

ÉTUDE SUR LA RÉSISTANCE A LA TEMPÉRATURE DE QUELQUES MOLLUSQUES MARINS DES CÔTES DE PROVENCE⁽¹⁾

par A. BODOY et H. MASSÉ

Station Marine d'Endoume, rue Batterie des Lions, 13007 Marseille

RÉSUMÉ

Une étude expérimentale des effets létaux des températures élevées a été entreprise sur des Mollusques marins vivant dans les fonds meubles superficiels, en mer Méditerranée nord-occidentale.

La détermination des températures létales pour 50 % des individus (T.L. 50), ainsi que des températures d'enfouissement pour 50 % des Mollusques endogés (T.E. 50), a été faite pour une série d'intervalles, pendant une période de 96 h. Ce processus, qui met en évidence l'évolution des T.L. 50 et des T.E. 50 dans le temps, autorise une plus grande confiance dans les résultats. La courbe des T.E. 50 doit être considérée comme une limite écologique pour la survie des individus en place.

Les valeurs des T.L. 50 et des T.E. 50, pour une espèce donnée, sont plus élevées lorsque celle-ci est acclimatée à une température élevée. Ceci revient à dire que, pour une espèce, sa température létale est plus élevée en été qu'en hiver. Toutefois, c'est en été que les limites fatales pour la faune seront atteintes, en mer Méditerranée, dans les zones soumises à une pollution thermique intense.

Les résultats de cette étude permettent d'avancer trois autres conclusions.

— Pour l'espèce *Donax trunculus*, l'âge des individus a peu d'influence sur les valeurs des T.L. 50, cependant la réponse d'enfouissement est plus rapide chez les jeunes que chez les adultes, pendant les premières heures d'expérience.

— Les T.L. 50 les plus élevées ont été observées chez les espèces les plus superficielles, et les T.L. 50 les plus basses chez celles vivant plus profondément. Ceci est particulièrement vrai pour les espèces qui ont une distribution bathymétrique bien nette en ceintures successives à une profondeur croissante.

— Pour des espèces ayant la même distribution bathymétrique, celle qui a le plus faible taux métabolique possède la T.L. 50 la plus élevée.

Enfin, d'une manière générale, il est intéressant de noter que l'exposition naturelle à des chocs thermiques, qu'il s'agisse de l'acclimatation saisonnière, de l'effet lié à la répartition bathymétrique des espèces ou à la profondeur d'enfouissement dans le sédiment, a pour conséquence une augmentation des T.L. 50.

SUMMARY

Temperature tolerance of some marine molluscs
of the Mediterranean north-west coast

The major contribution made by the present study is to the definition of the upper temperature tolerance limits of some molluscs from soft sediments of the shallow water zone of the Mediterranean north-west coast.

The experimental procedure developed has involved the determination of medium lethal temperature (T.L. 50) at a number of time intervals following introduction of the molluscs to the experimented temperature. At the same time, a medium burial temperature (T.E. 50) was

(1) Travail de recherche exécuté sous-contrat n° 082 747 Env. F. du Programme de Recherche sur l'Environnement des C.E.

also determined which represents an important ecological tolerance limit set by a temperature effect on behaviour.

The combination of determinations of a time serie of T.L. 50 and T.E. 50 values allows much greater confidence in the results obtained than is possible with a single determination of T.L. 50 at one time interval.

Both T.L. 50 and T.E. 50 values for a given species are higher at higher seasonal acclimation temperature that is when the difference experienced between the acclimation and experimental temperatures is greater than the T.L. 50 and T.E. 50 values are lower. Nevertheless, it is in summer that the thermal effect will be the more dangerous for Mediterranean molluscs living in shallow water.

Three further main conclusions appear from the

INTRODUCTION

La perspective de la mise en chantier de nombreuses centrales électriques sur le littoral européen, et français en particulier, a provoqué une inquiétude, non seulement chez les professionnels vivant de la mer, mais aussi chez les riverains des rivages concernés. Une des nuisances liée à ces projets concerne les effets de la pollution thermique. L'ampleur de cette dernière sera notablement plus importante autour des centrales électro-nucléaires à circuit de refroidissement ouvert, et ceci d'autant plus que la tendance actuelle est au regroupement de plusieurs centrales sur un même site.

Les efforts entrepris pour la protection des écosystèmes menacés portent surtout sur l'étude préalable des sites, c'est pourquoi il nous a paru intéressant d'aborder ce problème par l'étude expérimentale des effets de la température sur des invertébrés marins benthiques. Ce travail nous semble d'autant plus indispensable que le nombre des travaux consacrés à ce sujet est limité pour l'Europe et que la plupart des données disponibles concernent des espèces américaines (CLARK et BROWNELL, 1973).

Cette étude préliminaire n'aborde qu'un aspect extrême de la pollution thermique puisqu'elle traite uniquement de l'effet létal des températures supérieures, ceci afin de fixer l'ordre de grandeur des

résultats concernant la biologie et environnemental factors influencing T.L. 50 and T.E. 50 values.

— For *Donax trunculus*, the age of the animal had little or no effect on T.L. 50, but young animals showed a faster burrowing response, particularly during the first hours of the experiment.

