

# Influence du cycle de reproduction et des conditions du milieu sur la croissance pondérale de *Mytilus galloprovincialis* basée sur l'utilisation d'un animal standard

*On the effect of environmental conditions and sexual cycle on weight growth of Mytilus galloprovincialis based on use of standard animal*

Nejla Aloui-Bejaoui\*, Marcel Le Pennec\*\*, Salah Rezgui\*, Fadhila Maamouri\*\*\*

\* Institut national agronomique de Tunisie, 43, avenue Charles Nicolle, 1082, Tunisie

\*\* Institut universitaire européen de la mer, Technopôle Brest-Iroise, 29280 Plouzané, France

\*\*\* Faculté des sciences de Tunis, Campus Universitaire, Tunis, Tunisie

**Mots clés :** *Mytilus galloprovincialis*, croissance, animal standard, mytiliculture, lac de Bizerte.

**Key-words:** *Mytilus galloprovincialis*, growth, standard animal, mussel culture, Bizerte Lake.

## RÉSUMÉ

Aloui-Bejaoui N., M. Le Pennec, S. Rezgui, F. Maamouri - Influence du cycle de reproduction et des conditions du milieu sur la croissance pondérale de *Mytilus galloprovincialis* basée sur l'utilisation d'un animal standard. Mar. Life, **12** (1-2) : 47-57.

Une étude portant sur la croissance de *Mytilus galloprovincialis* est réalisée en trois stations conchylicoles du lac de Bizerte (Tunisie) d'octobre 1994 à septembre 1995. Le suivi biométrique des moules a permis d'établir les relations allométriques mensuelles liant la longueur de la coquille aux poids total, de chair fraîche, de chair sèche et de coquille. Les variations pondérales d'un animal standard de 60 mm de longueur sont corrélées aux facteurs du milieu représentés par la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH et la teneur en chlorophylle a. L'analyse des corrélations établies montrent que les deux facteurs du milieu les plus associés aux variables de croissance sont la température et la teneur en chlorophylle a. Une analyse de régression multiple montre que sur l'ensemble des stations, la température apparaît comme le descripteur expliquant le mieux la variabilité du poids total et du poids de coquille des moules. La chlorophylle a est le second descripteur qui intervient sur la variation du poids de chair fraîche et sèche. À l'échelle des stations, la température explique à elle seule la variabilité de la totalité des descripteurs de croissance à l'exception du poids de chair fraîche. L'importance de la température dans les modèles de croissance établis confirme le rôle de cette variable dans les fluctuations du poids de chair sèche de l'individu standard. Ce descripteur apparaît comme le plus représentatif de l'état d'occupation des tissus par les cellules sexuelles ou les réserves liées au cycle de reproduction de *Mytilus galloprovincialis*.

## ABSTRACT

Aloui-Bejaoui N., M. Le Pennec, S. Rezgui, F. Maamouri - [On the effect of environmental conditions and sexual cycle on weight growth of *Mytilus galloprovincialis* based on use of standard animal]. Mar. Life, **12** (1-2) : 47-57.

A growth study of *Mytilus galloprovincialis* was undertaken from October 1994 to September 1995 in three shellfish farming sites of Bizerte Lake (Tunisia). Biometric surveys of mussels were used to establish the monthly allometric relationships between the shell length and the total weight, wet and dry tissues and shell weight. A standard animal of 60 mm shell length was chosen to correlate its ponderal variations with some environmental factors: temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and chlorophyll-a. Analysis of correlations obtained revealed that the factors mainly associated with the length were the temperature and the chlorophyll-a. Multilinear regression analysis showed that in all stations, the temperature appeared as a descriptor explaining all the variabilities of the total weight and that chlorophyll-a was related to the wet tissues weight. At each station the temperature was responsible for the variations of all descriptors except the wet tissues weight. This environmental factor appeared in *Mytilus galloprovincialis* as the most representative for the gametes development or the reserve components linked with the sexual cycle.

## INTRODUCTION

La croissance est définie comme la mesure de l'augmentation de taille et de poids d'un individu, en fonction du temps et des variables environnementales. Cependant, la dynamique pondérale des moules est étroitement liée à l'activité reproductrice des individus dans une population donnée (Seed, 1973) ; elle est perturbée chez les bivalves par les processus liés à la reproduction (Le Penneec, 1981). L'accumulation temporaire de réserves qui sont ensuite converties en gamètes expulsés dans le milieu naturel pour assurer la fécondation, occasionne une perte brutale du poids et un ralentissement, voire un arrêt de la croissance (Barillé, 1996). Cet auteur suggère de séparer ces deux processus afin de déterminer avec précision l'influence des contraintes du milieu sur la croissance ou sur la reproduction.

L'augmentation de la biomasse de la chair d'un animal standard permet d'évaluer les variations pondérales lorsque celui-ci accumule des réserves pour la reproduction, indépendamment de la croissance de sa coquille (Kautsky, 1982 ; Hilbish, 1986 ; Barillé, 1996). Le suivi biométrique d'un individu standard permet ainsi de mettre en évidence l'évolution des réserves indépendamment de l'accumulation de matériel due à la croissance somatique (Dare, Edwards, 1975 ; Rodhouse *et al.*, 1984). Un tel suivi permet donc une analyse qualitative du produit en conchyliculture durant le cycle biologique d'autant plus que les variations temporelles du poids d'un animal standard reflètent tout à fait, selon Hilbish (1986), les variations de la productivité et de la fécondité des individus. L'intérêt de notre étude est de pouvoir lier les variations pondérales d'un animal standard aux phénomènes

physiologiques de la reproduction mis en évidence chez des individus de *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) issus de trois stations du lac de Bizerte (Aloui-Bejaoui, 1998). L'étude de la croissance pondérale d'un animal standard est également utilisée dans ce travail dans le but de décrire l'influence des différents paramètres du milieu sur la croissance pondérale des tissus, indépendamment de la croissance de la coquille, et de comparer la stratégie de croissance des moules provenant de ces trois sites. La comparaison entre populations de moules en élevage n'ayant pas en même temps le même poids et la même taille n'est en effet possible que par l'utilisation d'un animal standard (Barillé, 1996).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Stations et stratégies de prélèvement

Les prélèvements de *M. galloprovincialis* et d'eau qui nous ont permis de réaliser l'étude biologique et hydrologique ainsi que les mesures des paramètres physico-chimiques du milieu ont été effectués sur un cycle annuel, d'octobre 1994 à septembre 1995, dans trois stations conchylicoles du lac de Bizerte (figure 1). Les deux premières stations représentent un milieu de type lagunaire sous influence directe des apports d'origine anthropique des villes de Menzel Jemil et Menzel Abderrahman. La station 3 est sous forte influence marine.

Prélèvement des moules pour l'étude biologique

Les moules ont été prélevées mensuellement sur des cordes suspendues à des radeaux, à raison de 100 individus par station et par mois. Ces échantillons

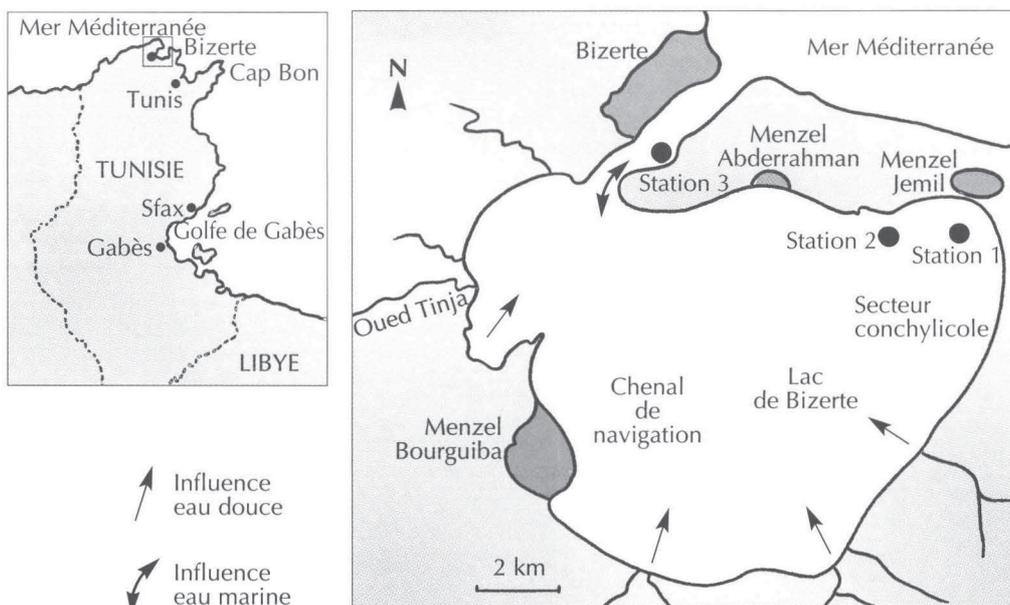


Figure 1 - Situation géographique du lac de Bizerte et localisation des stations d'étude. / Location of Bizerte Lake and experimental stations.

