

LES EFFETS DE STRESS DANS LES EAUX SAUMATRES COTIERES CONSEQUENCES ECOPHYSIOLOGIQUES

Pierre KERAMBRUN

Centre d'Océanologie de Marseille

Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille Cedex 9

Les lagunes et étangs côtiers - ou, au sens plus large, les eaux saumâtres côtières - se situent à l'interface terre-mer, c'est-à-dire dans la zone où s'affrontent les influences thalassiques et athalassiques. Et c'est pourquoi ces eaux saumâtres constituent des milieux éminemment variables et variés : ils se distribuent sur les côtes de tous les continents, depuis les régions tropicales jusqu'aux régions pôlaires, sans jamais constituer des milieux identiques. Cette zone se caractérise non seulement par la variabilité spatiale et temporelle qui affecte les paramètres naturels de l'environnement, mais aussi par la diversité des déchets résultant de l'activité humaine qu'elle reçoit. Au plan biologique, et plus particulièrement physiologique, ces conditions sont à l'origine de nombreux stress qui se manifestent à des niveaux d'organisation variés : physiologique, biochimique, cytologique, cytochimique, etc...

Lorsqu'on évoque la notion de stress, on a souvent tendance à l'associer à l'activité humaine et à considérer qu'il s'agit d'un phénomène récent et négatif lié à la pollution. En réalité, de nombreux stress ont une origine naturelle et certains semblent pouvoir être considérés au plan évolutif comme ayant conduit à des adaptations particulièrement efficaces aux conditions de vie en eaux polyhalines.

Dans le cas de la pollution domestique, c'est-à-dire à dominante organique, les altérations enzymatiques décrites chez l'annélide *Glycera alba* (Blackstock, 1980) et chez les copépodes *Acartia clausi* et *Centropages typicus* (Rivière & Kerambrun, 1983) semblent traduire la réponse physiologique des organismes visant à ajuster leur métabolisme vis-à-vis de la perturbation lorsque celle-ci demeure relativement modérée, et des effets de stress lorsqu'elle est plus importante. La pollution par les hydrocarbures est à l'origine de perturbations très diverses caractéristiques d'un état de stress. Ainsi, chez *Mytilus edulis*, la fraction soluble d'un pétrole brut détermine des modifications du métabolisme respiratoire, des taux de nutrition et d'excrétion, de la croissance, des altérations structurales et fonctionnelles de la glande digestive et des modifications d'activité de plusieurs enzymes (Widdows *et al.*, 1982). De plus, les hydrocarbures augmentent l'activité des enzymes des microsomes hépatiques en induisant la synthèse de protéines enzymatiques (Conney *et al.*, 1956; Arcos *et al.*, 1961), en particulier du système à cytochrome P₄₅₀ qui joue un rôle de

détoxification. Les métaux lourds, quant à eux, sont responsables de perturbations affectant différents niveaux du métabolisme et le comportement vis-à-vis de la salinité (Lorz & McPherson, 1976). En outre, ils peuvent induire la synthèse de métallothionéines (Viarengo *et al.*, 1980; Roesijadi, 1980-81) qui constituent un moyen de stockage et de détoxification de certains métaux. En ce qui concerne la pollution thermique, les altérations enzymatiques décrites à la suite de chocs thermiques chez l'annélide *Malacoceros fuliginosus* (Kerambrun & Guérin, 1981; Guérin & Kerambrun, 1982) illustrent les effets physiologiques de stress dont la manifestation est rapide et peut durer plusieurs jours. Plus généralement, toute variation brusque de température détermine la synthèse de "protéines de choc thermique" aussi bien chez les procaryotes que chez les eucaryotes (Ashburner & Bonner, 1979; Alahiotis, 1983). Chez la Drosophile, la synthèse de ces protéines a pu être reliée à des changements, au niveau chromosomique, intéressant le nombre et la localisation des puffs (Tissières *et al.*, 1974). Ces modifications chromosomiques et les changements affectant les synthèses protéiques qu'elles entraînent semblent traduire la réponse génique à la perturbation de l'environnement et, par conséquent, l'impact intime d'un stress. Un aspect particulièrement intéressant concerne l'acquisition d'une résistance thermique accrue à l'issue d'exposition répétées à des températures élevées (Henle & Dethlefsen, 1978). Ainsi, des températures nettement supérieures à la température considérée comme létale peuvent être supportées sans altération irréversible, à condition que le temps d'exposition soit bref.

La pollution thermique, si elle affecte peu les étangs et lagunes, conduit à considérer les stress d'origine naturelle qui résultent de variations importantes, mais naturelles, des facteurs de l'environnement, parmi lesquels on retrouve la température, mais aussi la salinité, la teneur en oxygène dissous, les rapports ioniques, etc... Les milieux saumâtres côtiers se caractérisent précisément par cette grande variabilité des conditions physiques et chimiques qui, au plan biologique, détermine des impératifs physiologiques que peu d'espèces sont capables de satisfaire. Il en résulte un indice de diversité faible, mais des populations nombreuses de quelques espèces caractérisées par leur grande plasticité écologique et un fréquent polymorphisme. Cette plasticité écologique traduit leur aptitude physiologique à supporter les variations des conditions de leur environnement, tandis que le polymorphisme, qui est une caractéristique fréquente des espèces saumâtres, représente une adaptation aux conditions écologiques locales.

