

Université de Liège
Laboratoire d'Océanologie
Prof. A.DISTECHE

"Mussel stress experiment - Belgian coastal zone"

RAPPORT FINAL

Période du 1er juillet 1986 au 30 juin 1987

par C.DOPAGNE, P.GERVAIS et J.M.BOUQUEGNEAU,
avec l'assistance technique de R.BIONDO.

ETUDE REALISEE POUR LE COMPTE DE L'UNITE DE GESTION DU MODELE
MATHEMATIQUE DE LA MER DU NORD ET DE L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT

(MINISTERE DE LA SANTE PUBLIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT)

REF.BH/20/86

EXECUTIVE SUMMARY.

Mussels have been used for a long time as biological indicators of pollution of the marine environment ("Mussel Watch" concept) for the following reasons:

- they accumulate pollutants but are able to stand the concentrations encountered in the environment,
- they are sedentary,
- they are abundant when present in the studied biotope,
- their life-span is long enough,
- they are large enough, easy to catch and to keep alive in the laboratory.

Recently, BAYNE et al.(1985) have proposed an integrated pollution monitoring strategy consisting in both the measurement of the Scope for Growth (i.e. the energy available for growth and reproduction) of mussels and the histological study of the presence of metalloproteins, stability of lysosomes and demonstration of NADPH-neotetrazolium reductase activity.

These techniques have been applied in collaboration with P.M.J.HERMAN, M.HABETS and C.HEIP ("Sectie Mariene Biologie, Instituut voor Dierkunde, Rijksuniversiteit Gent") to the study of the pollution level of the Belgian coastal zone during an annual cycle during 1986 and the beginning of 1987.

This report concerns the studies performed in the Laboratory for Oceanology of the University of Liège, i.e.:

- the physiological measurements: - Scope for Growth.
- Oxygen-Nitrogen ratio.
- the biochemical measurements: heavy metals content.

From the whole results, it appears that the Belgian coastal zone is submitted to three quite different sources of pollution:

- the Scheld Estuary,
- the Channel,
- local sources which are characteristic of the studied stations.

The relative importance of these three sources varies as a function of the time and of the parameter which is taken into account.

The annual variations of the physiological indexes and of the heavy metals content are mainly related to the season. The values of Scope for Growth are maximal during the end of the summer and the beginning of the autumn, when the consumed energy is maximal but the respiration is minimal. These better physiological conditions are coincident with a decrease of the heavy metals content.

When considering the gradients along the coast, it seems that the important eutrophisation due to the Scheldt Estuary promotes the Scope for Growth values near the mouth. However, the O/N measurements suggest a toxic effect of the inputs of pollutants from the Scheldt. As discussed, the Scope for growth reveals to be a good index of stress, whilst the O/N ratio is only to be accurately used for the comparison of different stations at the same moment of the year.

The levels of contamination by heavy metals are low, except for titanium whose concentrations in the tissues are very high. The mercury contents of the mussels are significantly lower than ten years ago. The Scheldt appears to be an unnegligible source of cadmium and chromium, whilst the Channel is an important and constant source of titanium, an unnegligible source of copper and an accidental source of chromium. The zinc, lead and mercury contents are the most influenced by local inputs and by the physiological status of the animals.

Finally, the expression of the results on a dry weight basis has been compared to the one obtained on a shell dry weight basis. Our results show the interest of using such an unit, as previously suggested by Fischer (1983).

SOMMAIRE.

1. INTRODUCTION.....	1
2. MATERIEL ET METHODES.....	4
2.1. Prélèvements.....	4
2.2. Mesures de la longueur des coquilles et des poids..	4
2.3. Mesures du Scope for Growth.....	6
2.4. Calcul du rapport O:N.....	9
2.5. Dosages de métaux lourds dans les tissus mous des moules.....	10
2.6. Analyse factorielle des correspondances.....	11
3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	14
3.1. Mesures physiologiques.....	14
3.2. Longueurs des coquilles et poids.....	35
3.3. Teneurs en métaux lourds des moules du littoral belge.....	39
3.4. Relation entre les stations et les différentes mesures effectuées lors de la campagne du 15 avril 1937.....	71
4. CONCLUSIONS GENERALES.....	83
BIBLIOGRAPHIE.....	85

1.INTRODUCTION

Plusieurs variables environnementales peuvent influencer les conditions physiologiques d'un animal, comme, par exemple la température (Widdows & Bayne, 1971). Les pollutions d'origine anthropique (hydrocarbures, métaux lourds, pesticides...) peuvent aussi exercer une influence considérable sur le métabolisme. Elles sont la cause d'importants facteurs de stress physiologiques (Akberali & Trueman, 1985), qui peuvent être mesurés par différents indicateurs: le "Scope for growth" (Warren & Davis, 1967; Crisp, 1971; Widdows & Bayne, 1971; Thompson & Bayne, 1974; Donkin & Widdows, 1986), le rendement de croissance (Crisp, 1971; Thompson & Bayne, 1974), le rapport oxygène respiré sur azote excrété (O:N ratio) (Corner & Cowey, 1968; Bayne, 1973; Widdows, 1978a).

Le "Scope for Growth" est défini comme l'énergie utilisable pour la production de tissus somatique et germinatif (Bayne et al., 1978). Il est déterminé par la différence entre l'énergie qui est effectivement assimilée et l'énergie perdue via la respiration et l'excrétion. L'intégration rationnelle de cette mesure d'énergie, le "Scope for Growth", peut être considérée comme un index global de l'activité métabolique et corrélée avec les conditions environnementales, incluant le stress dû à la pollution. En fait, quand un animal vit dans un environnement pollué, il va utiliser de l'énergie pour les processus de détoxification. Par conséquent, cette énergie ne sera plus utilisable pour la croissance.

Plusieurs auteurs ont étudiés le Scope for Growth chez Mytilus edulis en relation avec de nombreux paramètres environnementaux: la température (Widdows & Bayne, 1971; Bayne, 1973; Gabbott & Bayne, 1973), la nutrition (Bayne, 1973; Gabbott & Bayne, 1973; Thompson & Bayne, 1974; Riisgard & Randlov, 1981; Navarro & Winter, 1982; Hawkins & al., 1985), les matières en suspension (Kiorboe et al., 1981), etc...

Si effectivement le Scope for growth a bien été étudié vis-à-vis de paramètres "naturels", par contre il n'a été que rarement utilisé en écotoxicologie (Widdows et al., 1980; Massie et al., 1985; Herman et al., 1985).

Au cours d'un précédent travail (Herman et al., 1985), nous avons étudié l'état physiologique de moules ~~standards~~ immergées au large de Zeebrugge et de Nieuwpoort et récupérées deux mois après leur immersion. Les résultats avaient mis en évidence la meilleure qualité de l'eau du large de Nieuwpoort.

D'autre part, nous avons également étudié l'état physiologique des populations indigènes de moules vivant sur les brise-lames de la côte belge. Les résultats obtenus suggèraient une influence des installations portuaires plus importante que celle de la pollution due à l'Escaut.

Au cours de ce travail, nous nous sommes proposé d'évaluer, de manière beaucoup plus précise, les effets biologiques de la pollution sur ces populations de moules du littoral belge par des mesures du Scope for Growth comme effectuées précédemment. En complément, nous avons examiné le rapport O:N.

Le rapport entre l'oxygène consommé et l'azote excrété (O:N, calculé en équivalents atomiques) donne, en effet, un index de l'utilisation relative des protéines du métabolisme énergétique (Corner & Cowey, 1968; Widdows, 1978a; Bayne et al., 1985). Un taux élevé du catabolisme des protéines en relation avec le catabolisme des carbohydrates et des lipides se traduit par un rapport O:N bas, qui est généralement indicateur de stress. Par contre un O:N élevé révèle une prédominance du catabolisme des lipides ou des carbohydrates sur la dégradation des protéines. La valeur minimale théorique du O:N est d'environ 7 (Mayzaud, 1973), valeur qui résulterait du catabolisme des protéines seules. Chez Mytilus edulis une valeur d'environ 50 est représentative d'une moule normale, tandis qu'une valeur approximative de 30 et moins indique généralement un animal stressé, qui a un catabolisme relativement élevé des protéines (Bayne et al., 1985).

Parallèlement aux mesures physiologiques, des dosages de métaux lourds ont été effectués sur les parties molles des moules, dans le but de trouver une éventuelle corrélation entre le Scope for Growth, le rapport O:N et les concentrations de ces toxiques (Hg, Cu, Cd, Zn, Pb, Ti, Cr).

Les résultats obtenus, relatifs aux indices de stress, ont été exprimés par animal d'une part et par poids sec des parties molles des moules d'autre part. Dans le cas des dosages des métaux lourds, ils l'ont été par rapport aux poids secs des parties molles. Pour la majorité des résultats obtenus en 1986 et 1987, ils ont également été comparés aux poids secs des coquilles. En effet, cette méthode de présentation a de nombreux avantages qui ont été montrés par Fischer (1983), dans le cas de l'accumulation du Cadmium (Cd/shell-wt index) chez Mytilus edulis. Ceux-ci sont décrits dans le tableau suivant, qui montre les tendances des moules selon leurs états physiologiques:

Les moules sont:	Cd part. molles/ Pds part. molles	Pds part. molles/ Pds coquille	Cd part. molles/ Pds coquille
très jeunes très vieilles privées de nourriture en période de reproduction exposées aux marées	augmentation	diminution	non affecté

De plus le Cd/shell-wt index n'est pas affecté par des variations importantes de la température, de la salinité et de la concentration en oxygène dans le milieu (Fischer, 1986).

Dans cette optique, le concept de bioindicateur (Phillips, 1978) prend toute sa valeur. En effet, les moules répondent à une large variété de stimuli externes et internes (par exemple la maturation sexuelle, Cossa et al., 1979) qui semblent être effacés par cette variable indépendante, qu'est le poids des coquilles.

2.MATERIEL ET METHODES

2.1.Prélèvements.

Les prélèvements ont été réalisés de deux manières différentes dans le but d'analyser deux phénomènes différents. Premièrement, suivre l'évolution au cours du temps des paramètres physiologiques et des teneurs en métaux lourds dans deux stations: Nieuwpoort et Oostende. Deuxièmement, effectuer ces mêmes mesures le long du gradient halin dans six stations: Breskens, Knokke, Wenduine, Middelkerke, Nieuwpoort et Koksijde (ou De Panne: le 26/05/86)(fig. 1).

2.1.1.Prélèvements à Nieuwpoort et Oostende.

Les prélèvements ont eu lieu à huit dates communes pour les deux stations: en 1986 le 28/04, le 25/06, le 28/07, le 27/08, le 23/09 et le 31/11; en 1987: le 29/01 et le 02/03. Quatre prélèvements supplémentaires à Nieuwpoort: en 1986: le 26/05 et le 20/10; en 1987: le 13/04 et le 15/05. Deux prélèvements supplémentaires à Oostende: en 1986: le 23/01 et le 12/03.

2.1.2.Prélèvements le long du gradient halin.

Ces mesures ont été réalisées à quatre reprises: en 1986: le 26/05 et le 20/10; en 1987: le 13/04 et le 15/05.

A chacune des stations et à chacun des prélèvements, 12 moules ont été utilisées pour les mesures physiologiques et 10 moules ont été prises pour les dosages de métaux lourds.

2.2.Mesures de la longueur des coquilles et des poids.

Dans un premier temps (en 1986) nous avons mesuré la longueur des coquilles et le poids sec des parties molles des moules parallèlement aux différents paramètres envisagés. Par la suite (en

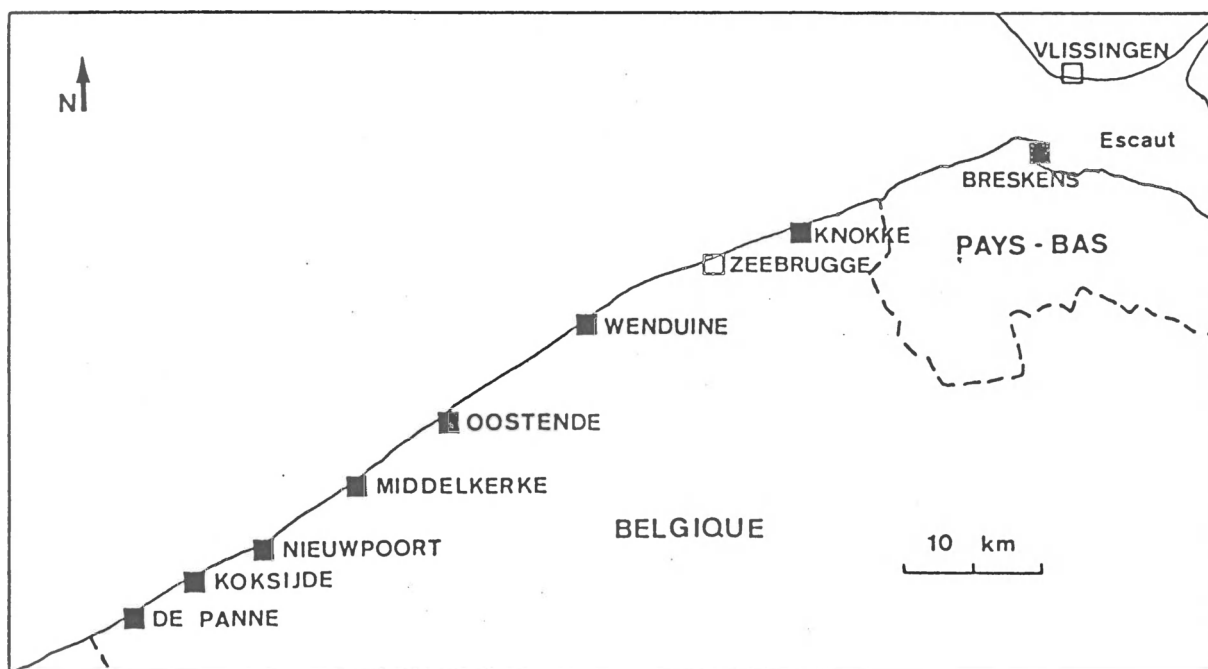


Figure 1. Localisation des stations qui ont été prospectées (carrés pleins) le long du littoral belge et hollandais.

1987) nous avons également mesuré le poids frais et le poids de cendre des parties molles (cps), et le poids sec des coquilles (coq). Ces différentes mesures nous ont permis de calculer plusieurs paramètres ou index:

L'indice d'occupation de la coquille:

$\text{longueur coq/pds sec cps (mm/g)}$

Le taux de croissance des coquilles:

$\text{longueur coq/pds sec coq (mm/g)}$

Le pourcentage d'eau dans les parties molles:

$(\text{pds frais cps} - \text{pds sec cps})/\text{pds frais cps}$

Le pourcentage de matière organique dans les parties molles:

$(\text{pds sec cps} - \text{pds cendre cps})/\text{pds sec cps}$

Le pourcentage du poids du corps par rapport au poids totale:

$\text{pds sec cps}/(\text{pds sec cps} + \text{pds sec coq})$

Le pourcentage du poids de la coquille sur le poids totale

$\text{pds sec coq}/(\text{pds sec cps} + \text{pds sec coq})$

L'indice d'occupation de la coquille et le taux de croissance de la coquille sont deux index qui sont calculés de manière indirecte. Ces deux paramètres sont approximatifs et sont exprimés en mm/g. L'indice d'occupation de la coquille est bas quand sa valeur est élevée et le taux de croissance est élevé quand sa valeur est élevée. Nos observations ont montré que plus la coquille est épaisse plus la moule est vieille, tandis que si la coquille est mince la moule est plus jeune, présente des stries de croissance plus espacées et donc un taux de croissance élevé.

2.3. Mesures du Scope for Growth.

Le protocole expérimental pour mesurer le SFG (scope for growth) a été décrit par de nombreux auteurs (Widdows & Bayne, 1971; Thompson & Bayne; 1974; Bayne et al., 1978; Widdows, 1978a; Widdows et al., 1980; Navarro & Winter, 1982; Hawkins et al., 1985; WRC Environment, 1985; Bayne et al., 1985; Herman et al., 1985).

2.3.1. Mesure de la respiration.

La respiration est déterminée en plaçant individuellement les moules dans des récipients clos contenant 500 ml d'eau de mer filtrée et préalablement saturée en oxygène. La consommation d'oxygène est mesurée avec une électrode à oxygène (Dissolved Oxygen Probe Mobel no 8012-100) pendant approximativement une heure. La respiration est exprimée en J/h par l'équation suivante:

$$R = O_2 \text{ consommée (mg/h)} \times 14.23 \text{ (J/h)} \quad (\text{Crisp, 1971})$$

2.3.2. Mesure de l'excrétion d'ammoniaque.

L'excrétion d'ammoniaque est mesurée directement en plaçant les animaux individuellement dans des récipients de 250 ml d'eau de mer filtrée et saturée en oxygène. Un flacon sans moules est utilisé comme témoin. Après environ trois heures la concentration en ammoniaque est déterminée par la méthode au phénol-hypochlorite de Solorzano (1969) (pour plus de détails se reporter à l'annexe 1). Les équivalents énergétiques sont calculés par l'équation:

$$E = (NH_3-N) \text{ excrété (mg/h)} \times 24.8 \text{ (J/mg)} \\ (\text{Elliot \& Davison, 1975})$$

2.3.3. Mesure de l'assimilation de nourriture.

L'assimilation est mesurée en déterminant le "taux de clearance" d'une suspension d'algues planctoniques: Phaeodactylum tricornutum Bohlin (Bacillariophyceae). Une culture monospécifique a été réalisée en laboratoire à partir d'une souche obtenue à l'Université de Louvain-la-Neuve (en 1986) et d'une souche provenant du CERBOM à Nice (en 1987). Le milieu de culture utilisé a été décrit par Guillard & Ryther (1962).

Pour mesurer le taux de clearance les animaux sont placés dans un système à flux continu (150 ml/min) d'eau de mer filtrée additionnée d'une suspension d'algue. La densité des cellules algales est mesurée avant et après les chambres expérimentales, contenant chacune une moule, avec un Turner Fluorometer Model 111 ou en dosant les quantités de chlorophylles (méthode annexe 2).

Le fluorimètre a été préalablement calibré par un comptage direct de différentes concentrations algales. Plusieurs courbes étallon ont été calculées:

de janvier à juin 86:

$$C = \exp(2.7528 + 0.0109 X) \quad (\text{cell/ml}) \quad (r=0.97)$$

novembre 86:

$$C = 102.9118 X - 719.184 \quad (\text{cell/ml}) \quad (r=0.99)$$

janvier 87 (nouvelle souche de P. tricornutum):

$$C = 202.5409 X - 62.9742 \quad (\text{cell/ml}) \quad (r=1.00)$$

mai 87:

$$C = 161.1227 X - 1251.5608 \quad (\text{cell/ml}) \quad (r=1.00)$$

avec: C = concentration de cellules par ml et X = la lecture au fluorimètre

Lorsque le fluorimètre n'était pas disponible, les concentration algales ont été mesurées en dosant les quantités de chlorophylles. Cette méthode s'est avérée aussi efficace que les mesures au fluorimètre. Cependant ces dernières sont beaucoup plus rapides et nécessitent beaucoup moins de manipulations. Les dosages de chlorophylles ont eu lieu les mois de juillet, d'août et de septembre en 1986, et le mois d'avril en 1987

La formule suivante permet de calculer le taux de clearance:

$$CR = (C_i - C_o) / C_i \times F_l \quad (l/h)$$

avec C_i = conc. algale avant le passage dans la chambre expérimentale (nb de cellules/ml)

C_o = conc. algale après le passage dans la chambre expérimentale (nb de cellules/ml)

F_l = flux (l/h)

en équivalents énergétiques = énergie consommée:

$$C = CR \times (N) \times 1633 \quad (J/h)$$

avec (N) = quantité de matière organique ingérée (mg)

16.3 = énergie contenue dans les algues (J/mg) (Bayne et al., 1978; Widdows, 1978a)

L'assimilation est donc le produit de l'énergie consommée et du rendement d'absorption:

$$A = C \times e \quad (\text{J/h})$$

avec e = rendement d'absorption défini par Conover (1966):

$$e = (F-E)/((1-E) \times F)$$

avec F = pourcentage de matière organique dans la nourriture
 E = pourcentage de matière organique dans les fèces

2.3.4. Calcul du Scope for Growth.

Le Scope for Growth est défini par:

$$P = A - (R + E) \quad (\text{J/h})$$

avec A = assimilation
 R = respiration
 E = excrétion

2.4. Calcul du rapport O:N.

Le rapport O:N est calculé à l'aide des équivalents atomiques, de l'oxygène et de l'azote, par la formule suivante:

$$\text{O:N} = ((\text{O}_2) \times 16) / ((\text{NH}_3\text{-N}) \times 14)$$

avec (O_2) = quantité d'oxygène en mg
 $(\text{NH}_3\text{-N})$ = quantité d'azote ammoniacal

2.5. Dosages de métaux lourds dans les tissus mous des moules.

2.5.1. Dosages du mercure.

2.5.1.1. Absorption atomique sans flamme.

Le mercure a été analysé par absorption atomique en phase vapeur froide avec le MAS-50A de Perkin-Elmer (Mercury Analyser System). La limite de détection de cette méthode est de 0.01 ug de mercure total dans l'échantillon.

2.5.1.2. Préparation de l'échantillon.

Une demi moule est attaquée par 12 ml d'acide sulfurique auquel on ajoute 1 à 2 ml d'eau oxygénée. La solution est chauffée quelques minutes et diluée par de l'eau traitée par un Milli-Q water purification system (voir annexe 3). Elle est alors transférée dans la bouteille de l'analyseur où le mercure est réduit et vaporisé.

2.5.2. Dosage du cuivre, du zinc, du cadmium, du chrome, du plomb et du titane.

2.5.2.1. Inductively coupled plasma spectrometry (ICPS).

La méthode que nous avons utilisée repose sur le principe de l'émission atomique avec pour source d'excitation un plasma à couplage inductif (ICP). Tous les dosages ont été réalisés à l'aide du spectromètre A.R.L.3510. Les caractéristiques techniques et les conditions d'utilisation de cet appareil sont consignées dans l'annexe 4. La calibration de l'appareil a été effectuée à l'aide de six solutions standards multiélémentaires dont les concentrations sont comprises entre 0.2 et 10 ug/ml et préparées à partir de standards Merck "Tritrisol". Dans le tableau 1 sont repris les six éléments étudiés avec leur longueur d'onde d'émission, la "lowest quantity detectable" (LQD) dans les solutions d'analyses et celle rapportée au poids sec de l'échantillon (de 0.01 à 0.05 g tissus mous/ml). La "LQD" est définie comme étant la concentration de l'élément considéré donnant une intensité égale à dix fois la déviation standard du bruit de fond (LQD = 5 x limite de détection).

A cette concentration, l'erreur commise sur le dosage est de l'ordre de 10 %. Lorsque nous étions sous cette "lowest quantity detectable", les concentrations en éléments ont été calculées manuellement à partir des pics d'émission obtenus. L'erreur commise sur le dosage est alors de l'ordre de 50 %. Une croix indique les valeurs obtenues avec cette précision.

Elément	Longueur d'onde en nm	LQD dans la solu- tion d'analyse en ug/g	LQD dans les tis- sus mous (PS) en ug/g
Cu	324.754	0.01	1.0 à 0.2
Zn	213.856	0.005	0.5 à 0.1
Cr	267.716	0.015	1.5 à 0.3
Cd	226.502	0.015	1.5 à 0.3
Pb	220.353	0.1	10.0 à 2.0
Ti	336.121	0.01	1.0 à 0.2

Tableau 1.

2.5.2.2. Préparation de l'échantillon.

Une moitié de moule, séchée 48 heures à 90°C (pour obtenir le poids sec), est minéralisée par 2 ml d'acide nitrique à froid pendant 24 heures dans un tube en verre soigneusement nettoyé. L'attaque est poursuivie durant 24 heures à 30°C, 8 heures à 50°C et 12 heures à 70°C. Le mélange est alors porté à un volume de 10 ml (25ml pour les 100 premières analyses) avec de l'eau traitée par un Milli-Q water purification system (voir l'annexe 3). La solution est filtrée sur un filtre en fibre de verre (GFA) de 2 um. Lors de chaque série d'attaque, la même opération est réalisée dans un récipient vide afin de servir de "blanc" pour l'analyse. Les solutions sont stockées dans des récipients en polyéthylène préalablement nettoyés par de l'acide nitrique légèrement dilué.

