

INTECHMER  
Filière 2 : génie de l'environnement et aménagement du littoral.

IFREMER-Centre de Nantes  
Direction de l'environnement et de l'aménagement du littoral  
Département Polluants chimiques

Sabine Mercier

Août 2000

**MORPHOLOGIE DES COQUILLES DES MOULES  
DU RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION  
(RNO) : APPLICATION AU SUIVI DE LA  
CONTAMINATION EN MERCURE**



## Remerciements

Tous mes remerciements vont à Daniel Cossa qui m'a permis d'effectuer ce stage au sein du département Polluants Chimiques. Je tiens à lui exprimer ma plus vive reconnaissance pour ses orientations au cours de mon travail, ses conseils à la réalisation de ce rapport et ses encouragements.

Je n'oublie pas non plus les agents et stagiaires du Département Direction de l'Environnement Littoral pour leur aide et leur gentillesse, et mon partenaire de laboratoire et de missions Fabien Laurier qui m'a prêté soutien tout au long de mon stage.

## Avant-propos

Ce stage effectué au département Polluants Chimiques (DEL/PC) du centre IFREMER de Nantes, est un stage de formation de « technicien supérieur ». Il est prévu dans la scolarité de l'Institut National des Sciences et Techniques de la Mer comme stage de fin d'étude. Le sujet du stage : « Morphologie des coquilles de moules du réseau National d'Observation (RNO) : application au suivi de la contamination par le mercure » s'inscrit complètement dans le prolongement de mon orientation en génie de l'environnement.

Le stage s'est déroulé en deux phases. La première sur l'étude de la biométrie des coquilles de moules, et la seconde sur l'apprentissage d'une technique analytique du dosage du mercure.

Parallèlement à ces deux activités, j'ai appris à connaître l'entreprise Ifremer, c'est de cet aspect dont il sera d'abord question dans ce rapport, la seconde partie étant constituée par la présentation des travaux du stage, et enfin la dernière, par le bilan des connaissances tirées de ce stage.

# SOMMAIRE

<b>PRESENTATION DE L'IFREMER</b>	1
<b>PRESENTATION DU SUJET DU STAGE</b>	3
<b>Chapitre 1 : INTRODUCTION</b>	3
<b>Chapitre 2 : MATERIEL ET METHODES</b>	5
<b>I. Origine des échantillons</b>	5
<b>II. Méthodes biométriques</b>	5
<i>1 Paramètres de croissance des moules</i>	5
<i>2 Estimation de l'âge de la moule</i>	6
<b>III. Méthode analytique du dosage du mercure dans les tissus mous des moules</b>	6
<i>1 Préparation des échantillons</i>	6
a) conditions de travail	6
b) lyophilisation	6
c) broyage et homogénéisation (projet TERCAUX)	7
<i>2 Description générales de l'analyseur de mercure</i>	7
a) les composants fondamentaux de l'AMA 254	8
b) séquences analytiques	9
c) étalonnage	9
<i>3 Performances analytiques</i>	10
a) précision et limite de détection	10
b) rythme analytique	11
<b>IV. Méthodes de traitement des données</b>	11
<i>1 Excel</i>	11
<i>2 Statgraphics +</i>	11
<b>Chapitre 3 : EXPOSE DES RESULTATS</b>	12
<b>I. Résultats biométriques des moules du RNO 99</b>	12
<i>1 Type de distribution</i>	12
<i>2 Statistiques générales</i>	13
<i>3 Analyse de variance</i>	13
<i>4 Représentation graphique en « boîtes à moustaches »</i>	14
<i>5 Analyse en composante principale</i>	16
<i>6 Age des moules</i>	17

<b>II. Concentrations en mercure dans les tissus mous des moules</b>	<b>18</b>
<i>1 Résultats du RNO</i>	18
<i>2 Résultats « TERCAUX »</i>	19
<b>Chapitre 4 : DISCUSSION ET CONCLUSIONS</b>	<b>21</b>
<b>I. Paramètres allométriques</b>	21
<b>II. Optimisation de l'utilisation du genre <i>Mytilus</i> comme indicateur quantitatif de la contamination métallique en milieu côtier</b>	23
<b>CONCLUSIONS SUR LE STAGE</b>	<b>26</b>

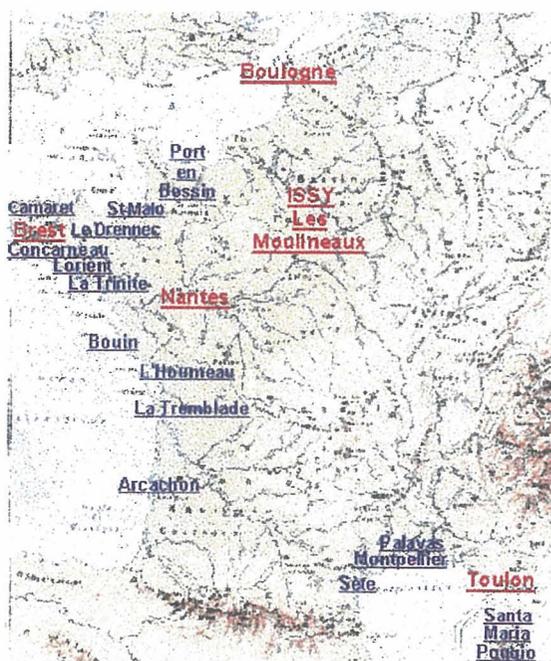
# PRESENTATION DE L'IFREMER

L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, l'IFREMER est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), créé en juin 1984. Il regroupe 1700 chercheurs, cadres, marins, techniciens et administratifs, qui sont répartis dans environ 72 laboratoires ou services de recherche dans toute la France et les DOM-TOM.

C'est un établissement à vocation entièrement maritime. Ses activités sont essentiellement de la recherche finalisée. Il participe au développement socio-économique du monde marin, et joue un rôle de service public (consultation auprès des professionnels, des collectivités locales et de l'Etat).

## Implantations

Le siège Social d'Issy- les-Moulineaux  
Le Centre de Boulogne-sur-Mer  
La Station de Port-en-Bessin  
Le Centre de Brest  
La Station de Saint-Malo  
La Station de Concarneau  
La Station de Lorient  
La Station de la Trinité-sur-Mer  
Le Centre de Nantes  
La Station de Bouin  
La Station de la Rochelle  
La Station de la Tremblade  
La Station d'Arcachon  
Le Centre de Toulon  
La Station de Sète  
La Station de Palavas les Flots  
L'unité mixte de Montpellier  
La Station de Santa Maria Poggio



C'est aussi :

Le Centre de Tahiti

Les Délégations de Nouvelle Calédonie, de Guyane, de la Réunion et des Antilles.

## Organisation

L'IFREMER est structuré en six grandes Directions opérationnelles :

- La Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral (DEL)
- La Direction des Ressources Vivantes (DRV)
- La Direction des Recherches Océaniques (DRO)
- La Direction de la Technologie Marine et des Systèmes d'Information (TMSI)
- La Direction des Navires océanographiques et de l'Intervention Sous-marine (DNIS)
- La Direction des Moyens et Opérations Navals (DMON)

## La DEL

La DEL est composée :

- de 12 laboratoires côtiers ;
- de 3 Départements de recherche thématique :
  - Ecologie Côtière (DEL/EC)
  - Microbiologie et Phytotoxines (DEL/MP)
  - Polluants Chimiques (DEL/PC)
- d'un service d'applications opérationnelles (DEL/AO) ;
- d'un service régional de l'environnement littoral.

Le Département Polluants Chimiques (DEL/PC) est implanté à Nantes, Toulon, Arcachon et Brest. Ce Département dans lequel j'ai effectué mon stage, au Centre de Nantes, étudie le comportement biogéochimique des polluants métalliques et organiques en milieu côtier, de même que les effets à court et à long terme des polluants sur les organismes vivants. Il est par ailleurs en charge du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO). Mon stage s'insère dans le cadre de ce programme.

## Présentation du Réseau National d'Observation (RNO)

Ce réseau créé en 1974 à la demande du Ministère de l'Environnement, a pour objectif l'évaluation des niveaux et des tendances des contaminants chimiques, des paramètres généraux de la qualité du milieu, ainsi que l'état de santé de la faune et de la flore.

Dans ce cadre, il aboutit :

- à une collecte d'informations et données représentatives de la qualité du milieu marin littoral ;
- à une validation, une sauvegarde et une gestion de ces données, mises à disposition des utilisateurs (Etat, collectivités locales, professionnels) et des organismes scientifiques nationaux et internationaux ;
- à une évolution méthodologique de la surveillance (choix des paramètres indicateurs, stratégie d'échantillonnage, méthodes de mesure et d'exploitation des données, assurance qualité, etc.).

## Description du programme d'action (RNO) :

Des analyses sont effectuées sur tout le littoral dans l'eau, les sédiments et, sur 96 points, dans la matière vivante (moules et huîtres) : paramètres physico-chimiques, éléments nutritifs, chlorophylle dans l'eau et contaminants (métaux, DDT, lindane, polychlorobiphényles-PCB, hydrocarbures polyaromatiques-PAH). Une évaluation des effets biologiques est effectuée à partir d'organismes choisis comme indicateurs de l'état de santé de la flore et de la faune.

Des synthèses de ces résultats sont effectuées régulièrement, ces bilans permettent d'apprécier l'état de la qualité du milieu littoral et ses évolutions depuis plus de vingt ans.

# PRESENTATION DES TRAVAUX DU STAGE

## Chapitre 1: INTRODUCTION

En milieu côtier, sous l'influence des apports anthropiques, les niveaux de contamination chimique dans l'eau sont difficiles à mesurer car, dans la plupart des cas, ils restent à des concentrations faibles, de l'ordre de quelques nanogrammes par litre. La mesure de ces concentrations dans l'eau fait appel à des techniques analytiques sophistiquées et coûteuses, difficilement applicables à de nombreux échantillons prélevés le long d'un important linéaire côtier. Par ailleurs, la variabilité du milieu littoral ne confère que peu de représentativité à une mesure ponctuelle. Pour ces raisons, les mollusques filtreurs sont communément utilisés comme bioindicateurs quantitatifs. Ces organismes, comme de nombreux autres, présentent la propriété de concentrer les contaminants chimiques présents dans leur environnement ; aussi, le contenu en contaminants de leurs tissus peut être mis en rapport avec le niveau de contamination du milieu. Après un séjour de plusieurs mois dans l'eau, ils accumulent les contaminants chimiques jusqu'à atteindre un pseudo-équilibre avec le milieu, atténuant les fluctuations rapides des concentrations en contaminants. Ainsi, les niveaux mesurés dans les organismes sont le résultat et le reflet de l'état chronique ou moyen du milieu.

De nombreux pays mettent ainsi en œuvre des programmes de surveillance sous le terme générique de « moule-sentinelle » (le Mussel Watch anglosaxon ; NAS, 1980). Le RNO est un des plus anciens et des plus denses. Ces programmes se heurtent pourtant à des difficultés de mise en œuvre liées à des contraintes méthodologiques qui ont des répercussions directes sur les stratégies d'échantillonnage : variations de la bioaccumulation entre espèces, variations de la bioaccumulation dues à la taille des organismes, à leur physiologie (variations saisonnières), ainsi qu'à la disponibilité des organismes le long du littoral considéré.

En effet, les moules (*Mytilus* sp.), comme les autres organismes marins, n'accumulent pas les contaminants de la même manière tout au long de leur vie. Dans le cas des métaux par exemple, le métabolisme élevé des jeunes accélère le phénomène. De même, le ralentissement de la croissance chez les individus âgés augmente les concentrations dans les tissus par ralentissement du phénomène de dilution dû à la croissance des tissus. Les plus fortes concentrations se trouvent donc chez les organismes jeunes ou très âgés (Cossa, 1989). Les contenus totaux dans l'animal augmentent par contre tout au long de la vie de l'animal.

Pour palier ces variations, la méthodologie RNO a choisi de sélectionner des moules d'une taille comprise entre 45 et 55 millimètres (document de prescription RNO, *document d'assurance de qualité* « *dpnopt.doc* » du 13/02/1997).

Cependant, les différences de paramètres de croissance d'un site à l'autre ne sont actuellement pas pris en compte dans le RNO. L'objectif de mon stage est de commencer à réunir l'information permettant de combler cette lacune.

Il s'agit, d'une part, d'établir les paramètres de croissance allométrique de la moule, c'est-à-dire : longueur, largeur, hauteur, poids des coquilles, et, ce pour chacune des stations de suivi du RNO de 1999 et, d'autre part, de déterminer leur âge. Ces observations permettront de comparer la morphologie des coquilles, et d'estimer des taux de croissance. Une fois ces informations réunies, je tenterais de les utiliser afin d'affiner la méthodologie d'expression de la contamination chimique en prenant comme exemple le cas du mercure dans les échantillons

RNO du premier trimestre 1999. Les résultats RNO sont exprimés habituellement par unité de contaminant par gramme de chair sèche (tissus mous). La question est de savoir si un autre mode d'expression peut être plus représentatif de la qualité du milieu. A titre d'exemple, Fisher (1988) a proposé d'exprimer la contamination chimique, en quantité de métal par unité de poids de coquille, s'affranchissant ainsi d'une grande partie de la variabilité due au cycle gametogénétique qui conditionne les variations en masse et en composition des tissus mous de l'animal. En effet, pour une même moule le poids des tissus mous peut en effet varier de 40 % et ses proportions en protéines, lipides et sucres changer considérablement selon la saison (Bayne, 1976).

Les résultats présentés dans ce rapport sont de deux catégories : biométriques (sur la coquille) et chimiques (mercure dans les tissus mous). La première catégorie a été obtenue lors de mon stage, la seconde l'a été par les personnes en charge du programme RNO. Cependant, afin d'acquérir l'expérience sur l'ensemble, j'ai appris la technique de dosage du mercure sur d'autres échantillons provenant d'un projet complémentaire au RNO, le projet TERCAUX. Ce projet concerne la recherche des causes de l'anomalie de distribution du mercure chez les moules prélevées le long du littoral du Pays de Caux. Une hypothèse à tester étant une anomalie de croissance des moules de cette région.

L'ensemble des résultats de cette étude devrait permettre d'émettre des recommandations applicables à l'évolution de la stratégie d'échantillonnage du RNO.

## Chapitre 2 : MATERIEL ET METHODES

### I. Origine des échantillons

Les moules faisant l'objet de l'analyse biométrique proviennent des sites de surveillance RNO du premier trimestre de l'année 1999. Les résultats des concentrations moyennes en mercure pour chaque station que je mettrai en relation avec la biométrie, sont les résultats obtenus par les équipes permanentes de l'IFREMER selon les protocoles du RNO.

En revanche, j'ai analysé par spectrophotométrie d'absorption atomique les moules récoltées dans la région du pays de Caux lors de missions mensuelles auxquelles j'ai participées (cf Annexe 1 « description des missions TERCAUX »), plus précisément dans les trois sites : Veules sur mer, Yport et Etretat. Ainsi, les échantillons utilisés pour apprendre cette technique ne sont pas ceux du RNO, et par conséquent les protocoles de préparation des échantillons sont différents.

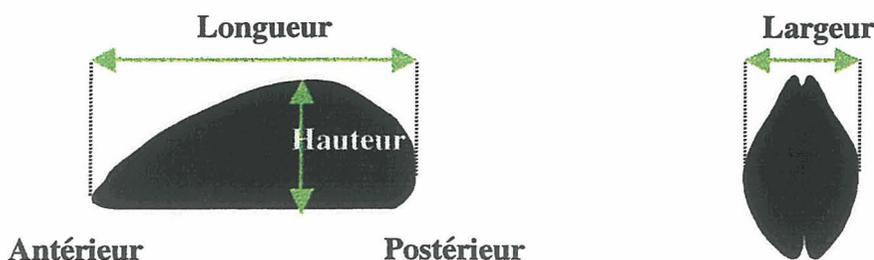
### II. Méthodes biométriques

La moule bleue (*Mytilus edulis*) est une espèce très largement répandue dans les deux hémisphères et sous différentes latitudes (Seed, 1976). Par ailleurs, aucuns travaux biométriques n'ont déjà été effectués sur le littoral français. L'examen entrepris ici, tient compte des variations géographiques de la croissance de *Mytilus edulis* à l'échelle du littoral français. Les indices obtenus à partir des mesures effectuées sur les coquilles sont des indices morphométriques (longueur/âge, masse/longueur, largeur/longueur, hauteur/longueur), qui varient avec le taux de croissance et plusieurs facteurs écologiques (Seed, 1969).

