

Suivi annuel de l'activité catalase chez des moules et des palourdes originaires de la lagune de Bizerte

Mohamed DELLALI^a, Michèle ROMEO^{b*}, Patricia AISSA^a

^a Laboratoire d'écobiologie animale, Faculté des sciences de Bizerte, 7021 Zarzouna, Tunisie

^b UMR INRA–UNSA 1112 Réponse des organismes aux stress environnementaux (Rose), Faculté des sciences, BP 71, 06108 Nice cedex 02, France

Reçu le 16 octobre 2000 ; révisé et accepté le 16 janvier 2001

Résumé – La réponse d'un biomarqueur biochimique, l'activité catalase, montrant que l'individu a été soumis à un stress oxydant, est suivie mensuellement (mai 1998–mai 1999) chez des palourdes (*Ruditapes decussatus*) et des moules (*Mytilus galloprovincialis*) prélevées dans la lagune de Bizerte (Tunisie) à trois stations (J, A et F) pour les palourdes et deux pour les moules (J et C). Des mesures de paramètres physico–chimiques sont réalisées en parallèle pour évaluer la qualité du plan d'eau. Quelle que soit la station, l'activité catalase chez les palourdes fluctue au cours du temps, avec une augmentation marquée en septembre, mois correspondant à une qualité des eaux médiocre. Si les palourdes originaires de la station A présentent les activités moyennes les plus élevées ($147,27 \pm 10,69 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines), celles de la station J sont plus fluctuantes, entre un minimum de $68,98 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines (avril 1999) et un maximum de $189,32 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines (septembre 1998). La réponse de cette activité anti-oxydante chez les moules est comparable à celle relevée chez les palourdes. Ainsi, l'activité catalase mensuelle est-elle stimulée en été. Cette augmentation est supérieure à la station J, sujette à des phénomènes estivaux d'hyper-eutrophisation. L'activité catalase des moules de la station C, relativement plus stable durant l'année, varie entre $64,23 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en juin et $83,54 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en septembre. La teneur des eaux en oxygène dissous, corrélée négativement et très significativement à la température, est minimale en été. Il est donc vraisemblable que les facteurs du milieu ont une influence sur l'activité catalase mesurée chez des bivalves de la lagune de Bizerte. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

biomarqueur / catalase / lagune de Bizerte / moule / palourde

Abstract – Annual variations of catalase activity in mussels and clams from Lake Bizerte. The variations of catalase activity, which is a biochemical biomarker of exposure to an oxidative stress, were followed month by month (from May 1998 to May 1999) in Mediterranean clams (*Ruditapes decussatus*) collected at three stations (J, A and F), and mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected at two stations (J and C) in Lake Bizerte (Tunisia). Several oceanographic parameters were measured together with catalase activity in the animals to evaluate the quality of waters in the lake. Whatever the station taken into consideration, catalase activity in clams significantly varied as a function of the season, with marked increases in September, when the quality of waters was poor. Clams originating from station A presented the highest mean activity ($147.27 \pm 10.69 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteins), those from J had the most fluctuating monthly

*Correspondance et tirés à part : fax : +33 492 076 822.

Adresses e-mail : romeo@unice.fr (M. ROMEO), Patricia.Aissa@fsb.rnu.tn (P. AISSA).

activity with a minimum of $68.98 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteins (April 1999) and a maximum of $189.32 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteins (September 1998). In mussels, the response of the anti-oxidant activity was comparable to that observed with clams. Monthly catalase activity was generally high in summer. This seasonal increase was especially significant in mussels from station J, which is submitted to a hyper-eutrophication phenomenon in summer. Catalase activity in mussels originating from station C, fairly constant throughout the year, varied in the range $64.23 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteins (June) to $83.54 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteins (September). The level of dissolved oxygen, negatively and significantly correlated with temperature, reached a minimum in summer. These environmental factors may, thus, exert an influence upon catalase activity measured in bivalves from the Lake Bizerte. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

biomarker / catalase / Lake Bizerte / mussel / clam

1. INTRODUCTION

La lagune de Bizerte, située dans la partie septentrionale de la Tunisie, est un milieu économiquement important par sa vocation halieutique et aquacole. Durant la période 1989–1998, la production de moules et de palourdes y a atteint respectivement une moyenne annuelle de $116,5 \text{ t an}^{-1}$ et $4,6 \text{ t an}^{-1}$ (CRDA, 1998). La faible profondeur de cette lagune méditerranéenne, son confinement, ainsi que les apports de sédiments telluriques (transitant par le lac Ichkeul voisin) et/ou marins, en font un milieu instable et particulièrement sensible (*figure 1*). Cette fragilité naturelle est aggravée par la présence de contaminants provenant des activités humaines. Ainsi, 50% des habitants recensés dans le gouvernorat de Bizerte sont-ils concentrés autour de la lagune (ANPE, 1989). Par ailleurs, ce plan d'eau sert d'exutoire à plusieurs unités industrielles, sans compter les pesticides et les engrais qui y sont amenés lors du lessivage des terrains agricoles. Une surveillance de la qualité chimique des produits marins destinés à la consommation locale ainsi qu'à l'exportation est donc jugée nécessaire par les autorités locales. Afin de suivre la qualité de la lagune de Bizerte, il a été procédé à un suivi de la réponse biochimique par l'utilisation d'un biomarqueur chez deux espèces de lamellibranches assez abondantes dans ce milieu : la palourde européenne, *Ruditapes decussatus* et la moule méditerranéenne, *Mytilus galloprovincialis*.