— The highest T.L. 50 values indicating less sensibility to high temperatures were found in species living in the shallowest depths, and the lowest T.L. 50 values in the species from greater depths. This is true for species which show a marked zonation pattern.

— For species with a similar depth distribution those with the lowest metabolic rate show the greater heat tolerance.

amplitudes thermiques à l'intérieur desquelles il conviendra d'étudier les effets sublétaux intervenant au niveau des processus physiologiques et contrôlant l'alimentation, la croissance, et la reproduction, c'est-à-dire l'avenir à long terme des populations concernées.

Cette étude est tirée en partie de la thèse de spécialité de A. BODOY (1976) chez qui l'on trouvera de nombreux détails sur le matériel et les méthodes utilisées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Trois critères principaux ont guidé le choix du matériel expérimental utilisé dans cette étude. D'une part, sur les côtes méditerranéennes françaises, les substrats meubles sont les plus concernés par les projets de centrales électro-nucléaires (Port la Nouvelle, Frontignan), d'autre part, la nappe d'eau chaude du fait de sa faible densité n'affecte que la partie superficielle des peuplements, enfin, nous avons considéré des Mollusques endogés qui n'ont pas la possibilité de se soustraire à l'effet de l'effluent, contrairement aux espèces vagiles. De plus, ce travail fait partie d'un programme de recherche en collaboration avec une équipe écossaise ayant entrepris une étude similaire sur les mêmes espèces ou des

espèces vicariantes, sous une autre latitude, afin d'élargir la portée des observations faites.

Les espèces étudiées sont donc des Mollusques endogés vivant dans des fonds meubles superficiels ou peu profonds et principalement dans des sables fins.

La récolte des espèces choisies (tableau 1) doit être faite avec précaution pour obtenir des animaux en parfaite condition. Il est préférable, chaque fois que cela est possible, d'éviter l'emploi d'une drague qui abîme souvent les Bivalves au niveau de la charnière et les Gastéropodes au niveau du pied. Les récoltes en plongée, à la main, ou en utilisant un appareil à succion (MASSÉ, 1970), sont plus satisfaisantes.

TABLEAU 1
Distribution et lieux de récolte des espèces étudiées

S.F. Sable fins

S.V. Sédiments vaseux

Espèces étudiées	Nature du fond	Profondeur	Localités
<i>Donax trunculus</i>	S.F.	0,5 - 1	They de la Gracieuse
<i>Tellina tenuis</i>	S.F.	3 m	They de la Gracieuse
<i>Donax semistriatus</i>	S.F.	4-5 m	They de la Gracieuse
<i>Cardium tuberculatum</i>	S.F.	5 m	Baie du Prado
<i>Venus gallina</i>	S.F.	5 m	Baie du Prado
<i>Spisula subtruncata</i>	S.F.	5 m	Prado et Gracieuse
<i>Corbula gibba</i>	S.V.	25-30 m	Golfe de Marseille
<i>Cerithium vulgatum</i>	S.V.	1-2 m	Anse des Laurons
<i>Cyclonassa neritea</i>	S.F.	0,5-1 m	St. Gervais Gracieuse
<i>Nassarius pygmaeus</i>	S.F.	5 m	Prado et Gracieuse

Les animaux récoltés sont mis dans des aquariums à température contrôlée dont le fond est constitué par un filtre à sable dans lequel ils peuvent s'enfouir (BODOY, 1976). La percolation de ce sable est assurée par un exhausteur à air comprimé qui maintient le taux de saturation en oxygène à un niveau élevé (85 %). Selon le nombre d'animaux récoltés, ils sont groupés en 1 ou 2 lots et maintenus, pendant 3 à 5 jours, à une ou 2 températures différentes, voisines ou supérieures à la température du milieu naturel au moment de la récolte. C'est-à-dire 10

ou 15° en hiver, 15 ou 20° au printemps et en automne, 20 ou 25° en été. Cette procédure a l'avantage de prolonger l'acclimatation naturelle saisonnière des animaux d'expérience et de contrôler leur adaptation aux conditions artificielles des aquariums. Les animaux n'ayant pas un comportement normal, c'est-à-dire enfouis et leurs siphons en extension pour les Bivalves, enfouis ou rampant pour les Gastéropodes, sont éliminés.

DÉTERMINATION DES TEMPÉRATURES LÉTALES.

Les animaux d'expérience sont transférés par lot de 20 individus dans des bacs préalablement mis en température. Ces bacs, d'une contenance de 10 litres, pourvus du même système de filtre que les aquariums d'acclimatation, sont immergés dans une série de bains-marie, à raison de 2 dans chaque bain-marie. Une gamme de températures de 26 à 36°, contrôlées avec précision, avec un écart de 2° entre chaque bain-marie, est utilisée pour ces tests.

Cette méthode inspirée de celles employées par FRY (1957) et KENNEDY et MIHURSKY (1971) nous a semblé préférable à celle qui consiste à élever progressivement la température du bac où sont immergés les individus à tester. En effet, elle simule mieux le choc thermique auquel est soumise la faune sous l'action d'une nappe d'eau chaude fluctuante, en forme et en direction, sous l'effet des courants et des vents. Un lot témoin est maintenu à la température du milieu naturel pour déceler toute mortalité indépendante de l'effet thermique.