2.6. Analyse factorielle des correspondances.

Dans le but de synthétiser nos résultats et de les représenter de manière graphique, nous avons employé l'analyse factorielle des correspondances.

2.6.1. Principe de la méthode (Daget, 1973; Verneau, 1973; Dagnelie, 1975).

Dans une matrice où les lignes i représentent les stations et les colonnes j les paramètres physiologiques et les teneurs en métaux lourds, on associe à tout couple (i,j) la classe d'abondance de ces paramètres.

Chaque station est représentée par ses coordonnées $k(i,j)$ dans autant d'espaces qu'il y a de paramètres et inversement pour ces paramètres.

Ensuite, il faut représenter le tout dans un espace réduit avec une perte minimale d'information. Cependant, il faut dégager les éléments expliquant l'organisation du nuage des points, c'est-à-dire déterminer les directions privilégiées d'un nuage de p points dans un espace à n dimensions. Le tableau $k(i,j)$ est alors transformé en un tableau $P(i,j)$ permettant de travailler sur des profils, avec:

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_j k(i,j) & P_j &= \sum_i k(i,j) \\ k &= \sum_{(i,j)} k(i,j) & P(i,j) &= k(i,j)/P_j \end{aligned}$$

On utilise la méthode du X^2 qui est employée pour mesurer la distance entre deux lois de probabilité, pour définir les distances entre les paramètres.

$$X^2(j,j') = 1/P_i (P(i,j) - P(i,j'))^2$$

On recherche alors le sous-espace à une dimension tel que les distances entre les projections des points paramètres mesurées sur cette droite, soient les plus proches possibles des distances définies ci-dessus dans l'espace à i dimensions. Cette droite passe par le centre de gravité du nuage de points et on définit sa direction qui s'appelle axe principal d'inertie ou premier axe factoriel (ou encore facteur 1).

Le plan qui approche au mieux l'ensemble des paramètres est celui qui réunit le plus d'information à la construction des axes. La même démarche est effectuée avec les autres axes.

Donc finalement, les axes factoriels sont les mêmes pour les paramètres et les stations, et on obtient une représentation unique.

2.6.2. Interprétation.

L'interprétation se fait sur la base de la proximité des variables et des stations. La participation de ces variables et de ces stations (par l'ensemble de leurs caractéristiques) à la construction de chacun des axes factoriels est définie par leur contribution absolue. La contribution relative est la participation de chacun des facteurs à la position des points "paramètres" ou "stations". Les points au voisinage du croisement des axes, pris deux à deux, ont des contributions faibles et ne sont pas caractéristiques d'une station particulière. Par contre, les points ayant une contribution élevée sont les plus éloignés du croisement des axes. Dès lors, par simple examen de la distribution des points, il est possible de mettre en évidence les associations entre les paramètres et les stations. Notons cependant que certains points, très éloignés du croisement des axes, n'ont que des contributions faibles; il s'agit par exemple de paramètres faiblement représentés (faibles valeurs et dans une seule station).

3.RESULTATS ET DISCUSSION

3.1.Les mesures physiologiques.

3.1.1.Evolution au cours du temps à Nieuwpoort et à Oostende.

3.1.1.1.Respiration, excrétion et énergie consommée

Les résultats des mesures physiologiques obtenus à Nieuwpoort et à Oostende au cours du temps sont repris dans les tableaux **2** et **3** (annexes **5** et **6**). Entre le 26/05/86 et le 29/01/87 le rendement d'absorption n'a pu être calculé. Ceci s'explique, à notre avis, par la formation de pseudofèces, par les moules, qui influençait la quantité de matière organique récupérée dans les matières fécales. Ces formations de pseudofèces sont les conséquences probables de l'alimentation en excès des animaux et de problèmes liés à la culture de Phaeodactylum tricornutum (contamination et dépérissement). Pour résoudre cet important problème, qui ne nous permettait plus de calculer le SFG, nous avons effectué une nouvelle culture d'algues à partir d'une nouvelle souche (provenant du CERBOM, Nice)(temps de mise en place deux mois).

Les figures 2 à 4 montrent l'évolution de janvier 1986 à mai 1987 de l'énergie consommée, de la respiration et de l'excrétion d'ammoniaque exprimée par moule, dans les deux stations: Nieuwpoort et Oostende. Les figures 5 à 7 montrent ces mêmes paramètres corrigés par rapport à un gramme de poids sec de parties molles.

D'une manière générale les évolutions de ces différentes mesures physiologiques sont semblables dans les deux stations. Par contre les graphiques de l'énergie consommée et de la respiration ne sont pas superposables. Nous pouvons remarquer que lorsque la respiration présente des valeurs élevées (de mars à juillet) l'énergie consommée a des valeurs plus basses (de mars à juin et de octobre à novembre), et inversement.

Les variations de la respiration au cours du temps sont sinusoïdales. Dans le cas de la station Oostende, par exemple (fig. 3), il a été

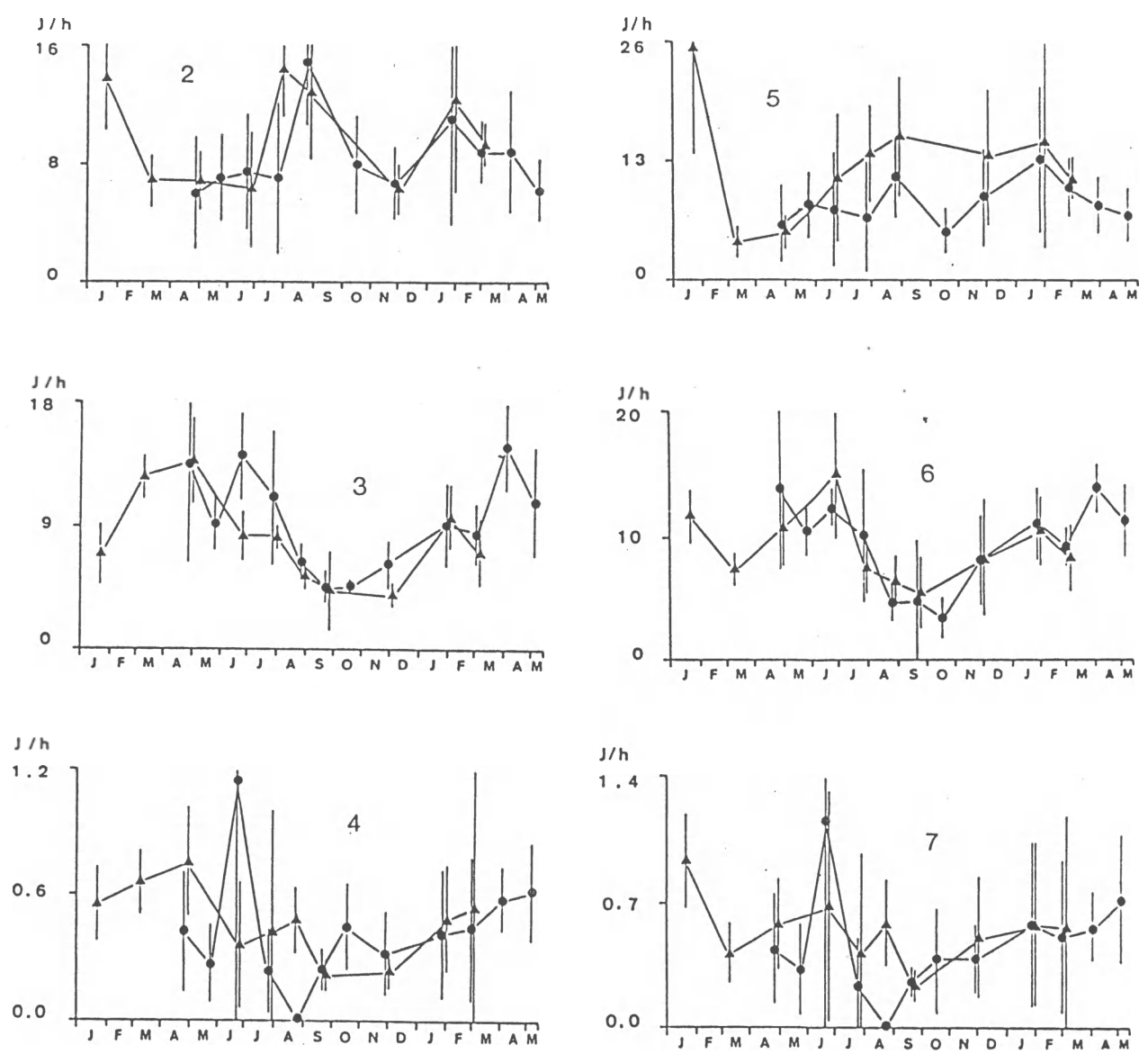


Figure 2 à 7. Evolution dans le temps de l'énergie consommée (2 et 5), de la respiration (3 et 6) et de l'excrétion d'ammoniaque (4 et 7), à Nieuwpoort (cercles) et à Ostende (triangles). De 2 à 4 résultats par moules, de 5 à 7 résultats par poids secs de parties molles. Moyennes +/- écart-types.

NIEUWPOORT 1986 - 1987												
Dates: 28/04 26/05 25/06 28/07 27/08 23/09 20/10 30/11 29/01 02/03 13/04 15/05												
CR°	1.64	1.90	2.02	1.92	3.96		2.36	1.80	1.59	2.40	2.29	1.66
+/-	1.06	0.83	1.07	1.43	1.15		0.89	0.67	1.05	0.58	1.07	0.58
C°	6.06	7.10	7.50	7.14	15.00		7.97	6.70	11.06	8.89	8.90	6.36
+/-	3.88	3.02	3.91	5.32	4.41		3.38	2.48	7.29	2.17	4.22	2.14
e %	45.2									52.0	51.0	61.8
A°	2.30									4.62	4.48	3.75
+/-	1.15									1.13	1.95	1.24
R°	13.49	9.32	14.12	11.14	6.43	4.68	4.67	6.22	9.13	8.49	14.86	10.88
+/-	7.16	2.11	3.18	4.87	1.35	1.19	0.64	1.75	3.07	2.31	3.18	3.99
E°	0.42	0.27	1.14	0.23	0.02	0.24	0.45	0.32	0.41	0.44	0.58	0.62
+/-	0.29	0.19	1.26	0.20	0.01	0.10	0.21	0.20	0.31	0.35	0.16	0.24
P°	-11.61									-4.31	-10.97	-7.75
+/-	6.77									1.92	2.63	3.86
CR°/g	1.69	2.22	2.11	1.90	3.02		1.66	2.44	1.91	2.73	2.14	1.87
+/-	1.17	0.98	1.72	1.66	1.19		0.80	1.42	1.16	0.91	0.81	0.81
C°/g	6.22	8.28	7.81	7.06	11.40		5.49	9.08	13.30	10.14	8.31	7.16
+/-	4.31	3.60	6.34	6.16	4.56		2.60	5.27	8.09	3.37	3.15	3.05
e %	45.2									52.0	51.0	61.8
A°/g	2.49									5.27	4.21	4.31
+/-	1.84									1.75	1.53	2.13
R°/g	13.85	10.55	12.43	10.15	4.89	4.94	3.58	8.25	11.10	9.32	13.99	11.41
+/-	6.38	1.96	1.53	5.33	1.60	4.94	1.78	3.66	2.97	1.62	1.91	2.97
E°/g	0.45	0.33	1.15	0.24	0.02	0.25	0.38	0.39	0.58	0.51	0.57	0.72
+/-	0.32	0.26	1.36	0.28	0.01	0.09	0.30	0.20	0.47	0.44	0.20	0.37
P°/g	-11.81									-4.56	-10.35	-7.82
+/-	5.47									1.38	2.06	2.95
O:N	57.6	45.8	23.7	98.9		33.8	18.1	36.4	41.9	49.6	42.0	31.7
+/-	27.6	19.7	14.4	92.1		15.5	13.3	13.7	33.0	43.7	15.1	19.7
PS	1.09	0.90	1.17	1.19	1.38	1.05	1.70	0.90	0.87	0.95	1.07	0.99
+/-	0.53	0.20	0.37	0.32	0.30	0.50	1.07	0.42	0.34	0.40	0.24	0.40
LgCq	53.7	48.9	51.0	51.8	51.0	47.0	48.7	51.7	53.9	54.6	55.2	54.2
+/-	5.2	5.3	5.7	7.5	3.5	6.5	4.3	5.4	5.7	4.3	4.3	5.7
Lg/PS	58.5	56.2	48.3	47.0	38.5	53.1	37.1	74.0	69.2	63.1	53.2	61.5
+/-	23.0	9.4	18.3	16.9	8.5	19.4	17.0	43.3	22.4	16.8	9.3	20.6
n	13	12	9	9	10	6	11	12	10	12	11	10

° = J/h; °° = l/h; PS en g; LgCq en mm; Lg/PS en mm/g

Tableaux 2. Nieuwpoort 1986-87. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), rendement d'absorption (e), assimilation (A), respiration (R), excrétion (E), scope for growth (P), poids secs parties molles (PS), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

=====										
OOSTENDE 1986 -1987										
Dates:	23/01	12/03	28/04	25/06	28/07	27/08	23/09	30/11	29/01	02/03
=====										
CR°°	3.25	1.96	1.85	1.69	3.87	3.41		1.68	1.78	2.53
+/-	0.81	0.53	0.58	1.07	0.86	1.21		0.48	0.93	0.39

C°	13.80	6.79	6.89	6.27	14.39	12.85		6.26	12.39	9.36
+/-	3.45	1.85	2.07	3.94	3.19	4.54		1.80	6.44	1.46

e %	89.7	84.6	84.6							56.1

A°	12.38	5.74	5.79							5.25
+/-	3.10	1.56	1.63							0.82

R°	6.88	12.50	13.82	8.35	8.17	5.41	4.38	4.02	9.77	7.20
+/-	2.26	1.63	3.16	1.86	0.90	1.07	2.95	0.92	2.44	2.57

E°	0.55	0.66	0.75	0.36	0.42	0.48	0.22	0.24	0.49	0.54
+/-	0.18	0.15	0.26	0.30	0.58	0.16	0.08	0.09	0.26	0.69

P°	4.95	-7.42	-8.78							-2.48
+/-	3.33	2.36	2.64							2.59
=====										
CR°°/g	6.04	1.23	1.44	3.02	3.73	4.17		3.59	2.14	3.00
+/-	2.79	0.50	0.52	1.89	1.44	1.75		1.99	1.67	0.65

C°/g	25.65	4.28	5.38	11.21	13.89	15.71		13.38	14.92	11.10
+/-	11.83	1.73	1.92	7.00	5.35	6.59		7.43	11.60	2.39

e %	89.7	84.6	84.6							56.1

A°/g	23.01	3.61	4.52							6.23
+/-	10.62	1.47	1.54							1.34

R°/g	11.71	7.60	10.82	14.97	7.66	6.58	5.64	8.45	10.52	8.38
+/-	2.23	1.38	2.98	5.08	2.07	2.04	2.94	4.72	2.74	2.69

E°/g	0.95	0.42	0.59	0.69	0.42	0.59	0.24	0.51	0.59	0.57
+/-	0.27	0.18	0.26	0.65	0.57	0.25	0.09	0.35	0.46	0.62

P°/g	10.35	-4.41	-6.90							-2.71
+/-	9.28	1.20	2.50							2.74
=====										
O:N	19.6	30.0	34.4	29.8	35.9	18.3	37.2	26.8	41.4	44.7
+/-	4.4	7.5	24.0	18.8	31.3	5.2	18.2	9.7	33.4	33.2
=====										
PS	0.61	1.72	1.32	0.59	1.14	0.85	0.93	0.54	0.99	0.88
+/-	0.22	0.54	0.31	0.13	0.33	0.15	0.38	0.19	0.38	0.24

LgCq	42.8	59.9	54.4	45.5	53.0	47.2	44.8	46.5	57.6	55.6
+/-	3.8	2.8	4.3	2.1	4.4	3.9	4.3	3.5	4.3	3.0

Lg/PS	79.8	37.1	42.9	81.3	49.8	56.7	52.4	98.5	65.5	66.8
+/-	33.2	8.7	9.9	20.2	13.7	9.4	13.9	44.3	22.3	15.8
=====										
n	7	7	12	12	11	10	6	12	11	7
=====										
° = J/h; °° = l/h; PS en g; LgCq en mm; Lg/PS en mm/g										

Tableaux 3. Oostende 1986-87. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), rendement d'absorption (e), assimilation (A), respiration (R), excrétion (E), scope for growth (P), poids secs parties molles (PS), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

possible de calculer l'équation suivante:

$$R = 4.9 \sin (0.92 t + 13.03) + 8.92$$

(avec R = respiration et t = temps en jours; coéf. de
corrélation = 0.979, $P \leq 0.001$, période = environ 1 an)

L'évolution de l'excrétion d'ammoniaque (figures 4 et 7) suit celle de la respiration, mais ces variations sont beaucoup moins sensibles que celles de la respiration, sauf à Nieuwpoort entre le mois de mai et de septembre. Les valeurs les plus grandes ont été enregistrées en hiver et au printemps (avec une valeur exceptionnelle à Nieuwpoort en juin).

Les résultats ont été exprimés de deux manières différentes; premièrement par moule et deuxièmement par gramme de poids sec de parties molles. Cette dernière correction permet une meilleure comparaison dans le temps et entre les stations (standardisation des résultats). Les allures de courbes, comparées dans les deux cas (fig. 2 à 7), montrent peu de différences pour la respiration et l'excrétion, tandis que pour l'énergie consommée les deux pics du mois d'août et de janvier sont beaucoup moins apparents dans le cas de la correction par rapport à un gramme de poids sec de parties molles. Ces différences minimales s'expliquent par le fait que les poids secs moyens des moules des deux stations sont proches de un gramme: pour Nieuwpoort 1.11 g (d.s. 0.24) et pour Oostende 0.96 g (d.s. 0.36).

Les résultats que nous avons obtenus sont tout à fait comparables avec ceux de Widdows (1978b), obtenus dans l'estuaire de la Lynher (Sud-Ouest de l'Angleterre). Les moules ont, dans cette région, une consommation d'oxygène et une excrétion d'ammoniaque plus élevées à la fin de l'hiver, au printemps et en été, lorsque l'animal est pleinement mature (fig. 8) (Chiepperfield, 1953; Lowe et al., 1982), tandis que pendant l'automne et l'hiver, période de quiescence gamétogénique, ils prennent des valeurs minimales. Par contre le taux de filtration (et donc l'énergie consommée) est influencé par la température de l'eau (fig. 9) avec un maximum à dix degrés centigrade (Widdows, 1978b). Les valeurs les plus élevées de l'énergie consommée que nous avons mesurées se situent pendant l'été et l'automne avec

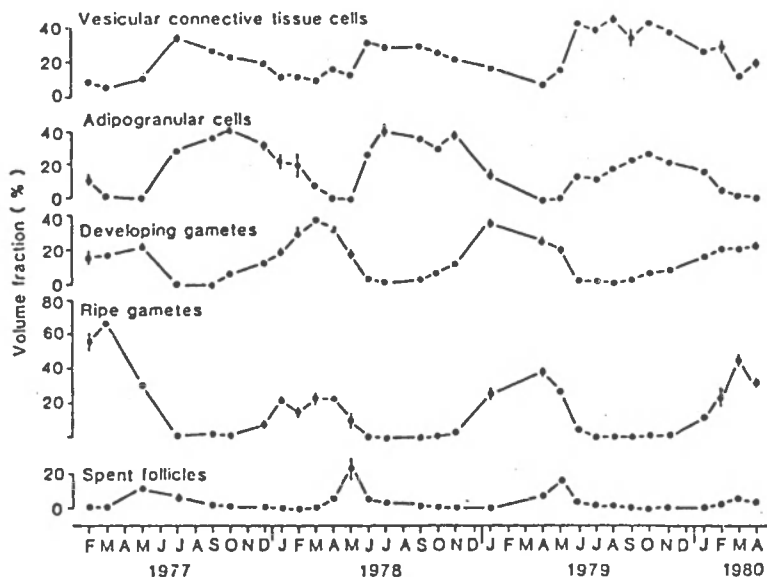


Figure 8. Volumes des fractions (moyennes \pm erreurs standards) des composants du tissu du manteau des moules de Tal-y-foel (North Wales). Les erreurs standards plus grands que 2 % sont seulement montrés dans la figure (repris de Lowe et al., 1982).

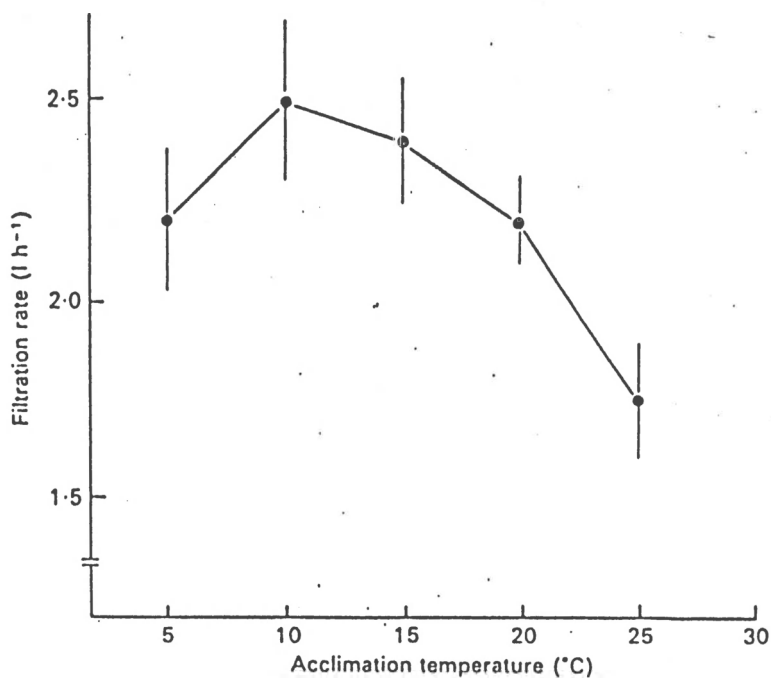


Figure 9. Effet de la température d'acclimatation sur le taux de filtration chez *Mytilus edulis* (1 d poids sec). Moyennes \pm déviation standard. (repris de Widdows, 1978).

cependant des valeurs encore élevées au début de l'hiver. Thompson (1984) a également effectué des mesures physiologiques sur des moules de Bellevue (Trinity Bay, Newfoundland, Canada). Ses résultats concernant la respiration et l'excrétion sont opposés à ceux de Widdows et aux nôtres (fig 10). En effet, les valeurs les plus élevées ont été mesurées au alentour du mois d'août pour la respiration et du mois d'octobre pour l'excrétion d'ammoniaque. Le taux de filtration ne présente pas de variations saisonnières apparentes.

