



INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE SUD

Département Statistique et Traitement Informatique des Données



Ifremer

ESTIMATION DU STOCK DE MOULES SUR BOUCHOT DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL



*Rapport de stage de Denis GERARD
Encadré par Joseph MAZURIE (Ifremer)*

Année universitaire 2001-2002

Numéro d'identification du rapport : rapport de laboratoire DRV/RA/LCB/ /2002-001 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : J. Mazurié Version du document : 2 ^{ème} (première version limitée au jury)		date de publication juin 02 nombre de pages : 40 bibliographie (Oui) illustration(s) (Oui) langue du rapport : Fr
Titre et sous-titre du rapport : Estimation du stock de moules sur bouchots en baie du Mont Saint-Michel Titre traduit : Estimation of the biomass of mussels cultivated on « bouchots » in Mont Saint-Michel bay		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom GERARD Denis, stagiaire MAZURIE Joseph, maître de stage		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer / DRV/RA/LCB
Collaborateur(s) : nom, prénom		Organisme / Direction / Service, laboratoire
Travaux universitaires : diplôme : DUT informatique et statistique discipline : informatique et statistique établissement de soutenance : IUT Vannes année de soutenance : 2002		
Titre du contrat de recherche :		n° de contrat IFREMER
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Responsable scientifique :		
Cadre de la recherche : Programme : PNEC Baie du Mont Saint-Michel Convention : Projet : Autres (préciser) : Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		

Résumé :

Le stock de moules en place en avril 2002 sur les bouchots de la baie du Mont Saint-Michel a été estimé, en volume, en poids et en nombre. Pour ce faire, un plan d'échantillonnage a été conçu, mis en œuvre, puis optimisé, en prenant en compte la disposition spatiale du stock et les contraintes matérielles et humaines (en particulier le nombre de personnes et le nombre de jours de travail disponible). Ce plan utilise les procédés de stratification, échantillonnage par degrés, estimation par régression, afin d'obtenir la meilleure précision possible compte tenu du coût dédié à l'opération.

L'opération n'aurait pu être menée sans le concours actif des professionnels du secteur : elle a mobilisé un bateau et 5 personnes, une première journée, pour l'estimation du taux d'ensemencement (nombre et localisation des pieux garnis de moules). 14 équipes de 2 personnes ont ensuite arpenté l'ensemble du secteur, les 2 jours suivants, pour mesurer les hauteurs, circonférences, épaisseurs de moules in situ, et prélever 1 litre de moules par pieu sélectionné, (pour pesée et dénombrement).

L'estimation est de 3.4 milliards de moules à un poids moyen de 3.2 g, soit un poids total de 11000 tonnes (à 6% près selon les calculs de précision). Le rapport entre ce stock instantané et la production commerciale estimée à 10 000 tonnes les mois suivants (entre juin et décembre) devra être précisé.

Abstract :

The quantity of mussels cultivated on wooden poles called « bouchots », in Mont Saint-Michel bay, has been estimated in april 2002, by volume, number and weight. To do so, a sampling strategy has been conceived, operated and then optimized, taking into account the spatial distribution of this stock and the material and human constraints (especially the amount of persons and working days available). The sampling plan uses procedures of stratification, degrees, regression, so as to reach the optimum precision related to cost.

The operation took a great advantage of the efficient help of mussel farmers. During the first day, the task consisted to estimate the number and position of poles occupied by mussels, with the help of 5 persons on boat. The following 2 days, 14 persons walked through the entire area, to estimate mussels volumes in situ and sample one liter on selected poles, for number and weight subsequent estimations.

As a whole, around 3.4 billions of mussels, with a mean weight of 3.2 grams, were estimated at that time, weighing more than 11 000 tons. The relation between this instant stock and the next commercial production remains to be precised.

Mots-clés : moules, stock, bouchot, biomasse, échantillonnage, Mont Saint-Michel.

Keywords : mussels, stock, biomass, sampling, Mont Saint-Michel

Commentaire :

Merci à l'accueil de l'ensemble des personnes de la station de l'Ifremer, notamment mon maître de stage Joseph Mazurié. Une pensée particulière pour les personnes avec lesquelles j'ai pu déjeuner tous les jours dans la bonne humeur.

Trinité sur-mer, juin 2002

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	
5		
2	CONTEXTE	
7		
2.1	L'Ifremer	7
2.2	Présentation du site	7
2.3	Les techniques mytilicoles	8
2.4	Historique de la mytiliculture en baie du mont St Michel	9
3	LE PLAN D'ECHANTILLONNAGE	
10		
3.1	Décomposition des facteurs à estimer	10
3.2	Stratégie d'échantillonnage	10
3.2.1	Choix des variables à estimer	11
3.2.2	Choix de l'unité statistique	11
3.2.3	La stratification	11
3.2.4	Echantillonnage par degré (à l'intérieur de chaque strate)	12
3.3	Le tirage des différentes unités statistiques	13
3.3.1	Le nombre de pieux à échantillonner	13
3.3.2	Tirage aléatoire des pieux	13
3.3.3	Tirage du deuxième et troisième degré	15
3.3.4	Tirage des densités	15
4	LA MISSION EN BAIE DU MONT ST MICHEL	
16		
4.1	Le matériel	16
4.2	Le plan humain	16
4.3	Déroulement de la mission	16

5	EXPLOITATION DES RESULTATS
17	
5.1 Redéfinition des strates	17
5.2 Les calculs au sein d'une strate	17
5.2.1 Au niveau d'un pieu	17
5.2.2 Au niveau de la strate	19
5.3 L'extrapolation	22
5.3.1 Choix de la régression :	22
5.3.2 Résultats de la régression :	23
5.3.3 Le nombre volumique :	24
5.3.4 Récapitulatif des résultats	25
5.4 Résultats toutes strates	26
5.4.1 Le stock total :	26
5.4.2 Les stocks par plan :	27
5.5 Analyse multivariable	28
5.5.1 Analyse des corrélations entre les variables	29
5.5.2 Représentation sur les axes	29
6	L'OPTIMISATION
31	
6.1 Efficacité de la stratification	31
6.2 Nombre optimum d'échantillons par strate	32
6.3 Le nombre optimum de sections	33
7	CONCLUSION
35	
8	BIBLIOGRAPHIE
36	
9	TABLES
37	

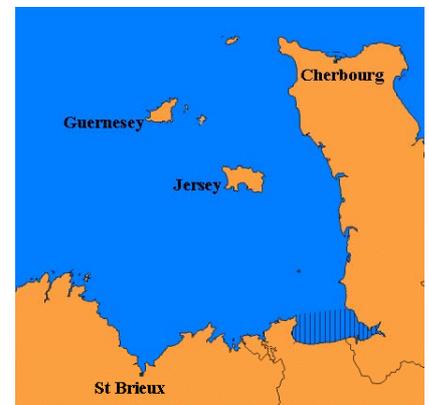
1 INTRODUCTION

L'intitulé de l'étude peut paraître un peu trivial pour les personnes extérieures au milieu marin et/ou statistique. Cette étude s'inscrit dans le cadre du **PNEC** (Programme National Environnement Côtier) qui s'intéresse à la capacité trophique du site atelier de la Baie du Mont St Michel. Elle va donc contribuer à cet objectif en estimant le stock d'un groupe consommateur : les moules. L'Ifremer La Trinité-sur-mer a en charge en particulier l'estimation du stock et la croissance des huîtres et des moules.

La Baie du Mont St Michel est le premier centre mytilicole de France mais les données concernant la production, le stock et la croissance des moules restent imprécises.

Les études de *Paraire* (1983) et *Gerla* (1990) ont évalué la production totale annuelle à 10 000 tonnes environ, mais elles s'appuient sur des questionnaires auprès des professionnels et sur les données fournies par les syndicats mytilicoles.

Pour notre part, nous mettons en oeuvre des estimations directes sur le terrain du stock de moules et de sa croissance, globalement et entre les différentes zones de production (en particulier la gradation ouest-est mise en valeur par *Gerla*, mais aussi la différence terre-mer estimée par les professionnels.)



Carte 1 : Localisation de la baie du Mont St Michel

Pour cette nouvelle étude, nous avons procédé à un échantillonnage. Cela a nécessité l'établissement d'un **plan de sondage** efficace, c'est à dire et permettant d'obtenir une bonne précision (strate, nombre de degré...) au moindre coût (temps, nombre de personnes mobilisées...). Dans le même temps, nous avons pris une part active à l'organisation de la mission dans la baie du Mont St Michel (sur 3 jours), tant pour la mobilisation des moyens humains que de l'organisation matérielle.

Une estimation, en parallèle, de la **croissance des moules** doit débiter au mois de juin pour une durée de 18 mois (cycle des moules : schéma 2 p10). Elle sera évoquée ici brièvement dans la mesure où le tirage des pieux et leur marquage sur le terrain sont réalisés conjointement à l'estimation des stocks.

Pour l'archivage et l'exploitation des données recueillies lors de cette mission, nous pensions utiliser une base de donnée *Access* qui aurait fourni un cadre plus élaboré pour l'accueil des estimations des années à venir. Après réflexion, la réalisation de ce logiciel paraissait assez fastidieuse car il devait s'adapter à différents plan de sondage susceptibles d'être optimisés, et donc modifiés. De plus, les capacités et la souplesse d'*Excel* et de *Statbox* nous ont paru tout à fait adaptées à l'analyse des données de l'étude projetée.

Enfin, après l'analyse des résultats et leur comparaison aux diverses études déjà réalisées ainsi qu'aux chiffres rapportés par les Affaires maritimes et les syndicats mytilicoles, nous essayerons de mettre en place une optimisation de l'échantillonnage en prévision du renouvellement de cette étude l'année prochaine.

Ci-dessous le déroulement général du stage :

Date	Activité
Du 2 au 23 avril	Mise en place du plan d'échantillonnage Organisation du matériel requis lors du recueil des données
Du 24 au 26 avril	Mission en baie du Mont Saint-Michel Recueil des données
Du 29 avril au 17 mai	Traitement des données Analyse des données
Du 21 au 31 mai	Rédaction du rapport Optimisation du plan d'échantillonnage
Du 3 au 7 juin	Rédaction du rapport

Tableau 1 : Déroulement du stage

2 CONTEXTE

2.1 L'IFREMER

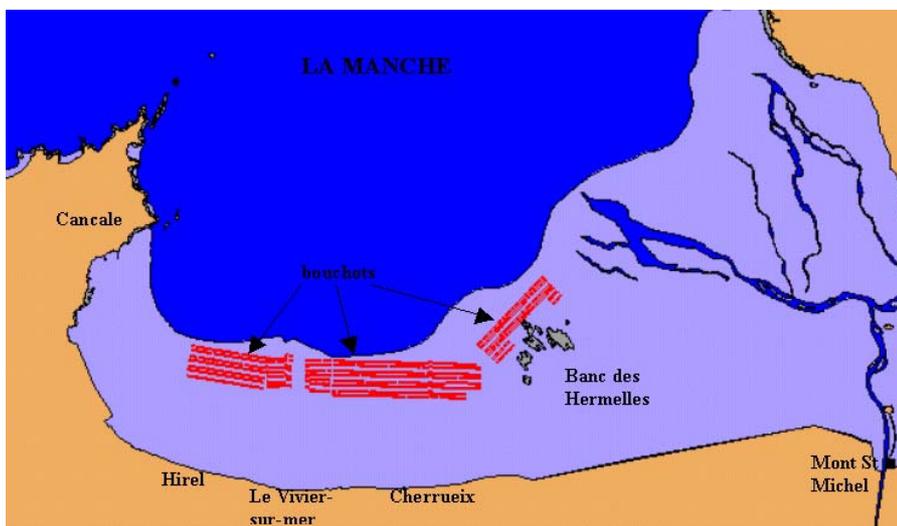
L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer a été créé par un décret du 5 juin 1984. Résultat de la fusion de CNEXO (Centre National d'Exploitation pour les Océans) et de l'ISTPM (Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes), cet organisme est placé sous la tutelle de différents ministères (Recherche, Agriculture, Equipement...). L'Ifremer gère un budget de près de 150 millions d'euros provenant essentiellement de l'Etat, mais aussi de ressources propres générées par son statut d'EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial). Cet organisme dispose de 24 stations (France plus Dom-Tom) rattachés à cinq centres.

La station de La Trinité-sur-Mer, sous la tutelle du centre de Brest, comporte deux laboratoires : la DEL (Direction de l'Environnement Littoral) et le DRV/RA (Département des Ressources Aquacoles), laboratoire qui m'accueille pour mon stage.

2.2 PRESENTATION DU SITE

La baie du Mont St Michel, située dans le Sud Est du golfe Normano-Breton, est une baie sédimentaire. Cette indentation dont la zone intertidale* très développée (250 km²) atteint dans sa plus grande largeur 20 kilomètres et subit le plus fort marnage* d'Europe (15 m en vive eau d'équinoxe).

La situation abritée ainsi que les sols stables de la partie occidentale de la baie ont favorisé le développement de la pêche et de la conchyliculture*. Toutefois, si l'ostréiculture* a commencé très tôt par l'exploitation des gisements d'huîtres plates, la mytiliculture* est une activité récente. Trois zones de bouchots* sont présentes dans la baie : à l'ouest la zone St Benoît, au centre celle de Cherruix et enfin à l'est le banc des Hermelles.