Un contrôle des bacs après 3, 6, 12, 24, 48, 72, et 96 heures permet de comptabiliser les individus morts, les individus enfouis, les individus non enfouis en état de stress. La détermination de la mort nécessite une observation minutieuse des animaux testés, au cours d'expériences préliminaires, car les comportements varient d'une espèce à l'autre. D'une manière générale, elle repose sur l'absence de réaction des siphons, s'ils sont en extension, du bord du manteau, si les valves sont baillantes, ou des muscles adducteurs, si celles-ci sont jointives. Dans ce der-

nier cas, il suffit d'introduire doucement la lame d'un microscalpel entre les valves. Chaque animal douteux est immergé dans le bac du lot témoin. En cas de récupération rapide il est remis dans le bac d'expérience, si la récupération est lente il est considéré comme mort au contrôle suivant.

Ces observations permettent de définir deux données, d'une part, la température létale pour 50 % des individus (T.L. 50), d'autre part, la température d'enfouissement pour 50 % des individus (T.E. 50). La T.L. 50 est déterminée graphiquement (BODOY et MASSÉ, 1974) en cumulant, pour chaque température, les pourcentages d'individus morts par rapport au nombre total d'individus présents dans chaque bac en début d'expérience. Les T.E. 50 sont déterminées de la même manière, le pourcentage du nombre des individus enfouis est obtenu par la soustraction du nombre des individus morts et non enfouis au nombre total des individus présents au départ. Ces opérations sont effectuées pour chaque température et pour chaque intervalle de temps correspondant à chaque contrôle.

RÉSULTATS

INFLUENCE DE LA DURÉE D'EXPOSITION.

Les figures 1 et 2 présentent la synthèse des observations faites sur les températures létales des Bivalves et des Gastéropodes. L'examen des courbes d'évolution des T.L. 50 montre que l'allure générale est identique pour toutes les espèces, qu'il s'agisse d'animaux vivant dans des fonds très superficiels ou plus profonds, quelle que soit la température d'acclimatation saisonnière, et quel que soit leur taux métabolique. Les valeurs des T.L. 50 décroissent en fonction du temps, rapidement pendant une période inférieure à 48 ou 24 heures, puis se stabilisent et la courbe prend une allure proche de l'horizontale.

En ce qui concerne les T.E. 50 des Bivalves (Fig. 3), l'ensemble des courbes n'a pas une allure

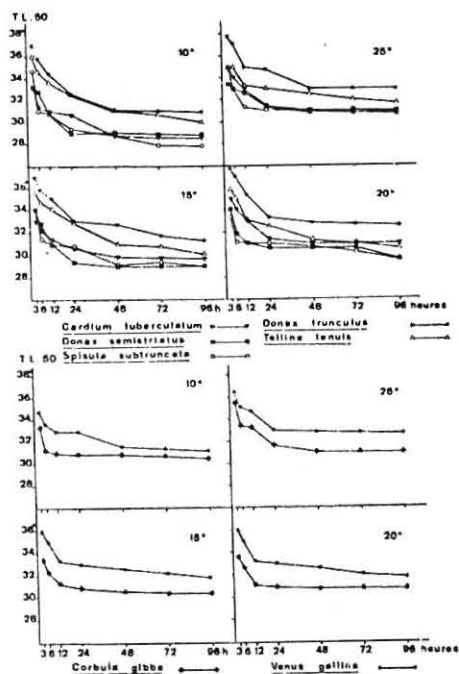


FIG. 1. — Evolution dans le temps des T.L. 50 des Bivalves, pour les différentes températures d'acclimatation saisonnière (10, 15, 20, et 25 °C).

aussi régulière, toutefois le schéma général est identique. Après une légère augmentation des valeurs des T.E. 50, la courbe passe par un maximum puis suit plus ou moins les valeurs des T.L. 50, l'écart entre T.L. 50 et T.E. 50 diminuant régulièrement avec le temps. L'allure assez hétérogène des courbes selon les espèces traduit vraisemblablement leur différence de capacité à s'enfouir dans le sable. Pendant les premières 24 heures, partie ascendante des courbes, on observe souvent un temps de latence dans la réponse du Bivalve. Ce temps de latence est d'autant plus net, en général, que le choc thermique est plus grand, c'est-à-dire que l'écart entre la température d'acclimatation et la

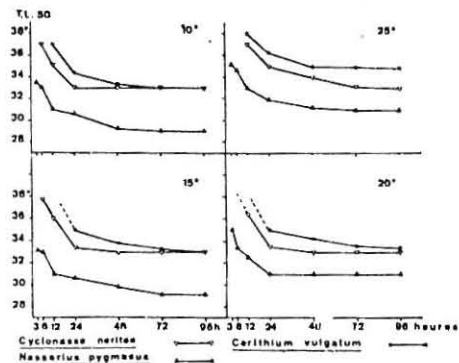


FIG. 2. — Evolution dans le temps des T.L. 50 des Gastéropodes, pour les différentes températures d'acclimatation saisonnière.

température d'expérience est grand. Après le maximum de la courbe, la décroissance correspond à l'agression thermique ressentie par les individus enfouis qui, le plus souvent, sortent du sédiment avant de mourir. Cette particularité éthologique confère une grande valeur aux T.E. 50 qui sont en fait le véritable seuil écologique à partir duquel la survie des individus est compromise.

