

Bioaccumulation de quelques éléments métalliques (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, V) chez un mollusque bivalve, *Scrobicularia plana*, dans l'estuaire du Bou Regreg (côte atlantique marocaine).

Mohamed CHEGGOUR
محمد شگور

Mots clés : Bioaccumulation, métaux, *Scrobicularia*, Buvalves, Maroc.

ملخص

تراكم بعض العناصر المعدنية (النحاس، الزنك، الرصاص، النيكل، الكروم، المنغزير، الحديد، الفانديوم) عند Scrobicularia plana (Da Costa) في خور أبي رقراق على الشاطئ الأطلسي المغربي. توبعت التركيزات المعدنية في أنسجة *S. plana* خلال سنة كاملة. وقد اتضح أن تغيرات هذه التركيزات، المرتبطة بالفصول متناسبة مع العوامل الفيزيائية والكيميائية بالبيط البيئي من جهة (pH، الملوحة، الحرارة...) ومع الأنظمة الفيزيولوجية المرتبطة بأنشطة التناقل عند الحيوان من جهة أخرى. و على أساس الكميات المعدنية الهاامة التي قيست عند *S. plana* يمكن استنتاج وجود تلوث معدني ملحوظ في خور أبي رقراق.

RÉSUMÉ

Les concentrations métalliques sont suivies dans les tissus de *Scrobicularia plana*, pendant un cycle annuel entier, les variations saisonnières mises en évidence, paraissent corrélées aux facteurs physico-chimiques du milieu (pH, salinité, température), ainsi qu'aux processus physiologiques liés à l'activité de reproduction, en rapport avec le changement du poids des tissus de l'animal. En raison des concentrations métalliques assez importantes relevées chez *S. plana*, il est possible de conclure à une pollution métallique notable dans l'estuaire du Bou Regreg.

SUMMARY

Bioaccumulation of some metallic elements (Cu, Zn Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, V) by a mollusc bivalve : *Scrobicularia plana* in Bou Regreg estuary (moroccan atlantic coast). Metallic concentrations are followed in the tissues of *Scrobicularia plana* during one year. Their seasonal variations seem correlate to the environmental factors (pH, salinity, temperature) and to physiologic process related to the reproduction activity. Because the metallic concentrations revealed in *S. plana* are enough high, it is possible to consider Bou Regreg estuary as a polluted ecosystem. However, the degree of this pollution does not seem very strong.

INTRODUCTION

Chez les organismes aquatiques, l'accumulation biologique des métaux peut se faire à partir de trois sources : l'eau, la nourriture et le sédiment. Le transfert des métaux du milieu aux organismes dépend des concentrations présentes dans ces différentes sources et il est influencé par de nombreux facteurs écologiques.

L'estuaire du Bouregreg situé sur la côte atlantique marocaine, entre Rabat et Salé (34° N, $6^{\circ} 50'W$), et long de 23-24 km, subit une action anthropique croissante. En effet, les rejets urbains intenses et, dans une faible mesure, les activités agricoles riveraines constituent des sources non négligeables de polluants, métalliques entre autres. Les variations du niveau de la marée, les fluctuations saisonnières des apports en eau douce entraînent une

certaine instabilité des conditions écologiques locales. Ceci a des implications considérables sur la spéciation physico-chimique des métaux qui influe sur leur accumulation par les organismes (AMIARD-TRIQUET & al., 1983).

Les mollusques sont largement utilisés comme indicateurs de pollution métallique car ce sont d'excellents accumulateurs de métaux. La pénétration de ces derniers se fait à travers les branchies, ou par absorption à la surface du corps mais surtout avec la nourriture (particulièrement chez les bivalves dépositaires comme *S. plana*). Certains travaux antérieurs ont montré que *S. plana* supporte de fortes pollutions métalliques (BRYAN & al., 1980; LUOMA & BRYAN, 1978-79, BRYAN & UYSAL, 1978,...), mais ils se basent principalement sur des travaux de laboratoire. Il serait donc très intéressant de connaître le comportement de cette espèce dans son biotope pollué.

MATERIEL ET METHODES

Les populations de *S. plana* étudiées sont prélevées dans trois stations au niveau de la zone intertidale (Slikke) (fig. 1) :

- Station 1 : elle se situe près de l'embouchure (1 km de la mer) et correspond à une zone marine;

- Station 2 : localisée au milieu de l'estuaire (8 km de la mer);

- Station 3 : située dans une zone à vocation agricole, dite Oulja, à 11 km de la mer.

Les stations 1 et 2 reçoivent directement des rejets d'égouts (fig. 1). L'échantillonnage des mollusques est effectué à basse mer de vives eaux de tous les mois de décembre 1985 à janvier 1987; quatre prélèvements à l'aide d'une bêche de 1/16 m² sont effectués dans chaque station. Les individus sont triés sur le terrain et stockés dans des pilluliers contenant de l'eau du lieu de prélèvement. Ils sont récupérés après une purge (stabulation) d'environ 18 heures.

Les parties molles sont extraites de la coquille et lavées longuement, à jet de picette, avec de l'eau distillée, pour en éliminer les éléments qui risquent de leur être adsorbés; elles sont égouttées puis séchées à 80° C jusqu'à atteindre un poids constant. Elles sont ensuite finement broyées à l'aide d'un mortier en agate, avant d'être minéralisées.

La minéralisation est faite en deux temps : une calcination à 450° C pendant huit heures suivie d'une attaque triacide (HF, HClO₄, HNO₃) à chaud (150° C) dans des tubes en teflon. Le résidu de minéralisation est repris dans 5 cc d'HCl pur et le tout complété à 100 ml dans une fiole jaugée par de l'eau déminéralisée bouillante. La quantité de matériel animal utilisée varie de 0,5 à 1 g (10 à 20 individus broyés). Le dosage des huit métaux (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, V) est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique⁽¹⁾.

