



S. JACQUET
INRA & LONGITUDE 181
Responsable
de rubrique

Cette rubrique donne la liberté de mettre en avant des personnalités, associations, fondations, instituts, ouvrages, etc.

Dans ce numéro, petit coup de projecteur sur « *Poulpe fiction* » ! L'ouvrage ainsi nommé d'Agnès Guillot et Jean-Arcady Meyer, paru en 2014 aux éditions Du-nod, n'est pas sans rappeler, avec humour, le titre du film « *Pulp fiction* » de Quentin Tarantino. Mais la comparaison s'arrête là car il s'agit en fait d'un livre dédié à l'inspiration que suscite ou crée le monde animal dans le domaine des technologies, en particulier de la robotique. Sa lecture m'a inspiré cet article.



La forme et l'odorat du homard intéressent la recherche, notamment dans le domaine de la robotique. © Jean-Yves Havaux.

▶ QUAND LES ANIMAUX MARINS INSPIRENT LES INGÉNIEURS

Les auteurs nous révèlent l'existence passée ou actuelle, parfois inaperçue ou peu médiatisée, depuis une décennie, et un peu plus parfois, de ces incroyables découvertes et réalisations technologiques, robotiques et bioniques inspirées des animaux. Je me suis dit que m'en faire l'écho était intéressant.

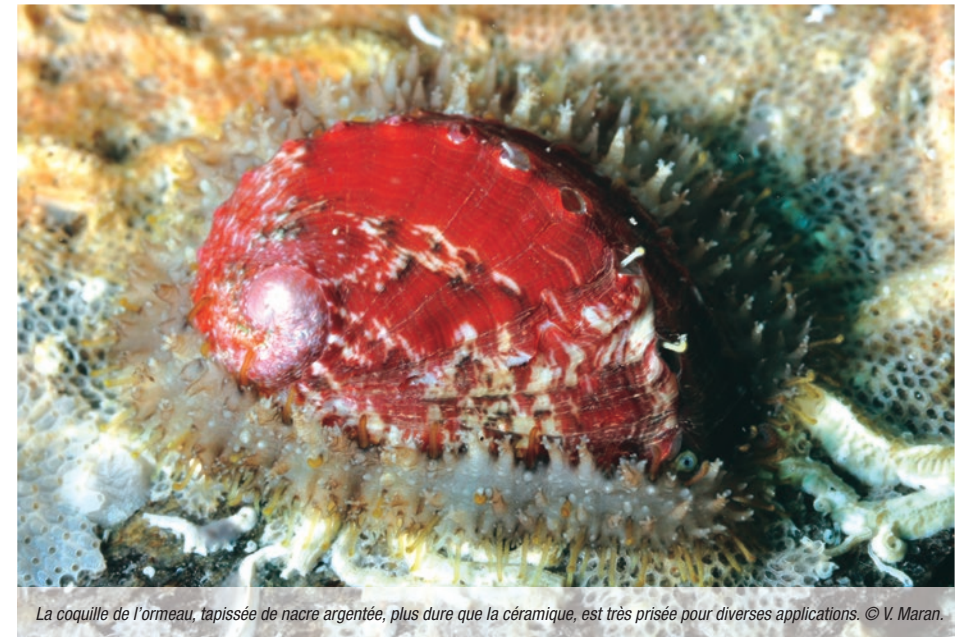
Si les lignes qui suivent se contentent de résumer ce qui relève du biomimétisme inspiré du monde aquatique, je tiens à dire ici que l'ouvrage regorge d'exemples issus du monde aérien, à commencer par tout ce qui touche au déplacement et à la locomotion (grâce aux moisissures, cafards, puces), à la chirurgie (grâce au fil de soie des araignées), à la vision, l'odorat et l'ouïe (grâce aux drosophiles, fourmis, bombyx, buprestes, grillons), au vol (grâce aux abeilles, libellules, mouches, oiseaux), à la climatisation (grâce aux termites,), à la protection (grâce encore aux araignées,), etc.

FORMIDABLES MOLLUSQUES

Ils sont une vraie source d'inspiration pour la technologie, à commencer par l'ormeau de Californie (*Haliotis furescens*) ! On a tous vu ces images de loutres en surface, cassant sur leur ventre avec des cailloux ces coquillages dont elles se délectent. Il faut dire que cette coquille tapissée de nacre argentée est plus dure que la céramique et qu'elle est donc très précieuse, notamment en joaillerie. L'ormeau a élaboré sa coquille et sa résistance depuis des millions

d'années, sous forme de nano-tuiles d'aragonite (e.g. du carbonate de calcium) mille fois plus fines qu'un cheveu humain ! Dans une couche, chaque tuile est un peu décalée par rapport à ses voisines et des milliers de strates successives sont déposées les unes sur les autres, associées par une protéine adhésive, la conchyoline. Elle maintient solidement les diverses couches entre elles sauf les tuiles d'une même couche qui ont ainsi la possibilité de glisser légèrement les unes par rapport aux autres en absorbant l'essentiel de l'énergie qui menace l'intégrité de la coquille. Cette grande résistance aux chocs a forcément donné envie pour diverses applications : des vêtements militaires, des revêtements dans le domaine de l'aéronautique...

