Chimie et biorestauration des zones littorales après un déversement d'hydrocarbures.

Anne BASSÈRES^{a*}, Bernard TRAMIER

^a *TotalPetrochemicals - BP 47 - 64170 Lacq*

La réhabilitation de sites pollués par hydrocarbures et en particulier de zones littorales est une technique développée depuis plusieurs années et mise en application pour la première fois à grande échelle lors du traitement des plages d'Alaska après l'accident d'Exxon Valdez¹.

Cette technique de réhabilitation est utilisée en traitement de finition, une fois la plus grande partie des hydrocarbures enlevée par d'autres procédés (mécaniques, lavage). Basée sur l'accélération de la biodégradation des hydrocarbures², ce moyen de lutte est facilement applicable et peu coûteux. Le principe consiste à fournir aux bactéries spécifiques hydrocarbures présentes dans le milieu naturel les éléments nutritifs indispensables à leur développement et qui sont généralement limitant dans ce milieu³. La biodégradation des hydrocarbures peut être accélérée par l'addition de fertilisants contenant de l'azote et du phosphore⁴. Afin d'optimiser cette technique, des additifs de biodégradation, comme l'INIPOL EAP 22 ou INIPOL+ ont été formulés, qui associent de l'azote sous forme d'urée, du phosphore et de l'acide oléique qui confère au produit son caractère oléophile. Ce produit permet de fournir les éléments fertilisants à l'interface eau-huile où se trouvent les bactéries indigènes, et favorise également l'activation enzymatique de dégradation des chaînes aliphatiques. Cette formulation est une micro-émulsion.

Ce produit liquide, mis en œuvre par des systèmes d'épandage classiques par pulvérisation a fait l'objet de plusieurs applications. L'application à grande échelle pour le nettoyage des plages de l'Alaska, a été contrôlé par l'EPA (US Environmental Protection Agency). Ce traitement a permis d'accélérer la remise en état des plages de manière significative.

- 1- Glaser, J.A., Venosa, A.D., Opatken E.J., Développement and evaluation of application technique for delivery of nutrients to contaminated shoreline in Prince Willaim Sound. Oil Spill Conference, pp 559-562. 1991.
- 2- Atlas, R.M., Bartha, R. Environmental Sciences and Technology, V7, pp 538-541. 1973
- 3- Atlas, R.M., et Bartha, R; Biotechnology and Bioengineering. V14, pp 309-318. 1972.
- 4- Tramier, B. et Sirvens, A. Enhanced oil biodegradation : a new operational tool to control oil spills. Oil Spill Conference Proceedings, 1989.

Mots Clés : Biodégradation, hydrocarbures, additif, micro-émulsion, zones littorales.

Faut-il fertiliser l'océan pour contrôler le climat ?

Stéphane BLAIN

Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie

UMR CNRS 6535 – COM-, Université de la Méditerranée – 13288 MARSEILLE Cedex

Le fer est un des éléments chimiques les plus abondants sur la planète, alors que dans l'océan il ne se situe qu'au 30^{ème} rang environ. Ceci résulte de sa grande insolubilité dans l'eau de mer mais également de sa consommation par les micro-organismes marins pour qui le fer représente une ressource vitale. Dans ces conditions, il semble intuitivement que la croissance des microalgues puisse être limitée par la ressource en fer. Cependant, il a fallu une quinzaine d'années d'efforts intenses pour que cette hypothèse soit confirmée. L'enjeu est de taille puisque la croissance du phytoplancton est à la base du plus important processus d'absorption du CO₂ par l'océan, appelé pompe biologique. Dire que les micro-organismes sont limités par la teneur en fer, c'est donc dire que la pompe biologique ne fonctionne pas à son maximum. Cette hypothèse, dite « hypothèse du fer », est importante pour tenter de comprendre, par exemple, les fluctuations de CO₂ entre les périodes glaciaires et interglaciaires. L'idée a naturellement germé dans les milieux proches de la géo-ingénierie d'activer la pompe biologique de CO₂ en fertilisant délibérément de vastes étendues océaniques par du fer pour lutter contre l'augmentation du CO₂ atmosphérique liée aux activités humaines et le réchauffement climatique qui en résulte. En effet, même si la pompe biologique est un important puits de CO₂ elle n'a pas contribué, pour le moment, à l'absorption du surplus de CO₂ anthropique.

Une des grandes originalités des recherches sur le rôle du fer dans l'océan est d'avoir utilisé une nouvelle stratégie d'étude en océanographie : la réalisation de perturbations délibérées de l'environnement à petite échelle pour étudier la réponse du système. Entre 1993 et 2005, 12 expériences de fertilisations en fer se sont succédées dans différents océans. Toutes ont conduit à la même conclusion¹. L'ajout de fer stimule la croissance du phytoplancton mais la mise en marche de la pompe biologique n'a pu être démontrée. Cette lacune est liée à la durée et à la taille limitées de ces expériences. Pour tenter de résoudre ces questions restées en suspens, nous avons mis sur pied une expérience à la stratégie radicalement différente : l'étude d'une fertilisation naturelle de l'océan a été conduite dans l'Océan Austral. Les résultats montrent que la fertilisation naturelle de l'océan est bien plus efficace pour stocker du carbone que les fertilisations artificielles². Cette performance est liée à la complexité du système résultant, pour une part, d'une lente co-évolution de la composition chimique et de l'activité biologique de l'océan. Les nanoparticules imaginées par les géo-ingénieurs en sont une pâle imitation, au mieux inefficace, au pire dangereuse.

Références :

1. Boyd, P. W., Jickells, T., Law C. Blain, S. et al. Mesoscale iron enrichment experiments 1993-2005: Synthesis and future directions. *Science* **315**, 612-617 (2007).
2. Blain, S. et al. Effect of natural iron fertilisation on carbon sequestration in the Southern Ocean. *Nature* **446**, 1070-1075 (2007).

Mots Clés : Fer, dioxyde de carbone, géo ingénierie, climat.

Hydrates de gaz en milieu océanique: énergie du futur ?