Pour ce qui est des Gastéropodes, les résultats des T.E. 50 sont moins nets. En effet, dans leur milieu naturel il est fréquent de rencontrer ceux-ci rampant à la surface du sédiment, et l'existence de rythmes circadiens marqués (ERIKSSON et TALLMARK, 1974), venant interférer avec les effets de la température, rend plus complexe l'interprétation des observations. Toutefois, l'activité diurne ou nocturne de certains individus, dans les bacs, est un indice de leur bon état physiologique et de leur capacité à supporter le choc thermique; un individu en état de stress cesse toute activité.

En résumé, ces résultats montrent l'importance de la durée d'exposition sur la détermination des T.L. 50 et T.E. 50. La prolongation des expériences au-delà de 48 heures a permis de mettre en évidence une stabilisation des valeurs. On peut dire que les valeurs obtenues après une exposition de 48 heures

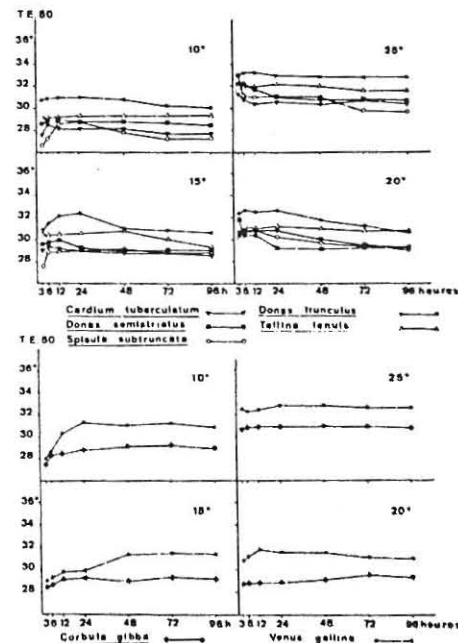


FIG. 3. — Evolution dans le temps des T.E. 50 des Bivalves, pour les différentes températures d'acclimatation saisonnière (10, 15, 20, et 25 °C).

donnent une bonne idée de la résistance à long terme des individus. Les résultats obtenus par cette méthode sont plus sûrs que ceux obtenus par une expérience unique au bout d'un seul intervalle de temps.

INFLUENCE DE L'ACCLIMATATION SAISONNIÈRE.

Les valeurs T.L. 50 et des T.E. 50 sont d'autant plus élevées que les températures d'acclimatation saisonnières le sont. Ceci revient à dire que l'augmentation de l'écart ΔT , entre la température du milieu et celle du bac d'expérience, entraîne une baisse des T.L. 50 et T.E. 50. En portant sur un graphique, les valeurs des T.L. 50 ou des T.E. 50 en ordonnées, et

les valeurs des températures d'acclimation en abscisses (10, 15, 20, et 25°), on obtient une droite de régression dont la pente est faible mais positive, pour la plupart des espèces. Toutefois, le nombre de couples de valeurs utilisés pour la construction de ces droites étant limité à 4, il est impossible de dire si cette corrélation est statistiquement significative (BODOY, 1976).

Pour illustrer cette relation entre T.L. 50 et température d'acclimation, A.D. ANSELL (communication personnelle) a imaginé le mode de représentation suivant. Au lieu de sélectionner une durée d'exposition, on considère toutes les valeurs obtenues à chaque température d'acclimation et on en fait la moyenne. Puis, on calcule pour chaque valeur l'écart à la moyenne. On peut alors porter pour chaque température d'acclimation ces écarts à la moyenne correspondant aux différents temps d'exposition. Un calcul de régression permet de donner la pente de la droite qui passe naturellement par le point moyen. Les valeurs des pentes des droites obtenues indiquent, pour chaque espèce, l'influence

du DT° sur la valeur des T.L. 50 (fig. 4). Comme nous le voyons, l'ensemble des espèces réagit d'une manière comparable, mises à part trois espèces, d'une part, les Bivalves *Venus gallina* et *Corbula gibba*, d'autre part, le Gastéropode *Cyclonassa neritea*. Les deux Bivalves montrent donc une plus faible sensibilité aux chocs thermiques, celle-ci est sans doute à rapprocher de leur faible taux métabolique, comme nous le verrons plus loin. Dans le cas de *Cyclonassa neritea*, il est possible de dissocier les résultats en considérant séparément les intervalles 12-24 heures et 72-96 heures (fig. 4). Tout se passe comme si la réaction de cette espèce suivait le schéma général pendant les premières 24 heures, puis perdait le bénéfice de son acclimation au-delà de cette période. On peut supposer l'influence d'un facteur autre que la température qui viendrait s'ajouter à l'effet thermique. Ce facteur pourrait être lié à l'excrétion de matières organiques toxiques, ou bien, dû à un effet synergique avec la salinité élevée des bacs d'expérience, pour une espèce préférant les milieux dessalés (PICARD, 1965).