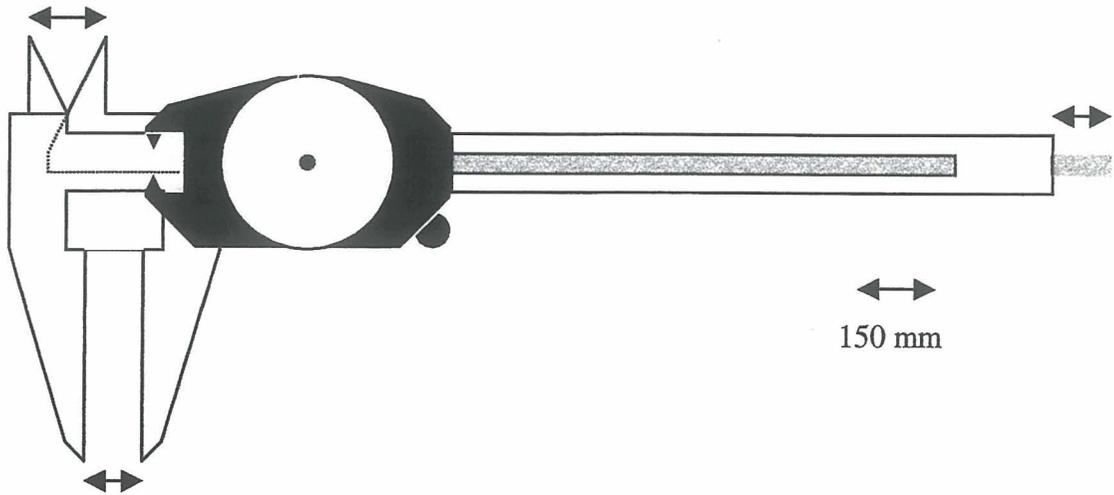
#### 1. Paramètres de croissance des moules

Les coquilles étudiées proviennent des 22 stations réparties tout le long du littoral français, sauf celui de Méditerranée où l'espèce est différente (*Mytilus galloprovincialis*), ne permettant pas une comparaison directe. Trente individus par station ont été examinés. Les longueurs (L), largeurs (l), hauteurs (H), masses (P) ont été déterminées sur les coquilles des 660 individus étudiés.

Les dimensions linéaires ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse donnant un résultat en pouces converti ensuite en centimètres par une multiplication par 2,54. La masse est trouvée par pesée (g).



## Le pied à coulisse: DIAL TYPE H13416



### 1 Estimation de l'âge de la moule

La détermination de l'âge est effectuée par comptage des stries d'accroissement annuel sur la face externe de la coquille ou par comptage des couches mélanisées observées sur des sections longitudinales des coquilles selon la méthode proposée par Lutz (1976). L'examen de la structure interne de la coquille permet de contourner les difficultés liées à la détermination chez les vieux individus des stries d'accroissement lors de l'observation de la surface externe de la coquille. En bref, les coquilles sont sectionnées longitudinalement selon la ligne de croissance maximale. Les sections sont ensuite polies (d'abord avec du papier de verre fin, puis avec de l'alumine en poudre pour la finition) et examinées à la loupe binoculaire.

## III. Méthode Analytique du dosage du mercure dans les tissus mous des moules

### 1 Préparation des échantillons

#### a) Conditions de travail

L'ensemble des manipulations se fait avec le port de gants et un équipement bien nettoyé. Les moules sont disposées dans des sacs plastiques et sont immédiatement refermées après utilisation. Le matériel est conditionné dans des sacs également fermés entre deux usages.

#### b) Lyophilisation

##### Principe:

Tous les échantillons de moules prélevés et surgelés sont lyophilisés. La technique de la lyophilisation fait appel au phénomène de sublimation, c'est-à-dire au passage direct de la

glace à l'état de vapeur sous basse pression et à très basse température. Cette méthode permet de sécher les échantillons sans perte d'éléments volatils, comme le mercure par exemple.

Protocole:

- le lyophilisateur doit d'abord être bien nettoyé et débarrassé des poussières atmosphériques qui peuvent contenir des impuretés ;
- la température interne du lyophilisateur doit être portée à - 40°C avant d'y placer les échantillons pour éviter la décongélation ;
- on installe alors les sacs plastiques de moules ouverts sur les étagères. On ferme hermétiquement, puis on crée un vide de 0,05 millibars ;
- après trois jours dans l'appareil à - 40°C, on monte la température à 15°C pendant 24 heures. Les dernières traces d'eau sont ainsi éliminées. L'expérience montre que la lyophilisation est complète au bout de 96 heures ;
- enfin, on récupère et on traite les échantillons assez rapidement pour éviter une contamination ou une réhydratation gênante lors des pesées du produit introduit dans la coupelle de mesure du spectromètre d'absorption atomique.

c) **Broyage et homogénéisation (projet TERCAUX)**

Dans le protocole RNO le broyage est effectué sur des tissus frais. Pour des raisons pratiques, dans le cadre du projet TERCAUX, les tissus de moules ont été séparés de leur coquille après lyophilisation à l'aide d'un scalpel très propre, et ont été placés dans un mortier en opale, où ils ont été broyés avec le pilon. Cependant, le produit obtenu n'était pas homogène. Nous avons donc réalisé des analyses sur les organes reconnaissables : pieds, branchies, muscle adducteur. L'ensemble des tissus musculaires s'est avéré relativement peu contaminé par rapport au reste de l'animal en particulier les branchies, le manteau ou la glande digestive. Aussi, leur part de poids dans le poids total de l'animal est assez faible.

## 2 Description générale de l'analyseur de mercure

L'analyseur de mercure AMA 254 est un spectrophotomètre d'absorption atomique spécifique de la détermination des concentrations en mercure. Il est destiné à la détermination directe du mercure dans des échantillons solides, sans pré-traitement chimique par voie humide. Il met en œuvre une calcination douce en présence d'oxygène qui permet l'évaporation du mercure sous forme de vapeur qui est amalgamée sur un piège d'or. Le mercure est ensuite mesuré sous forme vapeur froide par spectrophotométrie d'absorption atomique (CVAAS).

a) Les composants fondamentaux de l'AMA 254

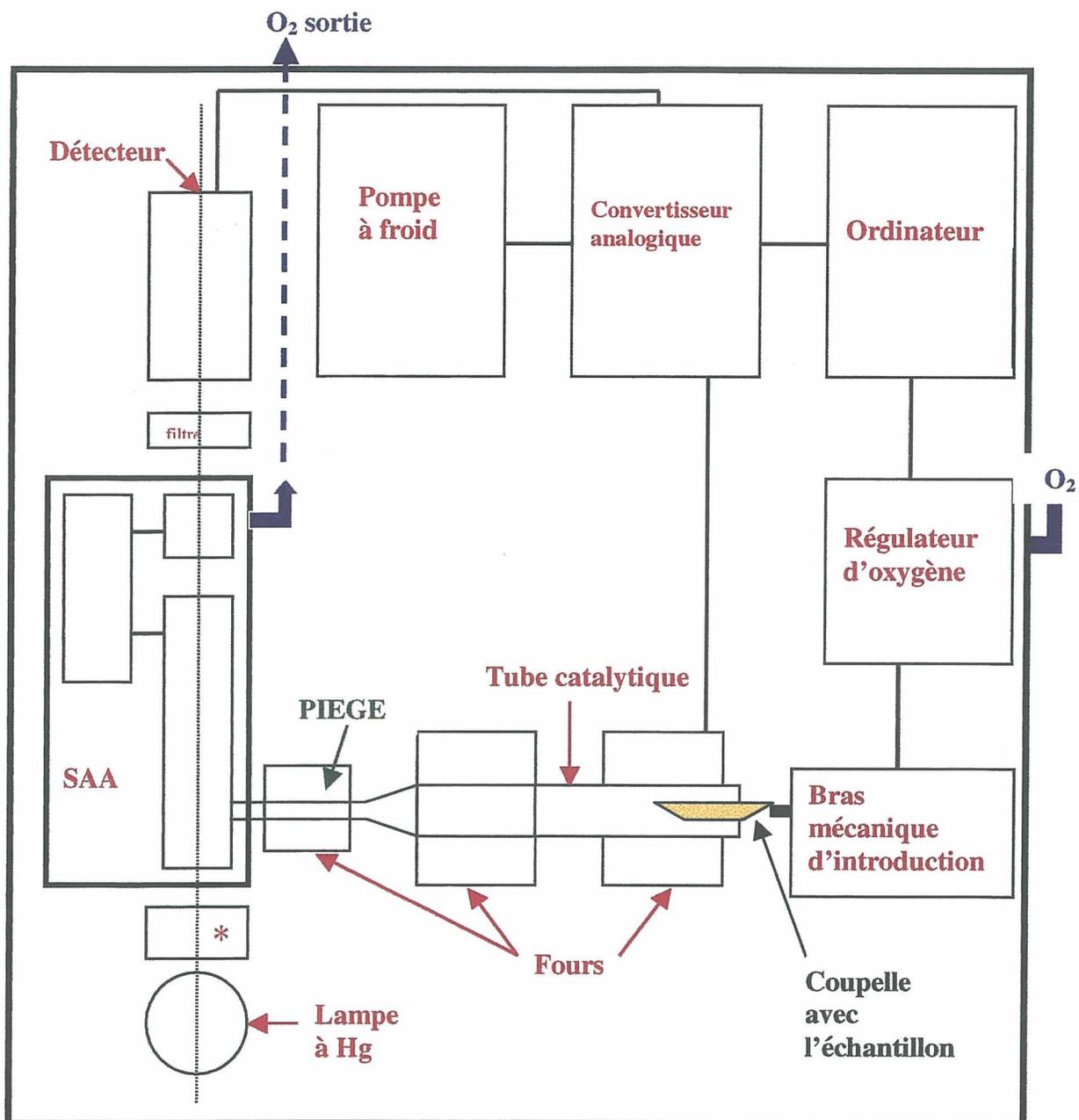


Figure 1 : Schéma fonctionnel de l'AMA 254.

## b) Séquences analytiques

Les échantillons dont le poids est connu sont placés dans une petite coupelle en nickel. L'introduction de la coupelle dans le tube catalytique est commandée par l'ordinateur.

« Drying » : à l'aide d'un système de chauffage contrôlé par ordinateur, l'échantillon est d'abord séché. L'évaporation et l'oxydation des composés organiques volatils doit se faire lentement. Le temps conseillé est compris entre 150 à 200 secondes pour éviter toute explosion ou endommagement de l'appareil.

« Decomposition » : l'échantillon subit ensuite une altération thermique à 550°C pendant environ 120 secondes. Les produits de décomposition de l'échantillon sont emportés par le flux d'oxygène dans la seconde partie du tube catalytique contenant un catalyseur (sous brevet). A ce moment, l'oxydation est terminée, les halogènes, les oxydes d'azote et de soufre sont piégés. Les produits sont ensuite conduits vers un piège doré qui amalgame la vapeur de mercure. Le piège et la cellule de mesure sont maintenus à 120°C pour éviter une éventuelle condensation d'eau. Le mercure est libéré par chauffage brusque du piège doré, il est ainsi entraîné par le flux d'oxygène vers la cellule de mesure du SAA.

« Waiting Time » : il est recommandé de laisser 45 secondes d'attente, sauf pour les temps de décomposition extrêmement longs qui peuvent bénéficier d'un ajout de 10 secondes tous les 100 à 200 secondes de décomposition.

« Read » : enfin, le taux de mercure contenu dans l'échantillon est calculé par rapport à la quantité de rayonnement UV absorbé par les atomes de mercure.

## c) Etalonnage

### Passage du blanc

Le blanc constitue la quantité de mercure mesurée à partir de la cuvette vide. Cette quantité sera automatiquement retranchée des valeurs obtenues pour les échantillons à analyser. Elle correspond au bruit de fond de l'appareil, à sa contamination interne, à la contamination due au gaz (l'oxygène) et à celle de la cuvette.

### Gamme d'étalonnage

La stabilité du calibrage du détecteur AMA 254 est très importante. La gamme d'étalonnage est valide pour plusieurs semaines.

La solution d'étalonnage fournie par la société Merck à une concentration de 1000 ng/L. A partir de celle-ci on prépare une solution fille de concentration 500 ng/L. La gamme est tracée à partir de six points ; chaque point correspond à l'absorbance pour une quantité de mercure bien précise :

1 <sup>er</sup> point :	2,5 ng Hg	—————>	5 µl de la solution fille à 500 ng/L
2 <sup>ème</sup> point :	5 ng Hg	—————>	10 µl " " " "
3 <sup>ème</sup> point :	7,5 ng Hg	—————>	15 µl " " " "
4 <sup>ème</sup> point :	10 ng Hg	—————>	20 µl " " " "
5 <sup>ème</sup> point :	12,5 ng Hg	—————>	25 µl " " " "
6 <sup>ème</sup> point :	15 ng Hg	—————>	30 µl " " " "

De manière générale la partie linéaire de la courbe d'étalonnage correspond à des absorbances inférieures à 0,3.

Au cours des analyses, l'ordinateur qui pilote l'analyseur va calculer les quantités de mercure à partir des absorbances, en se rapportant à la courbe étalon. Ensuite, le blanc est retranché, on obtient la quantité de mercure total en nanogrammes qui se trouve dans l'échantillon. Ayant fourni à l'ordinateur la masse (poids sec) de broyat contenu dans la cuvette, il affichera la concentration automatiquement en  $\mu\text{g/g}$  de poids sec d'échantillon.

### 3 Performances analytiques

#### a) Précision (justesse, reproductibilité) et limite de détection

##### Justesse et reproductibilité

La justesse de la méthode a été testée sur un échantillon de référence certifié de tissu de moules lyophilisé produit par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA N°142).

Les concentrations suivantes ont été déterminées pour l'échantillon de référence IAEA 142:

1<sup>ère</sup> série :  $0,128 \mu\text{g.g}^{-1}$ , poids sec  
0,129  
0,127

2<sup>ème</sup> série :  $0,128 \mu\text{g.g}^{-1}$ , poids sec  
0,127  
0,122

Moyenne des mesures :  $0,127 \mu\text{g.g}^{-1}$ , poids sec

Ecart-type :  $0,0025 \mu\text{g.g}^{-1}$ , poids sec

La valeur certifiée étant de  $0,126 \mu\text{g.g}^{-1}$ , la justesse de la méthode, calculée comme l'écart à la valeur certifiée, est de 0,8%. La répétabilité exprimée par le coefficient de variation (défini comme le rapport de l'écart type à la moyenne) est de 2%.

##### Limite de détection

La limite de détection est définie comme écart type de la concentration d'un échantillon dont la teneur est proche de zéro (dans la pratique, il s'agit des blancs) multiplié par 3,29 pour tenir compte des erreurs de type I et II. La limite de quantification quant à elle sera écart type sur le blanc multipliée par 10. Entre les valeurs limites, on exprimera les résultats en les qualifiant de « traces ».

A partir de la série de blancs suivants :

	$0,046 \mu\text{g.g}^{-1}$
	$0,048 \mu\text{g.g}^{-1}$
	$0,032 \mu\text{g.g}^{-1}$
	$0,028 \mu\text{g.g}^{-1}$
	$0,022 \mu\text{g.g}^{-1}$

De moyenne  $0,035 \mu\text{g.g}^{-1}$  et écart type  $0,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ , on a calculé une limite de détection de :

$3,29 \times 0,01 \mu\text{g.g}^{-1} = 0,033 \mu\text{g.g}^{-1}$ , et une limite de quantification de :  $10 * 0,01 \mu\text{g.g}^{-1} = 0,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

## b) Rythme analytique

En tenant compte de la vitesse importante d'analyse de l'AMA 254 (3 minutes), du temps de pesée et d'introduction de chaque échantillon dans l'appareil, on évalue à 70 le nombre d'analyses quotidiennes possibles, sans compter le temps de broyage et d'homogénéisation.

## IV. Méthodes de traitement des données

### 1 Excel

Le logiciel Excel a permis d'organiser l'ensemble des données biométriques récoltées dans un fichier qui a été importé par la suite dans le logiciel Statgraphics + pour des traitements statistiques.

Il s'agit d'abord de trouver une disposition efficace des données en fonction de ce que l'on veut obtenir. En effet l'analyse porte essentiellement sur des rapports de valeurs : Largeur/Longueur, Poids/Longueur et Hauteur/Longueur et sur le facteur de la variabilité géographique sur la croissance des coquilles de moules.

J'ai donc introduit dans le fichier la distinction des différents sites de surveillance (localement et régionalement)

D'un point de vue graphique, les résultats ont été traduits sous forme d'« histogrammes » pour l'expression des concentrations en mercure ; mais aussi en « nuage de points » pour mettre en évidence des populations caractéristiques, si elles existent et pour les courbes de tendance.

### 2 Statgraphics +

Ce logiciel de statistique a fourni un soutien complémentaire sur les données biométriques. Ce qui est intéressant dans ce logiciel, c'est toutes les différentes formes possibles d'expression graphiques des données ; l'outil que j'ai le plus utilisé est celui des représentations en « boîtes à moustaches ». Il m'a aussi permis d'effectuer une « analyse en composantes principales », dont les valeurs, une fois transférées dans Excel, étaient plus faciles à manipuler graphiquement.