En conclusion, les variations saisonnières de la respiration et de l'excrétion semblent en grande partie liées au cycle de reproduction des moules, tandis que les variations du taux de clearance et de l'énergie consommée sont surtout influencées par la température de l'eau (et aussi par les quantités d'algues phyto-planctoniques pour l'énergie consommée). Les quelques valeurs du SFG que nous avons mesurées sont toutes négatives (sauf à Oostende en janvier). Néanmoins il est probable que le SFG était positif de la fin de l'été au début de l'automne, comme le suggèrent les évolutions des paramètres physiologiques à cette époque et les valeurs du SFG mesurées lors d'une précédente étude réalisée par nous-mêmes (Herman et al., 1985):

Stations	SFG (J/h), d.s.	
Nieuwpoort	7.26	(8.14)
Oostende	-3.95	(4.51)
Zeebrugge	4.31	(3.31)
Breskens	7.79	(3.74)

3.1.1.2. Rapport O:N.

Les résultats du calcul du rapport O:N sont repris dans les tableaux 2 et 3, et son évolution dans le temps est représentée dans la figure 11. Nous remarquons peu de variations au cours du temps à Oostende, tandis qu'à Nieuwpoort les valeurs des mois de février, de mars et d'avril sont plus élevées. Ceci est en accord avec Widdows (1978b) qui observe des valeurs croissantes de O:N de l'automne jusqu'à le début du printemps. Les facteurs qui affectent le rapport O:N sont: la température, la pollution et surtout le cycle

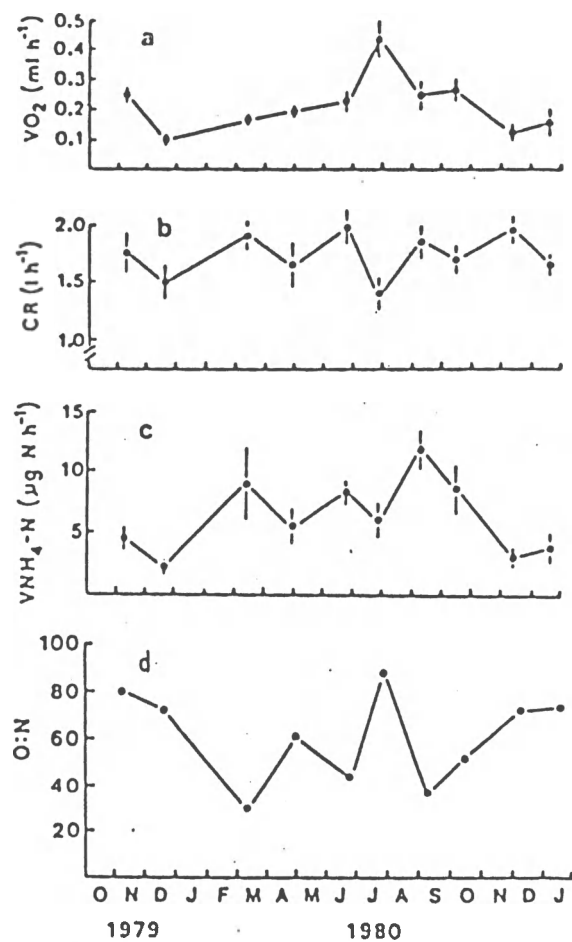


Figure 10. Consommation d'oxygène (a), clearance rate (b) excrétion d'ammoniaque (c) et rapport O:N (d) chez Mytilus edulis de Bellevue (1 g poids sec). Moyennes \pm intervalles de confiance de 95 %. (repris de Thompson, 1984).

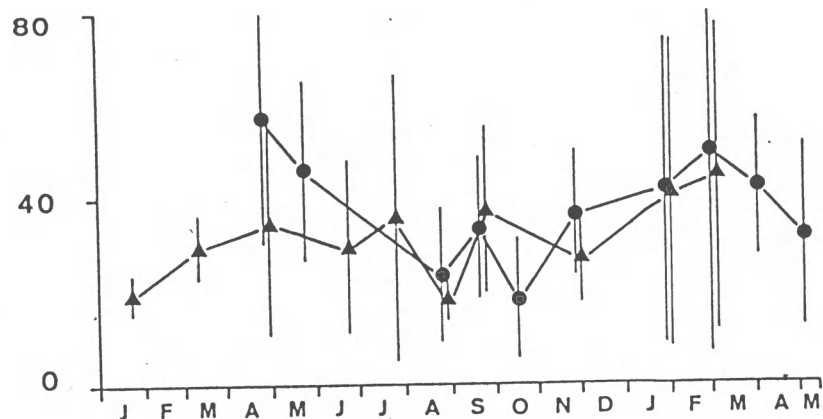


Figure 11. Evolution dans le temps du rapport O:N, à Nieuwpoort (cercles) et à Oostende (triangles). Moyennes +/- écart-types.

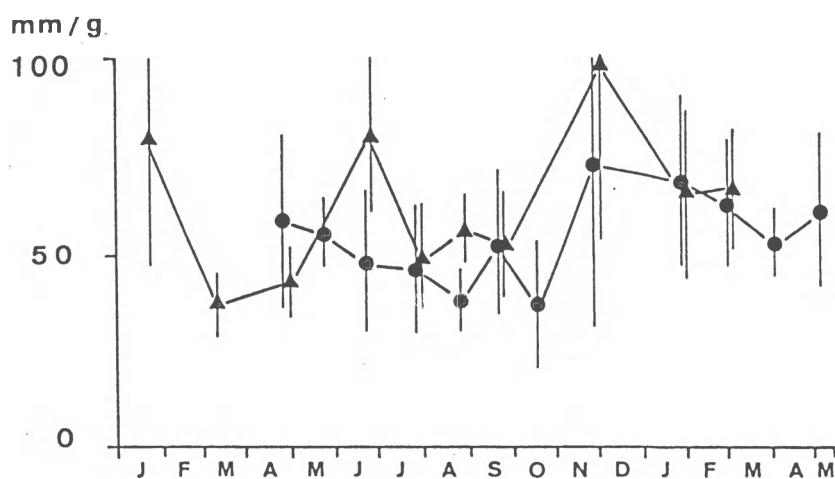


Figure 12. Evolution dans le temps de l'occupation des coquilles par les parties molles (longueurs coq./pds secs parties molles, valeurs élevées = indice d'occupation faible), à Nieuwpoort (cercles) et à Oostende (triangles). Moyennes +/- écart-types.

gamétogénique (Bayne et al., 1985). Aussi, le rapport O:N n'est pas un index fiable, pour comparer, les effets des stress environnementaux et dus à la pollution, à diverses époques de l'année.

3.1.1.3. Indice d'occupation de la coquille.

Les indices d'occupation de la coquille dans les deux stations sont repris dans les tableaux 2 et 3, et représentés dans la figure 12. Les évolutions au cours du temps sont semblables dans les deux stations, sauf le mois de juin où il y a un pic supplémentaire à Oostende. Les valeurs basses de ce paramètre (donc une occupation plus importante de la coquille par les parties molles) s'échelonnent du printemps jusqu'à la fin de l'été. Cette période correspond avec l'époque mature des moules, pendant laquelle elles gagnent du poids (production de gamètes).

3.1.2. Evolution le long du gradient halin.

Tous les résultats concernant les mesures physiologiques effectuées dans six stations lors de quatre campagnes différentes sont repris dans les tableaux 4 à 7. Pour les deux premières campagnes du 26 mai 1986 et du 20 octobre 1986 le rendement d'absorption n'a pu être calculé pour les raisons décrites précédemment. Une correction supplémentaire des résultats a été apportée, lors des deux dernières campagnes, celle-ci s'établit par rapport aux poids secs des coquilles.

3.1.2.1. Campagne du 26 mai 1986 (tab. 4, annexe 7).

Les stations sont classées de manière croissante comme suit (PE = pertes d'énergie, GE = gains d'énergie = énergie consommée et Lg/PS = indice d'occupation de la coquille, -- = peu différent):

résultats par moule

PE : Knokke Wenduine Breskens Middelkerke Nieuwpoort De Panne
GE : Knokke--Nieuwpoort--Middelkerke Wenduine De Panne Breskens

résultats par gramme de poids sec

PE : Nieuwpoort--De Panne Breskens Wenduine Middelkerke Knokke
GE : De Panne Nieuwpoort Middelkerke Wenduine Knokke Breskens

O:N : Breskens--Wenduine Knokke Middelkerke--Nieuwpoort De Panne

Le classement des stations est très différent lorsque nous comparons les résultats par moules et les résultats par gramme de

SIX STATIONS 26 mai 1986						
	DE PANNE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
CR (l/h)	2.62	1.90	2.01	2.22	1.88	2.75
+/-	1.01	0.83	0.49	0.88	0.79	0.92
C (J/h)	9.37	7.10	7.18	8.34	7.06	10.26
+/-	3.60	3.02	1.74	3.18	2.89	3.35
R (J/h)	15.23	9.32	8.86	7.75	7.23	8.55
+/-	6.29	2.11	1.62	1.99	0.81	6.51
E (J/h)	0.29	0.27	0.38	0.56	0.35	0.48
+/-	0.16	0.19	0.19	0.51	0.11	0.19
CR (l/h/g)	1.83	2.22	2.88	3.15	3.32	3.75
+/-	0.75	0.98	1.04	0.77	1.64	1.33
C (J/h/g)	6.53	8.28	10.30	11.84	12.42	14.00
+/-	2.69	3.60	3.69	2.73	6.01	4.81
R (J/h/g)	10.82	10.55	12.25	11.38	12.81	10.80
+/-	5.59	1.96	2.02	3.07	2.80	7.33
E (J/h/g)	0.20	0.33	0.51	0.83	0.61	0.64
+/-	0.11	0.26	0.17	0.81	0.23	0.26
O:N	102.5	45.8	42.2	27.1	34.6	25.1
+/-	72.8	19.7	15.3	15.8	9.4	13.8
PS (g)	1.49	0.90	0.73	0.69	0.59	0.76
+/-	0.36	0.20	0.14	0.13	0.15	0.20
LgCq (mm)	53.7	48.9	43.0	44.3	39.7	46.7
+/-	4.5	5.3	2.8	3.7	3.3	4.9
Lg/PS (mm/g)	37.9	56.2	60.1	65.4	70.4	63.6
+/-	9.0	9.4	9.1	10.2	14.7	10.7
n	11	12	12	11	12	12

Tableaux 4. Campagne du 26 mai 1986. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), respiration (R), excrétion (E), poids secs parties molles (PS), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

poids sec. Ceci s'explique par les variations importantes du poids sec des moules d'une station à l'autre. Aussi, pour la suite de la discussion nous ne tiendrons plus compte des valeurs exprimées par moules.

Les pertes d'énergie (respiration + excrétion) ne suivent pas le gradient halin, qui est défini, de Breskens (embouchure de l'Escaut) vers De Panne, par une augmentation de la salinité (due au fleuve et aux eaux atlantiques plus salées qui se mélange aux eaux de la Mer du Nord par le Sud-Ouest) et une dilution des pollutions du fleuve. Par contre les gains d'énergie (énergie consommée) sont décroissants et le rapport O:N est croissant (inversion de Wenduine et de Knokke) le long du gradient halin. Ce dernier peut dans ce cas être considéré comme un index physiologique valable puisque seule la dimension espace est envisagée ici (contrairement au paragraphe 3.1.1.2. où l'évolution dans le temps l'était aussi). Le paramètre O:N montre que les moules semblent de moins en moins "stressées" de Breskens vers De Panne, avec cependant une valeur plus basse à Wenduine peut-être due aux installations portuaires de Zeebrugge.

3.1.2.2. Campagne du 20 octobre 1986 (tab. 5, annexe 8).

Les stations sont classées par ordre croissant comme suit:

résultats par gramme de poids sec

PE : Nieuwpoort--Wenduine Breskens Middelkerke Knokke Koksijde
GE : Nieuwpoort Wenduine Breskens Knokke Middelkerke Koksijde

O:N : Wenduine--Middelkerke--Koksijde--Knokke--Nieuwpoort--Breskens

Ce classement des stations est très différent de celui du mois de mai. Le mois d'octobre, les pertes et les gains d'énergie sont classés de manière équivalente (sauf inversion de Middelkerke et de Knokke) le long du gradient halin. Le rapport O:N présente des valeurs très basses qui ne sont pas significativement différentes (tab. 4) dans les six stations, dès lors il n'existe pas de réel classement des stations.

3.1.2.3. Campagne du 13 avril 1987 (tab. 6, annexe 9).

Les stations sont classées par ordre croissant comme suit
(GE = gains d'énergie = assimilation):

SIX STATIONS 20 octobre 1986						
	KOKSIJDE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
CR (l/h)	2.43	2.36	2.38	2.01	2.28	2.52
+/-	0.50	0.89	0.61	0.61	0.32	0.75
C (J/h)	8.35	7.97	8.24	6.78	7.85	8.68
+/-	1.73	3.38	1.98	2.33	1.04	2.43
R (J/h)	4.61	4.67	3.43	3.10	4.16	4.76
+/-	1.30	0.64	0.97	0.68	0.84	1.78
E (J/h)	0.48	0.45	0.42	0.36	0.44	0.46
+/-	0.10	0.21	0.17	0.16	0.13	0.27
CR (l/h/g)	5.01	1.66	3.49	2.41	3.19	2.89
+/-	1.46	0.80	0.84	1.29	0.93	1.04
C (J/h/g)	17.25	5.49	12.08	8.16	10.92	9.97
+/-	5.08	2.60	2.77	4.70	3.01	3.40
R (J/h/g)	9.22	3.58	5.23	3.69	5.95	5.27
+/-	1.96	1.78	2.41	1.62	2.53	2.12
E (J/h/g)	0.97	0.38	0.64	0.41	0.64	0.52
+/-	0.13	0.30	0.33	0.20	0.32	0.33
O:N	14.6	18.1	13.8	13.7	15.3	19.8
+/-	2.9	13.1	4.5	5.4	5.5	13.1
PS (g)	0.50	1.70	0.70	0.97	0.77	0.93
+/-	0.11	1.07	0.19	0.42	0.24	0.30
LgCq (mm)	30.7	48.7	43.3	43.2	46.2	43.9
+/-	1.6	4.3	3.9	4.0	3.1	4.0
Lg/PS (mm/g)	62.8	37.1	65.2	50.9	65.5	50.8
+/-	10.7	17.0	15.7	15.5	21.3	13.1
n	12°	11	12	12	12	12

°24 moules prises deux à deux

Tableaux 5. Campagne du 20 octobre 1986. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), respiration (R), excrétion (E), poids secs parties molles (PS), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

=====						
SIX STATIONS 13 avril 1987 résultats bruts						
	KOKSIJDE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
=====						
CR (l/h)	2.10	2.29	1.01	1.80	1.82	2.13
+/-	1.21	1.07	0.71	0.64	0.62	0.52

C (J/h)	8.18	8.90	3.95	6.96	6.94	8.13
+/-	4.78	4.22	2.81	2.53	2.33	1.98

e %	60.6	51.0	51.5	64.5	70.7	64.5
+/-	8.5	3.3	7.2	0.6	2.9	1.0

A (J/h)	4.73	4.48	1.87	4.49	4.88	5.25
+/-	2.39	1.95	1.21	1.66	1.53	1.29

R (J/h)	10.44	14.86	11.17	11.19	9.79	10.09
+/-	1.48	3.18	2.67	3.99	1.80	2.00

E (J/h)	0.43	0.58	0.51	0.55	0.61	0.49
+/-	0.29	0.16	0.19	0.22	0.10	0.31

P (J/h)	-6.15	-10.97	-9.81	-7.25	-5.53	-5.33
+/-	2.43	2.63	2.17	3.23	2.05	2.45
=====						
O:N	66.3	42.0	44.3	33.4	24.7	53.2
+/-	57.1	15.1	35.5	15.2	4.0	46.8
=====						
PScps (g)	0.64	1.07	0.60	0.69	0.52	0.67
+/-	0.15	0.24	0.18	0.22	0.11	0.20

PScoq (g)	2.44	6.80	4.17	4.85	4.19	8.01
+/-	0.52	1.98	1.34	1.30	0.75	2.00

PStot (g)	3.08	7.87	4.78	5.54	4.71	8.68
+/-	0.63	2.16	1.46	1.50	0.81	2.14

Lgcq (mm)	45.1	55.2	45.6	45.6	44.2	51.3
+/-	1.6	4.3	3.6	4.5	2.7	4.0

Lg/PScps	75.1	53.2	81.9	72.0	87.8	81.9
+/-	22.8	9.3	23.3	20.1	15.3	20.1
=====						
n	10	11	11	10	11	12
=====						

Tableaux 6. Campagne du 13 avril 1987. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), rendement d'absorption (e), assimilation (A), respiration (R), excrétion (E), scope for growth (P), poids secs parties molles (PScps), poids secs coquilles (PScoq), poids secs totaux (PStot), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

SIX STATIONS 13 avril 1987 résultats corrigés par rapport à 1g PScps						
	KOKSIJDE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
CR (l/h)	3.30	2.14	1.87	2.70	3.67	3.33
+/-	1.86	0.81	1.53	2.70	1.57	0.99
C (J/h)	12.86	8.31	7.32	10.42	14.01	12.72
+/-	7.33	3.15	6.04	3.24	5.95	3.78
e %	60.6	51.0	51.5	64.5	70.7	64.5
+/-	8.5	3.3	7.2	0.6	2.9	1.0
A (J/h)	7.47	4.21	3.45	6.71	9.82	8.22
+/-	3.65	1.53	2.63	2.06	3.92	2.48
R (J/h)	16.95	13.99	19.48	16.47	19.31	15.87
+/-	3.43	1.91	4.68	5.07	4.18	4.41
E (J/h)	0.69	0.57	0.95	0.86	1.21	0.76
+/-	0.45	0.20	0.49	0.37	0.29	0.50
P (J/h)	-10.17	-10.35	-16.97	-10.62	-10.70	-8.42
+/-	4.93	2.06	3.40	4.68	4.08	4.57
résultats corrigés par rapport à 1g PScoq						
CR (l/h)	0.85	0.34	0.24	0.37	0.44	0.27
+/-	0.45	0.12	0.16	0.10	0.15	0.08
C (J/h)	3.30	1.32	0.94	1.44	1.69	1.05
+/-	1.77	0.49	0.64	0.37	0.58	0.31
e %	60.6	51.0	51.5	64.5	70.7	64.5
+/-	8.5	3.3	7.2	0.6	2.9	1.0
A (J/h)	1.92	0.67	0.45	0.93	1.19	0.68
+/-	0.87	0.24	0.28	0.23	0.39	0.20
R (J/h)	4.40	2.29	2.75	2.27	2.37	1.31
+/-	0.76	0.60	0.42	0.55	0.45	0.35
E (J/h)	0.18	0.09	0.13	0.12	0.15	0.06
+/-	0.12	0.03	0.06	0.06	0.03	0.04
P (J/h)	-2.66	-1.71	-2.43	-1.46	-1.33	-0.69
+/-	1.23	0.55	0.43	0.55	0.52	0.35
n	10	11	11	10	11	12

Tableaux 6 suite.

résultats par gramme de poids sec de parties molles

PE : Nieuwpoort Breskens Wenduine Koksijde Middelkerke Knokke
 GE : Middelkerke Nieuwpoort Wenduine Koksijde Breskens Knokke
 SFG : Middelkerke Knokke--Wenduine--Nieuwpoort--Koksijde Breskens

résultats par gramme de poids sec de coquille

PE : Breskens Nieuwpoort Knokke Wenduine--Middelkerke Koksijde
 GE : Middelkerke Breskens--Nieuwpoort Wenduine Knokke Koksijde
 SFG : Koksijde Middelkerke Nieuwpoort Wenduine--Knokke Breskens

O:N : Knokke Wenduine Nieuwpoort--Middelkerke Breskens Koksijde

Les pertes et les gains d'énergie obtenus avec les deux types de corrections, présentent une distribution assez semblable le long du gradient halin, sauf à Koksijde, où les valeurs de ces paramètres sont différents comparativement aux autres stations (fig. 12). Le SFG a des valeurs négatives dans tous les endroits prospectés et voisines dans les stations de Koksijde, Nieuwpoort, Wenduine et Knokke (sauf Koksijde résultats par gramme de poids sec de parties molles)(fig. 12). Les valeurs les plus élevées se situent à Breskens et les plus basses à Middelkerke. Le rapport O:N est décroissant de Koksijde vers Knokke, à Breskens il prend une valeur élevée (fig. 14).

3.1.2.4. Campagne du 15 mai 1987 (tab. 7, annexe 10).

Les stations sont classées par ordre croissant comme suit:

résultats par gramme de poids sec de parties molles

PE : Nieuwpoort Koksijde Middelkerke Knokke Wenduine Breskens
 GE : Nieuwpoort Knokke Wenduine Koksijde Middelkerke Breskens
 SFG : Knokke Wenduine Breskens--Nieuwpoort Middelkerke Koksijde

résultats par gramme de poids sec de coquille

PE : Nieuwpoort Middelkerke Breskens Wenduine Knokke Koksijde
 GE : Nieuwpoort Wenduine--Knokke Middelkerke Breskens Koksijde
 SFG : Knokke Koksijde Wenduine Nieuwpoort Middelkerke--Breskens

O:N : Breskens--Wenduine Knokke Middelkerke Nieuwpoort Koksijde

Les pertes et les gains d'énergie présentent, dans le cas des deux corrections envisagées, une succession similaire de valeurs de Nieuwpoort vers Knokke (fig. 13), tandis qu'à Koksijde et à Breskens celles-ci sont différents. Tous les SFG calculés sont négatifs et ils prennent des valeurs différentes pour les deux types de corrections. Néanmoins Wenduine et Knokke ressortent de la même façon, dans les deux cas, avec les valeurs les plus négatives. Les autres stations ont des SFG semblables pour les résultats exprimés par gramme de poids sec des parties molles (Breskens est le plus négatif) et, dans l'autre cas, Middelkerke et Breskens ont un SFG plus élevé. Le rapport O:N est décroissant de Koksijde vers Breskens

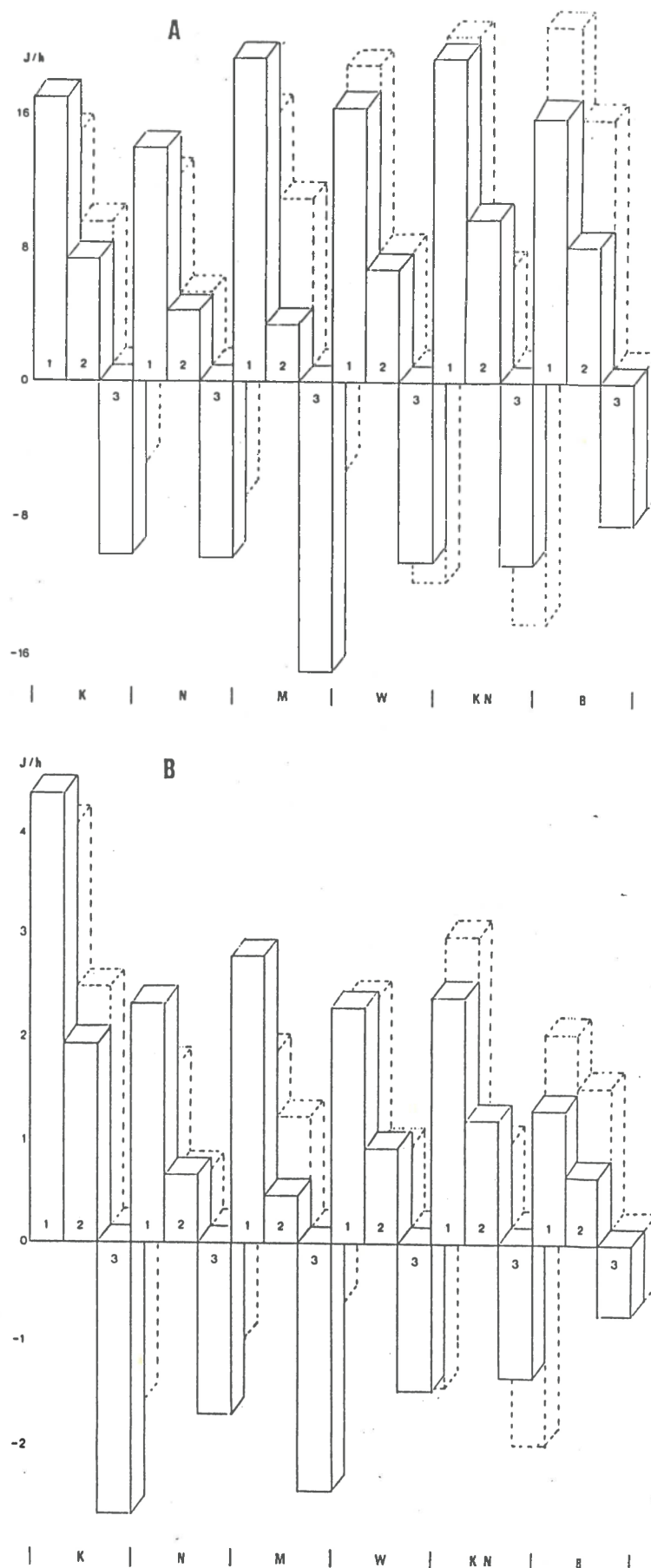


Figure 13. Respiration (1), assimilation (2) et scope for growth (3) à Koksijde (K), Nieuwpoort (N), Middelkerke (M), Wenduine (W), Knokke (KN) et Breskens (B). Le 13/04/86 (traits pleins) et le 15/05/86 (pointillés). A résultats par poids secs de parties molles. B résultats par poids secs de coquilles.