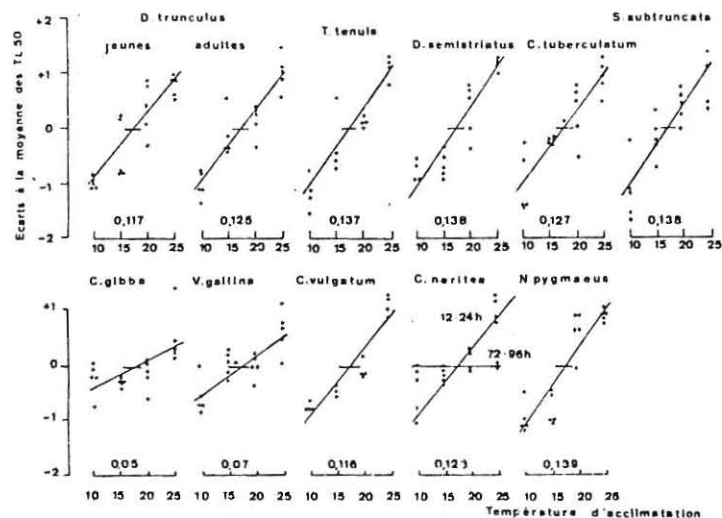


Fig. 4. — Droites de régression des écarts à la valeur moyenne des T.L. 50 en fonction des températures d'acclimation. Le chiffre porté au-dessus des abscisses correspond à la pente de la droite.

En résumé, nous pouvons donc parler, pour l'ensemble des espèces, d'un véritable effet d'acclimation, déjà mentionné par FRY (1957) et KENNEDY et MIHURSKY (1971), qui fait que les T.L. 50 augmentent lorsque les animaux sont acclimatés à des températures élevées.

INFLUENCE DE LA DISTRIBUTION BATHYMÉTRIQUE.

Grâce à la diversité des espèces étudiées, il est possible d'observer l'influence de la distribution bathymétrique des espèces sur les valeurs des T.L. 50 et T.E. 50. Pour les Bivalves, le genre *Donax* fournit l'exemple de deux espèces ayant une répartition en ceinture, à des profondeurs différentes (Tabl. 1). Pour les Gastéropodes, les deux Nassariidae *Cyclonassa neritea* et *Nassarius pygmaeus* ont respectivement été récoltés à des profondeurs comparables à celles où vivent les deux *Donax*. La figure 5 permet de constater que c'est l'espèce vivant le plus superficiellement qui possède la plus grande résistance à l'action de la température. La différence entre les T.L. 50 est d'ailleurs importante (2 à 4°) et bien que cette figure 5 ne concerne que des animaux acclimatés à 20°, le phénomène se retrouve pour chaque température d'acclimation.

D'une manière plus générale, le phénomène se retrouve pour l'ensemble des espèces prises en considération, à savoir que les plus profondes ont tendance à avoir les T.L. 50 les plus faibles. Toutefois, *Corbula gibba*, *Venus gallina*, et à un degré moindre *Tellina tenuis* semblent échapper à cette règle et avoir une résistance supérieure à ce que pourrait leur laisser supposer leur distribution bathymétrique. Parmi les 3 Gastéropodes testés, *Cerithium vulgatum* montre également une résistance exceptionnelle à la température.

Les courbes des T.E. 50 confirment ce qui vient d'être dit pour les T.L. 50.

INFLUENCE DE L'ÂGE.

Nous avons profité du fait que la population de *Donax trunculus* présentait en automne et en hiver

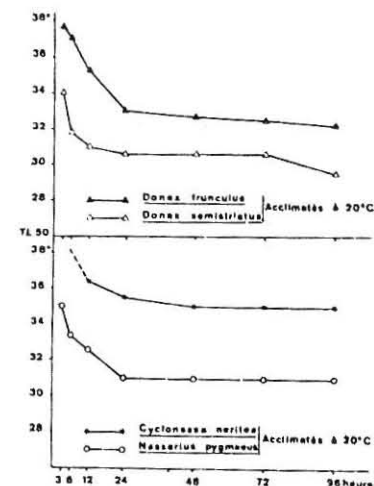


Fig. 5. — Comparaison des valeurs des T.L. 50 de deux groupes d'espèces vivant à des profondeurs différentes.

une structure de taille bimodale pour tester l'influence de l'âge des individus sur les valeurs des T.L. 50 et T.E. 50. Le lot d'individus définis comme jeunes avait une taille moyenne de $10,3 \pm 0,3$ mm, celui des adultes $27,9 \pm 1,2$ mm. Il ressort de l'examen de la figure 6 qu'il n'y a pas de différences sensibles entre les jeunes et les adultes pour ce qui concerne les T.L. 50. Par contre, pour ce qui est des T.E. 50, la réponse des jeunes est plus rapide, le temps de latence avant l'enfouissement est plus court. Ceci est assurément un atout en leur faveur dans le biotope agité où vit cette espèce.

INFLUENCE DU MÉTABOLISME.