A titre complémentaire le logiciel Statgraphics+ permet une liste d'informations statistiques complète sur chacune des stations. On obtient avec les fonctions « Summary Statistics » et « Table of Mean » les informations suivantes :

- nombre d'individu par station (n)
- moyenne du paramètre analysé (m)
- la variance ( $s^2$ )
- l'écart type (s)
- le minimum et le maximum du paramètre étudié
- l'erreur standard de chaque moyenne ( $s/\sqrt{n}$ )
- limite inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance ( $m \pm s/\sqrt{n}$ )

## Chapitre 3 : EXPOSE DES RESULTATS

### I. Résultats biométriques des moules du RNO 1999

#### 1 Type de distribution

Afin de décrire les résultats sur une base statistique, il convient de vérifier d'abord quel type de distribution existe parmi un groupe de données : distribution selon une loi Normale ou selon une loi de Student, c'est-à-dire une loi Normale après transformation des données en  $\log_{10}$ .

Si la ou les distributions sont normales, ou si on peut transformer les données pour les rendre normales par transformation logarithmique, alors on peut appliquer des tests statistiques paramétriques. Sinon, il faudra utiliser des tests dit non paramétriques. La normalité a donc été vérifiée sur les paramètres de la longueur, la largeur, la hauteur et le poids, ceci pour chaque groupe possible à étudier : ensemble des données, par région et par station de surveillance.

#### Test du Chi-deux :

La normalité d'une série de données s'analyse avec le test du Chi-deux,  $X^2$  (loi de Pearson), la table de la loi est présentée en Annexe2.

Si le Chi-deux dépasse un certain seuil, l'écart entre la distribution de la population testée et la loi Normale est trop grand, et l'on rejette l'hypothèse ( $H_0$ ) d'absence de différence entre les deux distributions. Ce seuil varie en fonction du degré de liberté et de la probabilité choisie.

Nous avons choisi un seuil à 10% d'erreur ( $\alpha$ ), donc ici pour le degré de liberté le plus important, c'est-à-dire 30, on peut dire que : « si la valeur obtenue suite au test du Chi-deux est inférieure à 40,3, la distribution expérimentale a 90% de chance d'être normale ».

Les résultats de l'annexe 3 montrent que lorsque l'on teste toutes les moules ensemble, l'hypothèse de normalité (ou de log normalité) est rejetée aussi bien pour la longueur, la largeur, la hauteur et le poids ( $\text{Chi}^2 = 67,9$  à  $310,5$ )

Lorsque l'on regroupe les résultats par zones, l'hypothèse de normalité est rejetée 84% du temps sur l'ensemble des paramètres.

Enfin par stations, on obtient des valeurs de  $\text{Chi}^2$  allant de 4 à 36,6, la normalité est donc entièrement confirmée pour tous les paramètres biométriques des animaux.

En bref, les résultats montrent finalement une évolution croissante de la distribution normale au fur et à mesure que l'on réduit géographiquement le groupe d'étude.

Ainsi l'utilisation de tests statistiques paramétriques sera validée sur la base de données regroupées par stations.

Ces résultats ont pour corollaire qu'il existe une grande hétérogénéité de morphologie coquillière le long du littoral et que ce n'est qu'à petite échelle (stations) que l'on observe des populations homogènes.

## 2 Statistiques générales

Les analyses de statistiques générales ne sont appliquées qu'au niveau des stations de surveillance, puisqu'elles sont les seules à être toutes distribuées normalement.

Grâce aux fonctions statistiques d'Excel, des tableaux de la moyenne, de l'écart type, de la médiane, du minimum et du maximum ont été réalisés pour chaque station. Les résultats sont présentés en Annexe 4. Témoin de la normalité des distributions, on remarquera pour la suite que les valeurs de moyenne et de médiane sont proches.

Les grandes tendances sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Moyenne min</b>	<b>Moyenne max</b>
<b>Longueur</b>	Port-en-Bessin 3,13 cm	Le Croisic 7,62 cm	Vaucottes 3,73 cm	Port-en-Bessin 4,01 cm
<b>Poids</b>	Port-en-Bessin 0,76 g	Le Croisic 12,49 g	Bréville 1,00 g	Gauthier (*) 5,43 g
<b>Largeur</b>	Le Croisic 1,12 cm	Le Croisic 1,81 cm	Port-en-Bessin 0,76 cm	Gauthier 1,19 cm
<b>Hauteur</b>	Vaucottes 1,49 cm	Le Croisic 3,97 cm	Vaucottes 1,73 cm	Gauthier 3,31 cm

(\*) la moyenne maximale de poids revient normalement au Croisic, cependant son écart type  $c$  étant élevé (1,7), cette valeur perd de sa signification.

Les stations où l'on rencontre les valeurs extrêmes sont : le Croisic et Port-en-Bessin et Vaucottes. De plus, les moules de Port-en-Bessin ont la largeur moyenne la plus faible avec la longueur moyenne la plus forte ; elles sont donc caractérisées par une allure longue et plate. Celles de Vaucottes sont de toute petite dimension et celles de Gauthier très grosses. Bréville se distingue par un poids très faible.

## 3 Analyses de variance

Les analyses de variance correspondent à la fonction « ANOVA Table », dans Statgraphics+.

Cette table décompose la variance du paramètre étudié en deux composantes :

- une composante de la variance entre les groupes
- une composante de la variance au sein d'un même groupe.

La valeur « F-Ratio » obtenue, est le rapport de l'estimation de la variance entre les groupes et de l'estimation de celle-ci au sein des groupes.

Si la valeur du rapport est très forte et que la probabilité est inférieure à 0,05, il y a une différence statistiquement significative entre la moyenne du paramètre étudié d'un niveau de station à un autre, à 95% de confiance.

L'analyse de variance permet finalement de vérifier le caractère discriminant ou non d'un paramètre par rapport à un groupement. Ici on peut vérifier le caractère discriminant de la répartition des moules par station sur leurs paramètres biométriques (tableau 1, ci-dessous).

	Sources	Somme des carrés	degré de liberté	moyenne au carré	F-Ratio	Probabilité
<b>Longueur</b>	entre groupes	265,266	21	12,6317	89,42	0,0000
	au sein d'un groupe	89,9872	637	0,141267		
	Total	355,153	658			
<b>Hauteur</b>	entre groupes	79,7297	21	3,79665	104,39	0,0000
	au sein d'un groupe	23,1686	637	0,0363715		
	Total	102,898	658			
<b>Largeur</b>	entre groupes	12,5092	21	0,595679	66,02	0,0000
	au sein d'un groupe	5,74726	637	0,00902239		
	Total	18,2565	658			
<b>Poids</b>	entre groupes	1084,24	21	51,6306	100,79	0,0000
	au sein d'un groupe	326,324	637	0,512283		
	Total	1410,57	658			

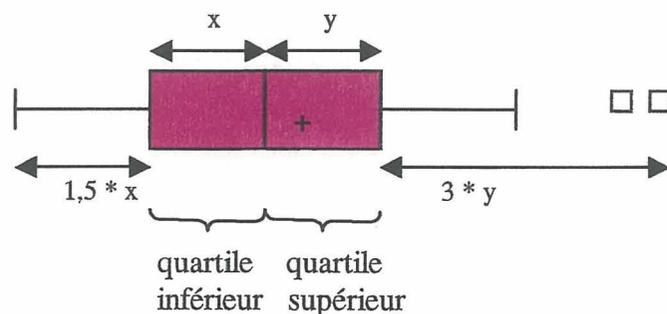
*Tableau 1 : Résultats de l'analyse de variance*

#### 4 Représentation graphique en « boîtes-moustaches »

Afin de visualiser les différences entre les distributions des différents paramètres en fonction des stations, j'ai utilisé l'option graphique « Box-and-Wisker Plot » qui affiche une « boîte à moustaches » pour chaque groupe sélectionné.

Le programme sépare les données en quatre aires de fréquences égales.

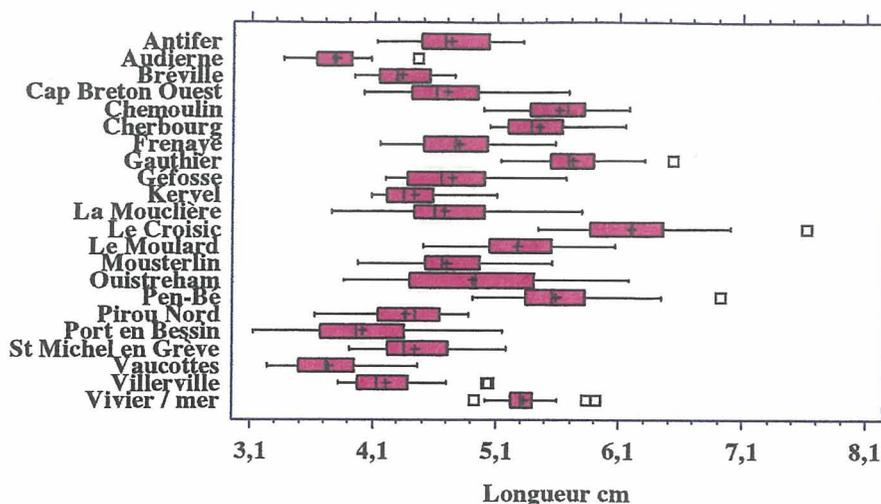
La partie rectangulaire colorée en rose sur la figure ci-dessous, représente 50 % de l'échantillon. La ligne centrale à l'intérieur de chaque boîte montre l'emplacement de la médiane (1) de l'échantillon. Le signe (+) donne la position de la moyenne. Les moustaches s'étendent de chaque côté de la boîte ; leur distance est 1,5 fois la distance du quartile (2) supérieur ou inférieur à partir du bord de la boîte. Les points en dehors (□) sont des points qui se trouvent dans 3 fois la distance du quartile inférieur ou supérieur à partir de la boîte aussi.



(1) **Médiane** : nombre de part et d'autre duquel se répartissent également les valeurs d'un caractère quantitatif étudié sur une population donnée.

(2) **Quartile** : chacune des quatre parties, d'effectif égal, d'un ensemble statistique donné.

Les boîtes à moustaches ci-dessous permettent d’obtenir visuellement une information sur la répartition des individus au sein d’un même échantillon et de repérer les stations les plus typiques (cf. figure 2 comme exemple, et l’annexe 5 pour visualiser les autres paramètres).



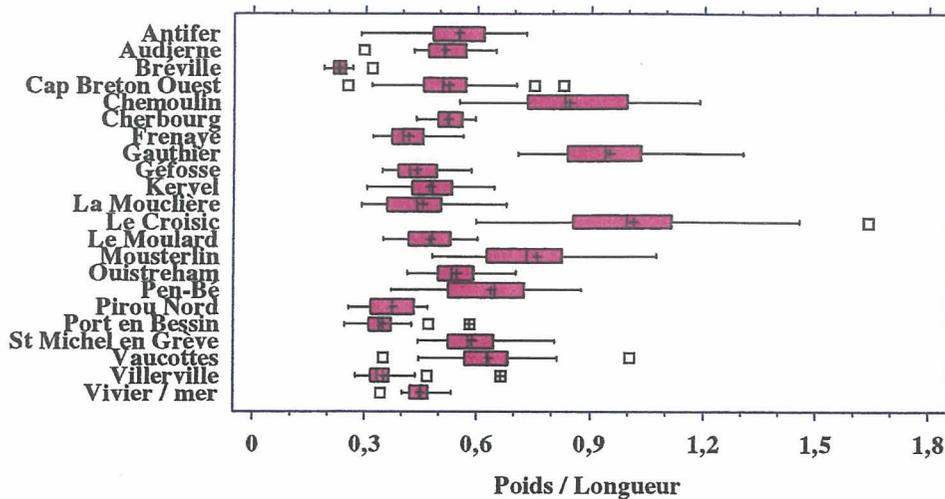
**Figure 2 : Représentation en « boîtes à moustaches » de la longueur en fonction des différentes stations.**

Globalement les distributions des longueurs, largeurs, hauteurs et de poids sont assez homogènes sur l’ensemble du littoral, cependant quelques stations se démarquent :

	<b>Stations</b>
<b>Longueur (L)</b>	Audierne, Vaucottes, Le Croisic
<b>Poids (P)</b>	Bréville, Chemoulin, Gauthier, Le Croisic
<b>Largeur (l)</b>	Chemoulin, Gauthier, Le Croisic
<b>Hauteur (H)</b>	Gauthier, Le Croisic

On peut aussi remarquer que les stations RNO ne présentent pas une cohérence totale quant à la longueur exigée dans les protocoles d’échantillonnage. Plusieurs stations présentent une majorité de leurs moules soit inférieures à 4 cm (Audierne, Vaucottes), soit supérieures à 5 cm (Chemoulin, Cherbourg, Gauthier, Le Moulard, Pen-Bé et Le Vivier/mer).

L’illustration par boîtes à moustaches à été aussi appliquée aux rapports P/L, l/L, et H/L afin de normaliser les paramètres pour distinguer des différences non plus de valeurs absolues mais d’indices morphologiques(cf. exemple à la figure 3, et l’annexe 6 pour les autres rapports).



**Figure3 : Représentation graphique en « boîtes à moustaches » du rapport P/L en fonction des différentes stations**

Là aussi quelques stations se démarquent :

<b>P / L</b>	Bréville, Chemoulin, Gauthier, Le Croisic
<b>I / L</b>	Audierne, Vaucottes
<b>H / L</b>	Gauthier

Le rapport I/L permet de distinguer les moules de Vaucottes et d'Audierne ; le rapport H/L distingue Gauthier et le rapport P/L distingue des moules peu denses (Bréville) de moules « lourdes » (Gauthier, Chemoulin, Le Croisic).

## 5 Analyse en composante principale

Le principe de l'analyse en composante principale est d'obtenir un petit nombre de combinaisons linéaires à partir des quatre variables de croissance comptant pour beaucoup dans la variabilité des données.

Dans le cas présent, une seule composante a été extraite, puisque à elle seule, elle rentre en compte pour 86% de la variabilité de l'ensemble des données.

De plus, il est possible d'obtenir l'équation de la composante principale ainsi que le poids de chaque paramètre de celle-ci avec l'option « Table of Component Weight » (cf. Annexe 7). On remarque que les différents paramètres constituent un poids à peu près constant dans la composante.

Toutes les informations obtenues jusqu'à présent permettent de distinguer des groupes morphologiques différents, sans toutefois être capable d'intégrer la variabilité de l'ensemble des paramètres.

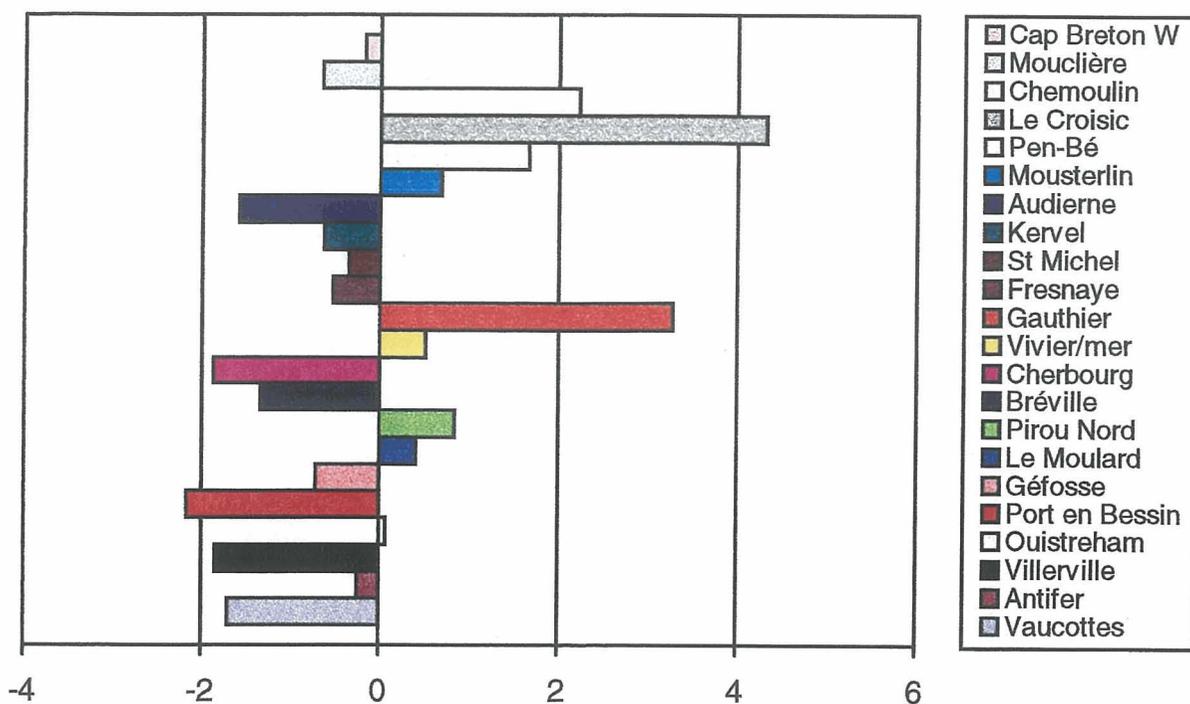


Figure 4 : Résultat graphique de l'analyse en composante principale.