Si l'ormeau inspire naturellement la fabrication de divers matériaux, il n'est pas le seul parmi les mollusques à coquille. Ainsi, la moule bleue (*Mytilus edulis*) est une source d'inspiration pour les fabricants d'adhésifs. Le bivalve détient en effet le secret de la colle qui durcit sous l'eau et qui est capable de résister à des pressions inouïes. Les filaments qui sortent de la coquille de l'animal appelés byssus, peuvent s'attacher à n'importe quel support dans l'eau salée (de la roche aux coques de bateaux) et ils intéressent particulièrement les chirurgiens, ophtalmologistes et autres dentistes. En fait, la fabrication de cette colle est une succession d'étapes faisant intervenir plusieurs protéines dont la synthèse a été parfois compliquée. Incorporées à du tofu (une pro-



La coquille de l'ormeau, tapissée de nacre argentée, plus dure que la céramique, est très précieuse pour diverses applications. © V. Maran.

téine de soja bon marché et en abondance) un chercheur de l'université de l'Oregon a su fabriquer un adhésif très compétitif comparativement à d'autres résines, fortement usitées mais aussi potentiellement irritantes voire cancérogènes pour l'Homme ! Dans l'ouvrage paru en 2014, il est écrit que ce produit n'est utilisé que pour coller du bois, rendant les contre-plaques beaucoup plus résistants à l'humidité ou même à des séjours prolongés dans une eau turbulente et portée à haute température. Depuis, peut-être un dérivé (synthétique) a-t-il été développé et utilisé dans le domaine médical ? J'en mettrai ma main au feu...

On ne présente plus l'intelligence du poulpe mais aussi sa capacité à ressentir angoisse, douleur et souffrance. Victor Hugo dans « *Les travailleurs de la mer* » (1866) n'écrivait-il pas (à quelques erreurs près) : « *La pieuvre n'a pas de masse musculaire, pas de cri menaçant, pas de cuirasse, pas de corne, pas de dard, pas de pince, pas de queue prenante ou contendante, pas d'ailerons tranchants, pas d'ailerons onglés, pas d'épines, pas d'épée, pas de décharge électrique, pas de virus, pas de venin, pas de griffes, pas de bec, pas de dents. La pieuvre est de toutes les bêtes la plus formidablement armée. Qu'est-ce donc que la pieuvre ? C'est la ventouse.* » Au-delà de la ventouse, des projets s'inspirent de la nage et de la marche du poulpe avec ses tentacules et sa capacité à se glisser un peu partout, dans le moindre interstice. Des avancées dans la conception de capteurs tactiles, intégrés dans des ventouses passives, et d'actionneurs flexibles sont en cours notamment dans le but de pouvoir réaliser des tâches sous-marines complexes. Mais pas que... L'animal et d'autres céphalopodes inspirent les chercheurs à développer des circuits inspirés du système nerveux de ces animaux capables *in fine* de coordonner des manipulations exécutées par 8 bras, de réaliser des apprentissages complexes, de mettre en place des stratégies de camouflage, etc.

CRUSTACÉ RENIFLEUR

Autre animal attachant et tout aussi incroyable, le homard dont la forme mais aussi l'odorat inspirent les chercheurs. La nuit, le crustacé décapode recherche sa nourriture (poissons et petits crustacés) et il se guide grâce à son « nez ». Il faut dire que l'animal serait capable de détecter quelques milligrammes d'acides aminés à plus de 50 m de distance ! Comment fait-il ? On parle de chemo-tropaxie. Dit autrement, l'animal compare la chimie alentour, plus exactement plusieurs concentrations chimiques dans son environnement proche en se déplaçant et en les captant sur des organes sensoriels ultra-sensibles situés sur ses antennes et sous ses pattes, et en bougeant sa tête de haut en bas. Il remonte ainsi de proche en proche jusqu'à la source odorante en remontant le courant vers la zone toujours la plus concentrée. En bougeant toujours sa tête de haut en bas, il se débarrasse au fur et à mesure de son déplacement des molécules captées précédemment. Les BICSAAR (*Biologically Inspired Chemical Sensing Aquatic Autonomous Robots*) essaient de reproduire cela, sans forcément avoir la forme et l'allure d'un homard d'ailleurs. Le Robo-Loster, quant à lui, a été conçu pour détecter des mines dans des ports ou le long des côtes, pour collecter des données scientifiques, ou encore repérer des pollutions en adoptant non seulement la forme du homard mais aussi en utilisant toute une batterie de capteurs acoustiques et olfactifs ainsi que de sonars qui le rendent complètement autonome.