Jean Luc CHARLOU

*Département Géosciences Marines
Laboratoire Géochimie/Métallogénie
IFREMER Centre de Brest - B.P. 70 - 29280 Plouzané Cedex*

Depuis la découverte en Mer Noire des premiers hydrates de gaz océaniques par les Russes (1), les nombreuses campagnes océanographiques conduites depuis 1974 ont permis la découverte de nombreux champs d'hydrates de gaz sur les marges continentales (2),(3), souvent associés à des rejets massifs de méthane libre dans la masse d'eau océanique. Ces hydrates de méthane, ou « clathrates », réseau articulé constitué de molécules de méthane englobées dans les interstices de cristaux analogues à la glace, se présentent sous forme de solides cristallins blancs, pouvant être synthétisés en laboratoire et stables dans le sédiment dans certaines conditions de basse température et forte pression. Les zones à circulation de fluides, volcans de boues, pockmarks sont des zones favorables à leur formation dans le sédiment et représentent des « fenêtres » permettant de les étudier in situ à l'aide de submersibles habités et/ou engins robotisés. L'exploration géophysique, les forages sédimentaires, les traceurs géochimiques sont les outils majeurs utilisés dans l'exploration. En outre, expérimentations en laboratoire, études de sites naturels et modélisation thermodynamique menées de concert, permettent de comprendre les processus de circulation et la formation des hydrates de gaz dans les couches sédimentaires. La quantité de méthane stockée sous forme d'hydrates dans le sédiment reste difficile à évaluer précisément. Ce fantastique réservoir de méthane pourrait sans doute compenser la diminution progressive des réserves exploitables de pétrole et de gaz naturel, mais la déstabilisation possible de réservoirs d'hydrates de méthane pourrait aussi rejeter dans l'atmosphère une quantité de méthane capable de bouleverser le climat. Ainsi, réchauffement climatique et déstabilisation d'hydrates de gaz sont deux phénomènes intimement liés, aux conséquences mal connues. En tout cas, les données démontrent qu'une énergie importante se trouve stockée sous forme de méthane congelé dans le substratum océanique profond, et qui peut être rejetée dans la masse d'eau et atteindre l'atmosphère. Un des grands défis actuels est de continuer l'exploration les grands fonds afin de mieux comprendre l'origine, la formation et la stabilité de cette nouvelle source d'énergie, en étudier les possibilités d'exploitation et en évaluer les causes et conséquences de la libération possible de grandes quantités de méthane de ces grands fonds océaniques.

Références :

1. Yefremova A. G., Zhizhchenko B. P., Occurrence of crystal hydrates of gas in sediments of modern marine basins, Doklady Akad Nauk SSSR, 214, 1179-1181, 1974.
2. Kvenvolden K. A., Lorenson T. D., The global occurrence of natural gas hydrate, in "Natural Gas Hydrate Occurrence, Distribution and Detection", edited by C. K. Paull and W. P. Dillon, Geophys. Monogr. Ser. 124, 3-18, AGU, Washington DC, 2001.
3. Milkov A. V., Molecular and stable isotope compositions of natural gas hydrates : A revised global dataset and basic interpretations in the context of geological settings, Org. Geochem., 36, 681-702, 2005.

Mots Clés : méthane, hydrates de gaz, marges continentales, volcans de boue, énergie.

La chimie des grands fonds : du minéral à la vie.

Daniel DESBRUYERES

*Ifremer Centre de Brest (Département Etude des Ecosystèmes Profonds - DEEP)
BP 70 – 29280 - PLOUZANE*

Le milieu profond ("abyssal") océanique couvre les 2/3 de la surface du globe et reste quasi-inexploré parce qu'il est difficile d'y pénétrer. C'est un milieu réputé presque désertique du fait de l'absence de lumière et donc de production végétale. La pression y est élevée, les températures y sont basses, le flux de nourriture provenant par gravité des couches éclairées est faible et diminue avec la profondeur et la distance à la côte. Malgré ces conditions, c'est un milieu d'une grande diversité biologique et il constitue sans doute un des derniers "réservoirs de biodiversité" de la planète : on estime aujourd'hui entre 0,5 et 10 millions le nombre d'espèces encore inconnues qui y habitent. Les voies et l'intensité des transferts dans cet environnement sont encore pratiquement inconnues¹, comme le sont ses capacités de réaction à la perturbation naturelle ou anthropique. L'étendue du milieu profond et son éloignement relatif des zones d'activité humaine semblent en faire une sorte de sanctuaire à la surface du globe, à l'abri des pollutions et des perturbations. Cependant ces qualités même en font un candidat de plus en plus souvent proposé pour l'élimination de déchets. Mais comme le souligne Théodore Monod "*... cet océan, il est de bout en bout, d'un seul tenant. On est ou non dans la mer, mais une fois qu'on s'y trouve tout communique...*".

Entre 1977 et 1979, des campagnes océanographiques de plongée des submersibles américains *Alvin* et français *Cyana* mirent en évidence, dans le Pacifique oriental, des sources chaudes à l'axe des dorsales océaniques par environ 2600m de profondeur. Le fluide surchauffé (jusqu'à 400°C) qui y est expulsé est très chargé en minéraux réduits en méthane et en hydrogène sulfuré. Ces composés servent de base à une chaîne alimentaire originale et très productive, fondée sur la chimiosynthèse bactérienne [synthèse de matière vivante à partir des composés minéraux en utilisant l'énergie chimique contenue dans les composés minéraux réduits (sulfures et méthane)].

L'intérêt biologique de ce milieu est lié à son fonctionnement original, sa productivité biologique² élevée et son biotope, chargé en composés réputés toxiques, extrême comparé à tous les environnements marins. Les organismes qui s'y développent sont originaux³. L'étude des adaptations de ces organismes à la toxicité naturelle du milieu nous apporte des enseignements sur l'effet à long terme de la pollution sur l'évolution des espèces marines. Certains scientifiques pensent aussi qu'il pourrait avoir été le lieu d'apparition de la vie sur notre planète. Enfin, les micro-organismes qui prolifèrent dans ce milieu présentent des caractéristiques très originales (croissance à très haute température, composés originaux et thermostables) qui peuvent être applicables dans les *processes* de biotechnologie.

1. Nouvian, C. *Abysses*. Fayard edit, 256 pp. 2006.

2. Van Dover, C.L., *The ecology of deep-sea hydrothermal vents*. Princeton University Press, 424 pp. 2000.

3. Desbruyères, D., Segonzac, M. & M. Bright. *Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna*. *Denisia*, 18, 544pp. 2006.

Mots Clés : Abysses, écosystème, chimiosynthèse.

La chimie et la plaisance.

Grégoire DOLTO

*Fédération des Industries Nautiques
Port de Javel Haut - 75015 Paris*

Depuis les années 1960, le développement de la construction des bateaux de plaisance s'est largement appuyé sur la chimie, ou plutôt sur des produits dérivés de la chimie.

De 1960 à nos jours

- Bateaux de croisière de plus de 6 m majoritairement construits en verre/polyester
Bateaux de course ou haut de gamme en carbone / époxy.
- Ame des constructions sandwich souvent en PVC ou SAN.
- Bateaux pneumatiques construits avec des tissus enduits (textile polyester ou polyamide, enductions PVC, PU, polychloroprene, polyethylene chlorosulfone)
- Bateaux de moins de 5 m, kayaks et planches à voile de plus en plus fabriqués en résine thermoplastiques pure ou armée avec des billes de verre.
- Collages en polyester, polyuréthane ou époxy.
- Voiles et cordages en polyester, polyamide ou polypropylène.
- Mousses d'isolation ou de flottabilité en polyuréthane
- Pièces d'accastillage en plastique moulé remplacent souvent les pièces métalliques.
- Peintures sous marine au TBT jusqu'en 2000.