ont permis d'établir, chaque mois, les relations liant la longueur aux différents paramètres pondéraux. Au total 3 600 individus ont été traités en croissance relative. Les mensurations ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique précis au 1/100<sup>e</sup> de mm. Les différentes pesées ont été réalisées au moyen d'une balance de précision à 0,01 g.

Pour chaque individu, les paramètres suivants ont été calculés :

- la longueur (L) qui est la plus grande dimension parallèle à l'axe de la charnière ;
- le poids total frais (Ptot) correspondant au poids de l'individu entier vivant ;
- le poids de chair fraîche (Pchf) représentant le poids de l'ensemble de la masse viscérale fraîche égouttée ;
- le poids de coquille fraîche (Pcoq) qui est celui de la coquille vide égouttée ;
- le poids de chair sec (Pchs) correspondant au poids de la masse viscérale après séchage à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant (environ 72 heures). Le poids obtenu est celui de la masse viscérale entièrement déshydratée.

Les relations liant la longueur aux différentes variables pondérales nous aideront à traduire une allométrie ou une isométrie de croissance, la longueur et le poids étant, entre-eux dans des rapports de puissance. De telles relations permettront de mesurer l'évolution morphologique des individus au cours de leur croissance.

#### Mesures des paramètres hydrobiologiques

L'échantillonnage d'eau nécessaire au dosage de la chlorophylle *a* et les mesures *in situ* des paramètres du milieu ont été réalisés tous les quinze jours dans chacune des stations à un mètre de profondeur à l'aide d'une bouteille à renversement pour le dosage de la chlorophylle *a* et au moyen d'une sonde étanche pour les mesures physico-chimiques. Une moyenne globale mensuelle a été prise en considération pour l'ensemble de ces paramètres dans chaque station étudiée.

La méthode utilisée pour le dosage de la teneur du milieu en chlorophylle *a* dans l'eau est celle de Lorenzen (1967).

#### Traitement des données statistiques en croissance relative

La relation entre la longueur et chacune des variables pondérales est décrite par l'équation suivante :

$$y = a x^b$$

où :

- *a* est une constante représentant l'indice de l'origine ou coefficient de condition, c'est-à-dire la valeur de *y* quand *x* = 1 ;
- *b* est le coefficient de croissance relative. Il représente la pente dans la forme linéarisée de l'équation ;
- *y* est la variable aléatoire dépendante, représentant le poids d'une partie ou de la totalité du corps ;

- *x* est la variable indépendante représentant la longueur *L*.

Les coefficients de régression *a* et *b* ont été estimés par la méthode des moindres carrés après linéarisation (transformation logarithmique). La fonction linéaire est alors :

$$\log y = \log a + b \log x$$

On considère que les résidus du modèle d'origine ont une structure multiplicative et non additive. Cette supposition permet d'estimer les paramètres *a* et *b* de l'équation  $y = a x^b$  qui est alors considérée comme un modèle stable dont on peut tester l'allométrie avec précision (Myers, 1986). Les biais relatifs aux paramètres estimés après transformation logarithmique sont alors négligeables (Box, Cox, 1982).

Le calcul des paramètres statistiques des équations de régression est effectué moyennant la procédure ProcReg du logiciel SAS (Statistical Analysis System, version 6.03, 1990).

Le test *t* de Student au seuil de probabilité de 5% (Dagnélie, 1982) est utilisé pour comparer les coefficients de régression dans les trois stations. L'homogénéité des variances est testée par le test de Bartlett.

L'étude de la croissance d'un animal standard est basée sur l'analyse des résultats des équations liant la taille et les différents poids. Ces relations allométriques permettent l'estimation du poids théorique qu'aurait une moule de taille standard, c'est-à-dire un individu fictif dont la taille est supposée fixe au cours du temps. La taille standard retenue est de 60 mm. Le choix de cette longueur repose sur le fait qu'il s'agit de la taille marchande admise en Tunisie et qu'elle correspond par ailleurs à une période où l'individu destine l'essentiel des produits qu'il synthétise à la reproduction. En effet, chez l'individu jeune, la plus grande part de l'énergie est destinée à sa croissance somatique (Parache, 1983).

L'analyse des relations existant entre les variables du milieu étudié, c'est-à-dire : la température, la salinité, la teneur en oxygène dissous, le pH, la teneur en chlorophylle *a* et la croissance, permet de quantifier l'influence des différentes variables du milieu sur la croissance pondérale de l'individu standard représentée par son poids total, son poids de chair fraîche et sèche et par son poids de coquille. L'analyse de corrélation est réalisée sur les valeurs mensuelles des cinq paramètres du milieu et sur les valeurs mensuelles des variables de croissance de l'animal standard de 60 mm de longueur, calculées à partir des équations allométriques mensuelles.

L'analyse de régression multiple "pas à pas" a été utilisée pour dégager le ou les descripteurs du milieu qui contribuent le plus dans l'explication de la croissance. Le principe de cette analyse est la généralisation à un espace à *n* dimensions de la régression linéaire et s'adresse à *n* variables au lieu

de 2 seulement. Dans la présente analyse, les descripteurs hydrobiologiques sont les moyennes mensuelles de température et de teneur en chlorophylle *a*, et les descripteurs de croissance sont les valeurs mensuelles du poids total et des poids de chair fraîche, sèche, et de coquille mises en évidence dans l'étude de la croissance d'un animal standard sur un cycle annuel.

## RÉSULTATS

Le tableau 1 représente les variations mensuelles des équations allométriques liant la longueur aux différentes variables pondérales, ainsi que les variations de poids d'un individu de taille standard.

Les courbes de variations de ces paramètres pondéraux sont représentées dans les figures 2 à 5.

Le poids total d'un individu standard est en moyenne, au mois d'octobre égal à  $19 \pm 2,87$  ;  $18,2 \pm 3,65$  et  $17,1 \pm 6,14$  g respectivement dans les stations 1, 2 et 3. Au mois de septembre, de l'année d'après, l'animal standard montre :

- dans la station 1, un gain de poids de 0,33 g (soit 1,73% du poids initial) ;
- dans la station 2, un amaigrissement d'environ 0,72 g (soit une perte de poids de 3,95%) ;
- dans la station 3, un accroissement pondéral de 4,6 g (soit 27% du poids initial).

D'octobre à mai, le poids total de l'individu standard subit des fluctuations d'amplitude plus ou moins importantes et décalées dans le temps dans les différentes stations (figure 2). Des différences très significatives (au seuil de 1%) sont observées en mai entre les trois stations, en novembre et août entre la station 3 et les deux autres et en janvier et juillet entre la station 1 et les stations 2 et 3.