Carte 2 : Localisation des bouchots dans la baie du mont St Michel

2.3 LES TECHNIQUES MYTILICOLES

Sur ce site, la mytiliculture repose sur l'exploitation de la seule espèce *Mytilus edulis*. Le renouvellement des générations n'est pas possible dans la Baie du Mont St Michel car le captage de naissain n'est pas réalisable dans cette baie.

Cette absence de naissain oblige les professionnels à s'en procurer sur la côte atlantique (à Noirmoutier, l'île de Ré, Oléron ...). Le naissain est capté en mars-avril, et transporté sur des cordes en coco puis stocké sur des structures horizontales d'attente (chantier) vers le mois de mai, pour une période d'adaptation de quelques semaines au nouvel environnement.

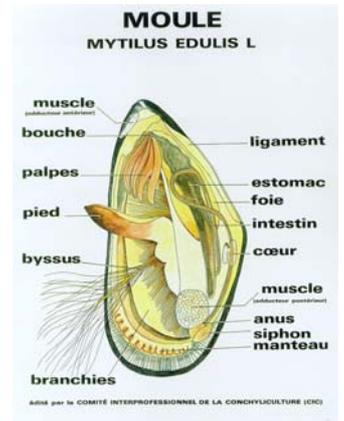


Schéma 1 : Anatomie d'une moule



Photo 1 : bouchots

Un bouchot est constitué par une ligne d'une centaine de pieux*.

Ces naissains sont ensuiteensemencés sur les pieux à partir du mois de juin. Ils seront récoltés entre septembre et décembre l'année suivante. (cf. schéma 2). Cet ensemencement annuel, suivi d'une période de 18 mois d'élevage conduit à une période sans cohabitation des 2 cohortes (1 seule classe d'âge entre janvier et juin), d'où le choix d'avril pour la date d'estimation des stocks.

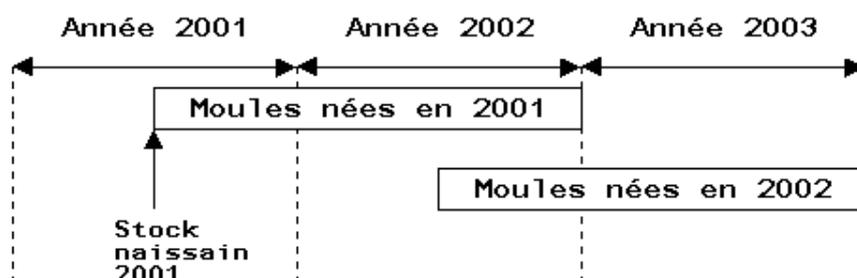


Schéma 2 : Cycle de culture des moules

2.4 HISTORIQUE DE LA MYTILICULTURE EN BAIE DU MONT ST MICHEL

Le développement de la mytiliculture en Baie du Mont Saint-Michel (détail en annexe p5) a été tardif par rapport à l'ostréiculture ; l'installation des premiers bouchots débute en 1954. L'activité est rentable et le nombre de bouchots ne cesse de croître.

Mais à partir de 1970 la production chute régulièrement du fait d'une infestation chronique des moules par un parasite : *Mytilicola*. Le syndicat mytilicole du Vivier-sur-mer demande donc que soient prises des mesures tendant à diminuer les concentrations des pieux, à geler toutes les créations et interdire le clayonnage*. Ainsi, les normes passent de 200 pieux par bouchots à 180 ou 150.

Suite à la crise du début des années 1970, on réalise un premier transfert en 1975, c'est à dire la suppression de bouchots du Vivier-sur-mer et la création, en contrepartie, de nouvelles lignes à l'est du banc des Hermelles. Malgré un second transfert en 1980 (concernant les mêmes zones), le *Mytilicola* est toujours présent et réduit de moitié la production en 1983-1984.

Le syndicat mytilicole réagit et demande, dans un premier temps le respect des règlements en vigueur (la hauteur des pieux était souvent de 3 m au lieu de 2) et dans un second temps un éclaircissement des bouchots. Ainsi en 1985, les bouchots ne doivent plus comporter que 110 pieux à l'exception du banc des Hermelles (moins touché par le parasite et plus productif) qui peut comporter jusqu'à 160 pieux. A titre de compensation deux lignes supplémentaires sont créées au large de St Benoît et de Cherrueix.

3 LE PLAN D'ECHANTILLONNAGE

3.1 DECOMPOSITION DES FACTEURS A ESTIMER

Notre stratégie d'échantillonnage est proche de celle utilisée par *Mazurié*, en 1987, lors de l'estimation de la biomasse de moules dans le Pertuis Breton. Dans cette étude l'évaluation de la biomasse s'appuyait sur la partition du stock de moules en pieux, mais proposait une solution pour éviter de prélever la charge en moules de pieux entiers, en la décomposant en le produit d'un volume par un poids volumique (pressenti comme moins variant et surtout estimable sur un sous-échantillon du pieu). Les mesures effectuées sur un pieu étaient alors la hauteur, la section de moule et la densité de moules.

Comme nous voulons obtenir les estimations de volume, de poids mais aussi de nombre, nous avons rajouté le nombre volumique de moules, ce qui nécessite le comptage des moules des échantillons prélevés, de volume connu.

Les estimations de la quantité de moules sur un pieu reposent sur les trois formules élémentaires suivantes :

$$\text{Volume de moules} = \text{section moy. de moules} \times \text{hauteur de moules} \quad (1)$$

$$\text{Poids de moules} = \text{volume} \times \text{densité (ou masse volumique)} \quad (2)$$

$$\text{Nombre de moules} = \text{volume} \times \text{nombre volumique} \quad (3)$$

Une section de moule est la surface d'une tranche de moule autour du pieu à un niveau donné.

3.2 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Pour l'établissement d'un plan de sondage, plusieurs stratégies sont possibles, de la plus simple (échantillonnage aléatoire simple) à de plus sophistiquées utilisant notamment strates, degrés, régressions...

Afin de définir la plus adaptée, nous devons mieux formaliser les éléments de base constitutifs de cette estimation :

- Quelles sont les variables étudiées ?
- Comment est répartie spatialement la population ?
- Quelles sont les unités d'échantillonnage ?
- Quelles sont les principales contraintes ?

3.2.1 Choix des variables à estimer

Le stock est une grandeur qui peut être définie selon 3 variables : le **volume**, le **poids** et le **nombre**. Dans la mesure où l'objectif est de mettre en place un modèle permettant d'évaluer à tout instant les besoins trophiques du stock de moules représenté par un ensemble d'individus de nombre et de poids défini, les estimations doivent porter au moins sur nombre et poids, le volume n'étant qu'une variable transitoire destinée à économiser les prélèvements.

3.2.2 Choix de l'unité statistique

Chaque mytiliculteur possède plusieurs concessions constituées de bouchots, dont l'emplacement et le nombre de pieux (de 110 à 160 selon les zones d'implantation) sont précisément définis dans le cadastre établi par les Affaires Maritimes de St Malo. Cependant, le cycle d'élevage de 18 mois oblige les mytiliculteurs à garder des pieux vides afin de les garnir de naissains au début du mois de juin, la récolte ne commençant qu'à la fin de ce même mois. En conséquence nous ne connaissons pas a priori le nombre exact de pieuxensemencés ni l'emplacement exact de ces derniers. Il faudra donc compléter cette connaissance administrative du parcellaire par une première opération d'estimation in situ du nombre et de l'emplacement des pieux occupés par des moules (décrite en détail dans le paragraphe 3.3)

On peut ainsi se représenter la population comme un ensemble de **pieux garnis de moules**, au sein duquel il sera possible d'opérer un premier tirage, le pieu garni constituant ainsi l'unité statistique de premier niveau.

3.2.3 La stratification

La stratification est une technique qui consiste à subdiviser une population hétérogène en sous-populations plus homogènes. *Gerla (1990)* a mis en évidence un gradient de production entre les différentes zones de concessions, que les professionnels ont actualisé par leurs propres estimations de 2001. De plus, le plan des bouchots (annexes p6) met en évidence 3 zones géographiques (St Benoît, Cherrueix et les Hermelles) séparées par deux biez*, ce qui suggère une division minimale de la population en trois strates.

Prenant acte de ces influences marquées dans les 2 directions géographiques (stratificateurs ouest-est et nord-sud), nous avons envisagé une division plus fine des trois plans, aboutissant à un découpage en **32 strates**. Cette stratification est rendue possible par l'information préalable sur les

taux d'ensemencement fournis par les syndicats mytilicoles, qui permet de connaître le « poids » des strates (ou nombre d'unités totales par strate).

Dans un second temps, et afin de disposer d'un effectif de pieux échantillonnés suffisant par strate, le nombre de strates a été réduit à **14 strates** (rediscuté dans le chapitre 5).

3.2.4 Echantillonnage par degré (à l'intérieur de chaque strate)

a Les mesures réalisables sur un pieu

L'idéal du point de vue de la simplicité (échantillonnage aléatoire simple) et de la précision aurait été de prélever toutes les moules sur chaque pieu échantillonné. Ce n'est pas envisageable pour une raison évidente : perte trop importante pour les professionnels. Une méthode alternative va permettre de limiter les prélèvements en décomposant l'estimation (selon les 3 équations citées au début de ce chapitre) :

- sur l'ensemble du pieu : uniquement le volume de moules
- sur un sous-échantillon prélevé d'un litre des moules du pieu : la masse volumique (ou densité) et le nombre volumique.

Pensant obtenir une relation entre ces deux dernières variables, nous n'avons pas effectué le comptage de tous les prélèvements (opération fastidieuse).

L'estimation du volume de moules d'un pieu repose sur la multiplication de la section moyenne de moules par la hauteur occupée par les moules sur le pieu (équation 1). Cette estimation implique un tirage du **second degré** de 4 circonférences permettant le calcul de 4 sections totales (moules + pieu). La section totale ST peut s'estimer à partir du périmètre, assimilé ici à une circonférence C, par la formule : $ST = C^2 / 4\pi$. On passe de la section totale à la section nette de moules par soustraction de la section du pieu seul. Appliquer la même méthode des circonférences à l'estimation de la section de pieu nu SP, obligerait à dégarnir le pieu afin de mesurer sa circonférence. Pour les mêmes raisons économiques que précédemment, nous ne pouvons adopter cette méthode. Nous avons donc estimé l'épaisseur de moules autour du pieu. Celle-ci n'étant pas homogène, un tirage du **troisième degré** est effectué sur chaque circonférence. De l'épaisseur, nous obtenons le rayon du pieu vide et ainsi la section du pieu. Le détail de ces calculs est précisé dans le chapitre 5.

b Récapitulatif

Plusieurs tirages successifs ont donc été réalisés au sein de chaque strate :

- Dans une strate donnée : tirage E.A.S (échantillonnage aléatoire simple) de 1^{er} degré : n pieux (unités primaires)
- Par pieu : tirage de second degré de 4 circonférences régulièrement réparties sur la hauteur du pieu (= tirage systématique le long du pieu).
- Par circonférence : tirage systématique de 4 épaisseurs (= unités tertiaires)

Pour les calculs, les tirages systématiques seront assimilés à des E.A.S.

3.3 LE TIRAGE DES DIFFERENTES UNITES STATISTIQUES

3.3.1 Le nombre de pieux à échantillonner

La contrainte d'effort préalable a été déterminée par les moyens disponibles pour l'échantillonnage, c'est à dire 14 personnes pendant 2 jours (ou 2 « marées »), soit 7 équipes de 2 personnes pouvant effectuer 3 heures de travail sur le terrain par marée et par binôme. Au total, ceci représente 7 binomes x 2 jours x 3 h/j = 42 h (= 2520 minutes) de travail effectives.

Ayant évalué le temps de mesure sur un pieu à 7 minutes et le temps moyen nécessaire au déplacement vers le pieu suivant à 6 minutes, soit un temps de mesure + trajet de 13 minutes par pieu, on obtient $2520 / 13 \approx 194$ pieux échantillonnables au total.

Cet effort sera à répartir en fonction du poids des strates (en moyenne 6 pieux dans chacune des 32 strates).

En réalité, seulement une centaine de pieux pourront être mesurés, ce qui amènera à un regroupement en 14 strates.

