

LES OCÉANS : NOUVELLES FRONTIÈRES POUR LA BIOTECHNOLOGIE ?

Conclusion par Jean-Claude **PERNOLLET**, membres de l'Académie d'agriculture

Cette séance a permis d'ouvrir le voile sur des applications inédites, sources de progrès nouveaux dans les domaines industriels, pharmacologiques, médicaux et énergétiques, à partir de trois modèles marins différents : bactéries, microalgues et invertébrés.

Propos liminaire sur l'abondance de l'eau sur notre planète

Tout d'abord il convient de rappeler la place relative de l'eau sur notre planète : en dépit d'une connaissance intuitive de l'immensité des océans qui représentent 70% de la surface de la Terre, lorsque l'on compare le volume qu'ils occupent à celui de la terre ferme, ainsi que le représente la figure, ils apparaissent bien modestes. Mais avec une profondeur moyenne de plusieurs kilomètres (3,7 en moyenne), ils forment cependant l'un des plus grands volumes de la biosphère.

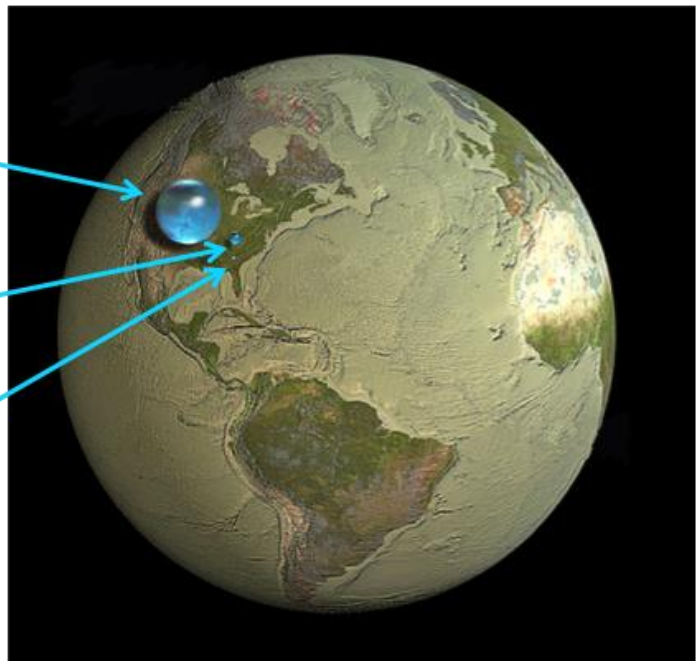
En raison de leur faible densité relative, ils ne représentent cependant que 0,2 % de la masse totale de l'ensemble. Quant à l'eau douce, notamment celle facilement disponible pour le développement de la vie terrestre, elle représente moins de 20 milliardièmes de la masse totale du

1,386 milliard de km³ d'H₂O
(0,023 % de la masse de la
Terre).

Eau douce totale : ~ 35 millions
de km³.

Eau douce aisément disponible
pour la vie terrestre :
~ 110 000 km³.

La vie terrestre regroupe un
peu plus de 1 100 km³ de cette
eau dite biologique.



globe, mais c'est un autre sujet que celui de cette séance.

La nécessité de préserver les bonnes conditions favorables au développement de la vie dans les océans ressort évidemment de ce constat : non seulement l'accumulation du CO₂ dans l'atmosphère contribue au réchauffement des océans et *ipso facto* les appauvrit en oxygène disponible pour la vie, mais encore elle en acidifie le pH, modifiant ainsi sévèrement l'environnement auquel faunes et flores marines doivent s'adapter rapidement.

Rappelons aussi que dans chaque litre d'eau de mer vivent entre 10 et 100 milliards d'organismes : animaux, protistes, bactéries et virus, qui composent le plancton océanique. Grâce à la photosynthèse, le phytoplancton produit environ la moitié de l'oxygène terrestre et consomme parallèlement la moitié du dioxyde de carbone. Il se trouve à la base de la chaîne alimentaire océanique, car il est capable de synthétiser la matière organique réutilisable par d'autres organismes, comme le zooplancton.