Comme nous venons déjà de le souligner, les espèces *Venus gallina*, *Corbula gibba*, et *Tellina tenuis* se montrent plus résistantes à la température que les espèces *Cardium tuberculatum*, *Spisula subtruncata*, ou *Donax semistriatus* récoltées respectivement aux mêmes profondeurs. Des mesures de la consommation d'oxygène de ces espèces, selon la méthode

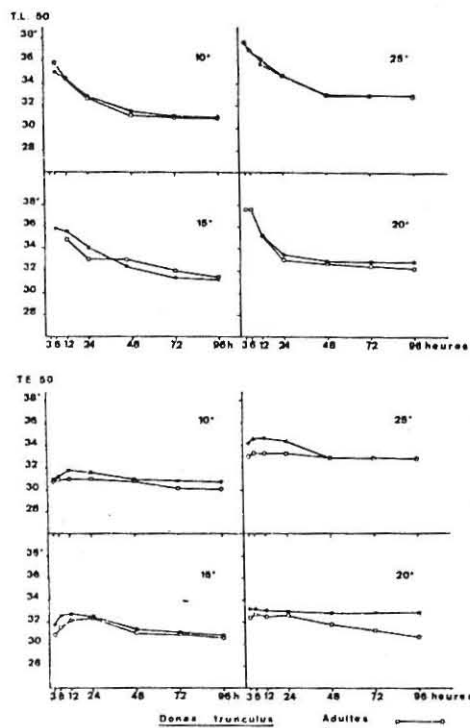


FIG. 6. — Comparaison des valeurs des T.L. 50 et T.E. 50 pour deux classes d'âge de *Donax trunculus* acclimatés à 10, 15, 20, et 25°C.

développée par ANSELL (1973), ont montré qu'elle était nettement plus élevée chez les espèces ayant les T.L. 50 les plus basses, pour des espèces vivant à la même profondeur. De plus, en ce qui concerne les espèces *Venus gallina* et *Corbula gibba*, leur faculté de rester pendant de longues périodes dans des conditions de vie ralentie, sans ouvrir leurs valves, semble augmenter leur résistance thermique. Cette particularité écophysologique a déjà été illustrée par leur survie après de longs séjours dans l'estomac d'Astéries du genre *Astropecten* (CHRISTENSEN, 1970; MASSÉ, 1975).

Il semble donc que, pour des espèces vivant dans les mêmes conditions écologiques, la plus résistante à la température soit celle ayant le plus faible taux métabolique.

DISCUSSION

Si l'on trace pour chaque espèce de Bivalve les courbes concernant l'évolution dans le temps des T.L. 50 et celle des T.E. 50 (fig. 7), on peut définir, du point de vue thermique, une zone d'agression constituant une limite pour la survie des individus. Il faut en effet considérer que dans les milieux superficiels où vivent les espèces étudiées dans ce travail, le fait d'être enfoui n'est pas un acquis définitif, les espèces doivent souvent résister aux actions hydrodynamiques qui remanient la couche superficielle du sédiment. Il s'en suit que la perte de cette faculté d'enfouissement rendra l'individu vulnérable. D'une part, tous les prédateurs supportant cette température peuvent exercer facilement leur action sur la population, d'autre part, les actions hydrodynamiques auront pour résultat de rejeter au rivage, ou hors de leur biotope d'élection, les individus non enfouis. Les valeurs des T.E. 50 sont donc une limite écologique importante. D'ailleurs, au fur et à mesure que croît la durée d'exposition, T.E. 50 et T.L. 50 sont de plus en plus proches, au point qu'un écart d'un degré entraîne le passage dans le domaine létal. Il convient donc, pour les Bivalves endogés, de considérer les T.E. 50 comme dernière limite acceptable pour la survie des populations en place.

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TEMPÉRATURE ET POLLUTION THERMIQUE.

Comme nous l'avons vu, les animaux récoltés ont été maintenus en aquarium, avant l'expérimentation, à une température voisine de la moyenne saisonnière de manière à ne pas perturber les acclimations physiologiques. Les résultats obtenus sont confor-