3.3.2 Tirage aléatoire des pieux

a Tirage préalable

Le syndicat mytilicole du Vivier sur-mer nous a fourni les taux d'ensemencement* (pourcentage de pieux garnis de moules), détaillés par zone et par palier, évalués l'année dernière à la même époque. A partir de ces taux nous avons pu estimer la taille des strates (nombre de pieux ensemencés) et ainsi tirer le nombre de pieux dans chacune d'entre elles **proportionnellement** à cette estimation (annexe p7). Nous avons ensuite réalisé dans chacune des 32 strates un tirage aléatoire de pieux au moyen de la fonction *Aléa* d'*Excel*, au sein d'une liste fictive des pieux ainsi constituée : un numéro était attribué à chaque pieu en fonction de son emplacement dans la strate

après qu'un nombre de pieux (proche de 1 sur 3) inversement proportionnel aux taux d'ensemencement, ait été arbitrairement considéré comme vide. Chaque pieu tiré définissait un emplacement (bouchot) dont la réalité de l'ensemencement (est-il plein ou vide ?) était encore inconnu à ce stade.

b Tirage effectif

Afin de mettre en place l'étude de croissance qui suivra l'estimation des stocks, et qui s'appuie sur un ensemencement expérimental d'un ensemble de pieux répartis sur tout le secteur, une liste complémentaire faite cette fois de pieux vides devait compléter celle des pieux garnis. Le même tirage a pu servir aux deux études, par le procédé suivant :

- dans le cadre de l'estimation des stocks, une opération de repérage exhaustif de l'ensemencement des pieux (nombre et emplacement) le premier jour de la mission a été nécessaire, afin de passer de la liste préalable (pieux potentiellement garnis) à la liste des pieux effectivement garnis : détaillé dans le chapitre 4.
- Suite à ce repérage, nous avons pu allouer les pieux pleins à l'étude du stock, et les vides à la prochaine étude de croissance. Ainsi un pieu tiré vide était attribué à la seconde étude et un pieu d'un bouchot voisin garni était choisi pour l'étude du stock de moules. Dans le cas contraire, si le pieu tiré était plein, nous effectuions la même opération en choisissant un pieu du bouchot vide le plus proche de celui choisit au hasard.

c Récapitulatif

Au préalable :

- Définition d'un effort de 194 pieux (2520 mn / 13 mn).
- Stratification en 32 classes.
- Le nombre de pieux par strate (source cadastre) multiplié par le taux d'ensemencement de l'année dernière (information professionnelle) représente le nombre approximatif de pieux garnis par strate.
- Un tirage proportionnel à cette estimation est effectué par strate, qui permet en outre de situer sur le plan les bouchots concernés (ce tirage prévisionnel est effectué sur les pieux en fonction du nombre et de l'emplacement approximatif des pieux ensemencés).

Premier jour de mission :

- Repérage exhaustif des pieux garnis
- Redéfinition de l'emplacement exact des pieux garnis à échantillonner

3.3.3 Tirage du deuxième et troisième degré

a Les circonférences

Les sondeurs ont fait une mesure le plus haut possible (selon leur taille), puis une seconde un peu moins haut, une troisième un peu plus bas et enfin une dernière en bas du pieu. Ce tirage est proche d'un tirage systématique : il peut être assimilé à un E.A.S. et sera traité comme tel.

b Les épaisseurs

Les épaisseurs étaient mesurées en 4 emplacements régulièrement répartis le long de chaque circonférence. D'un point de vue statistique, ce sous-échantillonnage au sein de chaque section sera donc traité comme un E.A.S.

3.3.4 Tirage des densités

Un prélèvement d'un litre est effectué sur chaque pieu échantillonné. Ce dernier étant supposé représentatif de l'ensemble des moules sur le pieu, la consigne était de prélever plutôt à mi-hauteur, et vers l'intérieur jusqu'au pieu (selon l'image « part de gâteau » de moules), d'éviter donc de se limiter aux moules périphériques du pieu (les plus grosses).

4 LA MISSION EN BAIE DU MONT ST MICHEL

4.1 LE MATERIEL

L'organisation (location de voiture, réservation d'hôtel) et l'approvisionnement de l'essentiel du matériel (sac à dos, mètre de couturière, couteau, élastiques ...) n'ont pas posé de problème particulier. Certaines choix cependant ont fait l'objet de nombreuses discussions, par exemple la mesure des épaisseurs de moules sur les pieux (annexes p8), pour laquelle le choix de l'outil s'est porté vers une règle plastique biseautée par nos soins, la veille du premier jour de mission. Enfin, le marquage des pieux (pleins et vides) à été possible grâce à l'achat de plusieurs centaines d'étiquettes de jardinage.

4.2 LE PLAN HUMAIN

Nous comptions sur la présence de 14 personnes (7 groupes de 2). Finalement nous étions 15 : 10 personnes de la station Ifremer de la Trinité sur-mer, 3 de la station de St Malo et 2 des Affaires Maritimes de St Malo.

Comme 2 personnes seulement connaissaient le protocole exact à suivre, un « briefing » détaillant les tâches à accomplir à commencé chaque journée.

4.3 DEROULEMENT DE LA MISSION

Mercredi 24 avril :

Un repérage exhaustif de l'ensemencement (ou non) des pieux de l'ensemble de la zone d'étude à été réalisé ce premier jour de mission dans la Baie du mont st Michel. Nous sommes passé en bateau entre tous les bouchots afin de voir s'ils étaient vides ou pleins. Cette opération était délicate car le temps disponible (les pieux sont découverts par la marée) était restreint pour parcourir tous les plans de bouchots. Elle a nécessité le recourt de 5 personnes : 1 chauffeur, 2 notateurs, 2 observateurs (chacun son coté du bateau) qui signalaient si le bouchot étaitensemencé ou non (un bouchot est rarementensemencé qu'à la moitié).

Suite à ce repérage nous avons ajusté la répartition préalable des pieux à échantillonner et établi les trajets optimums sur les bouchots pour les binômes participant à l'étude (tenant compte en particulier du flux et du reflux de marée).

Jeudi 25 et vendredi 26 avril :

Echantillonnage des pieux par les participants de l'étude et étiquetage des pieux vides repérés le mercredi (pour l'étude de croissance). Les différentes mesures réalisées sont en annexe p8.

5 EXPLOITATION DES RESULTATS

5.1 REDEFINITION DES STRATES

Durant l'échantillonnage nous nous sommes aperçus que nous ne pourrions échantillonner tout les pieux prévus. Nous avons donc réduit ce nombre en essayant de garder l'étalement géographique des mesures obtenu par les E.A.S. effectués sur les 32 strates initiales. Finalement nous avons pu mesurer **une centaine de pieux** mais sans réussir à aller sur certaines zones (ex : Nord des Hermelles à voir page suivante) à cause d'une météo défavorable qui a contrecarré le coefficient de marée durant ces deux jours. Nous avons dû élargir nos strates en diminuant leur nombre. Ainsi nous sommes passé de 32 à **14 strates** (représentées sur le schéma de la page suivante). Cette réduction n'est pas très préjudiciable car l'efficacité augmente « proportionnellement » au nombre de strates mais de façon logarithmique. Au bout de six strates le gain devient rapidement négligeable selon *Cochran (1977)*.

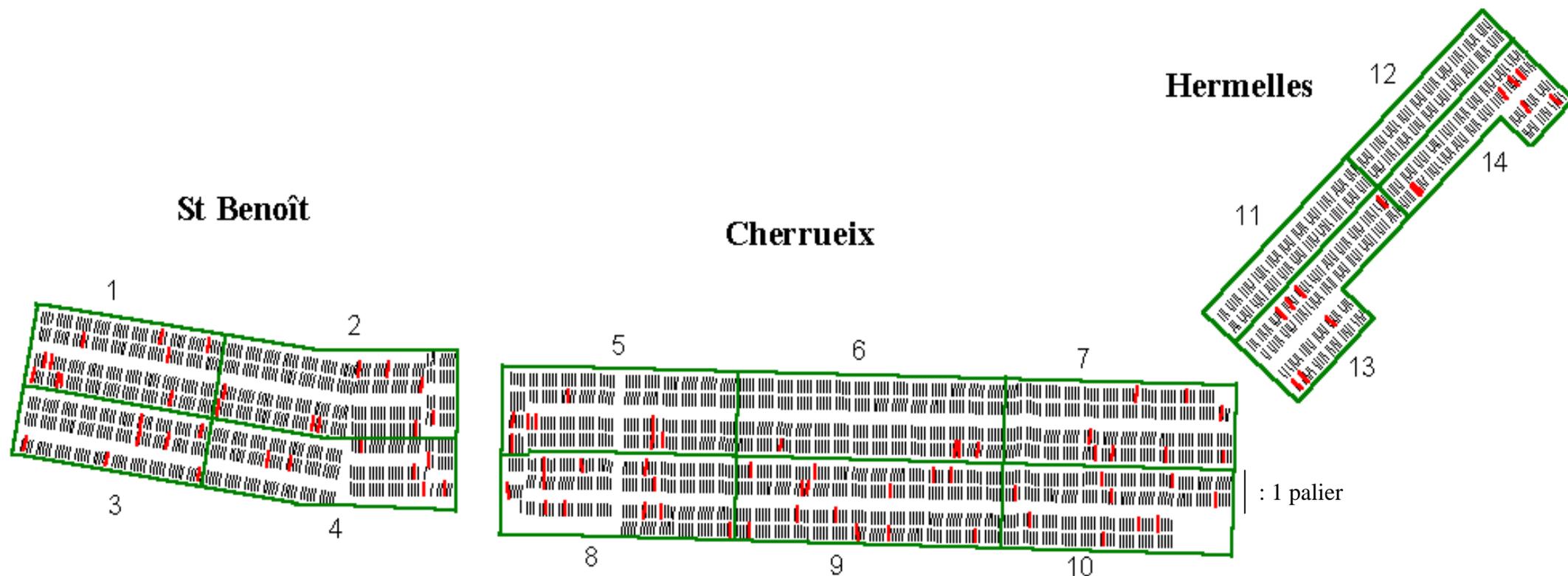
5.2 LES CALCULS AU SEIN D'UNE STRATE

5.2.1 Au niveau d'un pieu

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, nous calculons dans un premier temps **4 sections** totales (ST) à partir des 4 circonférences. Il faut ensuite retrancher à chacune de ces sections 1 section SP, correspondant au pieu vide, pour obtenir 4 sections nettes de moules (SM). Nous distinguerons deux cas, selon que le pieu soit carré ou rond.

- Dans le premier cas, le pieu est taillé dans du bois exotique, et il est régulier. Ainsi, une mesure d'un de ses cotés est suffisante (Il est toujours possible de trouver un endroit dégarni du pieu afin de mesurer un de ses coté). La valeur d'une section de pieu est alors égale à son coté élevé au carré.

- Dans le second cas, le pieu est en bois de chêne et non taillé. Son hétérogénéité nous oblige à effectuer une estimation de section de pieu au niveau de chaque mesure de circonférence totale. Pour éviter de dégarnir le pieu, nous mesurons **4 épaisseurs** pour chacune des sections (directement à travers les moules).



carte 3 : Les différentes strates et emplacements des différents pieux échantillonnés

Chaque bouchot ayant eu au moins un pieu d'échantillonné apparaît ici en rouge sur le schéma. Nous constatons que les strates 11 et 12 sont vierges et que la strate 6 ne comporte que 4 pieux. Ce manque d'information nécessitera une estimation par extrapolation (régression linéaire) du nombre de moules dans cette strate. Les autres strates sont quant à elles bien représentées (de 7 à 13 pieux). Les tailles des strates varient de 10000 à 20 000 pieuxensemencés, c'est à dire garnis de moules. Le taux d'ensemencement est décrit par strate et par demi-palier en annexe p10.

Pour résumer, en posant :

RT : Rayon Total (pieu + moules)

CT : Circonférence Totale (pieu + moules) :

\overline{EM} moyenne des 4 Epaisseurs

RP : Rayon du Pieu

CP : Coté du Pieu carré

Nous obtenons géométriquement : $RT = CT / 2\pi$ et $RP = RT - \overline{EM}$

On en déduit le *calcul de chaque section nette de moules (total moins le pieu)* :

$SM = \pi RT^2 - \pi RP^2$ pour les pieux ronds

$SM = \pi RT^2 - CP^2$ pour les pieux carrés.

Le volume de moules du pieu VM est obtenu par la multiplication de la moyenne des 4 sections de moules de chaque pieu par la hauteur de moules sur le pieu : $VMP = HMP \times \overline{SM}$

Le poids et le nombre de moule (pour les pieux dont le comptage a été effectué) sont déduits du volume :

$PMP = VMP \times PVMP$ avec $PVMP =$ Poids Volumique de Moules sur le Pieu

$NMP = VMP \times NVMP$ avec $NVMP =$ Nombre Volumique de Moules sur le Pieu

Un extrait du tableau Excel utilisé pour ces calculs est en annexe p11.

5.2.2 Au niveau de la strate

a Utilisation de la loi Normale

Dans chaque strate le nombre d'individus est largement inférieur à 30, c'est pourquoi nous avons effectué un test de normalité sur chacune des variables (Volume, Poids, Nombre) afin de pouvoir approximer leurs distributions par une loi Normale et ainsi utiliser la loi de Student pour les intervalles de confiance des moyennes. (la loi de moyennes de variables normales, dont on ne possède qu'une estimation de la variance, est une loi de Student).

Pour effectuer ce test d'ajustement, deux tests étaient réalisables : Shapiro et Khi². Nous avons choisi ce dernier car il est plus simple à réaliser (même s'il a fallu procéder à une mise en classes des données) et assez puissant grâce aux effectifs importants (99 et 55 individus). Le tableau suivant

présente ce test pour la distribution du volume moyen des pieux ; ceux du poids et du nombre sont en annexes p12.