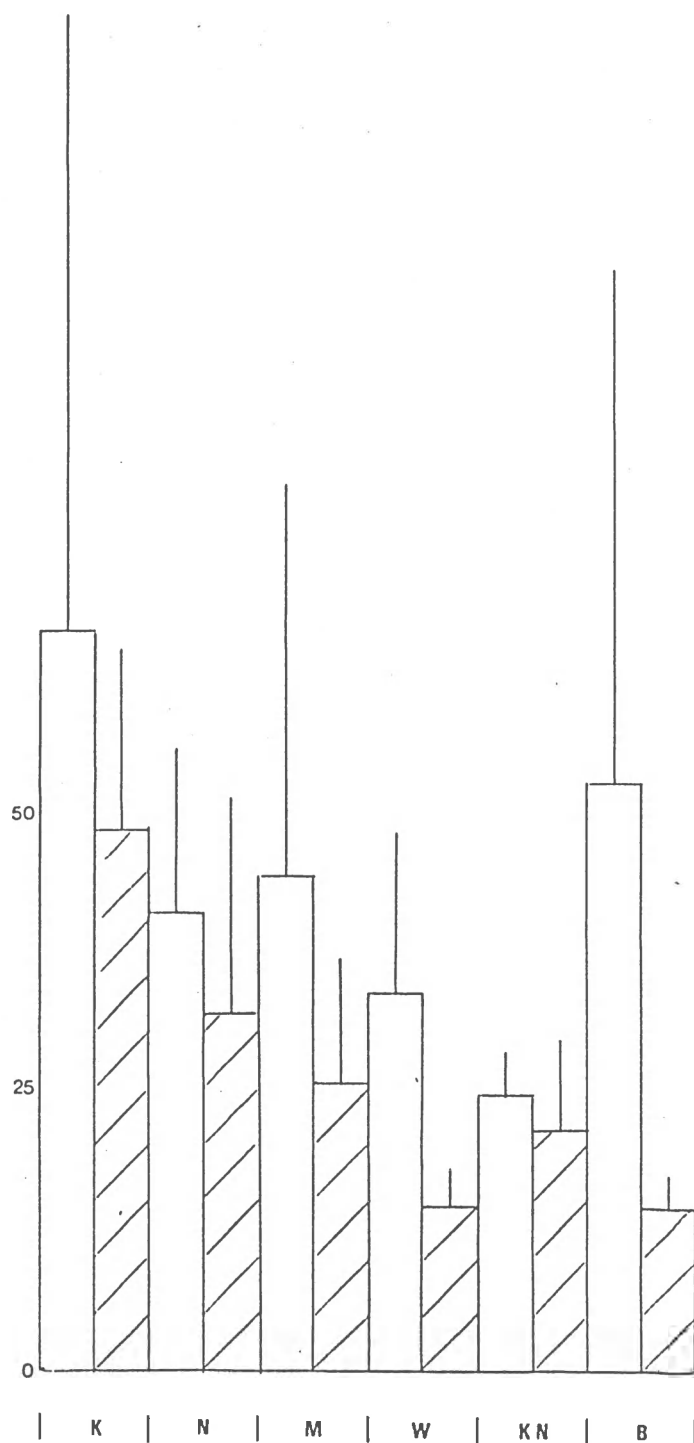


Figure 14. Rapport O:N à Koksijde (K), Nieuwpoort (N), Middelkerke (M), Wenduine (W), Knokke (KN) et Breskens (B). Le 13/04/87 (clair) et le 15/05/87 (hachuré).

=====						
SIX STATIONS 15 mai 1987 résultats bruts						
	KOKSIJDE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
=====						
CR (l/h)	1.77	1.66	2.24	1.96	1.94	2.57
+/-	0.56	0.58	0.95	0.69	0.77	0.54

C (J/h)	6.82	6.36	8.59	7.52	7.47	9.96
+/-	2.19	2.14	3.66	2.52	2.93	2.11

e %	64.2	61.8	73.4	49.4	43.4	63.7
+/-	20.3	20.0	13.8	20.4	21.3	0.4

A (J/h)	4.53	3.75	6.20	3.43	3.20	6.34
+/-	2.21	1.24	3.01	1.13	1.90	1.35

R (J/h)	7.50	10.88	8.88	8.92	9.58	8.90
+/-	1.24	3.99	2.08	2.16	3.87	1.88

E (J/h)	0.26	0.62	0.63	0.81	0.61	0.96
+/-	0.17	0.24	0.27	0.31	0.33	0.22

P (J/h)	-3.23	-7.75	-3.31	-6.31	-6.99	-3.51
+/-	2.37	2.63	3.88	2.76	2.82	2.43
=====						
O:N	48.4	31.7	25.4	14.7	21.6	14.5
+/-	16.5	19.7	11.5	3.5	8.0	2.9
=====						
PScps (g)	0.54	0.99	0.62	0.50	0.58	0.44
+/-	0.10	0.40	0.13	0.09	0.30	0.04

PScq (g)	1.92	7.08	6.11	4.27	4.37	4.82
+/-	0.24	2.01	1.91	0.87	2.69	1.05

PStot (g)	2.47	8.07	6.72	4.77	4.95	5.26
+/-	0.30	2.31	1.99	0.86	2.98	1.06

Lgcq (mm)	41.7	54.2	47.3	43.4	44.8	42.5
+/-	2.0	5.8	4.3	2.2	6.1	2.7

Lg/PScps	78.5	61.5	78.2	88.7	93.0	97.9
+/-	12.2	20.6	9.1	14.3	40.6	9.4
=====						
n	10	10	9	8	6	9
=====						

Tableaux 7. Campagne du 15 mai 1987. Clearance rate (CR), énergie consommée (C), rendement d'absorption (e), assimilation (A), respiration (R), excrétion (E), scope for growth (P), poids secs parties molles (PScps), poids secs coquilles (PScq), poids secs totaux (PStot), longueurs coquilles (LgCq) et indice d'occupation des coquilles = longueurs coquilles / poids secs parties molles (Lg/PS). Moyennes +/- écart-types.

SIX STATIONS 15 mai 1987 résultats corrigés par rapport à 1g PScps						
	KOKSIJDE	NIEUWPOORT	MIDDELK.	WENDUINE	KNOKKE	BRESKENS
CR (l/h)	3.31	1.87	3.68	4.06	4.31	5.95
+/-	1.08	0.81	1.41	1.77	3.00	1.41
C (J/h)	12.77	7.16	14.10	15.58	16.48	23.09
+/-	4.26	3.05	5.32	6.47	11.18	5.65
e %	64.2	61.8	73.4	49.4	43.4	63.7
+/-	20.3	20.0	13.8	20.4	21.3	0.4
A (J/h)	8.68	4.31	10.02	6.88	5.96	14.71
+/-	4.63	2.13	3.89	1.98	3.04	3.64
R (J/h)	13.96	11.41	15.11	17.97	19.78	20.42
+/-	2.23	2.97	5.69	4.12	8.23	4.04
E (J/h)	0.49	0.72	1.08	1.71	1.28	2.22
+/-	0.37	0.37	0.55	0.69	0.90	0.57
P (J/h)	-5.77	-7.82	-6.16	-12.80	-15.10	-7.92
+/-	3.74	2.95	7.13	5.59	7.59	5.31
résultats corrigés par rapport à 1g PScoq						
CR (l/h)	0.90	0.25	0.41	0.48	0.56	0.55
+/-	0.22	0.10	0.20	0.19	0.30	0.15
C (J/h)	3.47	0.95	1.57	1.83	2.15	2.13
+/-	0.85	0.35	0.76	0.69	1.12	0.59
e %	64.2	61.8	73.4	49.4	43.4	63.7
+/-	20.3	20.0	13.8	20.4	21.3	0.4
A (J/h)	2.31	0.55	1.08	0.80	0.82	1.35
+/-	1.05	0.18	0.43	0.22	0.45	0.38
R (J/h)	3.92	1.58	1.69	2.21	2.79	1.86
+/-	0.59	0.59	0.96	0.88	1.38	0.33
E (J/h)	0.13	0.09	0.12	0.19	0.17	0.20
+/-	0.09	0.04	0.07	0.07	0.10	0.04
P (J/h)	-1.74	-1.13	-0.73	-1.60	-2.14	-0.71
+/-	1.29	0.58	0.88	0.94	1.30	0.50
n	10	10	9	8	6	9

Tableau 7 suite.

(sauf Knokke où sa valeur est plus importante)(fig. 14).

3.1.2.4. Conclusions sur les quatre stations.

Les paramètres physiologiques sont très variables d'une campagne de prélèvements à l'autre. Cette variabilité est observée d'une part pour une même station dans le temps et d'autre part d'une station à l'autre lors d'une même campagne. Néanmoins, le rapport O:N semble toujours être croissant le long du gradient halin (de Breskens vers Koksijde), sauf pour quelques stations qui se distinguent de manière différente suivant les périodes de l'année et au mois d'octobre où toutes les stations ont des valeurs basses et semblables. Pour les deux dernières campagnes le SFG a pu être calculé et nous pouvons ainsi comparer les deux indices physiologiques envisagés: le SFG et le rapport O:N. Si le rapport O:N suggère une influence du gradient halin, par contre le SFG suggère une plus grande importance des influences locales que celles du gradient halin, sur le métabolisme des moules (sauf peut-être au mois de mai 1987 de Knokke à Middelkerke, fig. 14). D'une façon générale les influences sur les indicateurs de stress physiologiques sont multiples, citons par exemple: les facteurs environnementaux (température, salinité...), l'appartenance des Mollusques à des populations différentes, le gradient halin, les influences locales, les différents types de pollution...

A propos du gradient halin, celui-ci ne semble pas exercer une influence sur la totalité du littoral belge (probablement de Breskens jusqu'à environ Oostende - Middelkerke) et de plus, celui-ci est très perturbé par les apports locaux de pollution, par exemple: les installations portuaires (Zeebrugge, Oostende...).

3.2. Longueurs des coquilles et poids.

Dans ce chapitre, nous décrirons quelques paramètres calculés à partir des mesures des poids (frais, secs et de cendre), des parties molles et des coquilles, et des mesures de la longueur des coquilles. Un de ces paramètres a déjà été discuté dans le chapitre précédent: le taux d'occupation des coquilles. Tous les résultats concernant ces différentes mesures sont consignés dans les tableaux 8 à 11.

3.2.1. Le pourcentage d'eau et de matière organique.

Le pourcentage d'eau dans les parties molles varie peu au cours de l'année à Nieuwpoort et à Oostende. Il est compris entre 73.2 et 79.7 % à Nieuwpoort (tab. 8) et entre 73.2 et 80.9 % à Oostende (tab. 9). Nous constatons également peu de différences entre les deux stations comparées aux mêmes époques. Lors de la campagne du 20 octobre 1986 (tab. 10) le pourcentage d'eau n'est pas significativement différent d'une station à l'autre, tandis que le 13 avril 1987 il est différent ($P < 0.001$, sans Breskens $P < 0.05$). La station qui possède le pourcentage d'eau le plus important pour les deux campagnes est Breskens. Pendant la campagne du 13 avril 1987 nous avons pu observer une évolution croissante des probabilités que les stations soient différentes de Breskens le long du gradient halin:

Breskens -	t - test
Knokke	P 0.025
Wenduine	P 0.010
Middelkerke	P 0.005
Nieuwpoort	P 0.001
Koksijde	P 0.001

Le pourcentage de matière organique a été calculé depuis le mois de mai 1986 jusqu'au mois de mars 1987 dans toutes les stations. Il reste très constant au cours du temps et d'une station à l'autre, sa valeur moyenne est de 19.27 % (DS 2.07) du poids total.

Nieuwpoort 1986 - 1987				
Dates	% eau	% coq	% cps	Lg/coq
25/06	79.7			
+/-	2.5			
28/07	77.4	93.2	6.8	11.27
+/-	3.0	1.9	1.9	2.58
27/08	73.2	83.0	17.0	11.77
+/-	6.2	3.7	3.7	2.02
23/09	76.9	93.2	6.8	11.61
+/-	3.8	2.5	2.5	1.39
20/10	74.8	91.4	8.6	13.00
+/-	2.4	1.8	1.8	3.99
30/11	78.8	89.6	10.4	9.96
+/-	2.7	3.0	3.0	3.01
29/01	77.0	87.5	12.5	
+/-	2.5	2.1	2.1	
02/03	76.8	83.2	16.8	11.26
+/-	1.9	2.6	2.6	2.89
13/04	78.4	92.2	7.8	10.60
+/-	1.3	0.9	0.9	2.73

Tableau 8.

Pourcentages d'eau, de coquille (% coq) par rapport au poids total, de parties molles (% cps) par rapport au poids total et taux de croissance de la coquille (Lg/coq). Moyenne +/- écart-types.

Oostende 1986 - 1987				
Dates	% eau	% coq	% cps	Lg/coq
25/06	80.9			
+/-	1.7			
28/07	79.0	90.5	9.5	11.85
+/-	1.3	1.9	2.0	2.33
23/09	73.2	94.1	5.9	8.61
+/-	3.5	1.7	1.7	1.59
30/11	75.5	86.8	13.2	14.89
+/-	8.0	4.7	4.7	2.53
29/01	77.4	87.5	12.8	8.75
+/-	2.3	2.1	2.1	2.13
02/03	77.4	87.0	13.0	8.86
+/-	1.3	2.1	2.1	1.61

Tableau 9.

Pourcentages d'eau, de coquille (% coq) par rapport au poids total, de parties molles (% cps) par rapport au poids total et taux de croissance de la coquille (Lg/coq). Moyenne +/- écart-types.

=====				
Campagne du 20 octobre 1986				
Stations	% eau	% coq	% cps	Lg/coq
=====				
Koksijde	76.8	83.9	16.0	42.44
+/-	1.0	1.4	1.4	4.68

Nieuwpoort	74.5	91.4	8.6	13.00
+/-	2.4	1.9	1.9	3.99

Middelkerke	75.3	93.1	6.9	9.31
+/-	2.9	2.6	2.6	1.82

Wenduine	76.4	93.0	7.0	13.76
+/-	3.0	1.9	1.9	4.02

Knokke	75.2	87.8	12.2	12.65
+/-	2.3	2.3	2.3	1.43

Breskens	77.6	88.1	11.9	10.46
+/-	3.3	3.5	3.5	3.89
=====				

Tableau 10.

Pourcentages d'eau, de coquille (% coq) par rapport au poids total, de parties molles (% cps) par rapport au poids total et taux de croissance de la coquille (Lg/coq). Moyenne +/- écart-types.

=====				
Campagne du 13 avril 1987				
Stations	% eau	% coq	% cps	Lg/coq
=====				
Koksijde	77.3	88.2	11.8	19.70
+/-	1.5	2.5	2.5	3.28

Nieuwpoort	78.4	92.2	7.8	10.10
+/-	1.3	0.9	0.9	2.73

Middelkerke	79.0	88.3	11.7	12.15
+/-	1.4	1.8	1.8	2.53

Wenduine	78.0	86.4	13.6	11.74
+/-	2.8	2.8	2.8	2.03

Knokke	79.5	94.1	5.8	11.22
+/-	1.5	0.8	0.8	1.99

Breskens	81.0	95.5	4.5	9.60
+/-	1.0	0.9	0.9	3.98
=====				

Tableau 11.

Pourcentages d'eau, de coquille (% coq) par rapport au poids total, de parties molles (% cps) par rapport au poids total et taux de croissance de la coquille (Lg/coq). Moyenne +/- écart-types.

3.2.2. Pourcentages de coquille et parties molles.

Dans toutes les stations le pourcentage du poids de la coquille par rapport au poids sec total est toujours voisin de 90 % et par conséquent le pourcentage de parties molles est d'environ 10 %. A Koksijde le 20 octobre 1986 le pourcentage de coquille est moins élevé que dans les autres stations (83.9 %). Ceci est très certainement dû au fait que ces populations sont plus jeunes qu'ailleurs et donc en pleine croissance (les coquilles sont plus fines).

3.2.3. Le taux de croissance des coquilles.

Le rapport longueur des coquilles sur leur poids (= taux de croissance des coquilles) est compris entre 8.75 et 14.89 dans toutes les stations confondues. A Koksijde il prend des valeurs nettement différentes (42.44 le 20/10/86 et 19.70 le 13/04/87) qui s'expliquent, comme précédemment, par l'état plus jeune des populations de l'endroit.

3.3. Teneur en métaux lourds des moules du littoral belge.

Les mollusques, et les moules en particulier, sont connus pour leur capacité d'accumuler les métaux lourds à des concentrations bien supérieures à celles de leur environnement. C'est cette propriété qui a conduit à leur utilisation intensive dans le monitoring de la qualité de l'environnement ("Mussel Watch"). Par convention, les données analytiques sont exprimées en concentration de métaux lourds dans les tissus mous des moules par rapport au poids sec ou au poids frais de ceux-ci (GOLDBERG et al., 1978). Au cours de ce travail, nous avons utilisé les concentrations par rapport au poids sec qui sont actuellement les plus couramment utilisées.

Cependant, et c'est une des faiblesses les plus importantes du concept du "Mussel Watch", des différences locales entre le poids relatif du corps (état métabolique ou physiologique) et, en un même lieu, les variations saisonnières du poids, sont parfois responsables de variations de la teneur en métaux lourds de ces organismes plus importantes que celles dues au niveau de pollution des biotopes considérés.

Pour pallier ces inconvénients, FISCHER (1983) a proposé, en plus des techniques classiques d'investigation, d'exprimer les résultats par rapport au poids de la coquille. Dans ce cas, les différences observées entre populations différentes ne rendraient compte que du degré de pollution des milieux envisagés. Malheureusement, l'étude détaillée et assez convaincante de FISCHER à ce propos ne concerne que le cadmium. Nous avons néanmoins exprimé tous nos résultats dans les deux unités: iug/g DW et ug/g de coquille.

3.3.1. Niveau global de contamination.

Le tableau 12 reprend les moyennes (exprimées en ug/g DW) obtenues au cours de ce travail comparées à des valeurs obtenues d'autres années au niveau du même biotope ou au niveau des côtes de deux autres pays industrialisés (USA et Pays-Bas).

	USA (1976)		Dutch coast		Zone cotière belge		
	West coast	East coast	(1979-83)	(1971-72)	(1974-75)	(1985)	(1986-87)
	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Cu	6.7 (3.5-8.6)	6.8 (4.3-8.7)	10.0 (5.0-17.5)		11.0 (5.8)	20.0 (15.0-25.0)	6.8 (5.4-8.6)
Zn	148 (90-260)	106 (67-189)	169 (81-318)		185 (81)	121 (105-156)	92 (62-122)
Cd	4.8 (2.3-10.5)	2.0 (0.6-4.7)	3.1 (1.1-7.4)		1.9 (2.2)	2.0 (1.0-3.5)	0.5 (0.1-1.9)
Cr							1.1 (0.2-1.5)
	3.5 (1.9-8.8)	3.2 (0.4-9.2)	3.8 (2.1-5.1)		9.0 (4.8)		2.2 (0.2-5.8)
Hg			0.31 (0.13-0.71)	0.43 (0.35-0.60)	0.44 (0.23)		0.17 (0.12-0.29)
Ti							6.4 (2.5-13.5)

Tableau 12. Teneur en métaux lourds exprimée en ug/g DW de moules provenant de différentes zones côtières. (1) Goldberg et al., 1976; (2) Luten et al., 1976; (3) De Wolf, 1975; (4) Herman et al., 1976; (5) Herman et al., 1985; (6) nos résultats.

Inner Kiel Fjord (1972)	0.4	Fischer, 1983
Western Baltic Sea (1981-1982)	0.3	Fischer, 1983
German Wadden Sea (1981-1982)	0.1	Fischer, 1983
Belgian Coast (1986-1987)	0.1	tab. 30 et 32

Tableau 13. Charge en Cadmium exprimée en ug de Cadmium par gramme de coquille de moules provenant de différentes zones côtières.

3.3.1.1. Le cuivre et le zinc.

Ces deux métaux lourds étant des éléments essentiels pour la moule, il est normal de les trouver en concentrations importantes dans les tissus mous. Les teneurs en cuivre sont normales. Les teneurs en zinc sont relativement faibles et, au niveau de la côte belge, une tendance à la diminution semble s'être installée au cours de ces dix dernières années.

3.3.1.2. Les autres métaux lourds.

Comme pour le cuivre et le zinc, les teneurs en cadmium sont actuellement en diminution et suggèrent que le niveau de pollution par ce métal est faible, ce que confirment les données du tableau 13 où les teneurs sont exprimées par gramme de coquille.

Nous ne disposons pas actuellement de valeurs de référence en ce qui concerne le chrome, mais les valeurs obtenues ne paraissent pas a priori alarmantes.

Les teneurs en plomb sont relativement élevées, mais très faibles en regard de celles qui ont été obtenues en 76 par HERMAN et al. et faibles en regard de celles obtenues aux Pays Bas et aux USA.

En ce qui concerne le mercure, les valeurs obtenues en 86-87 sont très faibles et, dans ce cas, nous pouvons conclure de manière formelle que le niveau de contamination des moules de la côte belge a diminué environ de moitié par rapport aux années 74-75 étant donné qu'à cette époque nous avons intercalibré notre technique de dosage avec celle d'HERMAN et de ses collaborateurs et que nous utilisons actuellement une méthode de dosage identique. Ce n'est pas le cas pour le Cd, le Cu et le Zn qui, dans ce travail, ont été dosés par ICP alors que les autres valeurs décrites dans le tableau 8 ont été obtenues par spectrométrie d'absorption atomique.

En ce qui concerne le titane, comme pour le chrome, nous ne disposons pas de valeurs de référence. Néanmoins, les concentrations mesurées paraissent extrêmement élevées étant donné que le titane n'est pas connu comme un élément essentiel pour la moule.

3.3.1.3. Conclusion.

Le niveau de contamination par les métaux lourds des moules du littoral belge paraît tout à fait acceptable pour un pays industrialisé tel que le nôtre, avec toutefois une réserve importante en ce qui concerne le titane. Une investigation plus poussée nous paraît fondamentale à propos de ce polluant.

3.3.2. Comparaison des teneurs en métaux lourds des moules récoltées à Nieuwpoort et à Oostende.

Le tableau 14 reprend la moyenne des teneurs obtenues au cours de l'exercice 86-87. Sauf dans le cas du titane, les concentrations exprimées par rapport au poids sec des tissus mous sont toujours plus élevées à Oostende qu'à Nieuwpoort. Ces différences semblent toutefois rendre compte plus d'un état physiologique plus favorable des moules de Nieuwpoort (1) que d'un niveau de pollution plus élevé à Oostende (2).

(1). En moyenne (tableaux 2 et 3), les indices d'occupation des coquilles (longueur/poids sec des parties molles) sont plus élevés à Oostende (63.1) qu'à Nieuwpoort (54.9).

(2). Les différences observées s'atténuent fortement, s'inversent même (sauf pour le titane où au contraire la différence s'accentue) lorsqu'on exprime les résultats par gramme de coquille, ce qui suggère que la charge en polluant est similaire dans les moules des deux stations.