Les biomarqueurs sont définis comme des indicateurs de changements moléculaires, biochimiques et cellulaires provoqués par les polluants chimiques et qui sont mesurables dans des tissus biologiques. Ces changements constituent un système d'alarme précoce de la santé de populations naturelles sous forme d'un signal intégré du stress chimique (McCarthy and Shugart, 1990). De nom-

breuses activités enzymatiques sont considérées comme des biomarqueurs d'exposition, en milieu marin, chez les poissons et les mollusques, notamment celles des enzymes de phase I, dépendantes du cytochrome P450 et des enzymes de phase II. Des activités enzymatiques moins spécifiques que les précédentes permettent d'établir que les organismes ont été soumis à un stress oxydant dû à la génération d'espèces réactives de l'oxygène. Chez les mollusques marins exposés à des xénobiotiques organiques mais aussi à des métaux lourds, la pollution chimique augmente fortement les activités enzymatiques antioxydantes (Livingstone et al., 1990). Le métabolisme cellulaire est altéré, soit par liaison de ces radicaux aux biomolécules solubles ou membranaires soit par réaction de ces biomolécules avec les groupements thiols (SH) (Christie et Costa, 1984 ; Kägi et Hapke, 1984 ; Viarengo et al., 1990). Trois types d'enzymes antioxydantes majeurs sont mis en œuvre pour la destruction des espèces réactives de l'oxygène (Cossu et al., 1997) : les superoxyde dismutases (SOD), les peroxydases et les catalases (cat).

Le biomarqueur considéré dans la présente étude est l'activité catalase (cat, EC 1.11.1.6), connue pour sa fonction d'élimination du peroxyde d'hydrogène durant le métabolisme basal chez les organismes aérobies, mais aussi pour être induite par divers polluants organiques générant un stress oxydant (hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles ; Cossu et al., 1997). Aucune étude n'a abordé jusqu'à présent l'évolution de ce biomarqueur en fonction des facteurs du milieu (température, oxygène dissous, salinité et pH). Il nous a donc semblé intéressant de considérer les variations de l'activité catalase chez *Ruditapes decussatus* et *Mytilus galloprovincialis* dans un milieu lagunaire aux caractéristiques bien particulières.

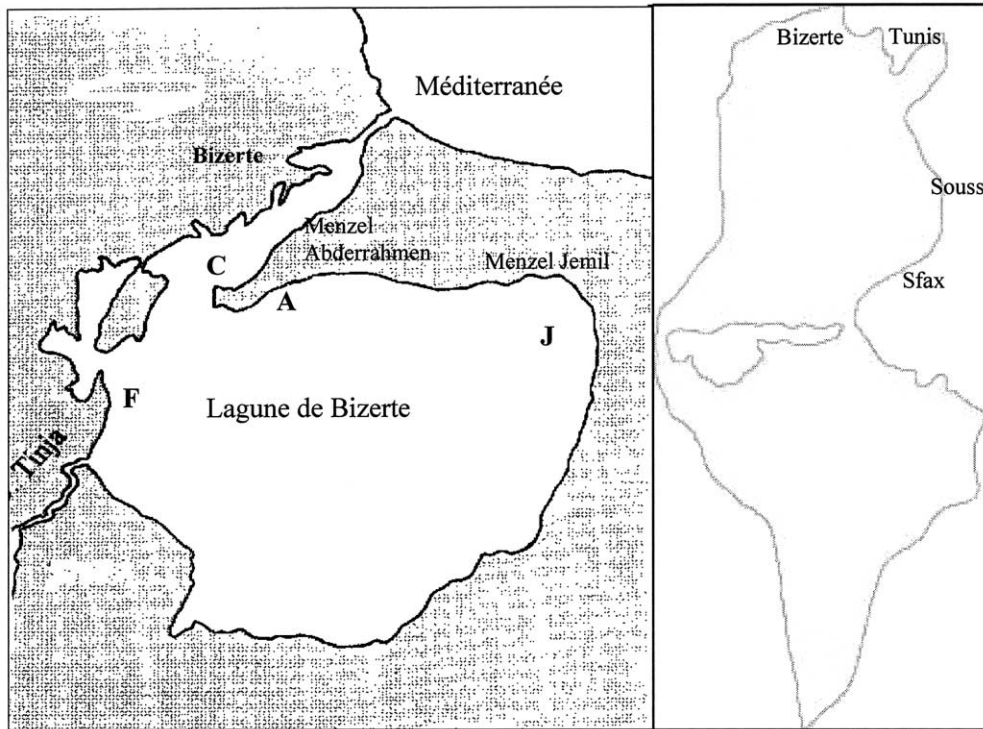


Figure 1. Localisation des sites de prélèvement des mollusques dans la lagune de Bizerte qui s'étend entre 37°8'N, 9°48'E et 37°16'N, 9°56'E : Menzel Abderrahmen (A), baie des Carrières (C), Faroua (F) et Menzel Jemil (J).