Par ailleurs, les courbes de variation du poids de chair fraîche et du poids de coquille sur une année (figures 3 et 4) mettent en évidence un certain parallélisme dans l'évolution de ces paramètres. Ainsi, deux phases distinctes sont observées :

- une première phase durant la période octobre-mars au cours de laquelle :
  - le poids de chair fraîche, après une augmentation de sa valeur en novembre (stations 1 et 3), subit une chute considérable dans l'ensemble des stations (baisse d'environ 40% par rapport au poids initial). Le poids moyen de chair fraîche passe ainsi de 5 à 3,1 g. Un gain de poids est observé en février, correspondant vraisemblablement à la restauration gonadique. Ce poids chute de nouveau en mars, atteignant ainsi une valeur moyenne de 2,5 ;
  - le poids de coquille subit des fluctuations de même ordre entre octobre et novembre. À partir de cette date, et jusqu'à mars, ces variations dans les stations 1 et 2 sont comparables mais d'amplitude plus ou moins importante selon les mois. Elles aboutissent néanmoins à une valeur très proche en février, soit  $3,88 \pm 1,37$  g et

$3,94 \pm 1,66$  g. L'individu standard de la station 3 progresse, quant à lui, différemment : après novembre, le poids de coquille augmente en de faibles proportions, passant ainsi de  $4,5 \pm 5,3$  g à  $5,08 \pm 1,06$  g.

- une deuxième phase durant la période avril-septembre au cours de laquelle :

- le poids de chair fraîche a tendance à augmenter de mois en mois dans l'ensemble des stations, à l'exception de mai dans la station 3, où l'on enregistre un déclin, récupéré d'ailleurs dès juin. Un amaigrissement des moules est enregistré dans les trois sites au cours du mois d'août. Cette situation, observée à la fin de la phase de repos sexuel, correspond au déclenchement de la gamétogenèse au cours de laquelle les cellules sexuelles se développent aux dépens des métabolites du tissu de réserve. Il se produit alors une diminution du glycogène et des phospholipides et graisses neutres accumulés respectivement dans les cellules vésiculeuses et les cellules adipo-granuleuses durant la phase de repos sexuel ;
- le poids de coquille subit des fluctuations similaires d'octobre à avril dans les trois stations. Dans la station 3, le poids continue d'augmenter de mai à septembre ; il passe ainsi de  $5,97 \pm 6,14$  g en octobre à  $8,13 \pm 4,43$  g en septembre alors que l'épaississement de la coquille reste plus ou moins stable durant cette phase dans les stations 1 et 2. Au total, l'individu de la station 1 subit une perte de poids de la coquille de 0,56 g et celui de la station 2 de 0,67 g, soit une réduction respective en épaisseur des valves de 9 et 12%. La chute du poids de coquille en octobre correspond en fait à une diminution de l'épaississement de celle-ci qui croît préférentiellement en longueur. L'individu standard étant de longueur fixe, l'augmentation observée ne peut que refléter un épaississement valvaire, confirmant ainsi la particularité des moules de la station 3 qui sont plus épaisses que celles des autres sites (Aloui-Bejaoui, 1998). Cependant, la croissance de la coquille semble particulièrement retardée en période de pleine activité sexuelle (octobre-novembre).

Par ailleurs, on note que quelle que soit la période, les variations de poids de chair fraîche et de coquille n'influent pas sur les valeurs du poids total, les variations de ce poids étant compensées chez la moule par la retenue d'eau intervalvaire. Le poids de chair sèche évolue de manière quasi identique dans les trois stations (figure 5), à l'exception d'une chute supplémentaire de ce poids en janvier dans la station 1 mais dont la différence n'est pas significative ( $p < 0,05$ ). Ces fluctuations, en étroite relation avec le cycle de reproduction, reflètent des gains ou pertes de poids subis par les moules au cours de leur développement. La courbe d'évolution mensuelle du poids de chair sèche (figure 5) est caractérisée par l'amaigrissement de

CROISSANCE DE *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* / GROWTH OF *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*

Tableau I - Variations mensuelles des équations allométriques liant la longueur aux différentes variables pondérales et valeurs théoriques de poids d'un animal standard de 60 mm de longueur. / Monthly variation of allometric relationships between shell length and different weight parameters and estimated weight from a standard animal of 60 mm shell length.