Paramètre:		Nombre de classes souhaité =	8
Moyenne =	71818	Mini =	23465
Ecart-type =	21488	Maxi =	145475
Nombre de paramètre =	2	Maxi - Mini =	122010
ddl =	5	Intervalle =	15251

Bornes	Effectifs obs	Proba théo	Effectifs théo	Calcul du Khi ²
23465				
40000	6	0,057125	5,7	0,0210
50000	8	0,085631	8,5	0,0269
60000	13	0,136198	13,5	0,0173
70000	24	0,175119	17,3	2,5610
80000	16	0,182022	18,0	0,2265
90000	15	0,152949	15,1	0,0013
100000	9	0,103894	10,3	0,1607
145475	8	0,094540	9,4	0,1975
0	0	0,000000	0,0	0,0000
0	0	0,000000	0,0	0,0000
TOTAL =	99		Khi² calculé	3,21213

Avec ddl (degré de liberté)
 = nombre de classe - 1
 - nombre de paramètres

Khi² (95%) 11,07048257

Conclusion: Non rejet de Ho

Tableau 2 : Test de normalité pour la variable Volume de moules sur un pieu

D'après ce calcul nous ne rejetons pas l'hypothèse Ho : La distribution du volume des pieux **est assimilable à une loi Normale**. Nous obtenons les mêmes conclusion pour le poids et le nombre de moules sur un pieu. et nous pouvons utiliser la loi de Student pour le calcul de nos Intervalles de Confiance :

$$IC = \overline{VMP} \pm t(\alpha, ddl) \times s \quad \text{avec } s \text{ estimateur de l'écart-type}$$

b Estimation des moyennes et des variances

Soit h l'indice désignant les strates, et n_h le nombre de pieux échantillonnés dans la strate :

$$\overline{VMP}_h = \sum VMP / n_h$$

$$\overline{PMP}_h = \sum PMP / n_h$$

$$\overline{NMP}_h = \sum NMP / n_h$$

Deux variances sont à distinguer : la variance du pieu moyen, Var (pieu moyen), utilisée dans les estimations par strate, et la variance entre les pieux Var (pieu), nécessaire au calcul de la variance totale.

Capacité récipient	Poids / Vol	Nb / Vol	Hauteur	moy(SECT)	VOL(moul-pieu) en Litres	PDSmoul-par- pieu en Kgs	NB moules par pieu
1060	0,000679	0,2160377	220	283,41	62350	42,35	13 470
1060	0,000755	0,2179245	250	385,51	96378	72,74	21 003
1060	0,000670	0,1877358	260	376,90	97994	65,64	18 397
1060	0,000679	0,1490566	250	432,67	108169	73,47	16 123
1060	0,000708	0,1849057	265	364,99	96722	68,44	17 884
1060	0,000670		240	308,20	73968	49,54	
1060	0,000623		260	320,25	83265	51,84	
1060	0,000755		220	301,97	66432	50,14	
1060	0,000726	0,1622642	220	311,14	68450	49,72	11 107
1060	0,000651	0,1858491	220	351,13	77249	50,28	14 357
N	14 080	14 080	1500	14 080	14 080	14 080	14 080
n	10	7	10	10	10	10	7
f1	0,07%	0,05%	0,0066667	0,07%	0,07%	0,07%	0,05%
Moy / pieu	0,00069	0,1863	241	344	83 098	57	16 049
Var (pieu)					250 307 772	129	11 228 290
CV (pieu)			149%	631%	301220%	225%	
Var (pieu moyen)	1,8983E-10		35,56685185	2,16762E+02	2,50130E+07	1,29306E+01	1,60324E+06
IC95_pieu moyen			13	33	11314	8	3098
Précision			6%	10%	14%	14%	19%
VAR / STRATE					4,959E+15	1,821E+05	2,257E+10
TOTAL / STRATE					1,170E+09	8,084E+05	2,260E+08
IC95 / STRATE					1,593E+08	9,652E+02	3,676E+05

Tableau 3 : Calcul des valeurs statistiques pour la strate 1

Le calcul de la variance du volume moyen par pieu est exprimé par la formule :

$$Var(\overline{VMP}_h) = [(1 - f1) / n] \cdot s_1^2 + [f1 (1 - f2) / mn] \cdot s_2^2 \quad \text{avec :}$$

- $f1 = n / N$: taux de sondage de premier degré = nb de pieux échantillonnés / nb pieux ensemencés dans la strate.
- $f2 = m / M$: taux de sondage de deuxième degré = nb de section mesurée / nb de sections mesurables (égale à la hauteur maximale d'un pieu dans la strate)
- s_1^2 = variance inter-pieux des volumes
- s_2^2 = moyenne pondérée des variances intra-pieux (variances des sections assimilables à des volumes d'une hauteur de 1 cm)

Mais ce second terme est négligeable devant le premier à cause du taux de sondage $f1 \approx 0$ (Ex : pour la strate 1 et le calcul du volume, $f1 = 0,0007102$) que l'on divise en plus par m. On s'aperçoit alors que seule la variance inter-pieux intervient. Il apparaît clairement que ce second terme doit être négligeable devant le premier dans la plupart des plans de sondages à 2 degrés.

Calcul des estimations et variances des quantités totales dans les strates avec N_h le nombre de pieux garnis dans la strate h:

$$\begin{aligned} VMP_h \text{ tot} &= \overline{VMP}_h \times N_h & \text{Var}(VMP_h \text{ tot}) &= \text{Var}(\overline{VMP}_h) \times N_h^2 \\ PMP_h \text{ tot} &= \overline{PMP}_h \times N_h & \text{Var}(PMP_h \text{ tot}) &= \text{Var}(\overline{PMP}_h) \times N_h^2 \\ NMP_h \text{ tot} &= \overline{NMP}_h \times N_h & \text{Var}(NMP_h \text{ tot}) &= \text{Var}(\overline{NMP}_h) \times N_h^2 \end{aligned}$$

5.3 L'EXTRAPOLATION

Elle concerne les strates 11 et 12 pour lesquelles nous n'avons aucune donnée, et la strate 6 qui ne comporte aucun pieu dont le nombre volumique ait été mesuré.

5.3.1 Choix de la régression :

Nous avons commencé par une régression multiple selon les deux facteurs stratificateurs :

- une variable « distance de la côte » définie de 1 à 5 selon le schéma suivant :

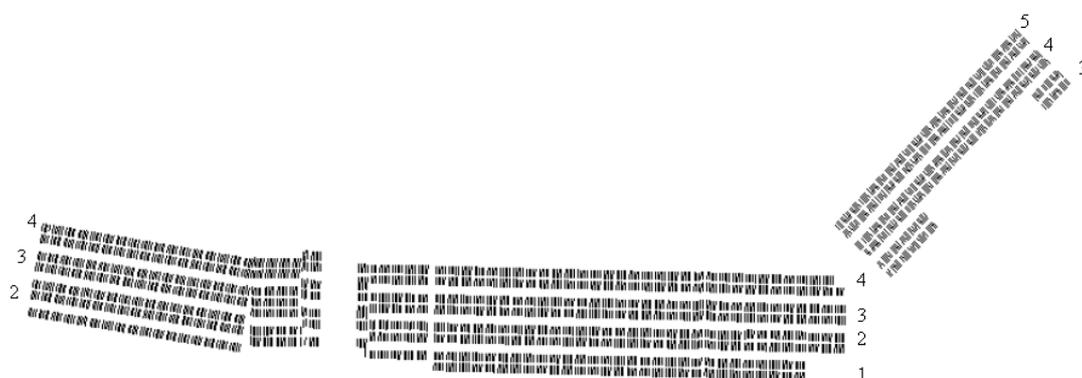


schéma 3 : Détermination de la variable « Distance à la côte »

- et une variable « Ouest-Est » calculée selon l'écart du centre de la strate au bouchot le plus à l'ouest. Les différentes modalités de cette variable ont été calculées sur une carte.

Les résultats de ces régressions (réalisé sous *Statbox*) ne sont pas ceux attendus : seul le premier facteur est significatif à 5% pour les trois variables. Le second est au mieux significatif à 57%, il n'influence donc ni le volume, ni le poids, ni le nombre de moules par pieu (Les tableaux récapitulatifs de ces régression sont en annexes p11).

Au vu de ces résultats, nous avons appliqué une **régression simple** ne prenant en compte que la variable explicative distance à la côte.

5.3.2 Résultats de la régression :

Les régressions simples, appliquées au volume moyen et poids moyen par pieu sont significatives à 5% . Voici les résultats obtenus avec *Excel* pour la variable Volume de moule sur un pieu :

Sources de variations	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F
Régression	1	761493341,9	761493341,9	6,285717959	0,031064825
Résidus	10	1211465972	121146597,2		
Total	11	1972959314			

Tableau 4 :Analyse de la variance pour la régression sur le volume de moule présent par pieu

Les détails de cette régression, ainsi que les tableaux des deux autres régressions figurent en annexes p12.

Les droites de régression ont pour équations:

$$\text{Volume (l)} = 8.59 * X + 6.46 \quad R^2 = 0.436$$

$$\text{Poids (kg)} = 6.46 * X + 33.99 \quad R^2 = 0.415$$

Avec X : distance de la côte

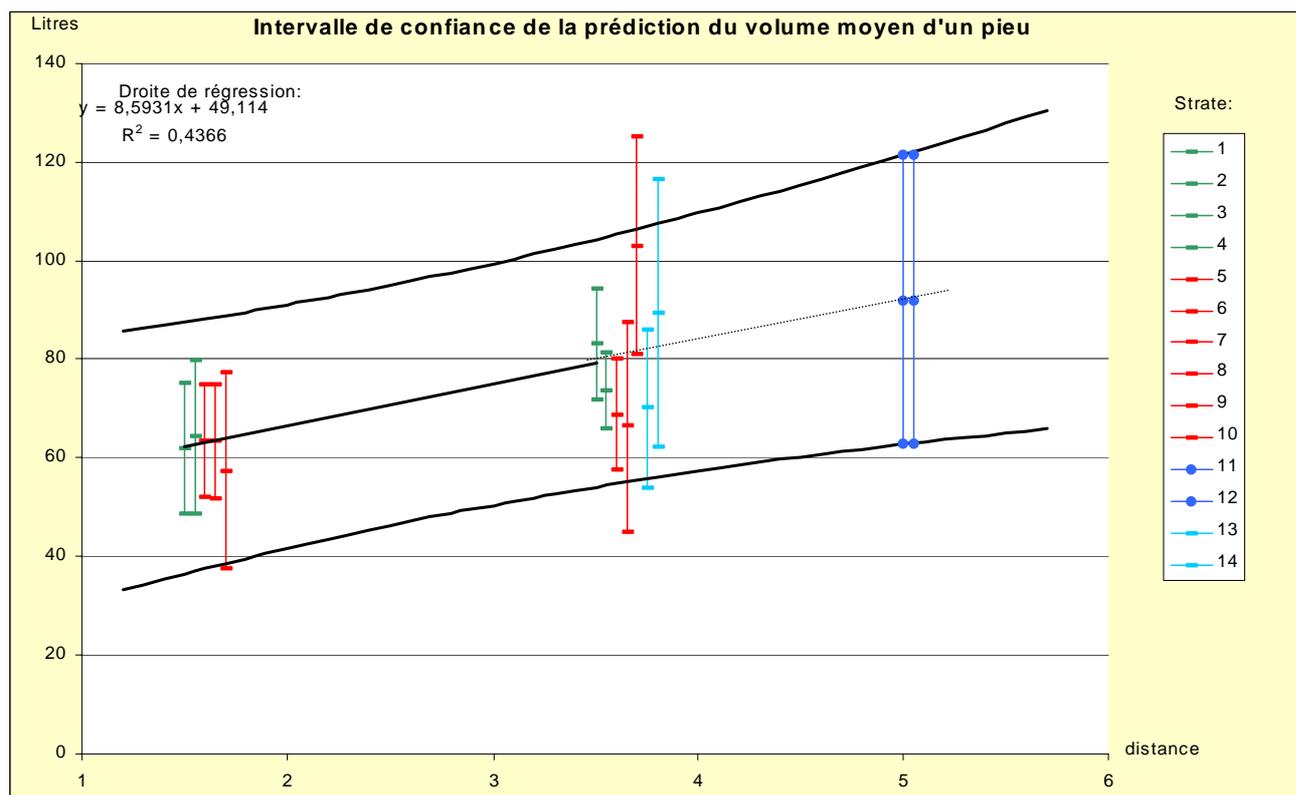
Ces résultats sont plus fiables que les précédents (significatif à 5%), mais on doit noter que les R^2 sont inférieurs à 50%. L'éloignement de la côte n'explique pas à lui seul la variance entre les strates ; le reste est dû aux variations naturelles, aux erreurs d'échantillonnage mais aussi aux pratiques des mytiliculteurs qui diffèrent d'une strate à une autre. Certains ont notamment l'habitude d'enlever une partie des moules des pieux bien garnis pour les replacer sur d'autres pieux, ce qui conduit à la diminution du nombre de moules par pieu.

Les estimations des moyennes pour les strates extrapolées sont simplement effectuées à l'aide des droites de régressions.

Nous estimons la variance de ces moyennes correspondant à x_0 en multipliant le CMR (Carré Moyen Résiduel) de la régression, par un facteur qui tient compte de la valeur du x_0 par rapport à la moyenne des x_i : $1 + (1 / n) + (x_0 - \bar{x})^2 / \sum (x_i - \bar{x})^2$.