On connaît les altérations du métabolisme respiratoire liées à la température, à la salinité, et aux variations combinées de ces deux facteurs dont les effets sont susceptibles de se manifester à différents niveaux du métabolisme (Livingstone *et al.*, 1979; Moore *et al.*, 1980). Le facteur rapide (Pora, 1969) apparaît également comme un agent stressant.

Dans certaines collections d'eaux de Camargue, la température et la salinité peuvent conduire à des conditions estivales extrêmes allant jusqu'à l'assèchement. Dans ces conditions particulièrement stressantes, de nombreux organismes disparaissent tandis que d'autres assurent leur pérennité au prix de profondes modifications physiologiques. Ainsi, chez le copépode *Cleto-camptus retrogressus* qui peuple les eaux polyhalines, l'augmentation de sali-

nité, de température, ou l'assèchement éventuel déterminent l'entrée en quiescence (Champeau, 1967). Au plan de l'évolution, cette quiescence fait place à une diapause, connue chez de nombreux copépodes harpacticoïdes et cyclopoïdes (Champeau, 1971) et dont les modalités constituent la meilleure adaptation aux conditions écologiques des milieux temporaires.

En ce qui concerne le polymorphisme, il prend souvent un aspect géographique, offrant une diversité maximale au centre de l'aire de répartition de l'espèce alors qu'elle se réduit à ses limites. Cette diversité est liée aux conditions de l'environnement ; un changement de ces conditions peut entraîner des variations de cette diversité. Un exemple en est fourni par une population de *Sphaeroma hookeri* qui est restée longtemps localisée sur le trajet d'une source thermale, la Durançole, qui se jette dans la partie nord de l'étang de Berre. Les eaux de cette source demeurent toute l'année à une température de 17 à 18°C, elles sont très faiblement chlorurées, mais riches en Ca^{++} et Mg^{++} , donc plutôt de caractère saumâtre athalassique. Dans ces conditions, le polychromatisme de la population est extrêmement réduit (Kerambrun, 1966). Jusqu'en 1966, du fait de la salinité presque marine des eaux de l'étang de Berre, ces *Sphaeroma hookeri* demeuraient confinés dans les eaux de la Durançole et c'étaient des *S. serratum* qui peuplaient les bords de l'étang. Lors de la mise en service de l'usine hydroélectrique de Saint-Chamas, en 1966, la salinité de l'étang a rapidement baissé, déterminant la disparition de *S. serratum* tandis que les *S. hookeri* de la Durançole colonisaient la petite embouchure. Or, en quelques générations, la population fille se caractérisait par une véritable explosion de son polychromatisme : on y observait, outre la plupart des phénotypes connus dans les autres populations méditerranéennes, un phénotype jusqu'alors inconnu (Kerambrun, 1976). Ce changement semble pouvoir être interprété comme le résultat d'un effet de stress au niveau génétique provoqué par les pressions de sélection du nouvel environnement.

En conclusion, l'étude des stress pose le problème écophysiological complexe qui fait intervenir les mécanismes intimes de régulation physiologique qui régissent le fonctionnement des organismes et des écosystèmes et qui implique la difficile distinction entre les modifications liées à l'adaptation physiologique et les altérations qui semblent caractériser les effets de stress. D'une manière générale, les stress se manifestent par des perturbations physiologiques et biochimiques qui traduisent l'impact des facteurs extérieurs sur le fonctionnement intime des organismes et notamment au niveau génétique. Derrière un désordre apparent, il est souvent possible de déceler la mise en oeuvre d'un processus d'adaptation : synthèses protéiques et enzymatiques à fonctions protectrices déterminées par une activité chromosomique bien définie, modifications des fréquences géniques des populations, etc... Les mécanismes mis en jeu dépendent des potentialités génétiques des organismes pour faire face aux changements de leur environnement. Plus ces potentialités sont grandes, plus variées pourront être les réponses fournies. C'est là, semble-t-il, l'une des interprétations que l'on peut donner du polymorphisme si répandu en milieu saumâtre. Ainsi, les stress apparaissent-ils comme un phénomène positif, susceptible de jouer un rôle important dans les processus d'adaptation et, par voie de conséquence, dans l'évolution des espèces d'eaux saumâtres.