		Station 1		Station 2		Station 3	
		Équation d'allométrie	Poids (g)	Équation d'allométrie	Poids (g)	Équation d'allométrie	Poids (g)
Ptot	Oct.	Ptot = 0.0003 L <sup>2.719</sup>	19,01	Ptot = 0.0002 L <sup>2.742</sup>	18,22	Ptot = 0.0004 L <sup>2.600</sup>	17,10
	Nov.	Ptot = 0.0002 L <sup>2.720</sup>	17,07	Ptot = 0.0002 L <sup>2.799</sup>	17,58	Ptot = 0.0009 L <sup>2.360</sup>	14,52
	Déc.	Ptot = 0.0002 L <sup>2.728</sup>	17,26	Ptot = 0.0002 L <sup>2.798</sup>	17,35	Ptot = 0.0004 L <sup>2.640</sup>	17,61
	Janv.	Ptot = 0.0002 L <sup>2.802</sup>	17,29	Ptot = 0.0008 L <sup>2.436</sup>	16,22	Ptot = 0.0005 L <sup>2.567</sup>	18,29
	Fév.	Ptot = 0.0005 L <sup>2.537</sup>	16,30	Ptot = 0.0003 L <sup>2.700</sup>	18,37	Ptot = 0.0006 L <sup>2.534</sup>	19,05
	Mars	Ptot = 0.0002 L <sup>2.757</sup>	18,90	Ptot = 0.0003 L <sup>2.663</sup>	17,76	Ptot = 0.0003 L <sup>2.690</sup>	18,48
	Avril	Ptot = 0.0006 L <sup>2.552</sup>	19,25	Ptot = 0.0003 L <sup>2.702</sup>	18,22	Ptot = 0.001 L <sup>2.401</sup>	18,51
	Mai	Ptot = 0.0002 L <sup>2.792</sup>	20,03	Ptot = 0.0007 L <sup>2.487</sup>	18,46	Ptot = 0.0002 L <sup>2.895</sup>	22,63
	Juin	Ptot = 0.0002 L <sup>2.840</sup>	19,42	Ptot = 0.0002 L <sup>2.848</sup>	18,96	Ptot = 0.0002 L <sup>2.895</sup>	23,46
	Juill.	Ptot = 0.0001 L <sup>2.881</sup>	18,64	Ptot = 0.0001 L <sup>3.009</sup>	17,99	Ptot = 0.0001 L <sup>2.992</sup>	22,40
	Août	Ptot = 0.0002 L <sup>2.817</sup>	18,45	Ptot = 0.0002 L <sup>2.830</sup>	18,85	Ptot = 0.0004 L <sup>2.642</sup>	20,63
	Sept.	Ptot = 0.0001 L <sup>2.961</sup>	19,34	Ptot = 0.0001 L <sup>2.913</sup>	17,49	Ptot = 0.0001 L <sup>2.966</sup>	21,71
Pchf	Oct.	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.83</sup>	5,52	Pchf = 1.45 E-05 L <sup>3.126</sup>	5,25	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.722</sup>	4,23
	Nov.	Pchf = 9.86 E-06 L <sup>3.242</sup>	5,74	Pchf = 2.44 E-05 L <sup>2.966</sup>	4,59	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.624</sup>	4,71
	Dec.	Pchf = 3.60 E-05 L <sup>2.81</sup>	3,58	Pchf = 5.78 E-05 L <sup>2.682</sup>	3,40	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.996</sup>	4,47
	Janv.	Pchf = 8.04 E-05 L <sup>2.566</sup>	2,94	Pchf = 3.8 E-04 L <sup>2.19</sup>	2,99	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.395</sup>	3,43
	Fév.	Pchf = 6.28 E-05 L <sup>2.658</sup>	3,35	Pchf = 5.31 E-05 L <sup>2.69</sup>	3,23	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.549</sup>	4,26
	Mars	Pchf = 4.40 E-05 L <sup>2.71</sup>	2,90	Pchf = 6.42 E-05 L <sup>2.547</sup>	2,17	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.683</sup>	2,60
	Avril	Pchf = 3.3 E-04 L <sup>2.257</sup>	3,41	Pchf = 3.02 E-04 L <sup>2.173</sup>	2,21	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.58</sup>	3,37
	Mai	Pchf = 4.54 E-05 L <sup>2.785</sup>	4,07	Pchf = 11.6 E-05 L <sup>2.451</sup>	2,67	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.63</sup>	3,55
	Juin	Pchf = 2.13 E-05 L <sup>2.998</sup>	4,57	Pchf = 5.79 E-05 L <sup>2.678</sup>	3,35	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>3.208</sup>	5,12
	Juill.	Pchf = 1.72 E-05 L <sup>3.05</sup>	4,57	Pchf = 5.65 E-06 L <sup>3.251</sup>	3,41	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>3.15</sup>	4,50
	Août	Pchf = 6.41 E-05 L <sup>2.687</sup>	3,84	Pchf = 1.55 E-05 L <sup>2.998</sup>	3,32	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>2.884</sup>	3,82
	Sept.	Pchf = 8.73 E-06 L <sup>3.219</sup>	4,63	Pchf = 5.54 E-06 L <sup>3.246</sup>	3,27	Pchf = 5.13 E-05 L <sup>3.228</sup>	4,40
Pcoq	Oct.	Pcoq = 1.86 E-04 L <sup>2.55</sup>	6,36	Pcoq = 1.60 E-04 L <sup>2.558</sup>	5,65	Pcoq = 1.46 E-04 L <sup>2.593</sup>	5,97
	Nov.	Pcoq = 1.64 E-04 L <sup>2.498</sup>	4,55	Pcoq = 1.49 E-04 L <sup>2.518</sup>	4,47	Pcoq = 4.35 E-04 L <sup>2.258</sup>	4,51
	Déc.	Pcoq = 2.82 E-04 L <sup>2.362</sup>	4,46	Pcoq = 1.23 E-04 L <sup>2.574</sup>	4,65	Pcoq = 1.29 E-04 L <sup>2.598</sup>	5,38
	Janv.	Pcoq = 1.81 E-04 L <sup>2.462</sup>	4,32	Pcoq = 6.52 E-04 L <sup>2.13</sup>	4,00	Pcoq = 4.75 E-04 L <sup>2.248</sup>	4,72
	Févr.	Pcoq = 4.41 E-04 L <sup>2.218</sup>	3,88	Pcoq = 5.28 E-04 L <sup>2.178</sup>	3,94	Pcoq = 6.63 E-04 L <sup>2.173</sup>	4,85
	Mars	Pcoq = 2.31 E-04 L <sup>2.428</sup>	4,80	Pcoq = 3.6 E-04 L <sup>2.275</sup>	4,00	Pcoq = 2.83 E-04 L <sup>2.393</sup>	5,09
	Avril	Pcoq = 6.6 E-04 L <sup>2.195</sup>	5,32	Pcoq = 4.3 E-04 L <sup>2.278</sup>	4,84	Pcoq = 8.02 E-04 L <sup>2.187</sup>	6,21
	Mai	Pcoq = 2.01 E-04 L <sup>2.51</sup>	5,98	Pcoq = 1.33 E-03 L <sup>2.004</sup>	4,87	Pcoq = 8.43 E-05 L <sup>2.786</sup>	7,59
	Juin	Pcoq = 1.18 E-04 L <sup>2.64</sup>	5,86	Pcoq = 1.57 E-04 L <sup>2.545</sup>	5,26	Pcoq = 7.26 E-05 L <sup>2.84</sup>	8,15
	Juill.	Pcoq = 1.11 E-04 L <sup>2.638</sup>	5,44	Pcoq = 3.97 E-05 L <sup>2.863</sup>	4,90	Pcoq = 6.65 E-05 L <sup>2.855</sup>	7,94
	Août	Pcoq = 1.53 E-04 L <sup>2.573</sup>	5,75	Pcoq = 1.06 E-04 L <sup>2.65</sup>	5,48	Pcoq = 1.79 E-04 L <sup>2.6</sup>	7,51
	Sept.	Pcoq = 7.02 E-05 L <sup>2.765</sup>	5,80	Pcoq = 7.22 E-05 L <sup>2.721</sup>	4,98	Pcoq = 5.81 E-05 L <sup>2.894</sup>	8,13
Pchs	Oct.	Pchs = 6 E-06 L <sup>2.963</sup>	1,15	Pchs = 7 E-07 L <sup>3.420</sup>	0,89	Pchs = 3 E-06 L <sup>3.059</sup>	0,82
	Nov.	Pchs = 7 E-06 L <sup>2.940</sup>	1,14	Pchs = 1 E-05 L <sup>2.685</sup>	0,72	Pchs = 1 E-04 L <sup>2.154</sup>	0,66
	Déc.	Pchs = 6 E-05 L <sup>2.223</sup>	0,50	Pchs = 1,4 E-04 L <sup>1.938</sup>	0,39	Pchs = 5 E-05 L <sup>2.204</sup>	0,41
	Janv.	Pchs = 6 E-05 L <sup>2.164</sup>	0,45	Pchs = 1 E-04 L <sup>2.065</sup>	0,52	Pchs = 9 E-05 L <sup>2.140</sup>	0,55
	Févr.	Pchs = 3 E-05 L <sup>2.482</sup>	0,66	Pchs = 2 E-05 L <sup>2.468</sup>	0,60	Pchs = 3 E-04 L <sup>1.851</sup>	0,63
	Mars	Pchs = 1 E-05 L <sup>2.548</sup>	0,48	Pchs = 7 E-05 L <sup>2.076</sup>	0,35	Pchs = 4 E-05 L <sup>2.263</sup>	0,43
	Avril	Pchs = 5 E-05 L <sup>2.317</sup>	0,69	Pchs = 9 E-05 L <sup>2.058</sup>	0,41	Pchs = 4 E-05 L <sup>2.372</sup>	0,65
	Mai	Pchs = 9 E-06 L <sup>2.833</sup>	0,94	Pchs = 4 E-05 L <sup>2.341</sup>	0,56	Pchs = 1 E-05 L <sup>2.657</sup>	0,79
	Juin	Pchs = 6 E-06 L <sup>2.995</sup>	1,25	Pchs = 1 E-05 L <sup>2.746</sup>	0,79	Pchs = 3 E-06 L <sup>3.182</sup>	1,22
	Juill.	Pchs = 5 E-06 L <sup>3.066</sup>	1,35	Pchs = 2 E-06 L <sup>3.136</sup>	0,94	Pchs = 4 E-06 L <sup>3.060</sup>	1,23
	Août	Pchs = 2 E-05 L <sup>2.662</sup>	1,02	Pchs = 4 E-06 L <sup>2.977</sup>	0,82	Pchs = 7 E-06 L <sup>2.883</sup>	0,95
	Sept.	Pchs = 2 E-06 L <sup>3.245</sup>	1,21	Pchs = 2 E-06 L <sup>3.182</sup>	0,80	Pchs = 3 E-06 L <sup>3.070</sup>	0,95

l'individu standard en décembre dans les trois sites, suivi d'une augmentation du poids dès janvier pour les stations 2 et 3, et en février pour la station 1. Ce poids passe ainsi d'une valeur moyenne de 0,92 g en octobre à 0,44 g en décembre, soit une chute d'environ 50%. Cet important amaigrissement

correspond à l'émission gamétique principale mise en évidence en histologie (Aloui-Bejaoui, 1998). Cependant, un décalage des phases d'évolution de l'individu standard de la station 1 et celui des stations 2 et 3 est noté. En effet, en octobre, le poids de chair sèche dans la station 1 est plus important

que celui des stations 2 et 3 (respectivement 1,15 ; 0,88 et 0,82 g). Cette différence, déjà mise en évidence dans l'étude de l'indice de condition et de l'analyse d'images, dénote de la capacité des individus de la station 1 à produire plus de gamètes que ceux issus des autres stations, ce qui explique que l'émission gamétique soit échelonnée sur une période plus longue dans cette station. La restauration gonadique qui lui fait suite y est particulièrement rapide engendrant une augmentation rapide du poids de chair sèche qui est supérieur en janvier et surtout en février (différences statistiquement significatives) à celui des stations 2 et 3. L'écart de poids est maintenu durant tout le reste du cycle.