A partir de ce graphique, il est possible de faire trois groupes de populations en fonction de leur position par rapport à la valeur moyenne de la composante principale, donc de leur groupe morphologique.

- 1<sup>er</sup> groupe (populations extrêmes positives) : Le Croisic, Chemoulin, Le Gauthier, Pen Bé ;
- 2<sup>ème</sup> groupe (populations moyennes) : Cap Breton, Mouclière, Mousterlin, Kervel, St. Michel, Fresnaye, Le Vivier/mer, Pirou Nord, Le Moulard, Géfosse, Ouistreham, Antifer ;
- 3<sup>ème</sup> groupe (Populations extrêmes négatives) : Port-en-Bessin, Bréville, Villerville, Cherbourg, Vaucotte, Audierne.

Finalement si l'on met en relation les informations précédentes des boîtes à moustaches du rapport P/L et l'analyse du graphique en composante principale, on peut dire que la composante principale semble avoir un lien avec la « densité » P/L des coquilles.

## 6 Age des moules

Une estimation de l'âge de quelques moules de 6 stations présentant soit un poids élevé (Gauthier, Le Croisic, Chemoulin) par rapport aux autres stations, soit de plus faibles longueurs (Vaucottes) ou de plus fortes longueurs (Port-en-Bessin) a été faite. Comme témoin, nous avons pris la station de Ouistreham correspondant à une population moyenne dans l'analyse en composante principale. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Stations	Le Croisic	Gauthier	Port-en-Bessin	Chemoulin	Vaucottes	Ouistreham
Age des individus	< 1 an	1 - 2 ans	1 - 2 ans	1 - 2 ans	4 - 5 ans	1 - 2 ans
	1 - 2 ans	1 - 2 ans	2 - 3 ans	1 - 2 ans	4 - 5 ans	1 - 2 ans
	2 - 3 ans	1 - 2 ans	1 - 2 ans	1 - 2 ans	3 ans	1 - 2 ans
	1 - 2 ans	1 - 2 ans	1 - 2 ans	< 1 an	4 - 5 ans	1 - 2 ans

Les résultats montrent des âges relativement homogènes : à peu près un an et demi pour Le Croisic, Gauthier, Port-en-Bessin, et Chemoulin. Si on compare avec l'âge de la population témoin de Ouistreham (1 -2 ans), il n'y a pas de grande variabilité. En revanche, les individus étudiés à Vaucottes sont vraiment plus âgés (4 - 5 ans). Vaucottes qui semble donc présenter un effet de retard de croissance de ces moules. Pour situer ces résultats dans le contexte du littoral français, on notera que des moules cultivées atteignent une longueur de 40 mm en deux ans sur le littoral dans le boulonnais (Manche) et en un an dans la Baie de l'Aiguillon (littoral Atlantique) (In : Marteil, 1976).

## II. Concentrations en mercure dans les tissus mous des moules

### 1 Résultats du RNO

Les données rassemblées ci-dessous représentent les résultats obtenus par la surveillance du RNO pour le premier trimestre de l'année 1999. Les concentrations sont des concentrations moyennes par station et sont exprimées en  $\mu\text{g/g}$ .

Stations	Concentrations en mercure ( $\mu\text{g/g}$ )
<b>Vaucottes</b>	<b>0,45</b>
<b>Antifer</b>	0,17
<b>Villerville</b>	0,17
<b>Ouistreham</b>	0,16
<b>Port-en-Bessin</b>	0,18
<b>Géfosse</b>	0,10
<b>Le Moulard</b>	0,15
<b>Cherbourg</b>	0,18
<b>Bréville</b>	0,14
<b>Pirou Nord</b>	0,089
<b>Le Vivier/mer</b>	0,10
<b>Gauthier</b>	0,18
<b>Fresnaye</b>	<b>0,07</b>
<b>St Michel en Grève</b>	0,14
<b>Kervel</b>	0,10
<b>Audierne</b>	0,14
<b>Mousterlin</b>	0,16
<b>Pen-Bé</b>	
<b>Le Croisic</b>	0,22
<b>Chemoulin</b>	0,17
<b>La Mouclière</b>	0,20
<b>Cap Breton</b>	0,16
<b>Moyenne</b>	0,16
<b>écart type</b>	0,074

Tableau 2 : Valeurs des concentrations en mercure ( $\mu\text{g/g}$ ) des tissus mous des moules RNO 1<sup>er</sup> trimestre 1999.

Les résultats montrent globalement des valeurs relativement homogènes. Cependant Vaucottes affiche le maxima qui est supérieur au moins au double de la valeur moyenne. Pen-Bé se place en deuxième position loin derrière Vaucottes. Les stations les moins contaminées sont Fresnaye, Pirou Nord, Le Vivier/mer, Kervel et Géfosse.

## 2 Résultats « TERCAUX »

Les tableaux suivants montrent les résultats des travaux effectués par spectrométrie d'absorption atomique. Ils donnent les concentrations en mercure du mélange d'organes : glande digestive, branchies et manteau de chaque individu exprimées en  $\mu\text{g/g}$  (poids sec). « Emergences », « Large » et « Mélange » réfèrent à différentes moulières de la même zone. Ces résultats ne seront pas interprétés par la suite, mais sont témoins de mon apprentissage de cette technique.

VEULES / MER	Emergence ( $\mu\text{g/g}$ )	Mélange ( $\mu\text{g/g}$ )	Large ( $\mu\text{g/g}$ )
Mois de mars	0,297	0,156	0,116
	0,108	0,108	0,238
	0,157	0,175	0,290
	0,105	0,153	0,143
	0,156	0,230	0,120
	0,153	0,115	0,115
	0,124	0,270	0,115
	0,222	0,128	0,095
	0,101	0,215	0,180
	0,194	0,137	0,156
	0,127	0,188	0,128
	0,139	0,105	0,120
	0,132	0,176	0,112
	0,188	0,111	0,088
	0,100		0,090
	<b>Moyenne</b>	<b>0,153</b>	<b>0,162</b>
<b>Minimum</b>	0,100	0,105	0,089
<b>Maximum</b>	0,297	0,270	0,290
<b>écart type</b>	0,054	0,051	0,057

*Tableau 3 : Concentrations individuelles en mercure des moules de Veules/mer, mars 2000.*

YPORT	Emergence ( $\mu\text{g/g}$ )	Mélange ( $\mu\text{g/g}$ )	Large ( $\mu\text{g/g}$ )
Mois de mars	0,368	0,538	0,399
	0,329	0,423	0,357
	0,328	0,430	0,362
	0,281	0,550	0,414
	0,269	0,431	0,339
	0,212	0,313	0,353
	0,393	0,258	0,380
	0,475	0,467	0,307
	0,324	0,450	0,374
	0,352	0,437	0,488
	0,484	0,327	0,370
	0,398	0,376	0,305
	0,251	0,289	0,534
	0,299	0,286	0,502
	0,329	0,269	0,437
<b>Moyenne</b>	<b>0,339</b>	<b>0,390</b>	<b>0,395</b>
<b>Minimum</b>	0,212	0,258	0,305
<b>Maximum</b>	0,484	0,551	0,534
<b>écart type</b>	0,076	0,095	0,069

*Tableau 4 : Concentrations individuelles des moule d'Yport, mars 2000.*

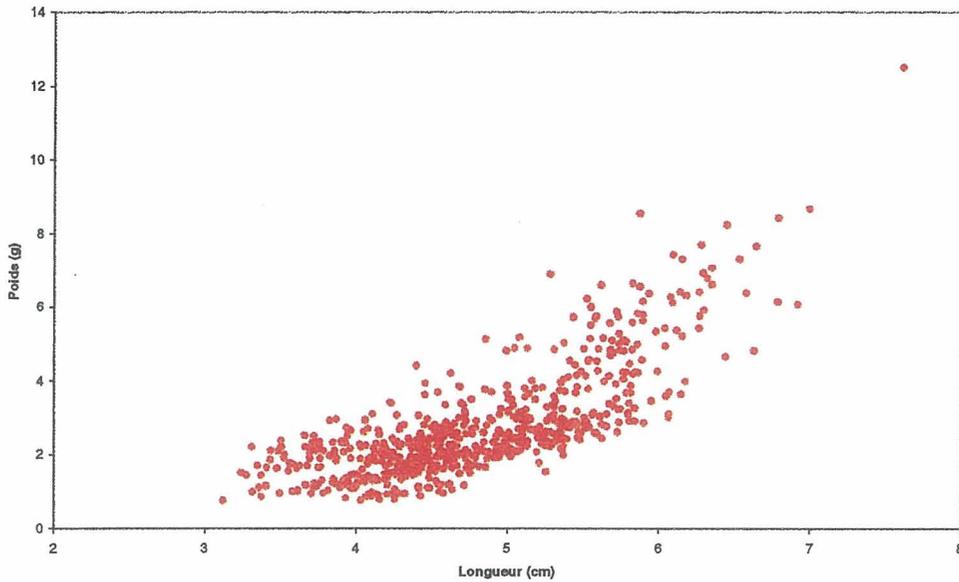
ETRETAT	Mélange ( $\mu\text{g/g}$ )	ETRETAT	Mélange ( $\mu\text{g/g}$ )
Mois de mars	0,170	Mois d'avril	0,429
	0,551		0,445
	0,259		0,349
	0,338		0,322
	0,486		0,311
	0,309		0,496
	0,371		0,526
	0,208		0,395
	0,205		0,349
	0,308		0,415
	0,413		0,561
	0,294		0,577
	0,378		0,553
	0,305		0,581
	0,215		0,550
<b>Moyenne</b>	<b>0,321</b>	<b>Moyenne</b>	<b>0,457</b>
<b>Minimum</b>	0,169	<b>Minimum</b>	0,311
<b>Maximum</b>	0,551	<b>Maximum</b>	0,581
<b>écart type</b>	0,107	<b>écart type</b>	0,098

*Tableau 5 : Concentrations individuelles en mercure des moules de Etretat, mars et avril 2000.*

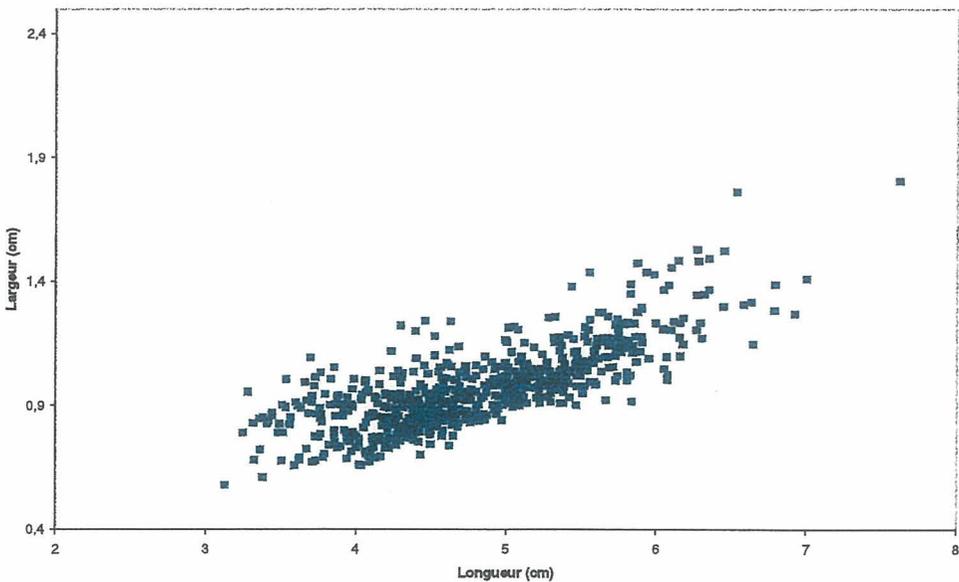
# Chapitre 4 : DISCUSSION ET CONCLUSIONS

## I. Paramètres allométriques

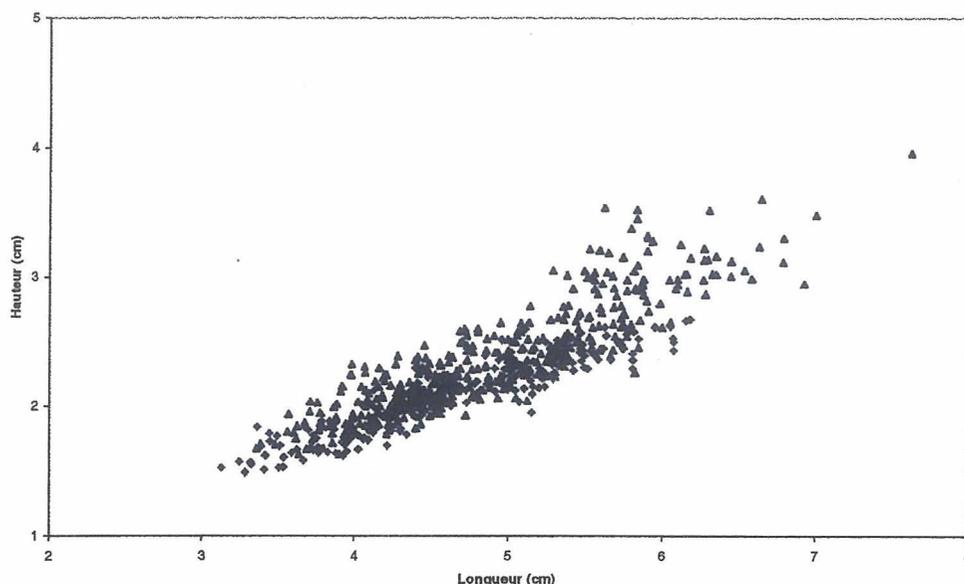
D'après Seed (1968, 1973, 1978), les relations  $I/L$  et  $H/L$  sont linéaires alors que la relation  $P/L$  est exponentielle. Ces résultats sont typiques des relations allométriques chez la moule et montrent qu'après un ralentissement de la croissance linéaire, le poids de la coquille continu à croître avec l'âge des animaux. Nos résultats montrent les mêmes types de distribution (Figures 7 à 9) et confirment donc que le poids de la coquille est le meilleur indicateur de l'âge des moules.



*Figure 5 : Rapport P/L de l'ensemble du littoral.*



*Figure 6 : Rapport I/L de l'ensemble du littoral.*



*Figure 7 : Rapport H/L de l'ensemble du littoral.*

Sur les graphiques en « boîtes à moustaches », certaines stations se distinguaient des autres stations selon le paramètre biométrique considéré. En particulier, on remarque que les stations RNO ne présentent pas une cohérence totale quant à la longueur exigée dans les protocoles d'échantillonnage. Plusieurs stations présentent une majorité de leurs moules soit inférieures à 4,5 cm (Audierne, Vaucottes), soit supérieures à 5,5 cm ( Chemoulin, Cherbourg, Gauthier, Le Moulard, Pen-Bé et Le Vivier/mer).

A partir des autres paramètres allométriques on observe aussi des différences. Au niveau du poids de la coquille par exemple, les stations Gauthier, Le Croisic et Chemoulin présentent les poids les plus importants.

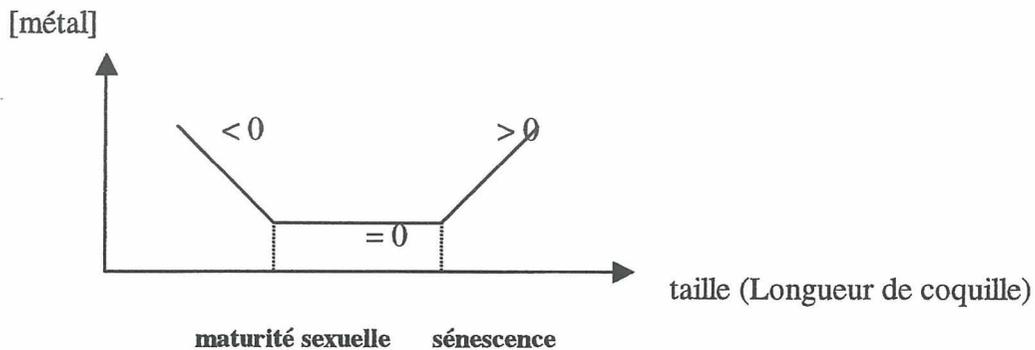
Plus généralement, l'analyse en composantes principales a permis la mise en évidence de trois types morphologiques distincts qui semblent liés au rapport P/L, c'est-à-dire à un taux de croissance coquillière ; le poids de la coquille étant le meilleur indicateur de l'âge (Seed, 1976). Cependant, nos observations ne le confirment pas puisque le rapport P/L à Vaucottes n'est pas parmi les plus élevés. La difficulté de lecture des stries de croissance ou des couches mélanisées est peut-être à l'origine de cette incohérence. Une meilleure technique d'estimation des âges est nécessaire pour conclure.