Figure 1. Location of sampling sites of molluscs in Lake Bizerte (37°8'N, 9°48'E et 37°16'N, 9°56'E) : Menzel Abderrahmen (A), baie des Carrières (C), Faroua (F), and Menzel Jemil (J).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Échantillonnage

La qualité physico-chimique des eaux de la lagune de Bizerte a été suivie in situ de mai 1998 à mai 1999 par des mesures mensuelles du pH, de la température, de la teneur en oxygène dissous et de la salinité à quatre stations (*figure 1*) : Menzel Jemil (J), Menzel Abderrahmen (A), Faroua (F) et la Baie des Carrières (C) en utilisant respectivement un thermomètre-oxymètre de terrain (CG867) et un salinomètre de terrain (WTW LF 196). La station J est située au nord-est de la lagune, dans une zone relativement confinée, A est limitrophe d'une ville de 10 000 habitants. La station F est localisée au nord-ouest du plan d'eau, sous l'influence directe d'un bassin versant agricole. En revanche, la station C se situe dans le chenal de communication entre la lagune et la Méditerranée. Le matériel biologique est récolté, à raison

de dix individus par station et par mois, aux mêmes stations. Les palourdes (*Ruditapes decussatus*) sont prélevées à la main dans les sédiments où elles sont enfouies, dans la zone de balancement de marées, aux sites J, A et F. Les moules (*Mytilus galloprovincialis*) proviennent de deux fermes aquacoles : celle de la station J et celle de la station C ; les animaux sont suspendus dans des filets attachés par des cordes aux tables d'élevage à une profondeur comprise entre 3 et 5 m. Les filets sont remontés et les animaux facilement récoltés. La taille moyenne (plus grande longueur) des moules est mesurée, elle est égale à 58 ± 6 mm et celle des palourdes à 32 ± 4 mm.

2.2. Préparation des échantillons et techniques d'analyse

Dès le retour au laboratoire, les animaux sont disséqués et leurs masses molles totales congelées dans l'azote liquide

puis conservées à -80°C . Après décongélation, les tissus, maintenus à 4°C pendant toute la durée de dosage, sont broyés à l'ultraturax dans un tampon phosphate (0,1 M, pH 7,5); l'homogénat obtenu est centrifugé à $9000 \times g$ pendant 20 min. Le surnageant, appelé S9, contenant le cytosol, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et les protéines cytosoliques est récupéré pour la détermination de l'activité enzymatique. La quantité de protéines présentes dans le S9 est déterminée selon la méthode de Bradford (1976), en utilisant le bleu de Coomassie comme réactif. L'activité catalase est mesurée à 240 nm (spectrophotomètre Jenway 6105) par la variation de la densité optique consécutive à la dismutation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ($\epsilon = 40 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) en faisant réagir, dans 100 mM de tampon phosphate pendant 1 min à pH 7,5, 100 μL de H_2O_2 (500 mM) avec 20 μL du S9, à une température d'incubation de 25°C (Claiborne, 1985). Les réactifs proviennent de Sigma-Aldrich. Les résultats sont exprimés en micromoles d' H_2O_2 dismutées par minute et par milligramme de protéines.

2.3. Traitement statistique

Pour chaque station et pour chaque espèce, les moyennes mensuelles (ainsi que l'écart-type sur la moyenne) de l'activité catalase sont calculées à partir de dix échantillons dans tous les cas (treize mois). Une analyse de variance Anova à un facteur permet de constater si les variations de l'activité catalase en fonction du site de prélèvement présentent des différences significatives pour une même espèce. Quand l'analyse de variance est significative (le nombre de données étant de 390 pour les palourdes et 260 pour les moules), les comparaisons entre les sites sont faites à l'aide du test F de Scheffé. Enfin, les corrélations entre les paramètres abiotiques et les activités catalase mensuelles sont établies après calcul du coefficient de Bravais-Pearson.

3. RÉSULTATS

3.1. Paramètres physico-chimiques

Les valeurs mensuelles du pH (*figure 2-1*), comprises entre 7,92 et 8,99, minimales pendant la période hivernale, restent relativement stables pendant la période d'étude. En revanche, les teneurs en oxygène dissous

(*figure 2-2*), toutes stations confondues, oscillent entre un minimum de $3,90 \text{ mg L}^{-1}$ en août (station J) et un maximum de $8,56 \text{ mg L}^{-1}$ en février à la station F. C'est à la station J que les conditions d'oxygénation sont les plus fluctuantes au cours du temps. La salinité (*figure 2-3*) varie de manière spatio-temporelle de 31,2 à 39,3 avec des minima hivernaux et des maxima pendant la période estivale. C'est à la station la plus « continentale » (F) que sont enregistrés les plus grands écarts halins (7). La température des eaux (*figure 2-4*) montre les mêmes variations temporelles de $9,2^{\circ}\text{C}$ à $31,4^{\circ}\text{C}$.