Le présent et l'avenir proche

- Résines polyesters à faible taux ou faible émission de styrène.
- Constructions sous moule fermé en développement
- Début de l'utilisation de résines thermoplastiques dans la construction de petits bateaux
- Mâts en composite carbone/époxy et câbles en matériaux synthétiques.

Les préoccupations environnementales et de développement durable.

La plaisance, en raison de son contact permanent avec la mer, se doit de plus en plus d'examiner son impact sur l'environnement et se tourner vers les problématiques de développement durable, qui sont

- Utilisation de produits non polluants et si possible recyclables, y compris ceux issus de la chimie
- Utilisation de techniques de construction "durables"
- Recherche de solutions de déconstruction économiquement viable, avec si possible valorisation, et éventuellement recyclage des produits;
- Recherche de détergents totalement bio dégradables
- Utilisation de système de traitement biologiques des eaux noires
- etc.

et, à plus long terme, utilisation de résines et de fibres bio-dégradables pour l'après pétrole et/ou un développement durable plus poussé.

Mots Clés : Plaisance, bateau

La chimie de spéciation des métaux pour la dépollution des sédiments marins.

Olivier F.X. DONARD¹, Yann YVON^{1,2}, Christelle BENOIT³,
Sylvaine TELLIER¹, Fabienne SEBY³, Michel CHEVALIER²

1 : Chimie Analytique Bioinorganique et Environnement
IPREM UMR CNRS 5254 Hélioparc - 64053 Pau

2 : ATOS ENVIRONNEMENT - Rue Nungesser et Coli
44 860 Saint Aignan de Grandlieu

3 : UT2A Ultra Traces Analyses Aquitaine
Hélioparc - 64053 Pau

La gestion des sédiments de dragages représente un enjeu qui connaît une prise de conscience croissante. On peut rapidement concevoir que les sédiments portuaires marins côtiers ou issus des voies navigables peuvent présenter des concentrations élevées en contaminants métalliques ou organiques.

Leur gestion par rapport au milieu est très réglementée. En fonction de critères d'écotoxicité des sédiments, ils peuvent être rejetés en mer si leur charge toxique est faible et inférieure aux seuils normés (< N1) ou bien stockés à terre. Dans ce cas, ils sont considérés comme des déchets qui peuvent suivre plusieurs filières d'élimination (classement en décharge ou introduction dans les soubassements routiers). Ces filières d'élimination modifient fortement la structure même des sédiments et les risques environnementaux associés. Les contaminants métalliques sont présents dans les sédiments portuaires sous différentes formes chimiques qui sont susceptibles d'évoluer en fonction du temps. Comme pour les sols pollués, on peut appliquer les techniques d'atténuations naturelles en traitant les sédiments contaminés en andain. Ces approches, bien connues pour les sols pollués, et plus particulièrement pour les composés organiques, donnent en général des vitesses d'abattement significatives. La connaissance des voies de transformation et de spéciation des métaux nous permet de mener des stratégies similaires. En effet, dans un premier temps, il est possible de suivre en dynamique la transformation des formes chimiques des métaux dans des sédiments contaminés traités par les méthodes de bioremédiation. L'approche par la spéciation des métaux montre clairement que l'évolution des formes chimiques des métaux et notamment des composés organostanniques peut entraîner de très forts taux d'abattement au cours du temps. Une approche de traitement dynamique par électromigration peut également amener à des taux de diminution de contaminants organostanniques très importants (> 80 %) pour des systèmes étudiés au laboratoire. Dans tous les cas, la clé de compréhension est liée à la spéciation (transformation des formes chimiques des métaux As, Hg, Sn et Cr). Nous présenterons différentes stratégies de décontamination parfaitement opérationnelle à l'échelle du laboratoire et discuterons des enjeux liés au changement d'échelle, nécessaire par rapport aux questions posées sur toutes les côtes françaises.

Mots Clés : Sédiments, déchets, spéciation des métaux, stratégies de remédiation, changement d'échelle, enjeux économiques.

La Paléo-océanographie et la découverte de l'instabilité de l'océan. Les implications pour le futur.

J. Cl. DUPLESSY, L. LABEYRIE

*Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL,
Laboratoire CEA/CNRS/UVSQ, Parc du CNRS - 91198 Gif sur Yvette*

Pendant longtemps, l'océan a été considéré comme un agent climatique stockant la chaleur reçue du soleil et la transportant vers des zones plus froides grâce aux courants marins. L'accent était mis sur sa stabilité, son rôle modérateur vis à vis des changements de la température de l'air dans les zones côtières et le bénéfice qu'en tiraient les zones baignées par des courants chauds ou tempérés, telle l'Europe occidentale.

L'étude des sédiments marins a conduit à mettre en évidence d'importantes variations de la température des eaux de surface, des courants superficiels et de la chimie de l'océan au cours des oscillations glaciaires-interglaciaires. La circulation globale de l'océan gouvernée par les différences de densité des diverses masses d'eau profonde (*circulation thermohaline*) était, elle aussi, affectée en raison des changements survenus dans les zones de haute latitude où plongent les eaux profondes. L'océan répond donc dans son ensemble aux grandes variations du climat de la Terre. C'est aussi un important réservoir de gaz carbonique dont l'efficacité dépend étroitement des fluctuations du climat, notamment en raison des changements de température, de circulation et de productivité des océans.

Pendant les glaciations, l'instabilité des calottes glaciaires qui recouvraient le Canada et la Scandinavie causait de massives débâcles d'icebergs rejetés à l'océan. Ils fondaient au Nord de 40°N, provoquant en quelques siècles une énorme injection d'eau douce. Celle-ci stratifiait l'océan Atlantique Nord, de sorte que la circulation thermohaline était considérablement ralentie. Ce ralentissement s'accompagnait d'une importante diminution du flux de chaleur transportée par les courants superficiels de l'hémisphère Sud vers l'hémisphère Nord et d'un brutal coup de froid sur l'Europe avec des conséquences sur le reste de la planète. Au bout de quelques siècles, lorsque la débâcle d'icebergs était terminée, la circulation thermohaline reprenait, provoquant un brutal réchauffement des eaux superficielles de l'Atlantique Nord et de l'air au dessus du Groenland et de l'Europe occidentale.

Des instabilités similaires sont susceptibles de se développer dans le futur, même en climat chaud, si le réchauffement des zones arctiques s'y accompagne d'un accroissement des pluies transportées par les rivières dans l'océan et stratifiant les zones où les eaux superficielles plongent dans les abysses. Le réchauffement global serait donc susceptible d'induire des surprises dont les conséquences en terme de climat et d'environnement régional sont encore très difficiles à évaluer et font l'objet d'une recherche intensive.