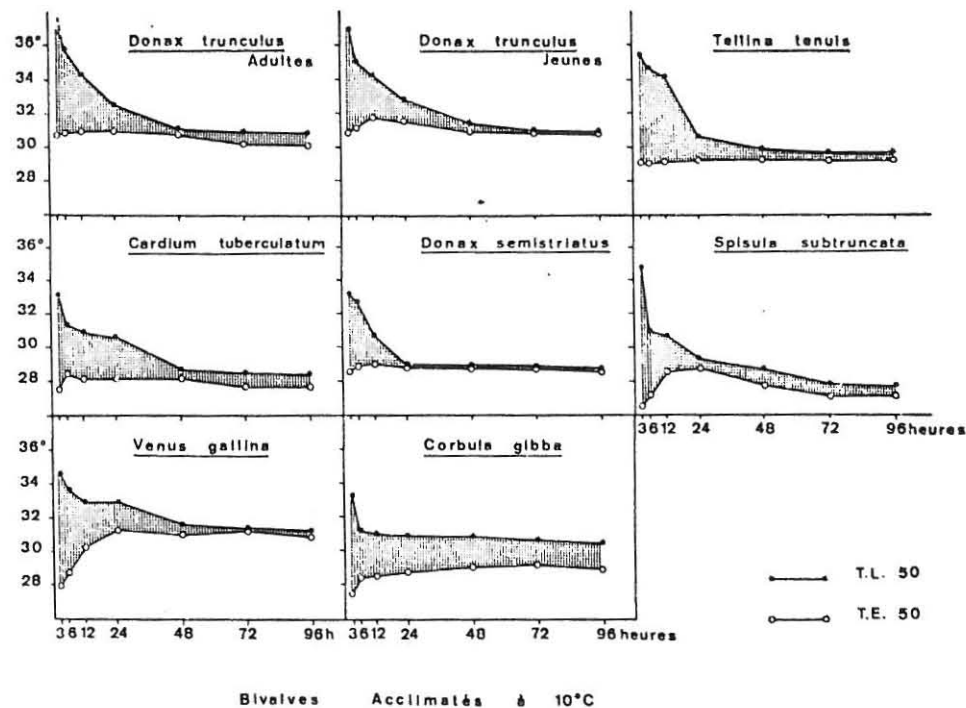


FIG. 7. — Définition des zones critiques d'agression pour les Bivalves endogés.

mes à ceux de KENNEDY et MIHURSKY (1971), à savoir que, plus l'espèce est acclimatée à une température élevée, plus sa T.L. 50 est élevée. Toutefois, cet effet d'acclimation reste faible, de l'ordre de 2°, comparé à l'ampleur des variations thermiques saisonnières. En effet, si l'on considère des eaux hivernales superficielles, en Méditerranée nord-occidentale, leur température est d'environ 11°. Une pollution thermique avec un DT° de 10 à 15° portera ces eaux à une température de 21 à 26°, nous sommes au-dessous des T.E. 50 de la plupart des espèces des biotopes superficiels étudiés ici et acclimatées à une température de 10°. Par contre, en été, ces eaux superficielles peuvent atteindre 20 à

25°, le même DT° entraînera la formation d'une nappe superficielle dont la température sera de 30 à 40°, ce qui nous porte au-delà de la plupart des T.E. 50 observées, même chez des animaux acclimatés à 25°. Il faut donc s'attendre, dans ce dernier cas, à une mortalité immédiate et élevée. La seule atténuation de cet effet consiste à utiliser, pour le refroidissement des centrales électriques, non pas l'eau superficielle, mais l'eau située sous la thermocline estivale, afin de diminuer la température du rejet. Cette solution pose certainement des problèmes techniques sur les côtes basses et sablonneuses où la pente des fonds étant faible, la thermocline reste au large.

INFLUENCE DE L'ÂGE SUR LA RÉSISTANCE À LA TEMPÉRATURE.

Les données fournies par la littérature diffèrent sensiblement selon les auteurs et les espèces considérées. Ainsi, DICKIE (1958) n'observe pas d'influence significative de la taille des *Placopecten magellanicus* sur les températures létales, bien que les très jeunes individus lui semblent plus résistants que les adultes. Au contraire, KENNEDY et MIHURSKY (1971) montrent que la tolérance des jeunes *Mya arenaria* et *Macoma balthica* est supérieure à celle des adultes. Cette différence étant d'ailleurs inégale pour les deux espèces considérées et plus importante chez la première. Nos propres observations sont à rapprocher de celles de DICKIE, en particulier pour les durées d'exposition de 96 heures.

Il convient de remarquer que les deux espèces étudiées par KENNEDY et MIHURSKY présentent des différences notables entre l'éthologie des jeunes et celle des adultes. Les individus juvéniles de *Mya arenaria*, qui sont des animaux nés en automne et expérimentés en janvier, vivent à la proximité immédiate de la surface du sédiment, alors que les adultes sont profondément enfouis, à 30 cm de profondeur, et sont ainsi soustraits aux écarts thermiques naturels, toujours importants dans la zone intertidale ou subtidale superficielle (HANKS, 1963). Il en est de même pour *Macoma balthica* bien que les différences entre les profondeurs d'enfouissement soient moindres (3,5 cm pour les jeunes et 7 cm pour les adultes selon LAMMENZ, 1967).

Dans le cas de *Donax trunculus*, les jeunes et les adultes ont les mêmes exigences écologiques, ils ont été récoltés ensemble, près de la surface du sédiment, dans un sable soumis à une grande agitation. Les jeunes et les adultes sont donc soumis aux mêmes conditions thermiques. Nous pouvons également ajouter qu'il en est de même pour les *Placopecten* étudiés par DICKIE. La seule différence notée, entre les jeunes et les adultes, chez *D. trunculus* concerne le délai de réponse à l'enfouissement, après un choc

thermique; ce délai est plus court chez les jeunes. Ceci semble une caractéristique générale des Bivalves endogés, ainsi GIMAZANE (1972) a mis en évidence le même phénomène chez *Cardium edule* pour des températures d'expérience proches de celles du milieu naturel.

En résumé, il semble donc que la taille des individus n'ait qu'une influence très réduite sur les T.L. 50 des Mollusques, si ceux-ci vivent au même niveau d'enfouissement toute leur vie, c'est-à-dire si ils supportent des variations thermiques de même ampleur, et c'est le cas pour toutes les espèces étudiées ici. Par contre, la différence observée sur les valeurs des T.E. 50 peut constituer un facteur défavorable aux populations d'adultes, lors d'un réchauffement important. Toutefois, en Méditerranée nord-occidentale, les animaux vivants dans les fonds superficiels ont des cycles biologiques courts, de l'ordre d'une année (MASSÉ, 1972), ce qui revient à dire que les populations soumises à la pollution thermique seront surtout composées de jeunes individus.