CONDITIONS GENERALES DANS L'ESTUAIRE DU BOU REGREG

des mesures physico-chimiques ont été effectuées au moment des prélèvements de *S. plana*. Les résultats sont groupés dans le tableau I. Il paraît qu'il existe un gradient salin longitudinal décroissant de l'aval vers l'amont. Le pH et l'oxygène dissous décroissent légèrement au milieu de l'estuaire. Par contre, les nitrites et les phosphates enregistrent une hausse de leurs teneurs. L'ensemble des mesures a été réalisé par marée basse de vives eaux et mortes eaux.

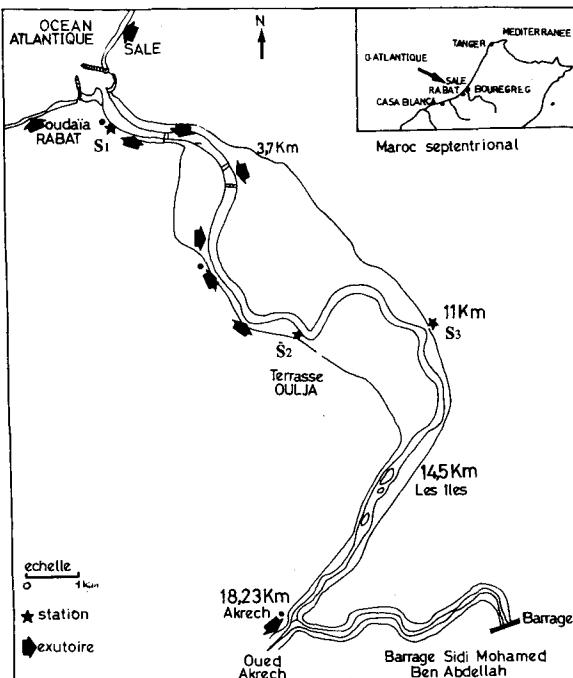


Figure 1 : Distribution des stations d'étude et des éxutoires le long de l'estuaire du Bou Regreg.

(1) Appareil PYE UNICAM SP9-PHILIPS, de la Faculté des Sciences d'Angers.

certaine instabilité des conditions écologiques locales. Ceci a des implications considérables sur la spéciation physico-chimique des métaux qui influe sur leur accumulation par les organismes (AMIARD-TRIQUET & al., 1983).

Les mollusques sont largement utilisés comme indicateurs de pollution métallique car ce sont d'excellents accumulateurs de métaux. La pénétration de ces derniers se fait à travers les branchies, ou par absorption à la surface du corps mais surtout avec la nourriture (particulièrement chez les bivalves dépositaires comme *S. plana*). Certains travaux antérieurs ont montré que *S. plana* supporte de fortes pollutions métalliques (BRYAN & al., 1980; LUOMA & BRYAN, 1978-79, BRYAN & UYSAL, 1978,...), mais ils se basent principalement sur des travaux de laboratoire. Il serait donc très intéressant de connaître le comportement de cette espèce dans son biotope pollué.

MATERIEL ET METHODES

Les populations de *S. plana* étudiées sont prélevées dans trois stations au niveau de la zone intertidale (Slikke) (fig. 1) :

- Station 1 : elle se situe près de l'embouchure (1 km de la mer) et correspond à une zone marine;

- Station 2 : localisée au milieu de l'estuaire (8 km de la mer);

- Station 3 : située dans une zone à vocation agricole, dite Oulja, à 11 km de la mer.

Les stations 1 et 2 reçoivent directement des rejets d'égouts (fig. 1). L'échantillonnage des mollusques est effectué à basse mer de vives eaux de tous les mois de décembre 1985 à janvier 1987; quatre prélèvements à l'aide d'une bêche de 1/16 m² sont effectués dans chaque station. Les individus sont triés sur le terrain et stockés dans des pilluliers contenant de l'eau du lieu de prélèvement. Ils sont récupérés après une purge (stabulation) d'environ 18 heures.

Les parties molles sont extraites de la coquille et lavées longuement, à jet de picette, avec de l'eau distillée, pour en éliminer les éléments qui risquent de leur être adsorbés; elles sont égouttées puis séchées à 80° C jusqu'à atteindre un poids constant. Elles sont ensuite finement broyées à l'aide d'un mortier en agate, avant d'être minéralisées.

La minéralisation est faite en deux temps : une calcination à 450° C pendant huit heures suivie d'une attaque triacide (HF, HClO₄, HNO₃) à chaud (150° C) dans des tubes en teflon. Le résidu de minéralisation est repris dans 5 cc d'HCl pur et le tout complété à 100 ml dans une fiole jaugée par de l'eau déminéralisée bouillante. La quantité de matériel animal utilisée varie de 0,5 à 1 g (10 à 20 individus broyés). Le dosage des huit métaux (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, V) est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique⁽¹⁾.

CONDITIONS GENERALES DANS L'ESTUAIRE DU BOU REGREG

des mesures physico-chimiques ont été effectuées au moment des prélèvements de *S. plana*. Les résultats sont groupés dans le tableau I. Il paraît qu'il existe un gradient salin longitudinal décroissant de l'aval vers l'amont. Le pH et l'oxygène dissous décroissent légèrement au milieu de l'estuaire. Par contre, les nitrites et les phosphates enregistrent une hausse de leurs teneurs. L'ensemble des mesures a été réalisé par marée basse de vives eaux et mortes eaux.