Mots clés : paléo-océanographie, changements climatiques, paléoclimatologie, Quaternaire, réchauffement global

Les ressources minérales du futur sont elles au fond des mers ?

Yves FOUQUET

Ifremer Centre de Brest (Département Géosciences Marines) BP 70 2920 - Plouzané

L'humanité a un besoin vital de découvrir de nouvelles ressources naturelles en raison de la croissance démographique mondiale d'une part, et d'autre part de la forte demande économique de pays émergents, fortement peuplés (Chine, Inde). Tout comme l'énergie, les ressources minérales sont un élément-clé du développement des économies industrialisées. L'envolée du cours des matières premières et des métaux (près 350% en 3 ans pour le cuivre et le zinc) est à l'origine de la recherche de nouveaux gisements, terrestres, mais aussi dans le domaine marin. En effet, l'océan couvre 71% de la terre (60% au delà de 2000m de profondeur), mais cet énorme domaine est encore relativement inconnu. Ses richesses peuvent un jour devenir critiques pour les besoins mondiaux en énergie et matière première.

Les explorations scientifiques menées depuis une trentaine d'années ont identifié plusieurs processus géologiques et géochimiques conduisant à la concentration des métaux (nodules polymétalliques, encroûtements cobaltifères et sulfures hydrothermaux) et à la genèse de ressources énergétiques potentielles originales (hydrates de méthane, hydrogène) dans les grands fonds. Ces découvertes ouvrent de nouvelles frontières pour la recherche et l'identification de ressources minérales et énergétiques dans les océans. De plus, il faut noter que sulfures hydrothermaux, nodules, encroûtements et synthèse d'hydrogène sont liés à des processus spécifiquement sous-marins qui n'ont pas d'équivalent sur la croûte continentale émergée.

Selon le contexte et la nature du substratum impliqué, les minéralisations hydrothermales peuvent être fortement concentrées en cuivre, zinc, or, argent, cobalt, plomb, baryum, mais aussi en éléments plus rares tels que cadmium, indium, sélénium, antimoine, mercure. En raison de l'augmentation de la température d'ébullition avec la profondeur, les fluides les plus profonds ont une plus grande capacité à transporter les métaux. Les encroûtements cobaltifères et les nodules, majoritairement composés d'oxyde de fer et de manganèse, sont surtout intéressants pour leurs concentrations en nickel, cobalt et cuivre ; ils peuvent également être enrichis en métaux rares, platine, titane, cérium, zirconium, molybdène et tellure.

Un engagement particulier de la France sera nécessaire pour conduire, au delà de l'effort de cartographie actuel, des investigations permettant de localiser et d'inventorier les ressources minérales et énergétiques potentielles dans l'extension du territoire national que constitue notre ZEE (Zone économique exclusive), la 2^{ème} du monde. L'évaluation de la richesse de ces dépôts en vue leur éventuelle exploitation nécessitera des études environnementales associant géologues, chimistes et biologistes.

Depuis quelques années, l'industrie minière mondiale commence à s'intéresser aux minéralisations hydrothermales. Des permis d'exploration minière ont été déposés sur cinq champs hydrothermaux dans l'ouest du Pacifique. La Russie soutient un important programme d'exploration et d'inventaire des ressources minérales hydrothermales le long de la dorsale Atlantique. Enfin, la Chine, lance un programme d'explorations pour rechercher les ressources minérales des grands fonds.

Mots Clés : Grands fonds, métaux, hydrothermalisme, encroûtements, nodules, ressources minérales potentielles.

3 milliards d'années de changements globaux : la chimie de l'océan témoinne.

Yves GODDERIS^a, Bernard DUPRÉ^{a,*},
Yannick DONNADIEU^b, Guillaume Le HIR^b, Ray T. PIERREHUMBERT^c

^a *LMTG, Observatoire Midi-Pyrénées, CNRS-Université Toulouse-IRD
14 Avenue Edouard Belin – 31400 Toulouse*

^b *LSCE, CNRS-CEA-Université Versailles/St Quentin*

^c *Dept. of Geophysical Sciences, University of Chicago*

L'océan a été le témoin des grandes révolutions biologiques survenues au cours de l'histoire de la Terre, depuis le développement des premiers organismes unicellulaires jusqu'à l'explosion cambrienne qui a vu émerger la totalité des lignées actuelles, en passant par l'apparition de la photosynthèse oxygène. En plus de ces grands jalons de l'histoire de la vie, l'océan a été le théâtre de nombreuses crises biologiques, suivies de phases de récupération et de diversification parfois rapide. La quasi-totalité de ces changements biologiques majeurs a été accompagnée de modifications des conditions physico-chimiques de l'eau de mer, soit en réponse à l'évolution biologique, soit en tant que cause de cette évolution. L'océan est en effet en interaction étroite et permanente avec l'ensemble des géosphères terrestres. A l'interface océan-atmosphère, on retrouve la diffusion des gaz (oxygène et CO₂ en particulier, mais aussi méthane). Les surfaces continentales apportent à l'océan cations majeurs, bicarbonates et silice via les fleuves. Les dorsales océaniques entretiennent un échange permanent entre l'océan et le manteau terrestre. Enfin, la biosphère océanique entretient en permanence une stratification chimique verticale de l'eau de mer.

En réponse à ces interactions, il n'est pas surprenant que la composition chimique de l'eau de mer ait fortement varié au cours de l'histoire géologique de la Terre. A titre d'exemple, la prolifération des photosynthétiseurs microscopiques il y a 2.4 milliards d'années a provoqué la croissance de la teneur en oxygène dissous dans les eaux, induisant la destruction des bactéries méthanogènes, et l'effondrement des teneurs en méthane dans l'environnement terrestre. Les glaciations totales de la fin du Protérozoïque ont, quant à elles, été marquées par une accumulation gigantesque de CO₂ dissous dans l'eau de mer, forçant le pH à atteindre, pendant plusieurs millions d'années, des valeurs anormalement basses (de l'ordre de 6 au lieu de 8,2), et constituant un filtre environnemental particulièrement sévère. Autre exemple : la mise en place de grandes provinces basaltiques, soit sur les continents, soit directement dans les fonds marins, a provoqué à plusieurs reprises dans l'histoire géologique récente de la Terre des crises majeures de production carbonatée, l'océan se désaturant vis-à-vis des minéraux carbonatés en réponse au dégazage massif de CO₂. Enfin, l'océan a connu des phases d'anoxie majeures et répétées, dont les causes complexes sont encore à explorer. Ces changements globaux de la chimie de l'océan ont été enregistrés dans les sédiments marins. Les indicateurs relevés, qu'ils soient isotopiques, chimiques ou purement sédimentologiques, nous racontent une évolution de l'océan qui se produit par crises successives. Chacune de ces crises marque l'environnement marin de manière transitoire ou définitive. L'histoire de la chimie de l'océan, et par delà du climat de notre planète, doit donc être décrite comme une succession de bouleversements rapides.