L'intervalle de confiance de la prédiction du volume est résumé par le graphique ci-dessous, avec la formule:

$$IC = y_o \pm T_{(1-\alpha/2, n-2)} \cdot s \cdot \sqrt{1 + (1/n) + (x_o - \bar{x})^2 / \sum (x_i - \bar{x})^2}$$



graphique 1 : Intervalle de confiance pour la prédiction du volume

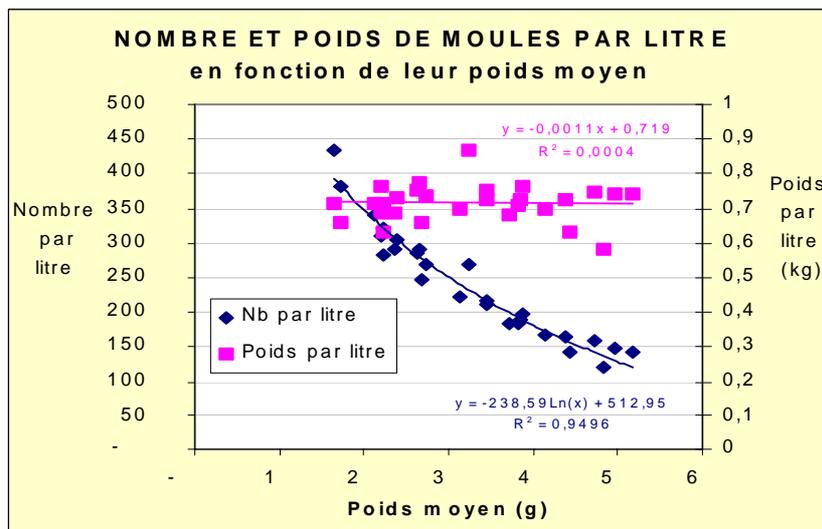
Cette estimation repose sur l'hypothèse que l'influence terre-mer, observée dans les strates les plus proches de la terre, se poursuit selon le même modèle linéaire au-delà (dans le secteur des hermelles, plus éloigné de la terre).

5.3.3 Le nombre volumique :

Nous pensions initialement que ce nombre volumique était fonction du poids volumique (ou densité), ce qui permettait de n'effectuer le comptage de moules que sur une partie des prélèvements, et de déduire pour les autres ce nombre de leur poids. (On dispose finalement de 55 comptages après avoir récupéré et dénombré des prélèvements gardés à l'origine pour des examens biologiques).

La corrélation entre ces variables (coefficient de corrélation de Spearman égal à 0.14), testée sous *Statbox*, se révèle en réalité non significative (risque alpha de 31%). Nombre volumique et poids volumique sont donc **indépendants** (Le graphique présentant le nuage de points des deux séries est en annexes p13).

Pour mieux comprendre la raison de cette indépendance, nous avons établi les relations entre chacune de ces variables et le poids moyen des moules du prélèvement.



Le nombre de moules par litre diminue évidemment avec la taille des moules. Par contre le poids reste plutôt constant. Un litre de moules pèse environ 700g, quelle que soit la taille des moules.

graphique 2 : Nombre et poids de moules en fonction du poids moyen

Nous appliquerons la même régression pour le nombre de moules sur un pieu, que celle réalisée pour le volume et le poids de moule sur un pieu. La variable nombre volumique ne servant que pour les échantillons dont le nombre de moules du prélèvement a été estimé. **Pas clair !!!**

5.3.4 Récapitulatif des résultats

Les variances obtenues par régression ne sont pas les variances entre les pieux, mais celles des moyennes estimées. Nous avons envisagé d'estimer les variances entre pieux dans une strate, à partir de l'éloignement de la côte, comme pour les moyennes, mais l'observation du tableau suivant montre que ces variances sont indépendantes de la « distance à la côte ». Des strates proches géographiquement peuvent avoir des variances entre pieux qui varient du simple au double.

C'est pourquoi, dans ces strates extrapolées, nous prenons comme variance inter-pieux (variances qui serviront au calcul de la variance finale) la moyenne des variances des autres strates. Peut-être aurait-il fallu rajouter à cette moyenne des variances des autres strates, la variance de la moyenne issue de la régression (?).

Strate	Distance à la côte	Volume moyen par pieu (Litres)	Poids moyen par pieu (Kg)	Nombre moyen par pieu	Variance du Volume total	Variance du poids total	Variance du nombre total
1	3,50	83,1	57,4	16048,8	2,503E+02	129,4	1,12E+07
2	3,50	73,6	52,1	16444,4	1,001E+02	58,0	6,90E+07
3	1,50	61,8	41,4	20797,8	2,030E+02	106,7	2,99E+07
4	1,50	64,3	45,3	17096,1	2,836E+02	199,9	8,79E+07
5	3,50	68,7	52,3	12959,9	1,773E+02	152,8	3,02E+07
6	3,50	66,4	47,1	15573,7	1,817E+02	103,8	4,78E+07
7	3,50	103,1	77,0	16282,2	7,030E+02	377,8	9,25E+06
8	1,50	63,4	43,5	17022,6	2,510E+02	126,9	3,47E+06
9	1,50	63,2	45,9	24636,2	2,545E+02	149,3	8,60E+07
10	1,50	57,3	42,3	19097,3	5,681E+02	303,2	1,09E+08
11	5,00	92,1	66,3	12456,4	3,448E+02	192,8	4,78E+07
12	5,00	92,1	66,3	12456,4	3,448E+02	192,8	4,78E+07
13	3,50	70,0	47,4	12277,1	3,022E+02	137,1	1,07E+07
14	3,50	89,4	62,7	19429,6	8,633E+02	468,6	7,87E+07

Tableau 5 : Moyennes et variances des trois variables pour toutes les strates

Les résultats en orange résultent de l'extrapolation.

On peut noter que les strates 11 et 12 obtiennent les mêmes résultats car elles ont le même éloignement à la mer. Le fort volume de moules de ces strates 11 et 12, est cohérent avec le jugement des mytiliculteurs, qui les considèrent comme les plus productives.

5.4 RESULTATS TOUTES STRATES

5.4.1 Le stock total :

Pour les valeurs totales, le calcul statistique dû à la stratification tient compte de la taille de la strate et de sa variance estimée s^2 .

$$VMT = \sum ((N_h / N) \times VMS_h)$$

$$Var(VMT) = N^2 \times \sum [(N_h^2 / N^2) \cdot (1 - n_h / N_h) \cdot s_h^2 / n_h]$$

Stock total:	
Volume = 15 531 796 Litres	Nombre = 3,449 Milliards
IC : 14 585 146 16 478 446	IC: 3,100 3,798
Précision : 6,09%	Précision : 10,12%
Poids = 11 102 Tonnes	
IC: 10 393 11 810	
Précision : 6,39%	

Tableau 6 : Stock total et précision (total de 206 525 pieux garnis)

Le **stock** de moules atteint plus de **11 000 tonnes**. Les études préalables évaluaient la **production** à environ 10 000 tonnes par an. Ces deux chiffres sont difficilement comparables car ils ne portent pas sur la même variable. La production quantifie les moules récoltées et vendues, entre juin et décembre (moules de taille supérieure à 4 cm, les plus petites étant jetées). Le stock de 11 000 tonnes concerne des moules qui vont encore bénéficier de croissance jusqu'à la récolte, mais dont une partie subira prédation, mortalité naturelle ou élimination lors du tri final.

Exprimée en nombre, l'estimation représente plus **3.5 milliards de moules** présentes dans la baie du Mont St Michel à la fin du mois d'avril 2002.

On en déduit également un poids moyen des moules de **3.1 grammes**, à un moment où elles sont encore en pleine phase de croissance.

Ces estimations sont destinées à être intégrées dans un programme qui évaluera au fil des mois le besoin trophique du stock de moules, évolutif à partir de ce stock initial, sous l'effet de la croissance, de la mortalité et des interventions des éleveurs (récoltes notamment).

On peut également présenter ces résultats par pieu :

Moyennes par pieu:			
Volume =	75,2	Litres	
IC :	70,6	79,8	
Précision :	6,09%		
Nombre =	16,7	Milliers	
IC:	15,0	18,4	
Précision :	10,12%		
Poids =	53,754	Tonnes	
IC:	53,751	53,758	
Précision :	6,39%		

Tableau 7 :Moyennes finales par pieu

(IC = Intervalle de confiance à 95%)

5.4.2 Les stocks par plan :

Les calculs sont identiques à ceux effectués précédemment, à la seule différence que la population globale (N) est divisée en trois comme si on avait effectué trois études différentes. Les résultats par plan montrent la nette différence qui existe entre les Hermelles et les deux autres plans.

Plan de St Benoît	Plan de Cherrueix	Plan des Hermelles
Volume = 3 752 613 Litres IC : 3 487 058 4 018 167 Précision : 7,1% Moyenne par pieu (L) = 71,67	Volume = 7 114 278,3 Litres IC : 6 051 536 8 177 020 Précision : 14,9% Moyenne par pieu (L) = 71,70	Volume = 4 664 905,4 Litres IC : 3 876 614 5 453 197 Précision : 16,9% Moyenne par pieu (L) = 84,90
Poids = 2 612,1 Tonnes IC : 2 406,7 2 817,5 Précision : 7,9% Moyenne par pieu (Kg) = 49,89	Poids = 5 204,7 Tonnes IC : 4 397 6 012 Précision : 15,5% Moyenne par pieu (Kg) = 52,46	Poids = 3 284,8 Tonnes IC : 2 702 3 868 Précision : 17,7% Moyenne par pieu (Kg) = 59,78
Nombre = 0,907 Milliards IC : 0,770 1,044 Précision : 15,1% Moyenne par pieu = 17 325	Nombre = 1,751 Milliards IC : 1,360 2,142 Précision : 22,3% Moyenne par pieu = 17 650	Nombre = 0,790 Milliards IC : 0,518 1,063 Précision : 34,5% Moyenne par pieu = 14 386

Tableau 8 : Stock par plan – moyenne et précision (IC Intervalle de confiance à 95%)

On remarque que la précision est moins bonne lorsque l'on sépare les résultats par plan. Cela s'explique par le fait que l'estimation du stock par plan repose sur beaucoup moins d'échantillons que pour l'ensemble. En outre, les résultats pour les Hermelles sont les moins précis, ce qui s'explique par un nombre d'échantillons restreint pour les deux strates les plus à terre (les deux autres étant calculées par régression).

On peut noter une différence de poids moyen par pieu entre St Benoît (49.9 kg) et Cherrueix (52.5 kg) alors que leur volumes moyens respectifs sont quasiment égaux (71.7 litres). Ceci ne peut s'expliquer que par un poids volumique des moules un peu supérieur dans ce dernier site (871 g/l contre 696 g/l).

5.5 ANALYSE MULTIVARIABLE

On sait que plusieurs des variables considérées dans l'estimation des stocks sont corrélées entre elles, car elles sont calculées les une par rapport aux autres. Afin de disposer d'une vision d'ensemble des corrélations entre les variables (hauteurs, sections, volumes, nombres, poids...) et permettre la comparaison des « individus »-pieux des différents secteurs, toutes ces variables prises en compte, nous avons réalisé une ACP (Analyse en Composante Principale).

Cette analyse vise à synthétiser et à représenter graphiquement l'information multivariée disponible sur une liste d'entités (ou individus), en la résumant en un nombre réduits d'axes ou facteurs, calculés pour représenter le maximum d'information.

5.5.1 Analyse des corrélations entre les variables

.Le tableau qui suit est réalisé sur les 55 pieux ayant subi le comptage de leur prélèvement.

Matrice de corrélation	Haut	Poids / Vol	Nb / Vol	moy(SECT)	VOL(moul-pieu)	PDSmoul-par-pieu	NB moules par pieu
Haut	1	-0,453229	0,085921	0,073585	0,783885	0,683359	0,419143
Poids / Vol		1	0,531418	0,069924	-0,304117	0,025914	0,417328
Nb / Vol			1	-0,349988	-0,153083	0,040438	0,882579
moy(SECT)				1	0,675696	0,710509	0,017151
VOL(moul-pieu)					1	0,943257	0,31912
PDSmoul-par-pieu						1	0,495291
NB moules par pieu							1

Tableau 9 :Matrice de corrélation entre variables

Certaines des corrélations trouvées sont logiques et attendues : ainsi, un pieu a un volume et un poids d'autant plus important qu'il a une section élevée. Par contre, les pieux ayant un fort volume de moules ne sont pas nécessairement ceux qui ont un nombre important de moules (confirmé dans le graphique suivant).

5.5.2 Représentation sur les axes

Nous nous limitons à deux axes pour des facilités d'interprétation et parce qu'ils regroupent 78% de l'information à eux deux. La nature de ces deux axes (la combinaison de variables qui les déterminent) permet de considérer que le premier axe représente essentiellement la quantité de moules du pieu, tandis que le second représente plutôt la taille des moules (2 facteurs relativement indépendants).

Dans ce graphique, les points bleus correspondent à des pieux de St Benoît, ceux tendance jaune-marron à Cherrueix, et enfin ceux ayant une teinte verte ont été mesurés aux Hermelles.

6 L'OPTIMISATION

Cette opération est vise à améliorer l'efficacité d'une estimation ultérieure du stock de moules. Elle consiste à tirer parti de la connaissance désormais disponible sur la variabilité et les coûts des différentes mesures, pour optimiser un futur plan d'échantillonnage : en particulier, on peut améliorer la répartition des mesures entre les différentes strates et entre les différents degrés. On peut plus généralement établir la relation entre l'effort d'échantillonnage et de mesure réalisé et la précision obtenue.

6.1 EFFICACITE DE LA STRATIFICATION

Si l'usage de la stratification paraît recommandable dans un tel plan de sondage, le nombre de strates optimum et leur limites respectives sont discutables.

Une bonne stratification implique une variance inter-strate élevée et des variances intra-strate les plus faibles possible. On a plutôt intérêt à un grand nombre de strates, tant que l'on peut déterminer précisément de poids des strates, et que l'on est capable d'appliquer un effort suffisant à l'intérieur de chaque strate. *Cochran* signale cependant que le gain n'augmente plus significativement au bout de 6 strates.