Les explorations du 21^{ème} siècle et la biodiversité de l'extrême

L'immensité des océans, qui comporte une biodiversité insoupçonnée jusqu'il y a peu, commence à livrer ses secrets grâce aux recherches systématiques qui sont entreprises depuis le début du siècle. C'est le cas notamment des expéditions de la goélette Tara qui fut l'objet d'un colloque de l'Académie d'agriculture en mars 2014 intitulé « [A la découverte des écosystèmes marins \(microorganismes - algues\) : génomes, biotechnologies, environnement](#) ». Ces expéditions révélèrent et continuent de révéler un nombre considérable d'espèces marines ignorées jusqu'alors. Grâce à la métagénomique, l'expédition Tara Oceans a découvert 40 millions de nouveaux gènes microbiens en étudiant 35 000 échantillons collectés dans les océans. Les informations issues de Tara Oceans représentent à elles seules 80 % des gènes marins désormais déposés en banques de données. Et plus de 80 % d'entre eux sont totalement inconnus.

La biodiversité marine s'avère être un vivier de ressources extraordinaire pour les biotechnologies grâce à l'accès à de nombreux êtres vivants, mono- ou pluricellulaires dont la composition moléculaire originale permet d'étendre les moyens dont les biotechnologues peuvent disposer. En particulier, les conditions écologiques singulières de certains organismes marins les ont conduit à optimiser leurs métabolismes dans des conditions de vie extrêmes en se dotant de molécules plus résistantes à des conditions de température et de pression considérablement plus rudes. Quand on réalise les incroyables adaptations de la vie à ces écosystèmes extrêmes, où les pressions atteignent 600 fois la pression atmosphérique et les températures 400°C, on s'attend à ce que les organismes qui prolifèrent dans ces environnements aient des adaptations moléculaires très intéressantes, avec des possibilités de transposition à des procédés industriels drastiques.

Ces molécules aux propriétés originales ouvrent des horizons nouveaux et présentent un attrait tout particulier pour les biotechnologues en ce sens qu'elles permettent des réactions enzymatiques dans des conditions plus favorables aux industries pharmaceutiques et agroalimentaires. De tels outils biotechnologiques se sont déjà avérés très précieux et ont parfois permis de faire des sauts technologiques majeurs.

Découverte d'outils biotechnologiques irremplaçables

Ce fut le cas de la PCR (*polymerized chain reaction* ou réaction en chaîne par polymérase) qui bouleversa la biologie moléculaire en permettant l'amplification (multiplication) de l'ADN au point

qu'une seule cellule est suffisante à l'étude du génome d'un organisme. Ses nombreuses applications pratiques s'illustrent jusque dans la police scientifique. Cette réaction en chaîne est fondée sur l'utilisation d'une enzyme, l'ADN polymérase provenant d'une bactérie thermophile *Thermus aquaticus* résistante à des températures très élevées, vivant à proximité des sources d'eaux chaudes (de 50 à 80°C) originellement dans une source du parc de Yellowstone. Cette enzyme peut fonctionner à des températures allant jusqu'à 95°C, permettant de multiplier très simplement les molécules d'ADN.

De telles découvertes, qui aboutissent à des utilisations simples et ubiquistes, bouleversent les biotechnologies, comme ce fut le cas il y a quelques années du système CRISPR Cas9, qui a permis non seulement une précision inédite, mais aussi une très grande facilité d'utilisation, une rapidité et une fiabilité inégalées et un coût dérisoire qui révolutionnent l'ingénierie génétique, comme le rappela récemment le colloque de l'Académie « [Les nouvelles biotechnologies pour l'agriculture et l'alimentation. Les innovations d'aujourd'hui, des réalités de demain](#) ».

Des potentiels insoupçonnables

Le milieu marin regorge donc potentiellement d'innombrables sources pour des applications biotechnologiques dont quelques échantillons nous ont été présentés lors de cette séance.