Mots Clés : cycles biogéochimiques, océans, modèles, enveloppes superficielles

L'exploitation des nodules polymétalliques : utopie ou réalité ?

Guy HERROUIN

DCNS, chargé de mission stratégique, ancien directeur à l'Ifremer

Les nodules polymétalliques¹, concrétions sous-marines des grands fonds, ont provoqué un grand engouement de la part nombreux pays dans les années 70-80. En effet ces minerais étaient apparus comme une ressource d'un intérêt majeur, tant pour les pays développés, pour leur approvisionnement en métaux, que pour les pays en développement qui auraient partagé les revenus de leur exploitation. Ces nodules ont été en grande partie l'élément moteur du traité sur le droit de la mer signé en 1982 et à l'instauration, en 1994, de l'Autorité Internationale des Fonds Marins (International Seabed Authority). Une convention internationale sur l'exploitation des ressources des grands fonds, dans le cadre de ce traité, déclarait ces ressources « Patrimoine commun de l'humanité ». Les pays pionniers, c'est à dire les pays ayant investi dans l'exploration de ces minerais, se sont vus reconnaître des droits miniers de la part de cette Autorité.

Le principe de la faisabilité d'une exploitation avait été démontré, par contre les coûts élevés (associés aux risques technologiques) d'une part, et les cours des matières premières relativement bas à la fin du siècle dernier, d'autre part, ont entraîné une mise en veille des projets d'exploitation depuis les années 1990.

Par ailleurs, l'intérêt stratégique des nodules avait considérablement diminué. En effet les pays occidentaux craignaient des aléas politiques pouvant entraîner jusqu'à l'arrêt d'exploitation du manganèse, du cobalt etc. à l'image des difficultés d'approvisionnement en hydrocarbure consécutives aux chocs pétroliers des décennies 70 et 80. Aucune de ces craintes ne s'est concrétisée.

Pour la France, pays pionnier, l'Ifremer a signé un contrat avec l'Autorité internationale d'une durée de 15 ans pour l'exploration des nodules polymétalliques. A cette fin, une campagne scientifique avec le submersible Nautila a été réalisée il y a 3 ans.

Les grandes lignes de l'exploitation industrielle des nodules seront présentées. Une telle exploitation fait appel à des technologies relevant des domaines de l'offshore pétrolier, de l'exploitation minière et des traitements métallurgiques des minerais.

Les progrès importants réalisés récemment dans l'exploitation des hydrocarbures en mer profonde, permettent désormais de disposer, en grande partie, des technologies adaptées à la collecte de ces minerais.

D'autre part les cours des matières premières, dont celles contenues dans les nodules (manganèse, nickel, cuivre, cobalt), ont nettement augmenté par suite de la croissance économique mondiale et asiatique en particulier.

Restent cependant à étudier et prendre en compte les aspects environnementaux, dont l'importance est devenue déterminante. Des études scientifiques sont menées dans les fonds abyssaux pour mieux connaître ces environnements et essayer d'apprécier les conséquences de telles exploitations.

En conclusion, on dressera un bilan de l'intérêt de cette ressource et de ses perspectives.

Mots Clés : nodules polymétalliques, manganèse, minerais sous-marins, traité sur le droit de la mer

¹Jean-Pierre Lenoble Edition sciences et techniques. Réf : M2389_7_1992 Date de parution : 07/1992

Traceurs chimiques et isotopiques : des clefs pour comprendre l'océan.

Catherine JEANDEL

*Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales
(LEGOS: CNRS/CNES/IRD/UPS)*

Observatoire Midi-Pyrénées - 14, avenue Edouard Belin - 31400 Toulouse

L'étude de l'océan soulève des questions essentielles comme par exemple celle de son rôle dans le contrôle du climat, dans l'absorption (ou non) des gaz à effet de serre ou encore celle de sa capacité à digérer (ou non) les contaminants anthropiques. Plus généralement, il s'agit de comprendre quelles sont les interactions de l'océan avec les autres grands compartiments planétaires que sont les continents et l'atmosphère, ces interactions déterminant la dynamique des grands cycles bio-géochimiques. Traiter ces questions repose sur la quantification des flux d'eau et des transferts de matière entre continent et océan, au sein de l'océan lui-même et de l'océan au "sédiment-mémoire". Comme il est impossible d'aller mesurer directement la vitesse de chute d'une particule au fond de la mer ou de donner l'origine d'une masse d'eau en la regardant s'écouler, les géochimistes marins proposent de quantifier ces flux de façon indirecte en utilisant les informations déduites de certains éléments chimiques et/ou isotopes, communément appelés « traceurs ». En outre, une fois enregistrés dans le sédiment, ces traceurs contribuent à la reconstitution des circulations, taux d'érosion et donc des climats passés, tant de clefs nécessaires pour estimer quelle sera l'évolution de la « machine océan » sous la pression du changement global.

En prenant pour exemple la question des flux échangés entre continent et océan, l'exposé illustrera comment l'association de données de concentrations et d'isotopes (lesquels ne mentent jamais !) a récemment modifié notre perception de la façon dont les flux d'origine continentale contrôlent la chimie marine^{1,2}. Ces travaux ont permis, pour la première fois, de quantifier le rôle des marges océaniques dans les apports de matière et d'éléments chimiques à l'océan^{1,2,3,4}.

Cependant, malgré son potentiel, un traceur ne peut apporter que les informations qui lui sont propres : certains sont des chronomètres, d'autres des identificateurs de source, d'autres enfin « impriment » l'activité biologique. Nous concluons donc sur l'intérêt d'associer plusieurs traceurs pour appréhender correctement le fonctionnement du milieu naturel et complexe qu'est l'océan.

Références :

1. Lacan F. and Jeandel C. Neodymium isotopes as a new tool for quantifying exchange fluxes at the continent - ocean interface *EPSL*, **232**, 245-257, doi:10.1016/j.epsl.2005.01.004, 2005
2. Tachikawa K., V. Athias and C. Jeandel.. Neodymium budget in the modern ocean and paleoceanographic implications. *Journal of Geophysical Research*, **108**, C8, 3254, 2003.
3. Jeandel C., Arsouze T., Lacan F., Téchiné P. and Dutay J.-C. Isotopic Nd compositions and concentrations of the lithogenic inputs into the ocean: a compilation, with an emphasis on the margins. *Chemical Geology*, **239**, 156-164, 2007.
- 4- Arsouze T., Dutay J.-C., Lacan F. and Jeandel C. Modeling the Neodymium isotopic composition with a global circulation model. *Chemical Geology*, **239**, 165-177, 2007

Mots Clés : Eléments traces, isotopes, échange continent-océan

De la génomique des organismes marins à la « chimie bleue » : l'exemple des algues brunes.