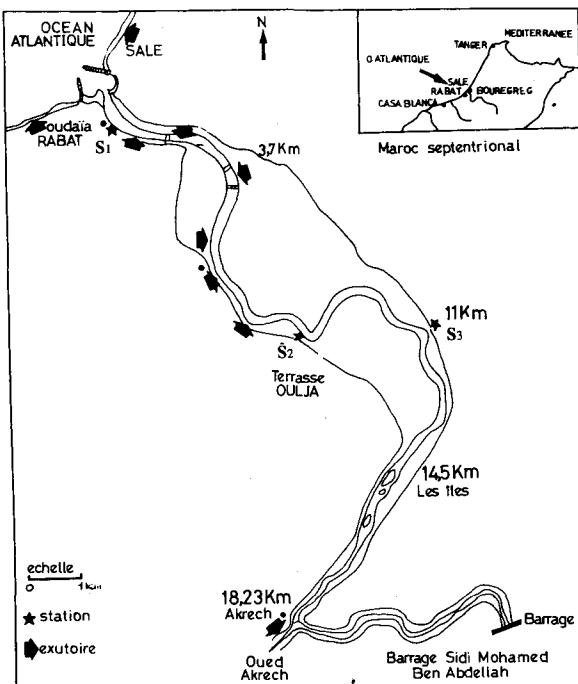


Figure 1 : Distribution des stations d'étude et des éxutoires le long de l'estuaire du Bou Regreg.

(1) Appareil PYE UNICAM SP9-PHILIPS, de la Faculté des Sciences d'Angers.

Tableau I : Données physico-chimiques globales dans l'estuaire du Bou Regreg.

	Station 1	Station 2	Station 3
Salinité totale (g/l)	29,16-34,83	20,69-28,22	17,50-20,69
pH	7,40- 8,10	6,90- 7,90	7,12- 8,10
EAU Oxygène	3,2	3	4,5
Nitrites ($\mu\text{g}/\text{l}$)	31	85	17
Phosphates ($\mu\text{g}/\text{l}$)	150	200	100
SEDIMENT Médiane (μm)	150	160	300
Perte au feu (%)	17,5	28,42	11,59

Le sédiment est constitué près de l'embouchure, par des sables fins à très fins et vases. Vers l'amont, il devient plus grossier. Les valeurs de la perte au feu (calcination à 1000° C pendant 4 heures) montrent un pic net au milieu du système estuarien, suggérant un enrichissement relatif en matière organique sans doute d'origine urbaine.

Ainsi, il paraît qu'au milieu de l'estuaire existe une zone de pollution essentiellement anthropique, qui reçoit des apports urbains (égouts surtout en plus du lessivage des terrains cultivés) riches en matières organiques diverses. Cette source polluante semble se déplacer avec le va-et-vient des marées.

RESULTATS DES ANALYSES METALLIQUES

Les résultats de ces analyses sont présentés dans la figure 2 et le tableau II.

Tableau II : Moyenne annuelle des métaux (p.p.m.) dans les tissus de *Scrobicularia plana*.

m : minimum; x : moyenne; M : maximum. Les valeurs entre parenthèse correspondent à l'écart-type.

Métaux	Cu	Zn	Pb	Hi	Cr	Mn	Fe	V
Station 1	m	8,00	219,00	11,00	8,00	13,00	6,00	1600,00
	x	46,75	523,92	32,16	33,08	35,83	21,55	3730,00
	(23,29)	(170,77)	(13,21)	(13,94)	(9,66)	(12,94)	(1510,70)	(43,39)
Station 2	M	82,00	990,00	58,00	62,00	42,00	56,00	6550,00
	m	3,00	380,00	22,00	17,00	6,00	3,00	1530,00
	x	19,82	538,82	39,45	29,55	34,64	15,36	4451,82
Station 3	(7,34)	(166,88)	(20,90)	(8,14)	(11,06)	(10,20)	(1597,61)	(49,06)
	M	30,00	952,00	84,00	48,00	53,00	42,00	7110,00
	m	15,00	405,00	5,00	23,00	19,00	8,00	3000,00
	x	34,35	503,03	32,15	29,18	28,72	18,19	1657,59
	(16,72)	(207,60)	(14,64)	(6,42)	(7,73)	(7,35)	(1512,89)	(33,90)
	M	73,00	1085,33	62,00	42,00	45,00	33,00	8250,00
								218,00

Station 1

Les concentrations en Cu, Ni et V semblent suivre un rythme saisonnier net. En effet, ils enregistrent, dès la fin de l'hiver, une hausse qui se prolonge sur une grande partie du printemps. Le maximum a lieu en avril pour Cu et V (56 ppm) et en mars pour Ni (48 ppm). Un deuxième pic a lieu au mois de juin pour Cu (77 ppm) et Ni (38 ppm) et en juillet pour V (38 ppm).