Le graphique de l'ACP représentant la dispersion des pieux mets en évidence une certaine hétérogénéité à l'intérieur des plans (notamment celui de Cherrueix), qui amène logiquement à rechercher une séparation des plans en strates. L'étude de la variation selon 2 axes géographiques (régression) a montré que le facteur ouest-est était peu influent. On peut dès lors suggérer un découpage par palier, soit 4 niveaux selon l'axe nord-sud, et seulement une division selon les trois plans sur l'axe ouest-est. Cela définirait **11 strates : 4 à St Benoît et Cherrueix et 3 aux Hermelles** (il n'y a que trois paliers aux Hermelles).

L'approximation de nos variables par une loi Normale ayant été validée, on peut se permettre des effectifs par strate relativement sensiblement inférieur à 30, car on n'aura plus à se référer à la normalité admise des moyennes de grands nombres. cependant, le nombre d'échantillons par strate ne doit pas être trop faible si on ne veut pas obtenir un intervalle de confiance pénalisé par un *t* de Student trop grand.

6.2 NOMBRE OPTIMUM D'ÉCHANTILLONS PAR STRATE

Ce calcul a été effectué en fonction des variances et des coûts définis par le nombre de personnes disponibles et le nombre de marées de travail. L'optimisation s'appuie sur le ratio entre mesures et trajets d'un binôme durant une marée, soit 1h de mesure pour 1h30 de trajet. L'unité utilisée est l'heure-binôme.

La précision finale étant fonction des coûts, deux approches sont possibles :

- A coût fixe et précision optimisée : les coûts sont ceux de cette étude et nous améliorons la précision par l'allocation optimale de Neyman.
- A précision fixée et coûts optimisés : nous améliorons la quantité et la répartition d'effort, en restant dans la limite de précision fixée.

Le calcul suivant détermine les effectifs à échantillonner par strate en fonctions des coût fixes (première approche). Un tableau Excel interactif (la modification d'un paramètre influence les résultats) alloue l'effort entre les strates de manière optimale selon le calcul de Neyman, utilisant les coûts (C, C₀, c), la variance inter-pieu estimée (s_h) et le poids des strates (W_h) :

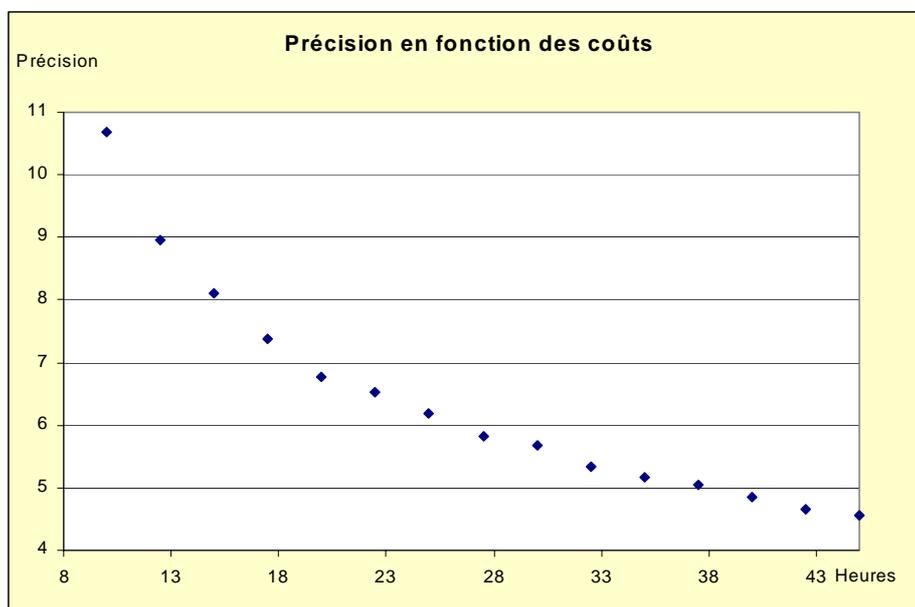
$$n_h = [(C - C_0) / c] \times [W_h \cdot s_h / (\sum W_h \cdot s_h)]$$

Paramètres par strate		Strate	Wh	Sh	Wh * Sh	nh optimum
Nombre de strates k	14	1	0,0682	15821,1	1078,6	5
Temps trajet par binome	1,5	2	0,0767	10006,5	767,5	4
Temps consacré à un pieu par strate = c	1/6	3	0,0485	14247,7	690,6	3
Temps consacré aux pieux par binome	1,0	4	0,0602	16839,2	1013,5	5
Variables		5	0,0804	13316,8	1071,0	5
Co	21	6	0,0980	13478,1	1320,9	6
C1	14	7	0,0927	26515,0	2457,3	12
C total	35	8	0,0511	15842,1	810,0	4
coefficient (C-C ₀)/c = n	84	9	0,0921	15952,7	1469,9	7
On obtient finalement 84 pieux		10	0,0660	23835,8	1574,2	7
soit une moyenne de 6 par strate		11	0,0589	18570,1	1093,4	5
		12	0,0542	18570,1	1007,1	5
		13	0,0773	17385,3	1344,7	6
		14	0,0756	29381,8	2221,0	10
		Somme:		17919,7	84	

Tableau 10 : Optimisation du nombre d'échantillon par strate

La base de coût se révèle un peu pessimiste puisque les 35 heures correspondant à **2 marées** ne permettent d'échantillonner que 84 pieux au lieu de 99 mesurés lors de cette campagne. Malgré cela, l'amélioration de la répartition entre strates aboutit à une **précision** sur le volume total de **5,17%** (au lieu de 6.09 %).

En faisant varier ce coût total (2^{ème} approche), nous pouvons simuler la relation entre l'effort d'échantillonnage et la précision souhaité. On s'intéressera particulièrement à la précision correspondant au coût total de 17.5 h soit une marée de travail : en **une marée** nous obtiendrions une **précision de 7.38%** pour l'estimation du volume total de moules dans la Baie du Mont st Michel.



graphique 4 : La précision en fonction des coûts

Cette optimisation aurait sans doute pu être améliorée en prenant en compte la stratification optimale en 11 strates au lieu de 14 évoquée précédemment.

6.3 LE NOMBRE OPTIMUM DE SECTIONS

Nous avons cherché à définir cet optimum pour chaque strate. La formule utilisée tient compte des coûts C_1 (10 mn) et C_2 (8mn), respectivement temps de mesures d'un pieu et temps de mesure d'une section.

La formule générale s'écrit : $m_{opt} = (s_2 \times \sqrt{C_1 / C_2}) / \sqrt{sb^2 - s_2^2 / m'}$ (Cochran 1977), avec :
 $m' = 4$ sections estimées

$$s_2^2 = \sum (M_i / M_o) \times s_{2i} \quad M_i = \text{Hauteur de moule sur le pieu } i \quad M_o = \sum M_i$$

$$s_{2i} = [\sum (y_{ij} - \bar{y}_i)] / m' : \quad \text{Variances des sections de moules sur le pieu.}$$

$$s_b^2 = [\sum M_i^2 (\bar{y}_i - \bar{y})^2] / M^2 (n - 1) \quad \text{avec } n = \text{nombre de pieux}$$

Le nombre optimum d'unités secondaire pour les strates 11 et 12 n'a pas été déterminé, car aucun échantillon n'y a été prélevé. Les résultats tournent autour d'**une section de moules par pieu**. Lors d'une prochaine estimation, le nombre de section à estimer par pieu pourrait donc sans inconvénient être ramené à 1 ou 2 (au lieu de 4 dans la présente étude).

En l'absence d'optimisation réalisée pour le nombre d'épaisseurs par circonférence (4 par section dans cette étude), on devrait conserver ce nombre de 4 dans une prochaine étude (le temps de mesure de ces 4 épaisseurs ayant d'ailleurs été pris en compte dans le temps de mesure des sections).

Strates	Nombre de sections optimales
1	1,5
2	1,3
3	0,8
4	1,5
5	2,2
6	2,1
7	1,0
8	0,9
9	0,8
10	0,7
13	1,0
14	0,4

Tableau 11 : Calcul du nombre optimum d'unités secondaires

7 CONCLUSION

Le travail principal de cette étude était la mise en place d'un plan d'échantillonnage le plus adapté possible à l'objectif d'estimation du stock de moules en Baie du Mont St Michel, selon trois variables : le volume, le poids et le nombre de moules. L'efficacité du plan signifiait une précision maximale moyennant le respect de différentes contraintes (le temps disponible, les volontés des mytiliculteurs) : elle s'est traduite par un plan relativement sophistiqué (utilisation de la stratification, des degrés, de l'estimation par régression ...).

Les résultats finaux obtenus sur le stock de moules sont importants car ils sont obtenus peu avant une opération importante de restructuration et qu'ils doivent s'intégrer à un modèle général de relation entre les moules et la ressource trophique. Ils sont d'autant plus intéressants qu'ils sont précis : **11 102 tonnes de moules avec une précision de 6.31 %**. Descendre en dessous de 10 % lors d'une telle étude n'a pu être obtenu que par un plan de sondage efficace, d'une certaine homogénéité entre les pieux et d'un effort d'échantillonnage important (14 personnes pendant 2 jours).

En outre l'exploitation des données débouche sur la réalisation d'un fichier *Excel* dans lequel l'essentiel des calculs de moyennes et de précision est pré-programmé. Il restera quelques adaptations liées à l'évolution de certaines grandeurs nécessairement évolutives, comme le nombre exact de strates (on ne connaît pas encore les nouveaux plans des bouchots à cause de la restructuration), mais aussi le nombre de pieux réellement échantillonnés. Il conviendra également d'intégrer les bénéfices de l'optimisation effectuée à la fin de cette étude (modifiant notamment le nombre d'unités par degré).

Ces 10 semaines de stages ont été enrichissantes et intéressantes. Un des intérêts majeur est d'avoir pu suivre et réaliser, en collaboration avec M.Mazurié, cette étude du début à la fin, en prenant en compte non seulement les aspects statistiques de conception-réalisation du plan de sondage, mais aussi les contraintes de nature matérielle ou humaine.

Ce stage m'a aussi permis de me familiariser avec le logiciel *Arcview* (utilisé principalement pour la réalisation de plans de parcours lors des mesures et le tirage aléatoire des pieux) et un peu avec la base de donnée *Access* même si on a finalement abandonné son utilisation.

D'un point de vue scientifique, j'ai été sensibilisé par M. Mazurié à l'utilité d'aller jusqu'au bout des explications : je veux dire par là, comprendre parfaitement ce que l'on utilise, les formules statistiques par exemple, afin de mieux le faire à bon escient et le plus efficacement.

8 BIBLIOGRAPHIE

COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques. 3rd Edition, Wiley and sons, New York, 413 p.

FRONTIER S., 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Edition Masson. Collection d'écologie 17. 494 p.

GERLA D., 1990. Exemple de gestion d'un bassin mytilicole : la Baie du Mont Saint Michel. Rapport Ifremer RIDRV-90.25-CSRU / St Malo. 40 p.

GERLA D. 1993. La Baie du Mont Saint Michel ou une bonne gestion d'un bassin mytilicole. Equinoxe n°43, pp19-28

GASQUET R., 1996. Historique et évolution de la conchyliculture dans la Baie du Mont Saint Michel. Rapport de stage – Institut National Agronomique - Paris-Grignon. 123 p.

MAZURIE et DARDIGNAC-CORBEIL M.J., 1987. Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton. Laboratoire régional de Conchyliculture Loire-Gironde, station de la Rochelle. 25 p. Rapport interne, DRV-88.002-RA / L'Houmeau

PARAIRE J., 1983. La mytiliculture en Bretagne Nord. Section Régionale de la Conchyliculture Bretagne Nord. Rapport NI-652. 49 p.

RASPAIL L., 2000. Création d'une base de données Access et réalisation d'un traitement automatique d'orthophotos aériennes. Mémoire DESS Ingénierie des systèmes informatiques – université de la Rochelle. Stage à la station Ifremer la Tremblade. Laboratoire LCPC.43 p.