Les tableaux 15, 17, 19, 21, 23, 25 et 27 donnent les concentrations (ppm DW) en Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg et Ti des moules récoltées au cours de l'année à Nieuwpoort et à Oostende. Les tableaux 16, 18, 20, 22, 24, 26 et 28 donnent les valeurs correspondantes rapportées à un gramme de coquille. Les figures 15 à 28 illustrent ces données.

	ug(tis. mous)/g(tis. mous)			ug(tis. mous)/g(coquille)		
	Nieuwpoort	Oostende	t-test	Nieuwpoort	Oostende	t-test
Cu	6.7	8.1	0.005	1.10	1.07	n.s.
Zn	91	110	0.005	13.9	13.2	n.s.
Cd	0.51	0.95	0.005	0.09	0.12	n.s.
Cr	0.91	1.10	n.s.	0.14	0.16	n.s.
Pb	2.12	3.04	0.025	0.37	0.39	n.s.
Hg	0.121	0.163	0.001	0.019	0.020	n.s.
Ti	5.14	4.18	n.s.	0.96	0.58	0.025

Tableau 14. Teneurs moyennes en métaux lourds des moules récoltées à Nieuwpoort et à Oostende en 1986 et 1987.

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juin 86	m	6.3	9.2	\leq
	E.S.	0.7	1.6	0.01
	(n)	10	10	
Juil. 86	m	7.3	7.1	N.S.
	E.S.	0.6	0.5	
	(n)	10	10	
Août 86	m	6.2	7.6	N.S.
	E.S.	0.7	0.9	
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	6.3	8.7	N.S.
	E.S.	0.4	1.7	
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	8.1		
	E.S.	0.6		
	(n)	10		
Nov. 86	m	6.1	7.3	0.025
	E.S.	0.4	0.5	
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	6.7	6.8	N.S.
	E.S.	0.3	0.4	
	(n)	10	10	
Mars 87	m	6.8	9.1	0.05
	E.S.	0.7	0.9	
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	5.9		
	E.S.	0.6		
	(n)	10		
TOTAL	m	6.7	8.1	0.005
	E.S.	0.2	0.3	
	(n)	89	70	

Tableau 15. :Teneur en cuivre des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende ($\mu\text{g/g DW}$).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	1.09	0.75	\leq
	E.S.	0.15	0.08	0.05
	(n)	10	10	
Août 86	m	1.27	1.19	
	E.S.	0.17	0.18	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.90	0.99	
	E.S.	0.13	0.20	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	1.49		
	E.S.	0.13		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.71	1.13	
	E.S.	0.10	0.16	N.S.
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.97	0.99	
	E.S.	0.07	0.08	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	1.36	1.34	
	E.S.	0.14	0.11	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.98		
	E.S.	0.07		
	(n)	10		
TOTAL	m	1.10	1.05	
	E.S.	0.05	0.06	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 16. : Teneur en cuivre des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (μg dans tissus/g coq).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juin 86	m	120	179	\leq
	E.S.	12	29	0.05
	(n)	10	10	
Juil. 86	m	102	147	
	E.S.	13	14	0.05
	(n)	10	10	
Août 86	m	76	77	
	E.S.	13	8	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	95	101	
	E.S.	11	25	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	62		
	E.S.	6		
	(n)	10		
Nov. 86	m	106	86	
	E.S.	18	3	N.S.
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	92	90	
	E.S.	12	12	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	90	114	
	E.S.	11	14	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	80		
	E.S.	7		
	(n)	10		
TOTAL	m	91	110	
	E.S.	4	6	0.005
	(n)	89	70	

Tableau 17. : Teneur en zinc des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende ($\mu\text{g/g DW}$).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	14.2	15.5	\leq
	E.S.	6.2	2.0	N.S.
	(n)	10	10	
Août 86	m	14.9	11.7	
	E.S.	1.7	1.9	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	12.3	10.6	
	E.S.	1.1	1.6	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	14.2		
	E.S.	1.05		
	(n)	10		
Nov. 86	m	11.6	12.1	
	E.S.	1.6	0.9	N.S.
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	13.1	12.7	
	E.S.	1.7	1.5	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	17.6	16.4	
	E.S.	1.4	1.5	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	13.6		
	E.S.	1.0		
	(n)	10		
TOTAL	m	13.5	13.2	
	E.S.	0.5	0.7	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 18.: Teneur en zinc des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (μg dans tissus/g coq).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juin 86	m	0.43	0.47	≤ N.S.
	E.S.	0.07	0.07	
	(n)	10	10	
Juil. 86	m	0.83*+	2.40	0.005
	E.S.	0.08	0.27	
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.16+	0.34+	0.025
	E.S.	0.07	0.03	
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.15*+	0.44+	0.025
	E.S.	0.04	0.11	
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.81+		
	E.S.	0.08		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.88	0.47*+	0.025
	E.S.	0.11	0.16	
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.49*	0.53*	N.S.
	E.S.	0.12	0.12	
	(n)	10	10	
Mars 87	m	1.31*	2.06	0.005
	E.S.	0.07	0.17	
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.29*+		
	E.S.	0.05		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.59	0.95	0.005
	E.S.	0.05	0.11	
	(n)	89	70	

Tableau 19.: Teneur en cadmium des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende (µg/g DW).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.12*+	0.24	≤
	E.S.	0.02	0.02	0.005
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.03+	0.05+	
	E.S.	0.01	0.02	0.025
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.02*+	0.05+	
	E.S.	0.01	0.01	0.025
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.07+		
	E.S.	0.01		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.10	0.05*+	
	E.S.	0.01	0.01	0.005
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.06*	0.07*	
	E.S.	0.01	0.01	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	0.26*	0.30	
	E.S.	0.01	0.02	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.03*+		
	E.S.	0.01		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.10	0.13	
	E.S.	0.08	0.01	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 20.: Teneur en cadmium des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (µg dans tissus/g coq).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.77*+	0.66*+	≤
	E.S.	0.05	0.05	N.S.
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.37*+	0.51*+	
	E.S.	0.11	0.13	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.39*+	0.32*+	
	E.S.	0.05	0.11	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.51*+		
	E.S.	0.08		
	(n)	10		
Nov. 86	m	1.36	2.13*	
	E.S.	0.15	0.30	0.025
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	1.18	0.99	
	E.S.	0.11	0.07	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	1.37*	2.01*	
	E.S.	0.11	0.26	0.025
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	1.31		
	E.S.	0.07		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.91	1.10	
	E.S.	0.06	0.12	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 21 : Teneur en chrome des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende (µg/g DW).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage
inférieur à 20 % du bruit de fond)

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.11*+	0.07*+	\leq
	E.S.	0.01	0.01	0.025
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.06*+	0.10*+	
	E.S.	0.01	0.05	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.06*+	0.04*+	
	E.S.	0.01	0.01	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.09*+		
	E.S.	0.01		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.15	0.29*	
	E.S.	0.02	0.03	0.01
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.16	0.14	
	E.S.	0.01	0.01	0.025
	(n)	10	10	
Mars 87	m	0.27*	0.29*	
	E.S.	0.01	0.03	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.22		
	E.S.	0.01		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.14	0.16	
	E.S.	0.01	0.02	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 22. :Teneur en chrome des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (μg dans tissus/g coq).
 * : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).
 + : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	1.05*+	4.84*+	\leq 0.001
	E.S.	0.95	1.34	
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.07*+	0.25*+	N.S.
	E.S.	0.07	0.55	
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.66*+	0.73*+	N.S.
	E.S.	0.31	0.50	
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.80*+		
	E.S.	0.33		
	(n)	10		
Nov. 86	m	3.28*+	4.02*+	N.S.
	E.S.	0.46	1.53	
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	3.24*	3.41*	N.S.
	E.S.	0.54	0.55	
	(n)	10	10	
Mars 87	m	4.88*	5.00*	N.S.
	E.S.	0.56	0.82	
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	3.00*		
	E.S.	0.36		
	(n)	10		
TOTAL	m	2.12	3.04	0.025
	E.S.	0.22	0.40	
	(n)	79	60	

Tableau 23. :Teneur en plomb des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende ($\mu\text{g/g DW}$).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.15*+	0.49*+	≤ 0.001
	E.S.	0.05	0.03	
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.01*+	0.06*+	N.S.
	E.S.	0.01	0.04	
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.06*+	0.06*+	N.S.
	E.S.	0.02	0.03	
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	0.33*+		
	E.S.	0.27		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.36*+	0.53*+	N.S.
	E.S.	0.06	0.22	
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.45*	0.47*	N.S.
	E.S.	0.07	0.05	
	(n)	10	10	
Mars 87	m	0.95*	0.74*	N.S.
	E.S.	0.08	0.11	
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.68*		
	E.S.	0.06		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.37	0.39	N.S.
	E.S.	0.04	0.05	
	(n)	79	60	

Tableau 24.: Teneur en plomb des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (µg dans tissus /g coq).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juin 86	m	0.087	0.184	≤
	E.S.	0.014	0.021	0.01
	(n)	10	10	
Juil. 86	m	0.098	0.129	
	E.S.	0.006	0.012	0.05
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.085	0.116	
	E.S.	0.008	0.012	0.05
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.146	0.176	
	E.S.	0.034	0.025	N.S.
	(n)	9	10	
Oct. 86	m	0.148		
	E.S.	0.014		
	(n)	9		
Nov. 86	m	0.158	0.175	
	E.S.	0.013	0.028	N.S.
	(n)	10	9	
Jan. 87	m	0.142	0.188	
	E.S.	0.012	0.013	0.01
	(n)	10	10	
Mars 87	m	0.107	0.176	
	E.S.	0.008	0.017	0.01
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.117		
	E.S.	0.011		
	(n)	9		
TOTAL	m	0.121	0.163	
	E.S.	0.006	0.007	0.001
	(n)	86	69	

Tableau 25. : Teneur en mercure des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende ($\mu\text{g/g DW}$).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.014	0.013	≤
	E.S.	0.001	0.001	N.S.
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.017	0.016	
	E.S.	0.002	0.001	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.017	0.019	
	E.S.	0.003	0.001	N.S.
	(n)	9	10	
Oct. 86	m	0.026		
	E.S.	0.002		
	(n)	9		
Nov. 86	m	0.017	0.024	
	E.S.	0.001	0.001	0.001
	(n)	10	9	
Jan. 87	m	0.020	0.027	
	E.S.	0.001	0.002	0.001
	(n)	10	10	
Mars 87	m	0.022	0.026	
	E.S.	0.002	0.003	N.S.
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	0.019		
	E.S.	0.002		
	(n)	9		
TOTAL	m	0.019	0.021	
	E.S.	0.001	0.001	N.S.
	(n)	76	59	

Tableau 26.:Teneur en mercure des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende . Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille(μg dans tissus/g coq).

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil 86	m	2.87	0.62*+	≤
	E.S.	0.43	0.31	0.001
	(n)	10	10	
Août 86	m	3.46	3.02	
	E.S.	0.60	0.32	N.S.
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.14*+	0.00*+	
	E.S.	0.09	0.00	N.S.
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	9.83		
	E.S.	1.05		
	(n)	10		
Nov. 86	m	6.85	8.87	
	E.S.	0.81	2.91	N.S.
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	3.49	2.47	
	E.S.	0.61	0.35	N.S.
	(n)	10	10	
Mars 87	m	6.93	10.12	
	E.S.	0.93	1.45	0.05
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	7.92		
	E.S.	0.65		
	(n)	10		
TOTAL	m	5.14	4.18	
	E.S.	0.42	0.73	N.S.
	(n)	79	60	

Tableau 27.: Teneur en titane des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende (µg/g DW).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

		NIEUWPOORT	OOSTENDE	t-test
Juil. 86	m	0.39	0.06	\leq 0.001
	E.S.	0.05	0.03	
	(n)	10	10	
Août 86	m	0.67	0.50	N.S.
	E.S.	0.09	0.11	
	(n)	9	10	
Sep. 86	m	0.02	0.00*+	N.S.
	E.S.	0.01	0.00	
	(n)	10	10	
Oct. 86	m	1.75		
	E.S.	0.16		
	(n)	10		
Nov. 86	m	0.77	1.04	N.S.
	E.S.	0.11	0.11	
	(n)	10	10	
Jan. 87	m	0.47	0.36	N.S.
	E.S.	0.07	0.05	
	(n)	10	10	
Mars 87	m	1.32	1.49	N.S.
	E.S.	0.14	0.21	
	(n)	10	10	
Avr. 87	m	2.29		
	E.S.	0.29		
	(n)	10		
TOTAL	m	0.84	0.58	0.025
	E.S.	0.07	0.08	
	(n)	79	60	

Tableau 28.: Teneur en titane des moules prélevées à Nieuwpoort et à Oostende. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (μg dans tissus/g coq).

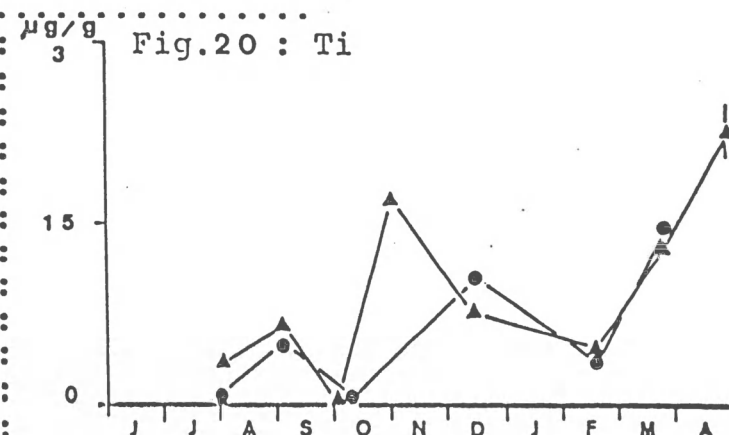
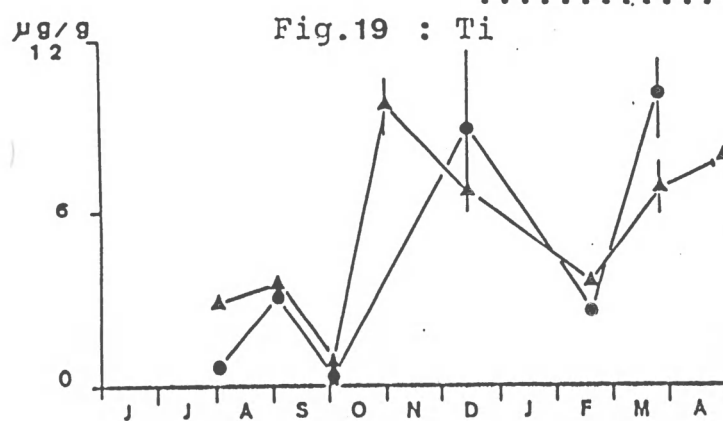
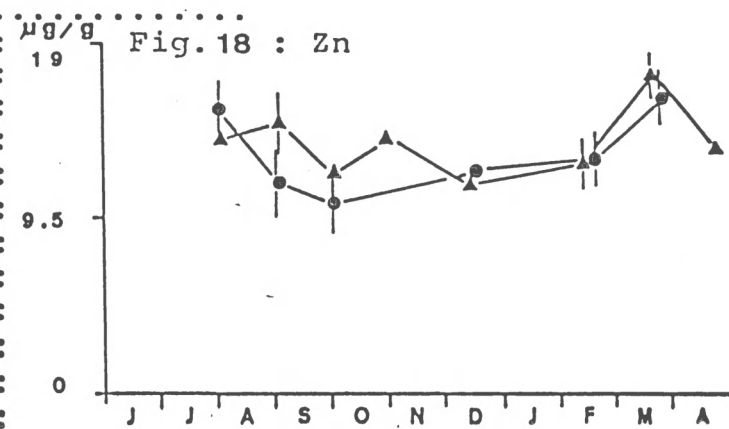
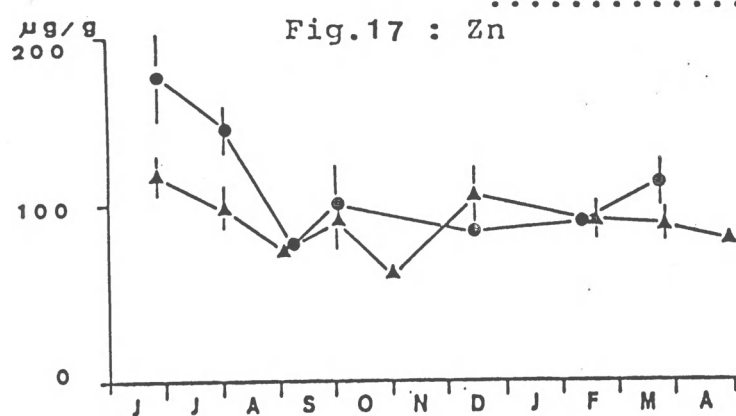
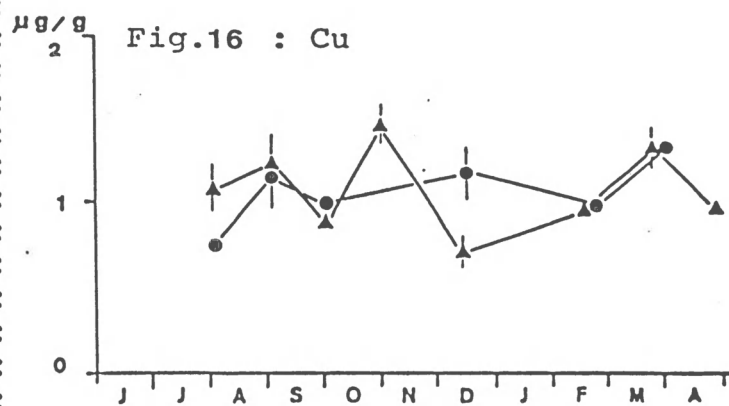
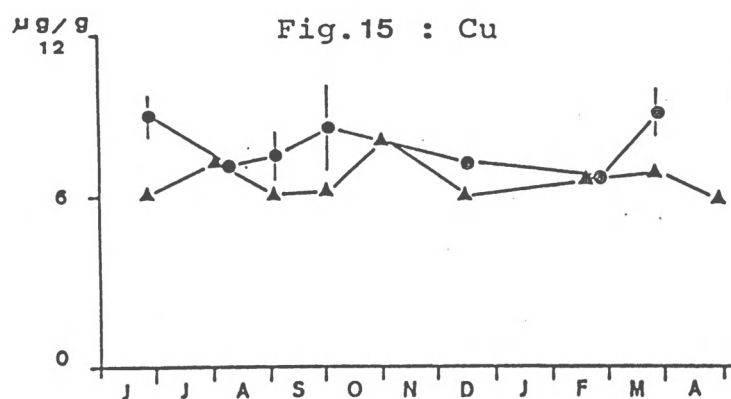
μg dans tissus / g tissus secs μg dans tissus / g coquille

Figure 15 à 20. Evolution dans le temps de la teneur en Cu, Zn, Ti, des tissus mous à Nieuwpoort (triangles) et à Oostende (cercles). 15, 17, 19 : résultats par poids secs de parties molles; 16, 18, 20 : résultats par poids sec des coquilles.

Moyennes +/- erreur standard.

μg dans tissus / g tissus secs

μg dans tissus / g coquille

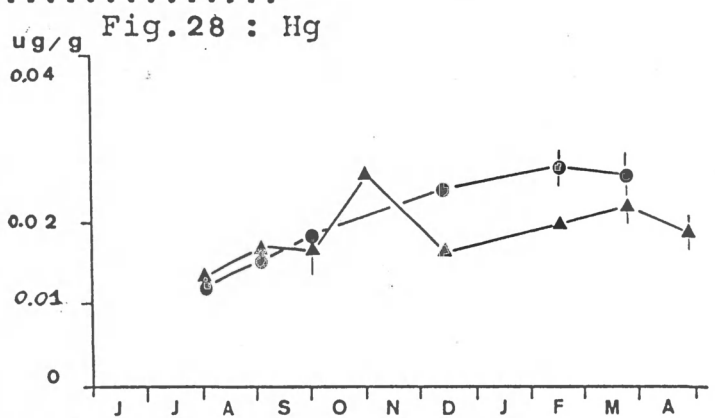
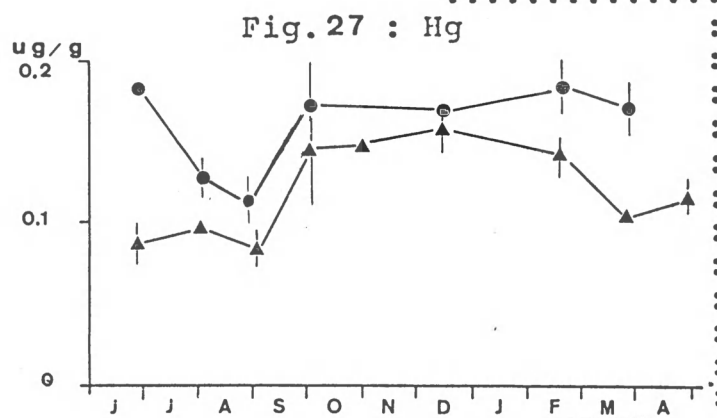
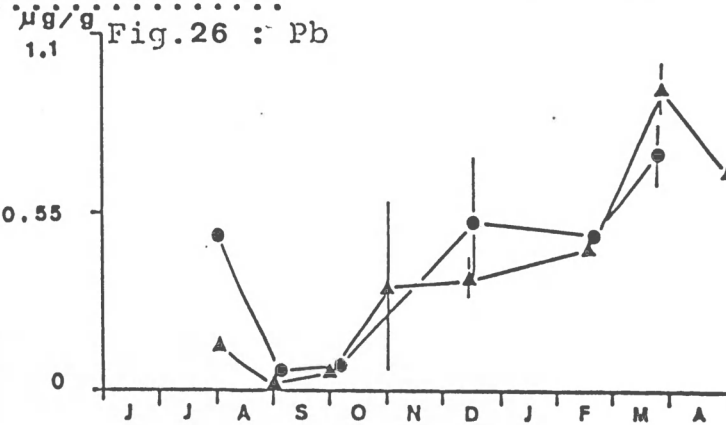
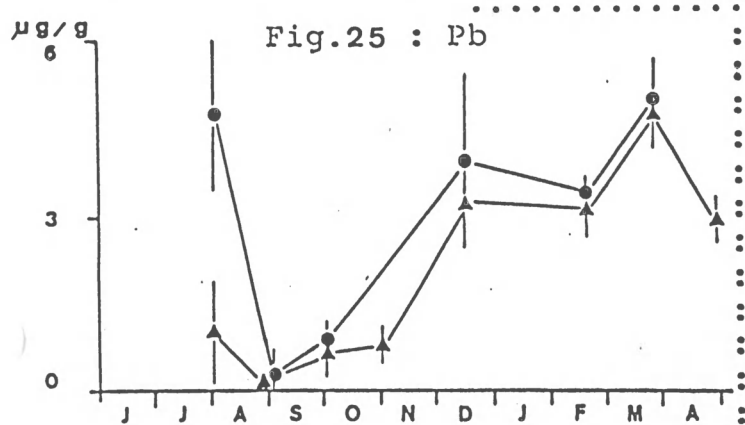
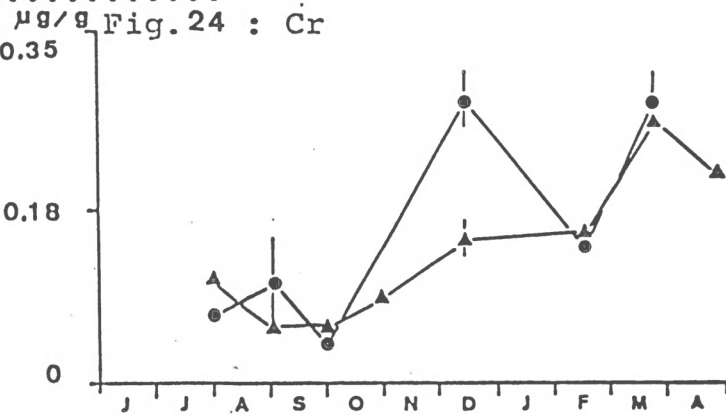
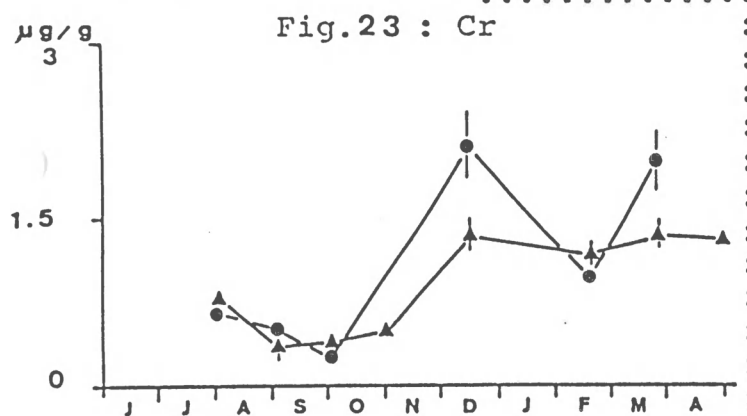
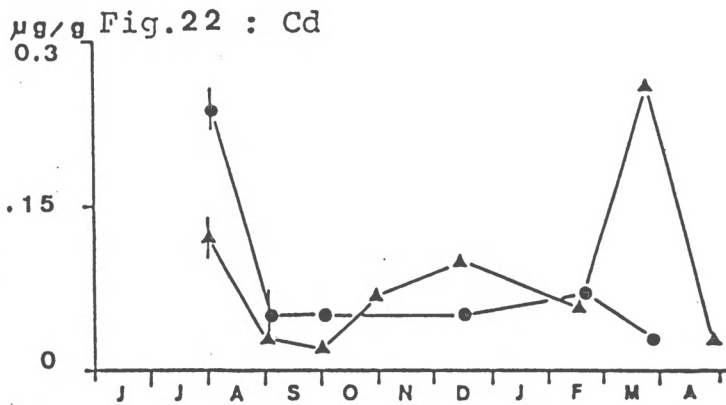
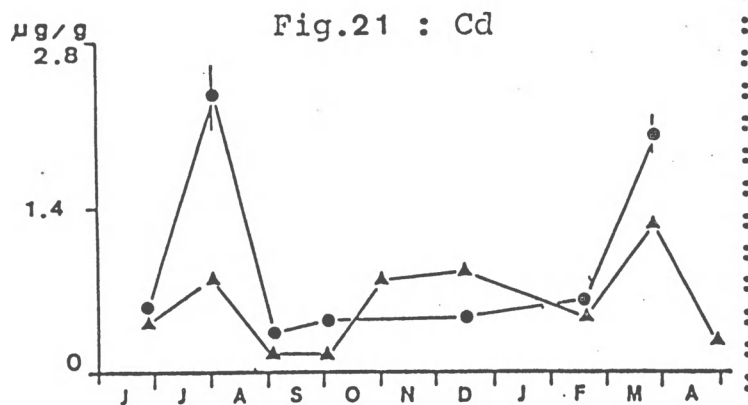


Figure 21 à 28 Evolution dans le temps de la teneur en Cd, Cr, Pb, Hg des tissus mous à Nieuwpoort (triangles) et à Oostende (cercles). 21,23,25,27 : résultats par poids secs de parties molles; 22,24,26, 28 : résultats par poids sec des coquilles. Moyennes +/- erreur standard.