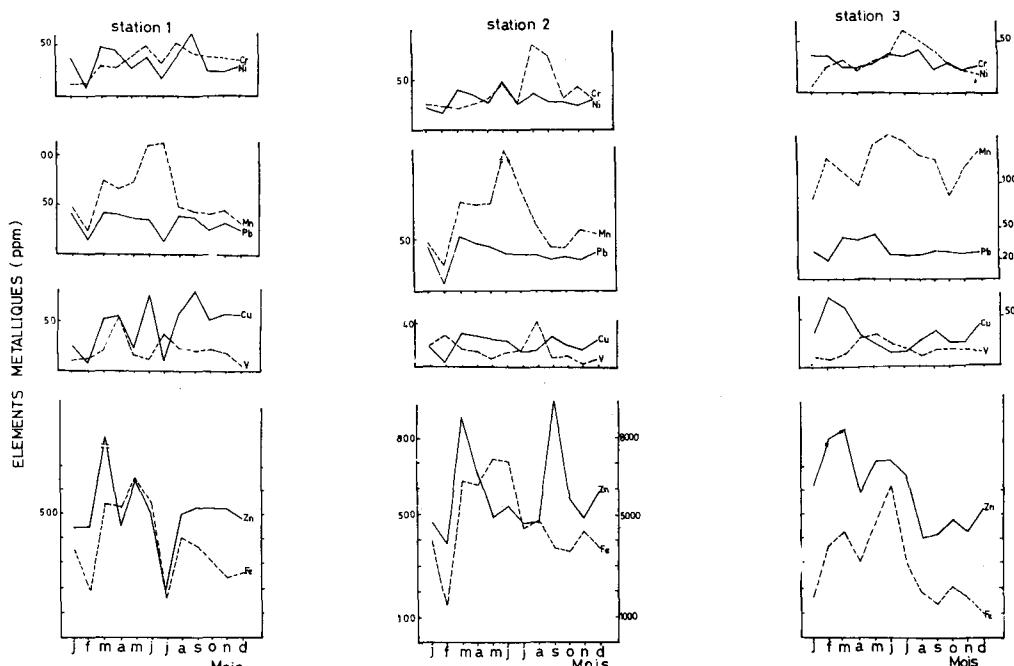


Figure 2 : Variations mensuelles des teneurs métalliques dans les tissus d'individus adultes ($T>20$ mm) de *Scrobicularia plana*.

enregistrent une hausse de leurs teneurs. L'ensemble des mesures a été réalisé par marée basse de vives eaux et mortes eaux.

Les teneurs du Cr s'accroissent de janvier (11 ppm) à mars (29 ppm), se stabilisent en avril (28 ppm) et accusent une forte hausse en juin (49 ppm).

Excepté les deux chutes de février (14 ppm) et de juillet (13 ppm), le Pb ne montre pas de grandes variations au cours de l'année. Un plateau se maintient, pour cet élément, durant le printemps-été avec une légère hausse en mars (42 ppm) et en août (39 ppm).

Les valeurs du Zn accusent de grandes variations durant tout le printemps et une partie de l'été, avec deux pics, en mars (990 ppm) et en mai (666 ppm). Une deuxième période (fin de l'été et tout l'automne) est marquée par de faibles variations.

Les concentrations du Mn sont élevées pendant tout le printemps-été, avec un pic en mars (75 ppm) et un autre en juillet (160 ppm). Elles chutent en janvier (47,7 ppm) et février (23,30 ppm). L'évolution des teneurs en Fe est proche de celle du Mn avec deux pics, en mai (6500 ppm) et en août (4070 ppm).

Station 2

Le V montre deux pics assez nets, en février (28 ppm) et en août (42 ppm). Le Cu enregistre une élévation de ses teneurs de février (3 ppm) à mars (30 ppm) et de août (15 ppm) à septembre (28 ppm). Le Ni accuse un premier pic en mars (40 ppm) suivi d'une baisse durant le printemps, avant de marquer un deuxième pic en juin (48 ppm) et en août (36 ppm).

Hormis la chute observée entre janvier (43 ppm) et février (6 ppm), le Pb montre peu de variations durant toute l'année. Le Cr marque un pic en juin (46 ppm) puis en août (84 ppm).

Le Zn montre deux pics, un en mars (882 ppm) et un en septembre (952 ppm), en dehors desquels, cet élément garde des teneurs faibles et peu fluctuantes.

L'évolution mensuelle des teneurs en Fe et en Mn détermine une période de fortes valeurs s'étalant sur tout le printemps-été, avec un pic en mars ($Mn = 86,29$ ppm et $Fe = 6250$ ppm) et un autre

en juin pour Mn (222 ppm) et en août pour Fe (4730 ppm).

Stations 3

Le V montre des concentrations élevées au cours du printemps, avec un maximum en mai (33 ppm); ses fluctuations sont peu significatives le reste de l'année. Pour le Cu, deux périodes de fortes concentrations sont observées : en février (73 ppm) et mars (61,30 ppm) puis en août (27 ppm) et septembre (36 ppm); les teneurs restent faibles durant les autres périodes. Il en est de même pour le Ni qui accuse deux maximums, en février (36 ppm) et août (42 ppm).

Les teneurs en Pb sont assez élevés entre mars (42,66 ppm) et mai (45 ppm), mais faibles et quasi-constantes le reste de l'année ; ceci rejoint les observations faites aux stations 1 et 2 pour le même métal.

Le Cr enregistre deux pics, en mars (32,82 ppm) et en juillet (62 ppm).

Les modes d'évolution du Fe, Zn et Mn sont très comparables : ils marquent tous, deux pics bien individualisés, le premier en février pour le Mn (122,60 ppm) et en mars pour le Zn (1085,53 ppm) et le Fe (6291 ppm), le second en juin pour les trois métaux (734 ppm pour Zn; 8250 ppm pour Fe; 218 ppm pour Mn).

En somme, tous les éléments analysés, sauf le Pb (voire aussi le V et le Cu) montrent dans toutes les stations un rythme saisonnier, avec deux périodes essentielles de fortes concentrations : «fin de l'hiver-début du printemps» et «fin de l'été-début de l'automne». Par ailleurs, l'automne correspond à une période de faibles variations, de même qu'en hiver, les concentrations baissent pour la majorité des éléments métalliques étudiés.

DISCUSSION

L'explication des résultats chez *S. plana* doit être recherchée au niveau de la biodisponibilité des métaux, en parallèle avec le rôle que peuvent jouer, à ce niveau, les paramètres physico-chimiques du milieu (pH, salinité, température) associée aux processus physiologiques.

Rôle des facteurs abiotiques

Nous observons que la majorité des éléments analysés chez *S. plana* dans l'estuaire du Bouregreg

montre une élévation de leurs concentrations en février et mars, conjointement à un maximum pluviométrique et par conséquent à une baisse de la salinité totale. Dans ce sens, PHILLIPS (1977, *in RITZ & al.*, 1982) a montré chez *Mytilus edulis* que les concentrations tissulaires du Zn, Pb, Fe et Cd augmentent considérablement lorsque la salinité diminue. D'autre part, LUOMA & BRYAN (1978) ont mis l'accent sur la liaison entre les variations de la salinité et la disponibilité du Pb pour *S. plana* dans une série d'estuaires britanniques. Toutefois, la relation entre la bioaccumulation des métaux et la baisse de salinité ne semble vérifiée, dans notre cas, que pour la période, «fin hiver-début printemps». Ceci nous conduit à envisager le rôle d'autres facteurs susceptibles d'intervenir en interaction avec la salinité.