En ce qui concerne l'évolution de ce poids, une forte diminution est observée en mars dans les trois stations. Elle est suivie d'une augmentation graduelle et l'accumulation progressive des substances de réserves durant le repos sexuel tend à

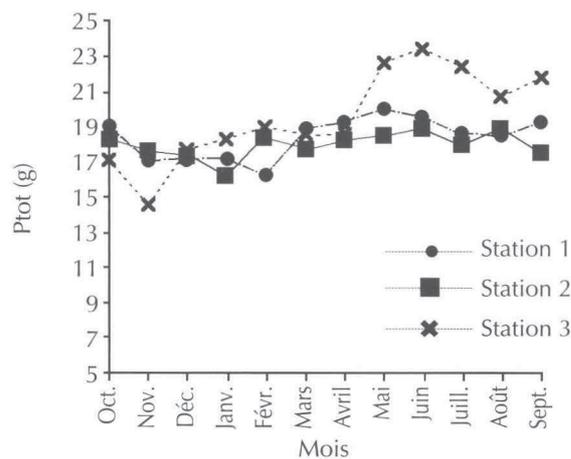


Figure 2 - Évolution du poids total de l'animal standard. / Variability of total weight of a standard animal.

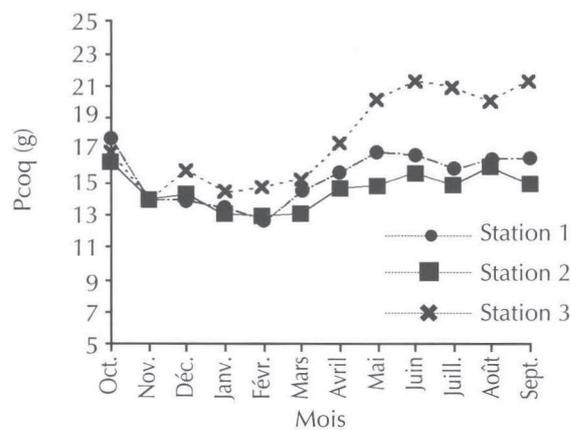


Figure 4 - Évolution du poids de coquille de l'animal standard. / Variability of shell weight of a standard animal.

ramener ce poids de chair sèche à sa plus forte valeur annuelle en juillet. Le déclin observé en août serait en rapport avec la nature biochimique des substances de réserves.

Les résultats de l'étude des paramètres physico-chimiques et de la teneur du milieu en chlorophylle a dans les trois stations figurent dans le tableau II.

La matrice des corrélations établie entre les paramètres du milieu et la croissance sur l'ensemble des variables, indépendamment du lieu de prélèvement, nous permet d'inclure le maximum de données et de définir, au mieux, le type et l'amplitude des corrélations. Chaque descripteur du milieu est associé, selon la station et le mois considérés, à un descripteur de croissance. Les coefficients de corrélation sont calculés sur un effectif total de 36 observations. Les résultats des corrélations (coefficients de Pearson) sont représentés dans le tableau III.

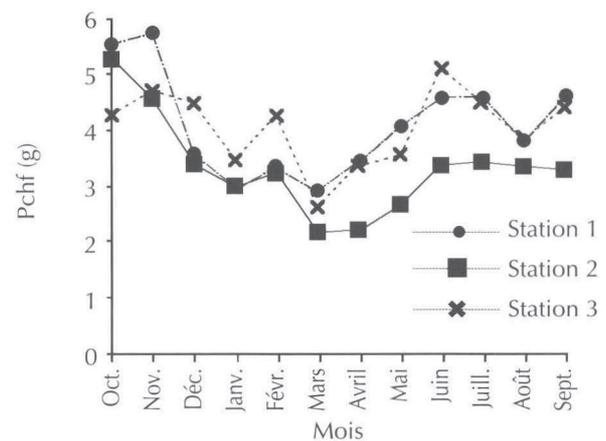


Figure 3 - Évolution du poids de chair fraîche de l'animal standard. / Variability of wet tissues weight of a standard animal.

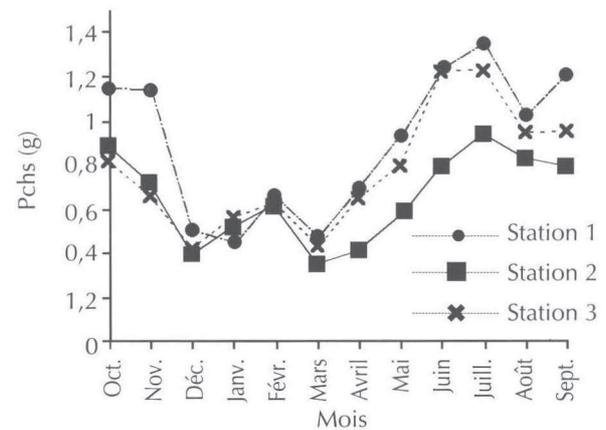


Figure 5 - Évolution du poids de chair sèche de l'animal standard. / Variability of dry tissues weight of a standard animal.

Tableau II - Valeurs mensuelles moyennes des paramètres physico-chimiques et des teneurs en chlorophylle a dans les trois stations d'octobre 1994 à septembre 1995. / Monthly variation of environmental factors in experimental stations from October 1994 to September 1995.

Station	Température (°C)			Salinité			Oxygène (mg.L <sup>-1</sup> )			pH			Chlor. a (mg.m <sup>-3</sup> )		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Oct.	23,6	23,4	23,3	39,2	39	38,5	6,8	6,7	6,7	8,4	8,39	8,36	2,46	1,39	0,93
Nov.	18,7	18,6	18,6	39,1	38,9	38,4	9,0	8,9	8,7	8,42	8,4	8,39	1,95	0,37	0,93
Déc.	14,1	12,3	15,4	39,2	38,9	38,3	10,6	10,6	10,3	8,23	8,27	8,29	1,71	0,59	1,51
Janv.	11,3	11,1	11,7	38,9	38,5	38,0	10,8	10,5	10,5	8,3	8,35	8,2	1,34	0,81	0,73
Fév.	12,8	12,7	13,9	38,8	38,7	38,0	9,9	9,9	10,2	8,12	8,13	8,35	1,42	0,80	0,61
Mars	13,7	13,7	14,5	38,8	38,4	37,8	10,1	10,2	9,8	8,38	8,36	8,42	0,83	0,65	0,60
Avril	16,4	16,4	16,1	39,1	38,9	38,1	8,6	8,8	8,7	8,35	8,3	8,36	0,39	0,27	0,47
Mai	19,6	19,4	19,8	39,0	39,0	38,5	8,2	8,2	9,0	8,08	8,04	8,23	0,75	0,59	0,81
Juin	24,3	24,1	24,0	39,3	39,1	38,9	7,5	7,6	8,0	8,3	8,22	8,14	1,88	1,10	1,37
Juill.	26,8	26,8	27,1	39,9	39,8	39,1	7,8	8,14	8,2	8,2	8,17	8,33	0,89	0,77	1,52
Août	25,9	25,7	26,8	40,5	40,3	39,2	7,7	6,8	7,2	8,22	8,28	8,04	1,07	0,40	0,71
Sept.	24,1	23,9	23,9	39,5	39,6	38,7	7,8	7,4	7,0	8,35	8,32	8,4	1,72	0,19	0,53

Cette analyse permet de dégager les résultats suivants :

- le facteur physico-chimique le plus associé aux variables de croissance est la température. Son élévation agit positivement sur toutes les formes de croissance pondérale en faisant augmenter le poids de chair fraîche et de coquille et, par conséquent, le poids total et le poids de chair sèche de l'animal standard. Les coefficients de corrélation varient entre 0,45 et 0,82. Les valeurs obtenues sont hautement significatives. Les coefficients les plus élevés sont toutefois enregistrés entre la température et les poids de chair sèche et de coquille (respectivement 0,82 et 0,64) ;
- la salinité n'est significativement corrélée qu'au poids de chair sèche. On enregistre un coefficient de corrélation de 0,55, hautement significatif ;
- l'oxygène dissous est corrélé négativement, de façon significative, au poids total de l'animal standard et hautement significative, aux poids de chair fraîche et sèche et au poids de coquille. En valeur absolue, la corrélation est la plus importante respectivement entre le taux d'oxygène dissous et les poids de chair sèche, de coquille et de chair fraîche ;
- le pH ne présente une corrélation significative avec aucune variable pondérale ;
- les seuls coefficients de corrélation significatifs entre la teneur en chlorophylle a et les variables de croissance concernent le poids de chair fraîche (0,61) et le poids de chair sèche (0,45). Ainsi, plus la teneur en chlorophylle a est élevée et plus ces variables sont importantes.