Quoiqu'il en soit nos résultats montrent clairement que le long du littoral français il n'existe pas une morphologie de coquille et probablement des taux de croissance uniforme. On sait par ailleurs que ces différences sont susceptibles de générer des taux d'accumulation de contaminants différents (Cossa, 1989). D'après cet auteur, l'absorption des métaux est liée à la taille des organismes. Les jeunes individus accumulent plus que les adultes, et, après arrêt de la croissance, les plus vieux spécimens continuent à accumuler (voir schéma ci-dessous).

Au cours de la vie d'un individu le coefficient de régression entre ces deux paramètres varie de la façon suivante :

- $< 0$ , stade juvénile : diminution de la concentration en métal dans les tissus car ils grossissent plus vite que le métal n'est absorbé.
- $= 0$ , stade adulte : l'absorption est égale à l'excrétion.

- $> 0$  vieux individus : on a une forte concentration en métal dans les tissus mous alors que celle dans l'environnement est faible.



En plus de ce phénomène étalé sur toute la vie de la moule, il existe des variations saisonnières de croissance des tissus mous, résultat des variations physiologiques (gamétogenèse, etc.). Au cours du grossissement (accumulation de substances de réserve) la relation concentration en métal en fonction de la taille présente une pente négative. Il s'agit d'un effet de dilution de la quantité de métal dans l'animal par des tissus de réserve moins riche en métal que les autres.

## II. Optimisation de l'utilisation du genre *Mytilus* comme indicateur quantitatif de la contamination métallique en milieu côtier

Il est ici question de la détermination d'un des moyens permettant de minimiser l'effet de taille afin que la teneur en mercure de la moule traduise le plus fidèlement possible la biodisponibilité du mercure dans le milieu. C'est l'optimisation de l'outil de surveillance.

Plusieurs stratégies sont utilisables pour minimiser l'effet de la taille des animaux :

- sélectionner la gamme la plus restreinte possible ;
- prélever un lot d'individus couvrant toute la gamme de taille disponible au site considéré ;
- procéder à l'analyse d'un homogénat de l'ensemble ;
- faire l'analyse individu par individu afin d'établir les relations contenu en métal/taille ;
- faire une correction *a posteriori* en normalisant les contenus en métaux à une taille donnée à partir d'un modèle préétabli.

Goldberg *et al* (1978 et 1983), ont constaté qu'une gamme de taille de 5 à 8 cm pouvait introduire une variation de concentration de l'ordre d'un facteur deux ; le groupe d'expert réuni à Barcelone en 1978 a proposé de centrer sur des longueurs de coquilles moyennes de 6 cm (NAS, 1989).

Selon Cossa (1989), moins que la longueur de la coquille, c'est l'âge qui est le paramètre déterminant. Des moules de 6 cm ont 3 à 4 ans dans les régions tempérées alors qu'elles sont au moins deux fois plus âgées dans les régions sub-arctiques.

Une alternative à la correction des concentrations en métaux pour l'effet de taille a été proposée par Fischer (1983). Afin de disposer d'un modèle le moins dépendant possible de la condition physiologique des moules, cet auteur propose non plus d'exprimer la teneur en métal en concentration par poids de tissus mous, mais en quantité de métal dans les tissus mous par unité de poids de coquille (indice de condition : IC).

Ce mode d'expression revient à s'affranchir des effets de variations de poids des tissus mous, ne laissant comme source de variation de la relation métal/poids de la coquille que les changements de biodisponibilité du métal dans le milieu. L'indice de Fisher nécessite des milieux stables où la concentration en métal varie peu. Appliqué au cas du mercure dans le RNO (1<sup>er</sup> trimestre 1999), il s'ensuit :

$$\begin{array}{l}
 [\text{Hg}] = M(\text{Hg}) / P_{\text{tissus mous}} \\
 \text{IC} = P_{\text{tissus mous}} / P_{\text{coquille}}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} [\text{Hg}] = M(\text{Hg}) / P_{\text{tissus mous}} \\ \text{IC} = P_{\text{tissus mous}} / P_{\text{coquille}} \end{array}} \right\} \Rightarrow \text{Indice de Fisher} = \text{IC} \times [\text{Hg}] = M(\text{Hg}) / P_{\text{coquille}}$$

Où [Hg] est la concentration en mercure des tissus mous de la moule, M(Hg) la masse de mercure correspondant à la masse des tissus mous ( $P_{\text{tissus mous}}$ ).  $P_{\text{coquille}}$  : la masse de la coquille correspondant au  $P_{\text{tissus mous}}$ . IC : l'indice de condition.

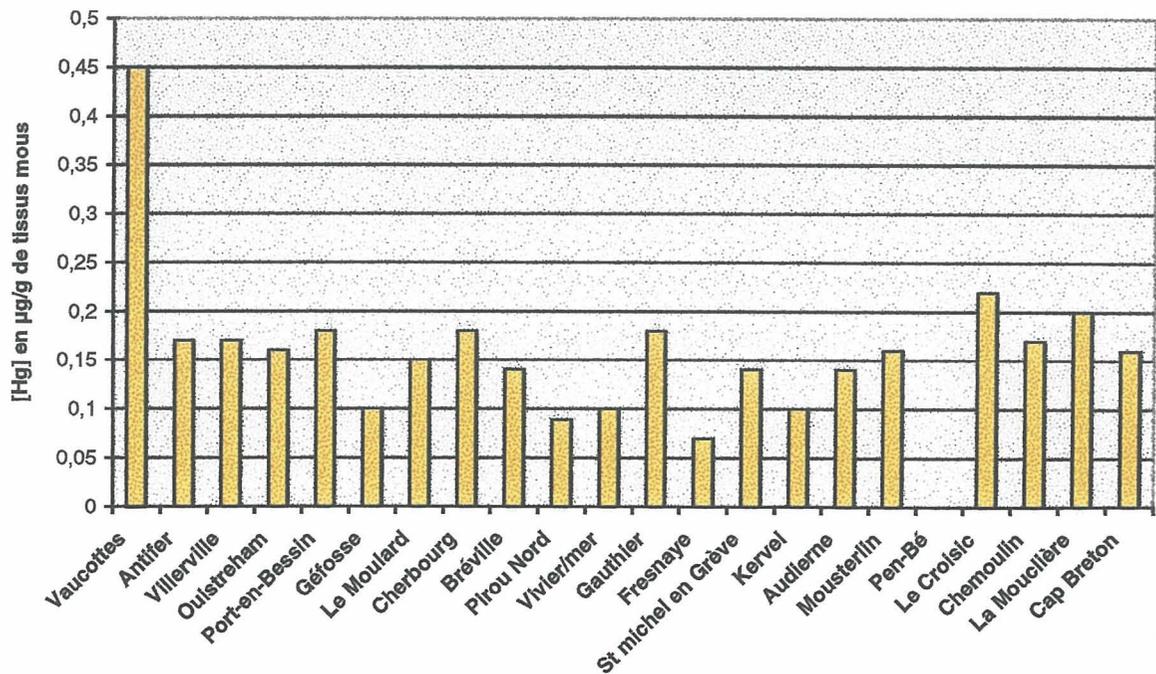
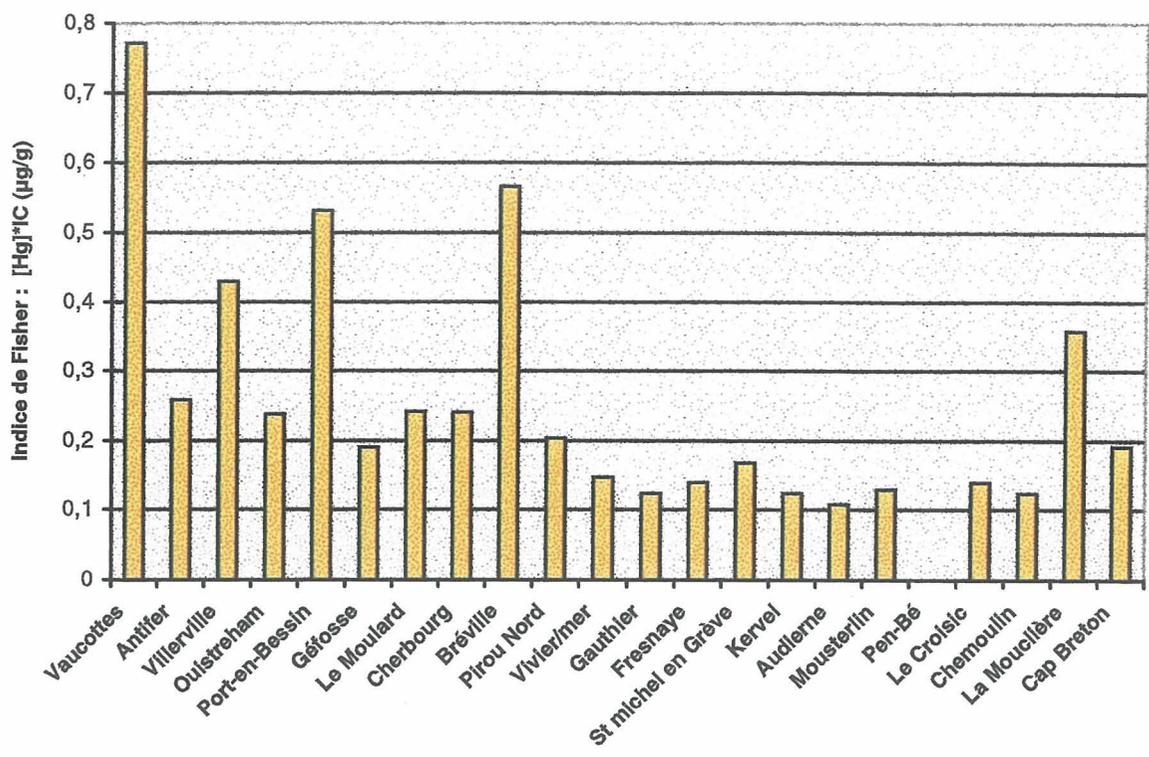


Figure 8 : Concentrations en mercure dans les tissus mous des moules du RNO 99 1<sup>er</sup> trimestre.



*Figure 9 : Indice de Fisher. Concentrations en mercure par poids de coquille (µg/g).*

Il ressort de cette comparaison que si Vaucottes demeure la station la plus contaminée, l'expression des résultats selon l'indice de Fisher fait apparaître d'autres stations contaminées par le mercure : Villerville, Port-en Bessin, Bréville et La Mouclière. Si des résultats préliminaires comme cela ne permettent pas de conclure, ils justifient d'approfondir le problème soulevé.

## CONCLUSION SUR LE STAGE

En conclusion de l'ensemble de mon stage, je souhaiterais dire qu'il m'a été bénéfique sur les points suivants :

- Tout d'abord, j'ai pris connaissance du fonctionnement au quotidien d'un laboratoire de recherche tout au long du déroulement de mon stage ;
- J'ai acquis des réflexes et des automatismes méthodologiques aussi bien en laboratoire que sur le terrain ; j'ai pris conscience de l'importance de l'organisation du travail surtout au niveau du tri, de la préparation des échantillons et du traitement des données, mais aussi au niveau de sa structure de confection ;
- J'ai appris à maîtriser le fonctionnement de l'analyseur de mercure par spectrométrie d'absorption atomique (AMA 254).
- Je me suis initiée aux méthodes de prélèvements de matière vivante et d'eau sur le terrain et j'ai aidé à la mise en œuvre des dispositifs de cages.
- Je me suis familiarisée avec le logiciel Statgraphic+ et approfondi le maniement d'Excel 97.
- J'ai compris la manière scientifique d'exprimer et d'écrire des résultats.

De plus, j'ai apprécié participer à l'ensemble des étapes que l'on trouve lors du déroulement d'une étude : préparation des échantillons et terrain, analyses, saisie des résultats, traitement des données, interprétation avec un chercheur.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma fonctionnel de l'analyseur de mercure (AMA 254) .....	P8
Figure 2 : Représentation en « boîtes à moustaches » de la longueur (cm) .....	P15
Figure 3 : Représentation en « boîtes à moustaches » du rapport P/L .....	P16
Figure 4 : Résultat graphique de l'analyse en composante principale .....	P17
Figure 5 : Représentation en « nuage de points » du rapport P/L de l'ensemble du littoral .....	P21
Figure 6 : : Représentation en « nuage de points » du rapport I/L de l'ensemble du littoral .....	P21
Figure 7 : : Représentation en « nuage de points » du rapport H/L de l'ensemble du littoral .....	P22
Figure 8 : Concentrations en mercure dans les tissus mous des moules RNO 99, 1 <sup>er</sup> trimestre .....	P24
Figure 9 : Concentrations en mercure par poids de coquille ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	P25

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Résultats du test de variance« ANOVA » .....	P14
Tableau 2 : Valeurs des concentrations en mercure des tissus mous des moules RNO 99, 1 <sup>er</sup> trimestre .....	P18
Tableau 3 : Valeurs des concentrations individuelles des moules de Veules/mer , mars 2000 .....	P19
Tableau 4 : Valeurs des concentrations individuelles des moules d'Yport, mars2000 .....	P20
Tableau 5 : Valeurs des concentrations individuelles des moules d'Etretat, mars et avril 2000 .....	P20

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Rapport de mission « Tercaux »

Annexe 2 : Table de la loi du Chi-deux,  $X^2$ , (loi de Pearson)

Annexe 3 : Test du Chi-Square,  $X^2$  ( $_{,10}$ ) : vérification de la distribution normale

Annexe 4 : Tableau de statistiques générales

Annexe 5 : Représentation en « boîtes à moustaches » de la hauteur, de la largeur, et du poids

Annexe 6 : Représentation en « boîtes à moustaches » des rapport H/L et I/L

Annexe 7 : Equation et poids de chaque paramètre de la composante principale

## RAPPORT DES MISSIONS « TERCAUX »

### Introduction

Les données du RNO sur la qualité du milieu marin, ont permis de mettre en évidence le maximum de contamination en mercure du littoral français dans la région du Pays de Caux (Cossa, 1988 ; Claisse, 1989) en utilisant les moules *Mytilus edulis* comme bioindicateur quantitatif.

Afin de rechercher les causes de ce qui est convenu d'appeler « l'anomalie du mercure » du Pays de Caux, un groupe de travail a été mis en place, impliquant : l'Agence de l'eau Seine Normandie, la DDASS de Seine-maritime, la DIREN Haute Normandie, le Port Autonome du Havre, les centres IFREMER de Port en Bessin et de Nantes (service DEL/PC), ainsi que des experts.

Dans ce contexte une recherche doctorale intitulée « Spéciation et biodisponibilité du mercure en milieu côtier : cas de la Baie de Seine et de ses régions adjacentes » est en cours. Ainsi, j'ai pu participer à deux missions concernant cette étude aux mois de mai et juin 2000.

### Organisation des missions

L'organisation d'une mission est toujours coordonnée par un chef de mission. Il se doit de transmettre l'ensemble des paramètres des opérations aux personnes participants à la mission ainsi qu'aux personnes qui lui en accordent le droit. C'est à dire :

- détermination du nombre de personnes voulues
- heures prévues de départ et d'arrivée
- quantité de temps nécessaire pour effectuer le travail
- prévision du moyen de locomotion
- calendrier du déroulement des opérations, incluant : ordre des travaux, détermination des équipes et répartition des tâches, heures et coefficients de marée, secteur exact d'échantillonnage ou de la zone de travail (positionnement sur une carte marine, positionnement GPS), lieu de mise à l'eau du zodiac si il est utilisé, accessibilité au site...

### Echantillonnage

#### Les sites

Ils ont été choisis en se basant sur les données du RNO et du laboratoire d'Analyse de la ville du Havre. Chaque site correspond à une moulière de la zone intertidale, se développant au voisinage d'une émergence d'eau douce. Les échantillons furent prélevés à marée basse en fonction du gradient de salinité entre l'eau douce des émergences et l'eau de mer (cf. schémas des sites).