Certains auteurs ont étudié l'effet de la température sur la prise et l'accumulation des métaux par des mollusques bivalves; leurs résultats paraissent souvent contradictoires. RITZ & *al.* (1982) ont trouvé que le taux d'accumulation du Cu, Zn et Pb par *M. edulis planulatus* baisse quand la température s'élève. Mais d'autres auteurs ont montré que l'accumulation de certains métaux ne varie pas avec la température. Tel est le cas de JACKIM & *al.* (1977) pour le Cd chez *M. edulis*, de FOWLER & BENAYOUN (1974) pour le Cd chez *M. galloprovincialis* et de PHILLIPS (1976, *in RITZ & al.*, 1982), pour le Zn et le Pb chez *M. edulis*.

INEZE & *al.* (1980, *in COTTER & al.* 1982) expliquent qu'une température supérieure à 20° C peut entraîner un stress physiologique et affecter, par là, des processus métaboliques (tels le stockage de la nourriture) et, partant, l'accumulation des métaux véhiculés par voie nutritionnelle. Pour BAYNE & *al.* (1976), la température provoquerait une réduction du taux de filtration chez les mollusques bivalves et PHILLIPS (1980, *in RITZ & al.* 1982) pense qu'elle agirait sur le mécanisme du transport ionique au niveau des branchies.

Dans l'estuaire du Bou Regreg, les concentrations métalliques dans le tissus de *S. plana* sont élevées en été et, moins fortement, à la fin de l'hiver, soit durant les deux périodes où la température est à ses valeurs extrêmes. Ces concentrations sont basses et stables en automne, où les températures sont intermédiaires. Ce résultat

est en accord avec celui de BRYAN & *al.* (1983) qui rapportent chez *Littorina littorea* dans des estuaires anglais, une forte accumulation du Cu, Zn, As et Co, à la fois à la fin de l'hiver-début printemps et en juillet-septembre. D'après ces résultats, on pourrait penser que les extrêmes thermiques, surtout celui de l'été favoriseraient la bioaccumulation des métaux, mais il reste à dissocier l'effet de la température de celui des autres facteurs, surtout de la salinité.

Il y a lieu de penser que la température et la salinité interviendraient en interaction. En effet, la hausse des concentrations ioniques en hiver coïncide à la fois avec une salinité et une température faibles.

En travaillant sur les moules *Perna perna* et *M. galloprovincialis* en baie d'Alger, ASSO *et al.* (1986), pensent que les variations des paramètres physico-chimiques, particulièrement le couple salinité-température, seraient à l'origine des fluctuations saisonnières de l'accumulation du Cu, ce qui n'est pas le cas du Zn. Ce résultat semble se rapprocher du nôtre, d'autant plus que les facteurs climatiques sont voisins dans les deux milieux.

Il faut noter que la température et la salinité exercent une certaine influence sur les processus physiologiques liés au métabolisme et surtout à la reproduction (maturité sexuelle, ponte, développement larvaire des œufs), elles joueraient, par là un rôle important dans les variations de la bioaccumulation des métaux.

Il a été montré que le pH influe sur la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux en agissant sur leurs spéciation chimique. En règle générale, la disponibilité des métaux est très importante quand le milieu est alcalin (*in LUOMA, 1983*). En revanche, certaines conditions réductrices augmentent la disponibilité du Cu aux mollusques bivalves *S. plana* et *Macoma balthica*. En effet, exceptionnellement, de fortes teneurs en Cu ont été trouvées dans ces animaux récoltés dans des vases anoxiques (LUOMA, 1983). Aucun mécanisme permettant d'expliquer cette hausse de disponibilité n'a pu être mis en évidence.

Dans l'estuaire du Bou Regreg, les teneurs du Cu, V, Ni, et Pb sont assez fortes en aval (station 1) où le pH est légèrement alcalin (7,5-8) avec un apport polluant notable; une légère diminution de

ces teneurs s'observe plus en amont (st. 2) où le pH est légèrement plus bas (7, 3-7, 7) mais où la pollution est importante. Toutefois, ceci est loin de prouver une intervention du pH dans notre cas.

Rôle des interactions métalliques

De nombreuses études toxicologiques ont analysé les effets des métaux en les prenant isolément. Or, la réponse et la survie à l'action d'un métal dépendent dans de nombreux cas, des autres métaux présents, sans négliger le rôle des facteurs de l'environnement (AHSANULLAH et al., 1981).

Dans l'estuaire du Bou Regreg, nous avons relevé des corrélations positives entre la plupart des éléments métalliques (Fig. 3); ce qui permet d'envisager, dans leurs actions, la possibilité d'une synergie, particulièrement entre Cu et Zn, Ni et Pb, Fe et Mn, qui montrent de fortes corrélations. Le Pb et le Ni montrent une corrélation négative, mais peu significative, avec le Mn, ne permettant pas de conclure à un antagonisme entre ces éléments.

BERTHET et al., (1985) ont montré chez des moules que la bioaccumulation du Zn est affectée par une contamination du Cu, ce qui semble rejoindre notre observation pour le couple Cu-Zn chez *S. plana*.

Rôle des facteurs biotiques

De nombreux travaux (METAYER & al., 1985 ; MAURI & ORLONDO, 1983) ont montré que les processus physiologiques liés à la reproduction expliquent l'essentiel des variations saisonnières des concentrations métalliques dans les tissus des mollusques.