BIBLIOGRAPHIE

- ALAHOTIS S., 1983 - Heat shock proteins. A new view on the temperature compensation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 75 B (3): 379-387.
- ARCOS J.C., A.H. CONNEY & N.P. BUU-HOI, 1961 - Induction of microsomal enzyme synthesis by polycyclic aromatic hydrocarbons of different molecular sizes. *J. Biol. Chem.*, 236: 1291-1296.
- ASHBURNER M. & J.J. BONNER, 1979 - The induction of gene activity in *Drosophila* by heat shock. *Cell.*, 17: 241-254.
- BLACKSTOCK J., 1980 - Estimation of activities of some enzymes associated with energy yielding metabolism in the polychaete *Glycera alba* (Müller) and application of the method to the study of the effects of organic pollution. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 46: 197-217.
- CHAMPEAU A., 1967 - Etats de quiescence déterminés chez le Copépode harpacticoïde *Cletocamptus retrogressus* Schmankevitch par des variations de chlorinité, de température et par dessiccation. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 265: 248-251.
- CHAMPEAU A., 1971 - Recherches sur l'adaptation à la vie latente des Copépodes Cyclopoïdes et Harpacticoïdes des eaux temporaires provençales. *Bull. Soc. Ecol.*, 2 (2-3): 151-166.
- CONNEY A.H., E.C. MILLER & J.A. MILLER, 1956 - The metabolism of methylated aminoazo dyes. V. Evidence for induction of enzyme synthesis in the rat by 3-methylcholanthrene. *Cancer Res.*, 16: 450-459.
- GUERIN J.-P. & P. KERAMBRUN, 1982 - Effets à court et moyen terme de chocs thermiques et influence de la cinétique de décroissance de la température consécutive au choc sur l'activité de la leucine aminopeptidase chez *Scoelelepis (Malacoceros) fuliginosa* Claparède (Annélida : Polychaeta). *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 64: 271-286.
- HENLE K. & L.A. DETHLEFSON, 1978 - Heat fractionation and thermotolerance. A review. *Cancer Res.*, 38: 1843-1851.
- KERAMBRUN P., 1966 - Contribution à l'étude génétique et écologique du polychromatisme de l'Isopode *Sphaeroma hookeri* dans les eaux saumâtres méditerranéennes. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 66 (n° 1369): 52 pp.
- KERAMBRUN P., 1976 - Manifestations explosives du polychromatisme de *Sphaeroma hookeri* (Crustacé : Isopode flabellifère) lors de la colonisation d'un territoire neuf et description du phénotype nouveau *griseum*. *Bull. biol. Fr. Belg.*, 110 (4): 387-394.
- KERAMBRUN P. & J.-P. GUERIN, 1981 - Incidence de la cinétique de décroissance de la température après le choc thermique sur les modifications d'activité des estérases et les possibilités de survie de *Scoelelepis (Malacoceros) fuliginosa* (Annélide polychète). *Mar. Environ. Res.*, 5: 145-156.
- LIVINGSTONE D.R., J. WIDDOWS & P. FIETH, 1979 - Aspects of nitrogen metabolism of the common mussel *Mytilus edulis*: adaptation to abrupt and fluctuating changes in salinity. *Mar. Biol.*, 53: 41-55.
- LORZ H.W. & B.P. McPHERSON, 1976 - Effects of copper on downstream migration, gill ATPase, and adaptation to sea water of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33: 2023-2030.
- MOORE M.N., R.K. KOEHN & B.L. BAYNE, 1980 - Leucine aminopeptidase (aminopeptidase - I), N-acetyl- β -hexosaminidase and lysosomes in the mussel, *Mytilus edulis* L., in response to salinity changes. *J. Exp. Zool.*, 214 (3): 239-249.
- PORA E.A., 1969 - L'importance du facteur rapique (équilibre ionique) pour la vie aquatique. *Verh. int. Ver. Limnol.*, 17: 970-986.
- RIVIERE D. & P. KERAMBRUN, 1983 - Impact d'une pollution d'origine urbaine sur les activités enzymatiques de deux Copépodes planctoniques (*Acartia clausi* et *Centropages typicus*). *Mar. Biol.*, 75: 25-35.
- ROESIJADI G., 1980-81 - The significance of low molecular weight, metallothionein-like proteins in marine invertebrates: current status. *Mar. Environ. Res.*, 4: 167-179.
- TISSIERES A., H.K. MITCHELL & U.M. TRACY, 1974 - Protein synthesis in salivary glands of *Drosophila melanogaster*: relation to chromosome puffs. *J. Mol. Biol.*, 84: 389-398.
- VIARENGO A., M. PERTICA, G. MANCINELLI, G. ZANICCHI & M. ORUNESU, 1980 - Rapid induction of copper-binding proteins in the gills of metal exposed mussels. *Comp. Biochem. Physiol.*, 67 C: 215-218.
- WIDDOWS J., T. BAKKE, B.L. BAYNE, P. DONKIN, D.R. LIVINGSTONE, D.M. LOWE, M.N. MOORE, S.V. EVANS & S.L. MOORE, 1982 - Responses of *Mytilus edulis* on exposure to the water-accomodated fraction of North Sea oil. *Mar. Biol.*, 67: 15-31.