#### **Secteur Yport (49°44'740 N / 0°19'640 E) :**

- Emergences en pied de falaise sous les éboulis au niveau de l'ancienne station de pompage, écoulement en nappe sur le platier rocheux  
Débit estimé : 100 L/s  
Moules assez abondantes

# ANNEXE 1

## **Secteur d'Etretat (49°43'016 N / 0°12'767 E) :**

- Etretat Est porte d'Amont : plusieurs émergences avec trois cheminements principaux.  
Débit estimé : 150-200 L/s  
Moules abondantes dans la partie dans la partie amont de l'écoulement central et en extension dans les courants latéraux

### Prélèvements d'eau

Sur les deux sites, les prélèvements d'eau sont effectués à des endroits bien distincts :

- dans la partie la plus amont des émergences
- dans la zone de mélange eau de mer / eau douce

Les bouteilles de prélèvement d'eau sont préalablement lavées au laboratoire dans des bains successifs d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) : 3-4 jours dans un bain à 50% et 3-4 jours dans un bain à 10%. Entre les bains à 50 et 10 %, les bouteilles sont rincées trois fois à l'eau déminéralisée Miliq®, et avant d'être conditionnées avec de l'acide chlorhydrique à 1%, elles sont à nouveau rincées à l'eau déminéralisée MiliQ® en salle blanche, puis enfermées de façon hermétique dans des sacs en plastiques.

Sur le terrain, les bouteilles sont à nouveau rincées trois fois avec l'eau du milieu environnant, puis sont ensuite remplies par débordement pour ne pas emprisonné d'air. L'air serait susceptible d'engendrer des modifications des formes chimiques du mercure.

Le port de gants est aussi nécessaire.

Les bouteilles sont enfin replacées dans un sac plastique.

### Prélèvements de moules

Les prélèvements de moules sont réalisées aux même points que pour l'eau (partie amont des émergences et zone de mélange). A Etretat, on a rajouté un point au niveau de l'extension en largeur de la moulière.

Les moules sont récoltées en paquets sur un point choisi, il n'est pas recommandé de disperser géographiquement le prélèvement, même si les endroits possèdent à priori les mêmes caractéristiques.

Ensuite, on sélectionne grossièrement les individus représentant la gamme de taille la plus grande (environ de 2 à 5cm).

## **Equipement nécessaire**

- a) une glacière avec des « ice-pack », pour conserver les échantillons au retour du terrain.
- b) un salinomètre portatif
- c) six bouteilles de prélèvement d'eau
- d) des petits sacs plastiques pour les prélèvements de moules
- e) du scotch et des marqueurs
- f) des attaches pour fermer les sacs
- g) des gants manchette pour effectuer l'échantillonnage sans contamination.

# ANNEXE 1

## Pose de cages

Cette manipulation est fondée sur l'usage des transplants de populations de moules pour évaluer la contamination chimique des zones côtières (expériences du groupe de travail RINBIO).

La technique des stations artificielles est utilisée depuis les années 1970. Les objectifs sont diversifiés (ordre décroissant de mise en œuvre) :

- suivi de rejets (industriels, STEP, rejet de dragage...)
- études d'impact
- détection locale de contamination
- surveillance
- compréhension des mécanismes de bioaccumulation ( accumulation, élimination)
- modélisation.

### Principales caractéristiques de la technique des stations artificielles :

#### Avantages :

- la période d'exposition est connue,
- les stations de surveillance peuvent être sélectionnées indépendamment de la présence de populations naturelles et de leur distance à la côte,
- les mesures sont optimisées par l'utilisation d'échantillons homogènes au regard de la population d'origine, de la taille, de l'âge et de leur environnement,
- les expérimentations peuvent être réalisées avec une espèce sélectionnée.

#### Inconvénients :

- la lourde logistique inhérente à la mise en place de mouillages en mer, le coût,
- la tenue des mouillages face aux aléas climatiques et humains.

La technique des stations artificielles semble donc apparemment un bon outils, dont le champ d'application permet d'obtenir des données supplémentaires à celle obtenues sur des populations naturelles de bivalves (sans pouvoir comparer en raison de cinétiques de bioaccumulation différentes entre la population introduite et celle naturelle).

Cette technique reste toutefois tributaire de deux impératifs. Eviter de trop longues périodes d'exposition et utiliser un lot originaire d'un site reconnu propre en matière de contamination chimique.

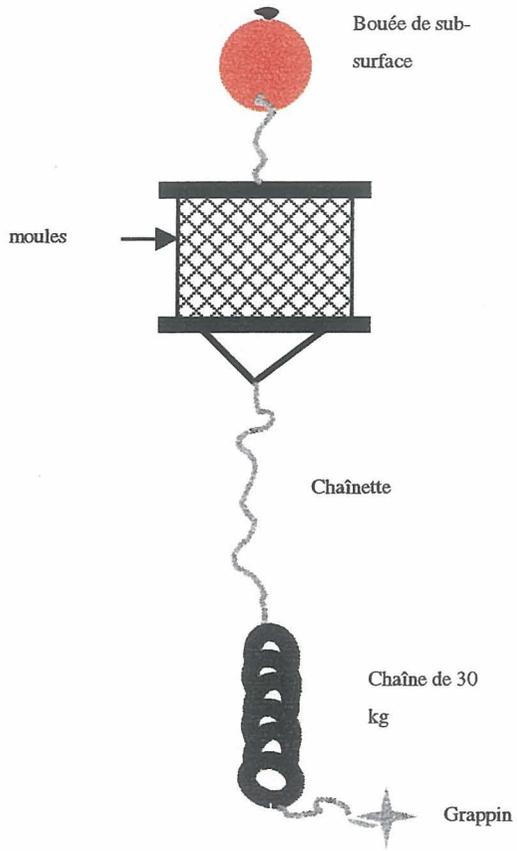
Pour cette expérience, un mouillage de sub-surface et un dispositif à terre ont été installés sur chacun des sites d'Etretat et de Yport. Le mouillage de sub-surface est situé en face des moulières de telle sorte qu'à marée haute les cages de moules soient au moins à 1,50 m en dessous de la surface de la mer. Les dispositifs à terre sont placés dans les nappes d'écoulement des eaux douces karstiques, bloqués entre de gros rochers et par des cailloux ajoutés.

Cinq kilogrammes de moules (*Mytilus edulis*) sauvages de Barfleur ont été utilisées : 1kg par cage en sub-surface, 1kg par cage sur le littoral, et 1kg pour les témoins

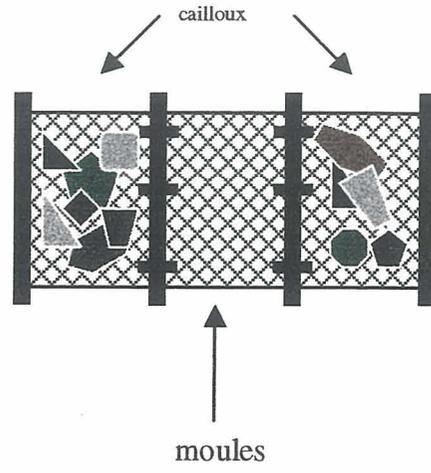
# ANNEXE 1

## Dispositifs :

### En sub-surface



### Au littoral

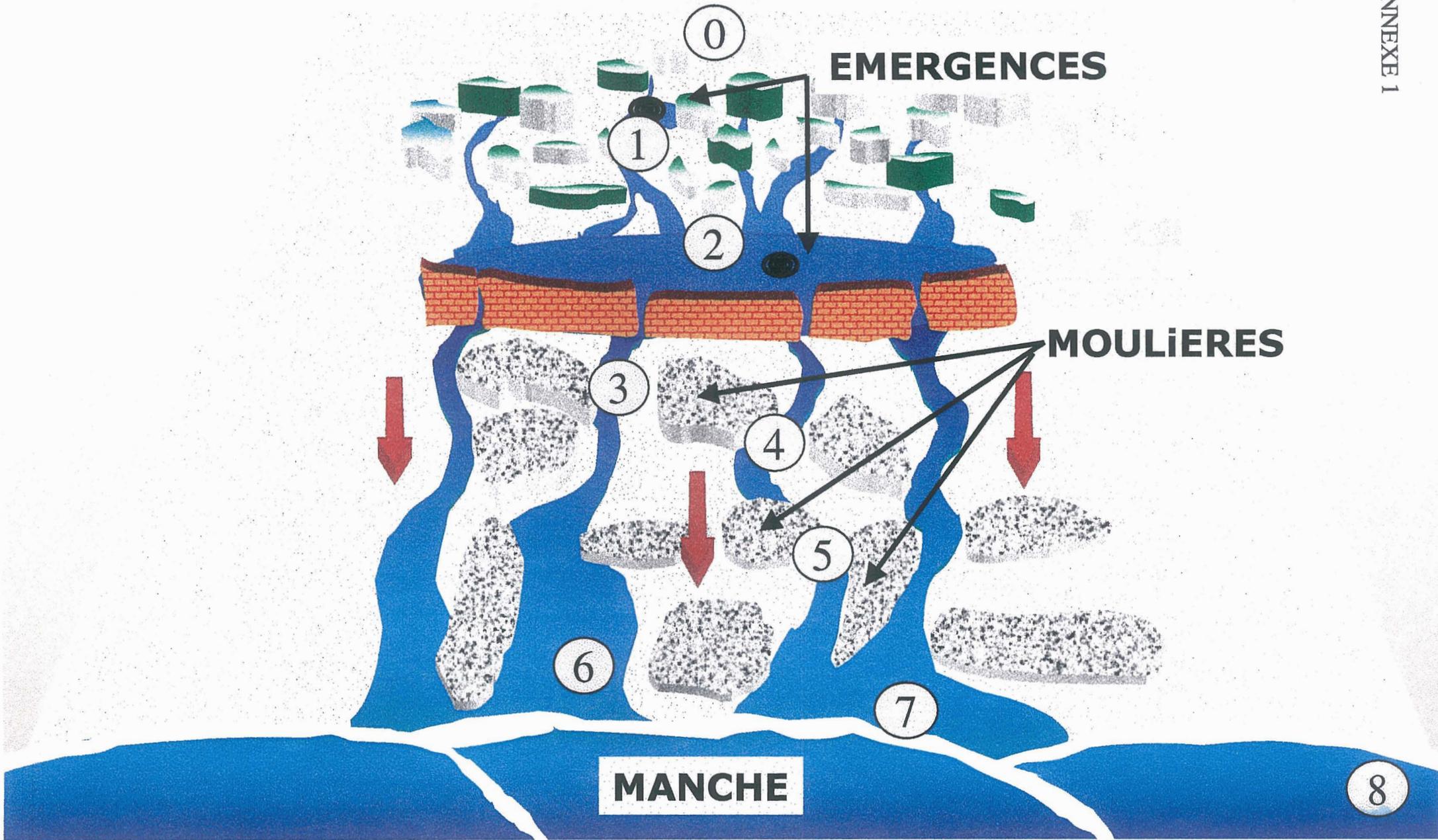


FALAISES

EMERGENCES

MOULIERES

MANCHE

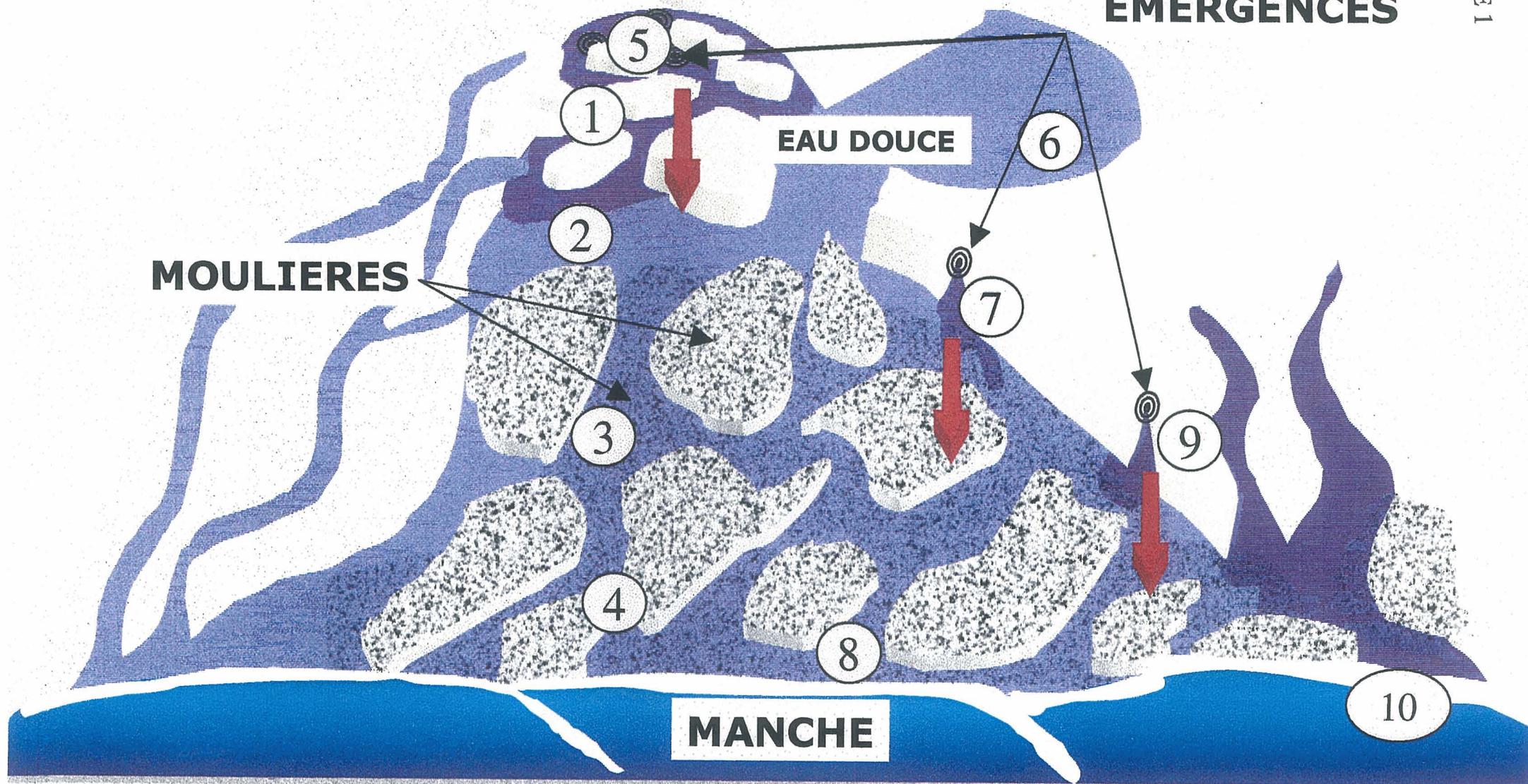


**ETRETAT**

**FALAISES**

**EMERGENCES**

ANNEXE 1

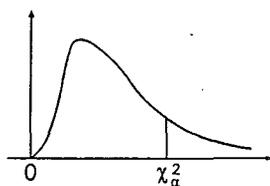


## ANNEXE 2

### Table de la loi du khi-deux, $\chi^2$ (Loi de K. Pearson)

Valeur  $\chi_p^2$  ayant la probabilité P d'être dépassée :  $\Pr(\chi^2 > \chi_p^2) = P$

v est le nombre de degrés de liberté.



v	P									
	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,0158	0,0642	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635
2	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210
3	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345
4	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277
5	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086
6	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812
7	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,662	18,475
8	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090
9	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666
10	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209
11	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725
12	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217
13	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688
14	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141
15	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578
16	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000
17	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409
18	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805
19	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191
20	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566
21	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932
22	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289
23	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638
24	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980
25	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314
26	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642
27	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963
28	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278
29	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588
30	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892

Pour v supérieur à 30, on admettra que  $\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2v - 1}$  est approximativement distribué suivant la loi normale centrée réduite.

