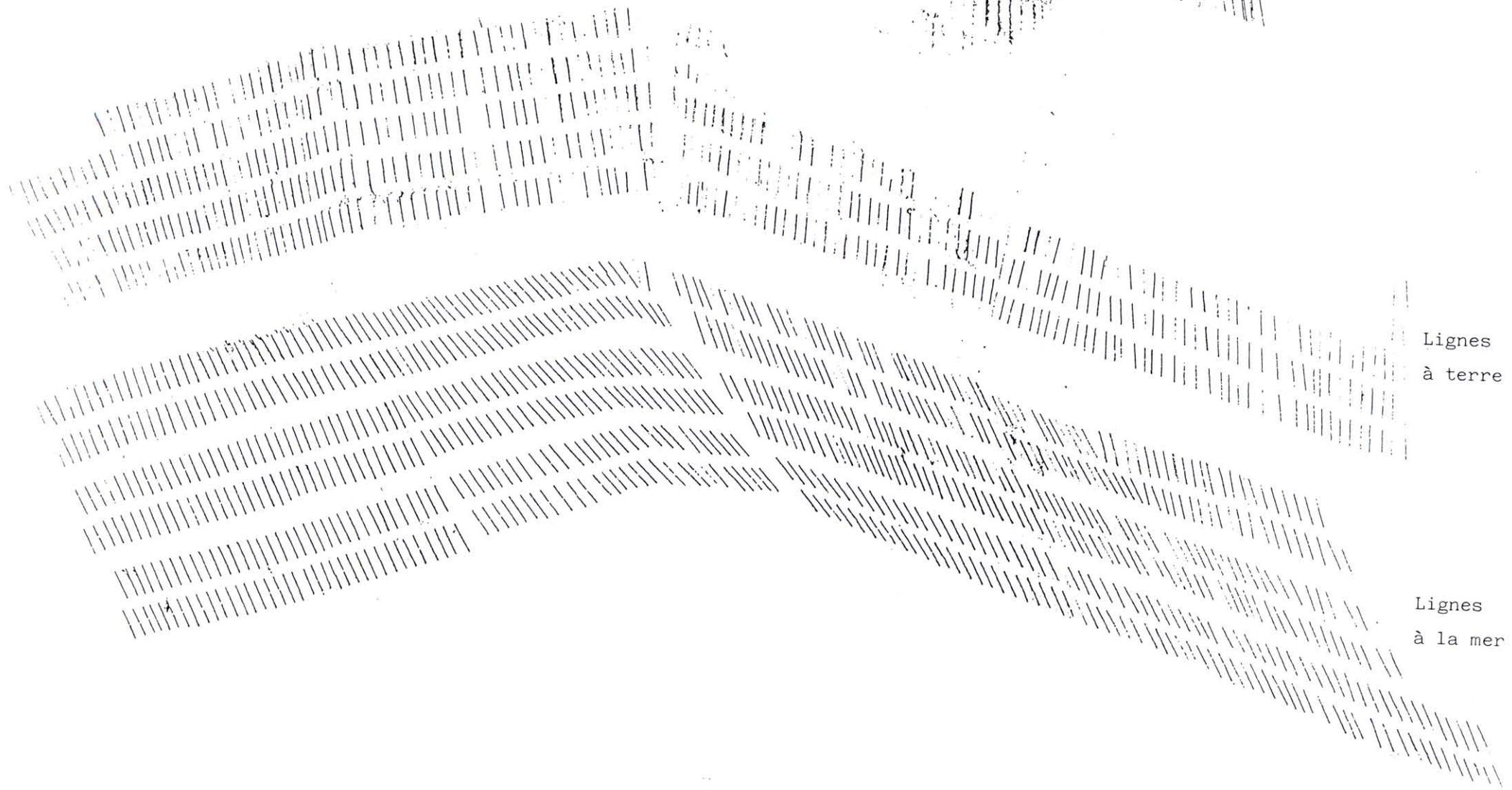


Fig. 3 - Emplacement des bouchots dans le Pertuis Breton



Lignes  
à terre

Lignes  
à la mer