POISSONS OSSEUX, RAIES ET REQUINS

Bien sûr l'hydrodynamisme des animaux marins avec leur forme en fuseau a fortement inspiré les chercheurs, à commencer par les ingénieurs fabricant bateaux, sous-marins, torpilles, etc. À partir de l'observation de la morphologie, de certaines caractéristiques et des différents types de nage des poissons et mammifères marins, de nombreux robots nageurs ont été conçus pour explorer les eaux



Le poulpe source d'inspirations diverses pour les chercheurs. © Gilles Di Raimondo.

profondes, aider l'industrie offshore, contrôler l'environnement ou faire de la surveillance tout court ! Et d'évoquer alors l'anguille électrique, les thons, les raies mantas, les requins, les lamproies, les poissons coffre, le poisson éléphant, etc. Les robots RAAMO (Robot Anguille Autonome en Milieu Opaque) puis ANGELS (*ANGuilliform robot with Electric Sens*) se sont ainsi inspirés de la nage anguilliforme (celle des anguilles, congres et autres murènes), UPF-2001, PoTuna, RoboTuna, VCUUV (Vorticity Control Unmanned Undersea Vehicle) ou encore GRACE (Gliding Robot ACE) ont tous été développés avec une capacité de nage rapide dite thunniforme, GRACE étant en plus capable de planer sans battement de queue. Ce dernier avait été utilisé en 2012 pour remonter la rivière Kalamazoo du Michigan afin de détecter le lieu précis d'un déversement de pétrole, et ce sur 200 kilomètres en totale autonomie. À noter que la queue puissante du thon a aussi inspiré l'industrie des hydroliennes comme la société australienne BioPower Systems qui a développé Biostream, une hydrolienne plus résistante que ses consœurs et pouvant être implantée dans de grandes profondeurs, là où les courants marins sont plus forts. Une dizaine de ces hydroliennes pourrait produire environ 100 mégawatts, sans danger pour les habitants des fonds marins.

La nage gracieuse dans les trois dimensions de la raie manta inspire les chercheurs en quête de diminution des besoins énergétiques des engins nageurs susnommés. L'animal peut planer, utiliser un hydrojet et modifier à loisir sa flottabilité. Le MantaBot, développé par plusieurs universités américaines, essaie de s'en inspirer mais est encore très loin de l'original. Quoi que !

Quand on voit les requins nager, on se dit qu'outre leur profil et leur puissante nageoire caudale, leur épiderme a aussi quelque chose de particulier. Et c'est effectivement le cas. Chez les squales, il est recouvert de placoides constituées du même matériau (dur) que les dents (d'où le nom de dentines ou denticules aussi utilisé parfois) et disposés en quinconce. Et ce que l'on sait à leur sujet est tout simplement remarquable. Ces placoides sont striés et chez de nombreuses espèces, les placoides de l'avant du corps ont des stries plus réduites en hauteur et en espacement que celles de l'arrière, ce qui diminue au maximum les turbulences de l'eau et permet une nage rapide.

Cette réduction de traînée hydrodynamique s'accompagne également de la diminution du bruit généré par le déplacement de l'eau, un vrai plus pour un prédateur qui se délecte de poissons. Ces placoides défendent aussi leur hôte, servent de capteurs de l'environnement, etc. À ce jour, c'est surtout la réduction des turbulences et donc des frottements que les chercheurs tentent de reproduire. Cela a été testé pour l'Airbus A340 et pour divers types de bateaux avec des revêtements ou des peintures composées d'aspérités, de nanoparticules imitant donc les placoides.



Les chercheurs tentent de reproduire l'épiderme des requins qui limite les turbulences dans l'eau et les frottements. © Fred Di Mèglio.



La nage gracieuse des raies mantas guide les actions des chercheurs. © Gilles Di Raimondo.



La nage anguilliforme a influencé la mise au point de robots. © Patrick Ragot.



La forme rectangulaire du poisson coffre plus aérodynamique qu'il n'y paraît ! © Henri Eskenazi.

Plus anecdotique, les combinaisons de nage FastSkin et LZR Racer, fabriquées par la compagnie Speedo et inspirées de la peau des requins, ont sûrement contribué aux records du nageur Michael Phelps il y a quelques années, avec leur capacité de réduire jusqu'à 25 % les frictions de la peau dans l'eau. Elles ont été interdites des compétitions depuis.

