

L'évolution géochimique de la Méditerranée

J.P. BETHOUX

L.P.C.M., UA CNRS, B.P. 8, 06230 Villefranche-sur-Mer (France)

Depuis quelques décennies, les apports anthropiques, résultant d'intenses activités industrielles, agricoles et urbaines sur le bassin versant, sont devenus nettement supérieurs aux apports naturels qui contribuaient à un état géochimique quasi-stationnaire. L'évolution géochimique de la Méditerranée dépend principalement de la dynamique de ces apports, elle concerne l'équilibre écologique de cette mer et également la géochimie des eaux profondes de l'Atlantique.

Une détermination expérimentale des apports atmosphériques a débuté dans le bassin Occidental (i.e. Bergametti, 1987; Migon et al., 1987). Les enquêtes UNEP (1984) précisent des apports telluriques suffisamment forts pour marquer géochimiquement la mer. Ces quelques données atmosphériques et telluriques ne permettent pas la connaissance quantitative de la répartition spatiale des apports, ni de leur variabilité temporelle, liés à des processus économiques et démographiques. D'après les estimations de Cousteau et Paccalet (1987), en l'an 2025, 545 millions de personnes vivront autour de la Méditerranée, ce qui correspond à une augmentation moyenne de 1,3% par an. Par ailleurs, la progression du niveau de vie est quasi-générale autour de la Méditerranée, et, en France, elle a atteint 5 à 6% par an entre 1950 et 1974. Ces deux progressions, du nombre de riverains et de leur niveau de vie, se traduisent certainement par celle des rejets anthropiques.

La dynamique de la Méditerranée, mer soumise à un climat continental, est caractéristique de deux bassins de concentration, séparés par les détroits et seuils peu profonds de Gibraltar et de Sicile. Elle induit des circulations horizontales et verticales intenses, tant dans les différents circuits cycloniques que dans les zones de formation d'eaux denses (Bethoux, 1980). Le devenir des apports extérieurs, en terme de concentration, dépend de la fonction d'entrée des apports, de la dynamique marine, du volume des bassins, ainsi que de la réactivité de l'élément considéré. Les plus longues séries géochimiques marines, hormis la salinité et l'oxygène, concernent les concentrations en phosphore dans le bassin Occidental (Bethoux et Copin-Montégut, 1987). Elles montrent une augmentation des concentrations profondes qui passent de 0,35 $\mu\text{mol}/\text{l}$ en 1960 à 0,40 $\mu\text{mol}/\text{l}$ en 1984-86. D'après un modèle dynamique (Bethoux et Copin-Montégut, 1984), cette augmentation correspond aux effets d'une augmentation des apports telluriques de 3% par an dans le bassin Occidental et de 1,5% par an dans le bassin Oriental, conséquences probables de l'augmentation tant du nombre de riverains que de leur niveau de vie.

Sur le bassin Occidental, une telle augmentation des apports en nutriments, sur la période 1960-85, revient à doubler les apports et la nouvelle production. Bien que restant une mer oligotrophe, les images satellitaires CZCS et les dernières campagnes océanographiques montrent des étendus productives et des teneurs en chlorophylle jusqu'à présent jamais relevées. Il en est ainsi, par exemple, du panache "biologique" du Rhône, directement lié à son apport fertilisant, dont l'extension en mer paraît surprenante, et de la mer d'Alboran dont la productivité résulte essentiellement d'enrichissements liés à des transports verticaux.