Au cours de l'année, la teneur en métaux lourds des moules varie de manière importante et, dans ce cas, on trouve une bonne correspondance entre les variations, quel que soit le mode d'expression des résultats. Ceci suggère l'existence de variations temporelles locales des niveaux de pollution qui peuvent se superposer aux variations dues à l'état physiologique des moules et à celles dues à l'estuaire de l'Escaut et à la Manche.

Ainsi par exemple, des valeurs anormalement élevées de la teneur en cadmium des moules en juillet 86 à Oostende ou en mars 87 à Nieuwpoort résultent vraisemblablement de telles pollutions locales

En ce qui concerne les variations saisonnières proprement dites, les valeurs minimales sont obtenues en fin d'été et en automne (époque qui correspond à l'état physiologique optimal des moules dans les deux stations) tandis que les valeurs maximales sont plutôt obtenues au printemps (pour le cuivre, c'est l'inverse, et pour le mercure, les valeurs maximales sont obtenues en automne-hiver).

3.3.3. Variations de la teneur en métaux lourds le long du gradient halin.

Les tableaux 29 et 31 donnent les concentrations (ug/g DW) en métaux lourds des moules récoltées le long du littoral respectivement en octobre 86 et en avril 87. Les tableaux 30 et 32 donnent les valeurs correspondantes rapportées à un gramme de coquille. L'ensemble de ces résultats est illustré par les figures 29 à 35.

Comme nous venons de le voir dans les paragraphes précédents, les teneurs en métaux lourds ont tendance à être plus élevées au printemps 87 qu'en automne 86 aux stations Nieuwpoort et Oostende. Ces tendances sont confirmées au niveau de l'ensemble du littoral lorsqu'on exprime les résultats par gramme de poids sec, sauf dans le cas du titane et du cuivre où on observe la situation inverse (teneurs plus élevées en octobre). Notons cependant que ces tendances sont moins évidentes lorsque les résultats sont exprimés par gramme de coquille.

	n	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Hg	Ti
Koksijde	8	8.6 (0.5)	74 (4)	0.08+ (0.03)	0.23*+ (0.11)	1.37*+ (1.13)	0.15 (0.01)	13.5 (2.6)
Nieuwpoort	10	8.1 (0.6)	62 (6)	0.81+ (0.05)	0.51*+ (0.08)	0.80*+ (0.33)	0.15 (0.01)	9.8 (1.1)
Middelkerke	10	7.1 (0.7)	82 (9)	0.29+ (0.06)	0.87*+ (0.18)	0.65*+ (0.15)	0.13 (0.01)	9.4 (1.0)
Wenduine	10	6.1 (0.4)	108 (14)	0.06*+ (0.06)	0.69*+ (0.10)	0.23*+ (0.21)	0.16 (0.02)	2.7 (0.5)
Knokke	10	7.3 (0.5)	92 (12)	0.29+ (0.06)	1.10* (0.12)	0.70*+ (0.26)	0.13 (0.02)	5.0 (0.6)
Breskens	10	6.4 (0.7)	74 (8)	0.49 (0.14)	1.51 (0.23)	2.50* (0.93)	0.19 (0.02)	5.9 (1.5)
Test de Kruskal et Wallis \leq		0.025	0.1	0.005	0.001	0.01	N.S.	0.001

Tableau 29. : Teneurs en Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg, Ti des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord en octobre 1986 ($\mu\text{g/g DW}$).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

() : erreur standard.

	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Hg	Ti
K.	1.65 (0.15)	14.2 (1.1)	0.30 (0.01)	0.05*+ (0.02)	0.33*+ (0.27)	0.030 (0.000)	3.02 (0.32)
N.	1.49 (0.13)	11.0 (0.7)	0.14+ (0.01)	0.09*+ (0.01)	0.15*+ (0.07)	0.026 (0.002)	1.75 (0.16)
M.	1.02 (0.15)	11.4 (1.4)	0.04+ (0.01)	0.11*+ (0.02)	0.10*+ (0.03)	0.019 (0.002)	1.23 (0.05)
W.	0.91 (0.09)	16.0 (2.5)	0.01*+ (0.01)	0.10*+ (0.02)	0.03*+ (0.03)	0.021 (0.002)	0.41 (0.10)
KN.	1.04 (0.11)	12.2 (1.3)	0.16+ (0.02)	0.16* (0.02)	0.08*+ (0.04)	0.017 (0.003)	0.67 (0.07)
B.	0.88 (0.16)	9.5 (0.9)	0.05 (0.01)	0.19 (0.02)	0.26*+ (0.07)	0.024 (0.002)	0.75 (0.16)
T.K.W. ≤	0.005	0.025	0.001	0.001	0.001	0.025	0.001

Tableau 30.: Teneurs en Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg, Ti des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord en octobre 1986. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (µg dans tissus/g coq). 8 échantillons pour Koksijde, 10 pour les autres stations
 * : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).
 + : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".
 () : erreur standard.
 K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke;
 W : Wenduine; KN : Knokke; B : Breskens.

	n	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Hg	Ti
Koksijde	10	5.4 (0.4)	62 (8)	0.13*+ (0.02)	1.20 (0.12)	2.70* (0.35)	0.13 (0.01)	8.7 (0.9)
Nieuwpoort	10	5.9 (0.6)	80 (7)	0.29*+ (0.05)	1.31 (0.07)	3.00* (0.33)	0.12 (0.01)	7.9 (0.7)
Middelkerke	10	6.5 (0.6)	122 (15)	0.33*+ (0.04)	1.28 (0.07)	3.50* (0.47)	0.19 (0.01)	5.3 (0.6)
Wenduine	10	7.1 (0.7)	119 (14)	1.12* (0.18)	1.23 (0.11)	2.19* (0.34)	0.17 (0.01)	4.2 (0.7)
Knokke	10	6.9 (0.5)	118 (9)	0.99* (0.10)	1.19 (0.13)	3.02* (0.96)	0.25 (0.03)	2.5 (0.6)
Breskens	10	6.4 (0.4)	116 (14)	1.94 (0.17)	1.48 (0.14)	5.83 (1.15)	0.29 (0.03)	2.5 (0.4)
Test de Kruskal et Wallis \leq		0.001	0.001	0.001	N.S.	0.01	0.001	0.001

Tableau 31. : Teneurs en Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg, Ti des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord en avril 1987 ($\mu\text{g/g DW}$).

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

() : erreur standard.

	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Hg	Ti
K.	1.38 (0.09)	15.6 (1.7)	0.03*+ (0.01)	0.31 (0.03)	0.68* (0.06)	0.035 (0.004)	2.29 (0.29)
N.	0.98 (0.07)	13.6 (1.0)	0.03*+ (0.01)	0.22 (0.01)	0.51* (0.05)	0.019 (0.002)	1.34 (0.10)
M.	0.84 (0.07)	16.4 (2.4)	0.04*+ (0.01)	0.17 (0.02)	0.46* (0.07)	0.025 (0.002)	0.72 (0.11)
W.	1.05 (0.07)	17.9 (1.7)	0.17* (0.02)	0.18 (0.01)	0.35* (0.06)	0.027 (0.002)	0.65 (0.11)
KN.	0.96 (0.12)	17.3 (3.2)	0.13* (0.01)	0.16 (0.02)	0.41* (0.11)	0.033 (0.003)	0.34 (0.08)
B.	0.61 (0.06)	10.8 (1.3)	0.18 (0.01)	0.14 (0.01)	0.53 (0.09)	0.027 (0.002)	0.23 (0.04)
T.K.W.	0.001	N.S.	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001

Tableau 32.: Teneurs en Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg, Ti des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord en avril 1987. Les concentrations sont exprimées par gramme de coquille (μg dans tissus/g coq). 10 échantillons pour toutes les stations.

* : pic d'émission non détecté lors du dosage (inférieur à 20 % du bruit de fond).

+ : concentration en solution inférieure à la "lowest quantity detectable".

() : écart standard.

K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke;

W : Wenduine; KN : Knokke; B : Breskens.

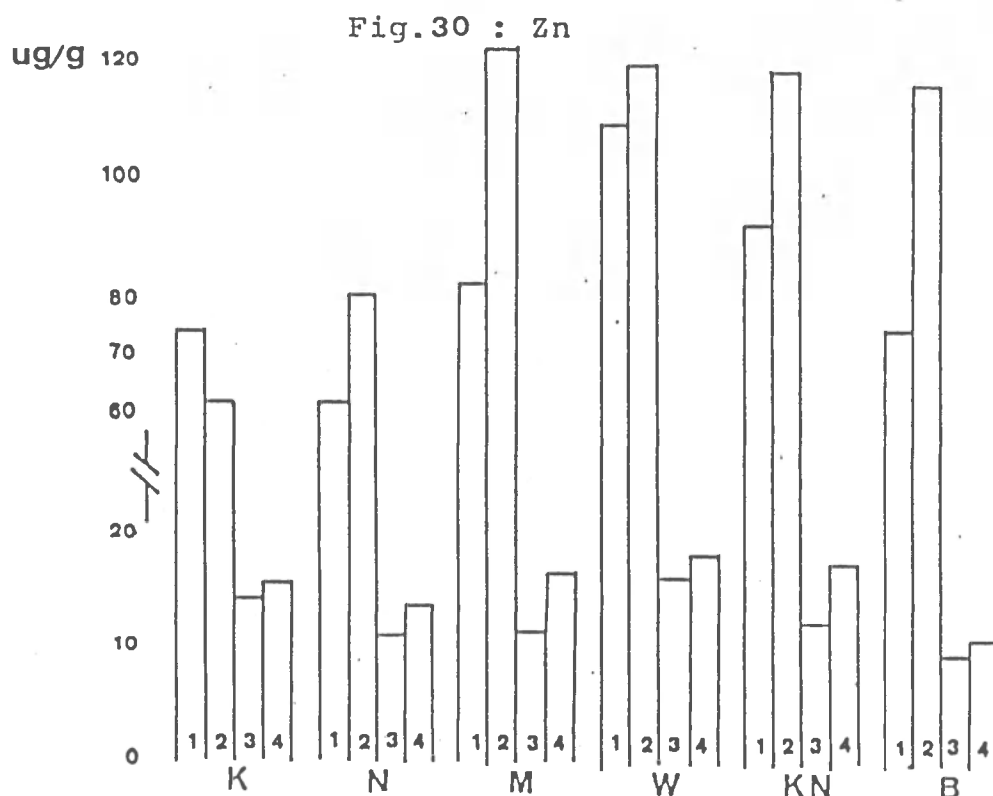
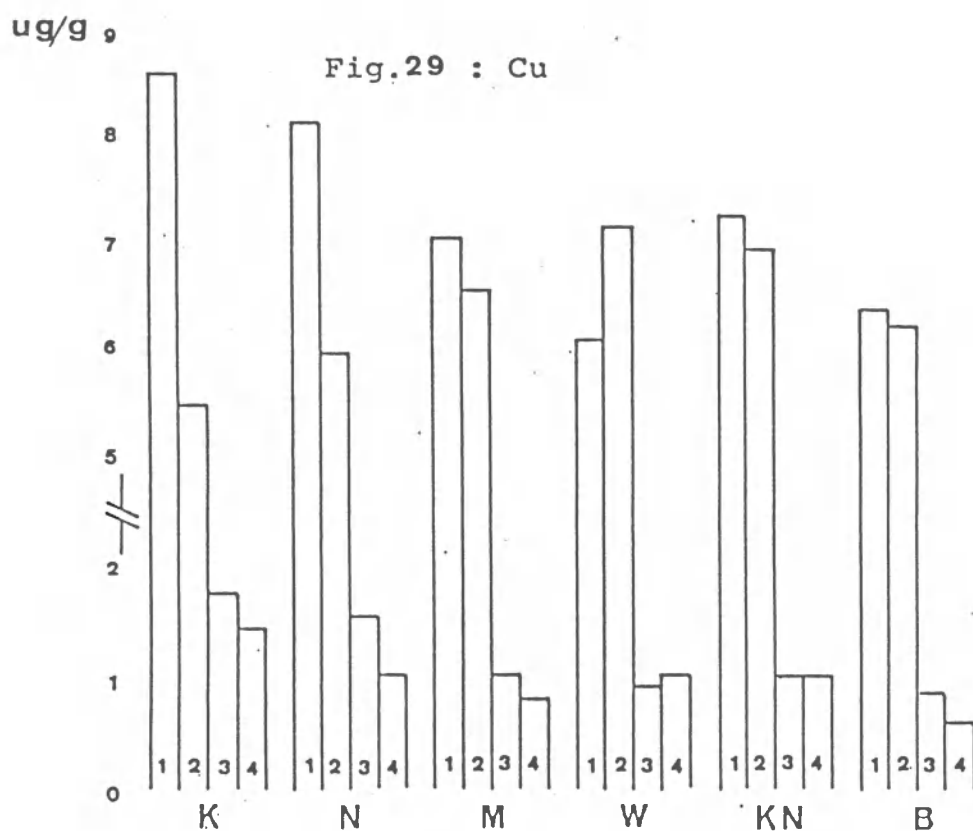


Figure 29 et 30. Teneurs en Cu et en Zn des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord.

K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke ; W : Wenduine
KN : Knokke; B : Breskens.

1 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g tissus secs.

2 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g tissus secs.

3 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g coquille.

4 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g coquille.

Fig.31 : Cd

ug/g 2

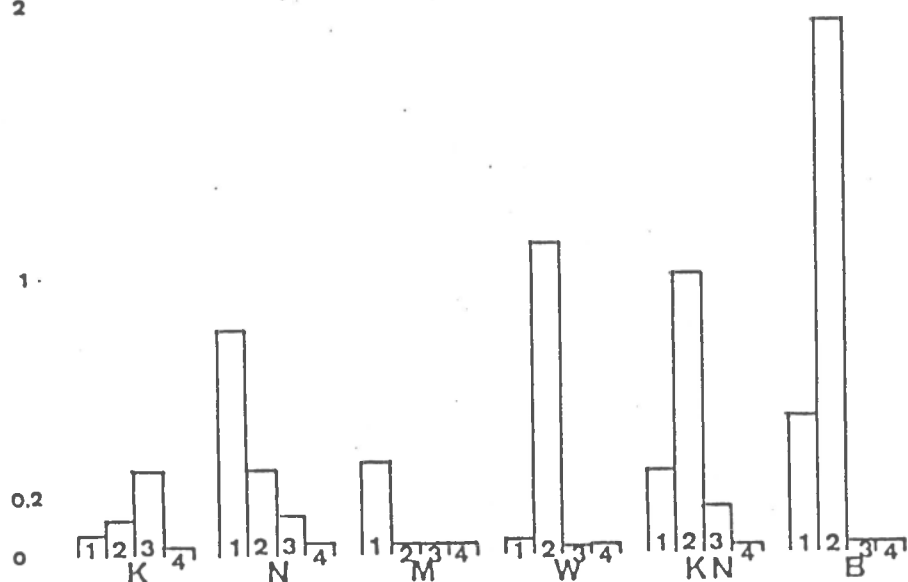


Fig.32 : Cr

ug/g 1.5

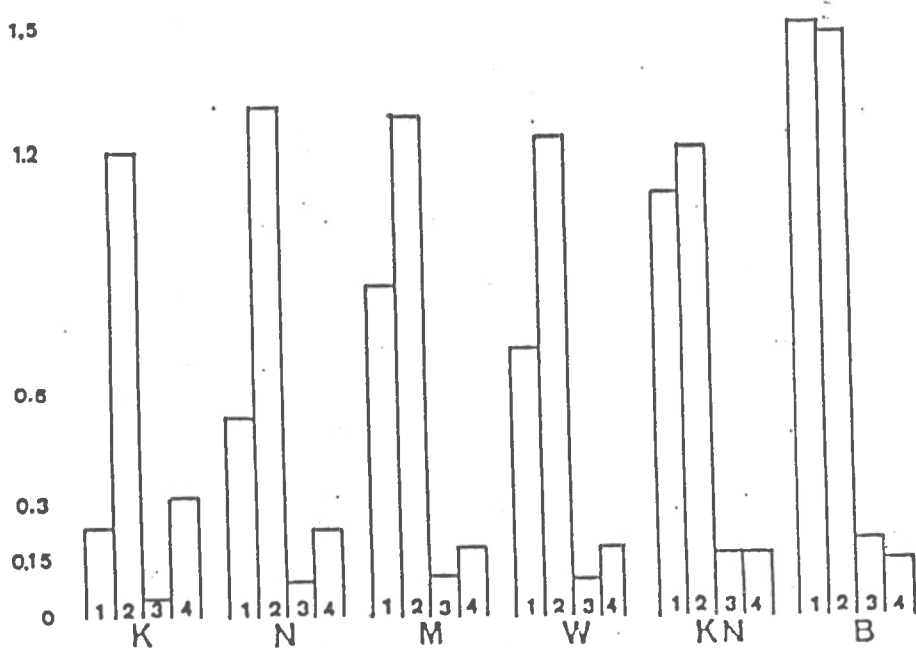


Figure 31 et 32. Teneurs en Cd et en Cr des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord.

K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke ; W : Wenduine
 KN : Knokke; B : Breskens.

1 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g tissus secs.

2 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g tissus secs.

3 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g coquille.

4 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g coquille.

Fig.33 : Pb

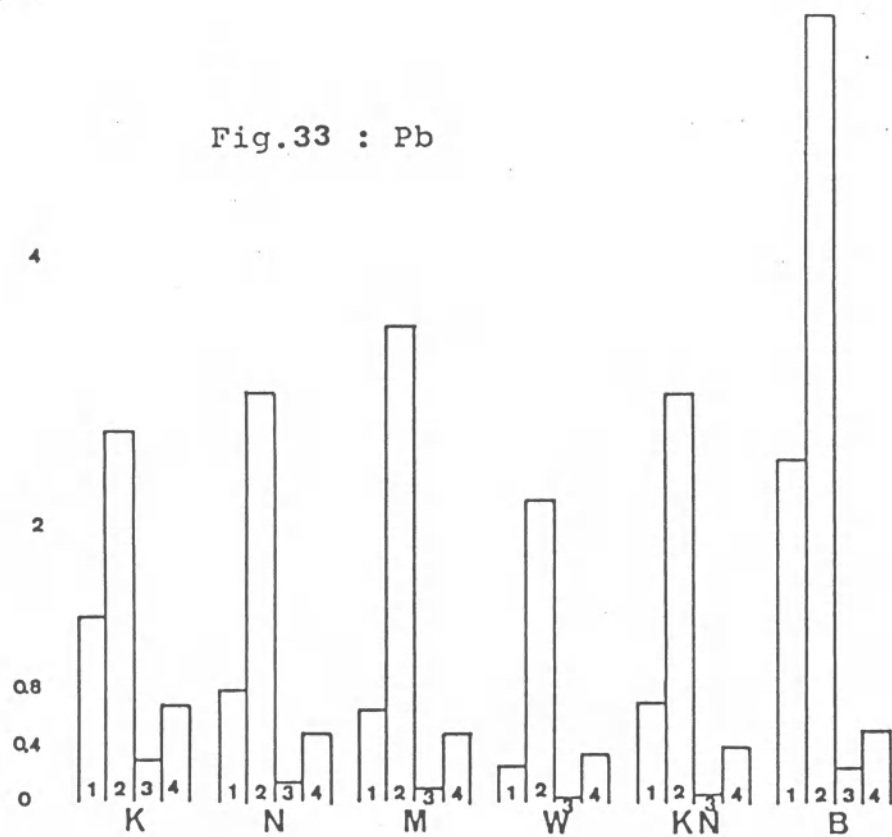
ug/g^{0.3}

Fig.34 : Hg

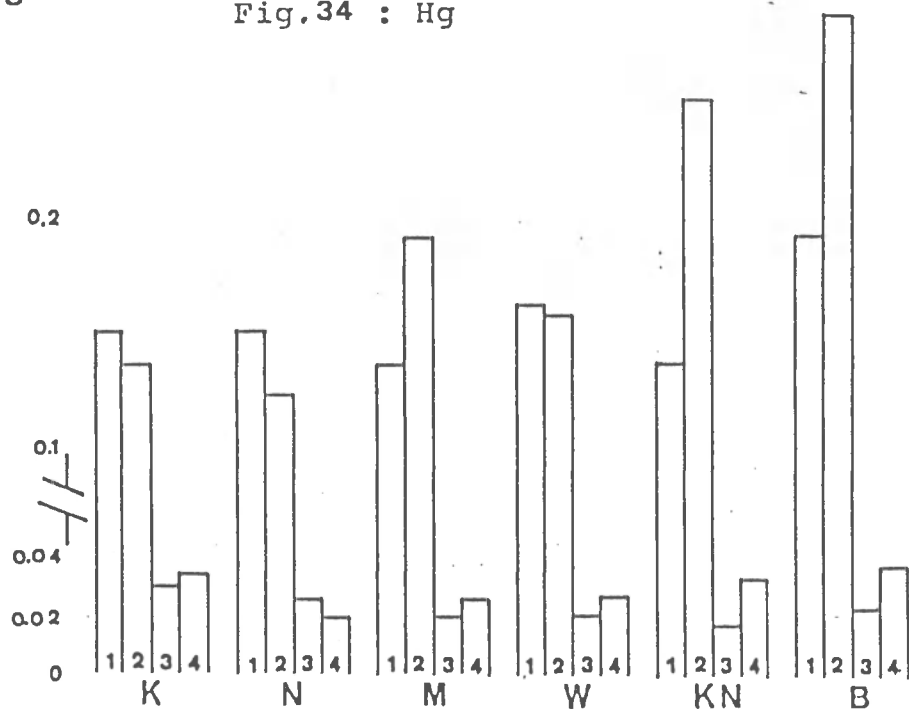


Figure 33 et 34. Teneurs en Pb et en Hg des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord.