Bernard KLOAREG, Gurvan MICHEL, Mirjam CZJZEK, Tristan BARBEYRON,
Murielle JAM, William HELBERT, Ludovic DELAGE, Catherine LEBLANC,
Jean-Pierre SALAÜN et Philippe POTIN

*Végétaux Marins et Biomolécules, UMR 7139 (CNRS et UPMC)
Station biologique de Roscoff - Place Georges Teissier - 29680 Roscoff*

Les organismes marins constituent un réservoir encore relativement peu exploré de molécules et de bio-procédés pour les biotechnologies ou pour la santé. Par analogie avec les méthodes de bioconversion dérivées de l'exploration des métabolismes des organismes terrestres (un sous-ensemble de la « chimie verte ») ou encore en référence à l'appellation en langue anglaise des biotechnologies marines (« blue biotechnologies »), le développement des connaissances sur les génomes et les métabolomes (ensemble des métabolites) des organismes marins devrait donner naissance à une « chimie bleue », c'est-à-dire à des méthodes de chimie enzymatique fondées sur l'utilisation de biomolécules ou d'enzymes originales en provenance du milieu marin.

Nous illustrerons cette opinion en partant d'exemples concrets issus d'une lignée eucaryote exclusivement marine, les algues brunes pluricellulaires. Ces végétaux renferment des composés naturels spécifiques, de nature polysaccharidique (laminarine, alginates, fucanes), lipidique (prostaglandines, leucotriènes) ou encore minérale (iode). Ils font l'objet d'importantes récoltes en Europe et en Amérique et d'une aquaculture intensive en Asie. Après un rappel de nos travaux sur la mise au point, à partir d'oligosaccharides extraits des algues brunes, de stimulants des défenses naturelles chez les plantes (1, 2), aujourd'hui commercialisés pour la protection phytosanitaire du blé (Laboratoires Goëmar, St Malo), nous décrirons des recherches plus récentes qui peuvent amener une diversification de l'exploitation de ces végétaux marins. Nous rapporterons, en particulier, l'identification et l'expression d'enzymes impliquées dans le métabolisme des oxylipines et de l'iode chez les algues (3, 4) ou encore la biodégradation de leurs polysaccharides (5-9), qui sont susceptibles d'être ensuite utilisées dans des bioprocédés. Enfin, nous discuterons les perspectives ouvertes en chimie bleue par l'exploitation des données émergentes en génomique marine.

Références :

1 - Klarzynski, O., Plesse, B., Joubert, J.-M., Yvin, J.-C., Kopp, M., Kloareg, & B. Fritig, B. Linear β -1,3 glucans are elicitors of defense responses in tobacco. **Plant Physiol.**, **124**, 1027-1037, 2000.

2 - Klarzynski, O., Descamps, V., Plesse, B., Joubert, J.-M., Yvin, J.-C., Kloareg, B., & Fritig, B. Sulfated fucan oligosaccharides elicit defense responses in tobacco and local and systemic resistance against tobacco mosaic virus. **Mol. Plant. Microb. Interac.**, **16**, 115-122, 2002.

3 - Colin, C., Leblanc, C., Wagner, E., Delage, L., Leize-Wagner, E., Van Dorsellaer, A., Kloareg, B., & Potin, P. The brown algal kelp *Laminaria digitata* features distinct bromoperoxidase and iodoperoxidase activities. **J. Biol. Chem.**, **278**, 23545-23552, 2003.

- 4 - Bouarab, K. F. Adas, E. Gacquerel, B. Kloareg, J.-P. Salaün & P. Potin. The innate immunity of a marine red alga involves oxylipins from both the eicosanoid and octadecanoid pathways. **Plant Physiol.**, **135**, 1838-1848, 2004.
- 5 - Michel G., Helbert, W. Kahn, R., Dideberg, O. & Kloareg B. The structural bases of the processive degradation of ι-carrageenan, a main cell wall polysaccharide of red algae. **J. Mol. Biol.**, **334**, 421-433, 2003.
- 6 - Allouch J., Jam M., Helbert W., Barbeyron T., Kloareg B., Henrissat B., Czjzek M. The three-dimensional structures of two β-agarases. **J. Biol. Chem.**, **278**, 47171-47180, 2003.
- 7 - Colin, S. Deniaud, E., Jam, M., Descamps, V., Chevolot, Y., Kervarec, N., Yvin, J.C., Barbeyron, T., Michel, G. Kloareg, B. Cloning and biochemical characterization of the fucanase FcnA: definition of a novel glycoside hydrolase family, specific for sulfated fucans. **Glycobiology**, **16**, 1021-1032, 2006.
- 8 - Guibet, M., Colin, S. Barbeyron, T. Genicot, S. Kloareg, B. Michel, G. & Helbert, W. Degradation of λ-carrageenan by *Pseudoalteromonas carrageenovora* λ-carrageenase : a new family of glycoside hydrolases unrelated to κ and ι-carrageenases. **Biochem. J.**, **403**, sous presse, 2007.
- 9 - Flament D., Barbeyron, T, Jam, M., Potin, P., Czjzek, M. Kloareg, B., & Michel, G. Alpha-agarases define a new family of glycoside hydrolases, distinct from beta-agarase families. **Appl. Environm. Microbiol.**, sous presse, 2007.

Mots Clés : Algues brunes, oligosaccharides, immunostimulants, iode, oxylipines.

Les médicaments de la mer : espoirs et illusions.

Georges MASSIOT

*Institut de Recherche Pierre Fabre - UMS CNRS/Pierre Fabre 2597
3 Rue des Satellites – 31520 Ramonville Saint-Agne*

Depuis le début des années 70, les chimistes des substances naturelles ont fait la démonstration que la mer, en l'occurrence les organismes marins, renfermaient des substances d'une grande originalité et douées de propriétés biologiques exceptionnelles. Le rationnel derrière la présence de telles molécules est que la mer est un milieu où se déroulent des combats pour la survie des espèces et que pour se défendre dans un milieu capable de diluer rapidement quelque arme chimique que ce soit, il fallait que les poisons soient fort efficaces. Si vous rencontrez un organisme mou (sans carapace), incapable de se déplacer rapidement, si possible doté de couleurs voyantes, récoltez le disait un grand chimiste du marin, car cet organisme a certainement les moyens de se défendre.

C'est ainsi qu'en trente ans, un nombre important de substances répondant aux critères de puissance, d'originalité et de sélectivité ont été isolées et soumises à essais biologiques. A ma connaissance, une seule, connue des chimistes sous le nom de ET-743, a fait son chemin dans le monde de la pharmacie jusqu'au marché. A peu près une dizaine d'autres avancent dans les phases cliniques, avec des délais pouvant aller jusqu'à une quinzaine d'années entre la découverte initiale et l'entrée en développement, délai peu compatible avec une exploitation industriellement rentable.