## TEST du CHI-SQUARE ( $X^2_{.10}$ ): vérification de la distribution normale

### TABLEAU GENERAL DES RESULTATS

	Données Brutes	Proba de normalité (%)	Donnée en Log 10	Proba de normalité (%)
<b>L</b>	67.92	3.1	62.97	7.2
<b>I</b>	116.37	1.3E-5	57.09	17.3
<b>H</b>	110.80	7.1E-5	58.64	14
<b>P</b>	310.46	0.0	80.93	0.3

### RESULTATS PAR REGIONS

#### Baie de Seine

	Données brutes	Proba de normalité (%)	Donnée en Log 10	Proba de normalité
<b>L</b>	46.45	3.6	43.05	7.3
<b>I</b>	27.18	66.2	30.02	51.6
<b>H</b>	31.71	43.0	28.60	59.0
<b>P</b>	45.60	4.4	60.90	0.1

#### Golfe Normand Breton

<b>L</b>	53.45	0.2	46.42	1.1
<b>I</b>	37.37	8.8	24.30	61.3
<b>H</b>	92.00	5.1E-7	64.52	6.5E-3
<b>P</b>	137.59	1.1E-14	63.85	8.1E-3

#### Finistère/Sud Bretagne

<b>L</b>	84.66	2.0E-4	88.93	4.9E-4
<b>I</b>	93.2	1.1E-4	60.66	0.2
<b>H</b>	55.6	0.8	74.80	4.3E-3
<b>P</b>	178.53	0.0	75.60	7.2E-3

#### Pays de Loire/Poitou Charentes

<b>L</b>	46.61	2.0	44.17	3.5
<b>I</b>	51.58	0.6	34.11	23.5
<b>H</b>	42.95	4.5	24.36	71.1
<b>P</b>	92.93	1.3E-6	41.73	5.9

#### Aquitaine

<b>L</b>	40.33	4.7	31.33	25.8
<b>I</b>	51.33	0.3	32.00	23.2
<b>H</b>	35.00	13.8	27.00	46.3
<b>P</b>	116.66	4.1E-10	49.66	0.5

RESULTATS PAR STATIONS

		Données brutes	Proba de normalité (%)	Données en log 10	Proba de normalité (%)°
Vaucottes	L	18.0	11.5	13.0	36.9
	I	6.0	91.6	8.0	78.5
	H	10.0	61.6	7.0	85.7
	P	111.0	52.9	7.0	85.7
Antifer	L	24.66	10.2	22.0	18.5
	I	15.33	57.1	16.66	47.7
	H	21.33	21.2	22.0	18.5
	P	36.66	0.4	23.33	13.8
Villerville	L	34.66	0.7	29.33	3.2
	I	26.66	6.3	15.33	57.1
	H	23.33	13.8	16.0	52.4
	P	33.33	1.0	34.0	0.8
Ouireham	L	10.0	61.6	13.0	36.9
	I	4.0	98.3	5.0	95.8
	H	13.0	36.9	12.0	44.6
	P	15.0	24.1	14.0	30.1
Port en Bessin		14.0			
	L	14.0	30.1	7.0	85.8
	I	27.0	0.8	29.0	0.4
	H	11.0	52.9	9.0	70.3
P	19.0	8.8	16.0	19.1	
Géfosse	L	23.33	13.9	18.0	38.9
	I	22.66	16.0	25.33	8.7
	H	13.33	71.4	17.33	43.2
	P	20.66	24.1	16.66	47.7
le Moulard	L	12.0	44.6	13.0	36.9
	I	10.0	61.6	8.0	78.5
	H	11.0	52.9	14.0	30.1
	P	14.0	30.1	14.0	30.1
Cherbourg	L	16.0	19.1	19.0	8.8
	I	17.0	14.9	14.0	30.1
	H	15.0	24.1	19.0	8.8
	P	18.0	11.6	15.0	24.1

PAR STATION (suite)

		Données brutes	Proba de normalité (%)	Données en log 10	Proba de normalité (%°)
Pirou Nord	L	13.0	36.9	13.0	36.9
	I	7.0	85.8	8.0	78.5
	H	29.0	0.4	25.0	1.5
	P	24.0	2.0	17.0	14.9
Bréville	L	12.0	44.6	10.0	61.6
	I	16.0	19.1	15.0	24.1
	H	16.0	19.1	19.0	8.8
	P	15.0	24.1	13.0	36.9
Le Vivier/mer	L	12.0	44.6	8.00	78.5
	I	16.0	19.1	15.0	24.1
	H	13.0	36.9	13.0	36.9
	P	18.0	11.6	13.0	36.9
Gauthier	L	13.0	36.9	12.0	44.6
	I	6.0	91.6	5.0	95.8
	H	17.0	14.9	10.0	61.6
	P	6.0	91.6	10.0	61.6
Fresnaye	L	TROP	PEU (n=29)	DE	DONNEES
	I				
	H				
	P				
St Michel en Grève	L	11.0	52.9	16.0	19.1
	I	13.0	36.9	13.0	36.9
	H	21.0	5.0	19.0	8.8
	P	19.0	8.8	21.0	5.0
Kervel	L	27.0	0.8	28.0	0.5
	I	14.0	30.1	12.0	44.6
	H	9.0	70.3	11.0	52.9
	P	7.0	85.8	11.0	52.9
Audierné	L	6.0	91.6	5.0	95.8
	I	12.0	44.6	8.0	78.5
	H	7.0	85.8	8.0	78.5
	P	17.0	14.9	16.0	19.1

(Suite)

	Données brutes	Proba de normalité (%)	Données en log 10	Proba de normalité (%)°
mousterlin	L	9.0	70.3	85.8
	I	8.0	78.5	91.6
	H	15.0	24.1	30.1
	P	22.0	3.7	24.1
Pen-Bé	L	26.0	1.1	2.8
	I	11.0	52.9	70.3
	H	7.0	85.8	78.5
	P	10.0	61.5	52.9
Le croisic	L	9.0	70.3	70.3
	I	8.0	78.5	95.8
	H	26.0	19.1	52.9
	P	10.0	61.6	61.6
Chemoulin	L	9.0	70.3	70.3
	I	12.0	44.6	61.6
	H	12.0	44.6	70.3
	P	13.0	36.9	70.3
La Moulière	L	14.0	30.1	8.8
	I	15.0	24.1	36.9
	H	11.0	52.9	52.9
	P	11.0	52.9	95.8
Cap Breton Ouest	L	7.0	85.8	78.5
	I	23.0	2.8	30.1
	H	14.0	30.1	36.9
	P	22.0	3.7	36.9

## TABLEAUX DE STATISTIQUES GENERALES

L : longueur (cm)    H : hauteur (cm)  
I : largeur (cm)    P : poids (g)

VAUCOTTES	L	I	H	P
Moyenne	3,7	0,9	1,7	2,4
Ecart Type	0,3	0,1	0,1	0,6
Mediane	3,7	0,9	1,7	2,3
Minimum	3,2	0,8	1,5	1,2
Maximum	4,5	1,1	2,1	4,4

ANTIFER	L	I	H	P
Moyenne	4,7	1,0	2,2	2,6
Ecart Type	0,3	0,1	0,2	0,6
Mediane	4,7	1,0	2,2	2,6
Minimum	4,1	0,8	1,8	1,3
Maximum	5,3	1,1	2,5	3,8

VILLERVILLE	L	I	H	P
Moyenne	4,2	0,8	1,9	1,5
Ecart Type	0,3	0,1	0,2	0,4
Mediane	4,1	0,8	1,8	1,4
Minimum	3,8	0,7	1,6	1,0
Maximum	5,0	1,0	2,2	3,3

OUISTREHAM	L	I	H	P
Moyenne	4,9	1,0	2,2	2,7
Ecart Type	0,6	0,1	0,2	0,5
Mediane	4,9	1,0	2,2	2,6
Minimum	3,9	0,8	1,8	2,0
Maximum	6,2	1,2	2,7	4,0

PORT EN BESSIN	L	I	H	P
Moyenne	4,0	0,8	1,8	1,4
Ecart Type	0,5	0,1	0,2	0,5
Mediane	4,0	0,7	1,8	1,4
Minimum	3,1	0,6	1,5	0,8
Maximum	5,2	1,0	2,2	3,0

GEFOSSE	L	I	H	P
Moyenne	4,7	0,9	2,1	2,1
Ecart Type	0,4	0,1	0,2	0,5
Mediane	4,7	0,9	2,1	1,9
Minimum	4,2	0,7	1,8	1,5
Maximum	5,7	1,0	2,6	3,1

LE MOULARD	L	I	H	P
Moyenne	5,3	1,0	2,3	2,5
Ecart Type	0,4	0,1	0,2	0,5
Mediane	5,3	1,0	2,3	2,6
Minimum	4,5	0,8	2,0	1,6
Maximum	6,1	1,3	2,7	3,5

CHERBOURG	L	I	H	P
Moyenne	5,4	1,0	2,4	2,8
Ecart Type	0,3	0,1	0,2	0,3
Mediane	5,4	1,0	2,4	2,8
Minimum	5,0	0,9	2,1	2,4
Maximum	6,1	1,2	2,7	3,6

PIROU NORD	L	I	H	P
Moyenne	4,4	0,8	2,0	1,6
Ecart Type	0,4	0,1	0,2	0,4
Mediane	4,4	0,9	2,1	1,7
Minimum	3,6	0,7	1,7	1,0
Maximum	4,9	1,0	2,3	2,1

BREVILLE	L	I	H	P
Moyenne	4,3	0,8	2,0	1,0
Ecart Type	0,2	0,1	0,1	0,2
Mediane	4,3	0,8	2,0	0,9
Minimum	3,9	0,7	1,9	0,8
Maximum	4,8	0,9	2,3	1,5

LE VIVIER/MER	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	5,3	1,0	2,4	2,4
<b>Ecart Type</b>	0,2	0,1	0,1	0,3
<b>Mediane</b>	5,3	1,0	2,4	2,4
<b>Minimum</b>	4,9	0,9	2,2	1,8
<b>Maximum</b>	5,9	1,2	2,7	2,9

GAUTHIER	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	5,7	1,2	3,1	5,4
<b>Ecart Type</b>	0,3	0,2	0,2	0,9
<b>Mediane</b>	5,7	1,2	3,1	5,3
<b>Minimum</b>	5,1	0,9	2,8	4,0
<b>Maximum</b>	6,5	1,8	3,5	7,4

FRESNAYE	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,8	0,9	2,2	2,0
<b>Ecart Type</b>	0,4	0,1	0,2	0,5
<b>Mediane</b>	4,8	0,9	2,2	1,9
<b>Minimum</b>	4,2	0,8	1,9	1,3
<b>Maximum</b>	5,6	1,1	2,9	3,1

ST MICHEL	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,4	1,0	2,3	2,6
<b>Ecart Type</b>	0,3	0,1	0,2	0,5
<b>Mediane</b>	4,4	0,9	2,2	2,5
<b>Minimum</b>	3,9	0,8	2,0	1,8
<b>Maximum</b>	5,2	1,1	2,6	3,8

KERVEL	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,4	0,9	2,1	2,1
<b>Ecart Type</b>	0,3	0,1	0,2	0,4
<b>Mediane</b>	4,4	0,9	2,1	2,1
<b>Minimum</b>	4,1	0,8	1,8	1,3
<b>Maximum</b>	5,1	1,2	2,4	2,8

AUDIERNE	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	3,8	0,9	1,9	1,9
<b>Ecart Type</b>	0,2	0,1	0,2	0,3
<b>Mediane</b>	3,8	0,9	1,9	1,9
<b>Maximum</b>	4,5	1,1	2,3	2,8

MOUSTERLIN	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,7	1,1	2,3	3,6
<b>Ecart Type</b>	0,4	0,1	0,2	0,9
<b>Mediane</b>	4,7	1,0	2,3	3,5
<b>Minimum</b>	4,0	0,9	1,9	1,9
<b>Maximum</b>	5,6	1,2	2,9	6,0

PEN-BE	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	5,6	1,1	2,6	3,6
<b>Ecart Type</b>	0,4	0,1	0,2	1,0
<b>Mediane</b>	5,6	1,1	2,6	3,7
<b>Minimum</b>	4,9	0,9	2,3	2,0
<b>Maximum</b>	6,9	1,3	3,0	6,1

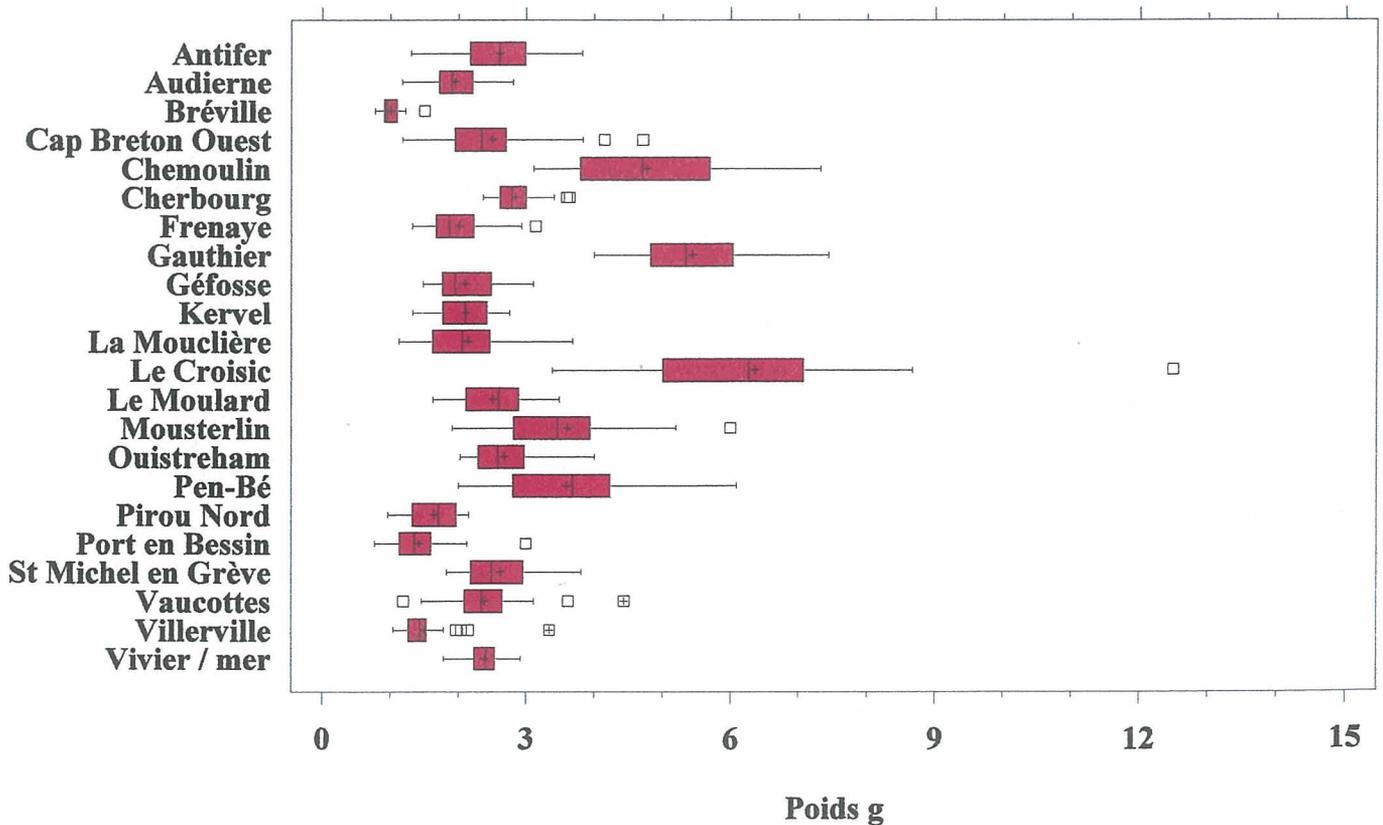
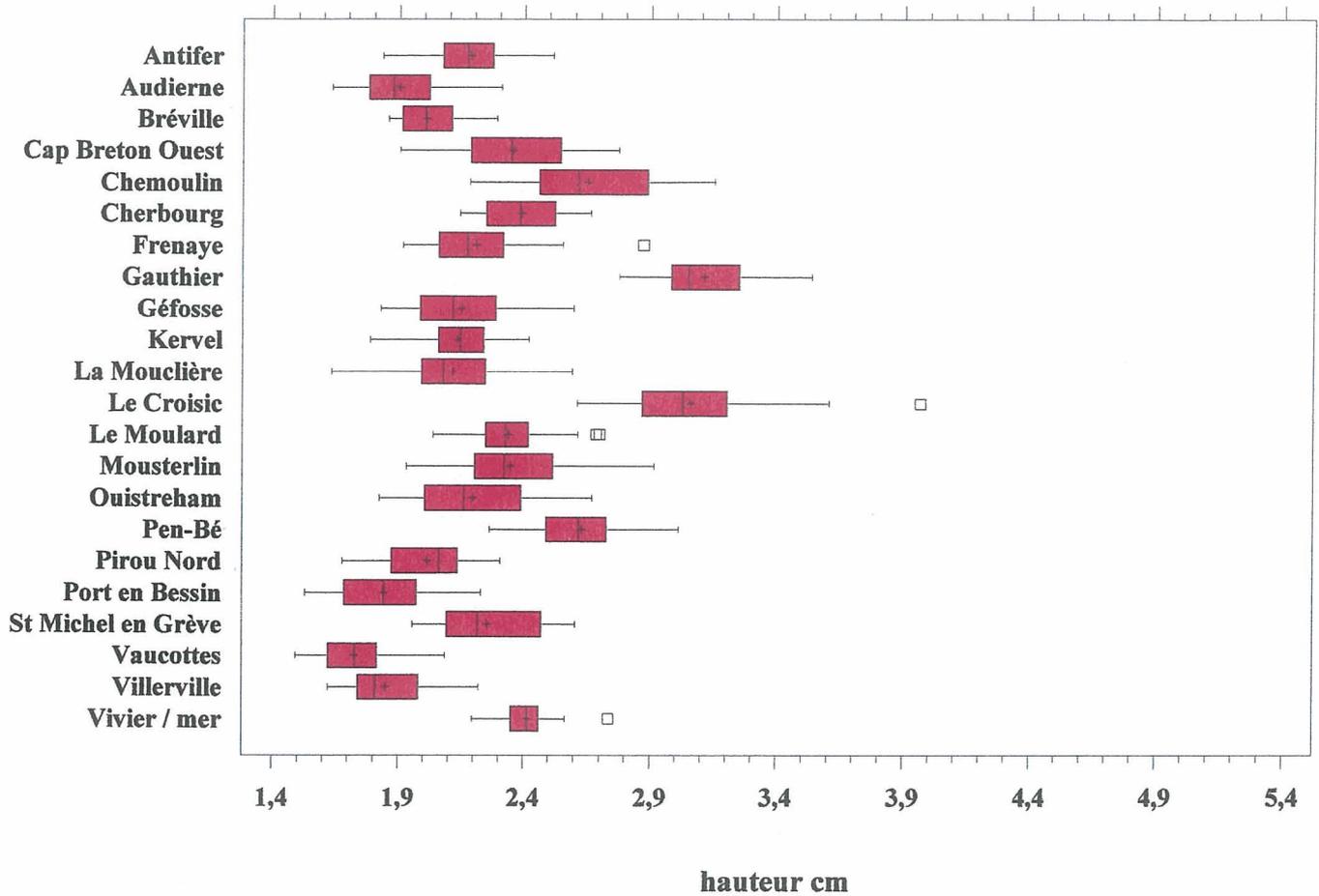
LE CROISIC	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	6,2	1,3	3,1	6,3
<b>Ecart Type</b>	0,5	0,1	0,3	1,8
<b>Mediane</b>	6,2	1,3	3,0	6,3
<b>Minimum</b>	5,4	1,1	2,6	3,4
<b>Maximum</b>	7,6	1,8	4,0	12,5