K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke ; W : Wenduine
 KN : Knokke; B : Breskens.

1 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g tissus secs.

2 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g tissus secs.

3 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g coquille.

4 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g coquille.

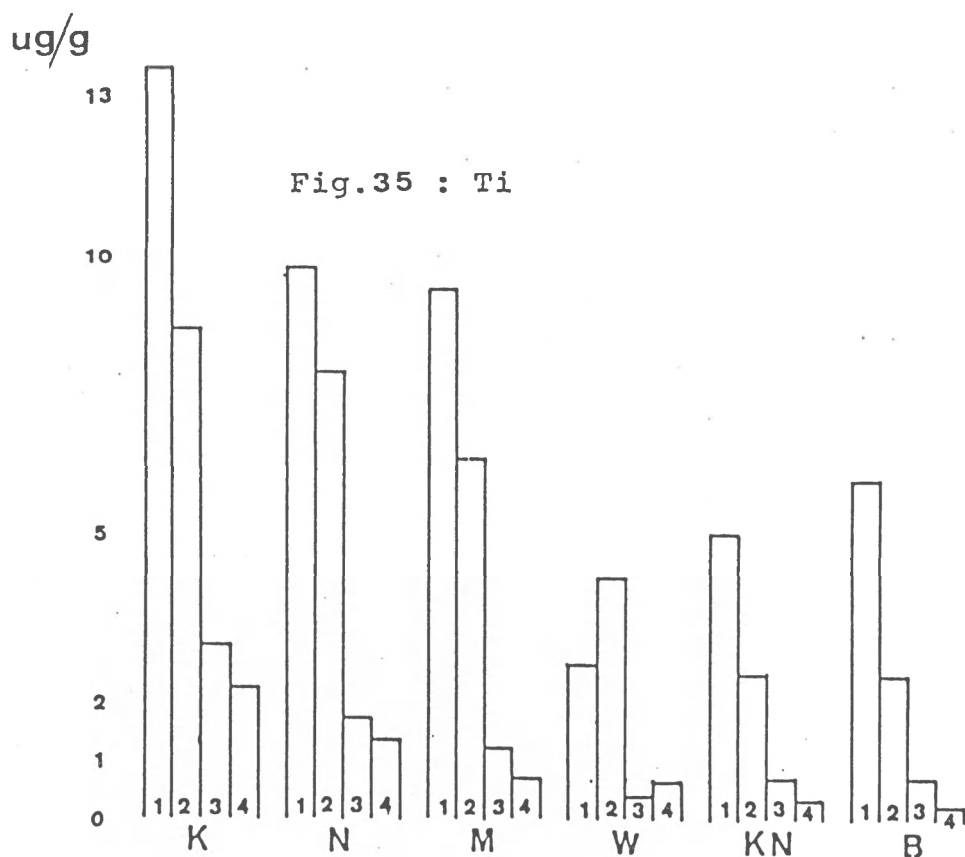


Figure 35. Teneurs en Ti des moules prélevées à six stations côtières de la mer du Nord.

K : Koksijde; N : Nieuwpoort; M : Middelkerke ; W : Wenduine
KN : Knokke; B : Breskens.

1 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g tissus secs.

2 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g tissus secs.

3 : Octobre 1986 ; ug dans tissus / g coquille.

4 : Avril 1987 ; ug dans tissus / g coquille.

Lorsqu'on considère la teneur en métaux lourds en fonction du gradient halin, on peut noter trois cas distincts:

1. UN GRADIENT DECROISSANT DEPUIS L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT (BRESKENS) JUSQU'A KOKSIJDE:

C'est le cas du chrome en octobre 86 et du zinc, du cadmium, du chrome, du plomb et du mercure en avril 87 lorsque les teneurs sont exprimées en ppm DW.

2. PAS DE GRADIENT:

C'est le cas du cuivre en avril 87 et du zinc, du cadmium, du plomb et du mercure en octobre 86 (ppm DW).

3. UN GRADIENT CROISSANT DEPUIS L'ESTUAIRE JUSQU'A KOKSIJDE:

C'est le cas du cuivre en octobre 86 et du titane dans les deux cas (ppm DW).

Il faut remarquer les valeurs généralement élevées obtenues à Breskens. Ces hautes valeurs doivent probablement être attribuées aux inputs dûs à l'Escaut plutôt qu'à un effet de la salinité. En effet, les expériences de FISCHER (1986) montrent clairement que la salinité n'influence pas la charge en cadmium des moules entre 15 et 35 ‰ de salinité.

Lorsqu'on exprime les résultats par gramme de coquille, on observe deux cas:

1. EN OCTOBRE 86, les tendances qui se sont dégagées en exprimant les résultats en ppm DW sont confirmées:

- augmentation du Cu et du Ti en fonction du gradient.
- pas d'effet marqué sur le Zn, le Cd, le Pb et le Hg.
- diminution du chrome en fonction du gradient.

2. EN AVRIL 87, mêmes tendances en ce qui concerne le cadmium (diminution) et le titane (augmentation), tendance inverse en ce qui concerne le chrome (augmentation). Pour le Zn, le Pb et le Hg, on n'observe plus de gradient. Par contre, une augmentation du cuivre apparaît alors qu'elle n'était pas détectée dans l'autre unité.

L'ensemble des résultats suggère les commentaires suivants:

- de manière générale, le Zn et le Cu, éléments essentiels, semblent être mieux contrôlés que les autres métaux.

- la Manche pourrait être une source importante et constante de titane, une source non négligeable de cuivre et une source accidentelle de chrome.

- l'Escaut serait une source non négligeable de cadmium et de chrome.

- la teneur en autres métaux (Zn, Pb et Hg) serait plus influencée par des inputs locaux et par l'état physiologique des organismes que par des variations des inputs provenant des régions adjacentes.

- pour le Cd, Cr, Pb, Hg, Ti il semblerait qu'il existe une variation saisonnière à Nieuwpoort et Oostende qu'il conviendrait de confirmer par des mesures effectuées sur une période plus longue.

3.4.Relation entre les stations et les différentes mesures effectuées lors de la campagne du 15 avril 1987.

dans le but d'intégrer l'ensemble des résultats, obtenus le 15 avril 1987, afin de faire ressortir d'éventuelles relations entre les teneurs en métaux lourds et les paramètres physiologiques, et de mettre en évidence les caractéristiques des six stations (Koksijde, Nieuwpoort, Middelkerke, Wenduine, Knokke et Breskens), nous avons réalisé une analyse factorielle des correspondances.

3.4.1.Analyse factorielle des correspondances (fig. 37). Première partie.

Nous avons tout d'abord composé une matrice où les colonnes sont les stations (= objets, 6) et les lignes sont les teneurs en métaux lourds et les paramètres physiologiques (= attributs, 24). Pour les attributs, il a été défini arbitrairement six classes d'abondance (de 0 à 5)(tableau 30).

3.4.1.1.Contributions absolues et relatives.

La contribution absolue est la part prise par un élément dans la variance (ou information) d'un axe factoriel. Tandis que la contribution relative est la part prise par un facteur (ou axe factoriel) dans la variance d'un élément. Malheureusement le logiciel utilisé pour réaliser l'analyse factorielle des correspondances ne permettait pas de calculer ces contributions. Néanmoins nous pouvons évaluer celles-ci en analysant en détail les plans factoriels sur base des notions développées dans le matériel et méthodes (2.6.2.). Nous pouvons également évaluer ces contributions en mesurant les distances entre les objets ou les attributs et l'origine, dans l'espace formé par les trois premiers facteurs, par la formule suivante:

$$D = \text{sqr} ((x_1-x_2)^2 + (y_1-y_2)^2 + (z_1-z_2)^2)$$

Ces distances sont alors comparées avec les coordonnées (x,y,z) des objets et des attributs. La distance la plus semblable

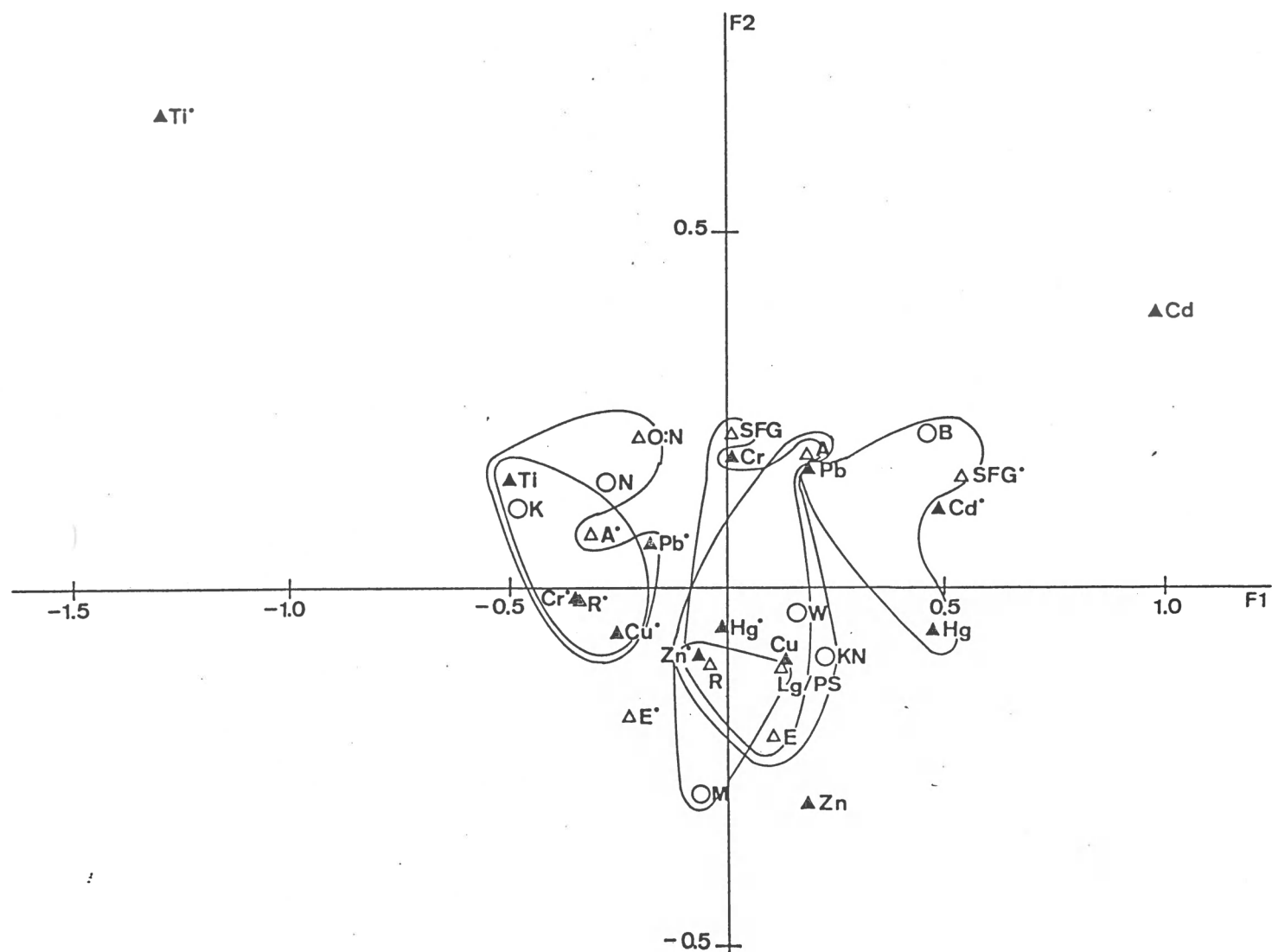


Figure 37. Projection de la distribution des objets et des attributs dans le plan délimité par les axes 1 (F1 62.04 %) et 2 (F2 16.43 %). Attributs (triangles): A = assimilation, R = respiration, E = excréation, * résultats par g de poids sec coquille, sans * résultats par g de poids sec parties molles. Objets (cercles): K =Koksijde, N = Nieuwpoort, M = Middelkerke, W = Wenduine, KN = Knokke, B = Breskens.

	Koksijde	Nieuwpoort	Middelk.	Wenduine	Knokke	Breskens
Hg [°]	0.13 (1)	0.18 (1)	0.19 (3)	0.17 (2)	0.25 (4)	0.29 (5)
Cu [°]	5.37 (2)	5.85 (2)	6.53 (3)	7.09 (3)	6.89 (3)	6.40 (3)
Cr [°]	1.20 (2)	1.31 (2)	1.28 (2)	1.18 (1)	1.19 (1)	1.48 (3)
Cd [°]	0.12 (0)	0.29 (0)	0.33 (0)	1.12 (2)	0.99 (2)	1.94 (4)
Pb [°]	2.70 (1)	3.00 (1)	3.50 (1)	2.19 (1)	3.36 (1)	5.83 (2)
Zn [°]	62.05 (1)	79.66 (1)	122.20 (3)	119.07 (2)	117.89 (2)	116.04 (2)
Ti [°]	8.72 (4)	7.92 (4)	5.27 (2)	4.17 (2)	2.46 (1)	2.54 (1)
Hg ^{°°}	0.035 (4)	0.019 (2)	0.025 (3)	0.027 (3)	0.033 (4)	0.027 (3)
Cu ^{°°}	1.38 (3)	0.98 (2)	0.84 (2)	1.05 (2)	0.96 (2)	0.61 (1)
Cr ^{°°}	0.31 (4)	0.22 (2)	0.17 (2)	0.18 (2)	0.16 (2)	0.14 (1)
Cd ^{°°}	0.03 (1)	0.05 (1)	0.04 (1)	0.17 (4)	0.13 (3)	0.18 (4)
Pb ^{°°}	0.68 (3)	0.51 (2)	0.46 (2)	0.35 (1)	0.41 (2)	0.53 (2)
Zn ^{°°}	15.60 (3)	13.60 (3)	16.40 (3)	17.90 (4)	17.30 (4)	10.80 (2)
Ti ^{°°}	2.29 (2)	1.34 (1)	0.72 (0)	0.65 (0)	0.34 (0)	0.23 (0)
O:N	66.3 (5)	42.0 (3)	44.3 (3)	33.4 (2)	24.7 (1)	53.2 (4)
Lg/PS	75.1 (3)	53.2 (2)	81.9 (4)	72.0 (3)	87.8 (4)	81.9 (4)
A [°]	7.47 (3)	4.21 (2)	3.45 (1)	6.71 (3)	9.82 (4)	8.22 (4)
R [°]	16.95 (4)	13.99 (3)	19.48 (4)	16.47 (4)	19.31 (4)	15.87 (3)
E [°]	0.69 (3)	0.57 (2)	0.95 (4)	0.86 (4)	1.21 (5)	0.76 (3)
P [°]	-10.17 (3)	-10.35 (3)	-16.97 (1)	-10.62 (3)	-10.70 (3)	-8.42 (3)
A ^{°°}	1.92 (4)	0.67 (1)	0.45 (1)	0.93 (2)	1.19 (2)	0.68 (1)
R ^{°°}	4.40 (4)	2.29 (2)	2.75 (2)	2.27 (2)	2.37 (2)	1.31 (1)
E ^{°°}	0.18 (4)	0.09 (2)	0.13 (3)	0.12 (3)	0.15 (3)	0.06 (1)
P ^{°°}	-2.66 (0)	-1.71 (2)	-2.43 (1)	-1.46 (3)	-1.33 (3)	-0.69 (4)

Tableau 30. Matrice utilisée pour la réalisation de l'analyse factorielle des correspondances. Valeurs réelles et classes d'abondances (entre parenthèses) (° = résultats par g poids sec parties molles; °° = résultats par g poids sec coquille; A = assimilation; R = respiration; E = excrétion; P = SFG; Lg/PS = indice d'occupation de la coquille; métaux lourds en ug/g; paramètres physiologiques en J/h).

d'une des trois coordonnées montre que la contribution absolue de cet élément est plus grande à l'axe correspondant à la coordonnée. Dans le tableau 31 sont repris les éléments importants dans la construction des axes factoriels.

La majorité de l'information est représentée par le facteur 1 (62.04 %). Plus de 90 pourcents de celle-ci est traitée dans l'espace à trois dimensions formé par les trois premiers axes factoriels. La plupart des éléments importants de l'axe 1 sont des paramètres (physiologiques et métaux lourds) corrigés par gramme de poids sec de coquille. Tandis que pour les autres facteurs, il y a autant de paramètres corrigés par gramme de poids sec de parties molles que par gramme de poids sec de coquille. Les paramètres physiologiques et les teneurs en métaux lourds sont représentés sur les trois axes. Certains de ceux-ci contribuent à la formation de plusieurs axes (par exemple Hg/PScoq, P/PScps...).

3.4.1.2. Distances entre les stations.

Afin d'estimer les "degrés" de différences entre les stations nous avons mesurés les distances qui les séparent dans l'espace à trois dimensions:

	K	N	M	W	KN	B
K	-	<u>0.24</u>	0.64	0.67	0.74	0.96
N	<u>0.24</u>	-	0.50	0.54	0.60	0.74
M	<u>0.64</u>	0.50	-	0.51	0.49	0.73
W	0.67	0.54	0.51	-	<u>0.09</u>	0.50
KN	0.74	0.60	0.49	<u>0.09</u>	-	0.48
B	0.94	0.74	0.73	<u>0.50</u>	0.48	-

K = Koksijde; N = Nieuwpoort; M = Middelkerke; W = Wenduine; KN = Knokke; B = Breskens (souligné = stations proches).

Ce tableau met en évidence de manière très nette que les distances sont plus grandes quand on compare des stations qui sont plus éloignées géographiquement (une seule exception: Middelkerke-Wenduine et Middelkerke-Knokke). Il ressort également que Wenduine et Knokke sont très proches, ainsi que dans une moindre mesure Koksijde et Nieuwpoort.

	F1 62.04 %	F2 16.43 %	F3 11.57 %
OBJETS	Koksijde Nieuwpoort Breskens (Wenduine) (Knokke)	Middelkerke (Nieuwpoort) (Knokke) (Breskens)	Middelkerke Wenduine (Knokke)
ATTRIBUTS	Hg/PScps Ti/PScps Cu/PScoq Cr/PScoq R/PScoq P/PScoq (Cd/PScps) (Pb/PScoq) (Ti/PScoq) (A/PScoq) (E/PScoq)	R/PScps E/PScps (Hg/PScoq) (Zn/PScps) (Ti/PScoq) (P/PScps) (E/PScoq)	Cr/PScps (Hg/PScoq) (Pb/PScoq) (P/PScps) (A/PScoq)

Tableau 31. Evaluation des objets et des attributs importants contribuant à la formation des axes factorielles F1, F2 et F3 (% = information supportée par les axes) (PScps = poids sec parties molles; PScoq = poids sec coquille; A = assimilation; E = excrétion; P = SFG; () = élément moins important).

3.4.1.3. Rapprochement des objets et des attributs.

Dans le tableau suivant sont repris les attributs se trouvant à une distance égale ou inférieure à 0.30 des objets. Cette distance a été choisie arbitrairement comme le sixième de la distance maximale observée (1.83) (détails voir annexe 11) :

Koksijde	Nieuwp.	Middelk.	Wenduine	Knokke	Breskens
Ti/PScps	Ti/PScps	Zn/PScps	Cu/PScps	Cu/PScps	Hg/PScps
Cu/PScoq	Cu/PScoq	Lg/PS	Hg/PScoq	Hg/PScoq	Pb/PScps
Cr/PScoq	Cr/PScoq	R/PScps	Zn/PScoq	Zn/PScoq	P/PScoq
A/PScoq	Pb/PScoq		Lg/PS	Lg/PS	
R/PScoq	O:N		A/PScps	A/PScps	
	R/PScoq		R/PScps	R/PScps	
			E/PScps	E/PScps	
			P/PScps		

PScps = poids sec parties molles; PScoq = poids sec coquille; A = assimilation; R = respiration; E = excrétion; P. = SFG.

Les attributs proches des stations sont souvent des paramètres qui prennent des valeurs élevées dans celles-ci. Ces paramètres peuvent donc caractériser ces stations. Toutefois, notons quelques exceptions. En effet, certains de ces paramètres ne prennent pas des valeurs très différentes d'une station à l'autre (par exemple P/PScps à Wenduine) et ne sont donc pas caractéristiques d'une station comme pourrait le faire croire les distances qui les séparent.

3.4.1.4. Les points au croisement des axes.

Sept points sont situés près du croisement des trois axes factoriels. Il s'agit de: Cu/PScps, Pb/PScps, Hg/PScoq, Zn/PScoq, Lg/PS, R/PScps et P/PScps. Ces paramètres présentent des valeurs pas très différentes dans les six stations, ce qui explique leur proximité du croisement des facteurs.

3.4.2. Analyse factorielle des correspondances.

Deuxième partie (fig. 38 et 39).

Dans la matrice utilisée pour l'analyse factorielle des correspondances précédente, nous avons rassemblés le résultats

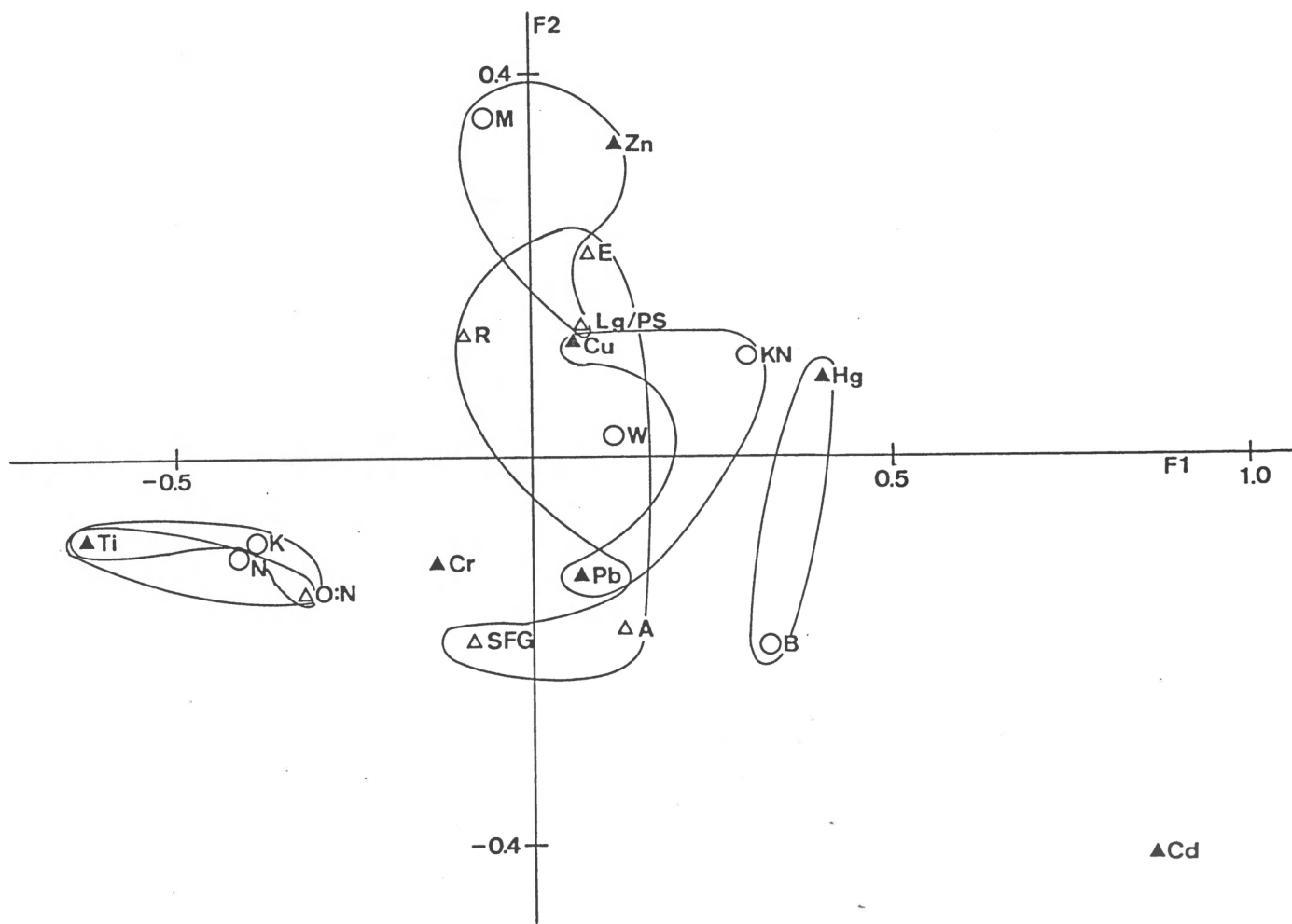


Figure 38. Projection de la distribution des objets et des attributs (correction par g de poids sec parties molles) dans le plan délimité par les axes 1 (F1 59.42 %) et 2 (F2 22.00 %).