9 TABLES

CARTE 1 : LOCALISATION DE LA BAIE DU.....	5
CARTE 2 : LOCALISATION DES BOUCHOTS	7
CARTE 3 : LES DIFFERENTES STRATES ET EMPLACEMENT DES DIFFERENTS PIEUX.....	22
GRAPHIQUE 1 : INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LA PREDICTION DU VOLUME.....	24
GRAPHIQUE 2 : NOMBRE ET POIDS DE MOULES EN FONCTION DU POIDS MOYEN	25
GRAPHIQUE 3 : ACP SUR LES 55 PIEUX AYANT UNE MESURE DU NOMBRE	30
GRAPHIQUE 4 : LA PRECISION EN FONCTION DES COUTS.....	33
SCHEMA 1 : ANATOMIE D'UNE MOULE.....	10
SCHEMA 2 : CYCLE DE CULTURE DES MOULES.....	10
SCHEMA 3 : DETERMINATION DE LA VARIABLE « DISTANCE A LA COTE ».....	26
TABLEAU 1 : DEROULEMENT DU STAGE.....	6
TABLEAU 2 : TEST DE NORMALITE POUR LA VARIABLE VOLUME DE MOULES SUR UN PIEU	20
TABLEAU 3 : CALCUL DES VALEURS STATISTIQUES POUR LA STRATE 1.....	21
TABLEAU 4 :ANALYSE DE LA VARIANCE POUR LA REGRESSION SUR LE VOLUME DE MOULE PRESENT PAR PIEU	23
TABLEAU 5 : MOYENNES ET VARIANCES DES TROIS VARIABLES POUR TOUTES LES STRATES.....	26
TABLEAU 6 : STOCK TOTAL ET PRECISION (TOTAL DE 206 525 PIEUX GARNIS)	26
TABLEAU 7 :MOYENNES FINALES PAR PIEU	27
TABLEAU 8 : STOCK PAR PLAN – MOYENNE ET PRECISION.....	28
TABLEAU 9 :MATRICE DE CORRELATION ENTRE NOS VARIABLES.....	29
TABLEAU 10 : OPTIMISATION DU NOMBRE D'ECHANTILLON PAR STRATE	32
TABLEAU 11 : CALCUL DU NOMBRE OPTIMUM D'UNITE SECONDAIRE	34



INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE SUD

Département Statistique et Traitement Informatique des Données



ANNEXES

Etude du stock de moules dans
la baie du Mont St Michel

Document réalisé par Denis GERARD

Année universitaire 2001-2002

SOMMAIRE

Annexe 1 : Lexique.....	3
Annexe 2 : Historique de la mytiliculture.....	4
Annexe 3 : Plan général des bouchots	5
Annexe 4 : Tirage des pieux	6
Annexe 5 : Les différentes mesures réalisées	7
Annexe 6 : L'ensencement des bouchots.....	8
Annexe 7 : Extrait du fichier des données primaires	9
Annexe 8 : Test de la Normalité des distributions	10
Annexe 9 : Graphique du Nombre volumique et de la densité.....	11
Annexe 10 : Regression Multiple	12
Annexe 11 : Regression Simple.....	13

ANNEXE 1 : LEXIQUE

Zone intertidale : espace compris entre le niveau des plus hautes mers et celui des plus basses mers.

Marnage : différence de hauteur entre les plus hautes mers et les plus basses mers, sous l'effet de la marée.

Conchyliculture : Elevage des coquillages comestibles.

Ostréiculture : Elevage des huîtres

Mytiliculture : Elevage des moules

Bouchots : Ensemble d'une centaine de pieux formant une ligne

Pieu : Piece de bois (chêne ou bois tropical) autour de laquelle les moules sont accrochées

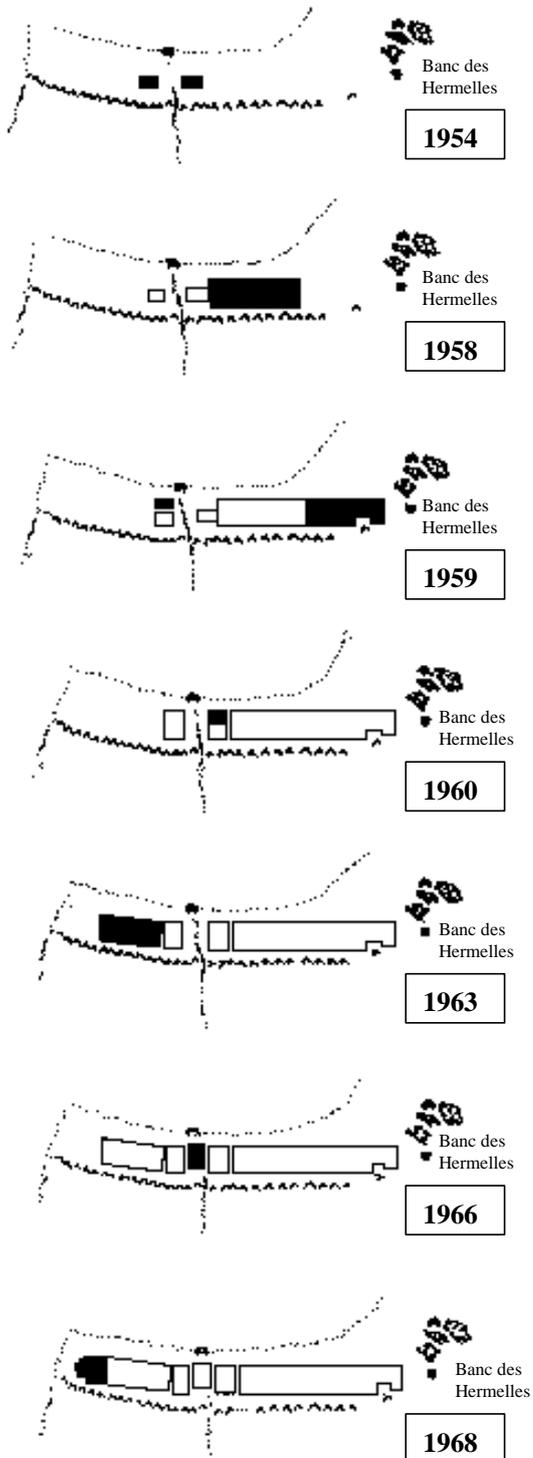
Clayonnage : Barrage tendu entre deux pieux pour augmenter la surface exploitable pour la culture des moules

Biez : chenal séparant 2 secteurs ou plans mytilicoles

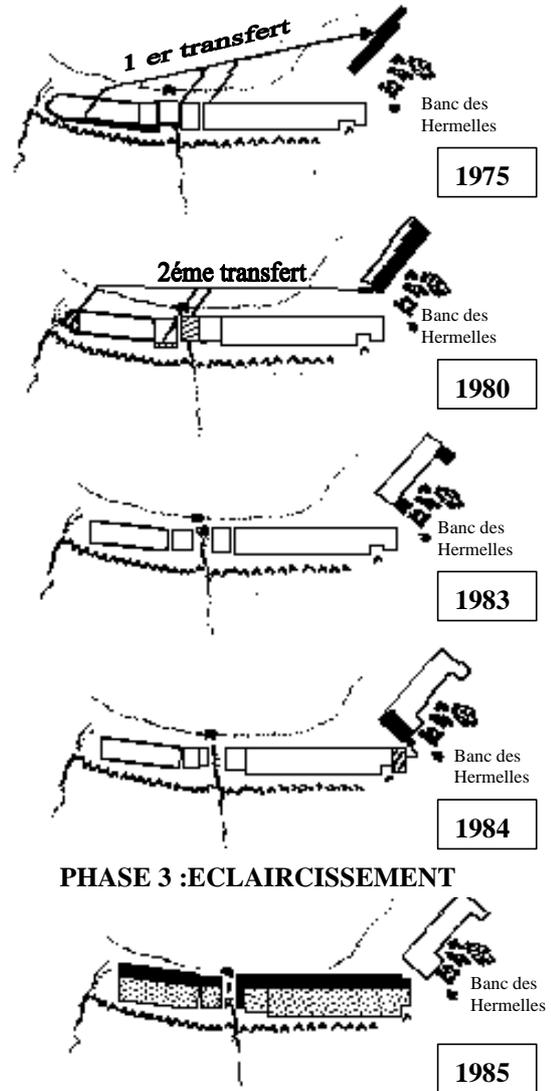
Taux d'ensemencement : % de pieux garnis de moules

ANNEXE 2 : HISTORIQUE DE LA MYTILICULTURE

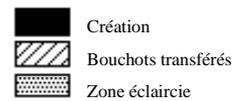
PHASE 1 : CREATION



PHASE 2 : TRANSFERT



PHASE 3 : ECLAIRCISSEMENT



Source : GERLA

ANNEXE 3 : PLAN GENERAL DES BOUCHOTS

St Benoît

1. Le bouchot est un ouvrage de pêche à crevette qui se compose d'une série de bouchots (ou bouchottes) accolés les uns aux autres. Chaque bouchot est constitué d'une cage en osier ou en bambou, munie d'une ouverture à l'entrée et d'une ouverture à la sortie. Les bouchots sont disposés en lignes parallèles, séparées par des canaux de circulation de l'eau. Les crevettes sont attirées par la nourriture qui tombe dans les cages et sont retenues à l'entrée. Elles sont ensuite ramassées par le pêcheur à la sortie.

Cherrueix

2. Le bouchot est un ouvrage de pêche à crevette qui se compose d'une série de bouchots (ou bouchottes) accolés les uns aux autres. Chaque bouchot est constitué d'une cage en osier ou en bambou, munie d'une ouverture à l'entrée et d'une ouverture à la sortie. Les bouchots sont disposés en lignes parallèles, séparées par des canaux de circulation de l'eau. Les crevettes sont attirées par la nourriture qui tombe dans les cages et sont retenues à l'entrée. Elles sont ensuite ramassées par le pêcheur à la sortie.

Hermelles

3. Le bouchot est un ouvrage de pêche à crevette qui se compose d'une série de bouchots (ou bouchottes) accolés les uns aux autres. Chaque bouchot est constitué d'une cage en osier ou en bambou, munie d'une ouverture à l'entrée et d'une ouverture à la sortie. Les bouchots sont disposés en lignes parallèles, séparées par des canaux de circulation de l'eau. Les crevettes sont attirées par la nourriture qui tombe dans les cages et sont retenues à l'entrée. Elles sont ensuite ramassées par le pêcheur à la sortie.

ANNEXE 4 : TIRAGE DES PIEUX

St Benoit

Numéro Strate	Nombre Bouchots	Nb Pieux par Bouchot	Total de pieux	Tx ensemencement	Nombre Bouchots occupés	Nb pieux occupés	Nombre Pieux à ech théo	Nombre Pieux à échantillonnés
1	68	110	7480	0,59	40	5192	5	5
2	80	110	8800	0,59	47	5192	5	5
3	74	110	8140	0,59	44	4803	4	5
4	68	110	7480	0,67	46	4422	4	5
5	80	110	8800	0,67	54	5896	5	5
6	74	110	8140	0,67	50	5454	5	5
7	68	110	11220	0,57	52	5760	5	5
	34	110		0,40				
8	80	110	13200	0,57	62	6776	6	6
	40	110		0,40				
9	74	110	12100	0,57	57	6224	5	5
	36	110		0,40				
Total	776				450	49718	43	46

Cherruieux

Numéro Strate	Nombre Bouchots	Nb Pieux par Bouchot	Total de pieux	Tx ensemencement	Nombre Bouchots occupés	Nb pieux occupés	Nombre Pieux à ech théo	Nombre Pieux à échantillonnés
10	66	110	7260	0,65	43	4719	4	5
11	90	110	9900	0,65	59	6435	6	6
12	100	110	11000	0,65	65	7150	6	6
13	114	110	12540	0,65	74	8151	7	7
14	66	110	7260	0,68	45	4937	4	5
15	90	110	9900	0,68	61	6732	6	6
16	100	110	11000	0,68	68	7480	6	6
17	120	110	13200	0,68	82	8976	8	8
18	66	110	11000	0,67	65	7108	6	6
	34	110		0,60				
19	90	110	9900	0,67	60	6633	6	6
20	100	110	11000	0,67	67	7370	6	6
21	120	110	13200	0,67	80	8844	8	8
22	90	110	9900	0,60	54	5940	5	5
23	100	110	11000	0,60	60	6600	6	6
24	90	110	9900	0,60	54	5940	5	5
Total	1436				937	103015	89	91

Les Hermelles

Numéro Strate	Nombre Bouchots	Nb Pieux par Bouchot	Total de pieux	Tx ensemencement	Nombre Bouchots occupés	Nb pieux occupés	Nombre Pieux à ech théo	Nombre Pieux à échantillonnés
25	56	160	8960	0,75	42	6720	6	6
26	90	160	14400	0,75	68	10800	9	8
27	60	160	9600	0,75	45	7200	6	6
28	55	160	8800	0,74	41	6512	6	6
29	90	160	14400	0,74	67	10656	9	8
30	60	160	14100	0,74	64	10029	9	8
	30	150		0,65				
31	54	150	8100	0,65	35	5265	5	5
Total	495				361	57182	50	47

TOTAL					1747	209915	182	184
-------	--	--	--	--	------	--------	-----	-----

ANNEXE 5 : LES DIFFERENTES MESURES REALISEES

◀ **Hauteur** de moule sur le pieu à l'aide d'un chevron.

4 **circonférences** du pieu avec
▶ ses moules, de haut en bas
du pieu grace à un mètre de
couturière.

Pour chaque circonférence, mesure de ▶
4 **épaisseurs** de moules avec une règle
bizeautée. (Photo non contractuelle : prise
pendant un essai de matériel de mesure)

Etiquettage du pieu échantillonné ▲
Etiquettage identique pour les pieux nus
sélectionnés pour la seconde étude.

◀ Prélèvement d'un litre de moule.

◀ **Pesée** de tous les prélèvements
à la fin de la journée chez un
mytiliculteur.

◀ **Comptage** de certains prélèvements
pris au hasard dans chaque groupe.