3.2. Activité catalase chez les palourdes

L'activité catalase des palourdes évolue nettement dans le temps à chaque station (*figure 3*). C'est à la station A que les palourdes présentent les réponses enzymatiques les moins variables, l'écart maximal des activités mensuelles étant seulement de $40,50 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines alors que les stations de Faroua et Menzel Jemil présentent des écarts plus importants (F : $82,76 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines et J : $120,34 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines). Pour la station J, on trouve l'activité la plus faible de l'ensemble des valeurs en avril ($68,98 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines) mais aussi l'activité la plus forte ($189,32 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines) en septembre. À la station F, les animaux présentent un cycle un peu différent avec deux pics d'augmentation, le plus important étant observé en août–septembre ($172,36 \pm 13,2 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines pour septembre) et le second moins significatif en janvier ($133,54 \pm 12,00 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines). Pour l'ensemble des stations, les activités sont maximales durant les mois d'août–septembre.

Les valeurs annuelles sont, pour la station J, de $109,13 \pm 40,01 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines, pour la station F de $115,48 \pm 28,03 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines et pour la station A de $147,28 \pm 13,03 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de protéines. La variation inter-site de l'activité catalase chez les palourdes est évaluée par analyse de variance (*tableau 1*) qui est significative à $P < 0,0001$. Cette analyse montre des différences très significatives ($P < 0,0001$). Les tests de Scheffé de comparaison site à site montrent que les palourdes des stations J et F ont des activités catalase qui ne sont pas différentes entre elles (test F de Scheffé non significatif, *tableau 1*), mais qui sont plus faibles que

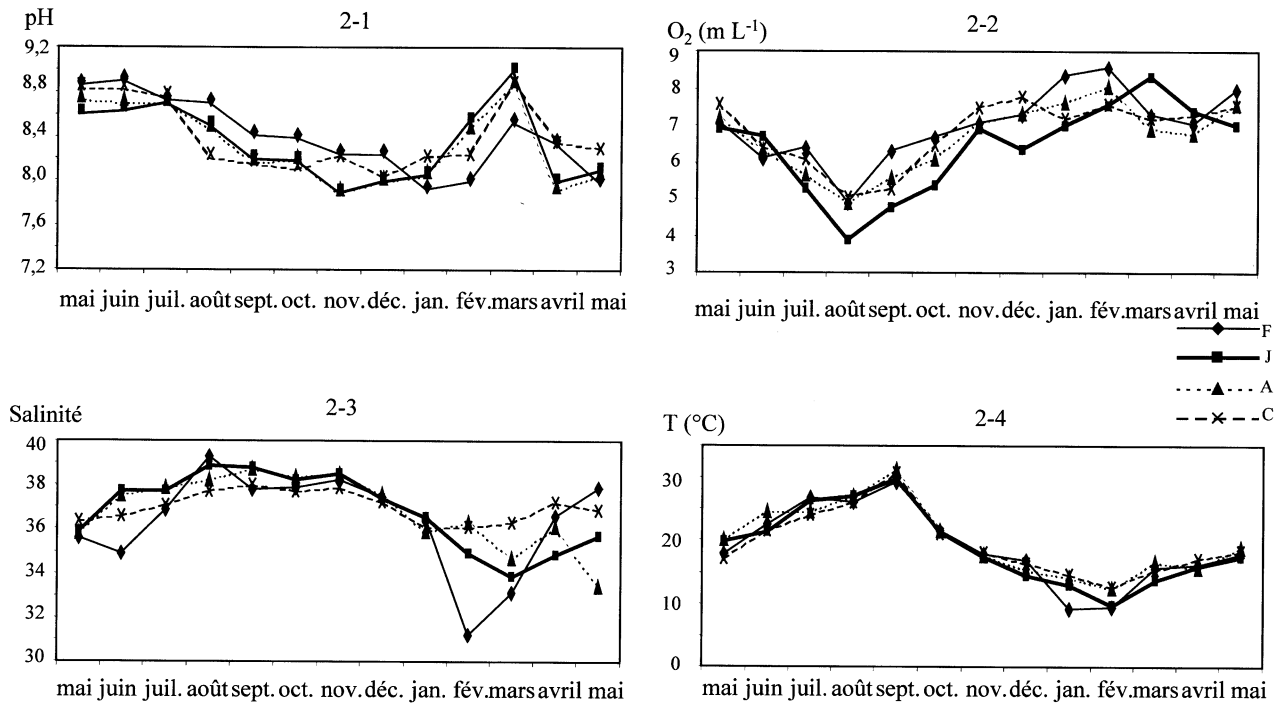


Figure 2. Paramètres hydrologiques mesurés dans la lagune de Bizerte, en fonction du temps. 2-1. Évolution annuelle du pH ; 2-2. Évolution annuelle de l'oxygène dissous ; 2-3. Évolution annuelle de la salinité ; 2-4. Évolution annuelle de la température.

Figure 2. Hydrological parameters measured in Lake Bizerte, as a function of time. 2-1. Annual variation of pH; 2-2. Annual variation of dissolved oxygen; 2-3. Annual variation of salinity; 2-4. Annual variation of temperature.

celles des palourdes de la station A (test F de Scheffé significatif à $P < 0,05$ dans les deux cas, *tableau I*).