Attributs (triangles): A = assimilation, R = respiration, E = excrétion.

Objets (cercles): K =Koksijde, N = Nieuwpoort, M = Middelkerke, W = Wenduine, KN = Knokke, B = Breskens.

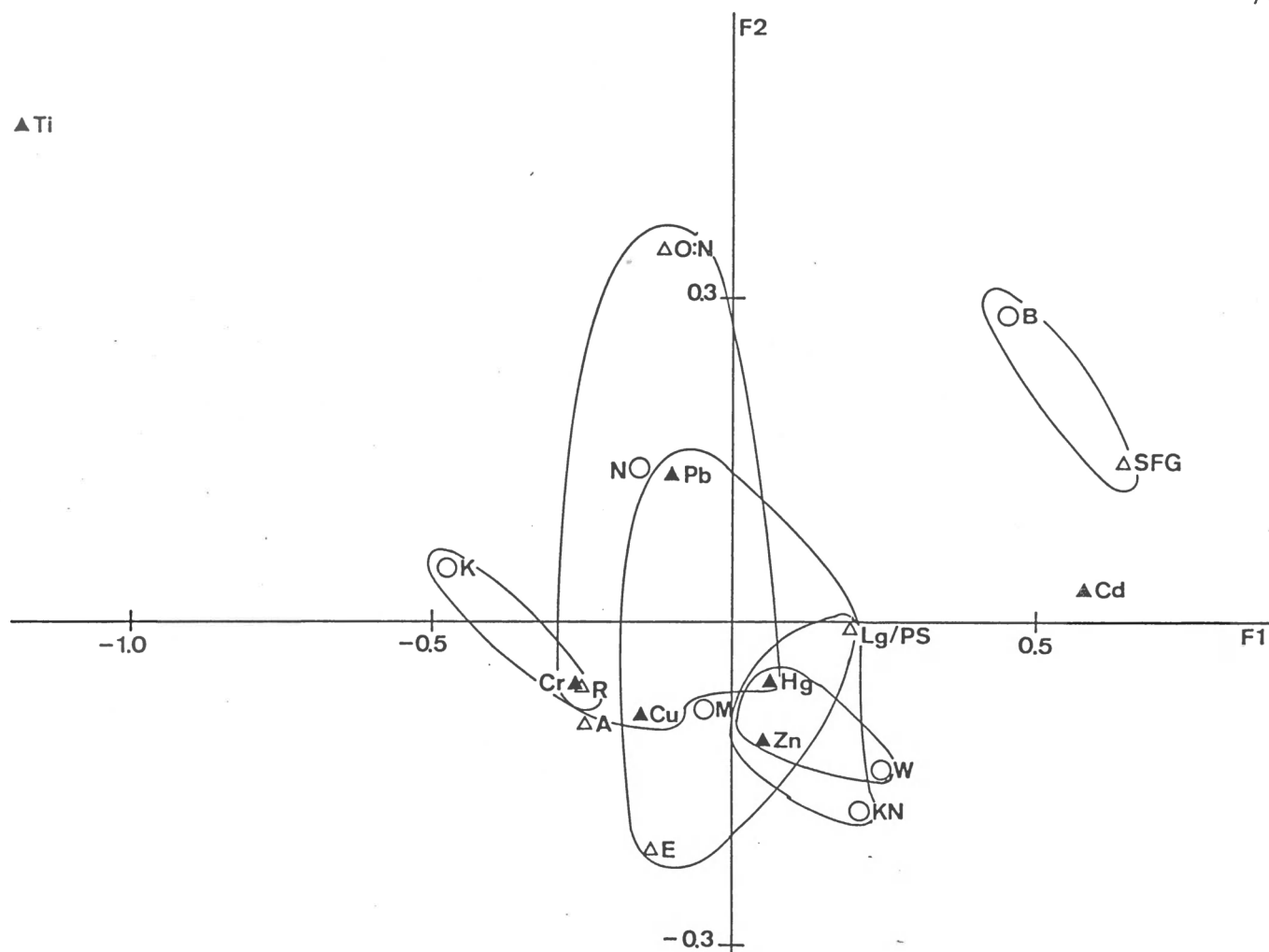


Figure 39. Projection de la distribution des objets et des attributs (correction par g de poids sec coquille) dans le plan délimité par les axes 1 (F1 65.58 %) et 2 (F2 16.05 %).

Attributs (triangles): A = assimilation, R = respiration, E = excrétion.

Objets (cercles): K = Koksijde, N = Nieuwpoort, M = Middelkerke, W = Wenduine, KN = Knokke, B = Breskens.

exprimés par g de poids sec de parties molles et de coquille. Pour les deux analyses suivantes ces résultats seront traités séparément.

3.4.2.1. Contributions absolues et relatives.

Les objets et les attributs contribuant à la formation des axes factoriels sont repris dans les tableaux 32 (correction par g de poids sec parties molles = PScps) et 33 (correction par g de poids sec coquille). La quantité d'information traitée dans les deux cas est élevée sur les trois premiers facteurs: 95.14 % (PScps) et 91.34 % (PScoq). Les stations contribuent de la même manière à la formation des axes dans les trois analyses. Remarquons cependant, que dans l'analyse PScps les stations contribuent moins à la formation des axes 2 et 3 par rapport aux deux autres analyses. Par contre, les attributs contribuent différemment à la formation des axes dans les deux analyses (PScps et PScoq). La comparaison de ces deux analyses avec l'analyse précédente montre que les attributs sont associés de façon équivalente, globalement, aux axes en tenant compte du type de correction.

3.4.2.2. Distances entre les stations.

Les distances entre les stations (dans l'espace à trois dimensions) sont repris dans les tableaux suivant:

	K	N	M	W	KN	B
K	-	0.03	0.58	0.53	0.74	0.75
N	0.03	-	0.61	0.55	0.75	0.77
M	0.58	0.61	-	0.51	0.57	0.61
W	0.53	0.55	0.51	-	0.21	0.45
KN	0.74	0.75	0.57	0.21	-	0.46
B	0.75	0.77	0.69	0.45	0.46	-

	F1 59.42 %	F2 22.00 %	F3 13.72 %
OBJETS	Koksijde Nieuwpoort Knokke Breskens (Wenduine)	Middelkerke (Breskens)	Wenduine
ATTRIBUTS	Hg Cd Ti O:N (R)	Cu Pb Zn Lg/PS E SFG (A) (R)	Cr Pb SFG (A)
	F1 65.58 %	F2 16.05 %	F3 9.71 %
OBJETS	Koksijde Nieuwpoort Wenduine Knokke Breskens	Wenduine Knokke (Nieuwpoort) (Breskens)	Middelkerke (Wenduine)
ATTRIBUTS	Cr Cd Pb Ti Lg/PS A R SFG (E)	Pb Zn O:N E	Lg/PS A

Tableaux 32 et 33. Evaluation des objets et des attributs importants contribuant à la formation des axes factorielles F1, F2 et F3. Tableau 32 (supérieur) = analyse PScps, tableau 33 (inférieur) = analyse PScsq. (% = information supportée par les axes) (PScps = poids sec parties molles; PScsq = poids sec coquille; A = assimilation; R = respiration; E = excrétion; Lg/PS = indice d'occupation des coquille; () = élément moins important).

	K	N	M	W	KN	B
K	-	0.34	0.56	0.75	0.72	0.96
N	0.34	-	0.37	0.50	0.48	0.63
M	0.56	0.37	-	0.50	0.39	0.67
W	0.75	0.50	0.50	-	<u>0.12</u>	0.49
KN	0.72	0.48	0.39	<u>0.12</u>	-	0.52
B	0.96	0.63	0.67	0.49	0.52	-

Tableau supérieur analyse PScps, tableau inférieure analyse PScoq.
 K = Koksijde; N = Nieuwpoort; M = Middelkerke; W = Wenduine; KN = Knokke; B = Breskens (souligné = stations proches).

Les conclusions émises lors de l'analyse précédente (distances corrélées avec l'éloignement géographique et proximité de Koksijde-Nieuwpoort et Wenduine-Knokke) ressortent également de manière plus ou moins nette dans ces deux analyses.

3.4.2.3. Rapprochement des objets et des attributs.

Dans les deux tableaux suivant sont repris les attributs se trouvant à une distance égale ou inférieure à 0.30 des stations (voir aussi fig. 38 et 39):

Koksijde	Nieuwp.	Middelk.	Wenduine	Knokke	Breskens
Ti O:N	Ti O:N	Zn Lg/PS	Cu Cr Lg/PS A R E SFG	Cu E	Hg PB
Koksijde	Nieuwp.	Middelk.	Wenduine	Knokke	Breskens
Cr R	Hg Cu Cr Pb O:N R	Hg Cu Pb Zn Lg/PS E	Hg Zn	Hg Zn Lg/PS	SFG

Tableau supérieur analyse PScps, tableau inférieure analyse PScoq.
 A = assimilation; R = respiration; E = excrétion.

En général, en considérant le type d'expression des résultats, nous remarquons que ceux-ci sont associés aux mêmes stations par comparaison avec l'analyse précédente. Les deux tableaux ci-dessus montrent aussi que selon le type de correction les attributs ne sont pas mis en correspondance avec les mêmes stations.

3.4.2.4. Les points au croisement des axes.

Les points au croisement des axes sont Cu et Lg/ps pour la première analyse, et Hg et Pb pour la seconde, c'est-à-dire les mêmes points que lors de l'analyse précédente.

3.4.3. Conclusions.

L'analyse factorielle des correspondances est un moyen qui aide à la synthèse et à l'interprétation des résultats, quand ceux-ci sont abondants et quand il ne semble pas exister de corrélations évidentes entre eux.

Les trois analyses réalisées ont mis en évidence le "degré" de différence qu'il existe entre les stations. Le phénomène observé est identique dans les trois analyses, à savoir que plus les stations sont différentes plus elles sont éloignées géographiquement. Par contre, la détermination des caractéristiques de chacun des lieux de prélèvement n'est pas la même selon l'expression des résultats choisis: mesures dans les tissus corrigés par rapport à un g de poids sec de parties molles ou de coquille.

4. CONCLUSIONS GENERALES.

Au début de ce travail, nous nous étions proposé d'étudier l'évolution au cours d'une année de l'état de la pollution du littoral belge au moyen d'un indicateur biologique, la moule, Mytilus edulis. Cet organisme, nous l'avons étudié sous deux angles différents:

1. comme un indicateur de l'ensemble de la pollution, par des mesures de stress physiologique (Scope for Growth et rapport O:N).

2. comme un indicateur de la pollution par différents métaux lourds, par des mesures conformes au concept du "Mussel Watch".

De manière tout à fait générale, notre étude montre l'intérêt des mesures de Scope for Growth, la limitation de l'approche "Mussel Watch" seule (les effets de la pollution sont masqués par l'état physiologique de la moule - les moules éliminent les métaux beaucoup plus rapidement que prévu), et l'intérêt de compléter cette approche en exprimant les résultats par gramme de coquille, comme l'a suggéré FISCHER.

De manière générale, et en ce qui concerne le littoral belge, les différentes stations que nous avons étudiées sont soumises à trois sources distinctes de pollution, sources dont l'importance relative varie au cours de l'année et en fonction du biotope déterminé. Ces trois sources sont:

- L'estuaire de l'Escaut
- La Manche
- Des sources ponctuelles et temporaires plus strictement limitées à la station (installations portuaires, pollutions bactériennes, rejets d'égouts, etc...).

Le stress résultant de la pollution par les métaux lourds ne peut à lui seul expliquer nos observations physiologiques: les niveaux de contamination sont faibles, sauf probablement en ce qui

concerne le titane (ce qui devrait être confirmé), et d'autres polluants, tels les hydrocarbures et les PCB devraient être examinés.

L'existence de phénomènes locaux très temporaires nécessiterait par ailleurs des études ponctuelles avec une fréquence beaucoup plus grande que celle que nous avons utilisée au cours de cette étude.

Dans le but d'une standardisation plus complète des mesures physiologiques et des teneurs en métaux lourds, il serait intéressant d'implanter à chaque station des moules "standard" provenant d'un même endroit et préalablement analysées et sélectionnées. Ces moules pourraient être placées dans des cages par groupes de quelques dizaines d'individus et arrimées aux brises-lames des stations étudiées.

De l'ensemble de ce travail se dégagent les traits généraux suivants:

Au cours de l'étude de l'état physiologique des moules nous avons relevé des maxima d'énergie consommée en juillet-août et janvier-février parallèlement à une diminution de la respiration. L'excrétion d'ammoniaque présente un maximum en hiver et au printemps. De ce fait, le SFG devrait présenter des valeurs positives pour les moules prélevées fin de l'été, début de l'automne (le calcul n'a pu être effectué étant donné les problèmes rencontrés avec les fèces et les cultures d'algues). Ces conditions physiologiques plus favorables coïncident avec une diminution des concentrations en Cd, Cr, Pb, Ti, Hg rapportées au poids sec des parties molles et de celles de tous ces éléments, excepté le Hg, rapportées au poids sec des coquilles. Les variations des indices physiologiques et des teneurs en métaux lourds (non essentiels) paraissent donc être saisonnières et sont probablement liées au cycle gamétogénique des moules (accumulation des métaux dans les gonades et perte d'une partie de la charge totale des moules en métaux avec la libération des gamètes lors du spawning, communication personnelle, Herman).

L'index d'occupation de la coquille et les concentrations en métaux lourds exprimées par gramme de poids sec des parties molles sont en général toujours plus élevées à Oostende qu'à Nieuwpoort. Cette distinction est nettement atténuée lorsqu'on exprime les résultats par gramme de coquille excepté pour des cas particuliers correspondant à des pollutions locales.

Le rapport O:N étant fonction de la pollution mais aussi et surtout de la température et du cycle gamétogénique des moules, ne constitue pas un index fiable de stress lors d'une étude temporelle mais peut être utilisé lors de la comparaison de différentes stations à une même époque de l'année.

En Octobre 1986, O:N présente des valeurs basses et les autres paramètres physiologiques ne permettent pas de réel classement des stations. Les seuls gradients observés nettement pour les métaux lourds concernent le Cr (augmentation de Koksijde à Breskens) et le Cu (diminution de Koksijde à Breskens).

En avril 1987, le rapport O:N décroît de Koksijde à Knokke et nous observons un gradient croissant de Koksijde à Breskens en Zn, Cd, Cr, Pb, Hg exprimés par gramme de poids sec des parties molles. Par contre, ce gradient disparaît pour le Zn, Cd, Pb, Hg et s'inverse même pour le Cr lorsqu'on exprime les concentrations par gramme de coquille. Dans ce cas, nous n'observons donc pas de corrélation entre les facteurs physiologiques de stress et les niveaux de pollutions en métaux lourds .

L'analyse factorielle des correspondances nous apprend cependant qu'il existe une similitude au niveau des différents paramètres physiologiques et des teneurs en métaux lourds entre d'une part Knokke et Wenduine et d'autre part Koksijde et Nieuwpoort. Lorsqu'on compare toutes les stations à l'une d'entre elles, les différences s'accroissent plus on s'en éloigne géographiquement. Il existe donc un gradient lorsqu'on intègre tout les résultats et celui-ci est plus net lorsque ces paramètres mesurés sont exprimés par gramme de coquille.

L'analyse factorielle des correspondances apparait donc comme un outil précieux permettant d'estimer l'état global de l'environnement marin en intégrant plusieurs paramètres qui déterminent chacun avec leurs potentialités cet état de l'environnement. Dès lors, cette intégration devrait s'étendre à un maximum de paramètres mesurables comme les PCB et les hydrocarbures.

BIBLIOGRAPHIE

- Akberali H.B. & Trueman E.R. (1985). Effects of environmental stress on marine Bivalve Molluscs. *Advances in Marine Biology* 22: 101-198
- Bayne B.L. (1973). Physiological changes in Mytilus edulis L. induced by temperature and nutritive stress. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 53: 39-58
- Bayne B.L., Brown D.A., Burns K., Dixon D.R., Ivanocivi A., Livingstone D.R., Lowe D.M., Stebbing A.R.D. & Widdows J. (1985). The effects of stress and pollution on marine animals. Praeger Publishers 384 pp.
- Bayne B.L., Holland D.L., Moore M.N., Lowe D.M. & Widdows J. (1978). Further studies on the effects of stress in the adult on the eggs of Mytilus edulis. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 58: 825-841
- Daget (1973). Les modèles mathématiques en écologie. Ed. Masson, Paris, New-York, Barcelone, Milan. 170 pp.
- Dagnelie P. (1975). Analyse statistique à plusieurs variables. Les Presses Agronomiques de Gembloux. 362 pp.
- Chipperfield P.N.J. (1953). Observations on the breeding and settlement of Mytilus edulis (L.) in British waters. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 32: 449-476.
- Conover R.J. (1966). Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limn. Oceanogr.* 11: 338-345
- Corner E.D.S. & Cowey C.B. (1968). Biochemical studies on the production of marine zooplankton. *Biol. Rev.* 43: 393-426
- Cossa D., Bourget E., Pouliot D., Piuze J. & Chanut J.P. (1980). Geographical and seasonal variations in the relationship between trace metal content and body weight in Mytilus edulis. *Mar. Biol.* 58: 7-14.
- Crisp D.J. (1971). Energy flow measurements. In: Methods for the study of marine benthos. N.A. Holmes & A.D. McIntyre (Eds). IBP Handbook 16. Oxford. Blackwell Scientific Publications: 197-279
- De Wolf P. (1975). Mercury content of mussels from West European Coasts. *Mar. Poll. Bull.* 6: 61-63.
- Donkin P. & Widdows J. (1986). Scope for growth as a measurement of environmental pollution and its interpretation using structure-activity relationships. In: *Ecotoxicology - Effects of chemicals on the aquatic environment*. Chemistry and Industry 1: 732-737
- Elliot J.M. & Davison W. (1975). Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia* 19: 195-201
- Fischer H. (1983). Shell weight as an independent variable in relation to Cadmium content of Molluscs. *Mar. Ecol. Prog Ser.* 12: 59-75.

- Fischer H. (1986). Influence of temperature, salinity, and oxygen on the Cadmium balance of mussels Mytilus edulis. Mar. Ecol. Prog. Ser. 32: 265-278.
- Gabbott P.A. & Bayne B.L. (1973). Biochemical effects of temperature and nutritive stress on Mytilus edulis L. J. mar. biol. Ass. U.K. 53: 269-286
- Goldberg E.D., V.T.Bowen, J.W.Farrington, G.Harvey, J.H.Martin, P.L.Parker, R.W.Risebrough, W.Robertson, E.Schneider and E.Gamble. (1978) Environ., Cons. 5: 101-125.
- Guillard R.R.L. & Ryther J.H. (1962). Studies of marine planktonic Diatoms. 1. Cyclotella nana Hustedt and Detonula confervacea (Cleve) Gran. Canadian Journal of Microbiology 8: 229-239
- Hawkins A.J.S., Salked P.N., Bayne B.L., Gnaiger E. & Lowe D.M. (1985). Feeding and resource allocation in the mussel Mytilus edulis evidence for time-averaged optimization. Mar. Ecol. Prog. Ser. 20: 273-287
- Herman P., R. Vanderstappen et I.Elskens. (1976). Contamination de la faune et de la flore marine in situ. Programme national de recherche et de développement. Environnement eau. Projet mer. Rapport final. Vol. 9: Contamination des produits de la mer. Ed. par J.C. Nihoul et A. Distèche. 18-39.
- Herman P.M.J., Habets M., Heip C., Bouqueneau J.M. & Dopagne C. Mussel stress experiment. Final Report. BMM-UGMM research contract nr. 85/17. 23 pp.
- Kiorboe T. Mohlenberg F. & Norh O. (1981). Effect of suspended bottom material on growth and energetics in Mytilus edulis. Mar. Biol. 61: 283-288
- Lowe D.M., Moore M.N. & Bayne B.L. (1982). Aspects of gametogenesis in the marine mussel Mytilus edulis. J. mar. biol. Ass. U.K. 62: 133-145
- Luten J.B., W.Bouquet, M.M.Burggraaf, A.B.Rauchar and J.Rus (1986). Trace metals in mussels from the Waddenzee, coastal North Sea and the Estuaries of Ems, Western and Eastern Scheldt. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 36: 770-777.
- Massies L.C, Ward A.P., Davies J.M. & Mackie P.R. (1985). Mar. Environ. Res. 15: 165-213
- Mayzaud P. (1973). Respiration and nitrogen excretion of zooplankton II. Studies of aquatic characteristics of starved animals. Mar. Biol. 21: 19-28.
- Navarro J.M. & Winter J.E (1982). Ingestion rate assimilation efficiency and energy balance in Mytilus chilensis in relation to body size and different algal concentrations. Mar. Biol. 67: 255-266
- Phillips D.J.H. (1978). Use of biological indicator organisms to quantitate organochlorine pollutants in aquatic environments - A review. Environ. Pollut. 16: 167-229.

- Riisgard H.U & Randlov A. (1981). Energy budgets growth and filtration rates in Mytilus edulis at different algal concentrations. Mar. Biol. 61: 227-234
- Solorzano L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. Limnol. Oceanogr. 14: 799-801
- Strickland J.D.H. & Parsons T.A. (1968). A practical handbook of seawater analysis. Stevenson ed., Ottawa. 311 pp.
- Thompson R.J. (1984). The reproductive cycle and physiological ecology of mussel Mytilus edulis in a subarctic non-estuarine environment. Mar. Biol. 79: 277-288.
- Thompson R.J. & Bayne B.L. (1974). Some relationships between growth metabolism and food in the mussel Mytilus edulis. Mar. Biol. 27: 317-326
- Verneaux J. (1973). Cours d'eaux de Franc-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs - essai de biotypologie. Ministère de l'Agriculture, Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture du CTGREF.
- Warren G.E. & Davis G.E (1967). Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish. In: The biological basis of freshwater fish production. S.D.Gerking. Blackwell Scientific Publication. Oxford. 175-214
- Widdows J. (1978a). Physiological indices of stress in Mytilus edulis. J. mar. biol. Ass. U.K. 58: 125-142
- Widdows J. (1978b). Combined effects of body size, food concentration, and season on the physiology of Mytilus edulis. J. mar. biol. Ass. U.K. 58: 109-124
- Widdows J. & Bayne B.L. (1971). Temperature acclimation of Mytilus edulis with reference to its energy budget. J. mar. biol. Ass. U.K. 51. 827-843
- Widdows J., Phelps D.K. & Galloway W. (1980). Measurement of physiological condition of mussels transplanted along a pollution gradient in Narragansett bay. Mar Environ. Res. 4: 181-194
- WRC Environment (1985). Training procedure - Scope for growth.