C'est ainsi que pendant la gamétogénèse, les gonades se développent énormément et peuvent constituer un siège efficace d'accumulation des métaux dans l'organisme. Ceci est en rapport avec le fait que l'énergie cellulaire est essentiellement utilisée dans la production des gamètes. En inférieure à 6 mm, donc déjà installés sur le substrat, et ayant entamé leur croissance post-larvaire. D'après l'étude dynamique des populations, il paraît que *S. plana* présente, dans l'estuaire du Bou Regreg, deux périodes de recrutement : un recrutement estival ayant commencé au printemps et un recrutement automnal englobant une partie de l'hiver. Les pontes ont lieu à la fin de l'hiver-début printemps et la fin de l'été-début automne. Les fluctuations du poids sec d'individus ayant une taille de 20 mm et 24 mm (Fig. 4) semblent confirmer ces revanche, l'émission des œufs s'accompagnerait d'une chute des teneurs métalliques, parallèlement à une baisse du poids de l'animal.

Dans l'estuaire du Bou Regreg, le cycle de *S. plana* présente (d'après EL KAIM, 1974) une phase de repos d'octobre à fin décembre, et un recrutement d'août à novembre. D'après KOURRADI (1987) il existe deux recrutements l'un estival et l'autre automnal.

De notre côté, nous avons suivi la dynamique de *S. plana* dans les trois stations prospectées. Le recrutement est défini, sur le terrain, par la taille minimale que notre dispositif d'échantillonnage permet d'obtenir. Comme LACOSTE (1984), nous avons appliqué ce terme à des individus d'une taille périodes de recrutement, les pontes étant accompagnées d'une baisse de poids, dûe à l'émission des produits génitaux. Dans la lagune de Moulay Bou Selham, LACOSTE (1984) trouve deux recrutements, le premier survient en hiver, entre novembre et janvier, le second à la fin du printemps. HUGUES (1971), au pays de Galles, ne décèle qu'une période de ponte, entre juillet et août; ce même résultat est obtenu par STOPFORD (1951, in BACHELET, 1981) dans un estuaire anglais. Dans l'étang de Prévost (France) GUELORGET & MICHEL (1979) situent la

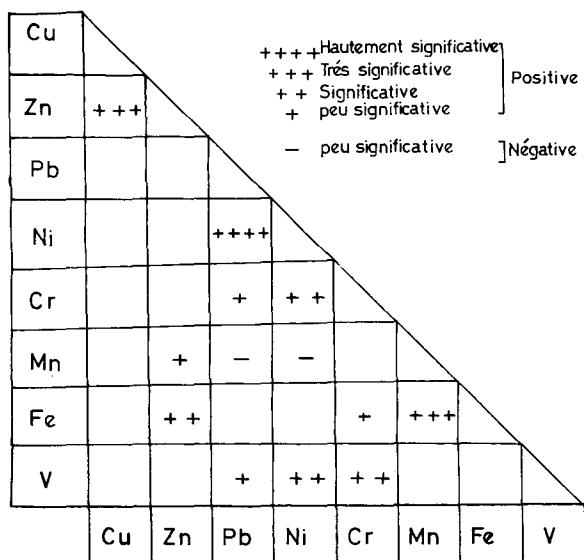


Figure 3 : Matrice des corrélations entre métaux chez *Scrobicularia plana*.

ponte à la fin de l'été, ce qui donne un recrutement automnal, PAES-DA FRANCA (1956) (*in* LACOSTE, 1984) trouve dans l'estuaire de la Tage (Portugal), deux périodes de ponte, de mars à mai puis de juillet à octobre.

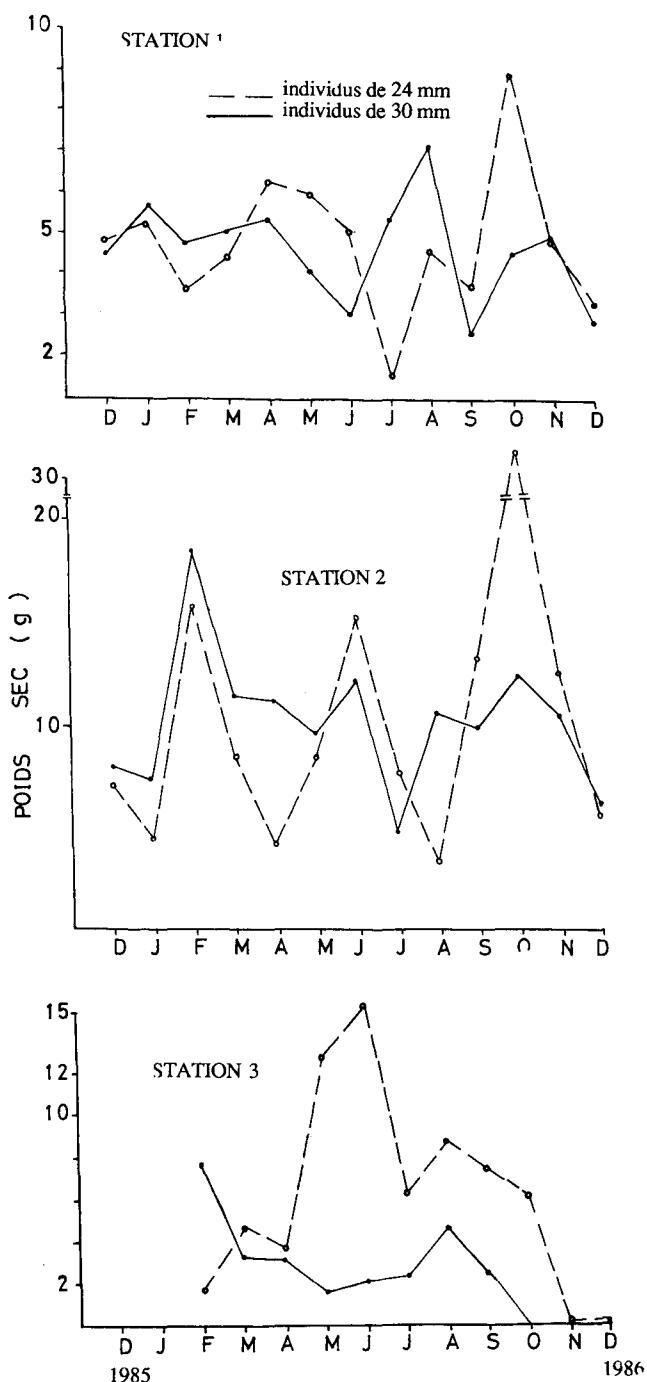


Figure 4 : Variation du poids sec d'individus standards de *Scrobicularia plana*.