ANNEXE 6 : L'ENSEMENCEMENT DES BOUCHOTS

Taux d'occupation des bouchots dans la baie du Mont St Michel

(d'après les comptages exhaustifs du 24 avril 2002, par les professionnels et l'Ifremer)

St BENOÎT

61,2

67,6	57,5	52,6
73,5	62,5	47,3
67,6	55	60,5
64,7	57,5	65,8
55,8	55	52,6
55,8	62,5	57,9
67,6	67,5	70,2

CHERRUEIX

62,7

54,5	64,4	64	72,7
60,6	75,5	68,0	78,0
63,6	64,4	68	73,3
63,6	64,4	68,0	73,3
48,5	68,9	78	65
39,4	62,2	66,0	65,0
48,3	48,9	52	48,9
	40,0	54,0	53,3

Les HERMELLES

69,9

71,4	73,3	76,7
75,0	57,8	73,3
78,6	55,6	76,7
67,9	77,8	73,3
59,3		76,7
63,0		76,7

Légende:

- : Plus de 70%
- : Entre 60 et 70%
- : Entre 50 et 60%
- : Entre 40 et 50%
- : Moins de 40%

ANNEXE 7 : EXTRAIT DU FICHIER DES DONNEES PRIMAIRES

Strate	Numero	Plan	Localisation	Ligne	Position	Numb	Haut	Circ1	Moy(E)	SECT	E11 E12 E13 E14				Circ2	Moy(E)	SECT	E21
									moules	moules						moules	moules	
1	68	St Benoit	Ouest	8	12	6	220	74	5,625	316,848	7	5	5,5	5	72	5,125	286,484	5,5
1	71	St Benoit	Centre	8	60	2	250	80	6,25	377,2815	7	6,5	5,5	6	77	6,625	372,239	7
1	72	St Benoit	Centre	7	85	3	260	84	5,375	360,7374	4	5	5,5	7	72	5,5	300,967	7
1	73	St Benoit	Ouest	7	15	9	250	86	7,125	453,2651	8	6	7	7,5	81	7	413,062	7,5
2	77	St Benoit	Est	8	3	6	230	77	5,375	323,1124	5,5	5	5	6	77	6	348,903	7
2	84	St Benoit	Est	8	10	5	220	79		415,643					79		415,643	
2	85	St Benoit	Est	7	27	3	170	79		415,643					76		378,639	
1	2	St Benoit	Ouest	5			265	74	5,375	306,9874	5	5	5	6,5	81	7,25	422,12	7

.....

E22	E23	E24	Circ3	Moy(E)	SECT	E31	E32	E33	E34	Circ4	Moy(E)	SECT	E41	E42	E43	E44	Largeur	Poids /	Nb /
				moules	moules						moules	moules					récip	récip	récip
4,5	6	4,5	68	4,875	256,838	5,5	4,5	5	4,5	67	5,5	273,47	6	5	6	5		0,72	229
6,5	5,5	7,5	82	7,125	424,765	7	8	6,5	7	77	6,5	367,77	6,5	5,5	6,5	7,5		0,8	231
7	4	4	77	6,5	367,768	5,5	7	6,5	7	88	7,375	478,13	7	5	9	8,5		0,71	199
6	7,5	7	85	7,125	446,14	7	5	8	8,5	77	8,125	418,23	10	7	7,5	8		0,72	158
5,5	6	5,5	75	6,25	346,032	7	6,5	5,5	6	75	5,625	322,47	6	5	5	6,5		0,82	308
			74		354,766					73		343,07					9	0,82	362
			80		428,296					75		366,62					9	0,8	127
7,5	10	4,5	79	6,375	375,949	8	7	4,5	6	78	6	354,9	8,5	5,5	6	4		0,75	196

....

Capacité	Poids /	Nb / Vol	Hauteur	moy(SECT)	VOL(moul-	PDSmoul-	NB moules
récipient	Vol				pieu)	par-pieu	par pieu
1060	0,000679	0,216038	220	283,41	62350	42,35	13 470
1060	0,000755	0,217925	250	385,51	96378	72,74	21 003
1060	0,00067	0,187736	260	376,90	97994	65,64	18 397
1060	0,000679	0,149057	250	432,67	108169	73,47	16 123
1060	0,000774	0,290566	230	335,13	77080	59,63	22 397
1060	0,000774	0,341509	220	382,28	84102	65,06	28 722
1060	0,000755	0,119811	170	397,30	67541	50,97	8 092
1060	0,000708	0,184906	265	364,99	96722	68,44	17 884

:Données transférées dans les feuilles des strates

ANNEXE 8 : TEST SUR LA NORMALITE DES DISTRIBUTIONS

Test de la normalité sur la distribution du Poids de moules sur 1 pieu

Paramètre:		Nombre de classes souhaité =	6
Moyenne =	51,084	Mini =	17,60
Ecart-type =	16,204	Maxi =	109,11
Nombre de parramètre =	2	Maxi -Mini =	91,5072864
ddl =	3	Intervalle =	15,2512144

Bornes	Effectifs obs	Proba théo	Effectifs théo	Calcul du C ²
17,6				
30	7,00	0,07721	7,6	0,05421649
40	17,00	0,15037	14,9	0,299933148
50	26,00	0,22635	22,4	0,575632153
60	25,00	0,23559	23,3	0,120566739
70	12,00	0,16955	16,8	1,364335375
109,1	12,00	0,12137	12,0	1,99708E-05
0	0,00	0,00000	0,0	0
0	0,00	0,00000	0,0	0
0	0,00	0,00000	0,0	0
0	0,00	0,00000	0,0	0
TOTAL =	99		Ki² calculé =	2,41470

Ki² (95%) = 7,814724703

Conclusion: Non rejet de Ho

Test de la normalité sur la distribution du Nombre de moules sur 1 pieu

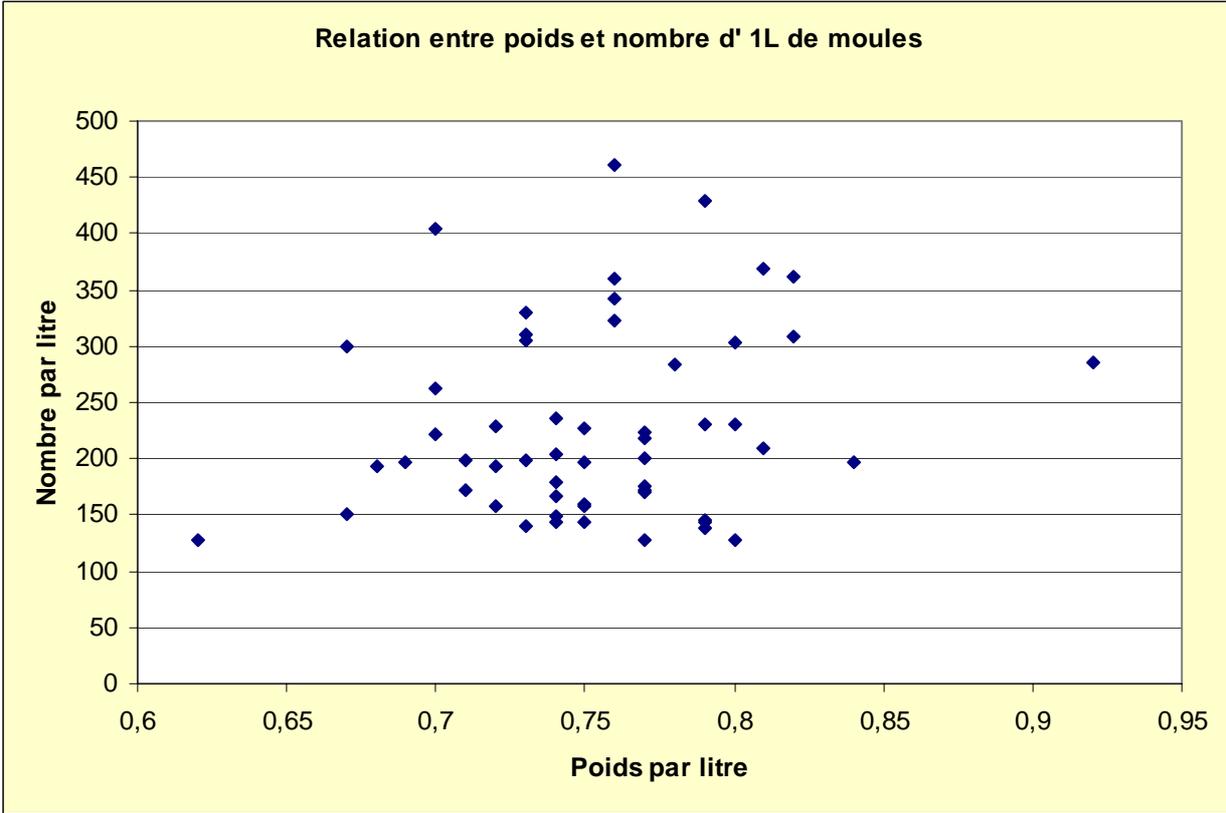
Paramètre:		Nombre de classes souhaité =	5
Moyenne =	16693,49	Mini =	5818,09
Ecart-type =	6686,12998	Maxi =	37975,32
Nombre de parramètre =	2	Maxi -Mini =	32157,23
ddl =	2	Intervalle =	6431,44599

Bornes	Effectifs obs	Proba théo	Effectifs théo	Calcul du C ²
5818				
10000	6	0,106	5,9	0,003537543
15000	20	0,242	13,3	3,387881061
20000	13	0,290	15,9	0,5366048
30000	14	0,287	15,8	0,203952021
37975	2	0,023	1,2	0,464762745
0	0	0,000	0,0	0
0	0	0,000	0,0	0
0	0	0,000	0,0	0
0	0	0,000	0,0	0
0	0	0,000	0,0	0
TOTAL =	55		Ki² calculé =	4,59674

Ki² (95%) = 5,991476357

Conclusion: Non rejet de Ho

ANNEXE 9 : NOMBRE VOLUMIQUE ET POIDS VOLUMIQUE



**ANNEXE 10 : REGRESSION MULTIPLE ENTRE QUANTITE DE MOULES ET
EMPLACEMENT DES PIEUX (SELON 2 DIRECTIONS)**

MODELE A 2 variables (VOLUME)						
R2 ajusté = 0,329743		R2 = 0,451608		multiple R = 0,672017		
Analyse de variance						
F	d.d.l.1	d.d.l.2	Probabilité			
3,70581	2	9	0,06697454			
Variable	Coefficient	centré&réduit	Corrélation/Y	t de Student	d.d.l.	Probabilité
Distance côte	8,144533	0,626297	0,660793	2,44194	9	0,03724592
Parra Ouest-Est	0,051217	0,127081	0,297091	0,49549	9	0,63212699
constante =	47,708076					

MODELE A 2 variables (POIDS)						
R2 ajusté = 0,311357		R2 = 0,436564		multiple R = 0,66073		
Analyse de variance						
F	d.d.l.1	d.d.l.2	Probabilité			
3,486722	2	9	0,07564805			
Variable	Coefficient	centré&réduit	Corrélation/Y	t de Student	d.d.l.	Probabilité
Distance côte	6,041624	0,60301	0,644304	2,319544	9	0,04551978
Parra Ouest-Est	0,047236	0,152123	0,315813	0,58516	9	0,57281693
constante =	32,695735					

MODELE A 2 variables (NOMBRE)						
R2 ajusté = 0,256307		R2 = 0,405046		multiple R = 0,636432		
Analyse de variance						
F	d.d.l.1	d.d.l.2	Probabilité			
2,723211	2	8	0,12529479			
Variable	Coefficient	centré&réduit	Corrélation/Y	t de Student	d.d.l.	Probabilité
Distance côte	-2192,67139	-0,658253	-0,623877	2,328396	8	0,04828243
Parra Ouest-Est	13,047849	0,130406	-0,043112	0,461277	8	0,65688219
constante =	22489,5313					

ANNEXE 11 : REGRESSION SIMPLE ENTRE QUANTITE DE MOULES ET ELOIGNEMENT

DE LA COTE

RAPPORT DÉTAILLÉ - VOLUME								
Statistiques de la régression								
Coefficient de détermination multiple	0,66079							
Coefficient de détermination R ²	0,43665							
Coefficient de détermination R ²	0,38031							
Erreur-type	10,5426							
Observations	12							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F			
Régression	1	861,4896209	861,4896209	7,750905185	0,019316135			
Résidus	10	1111,469693	111,1469693					
Total	11	1972,959314						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95,0%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95,0%
Constante	49,1136	8,775475577	5,596682867	0,00022874	29,56057235	68,66653528	29,56057235	68,66653528
Distance côte	8,59313	3,086564933	2,784044753	0,019316135	1,715838469	15,47043134	1,715838469	15,47043134
RAPPORT DÉTAILLÉ - POIDS								
Statistiques de la régression								
Coefficient de détermination multiple	0,6443							
Coefficient de détermination R ²	0,41513							
Coefficient de détermination R ²	0,35664							
Erreur-type	8,27623							
Observations	12							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F			
Régression	1	486,168834	486,168834	7,097777335	0,023729015			
Résidus	10	684,9592641	68,49592641					
Total	11	1171,128098						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95,0%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95,0%
Constante	33,992	6,888968854	4,934261346	0,000592189	18,64239092	49,34155454	18,64239092	49,34155454
Distance côte	6,45536	2,423031037	2,664165411	0,023729015	1,05650495	11,85420601	1,05650495	11,85420601
RAPPORT DÉTAILLÉ - NOMBRE								
Statistiques de la régression								
Coefficient de détermination multiple	0,62388							
Coefficient de détermination R ²	0,38922							
Coefficient de détermination R ²	0,32136							
Erreur-type	2866,12							
Observations	11							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F			
Régression	1	47113912,15	47113912,15	5,735341361	0,040235712			
Résidus	9	73931991,6	8214665,734					
Total	10	121045903,8						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95,0%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95,0%
Constante	22847,2	2408,652668	9,4854878	5,54421E-06	17398,49046	28296,00053	17398,49046	28296,00053
Distance côte	-2078,2	867,7620789	-2,394857274	0,040235712	-4041,18202	-115,150628	-4041,182025	-115,1506279