3.3. Activité catalase des moules

Les réponses enzymatiques mensuelles des moules présentées dans la *figure 4* varient en fonction de la saison, surtout pour la station J, on trouve un minimum de $47,52 \pm 6,41 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en décembre et un maximum de $87,59 \pm 11,70 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en septembre. Les variations de l'activité catalase sont moindres à la station C, elles s'étendent de $64,23 \pm 6,00 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en juin 1998 à $83,54 \pm 25,00 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines en septembre (*figure 4*).

Les valeurs annuelles sont, pour la station J, de $62,40 \pm 16,50 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines et, pour la station C, de $71,40 \pm 9,21 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines. La comparaison inter-site (J et C) des activités catalase est évaluée par analyse de variance (*tableau II*), qui est très

significative à $P < 0,0001$. Le test de Scheffé ($P < 0,05$) montre que la plus forte activité enzymatique est observée dans les moules de C par rapport à celles de J.

3.4. Comparaison de l'activité catalase chez les deux bivalves

Cette activité enzymatique peut seulement être comparée à l'endroit où l'on a prélevé des palourdes et des moules, c'est-à-dire à la station J. Les moules collectées montrent le même profil d'évolution temporelle de l'activité catalase que les palourdes, avec une période d'augmentation nette en été. Celle-ci est suivie d'une seconde phase de baisse significative de l'activité catalase mensuelle de décembre 1998 à avril 1999 (*figures 3 et 4*).

3.5. Influence des facteurs du milieu

Si l'on considère les facteurs abiotiques qui peuvent être plus ou moins limitants pour les bivalves et leur activité

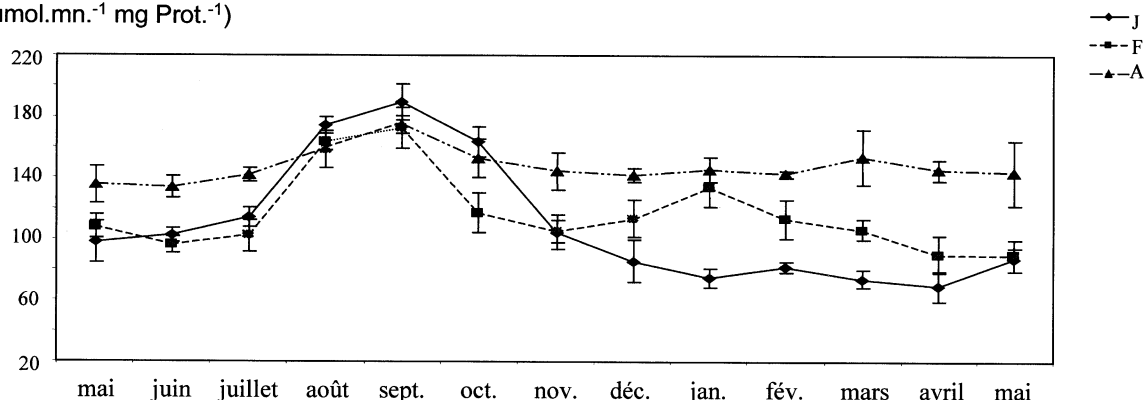
Catalase ($\mu\text{mol.mn.}^{-1} \text{mg Prot.}^{-1}$)

Figure 3. Suivi annuel de l'activité catalase chez la palourde de la lagune de Bizerte provenant des stations J (Menzel Jemil) ; F (Faroua) et A (Menzel Abderrahmen).

Figure 3. Variation of catalase activity in clams from Lake Bizerte collected at stations J (Menzel Jemil); F (Faroua) and A (Menzel Abderrahmen).

catalase, la réponse des animaux, exception faite des palourdes de la station F, est corrélée positivement avec la température et négativement avec l'oxygène dissous (*tableau III*). La salinité, sauf en J, ne présente aucune corrélation significative avec l'activité catalase des bivalves. Le pH, dont les variations sont faibles, n'est pas corrélé à l'activité enzymatique mesurée.

4. DISCUSSION

La lagune de Bizerte est un milieu fluctuant en raison de sa faible profondeur et de son hydrodynamisme restreint en période estivale, notamment à la station F. C'est ainsi que la teneur des eaux en oxygène dissous, corrélée négativement et très significativement à la température, est minimale au mois d'août 1998 à la station J ($3,9 \text{ mg L}^{-1}$). Plusieurs auteurs (Azouz, 1966 ; Aissa, 1991 ; Dellali, 1996) ont déjà signalé cet appauvrissement estival, lié à des phénomènes d'eutrophisation et à la

prolifération d'algues nitrophiles. De même, la salinité est corrélée très significativement à la température. Il est donc vraisemblable que ces facteurs ont une influence sur l'activité catalase.

Le stress oxydant se traduisant par la formation de nombreuses espèces réactives de l'oxygène potentiellement toxiques (Borg et Schaich, 1984), l'activité catalase nous renseigne sur le degré d'altération de la cellule (Di Giulio et al., 1993). Ainsi, cette activité augmente-t-elle aussi bien chez des poissons que chez des bivalves exposés à des polluants organiques (Rodriguez-Ariza et al., 1993 ; Torreilles et al., 1996). Par ailleurs, les travaux effectués sur les biomarqueurs de stress oxydant au laboratoire et surtout in situ montrent que le caractère aspécifique de leur réponse constitue un avantage comme indicateur d'un état de pollution mixte (Cossu et al., 1997). Ainsi, la biosurveillance de la lagune de Bizerte par le biais de la mesure de l'activité catalase chez des palourdes et des moules montre-t-elle des

Tableau I. Analyse de variance de l'activité catalase des palourdes.