Fig. 4 - Bouchots du Sud de la Passe d'Esnandes

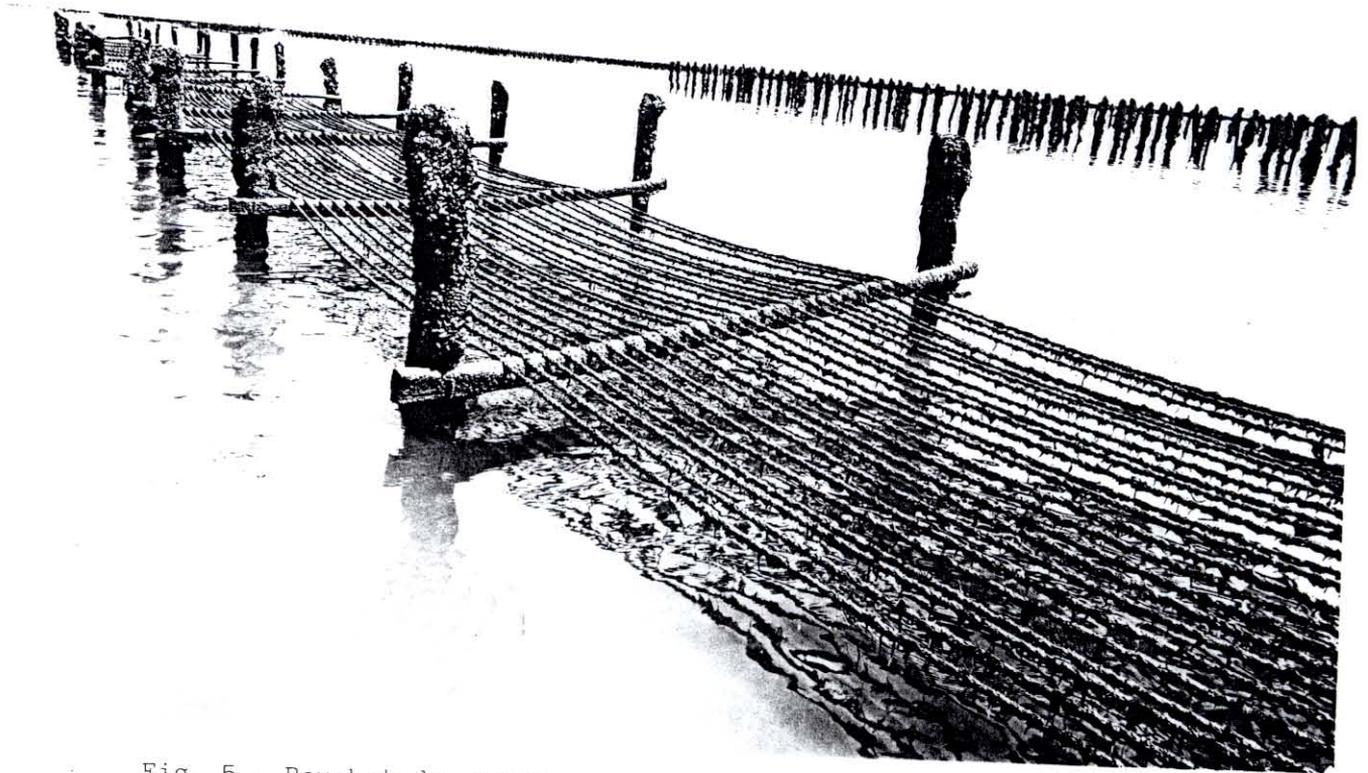


Fig. 5 - Bouchot de captage

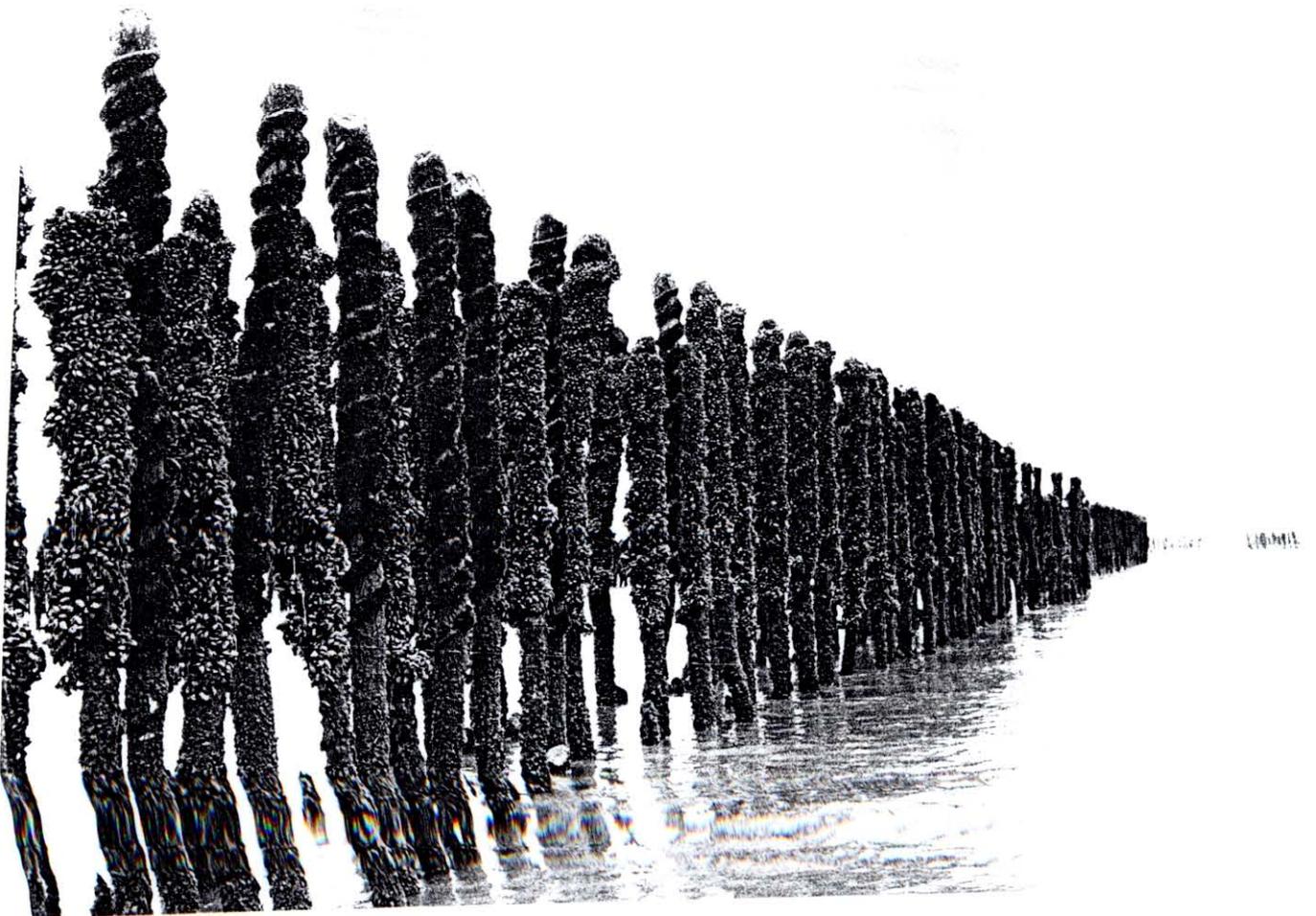


Fig. 6 - Colonisation des moules sur les pieux



Fig. 7 - Circonférence d'un pieu



Fig. 8 - Circonférence totale



Fig. 9 - Hauteur des moules



Fig. 10 - Pesée