La dynamique de la Méditerranée est caractérisée par la sortie en profondeur à Gibraltar, et donc par la formation hivernale de 50,5 $10^{12} \text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ d'eaux profondes (Bethoux, 1980). Dans l'hypothèse où toutes ces eaux (superficielles nord-occidentales et intermédiaires d'origine orientale) ont été oxygénées en surface dans le bassin Occidental, lors des processus de formation d'eau profonde, elles ont une concentration d'environ 6 ml O_2/l . La formation d'eaux profondes se traduit par l'envoi en profondeur d'un stock maximal de 3,03 10^{11}m^3 d'oxygène par an. Ce stock annuel permet, compte tenu d'un rapport C:O = 41:139 en poids, la reminéralisation d'environ 1,3 10^{14}g de carbone, soit l'équivalent d'une nouvelle production limite de 150 $\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$. Cette valeur correspond à environ 4 fois la nouvelle production calculée dans l'hypothèse d'un bilan stationnaire, soit 36 $\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ (Bethoux, 1981). Cependant, compte tenu de l'augmentation constatée des concentrations profondes entre 1960 et 1985, et du doublement probable de production, la valeur limite ne correspondrait plus qu'à deux fois la productivité probable actuelle.

Si nos hypothèses d'augmentation des apports telluriques en Méditerranée se confirment, un état critique pour la Méditerranée pourrait être atteint dans moins de 40 ans. Le stock d'oxygène de la couche profonde, qui ne correspondrait alors qu'à environ 17 ans de réserve, pourrait être consommé plus ou moins rapidement en fonction de la progression des apports fertilisants. Dès la première moitié du 21^{ème} siècle, la Méditerranée prendrait alors certaines des caractéristiques de la Baltique et de la mer Noire, à savoir celles d'un milieu profond anoxique, les effets de l'environnement ayant réussi à contrecarrer ceux de la dynamique climatique.

Références:

- Bergametti G., 1987. Apports de matière par voie atmosphérique à la Méditerranée: aspects géochimiques et météorologiques. Thèse Univ. Paris 7, 296p.
 Bethoux J.P., 1980. Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea. *Oceanol. Acta*, 3, 79-88.
 Bethoux J.P., 1981. Le phosphore et l'azote en mer Méditerranée, bilans et fertilité potentielle. *Mar. Chem.*, 10, 141-158.
 Bethoux J.P., Copin-Montégut G., 1984. Effets de la dynamique méditerranéenne sur le devenir d'apports anthropiques. *Vies Journées Etud. Pollutions*, 165-172.
 Bethoux J.P., Copin-Montégut G., 1987. Phosphorus and nitrogen in the Mediterranean Sea, specificities and forecasting. *Oceanol. Acta*, sous-presses.
 Cousteau J.Y., Paccalet Y., 1987. La mer blessée, la Méditerranée. Flammarion, 192p.
 Migon C., Copin-Montégut G., Morelli J., 1986. Apports de matière à la Méditerranée par la voie atmosphérique. *CIESM*, 30, 2, 38.
 U.N.E.P., 1984. Pollutants from land-based sources in the Mediterranean. *UNEP Regional Seas Reports and Studies*, 32, 97p.

Rapp. Comm. int. Mer Médit., 31, 2 (1988).

Un exemple de l'utilisation des gamètes d'Oursin en tant que modèle biologique en écotoxicologie : rôle du calcium et des protons dans la toxicité du mercure (HgCl_2)

Denis ALLEMAND*, Philippe WALTER** et Guy DE RENZIS**

* Centre Scientifique de Monaco, 16 boulevard de Suisse, 98030 Monaco Cedex (Principauté de Monaco)
 ** Laboratoire de Physiologie Cellulaire et Comparée, Faculté des Sciences, Parc Valrose, 06034 Nice Cedex (France)

Dans le cadre d'une recherche écotoxicologique, dont l'objectif essentiel est l'étude des mécanismes de contamination par les polluants d'un écosystème en vue de sa protection, l'approche expérimentale en laboratoire est indispensable pour permettre d'analyser grâce à une simplification des systèmes naturels, les mécanismes impliqués.

Dans ce but, nous avons développé depuis 1987, l'étude des gamètes d'oursins (spermatozoïdes et oeufs vierges ou fécondés), déjà très utilisés dans d'autres domaines de la biologie, comme modèle biologique en écotoxicologie.

Le présent exposé résume des résultats préliminaires permettant de comprendre le mécanisme d'action d'un polluant métallique hautement toxique, le chlorure de mercure (HgCl_2). Il fait suite à un article, (Allemand et al., 1988), dans lequel nous avons mis en évidence les différents modes d'action de ce métal sur les transports membranaires d'ions et de nutriments.