Table I. Analysis of variance of catalase activity in clams.

Source de variation	Degrés de liberté	Test F	Comparaison site à site	Test F de Scheffé
Inter-groupe	2	63,691	J/F	1,54
Intra-groupe	387	$P = 0,0001$	J/A	55,47*
Total	389		F/A	38,527*

Mesures effectuées sur des palourdes prélevées aux trois stations J, F et A de la lagune de Bizerte entre mai 1998 et mai 1999 ; * test de Scheffé significatif à $P < 0,05$.

Clams were collected from three sites J, F and A in Lake Bizerte (from May 1998 to May 1999); * Scheffé test significant at $P < 0.05$.

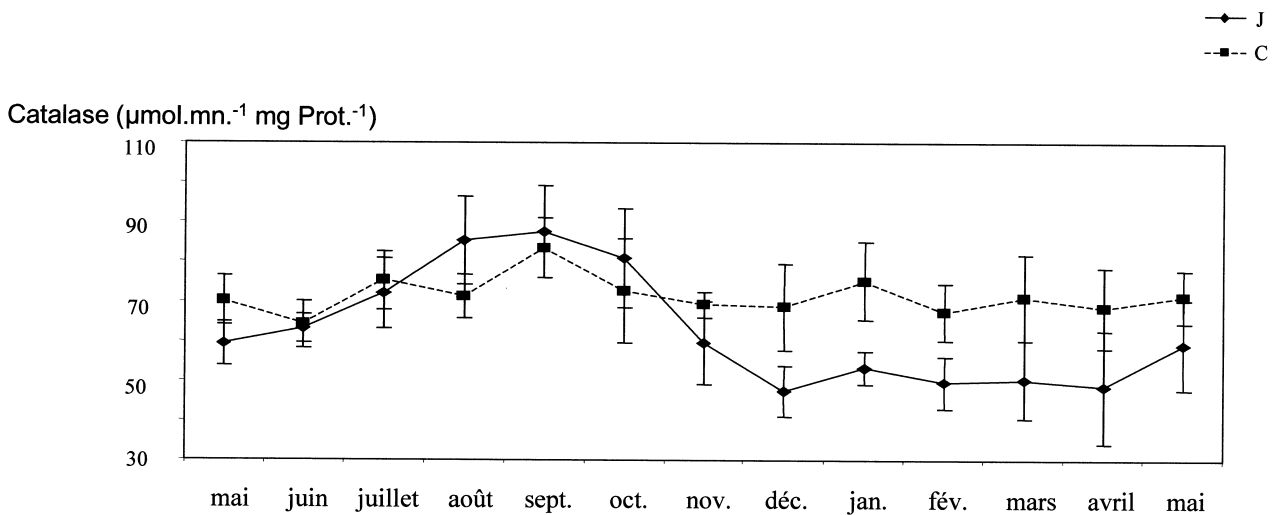


Figure 4. Suivi annuel de l'activité catalase chez la moule de la lagune de Bizerte provenant des stations J (Menzel Jemil) et C (baie des Carrières).
Figure 4. Variation of catalase activity in mussels from Lake Bizerte collected at stations J (Menzel Jemil) and C (baie des Carrières).

fluctuations temporelles, plus ou moins importantes, selon les stations de collecte. La réponse de ce biomarqueur dépend de facteurs abiotiques du milieu, notamment la température et l'oxygène, très limitants en milieu lagu-

naire. Pellerin-Massicotte (1994) a déjà observé, chez les moules d'une zone estuarienne, l'effet stimulant d'une élévation de la température sur l'activité catalase. Abel et al. (1998) ont, quant à eux, signalé qu'une diminution de

Tableau II. Analyse de variance de l'activité catalase des moules.
Table II. Analysis of variance of catalase activity in mussels.

Source de variation	Degrés de liberté	Test F	Comparaison site à site	Test F de Scheffé
Inter-groupe	2	29,526	J/C	29,526*
Intra-groupe	258	$P = 0,0001$		
Total	259			

Mesures effectuées sur des moules prélevées à deux stations J et C de la lagune de Bizerte entre mai 1998 et mai 1999 ; * test de Scheffé significatif à $P < 0,05$.

Mussels were collected from two sites J and C in Lake Bizerte (from May 1998 to May 1999); * Scheffé test significant at $P < 0.05$.

Tableau III. Coefficients de corrélation entre l'activité catalase (cat) et certains facteurs du milieu.
Table III. Correlation coefficients between catalase activity (cat) and some environment factors.