Il apparaît donc, d'après cette analyse, que les paramètres physico-chimiques du milieu étudiés influençant le plus la croissance d'un animal standard sont, par ordre d'importance, la température, la teneur en chlorophylle a, l'oxygène dissous et la salinité.

L'analyse de régression multiple permet de créer un modèle de croissance où les variables ont une hiérarchie décroissante dans le pourcentage d'explication de la variance de la variable indépendante. Ceci permet de sélectionner un certain nombre de variables explicatives en éliminant, au moyen d'un test F, celles dont l'introduction dans le modèle n'entraîne pas un gain significatif de variance expliquée. Les régressions multiples sont réalisées d'abord d'une manière globale, sur l'ensemble des données, puis dans chacune des stations considérées séparément. Les résultats obtenus sont regroupés respectivement dans les tableaux IV et V.

Les résultats de cette analyse confirment l'importance du paramètre température par rapport à la teneur en chlorophylle a dans la majorité des modèles de croissance établis notamment :

- du poids total et du poids de coquille dans l'analyse globale ;
- du poids total, du poids de chair sèche et du poids de coquille dans l'analyse relative à chacune des stations.

En dehors de ces modèles, la température est concurrencée par la chlorophylle dans l'explication de la variance du poids de chair fraîche et de poids de chair sèche dans la régression multiple globale, à raison de 66,9% contre 10,5% dans le premier cas, et 14,3% contre 37,4% dans le deuxième cas. Dans l'analyse à l'échelle des stations, la température intervient de façon partielle dans la station 1 seulement, avec une variance expliquée au taux de 43%, alors que la teneur en chlorophylle influence, à concurrence de 27,6%, la variabilité de ce paramètre.

Dans les stations 2 et 3, seule la teneur en chlorophylle a explique la variance du poids de chair fraîche à un taux respectif de 20,5 et 38,4%.

L'analyse des corrélations montre que le poids de chair fraîche présente un coefficient de corrélation important aussi bien avec la température qu'avec la chlorophylle a.

Tableau III - Analyse des corrélations entre les paramètres du milieu et les différentes variables de croissance pondérale d'un animal standard dans l'ensemble des stations. ns : non significatif au seuil de 5% ; \* : significatif (seuil de 5%) ; \*\* : hautement significatif (seuil de 1%). / *Correlation coefficients between environmental factors and related weight traits of a standard animal using data from all stations. ns: non-significant at threshold of 5%; \*: significant (5%); \*\*: highly significant (threshold of 1%).*

milieu croissance	Température	Salinité	Oxygène dissous	pH	Chlorophylle a
Poids total	0,449 **	0,087 ns	- 0,348 *	- 0,226 ns	0,034 ns
Poids de chair fraîche	0,473 **	0,161 ns	- 0,441 **	0,222 ns	0,612 **
Poids de chair sèche	0,818 **	0,551 **	- 0,711 **	- 0,075 ns	0,455 **
Poids de coquille	0,640 **	0,108 ns	- 0,583 **	- 0,082 ns	0,129 ns

Tableau IV - Résultats de la régression multiple globale relative à l'ensemble des stations. T : température ; Chl : teneur en chlorophylle a. / *Stepwise multiple regression analysis for whole set of experimental stations. T: temperature; Chl: chlorophyll-a content.*

Descripteur de croissance	Modèle	% de variance expliquée (R <sup>2</sup> )
Poids total	Ptot = 15,516 + 0,151 T	20,2%
Poids de chair fraîche	Pchf = 1,695 + 0,064 T + 0,918 Chl	51,7% dont 37,4% expliqués par Chl et 14,3% par T
Poids de chair sèche	Pchs = - 0,179 + 0,04 T + 0,176 Chl	77,4% dont 66,9% expliqués par T et 10,5% par Chl.
Poids de coquille	Pcoq = 2,711 + 0,141 T	41%

Tableau V - Résultats de la régression multiple réalisée à l'échelle de chacune des stations. T : température ; Chl : teneur en chlorophylle a. \* : R<sup>2</sup> < 33%. / *Stepwise multiple regression analysis for each experimental stations. T: temperature; Chl: chlorophyll-a content. \*: R<sup>2</sup> < 33%.*

Descripteur	Station	Modèle	% de variance expliquée (R <sup>2</sup> )
Poids total	1	Ptot = 16,21 + 0,114 T	*
	2	Ptot = 16,567 + 0,073 T	*
	3	Ptot = 14,354 + 0,264 T	*
Poids de chair fraîche	1	Pchf = 1,151 + 0,09 T + 0,830 Chl	70,6% dont 43% expliqués par T et 27,6% par Chl.
	2	Pchf = 2,564 + 1,147 Chl	*
	3	Pchf = 3,003 + 1,158 Chl	38,4%
Poids de chair sèche	1	Pchs = - 0,147 + 0,054 T	84,8%
	2	Pchs = 0,058 + 0,031 T	75,5%
	3	Pchs = - 0,100 + 0,045 T	76,1%
Poids de coquille	1	Pcoq = 3,024 + 0,113 T	64,6%
	2	Pcoq = 3,188 + 0,082 T	67,8 %
	3	Pcoq = 1,994 + 0,222 T	67%

## DISCUSSION

L'étude de la croissance d'un animal de taille standard montre que les variations du poids de chair fraîche ne reflètent pas tout à fait l'état d'accroissement des tissus, mais aussi une occupation des tissus par les cellules sexuelles ou de réserve et par l'eau. Les réserves lipidiques et protéiniques sont localisées dans les cellules adipo-granuleuses et les réserves glucidiques dans les cellules vésiculeuses disséminées dans le manteau et le tissu interstitiel de la glande digestive (Lubet, 1959). Les variations du poids de chair sèche d'un individu standard

présentent l'avantage de traduire un gain ou une perte de poids de nature organique, qui ne tient compte ni des variations de poids relatives à la croissance linéaire, ni des quantités d'eau retenues par l'animal durant son cycle biologique. La meilleure période de consommation des moules du lac de Bizerte est évidemment la période d'engraissement maximal, correspondant à la phase de repos sexuel et au début de la reprise de l'activité gonadique, soit de fin juin à début novembre.

Les courbes de fluctuations du poids total, observées dans l'étude de la croissance de l'animal de taille standard, sont très irrégulières, celui-ci ne reflétant

pas les variations de poids liées à l'activité physiologique de l'individu. Ceci nous incite à conclure que ce poids total n'est pas un estimateur fiable des variations d'ordre pondéral liées à la reproduction. Nous avons également vu précédemment qu'il ne l'est pas non plus concernant la qualité commerciale. Il représente par contre un bon indice de productivité pour la conchyliculture si l'on considère la biomasse produite dans sa totalité, mais ne fournit pas d'indications sur la part exacte des tissus par rapport au reste de l'animal. À ce propos, on note que le poids total ne subit pas de variations de grande amplitude au cours du temps à cause de la compensation par l'eau intervalvaire et que celui-ci reste plus ou moins constant quelles que soient les variations physiologiques subies.

Plusieurs auteurs ont mis en évidence l'intérêt de l'étude du poids de chair sèche dans l'estimation des variations pondérales de *Mytilus edulis* (Brown *et al.*, 1976 ; Rodhouse *et al.*, 1984 ; Hilbish, 1986 ; Barillé, 1996) et de *M. galloprovincialis* (Ceccherelli, Rossi, 1984). Malheureusement, il n'est pas possible de confronter nos résultats de variations mensuelles de poids de chair sèche avec ceux de ces auteurs car ils concernent *M. edulis* ou des données saisonnières ou ponctuelles chez *M. galloprovincialis*. Par ailleurs, le poids de chair sèche est très variable en fonction de la phase du cycle sexuel lui-même dépendant des conditions locales du milieu. L'évolution mensuelle du poids de chair sèche présente donc un intérêt propre à cette population et aux conditions de milieu dans lesquelles elle se développe.