A ce niveau de connaissances, on peut s'interroger sur la méthode de travail. Il est clair que les molécules sont là et lorsque l'on a pu en faire la preuve, elles sont utiles mais c'est trop long, trop coûteux pour être exploité. Peut-on aller chercher ces molécules ailleurs ou en existe-t-il d'autres, susceptibles d'une exploitation plus rentable et plus durable ? Des travaux récents ont montré la richesse du génome brut des organismes marins (métagénomique) ; d'autres travaux, menés par Nereus Pharmaceuticals, montrent que l'approche « microbiologie marine » est capable d'amener rapidement en phase I un nouvel inhibiteur du protéasome, le salinosporamide. C'est dans cette direction, qu'à court terme, pourra être valorisé l'immense potentiel que renferme le monde marin pour la santé humaine.

La lutte physico-chimique contre les marées noires : 30 ans d'expérience sur les dispersants.

François Xavier MERLIN

*CEDRE - Responsable Recherche Développement
715 rue Alain Colas - CS 41836 – 29218 BREST Cedex 2*

Les différentes marées noires de ces trente dernières années ont montré la nécessité de disposer de techniques fiables dans la lutte antipollution, notamment de procédés physico-chimiques efficaces et non toxiques pour l'environnement. Cette règle s'applique particulièrement aux dispersants qui sont employés sur les pollutions par hydrocarbures en mer.

Les dispersants, mélanges de produits tensioactifs et de solvants, servent à disperser les nappes de pétrole au large, dans la colonne d'eau, pour éviter qu'elles n'atteignent la côte, généralement plus sensible que le large, du point de vue environnemental. Cette technique, plus facile d'emploi que la récupération mécanique, qui nécessite des moyens lourds et génère des déchets à traiter, se heurte à certaines limites, notamment les hydrocarbures lourds, vieillis et émulsionnés, qui restent réfractaires à la dispersion.

Les produits dispersants ont nettement évolué entre leur apparition au début des années 60 et aujourd'hui : de produits de 1^{ère} génération, efficaces mais très toxiques, nous en sommes maintenant aux produits de 3^{ème} génération (les dispersants « concentrés ») qui, alliant efficacité et faible toxicité, permettent de repousser les limites de la technique jusqu'aux hydrocarbures moyennement vieillis et émulsionnés.

Les équipements d'épandage ont également suivi une évolution parallèle, avec le développement de matériels non seulement prévus pour les navires, mais aussi les avions et les hélicoptères. Sur les équipements les plus performants, il est possible de moduler le dosage du dispersant pour s'adapter à la nature et aux quantités de polluant à traiter. Les procédures de traitement ont été développées, les avancées les plus récentes visent à pouvoir traiter les nappes de nuit avec un guidage infra-rouge....

D'un point de vue environnemental, la dispersion des hydrocarbures dans la masse d'eau favorise le contact entre le polluant et le milieu marin ce qui entraîne nécessairement une augmentation locale et temporaire de la toxicité du polluant. De ce fait, l'usage des dispersants n'est pas acceptable lorsque le milieu est particulièrement sensible, ou que le brassage d'eau ne permet pas la « dilution- dissémination » rapide du polluant dispersé.

On cerne maintenant beaucoup mieux le concept d'emploi des dispersants, pour définir où, quand et comment les utiliser avec comme objectif de réduire l'impact environnemental d'une pollution. Les plans d'intervention actuels intègrent « *l'analyse du bénéfice environnemental* » à travers la définition des zones géographiques où l'usage des dispersants est possible sans atteinte significative à l'environnement.

La chimie à l'assaut des biosalissures.

Françoise QUINIOU^a, Chantal COMPÈRE^b

^a DCN/BE/EX -Ifremer Brest - BP 70 - 29280 Plouzané

^b DCB/ERT/IC-Ifremer Brest - BP 70 - 29280 Plouzané

Les salissures marines (ou bio salissures) peuvent être définies comme l'accumulation de micro puis de macro organismes indésirables (végétaux et animaux) sur les surfaces de structures immergées en mer (ex. coques de bateau, bouées etc.).

La prolifération de micro-organismes marins sur la coque et les tuyauteries internes des navires est un problème majeur : ces croissances augmentent les frictions et donc la consommation de carburant et peuvent également accélérer la corrosion et la rupture des matériaux.

La lutte contre les bio salissures date de plus de 2000 ans, on utilisait alors des clous de cuivre ou des revêtements de goudron. Par la suite, différentes techniques de protection antisalissure ont été proposées (méthodes électrolytiques, chloration, ultrasons...), mais ce sont les peintures antisalissures, libérant une substance toxique à la surface des matériaux que l'on désire protéger, qui sont jusqu'à présent le moyen le plus économique pour la prévention des salissures.

A partir des années 1970 l'oxyde de cuivre, employé comme biocide dans les peintures « antifouling », a été remplacé par les organo étains (TBT et TPT) en raison de leur meilleur rapport efficacité/longévité/coût. Mais au début des années 1980 la mise en évidence, pour la première fois dans le bassin d'Arcachon, de l'impact néfaste du TBT pour l'environnement, a conduit la France à la mise en place d'une réglementation interdisant l'usage des peintures à base d'organo étains pour les bateaux de moins de 25 m de long (décret du 17 janvier 1981). Cette mesure a été reprise dans une directive européenne, puis par de nombreux pays, conduisant à la convention internationale de l'Organisation maritime internationale (OMI) sur le contrôle des produits antisalissures dangereux : interdiction d'application de revêtements au TBT sur tous les navires à compter du 1er janvier 2003, puis, au 1er janvier 2008, élimination des revêtements contenant du TBT actif des navires.

Ces réglementations ont induit une demande pressante de développements de procédés antisalissures alternatifs appropriés ayant un impact minimal sur l'environnement tels : les produits inhibant le développement du biofilm bactérien, première étape d'adhésion des salissures marines, et la recherche de voies nouvelles d'inhibition de la fixation des salissures marines en s'appuyant sur l'étude de mécanismes d'adhésion des biosalissures (action enzymatique...) et les molécules de protection naturelle des organismes marins (éponges, échinodermes...)

Mots Clés : bio salissure, organo étains, biofilm, toxicité, environnement.