Le professeur Jebbar nous aura convaincus que les bactéries marines extrêmophiles, à l'instar de tous les organismes qui vivent dans des conditions extrêmes, offrent des modèles enzymatiques très intéressants pour de nombreuses applications industrielles. Ces bactéries et archées extrêmophiles révèlent des systèmes moléculaires qui repoussent fort loin les limites usuelles. Au delà de ce qui a été présenté, on s'attend à ce que les communautés microbiennes qui prolifèrent dans des environnements extrêmes nous livrent encore d'autres molécules qui permettront des réactions métaboliques nouvelles, aboutissant à des moyens extraordinairement puissants pour toutes formes de biotechnologies avec des applications originales.

Cependant, il n'y a pas que les molécules nouvelles qui portent le progrès. Des organismes, même vivants dans des conditions standards, sont à l'origine d'applications innovantes comme l'a montré le professeur PELTIER avec les microalgues. Ces organismes photosynthétiques unicellulaires captent et transforment l'énergie solaire, et fixent le CO₂ atmosphérique pour produire des chaînes carbonées en abondance. Ils présentent ainsi un fort potentiel pour la production de biocarburants en étant capables de produire soit de l'hydrogène pour les piles à combustible soit des hydrocarbures pour des moteurs thermiques, à condition toutefois de les domestiquer pour accroître leur productivité en molécules denses en énergie.

Enfin, Laurent MEIJER nous aura aussi fait découvrir les potentiels de la biodiversité marine avec les protéines produites par des invertébrés qui offrent des ressources biotechnologiques pour répondre à des besoins pharmacologiques, illustrant par de nombreux exemples, notamment des molécules qui interviennent dans la transduction des messages cellulaires, les protéines kinases, une démarche originale qu'il baptise «De la Mer à l'Apothicaire».

L'étendue des possibles du formidable domaine maritime français

Cette trop courte séance n'a fait qu'entrebaïller les possibilités offertes par la recherche océanographique et les développements des applications découlant des découvertes sur les organismes

marins qui offrent un impressionnant panel de propriétés originales aux retombées biotechnologiques encore inédites, que ce soit dans les domaines alimentaire, médical ou énergétique, sans oublier ce qui ne fut pas évoqué, faute de temps, la production de synthons et de produits biosourcés en vue de remplacer les produits de synthèses issus des réserves fossiles.

Les océans constituent de la sorte un immense réservoir encore sous-exploité quant à ses ressources biotechnologiques. La biodiversité des organismes marins révélée par les explorations modernes laisse entrevoir une formidable percée vers de nouvelles ressources encore inconnues. C'est dire que cette extraordinaire moisson de nouveautés soulève la question de son exploitation pour développer la recherche appliquée dans le domaine océanique, en bénéficiant notamment des moyens actuels de la génomique pour mettre en évidence des macromolécules nouvelles, notamment des protéines, aux propriétés intéressantes et originales, à condition toutefois d'y consacrer suffisamment de moyens.

Deuxième pays maritime au monde, la France est particulièrement concernée par la biodiversité marine. Elle dispose de la 2^{ème} zone économique marine au monde en terme de surface (11,035 millions de km²), juste derrière les États-Unis (11,351 millions de km²) et loin devant l'Australie (8,232 millions de km²). La France est présente dans les cinq océans et en mer Méditerranée et elle a en outre le premier domaine sous-marin du monde, ce qui lui confère une biodiversité marine extrêmement riche. C'est pourquoi la question de la place occupée par la France dans l'essor des biotechnologies marines ne peut être éludée. Elle mérite qu'un effort singulier lui soit consacré.

Pour conclure avec les relations entre biotechnologies et écologie

Pour terminer sur une note optimiste, il convient dans le cadre de cette séance de souligner que les biotechnologies, qui sont souvent battues en brèche par l'écologie politique et sont parfois l'objet de controverses virulentes par une fraction de la population particulièrement technophobe, s'avèrent en l'occurrence être un allié particulièrement solide de la préservation de la biodiversité marine, gage d'un potentiel d'innovation incommensurable et irremplaçable.