L'étude des relations liant les paramètres physico-chimiques pris en considération et la croissance d'un animal standard de 60 mm de longueur a permis de quantifier l'impact des paramètres du milieu les plus importants sur la croissance pondérale des moules dans le lac de Bizerte.

L'analyse des associations montre que la température et la biomasse phytoplanctonique représentée par la teneur en chlorophylle *a* jouent un rôle important dans l'explication de la croissance pondérale de l'individu standard. Les relations positives entre ces variables du milieu et l'accroissement des différents poids (total, de chairs fraîche et sèche et de coquille) est plus évidente pour la température, puisqu'on enregistre un coefficient de corrélation plus important. La relation existant entre la chlorophylle et les paramètres biométriques n'est significative qu'en ce qui concerne les poids de chairs fraîche et sèche.

Ces deux variables figurent aussi parmi les principaux paramètres du milieu cités par Héral *et al.* (1987) pouvant expliquer la croissance des mollusques et qui sont la température, la charge sestonique, la matière organique particulaire et la biomasse phytoplanctonique. En fait, selon Parache et Massé (1987), la chlorophylle *a* représente l'aspect phytoplanctonique vivant du matériel particulaire, source d'alimentation des moules, et cette variable agirait sur l'accroissement pondéral

des tissus. Héral *et al.* (1987) soulignent toutefois l'importance de la chlorophylle dans la croissance pondérale des moules par rapport à la matière organique détritique, pour laquelle aucune relation étroite n'a été établie avec la production de chair.

La température explique, pour sa part, la majorité des variables de croissance, aussi bien linéaires que pondérales, surtout dans un milieu de type lagunaire (Krichène, 1981). Nos résultats montrent effectivement des corrélations positives entre cette variable du milieu et toutes les variables pondérales considérées. L'influence sur les variables linéaires ne peut être mise en évidence dans cette analyse, puisque l'étude porte sur un animal de longueur fixe. Toutefois, la relation existant entre la croissance en longueur et la température est clairement démontrée, selon Seed et Suchanek (1992), quand la longueur de la coquille de moule est corrélée à l'âge en degrés-jours.

Cependant, les taux de croissance chez la moule dépendent de facteurs autres que la température (Thompson, 1984) et, en particulier, de la disponibilité de la nourriture.

La distinction entre le pourcentage de variance des variables pondérales expliquées par la température, d'une part, et la teneur en chlorophylle *a*, d'autre part, est mise en évidence par une analyse de régression multiple. Cette dernière montre que ces deux descripteurs du milieu expliquent simultanément la variance des poids de chairs fraîche et sèche uniquement. Ils influeraient donc tous les deux sur la croissance tissulaire, elle-même largement dominée par le cycle de reproduction qui interfère fortement avec l'accroissement pondéral somatique (Parache, Massé, 1987).

La régression multiple montre que la contribution de la chlorophylle *a* domine celle de la température en ce qui concerne le poids de la chair fraîche (37,4% de variance expliquée contre 14,3%, au seuil de probabilité de 5%). Au contraire, celle de la température est plus importante dans l'explication de la variabilité du poids de chair sèche (66,9% contre 10,5%). Il semblerait donc que la chlorophylle *a* serait plus en mesure d'expliquer l'accroissement en poids d'eau constituant les tissus. La température influencerait davantage la composition organique des tissus. Cette hypothèse peut être confortée par les résultats obtenus dans l'étude de la reproduction et qui permettent de mettre en évidence l'action positive, dans des limites bien précisées, de l'élévation de la température sur la production gamétique (Aloui-Bejaoui *et al.*, 1996).

L'influence de la teneur en chlorophylle *a* sur le poids de chair sèche est tellement discrète que ce descripteur du milieu n'explique, dans aucune station, la variance de ce poids quand les stations sont considérées individuellement et seule intervient, alors, la température dans les modèles de croissance. Ainsi, la supériorité des valeurs théoriques de poids de chair fraîche enregistrée en croissance relative, d'une part, et dans l'étude de l'indice de condition, d'autre part (Aloui-Bejaoui, 1998), peut être expliquée par le fait que des variables trophiques autres que la

chlorophylle *a* interviendraient dans la croissance en poids de chair des individus de la station 1. En effet, Parache et Massé (1987) soulignent que, dans les milieux où les origines de la matière organique particulaire sont multiples, comme c'est le cas de la station 1 qui reçoit des apports d'origines urbaine et industrielle importants, les caractéristiques et la composition biochimique élémentaire du matériel ingéré par les moules sont très variables, d'où la difficulté majeure, selon ces auteurs, à trouver des descripteurs simples du potentiel nutritif. À ce propos, Widdows *et al.* (1979) montrent que les taux des composants organiques peuvent constituer une large part du seston (jusqu'à 83%) et que les protéines et, dans une moindre mesure, les carbohydrates subissent des variations saisonnières très marquées à des proportions inverses de celles des teneurs en chlorophylle *a* et sont alors en mesure de subvenir aux besoins trophiques de la moule en période de faible productivité primaire.

Par ailleurs, l'action de la température conditionne aussi, en partie, l'effort de reproduction plus important, comme cela est démontré en histologie numérique, au niveau de la station 1. La température relativement forte enregistrée dans ce site, combinée à la richesse trophique du milieu, agirait en faveur de la croissance gonadique.

En ce qui concerne les autres paramètres du milieu, on note que l'oxygène est corrélé négativement aux descripteurs de croissance. Son influence est indirecte, liée à celle de la température, puisque la variation de ces deux paramètres est antagoniste.

La même remarque peut être faite concernant la valeur hautement significative du coefficient de corrélation entre la salinité et le poids de chair sèche (0,55). L'action de ce facteur sur le poids de chair sèche serait due au fait que celle-ci augmente plus ou moins parallèlement à la température. En effet, les valeurs de salinité enregistrées dans les trois stations d'étude sont dans les limites de 21 et 42 citées par Mathias et Salines (1960), à l'intérieur desquelles la vitalité de *M. galloprovincialis* est maximale. Kautsky *et al.* (1990) signalent que la transplantation réciproque de *M. edulis* entre la mer Baltique et la mer du Nord aboutit à une adaptation physiologique des individus aux nouvelles conditions de salinité. La salinité ne peut avoir d'effet direct sur la croissance, selon Seed et Suchanek (1992), que dans le cas où les faibles salinités engendrent une pauvreté du milieu en matières nutritives. Arnaud (1966) remarque à ce propos que seules les salinités inférieures à 15 ont un effet sur la croissance, en particulier linéaire, chez la moule.

Ainsi, l'ensemble des résultats obtenus sur l'influence des paramètres du milieu sur la croissance montre que cette dernière est conditionnée par l'interaction entre plusieurs facteurs. La croissance chez les bivalves obéit à des processus complexes (Shafee, 1980) : en plus de la

température, de la nourriture et des périodes de reproduction, divers autres facteurs, tels que le substrat, la profondeur et la turbidité de l'eau ne manquent pas d'influencer la croissance de ces invertébrés. Les principaux facteurs retenus par Héral *et al.* (1987) et Seed et Suchanek (1992) sont la température, la charge sestonique, la matière organique particulaire et la biomasse phytoplanctonique. Parache et Massé (1986) soulignent en particulier l'influence dominante de la valeur nutritive du seston sur la croissance linéaire et la production de tissus chez les moules. Plus tard, Parache et Massé (1987) montrent que les teneurs du matériel particulaire en protéines, glucides, ou la somme des constituants biochimiques élémentaires (protéines, glucides et lipides) favorisent l'accroissement linéaire en période de prégrossissement et de grossissement (plus de 50% de la variance totale expliquée), alors que les teneurs en glucides et lipides du matériel particulaire jouent un rôle positif dans le grossissement (37 à 94% de la variance expliquée). Ces actions s'ajoutent enfin à celles de la chlorophylle *a*, mais dont l'influence reste, comme cela a été démontré dans la présente étude, très limitée.