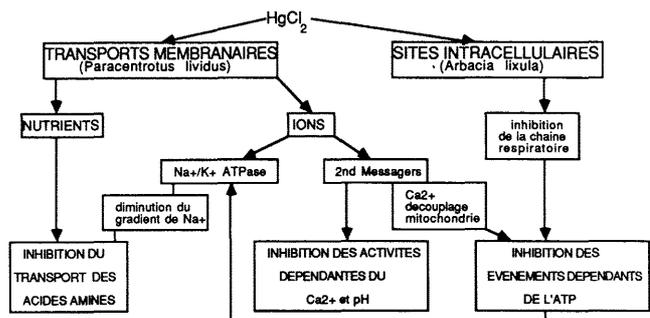
Grâce à une approche physiologique (la mesure de la consommation d' O_2 des gamètes), nous avons mis en évidence une des principales cibles intracellulaire du mercure. Nous avons en effet pu montrer que ce métal agissait au niveau mitochondrial soit en inhibant directement la chaîne respiratoire (spermatozoïdes, oeufs d'*Arbacia lixula*), soit en la découplant (oeufs de *Paracentrotus lividus*). Dans les deux cas le résultat est le même: le mercure induit une inhibition de la production énergétique de la cellule. L'action toxique du mercure dépend de l'espèce, mais aussi de l'état physiologique de la cellule cible: ainsi, une cellule quiescente (l'oeuf vierge) réagit différemment par rapport à une cellule très active (l'oeuf fécondé). Cette différence est liée aux grandes modifications des systèmes enzymatiques et des paramètres intracellulaires (pH, contenus en ions...) consécutives à l'activation cellulaire (Giudice, 1986).

De par leur nature, les polluants métalliques interfèrent avec les voies normales de transport ou les sites des liaisons des ions, dont le rôle physiologique est primordial puisqu'ils participent à la régulation de nombreuses activités cellulaires (Whitaker et Steinhardt, 1982). Pour tenter d'analyser plus en détail, les mécanismes impliqués dans la toxicité du mercure nous avons effectué des mesures de flux de Ca^{++} et de H^+ qui représentent les principaux signaux internes contrôlant l'activation, la croissance et les divisions cellulaires. Ils interviennent aussi bien dans des cas physiologiques (transduction hormonale, fécondation...) que pathologiques (cancérogénèse) (Berridge, 1985).

Chez l'oeuf vierge, le mercure stimule l'antiport membranaire Na^+/H^+ , activant ainsi l'excrétion de protons. L'origine de ces protons demeure hypothétique: ils pourraient provenir de compartiments acides sous-membranaires, analogues à des lysosomes.

Nos résultats montrent que, chez l'oeuf fécondé, le mercure augmente l'entrée de Ca^{++} . Cet excès de calcium cytoplasmique est rapidement tamponné par la mitochondrie dont les systèmes de transport du Ca^{++} ont une plus faible affinité mais une plus grande capacité que les systèmes présents dans le réticulum (Carafoli, 1987). Ce transport est effectué à la place de la synthèse d'ATP et induit donc un découplage de la mitochondrie entre le transport des électrons et la phosphorylation oxydative (Carafoli, 1987).

L'ensemble de nos résultats permet d'élaborer le schéma suivant, montrant les différents mécanismes de l'homéostasie cellulaire qui sont affectés par le mercure:



ALLEMAND D., DE RENZIS G., PAYAN P., GIRARD J.P. et VAISSIERE R. (1988). Toxicologie, sous presse.

BERRIDGE M.J. (1985). *Scient. Amer.* 98:134-146.

CARAFOLI E. (1987). *Ann. Rev. Biochem.* 56: 395-434.

GIUDICE G. (1986). Springer Verlag, Berlin. (246pp).

WHITAKER M.J. et STEINHARDT R.A. (1982). *Quarter. Rev. Biophys.* 15:593-666

Rapp. Comm. int. Mer Médit., 31, 2 (1988).