Espèce	Palourde			Moule	
	Menzel Abderrahmen	Faroua	Menzel Jemil	Baie des Carrières	Menzel Jemil
Température/cat	0,530*	NS	0,840***	0,601**	0,906***
Oxygène/cat	-0,540*	NS	-0,901***	-0,530*	-0,790***
Salinité/cat	NS	NS	0,770***	NS	0,750***
pH/cat	NS	NS	NS	NS	NS

degrés de liberté (ddl) = 11 ; *** : très significatif ($P < 0,001$) ; ** : significatif ($P < 0,05$) et NS : non significatif.
degrees of freedom (df) = 11; ***: highly significant ($P < 0.001$); **: significant ($P < 0.05$) and NS: non significant.

la teneur en oxygène est à l'origine d'une augmentation de l'activité catalase chez le ver *Heteromastus filiformis*. À la station J, confinée en été, il se produit une nette augmentation de la température et une diminution consécutive des taux en oxygène dissous, à l'origine d'un phénomène épisodique de forte eutrophisation (Dridi, 1977 ; Aissa 1991 ; Dellali et Aissa, 1998). Ceci explique également la corrélation entre l'activité catalase des bivalves et la salinité (très élevée en été au niveau du site J, parallèlement à une forte élévation thermique des eaux).

La comparaison inter-site des activités annuelles moyennes des palourdes souligne une variation spatiale du niveau des activités anti-oxydantes, les animaux de la station A présentant une réponse significativement plus forte que ceux des autres sites. Ce phénomène est permanent, comme le montre la faible variabilité de l'activité catalase mensuelle. Cependant, la non spécificité d'un biomarqueur comme la catalase empêche d'identifier la véritable cause des réponses enzymatiques. Ces réponses résultent en partie d'une perturbation anthropique, engendrée par les rejets domestiques de la ville avoisinante de Menzel Abderrahmen (10 000 habitants) mais il n'est pas impossible non plus qu'interviennent la position du site, son hydrodynamisme et leurs implications dans le processus de dilution des contaminants. Ce point explique pourquoi il est malaisé de ranger les stations en fonction de l'activité catalase mensuelle des bivalves étudiés. Ainsi, quand les eaux ne sont pas confinées (novembre à mai), la station J est la moins perturbée. En revanche, cet ordre s'inverse d'août à septembre en période de forte eutrophisation, localisée à la station J (maxima d'activité catalase pour les palourdes et les moules). Cette observation, limitée dans le temps, exclut une origine purement anthropique de la réponse observée chez les palourdes de la lagune de Bizerte. Quant aux palourdes de la station F, l'augmentation de leur activité catalase, de décembre à février 1999, pourrait s'expliquer par la localisation du site, l'oued Tindja y amenant des apports terrigènes en période de crues. Divers contaminants organiques, notamment des pesticides et des engrais chimiques connus pour augmenter l'activité catalase (Rodriguez-Ariza et al., 1993), pourraient ainsi être introduits dans la lagune. En effet l'utilisation des pesticides est accrue dans le secteur nord-ouest de la lagune durant la période allant de mars à juillet.

Pour les moules, ce sont celles de la station C qui montrent souvent l'activité catalase la plus constante et la plus élevée. Ceci pourrait être lié à l'absence de fluctuations saisonnières marquées de la température en cette station sous influence marine. De plus, ce site est contaminé conjointement par les rejets urbains, les bateaux transitant par le canal de Bizerte, la cimenterie, toute proche, et, secondairement, les hydrocarbures rejetés dans le port et/ou l'effluent sortant de la raffinerie de Bizerte (Beyrem, 1999). A Menzel Jemil, les moules, tout comme les palourdes, manifestent une augmentation notable de l'activité anti-oxydante seulement en période estivale d'hyper-eutrophisation.

Les apports anthropiques et/ou les conditions du milieu ne sont pas les seuls phénomènes qui interviennent dans la réponse enzymatique catalase étudiée. Les populations de palourdes et de moules, prélevées en différents points de la lagune de Bizerte, n'étant pas les mêmes, elles peuvent présenter un grand polymorphisme génétique, et ne répondent pas de la même façon aux modifications du milieu.

La comparaison de l'activité catalase par rapport aux données bibliographiques montre que les valeurs obtenues dans cette étude sont proches de celles de Khessiba (1999) et Khessiba et al. (2001) chez des moules provenant des stations J et C à la fin du mois de novembre 1999. Il nous est en revanche difficile de faire des comparaisons pour la palourde, vu le peu de données disponibles sur l'activité catalase chez cet animal.

En conclusion, nos résultats valident l'utilisation in situ du suivi de l'activité catalase chez des palourdes et des moules provenant d'écosystèmes perturbés naturellement et/ou anthropiquement. Dans la lagune de Bizerte, c'est la palourde qui pourrait être utilisée préférentiellement dans les programmes de biosurveillance en raison de son activité catalase plus sensible que celle des moules prélevées dans le même biotope, et de son abondance au niveau des côtes (trois points de prélèvement au moins). De plus, sa répartition au niveau des sédiments côtiers dans la zone de balancement des marées fait que cet animal représente la première ligne de contact avec les apports terrigènes et constitue par conséquent un système de détection précoce de contamination du milieu. Cette étude doit être complétée par le suivi d'autres biomarqueurs du stress oxydant (taux de peroxydation lipidique estimé par le malondialdéhyde, activité superoxyde dismutase, glutathion peroxydase,

etc...). Il serait aussi important de compléter ce travail par l'étude de la variation de l'activité catalase chez les bivalves en fonction de leur maturité sexuelle, l'état physiologique étant un facteur important dans la variation des biomarqueurs.