Le poisson coffre a inspiré, quant à lui, l'automobile. Pourtant, de prime abord, sa forme un peu rectangulaire ne semble pas jouer en sa faveur. Que nenni ! Cette forme serait en fait plus aérodynamique que les voitures actuelles avec d'excellents coefficients de pénétration dans l'air et Mercedes Benz s'en est largement inspiré pour l'un de ses modèles. Avec un Cx record de 0,19 ce qui en fait la voiture la plus aérodynamique de sa catégorie, un prototype long de 4,24 m et capable de transporter quatre passagers et leurs bagages a été imaginé. La consommation moyenne de ce prototype s'élève à 4,3 l/100 km, et peut descendre jusqu'à 2,8 l à 90 km/h. Soit une baisse de 20 % de la consommation et de 80 % des émissions d'oxyde d'azote (NOx) par rapport à une berline compacte équivalente.

Enfin, l'anguille électrique évoquée plus haut a inspiré également les concepteurs de batterie de téléphone portable ! En effet, les chercheurs se sont intéressés à comprendre comment ce poisson est capable de générer un courant pouvant dépasser les 500 Volts. Lorsqu'il détecte une proie, cela a pour effet d'ouvrir les canaux situés dans la membrane de cellules spécialisées appelées électrocytes, de sorte que les ions sodium contenus dans l'eau de mer et qui s'engouffrent dans ces cellules génèrent de l'électricité. Le système bio-inspiré consiste à créer deux cellules artificielles qui pourraient effectuer un transfert d'ions semblable générant une électricité de source biologique. Des micro-électrodes branchées sur ces cellules exploiteraient cette source d'énergie. Y a plus qu'à !

OISEAUX ET MAMMIFÈRES MARINS

La morphologie des manchots intéresse également l'industrie automobile et on comprend très vite pourquoi quand on voit nager ces oiseaux sous l'eau. Si gauches à terre, ils sont d'une incroyable dextérité une fois le miroir passé. On sait en effet que ces animaux nagent très vite en dépensant très peu d'énergie.

gie car la traînée d'eau susceptible de les freiner est réduite au maximum. Il en résulte d'ailleurs que s'ils étaient des véhicules, un seul litre de gazole leur suffirait à parcourir 1 500 kilomètres ! C'est en tout cas le pari du designer et concepteur chinois Peixin Lin qui prévoit la mise sur le marché en 2021 d'un tel véhicule, avec roues rétractables et volant escamotable qui lui permettra d'être utilisé comme voiture de sport ou moto.

La baleine à bosse, quant à elle, pourrait révolutionner le monde des fabricants de pacemaker (ce qui concerne au bas mot 50 millions d'Européens). En étant capable d'envoyer dans un gigantesque réseau d'artères l'équivalent de 6 baignoires de sang oxygéné, au rythme de 5 à 6 battements par minute, on comprend que le cétacé dispose d'une physiologie cardiaque exceptionnelle. Cette performance est notamment rendue possible par un réseau de nanofibrilles nerveuses entourant le cœur. Un premier essai pour appliquer à l'Homme une organisation de cette nature a été effectué avec succès par le passé sur un homme ayant bénéficié d'un nano-cablage en fibres de carbone autour du cœur. Ce réseau profite du courant généré par les cellules nerveuses. À terme, l'idée est de réduire voire éliminer les batteries équipant les patients.

Cette même baleine a aussi contribué à accentuer l'efficacité des pales de ventilateur et d'éoliennes, ainsi qu'à diminuer le bruit qu'elles génèrent. On parle ici des crans bordant les nageoires, permettant de créer de minuscules tourbillons, augmentant la portance de 8 %, réduisant la traînée de 30 %, augmentant l'angle d'attaque des nageoires de 40 % qui ont fait le succès de la société canadienne WhalePower dont les ventilateurs économisent déjà 20 % d'énergie.

Finissons cette liste non exhaustive par quelques clics : ceux émis par les dauphins qui ont inspiré le robot Rodolph (Robotic Dolphin), une technologie appliquée à l'imagerie médicale. Rodolph s'inspire en effet du mode d'écholocation par clics ultrasonores qu'utilisent ces animaux pour localiser une cible.

POUR CONCLURE

La Nature nous surprend encore et toujours. Elle nous inspire aussi, et pas que par sa beauté singulière et les surprises qu'elle réserve. Cela paraît incroyable de continuer à devoir le dire et l'écrire tant cela semble évident. Et pourtant... ■

EN SAVOIR PLUS :

- > www.youtube.com/watch?v=1-iyPHse8uk
- > www.neurotechnology.neu.edu/latmaneuvering.html
- > <http://dailygeekshow.com/robot-sepius-ingenieux-imité-mouvement-seiche-deplacement-eau/>
- > <http://biomimetis.me/2014/02/poisson coffre/>