L'Homme, la chimie et la mer : connaître la contamination pour la combattre

Louis Alexandre ROMAÑA^a et Michel MARCHAND^b

^a*Ifremer Centre de Toulon (Direction de la Programmation et de la Stratégie)
La Seyne sur Mer - BP 330 – 83507*

^b*Ifremer Centre de Nantes (Département Biogéochimie et Ecotoxicologie)*

L'activité humaine génère des déchets, parmi lesquels des substances chimiques issues de l'activité industrielle, agricole et urbaine. Que l'impact soit accidentel ou chronique, pour réduire, voire interdire, celles qui présentent un danger pour l'homme et/ou les écosystèmes, différents engagements européens et internationaux affichent une stratégie d'action « substances dangereuses ». Selon la convention, sont visées une cinquantaine de substances prioritaires (OSPAR), douze polluants organiques persistants (Stockholm), 33 substances prioritaires (DCE), 140 substances prioritaires (réglementation européenne sur les substances chimiques). Une nouvelle réglementation européenne sur les substances chimiques (REACH : enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions relatifs aux substances chimiques) a été adoptée en décembre 2006 et est entrée en vigueur le 1^{er} juin 2007. Les entreprises qui produisent ou importent plus d'une tonne d'une substance chimique par an devront l'enregistrer dans une base de données centrale gérée par la nouvelle agence européenne des produits chimiques. Elle vise à améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement, tout en préservant la compétitivité de l'industrie chimique de l'UE et sa capacité à innover.

Après une brève introduction sur les classes de contaminants, il sera abordé les principaux processus conduisant les contaminants vers la mer, leur dernier réceptacle. Une partie de ces substances, selon leur propriétés physicochimiques, seront retenues naturellement (estuaires, deltas, zones humides) ou artificiellement (barrages, stations d'épuration ...). D'autres parviendront au littoral, puis au large, certaines rejoignant les grands prédateurs à travers leur accumulation dans les chaînes trophiques.

On aborde ainsi le problème de l'évaluation des "risques chimiques" pour l'environnement et la santé. Dans ce cadre spécifique, la démarche conduit à comparer des concentrations dans le milieu – l'exposition - mesurée à travers la donnée (surveillance) ou le calcul (modélisation numérique) et à définir des concentrations à ne pas dépasser, fournies par l'écotoxicologie ou la toxicologie humaine.

Des exemples seront présentés sur la recherche française dans le domaine. En particulier, sur l'utilisation des moules comme capteurs de la contamination littorale (côtes françaises, côtes de la Méditerranée occidentale), l'état de la contamination des sédiments, la bioaccumulation chez les organismes marins et la modélisation numérique comme outil permettant d'aider à la compréhension de leur devenir et permettre une meilleure gestion des rejets. Un volet de l'exposé sera consacré aux déversements pétroliers accidentels.

Enfin, il sera abordé les nouveaux problèmes liés aux contaminants émergents, tels que les cosmétiques et produits d'origine vétérinaire ou pharmaceutique, avec des exemples obtenus sur différents points du littoral français.

Mots Clés : Milieu marin, estuaires, contamination chimique, biogéochimie, modélisation, bioaccumulation, substances émergentes.

Les grandes questions en sciences chimiques de l'environnement marin.

Paul TREGUER

*Institut Universitaire Européen de la Mer (CNRS, UBO, INSU), Brest-France
Réseau Européen d'Excellence EUR-OCEANS - Technopôle Brest-Iroise
29280 Plouzané*

En guise d'introduction l'auditeur est amené à réaliser l'importance de l'océan pour la planète Terre. Dans le système Terre, l'océan fait partie de l'hydrosphère. C'est à la fois un milieu physique soumis aux lois de la mécanique des fluides, un milieu chimique de salinité et de composition variable, un environnement géologique à l'interface avec l'activité de la lithosphère ; l'océan est enfin le support d'activités biologiques qui sont directement impactées par les changements climatiques et rétroagissent avec lui.

Sont ensuite développés quatre points montrant que les sciences chimiques de l'environnement marin sont au cœur des grandes questions qui se posent aujourd'hui à notre civilisation.

Premièrement, l'océan est-il le maître du climat de la planète Terre ? Le climat est directement en relation avec la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère. Or l'océan est capable de dissoudre (pompe physique) ou d'absorber (pompe biologique) de grandes quantités de CO₂ : il peut ainsi réguler notre climat. A différentes échelles de temps l'océan est aussi un répartiteur de l'énergie thermique de l'environnement superficiel de la Terre.

Deuxièmement, l'océan est-il perturbé par l'homme ? Comment répond-il aux perturbations anthropiques ? D'une part à l'échelle globale, depuis le début de l'ère industrielle l'océan absorbe de plus en plus de dioxyde de carbone, ce qui n'est pas sans effet sur la chimie de l'océan, pour le pH des eaux de surface et de fond, comme pour la formation de coquilles calcaires d'organismes marins. D'autre part à l'échelle locale l'homme a modifié la composition chimique des eaux littorales en y relâchant, à travers les activités économiques, de grandes quantités de nitrates, de phosphates, etc., ce qui a profondément modifié les équilibres biologiques de ces milieux (conférence d'Axel Romana).

Troisièmement, l'homme est-il le maître de l'océan en le manipulant pour diminuer l'effet de serre (mitigation du CO₂ atmosphérique). Est introduite la notion de modification de la pompe biologique de CO₂ en fertilisant l'océan en fer (intervention de Stéphane Blain, dans la session traitant du fonctionnement de la mer). Sont ensuite décrits les impacts prévisibles d'une injection directe de CO₂ anthropique dans les eaux profondes des océans.

Quatrièmement, l'océan est-il un réservoir inépuisable d'énergies fossiles ? Peut-on/doit-on les exploiter ? La découverte des gisements d'hydrates de méthane (CH₄, 5.7 H₂O), dont les stocks potentiels sont au moins 10 fois plus abondants que ceux de pétrole et de gaz, pourraient bouleverser les perspectives économiques au 21^{ème} siècle (plusieurs orateurs développeront ce point dans la session traitant des ressources de la mer).

Mots Clés : chimie de l'eau de mer, océanographie chimique, biogéochimie marine.

A consulter :

[http://www.univ-brest.fr/IUEM/PERSO/Paul%20Treguer/Paul-](http://www.univ-brest.fr/IUEM/PERSO/Paul%20Treguer/Paul-Treguer_english.swf)

[Treguer_english.swf](http://www.univ-brest.fr/IUEM/enseignement/documents/Cours_PT_UE1_SML_Grandes_Questions_SC)[http://www.univ-](http://www.univ-brest.fr/IUEM/enseignement/documents/Cours_PT_UE1_SML_Grandes_Questions_SC)

[brest.fr/IUEM/enseignement/documents/Cours_PT_UE1_SML_Grandes_Questions_SC](http://www.univ-brest.fr/IUEM/enseignement/documents/Cours_PT_UE1_SML_Grandes_Questions_SC)

[EM.pdf](http://www.univ-brest.fr/IUEM/enseignement/documents/Cours_PT_UE1_SML_Grandes_Questions_SC)

<http://www.eur-oceans.eu/>

<http://www.eur-oceans.info/EN/medias/films.php>