CHEMOULIN	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	5,6	1,1	2,7	4,8
<b>Ecart Type</b>	0,3	0,1	0,3	1,2
<b>Mediane</b>	5,7	1,1	2,6	4,7
<b>Minimum</b>	5,0	1,0	2,2	3,1
<b>Maximum</b>	6,2	1,4	3,1	7,3

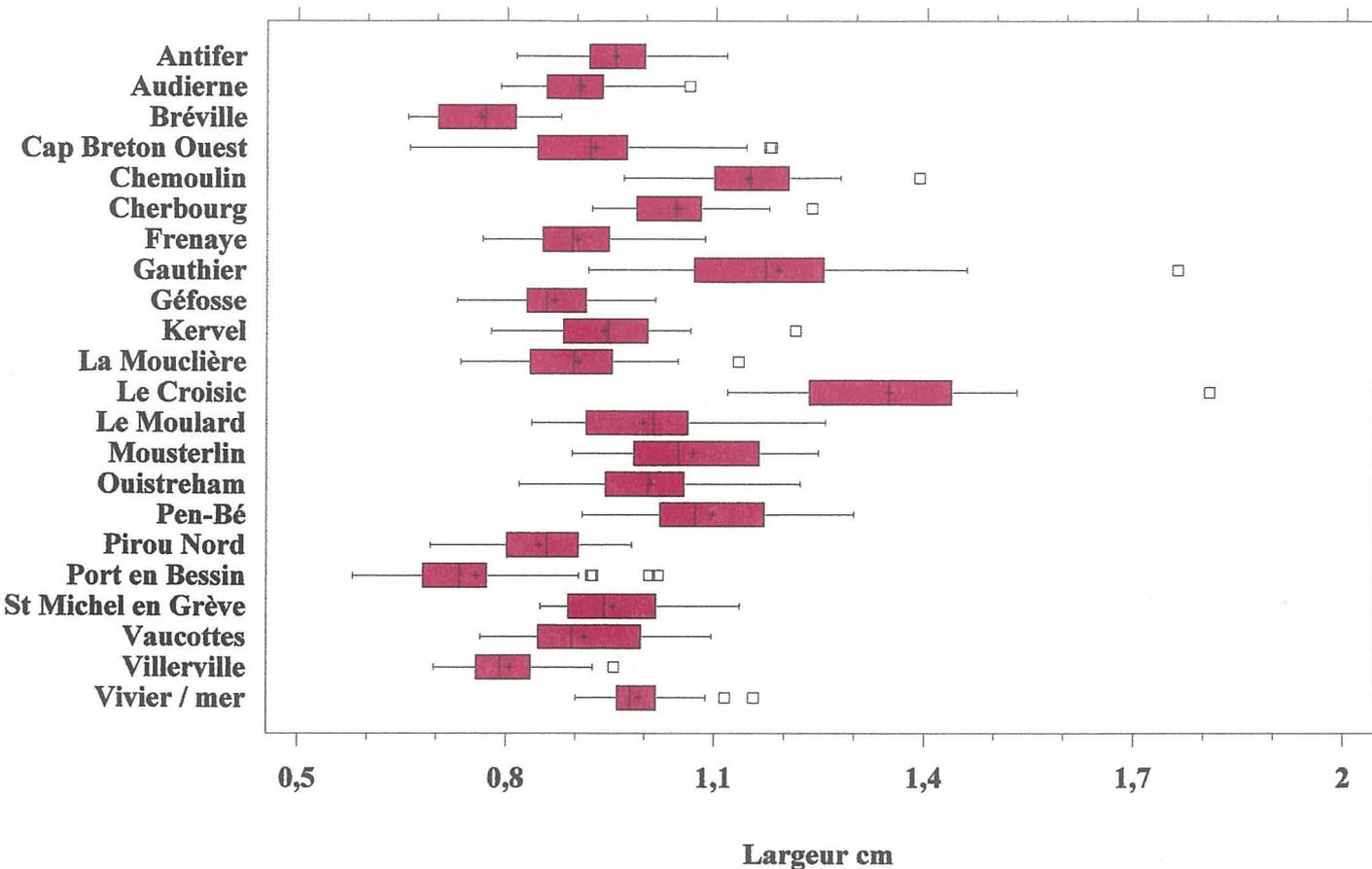
LA MOUCLIERE	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,7	0,9	2,1	2,1
<b>Ecart Type</b>	0,4	0,1	0,2	0,6
<b>Mediane</b>	4,6	0,9	2,1	2,0
<b>Minimum</b>	3,8	0,7	1,6	1,1
<b>Maximum</b>	5,8	1,1	2,6	3,7

CAP BRETON W	L	I	H	P
<b>Moyenne</b>	4,7	0,9	2,4	2,5
<b>Ecart Type</b>	0,4	0,1	0,2	0,8
<b>Mediane</b>	4,6	0,9	2,3	2,3
<b>Maximum</b>	5,7	1,2	2,8	4,7

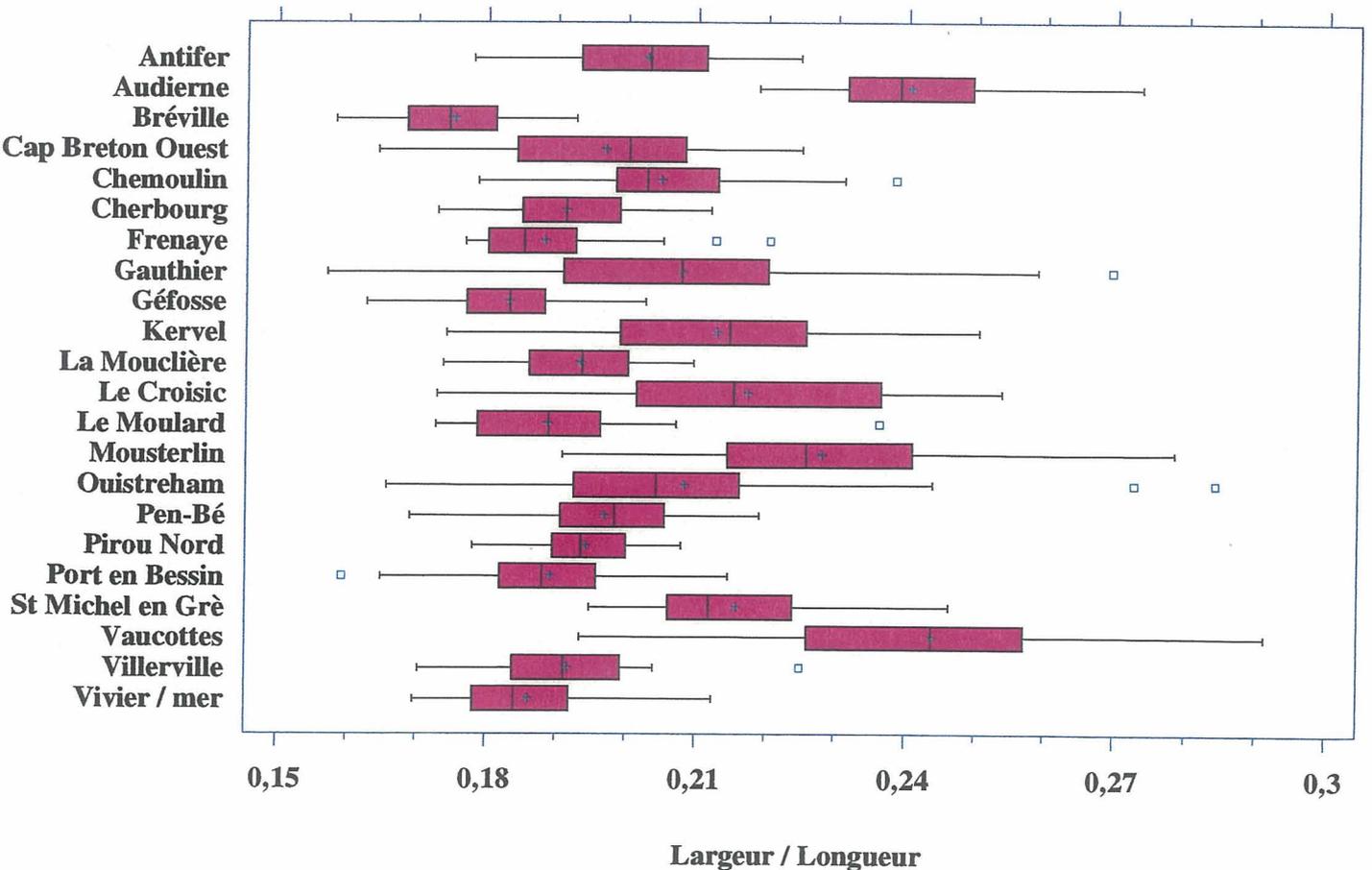
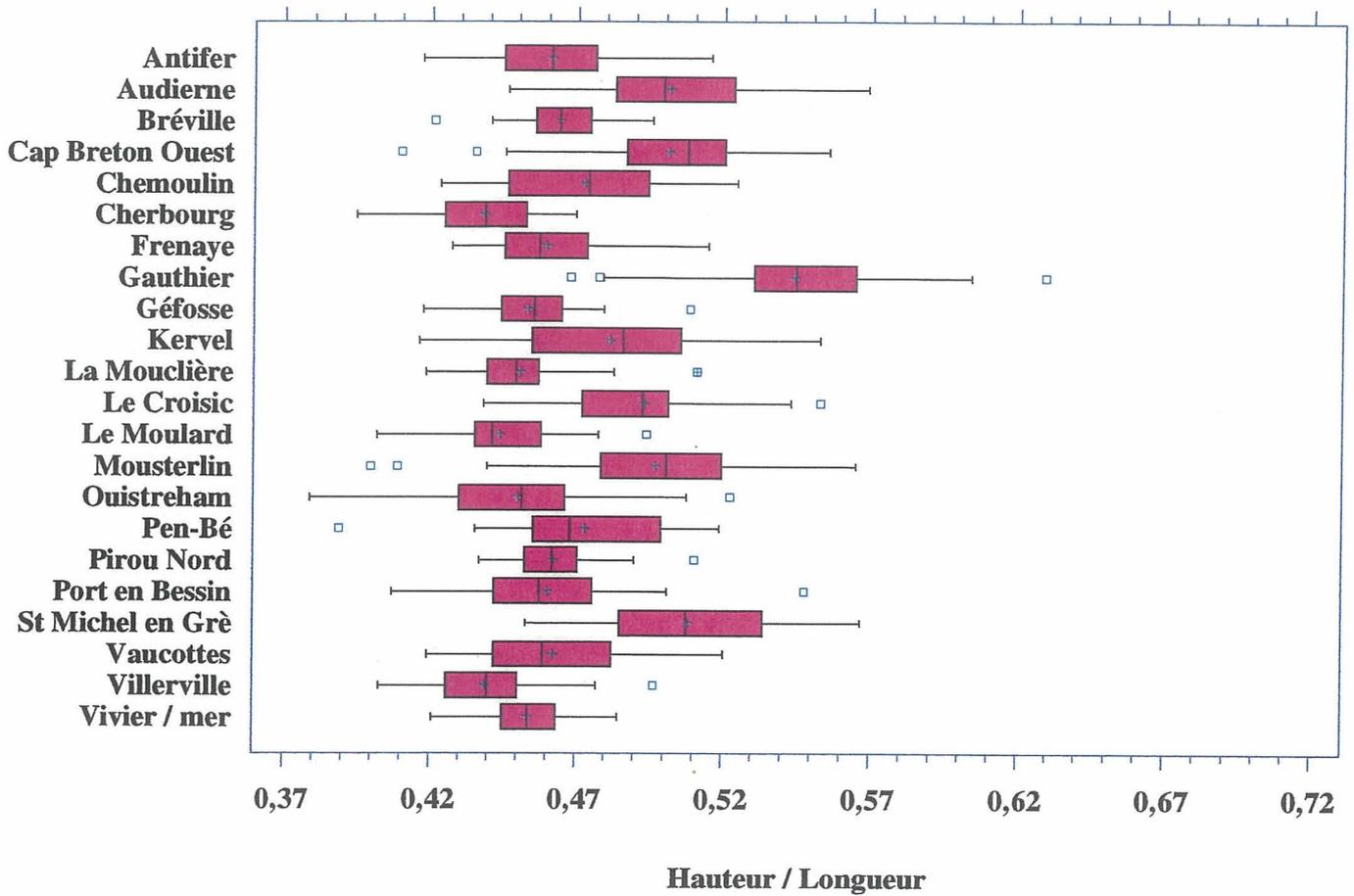
ANNEXE 5



ANNEXE 5



ANNEXE 6



# ANNEXE 7

## Analysis Summary

Data variables:  
  hauteur cm  
  Larg cm  
  Long cm  
  Poids g

Data input: observations  
Number of complete cases: 659  
Missing value treatment: listwise  
Standardized: yes

Number of components extracted: 1

### Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	3,46579	86,645	86,645
2	0,299523	7,488	94,133
3	0,148705	3,718	97,850
4	0,0859838	2,150	100,000

## Table of Component Weights

	Component
	1
hauteur cm	0,506392
Larg cm	0,496886
Long cm	0,49378
Poids g	0,502845

### The StatAdvisor

-----  
This table shows the equations of the principal components. For example, the first principal component has the equation

$$0,506392 * \text{hauteur cm} + 0,496886 * \text{Larg cm} + 0,49378 * \text{Long cm} + 0,502845 * \text{Poids g}$$

where the values of the variables in the equation are standardized by subtracting their means and dividing by their standard deviations.

## BIBLIOGRAPHIE

**Bayne, B.L.**, 1976. Marine mussels : their ecology and physiology. IBP 10. Cambridge Univ. Press, Cambridge (U.K), 411p.

**Cossa, D.**, 1989. *A review of the use of Mytilus spp. As a quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters.* Oceanologica Acta, 12, N°4.

**Fisher, H.**, 1988. *Mytilus edulis* as a quantitative indicator of dissolved cadmium. Final study and synthesis. Mar. Ecol. Progr. Ser., 48 : 163-174.

**Goldberg, E.D., et al.**, 1978. The Mussel Watch. Environment Conservation., 5 : 101-125.

**Lutz, R.A.**, 1976. Annual growth patterns in the inner shell layer of *Mytilus edulis* L.- J. mar. biol. Ass. U.K. 56 : 723-731.

**Marteil, L.**, 1976. *La conchyliculture française.* Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 40 (2) : 125-320.

**Seed, R.**, 1968. *Factors influencing shell shape in Mytilus edulis L.* J. mar. biol. Ass. U.K., 48 : 561-584.

**Seed, R.**, 1973. *Absolute and allometric growth in the mussel, Mytilus edulis L.* (Mollusca Bivalvia).- Proc. Malac. Soc. Lond., 40 : 343-357.

**Seed, R.**, 1976. Ecology.- Pages 13-65 in B.L. Bayne (ed). Marine mussels : *their ecology and physiology.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 506p.