## CONCLUSION

En définitive, il faut considérer que la température constitue un des facteurs de l'environnement influençant de manière déterminante, comme chez la plupart des bivalves, la croissance des moules. Les fluctuations du poids de chair sèche apparaissent comme le moyen le plus en mesure de traduire un gain ou une perte de la masse des tissus de nature organique. Le suivi de ce paramètre chez un animal de taille standard reflète la part exacte de la chair par rapport à la coquille et à l'eau intervalvaire. Il permet, en outre, de situer les périodes les plus favorables au développement des tissus des moules du lac de Bizerte.

L'analyse des courbes de variations pondérales de l'individu standard permet de confirmer tous les résultats obtenus en croissance relative (Aloui-Bejaoui, 1998). La supériorité du poids de chair des moules des stations 1 et 3 est bien mise en évidence dans les différents graphiques établis dans l'étude de la croissance d'un animal standard. Ceci confirme que l'activité sexuelle est plus intense dans les stations 1 et 3 que dans la station 2 déjà mise en évidence dans l'étude des variations de l'indice de condition.

Les analyses statistiques effectuées montrent que la contribution de la chlorophylle *a* domine celle de la température en ce qui concerne l'accroissement en poids de chair fraîche, alors que la température intervient de façon plus importante dans l'explication de la variabilité du poids de chair sèche. La température exerce donc davantage une

action positive sur la composition organique des tissus. Le modèle mathématique a permis de confirmer l'influence de ce facteur sur la durée de l'activité gonadique de *M. galloprovincialis* dans les eaux tempérées du lac de Bizerte. Mais il est évident que l'action de ce facteur est conjointe à celle d'autres paramètres du milieu.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aloui-Bejaoui N., 1998 - *Écobiologie de la population de moules Mytilus galloprovincialis (Lmk, 1819) du lac de Bizerte*. Thèse de Doctorat d'Université, Faculté des Sciences de Tunis, 263 pp.
- Aloui-Bejaoui N., M. Le Pennec, F. Maamouri, F. Chakroun, 1996 - La reproduction de la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) dans le lac de Bizerte : cycle sexuel et apport de l'analyse d'images dans l'estimation de la qualité de la ponte. In : *Deuxièmes journées tunisiennes des Sciences de la mer*, Sousse, 16-18 Décembre 1996, Secrétariat d'État à la Recherche Scientifique et à la Technologie, pp : 13.
- Arnaud P., 1966 - Croissance comparée de *Mytilus galloprovincialis* Lmk des étangs de Thau et de Salses-Leucate. *Revue Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** : 357-374.
- Barillé A.L., 1996 - *Contribution à l'étude des potentialités conchylicoles du Perthuis Breton*. Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille II, 234 pp.
- Box G.E.P., D.R. Cox, 1982 - An analysis of transformations revisited, rebutted. *J. Am. stat. Assoc.*, **77** : 209-210.
- Brown R.A, R. Seed, R.J. O'Connor, 1976 - A comparison of relative growth in *Cerastoderma* (= *Cardium*) *edule*, *Modiolus modiolus* and *Mytilus edulis* (Mollusca : Bivalvia). *J. Zool.*, **179** : 297-315.
- Ceccherelli V.U., R. Rossi, 1984 - Settlement, growth and production of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Ecol.- Prog. Ser.*, **16** : 173-184.
- Dagnélie P., 1982 - *Théories et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Vol. I et II*. Nouvelle édition. Presses Agronomiques de Gembloux, 463 pp.
- Dare P.J., D.B. Edwards, 1975 - Seasonal changes in flesh weight and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis* L.) in the Conway Estuary, North Wales. *J. expl mar. Biol. Ecol.*, **18** : 89-97.
- Héral M., J.M. Deslous-Paoli, J. Prou, D. Razet, 1987 - Relations entre la nourriture disponible et la production de Mollusques en milieu estuarien : variabilité temporelle de la colonne d'eau. *Haliotis*, **16** : 149-158.
- Hilbish T.J., 1986 - Growth trajectories of shell and soft tissue in bivalves: seasonal variation in *Mytilus edulis* L. *J. expl. mar. Biol. Ecol.*, **96** : 103-113.
- Kautsky N., 1982 - Quantitative studies on the gonad cycle, fecundity, reproductive output and recruitment in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Mar. Biol.*, **68** : 143-160.
- Kautsky N., J. Johannesson, M. Tedengren, 1990 - Genotypic and phenotypic differences between Baltic and North Sea populations of *Mytilus edulis* evaluated through reciprocal transplantations. 1. Growth and morphology. *Mar. Ecol.- Prog. Ser.*, **59** : 203-210.
- Krichène Y., 1981 - *Contribution à l'étude de la conchyliculture en mer : biologie comparée avec celle du milieu lagunaire et techniques d'élevage*. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique de Tunisie, 222 pp.
- Le Pennec M., 1978 - *Genèse de la coquille larvaire et post-larvaire chez divers Bivalves marins*. Thèse de Doctorat d'Université, Université de Bretagne, vol. I : 229 pp., vol. II : 106 pl.
- Le Pennec M., 1981 - Les méthodes expérimentales induisant la ponte chez les mollusques bivalves marins. *Haliotis*, **11** : 139-155.
- Lorenzen C.J., 1967 - Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12** : 343-346.
- Lubet P., 1959 - Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilidés et les Pectinidés (Mollusques Bivalves). *Revue Trav. Inst. Pêches marit.*, **23** : 387-542.
- Mathias P., S. Salines, 1960 - Résistance de quelques Mollusques Lamellibranches aux variations de salinité des eaux. *Nat. monspell., sér. Zool.*, **3** : 275-296.
- Myers R.H., 1986 - *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press (ed.), Boston-Massachusetts, 516 pp.
- Parache A., 1983 - Évolution temporelle du poids et de la composition biochimique de *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) en Méditerranée Nord-Occidentale. *P.-v. Réunion. CIESM*, **28** (3) : 235-236.
- Parache A., H. Massé, 1986 - Croissance de *Mytilus galloprovincialis* Lmk sur filières en mer ouverte en Méditerranée nord-occidentale. *Haliotis*, **15** : 163-171.
- Parache A., H. Massé, 1987 - Influence des facteurs du milieu sur le cycle biologique de *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) en élevage sur corde dans l'Anse de Carteau (côte méditerranéenne française). *Haliotis*, **16** : 137-147.
- Rodhouse, P.G, C.M. Roden, G.M. Burnell, M.P. Hensey, T. Mc Mahon, B. Ottway, T.H. Ryan, 1984 - Food resource, gametogenesis, and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture: Killary Harbour, Ireland. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **64** : 513-529.
- SAS, 1990 - *Statistical Analysis system - Version 6, fourth edition*. SAS incl., Box 8000 ; NC : SAS Institute Inc.
- Seed R., 1973 - Absolute and allometric growth in the mussel *Mytilus edulis* L. (Mollusca Bivalvia). *Proc. malac. Soc. Lond.*, **40** : 343-357.
- Seed R., T.H. Suchanek, 1992 - Population and community ecology of *Mytilus*. In : *The mussel Mytilus: Ecology, physiology, genetics and culture*. E. G. Gosling (ed). Dev. Aquacult. Fish. Sci., Vol. 25, Elsevier, Amsterdam, pp : 87-169.
- Shafee M.S., 1980 - Applications of some growth models to the black scallops *Chlamys varia* (L.) from Lanveoc, Bay of Brest. *J. expl mar. Biol. Ecol.*, **43** : 237-250.
- Thompson R.J., 1984 - Production, reproductive effort, reproductive value and reproductive cost in a population of the blue mussel *Mytilus edulis* from a subarctic environment. *Mar. Ecol.- Prog. Ser.*, **16** : 249-257.
- Widdows J., P. Fieth, C.M. Worrall, 1979 - Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, **50** : 195-207.

Reçu en mai 1999 ; accepté en août 2001.  
Received May 1999; accepted August 2001.