Nos résultats relatifs aux concentrations métalliques mensuelles, semblent suivre, à quelques variations près, le cycle de reproduction de *S. plana*, exception faite du Pb, Cu et V qui paraissent être régulés par l'espèce.

Dans les stations 1 et 2, les éléments métalliques montrent une chute à la fin de l'hiver, ce qui va de pair avec le début de la première ponte. Une deuxième période de baisse s'étale de mars en mai; elle correspond au premier recrutement et, selon KOURRADY (1987), a une poursuite de ponte. À la fin de l'été, où commence une seconde période de ponte, nous constatons une diminution notable des concentrations métalliques. Cette ponte est suivie d'un recrutement automnal et des teneurs faibles en métaux. L'automne, période de repos sexuel, est marqué par de faibles variations. Au début de l'hiver et surtout au début de l'été, les métaux accusent des pics nets, conjointement aux processus de gaméto-génèse qui ont lieu à ces moments. Dans ce sens, BRYAN et al. (1980) en étudiant l'accumulation de treize métaux dont Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Mn, et Fe par *S. plana* dans des estuaires anglais, ont montré le rôle de la période du développement des gonades (juin-août) dans les fluctuations des concentrations métalliques au cours de l'année. Ainsi, dans le cadre des études sur le contrôle de la pollution en utilisant *S. plana* comme indicateur, il est préférable d'effectuer les prélèvements au début du printemps et/ou en automne, quand les gonades ne sont pas encore développées. Dans une étude des fluctuations du niveau des métaux (Cu, Zn, Pb, Cd) chez *Crassostrea gigas* qui a duré plus de deux ans, METAYER et al. (1985) ont observé des variations saisonnières, parallèlement à des changements de poids des tissus liés en grande partie à la maturité sexuelle. Dans l'estuaire d'Arno (Italie), MAURI et ORLONDO (1983) rapportent chez *Donax trunculus* deux maximums pour Zn et Mn, en hiver et en été, en rapport avec la maturation des gonades. Chez *Perna perna*, dans la baie d'Alger, ASSO (1984) précise que les concentrations des métaux (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) présentent un minimum automnal et un maximum printanier, que l'auteur a liés aux phénomènes de gaméto-génèse.

En plus des variations saisonnières du poids de l'animal liées à l'activité de reproduction, les fluctuations imputées à d'autres facteurs : (1) la disponibilité de la nourriture et, de là, l'approvisionnement

des bivalves (BRYAN, 1973) ; (2) l'apport des métaux par les précipitations ou l'augmentation du taux de prise dû à un changement de l'état physiologique des animaux (VEGLIA et VAISSIERE, 1986). Ceci expliquerait, comme pour *S. plana* dans notre cas, le fait que les variations des teneurs métalliques, ne reflètent pas exactement le cycle de reproduction, bien qu'une influence de celui-ci reste nettement observable.

CONCLUSION

L'analyse des concentrations métalliques dans les tissus de *S. plana* montre une contamination métallique sans équivoque de cette espèce, dans tous les sites estuariens prospectés. Ceci est en rapport avec la forte charge métallique du sédiment dans

lequel *S. plana* vit et dont elle se nourrit. Certains facteurs de l'environnement (pH, salinité, température) auraient un rôle dans la disponibilité des métaux à *S. plana* et exerceraient une influence sur la biaccumulation. A ce propos, le couple salinité-température semble agir en intéraction.

Les processus physiologiques liés au métabolisme (surtout à la reproduction) contribueraient efficacement dans le déterminisme des variations saisonnières des concentrations métalliques chez *S. plana*. Ces processus, rappelons-le, intègrent les facteurs écologiques extrinsèques.