DISTRIBUTION BATHYMETRIQUE ET POLLUTION THERMIQUE.

D'après ce qui a été dit précédemment, si l'on considère deux espèces ayant un taux métabolique comparable et vivant à la surface du sédiment ou à sa proximité, l'espèce la plus résistante sera celle vivant à la plus faible profondeur. Ceci se vérifie particulièrement bien chez les espèces du même genre ayant une distribution en ceintures parallèles au rivage, cas des *Donax trunculus* et *Donax senis-triatus* dans ce travail, cas de *Tellina tenuis* et *Tellina fabula* (ANSELL, communication personnelle).

La pollution thermique affectant le milieu marin est d'abord un phénomène côtier dont l'étendue est généralement limitée, du moins pour les DT° élevés. En mer ouverte, la salinité de l'eau au niveau de la prise étant identique à celle de l'eau au niveau du rejet, la nappe d'eau chaude sera plus légère et la pollution superficielle. Nous pouvons même penser

que l'étendue des fonds concernés par la nappe d'eau chaude sera moins importante en Méditerranée que dans une mer à marées où les courants de flot, accompagnés de brises de mer, pousseront la nappe chaude sur toutes les zones découvrant à marée basse. Toutefois, cette élévation de température ne sera que momentanée car le courant de flot apportera aussi une grande quantité d'eau du large. Au contraire, en Méditerranée, par brise ou vent de mer, les surfaces de fond affectées par la pollution thermique risquent de l'être pendant des durées plus longues, des lentilles d'eau chaude pouvant dans ces conditions restées piégées à la côte. Il convient donc, en ce qui concerne la survie des individus, de concentrer son attention sur les espèces superficielles de la partie supérieure de l'étage infralittoral, tel qu'il est défini par PÈRÈS et PICARD (1964).

BIBLIOGRAPHIE

- ANSELL (A.D.), 1973. — Oxygen consumption by the bivalve *Donax vittatus* (da Costa) *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 11, 311-328.
- BODOY (A.), 1976. — Etude de l'influence de la température, liée à la pollution thermique, sur la survie et la biologie de quelques Mollusques des substrats meubles. Thèse Océanographie biologique, Université Aix-Marseille II, U.E.R. Sciences de la mer et de l'environnement, p. 1-95.
- BODOY (A.) et MASSÉ (H.), 1977. — Etude expérimentale de l'influence de la température sur la survie de Mollusques Bivalves marins endogés. *Haliotis*, 7, (sous presse).
- CHRISTENSEN (A.M.), 1970. — Feeding biology of the sea-star, *Astropecten irregularis* Pennant. *Ophelia*, 8, 1-134.
- CLARK (J.) et BROWNELL (W.), 1973. — Electric power plants in the coastal zone: Environmental issues. *Amer. littoral Soc., spec. Publ.*, 7, 1-158.
- DICKIES (L.M.), 1958. — Effects of high temperature on survival of the giant scallop. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 15, 1189-1211.
- ERIKSSON (S.) et TALLMARK (B.), 1974. — The influence of environmental factors on the diurnal rhythm of the prosobranch gastropod *Nassarius reticulatus* (Linné) from a non-tidal water. *Zoon*, 2 (2), 135-142.
- FRY (F.E.J.), 1957. — The lethal temperature as a tool in taxonomic. *Ann. Biol.*, 33 (5-6), 205-219.
- GIMAZANE (J.P.), 1972. — Etude expérimentale de la vitesse d'enfouissement chez *Cardium edule* L. *Bull. Soc. linnée. Normandie*, 103, 147-157.
- HANKS (R.W.), 1963. — The soft-shell clam. *U.S. Fish. and Wildlife Service, B.C.F. Circular*, 162, 1-16.
- KENNEDY (V.) et MIHURSKY (J.A.), 1971. — Upper temperature tolerances of some estuarine bivalves. *Chesapeake Sci.*, 12 (4), 193-204.
- LAMMENZ (J.J.), 1967. — Growth and reproduction in a tidal flat population of *Macoma balthica*. *Netherlands J. Sea Res.*, 3, 315-382.
- MASSÉ (H.), 1970. — La suceuse hydraulique, bilan de quatre années d'emploi, sa manipulation, ses avantages et inconvénients. *Téthys*, 2 (2), 547-556.
- MASSÉ (H.), 1972. — Contribution à l'étude de la macrofaune des sables fins infralittoraux des côtes de Provence. IV. Données sur la biologie des espèces. *Téthys*, 4 (1), 63-84.
- MASSÉ (H.), 1975. — Etude de l'alimentation de *Astropecten oranicus* Linné. *Cah. Biol. mar.*, 16, 495-510.
- PÈRÈS (J.M.) et PICARD (J.), 1964. — Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stn. mar. Endoume*, 31 (47), 1-137.
- PICARD (J.), 1965. — Recherches qualitatives sur les biocoenoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Rec. Trav. Stn. mar. Endoume*, 36 (52), 1-160.