Remerciements

Les auteurs remercient la Coopération inter-universitaire franco-tunisienne (CMCU) qui a permis la réalisation de ce travail dans le cadre du projet 98F 09 01.

RÉFÉRENCES

- Abel, D., Grobpietsch, H., Portner, H., 1998. Temporal fluctuations and spatial gradients of environmental pO₂, H₂O₂ and H₂S in its intertidal habitat trigger enzymatic antioxidant protection in the capitellid worm *Heteromastus filiformis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 163, 179–191.
- Aissa, P., 1991. Écologie des nématodes libres de la lagune de Bizerte. Dynamique et biocoénotique. Thèse de doctorat d'État. Faculté des sciences, Tunis.
- ANPE (Agence nationale pour la protection de l'environnement de Tunisie), 1989. Diagnostic préliminaire pour l'étude de l'équilibre écologique du lac de Bizerte.
- Azouz, A., 1966. Étude des peuplements et des possibilités d'ostréiculture du lac de Bizerte. Ann. Inst. Océano. Pêches. Salammbô 15, 1–69.
- Beyrem, H., 1999. Écologie des nématodes libres de deux milieux anthropiquement perturbés : la baie de Bizerte et le lac Ichkeul. Thèse de doctorat. Faculté des sciences, Bizerte.
- Borg, D.C., Schaich, K.M., 1984. Cytotoxicity from coupled redox cycling of autoxidizing xenobiotics and metals. Israel J. Chem. 24, 38–53.
- Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72, 248–254.
- Christie, N., Costa, M., 1984. In vitro assessment of the toxicity of metals compounds. IV Disposition of metals in cells : interaction with membranes, glutathione, metallothionein and DNA. Biol. Trace Elem. Res. 6, 139–158.
- Claiborne, A., 1985. Catalase activity. In : Greenwald, R.A. (Ed.), Handbook of methods of oxygen radical research. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 283–284.
- Cossu, C., Doyotte, A., Jacquin, M.C., Vasseur, P., 1997. Biomarqueurs du stress oxydant chez les animaux aquatiques. In : Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.), Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Masson, Paris, Milan, Barcelone, pp. 149–163.
- CRDA (Commissariat régional au développement agricole de Bizerte), 1998. Rapport annuel de l'arrondissement de la pêche.
- Dellali, M., 1996. État de pollution de la lagune de Bizerte et effets à court terme de certains polluants sur *Sphaeroma serratum* (Fabricius, 1787), *Idotea balthica* (Pallas, 1772) et *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758). Rapport de D.É.A. Faculté des sciences, Tunis.
- Dellali, M., Aissa, P., 1998. État de pollution de la lagune de Bizerte. Bull. Inst. Nat. Sci. Tech. Mer. 3, 56–60.
- Di Giulio, R.T., Habig, C., Gallagher, E.P., 1993. Effects of Black Rock Harbor sediments on indices of biotransformation, oxidative stress, and DNA integrity in channel catfish. Aquat. Toxicol. 26, 1–22.
- Dridi, S., 1977. Recherches écologiques sur les milieux lagunaires du nord de la Tunisie. Thèse de spécialité. Faculté des sciences, Tunis.
- Kägi, J.R., Hapke, H.J., 1984. Biochemical interactions of mercury, cadmium, and lead. In : Nriagu, J.O. (Ed.), Changing metals cycles and human health, Dahlem Konferenzen. Springer-Verlag, Berlin, pp. 237–250.
- Khessiba, A., 1999. Premières données sur la moule de la lagune de Bizerte : potentialités mytilicoles d'une ferme aquacole et étude des biomarqueurs. Rapport de D.É.A. Faculté des sciences, Bizerte.
- Khessiba, A., Hoarau, P., Gnassia-Barelli, M., Aissa, P., Roméo, M., 2001. Biochemical response of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from Bizerta (Tunisia) to chemical pollutant exposure. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 40, 222–229.
- Livingstone, D.R., Garcia-Martinez, P., Michel, X., Narbonne, J.F., O'Hara, S., Ribera, D., Winston, W., 1990. Oxyradical production as a pollution-mediated mechanism of toxicity in the common mussel, *Mytilus edulis* L., and other molluscs. Ecology 4, 415–424.
- McCarthy, J.F., Shugart, L.R., 1990. Biomarkers of environmental contamination. Lewis Publishers, Inc., Boca Raton, FL.
- Pellerin-Massicotte, J., 1994. Oxidative processes as indicator of chemical stress in marine bivalves. J. Aquat. Ecos. Health. 3, 101–111.
- Rodriguez-Ariza, A., Peinado, J., Pueyo, C., Lopez-Barea, J., 1993. Biochemical indicators of oxidative stress in fish from polluted littoral areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50, 2568–2573.
- Torreilles, J., Guérin, M.C., Roch, P., 1996. Espèces oxygénées réactives et systèmes de défense des bivalves marins. C. R. Acad. Sci. III 319, 209–218.
- Viarengo, A., Canesi, L., Pertica, M., Moore, M.N., Orunesu, M., 1990. Heavy metals effects on lipid peroxidation in the tissue of *Mytilus galloprovincialis* Lam. Comp. Biochem. Physiol. 97C, 37–42.