Les intéractions entre les métaux sont, en règle générale, positives, mais leur mise en évidence doit passer par des expériences de laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- AHSANULLAH, M.; NEGILSKI, D.S. & MOBLEY, M.C.V. (1981).- Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp : *Callianassa australiensis* I : Effects of individual metals. III : Accumulation of metals. *Marine biology*, 64, 229-304 et 311-316.
- AMIARD, J.C.; AMIARD-TRIQUET, C.; BERTHET, B. & METAYER C. (1986).- Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, lead, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. I : Field study. *Marine biology*, 90, 425-431.
- AMIARD-TRIQUET, C.; BERTHET, B.; METAYER, C. & AMIARD J.C. (1986).- contribution to the ecotoxicological study of cadmium, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. II : experimental study. *Marine biology*, 92, 7-13.
- ASSO, A. (1984).- Etude des teneurs globales en métaux lourds chez la moule *Perna perna* (L) dans la région d'Alger. Variation de ces teneurs en fonction de quelques paramètres biologiques. VIIèmes journées Etud. Pollutions, Lucerne, C.I.E.S.M.
- ASSO, A.; ABDELOUAHAB, N.; AZZOUZ M. & NACEUR I. (1986).- Variations des teneurs en zinc, mercure, cuivre et cadmium en fonction de la taille et la date de prélèvement chez deux espèces de moule de la baie d'Alger. XXX^e congrès, Ass. plen., Palma De Majorque (Espagne) C.I.E.S.M.
- BACHELET, G. (1981).- application de l'équation de VONBERTALANFFY à la croissance du bivalve *Scrobicularia plana*. *Biologie marine*, XXII, 292-311.
- BAYNE, B.L., LIVINGSTONE D.R.; MOORE, M.N. & WIDDOWSC. (1976).- A cytochemical and a biochemical index of stress in *Mytilus edulis* L. *Mar. Pollut. Bull.*, 7, 221-224.
- BERTHET, B.; AMIARD, J.C.; AMIARD-TRIQUET, C. & METAYER C. (1985).- Accumulation de quatre métaux (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les animaux marins et côtiers et leurs interactions mutuelles. Actes du 1^{er} collo. Océano. Côt. A.A/D.R.M. (DERMA), Bordeaux.
- BRYAN, G.W. (1973).- The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximums* (L) and *Chlamys opercularis* (L). *J. mar. biol. Ass.*, U.K., 53, 145-166.
- BRYAN, G. W.; LANGSTON, W.G. & HUMMERSTONE L.G. (1980).- The use of biological indicators of heavy metal contamination in estuaries. *J. Mar. Biol. Ass.*, U.K., occasional publication n° 1, 73 p.
- BRYAN, G.W.; LANGSTON, W.G.; HUMMERSTONE, L.G.; BURT, G.R. & HO, Y.B. (1983).- An assessment of the gastropod *Littorina littorea*, as an indicator of heavy metal contamination in United Kingdom estuaries. *J. Mar. Biol. Ass.*, U.K., 63, 327-345.

- BRYAN, G.W. & UYSAL, H. (1978).- Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from the Tamar Estuary in relation to environmental levels. *J. Mar. Biol. Ass., U.K.*, 58, 89-108.
- CHEGGOUR, M. (1988).- *Contribution à l'étude d'un milieu paralique : l'estuaire du Bou Regreg (côte atlantique marocaine) : conditions écologiques globales; étude de la contamination métallique.* Thèse de 3ème cycle, E.N.S. Takaddoum, Rabat, 337p.
- COTTER, A.J.R.; PHILLIPS, D.J.H. & AHSANUL-LAH, M. (1982).- The significance of temperature, salinity and zinc as lethal factors for the mussel *Mytilus edulis* in a polluted estuary. *Mar. Biol.*, 68, 135-141.
- ELKAIM, B. (1974).- *Contribution à l'étude écologique d'un estuaire atlantique marocain : l'estuaire du Bou Regreg.* Thèse Doctorat d'état, Univ. Bordeaux I, 251 p.
- GUELORGET, O. & MICHEL, P. (1979).- Les peuplements benthiques d'un étang languedocien, l'étang de Prévost (Hérault), 1- étude quantitative de la macrofaune des vases. 2- étude quantitative de la macrofaune des sables. *Téthys*, 9, 1, 49-64 et 65-77.
- HUGUES, R.N.; (1971).- Reproduction of *Scrobicularia plana* (Dacosta) in north Wales. *The Veliger*, 14, 1, 77-80.
- KOURRADI, R. (1987).- *Dynamique de la population de Scrobicularia plana (DaCosta 1778) d'un estuaire marocain : l'oued Bou Regreg.* Thèse de 3^e cycle, Univ. Mohamed V, Rabat, 93 p.
- LACOSTE, M. (1984).- *Contribution à l'étude écologique de la lagune de Moulay - Bou - Salham (Maroc) : évolution générale de la répartition et de la production de deux espèces de Pélécypodes (*Scrobicularia plana* et *Cerastoderma edule*) en fonction de la sédimentation et des faciès sédimentaires.* Thèse de 3^e cycle, Univ. P. Sabatier, Toulouse, 168 p., (annexes).
- LUOMA, S.N. & BRYAN, G.W. (1978).- Factors controlling the availability of sediment bound lead to the estuarine bivalve : *Scrobicularia plana*. *J. Mar. Biol. Ass., U.K.*, 58, 793-802.
- . 1979. Trace metal bioavailability : modeling chemical and biological interactions of sediment bound zinc. In E.A. Jenne (Ed.) Chemical modeling - Speciation, Sorption, Solubility and Kinetics in aqueous systems. *American chemic. Soc.*, 577-611.
- LUOMA, S.N. (1983).- Bioavailability of trace metals to aquatic organisms - a review. *The Sci. of the total Environ.*, 28, 1-22.
- MAURI, M. & ORLONDO, E. (1983).- Variability of zinc and manganese concentrations in relation to sex and season in the bivalve *Donax trunculus*. *Mar. Pollu. Bull.*, 14, 9, 342-346.
- METAYER, C.: AMIARD, J.C.; AMIRAD-TRIQUET, C. & BERTHET, B. (1985).- Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les moules et les huîtres de la baie Bourgneuf. *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France*, N^ole série, 7, 2, 53-69.
- RITZ, D.A.; SWAIN, R. & ELLIOT, N.G. (1982).- Use of the mussel : *Mytilus edulis planulatus* (Lamarck) in monitoring heavy metal levels in seawater. *Aus. J. Mar. Freshwater Res.*, 33, 491-506.
- VEGLIA, A. & VAISSIERE, R. (1986).- Seasonal variations of heavy metal concentrations in mussels and sea-Urchins sampled near a harbour area. XXX^e congrès-Ass plen., Palma De Majorque (Espagne), C.I.E.S.M.

Remerciements

Je remercie profondément tous les collègues du laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences d'Angers (France) dirigé par le professeur J. LOUAIL, pour leur collaboration dans le dosage des métaux par spectrophotométrie d'absorption atomique, ainsi que Mr A. BOUSSAÏD de la faculté des Sciences de Marrakech par son assistance précieuse.

Adresse de l'auteur :
Département de Biologie
E.N.S., B.P. S41 Marrakech