

POULPE FICTION

Agnès Guillot
Jean-Arcady Meyer

POULPE FICTION

QUAND L'ANIMAL INSPIRE
L'INNOVATION

DUNOD

Illustration de couverture :
Edvige Faini © www.edvigefaini.com

Retrouvez sur dunod.com, sur la page de présentation de l'ouvrage :

- des liens vidéos,
- des photos en couleur,
- le sommaire détaillé de l'ouvrage.



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2014
ISBN 978-2-10-070627-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

BIOMIMÉTISME : QUAND LA SCIENCE IMITE LA NATURE

Avec sa cyber-main toute neuve, Gaïa ferma sa combinaison en fil d'araignée et ajusta d'un coup sec son casque-pivert. D'une fenêtre de son immeuble-termitière, elle inspecta les environs avec amusement. Plusieurs robots s'affairaient dans la cité : des insectoïdes pollinisaient les fleurs, des lézardoïdes nettoyaient les façades, des serpentoïdes inspectaient les égouts. Un humanoïde la salua en souriant. Les battements d'ailes discrets d'un essaim de drones-coléoptères lui firent lever les yeux : il devait y avoir un départ de feu quelque part, immédiatement relayé à terre par un escadron de cyborgs-fourmis. Son scooter pingouiniforme se gara devant sa porte, obéissant à sa commande mentale. Une belle journée allait commencer.

Futuriste, le quotidien de Gaïa ? Tous les éléments de cette tranche de vie existent depuis une décennie, sous forme de projets, de prototypes ou de produits déjà industrialisés. Quant aux modèles animaux qui les ont inspirés, certains peuplent la nature depuis des centaines de millions d'années ! Bien intégrées dans leurs niches écologiques terrestre, marine ou aérienne, les espèces animales ont développé des morphologies, des perceptions, des méthodes de locomotion et des stratégies comportementales qui offrent aux ingénieurs et chercheurs des modèles inépuisables susceptibles d'améliorer notre vie quotidienne.

L'approche qui consiste à s'inspirer des inventions de la nature – nommée biomimétisme ou bioinspiration⁽¹⁾ – n'est pas nouvelle. Dans un ouvrage

paru en 2008⁽²⁾, nous avons décrit à quelles réalisations cette idée avait pu conduire dans le passé, comment elle avait suscité l'émergence d'une discipline scientifique nouvelle – la bionique – et à quelles innovations spectaculaires cette discipline avait donné lieu depuis les années 1960. Trois grands domaines d'applications étaient ainsi concernés : la mise au point de matériaux ou de procédés imitant des morphologies ou processus naturels, la conception de robots ou d'artefacts capables de s'adapter par apprentissage ou évolution, l'hybridation du vivant et de l'artificiel en vue, notamment, de produire des prothèses utiles aux handicapés.

Ce nouvel ouvrage est destiné à compléter le précédent en actualisant et en présentant les développements les plus récents des recherches bioinspirées et des applications bioniques. Nous avons choisi de nous focaliser sur les modèles animaux, car c'est dans ce domaine que le plus grand nombre de nouveautés ont été récemment accumulées. Ils sont ici rassemblés par vastes catégories taxonomiques qui suivent très approximativement la chronologie évolutive : mollusques, crustacé, insectes, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères.

L'ouvrage débute cependant en présentant l'exemple d'un organisme ambigu, ni végétal, ni champignon, ni animal, car il est la source d'innovations étonnantes, notamment dans le domaine des télécommunications, et pourrait servir à produire des robots potentiellement indestructibles. Ce chapitre décrit aussi comment mollusques et crustacés, chahutés dans les turbulences marines, conduisent à la production de matériaux particulièrement résistants ou d'engins capables de détecter des mines côtières.

Les innovations inspirées des araignées et des insectes terrestres concernent, bien sûr, le fil de soie des arachnides, plus résistant et plus souple que l'acier, ainsi que la démonstration que la roue n'était peut-être pas l'invention la plus utile pour crapahuter dans la boue. D'autres applications originales, inspirées de la physiologie des insectes, sont également évoquées, telles que celles qui permettent de naviguer en terrain inconnu ou de détecter des feux de forêts.

Consacré aux insectes volants, le chapitre suivant présente les mini-drones, ces engins volants sans pilote, qui démontrent quels avantages apportent les ailes battantes par rapport aux ailes fixes des avions non biomimétiques. La mouche et le papillon apportent chacun leur

contribution, qu'il s'agisse de produire un œil bionique performant ou un écran d'e-book économe.

L'«intelligence en essaim», exhibée par les insectes sociaux, illustre le principe selon lequel on est plus fort à plusieurs que tout seul. Les termites nous apprennent comment climatiser les bâtiments du futur et les fourmis suggèrent que concevoir de nombreux robots limités est parfois plus efficace que de concevoir un seul robot très intelligent.

Divers animaux marins illustrent ensuite les différents avantages à adopter tel ou tel mode de nage. Un véhicule automobile terrestre bénéficie aussi des performances hydrodynamiques d'un poisson.

Le chapitre suivant traite de la capacité de certains véhicules à passer d'une locomotion aquatique à une locomotion terrestre, comme les amphibiens. Il est aussi suggéré que le nid d'une grenouille pourrait permettre de produire du biocarburant tout en captant le trop-plein de gaz carbonique – le Graal d'une production d'énergie vraiment durable. Les reptiles, quant à eux, fournissent des idées pour inspecter les tuyaux ou effectuer des sorties extravéhiculaires dans l'espace.

Outre les innovations qui peuvent émerger de la tête de certains oiseaux, c'est évidemment à leurs prouesses aériennes que les ingénieurs et chercheurs ont largement emprunté. Les pingouins et manchots, pourtant à l'allure gauche sur terre, deviennent un modèle exceptionnel pour les engins nageant, volant et roulant.

Vol battu ou vol plané, voilà l'alternative qui profitera au droneoiseau pour ne pas dépenser trop d'énergie. On constatera que l'Homme s'y est essayé à la force de ses muscles, avec un succès plus que limité.

Le huitième chapitre est consacré aux mammifères non humains, cétacés compris. Divers robots profitent des connaissances acquises sur la locomotion d'animaux tels que chiens, guépards ou singes. Les baleines et les dauphins contribuent, quant à eux, aux recherches médicales, à la production d'énergie renouvelable et aux télécommunications. Enfin, le rat, animal remarquable, s'avère être une source infinie d'innovations, notamment par ses capacités d'orientation dans des environnements inconnus.

On s'étonnera sans doute de l'incroyable prolifération des robots humanoïdes au cours des dernières années. Au-delà de certaines réalisations spectaculaires, comme des clones très réalistes, peut-être en conclura-t-on que cet engouement est davantage justifié par l'étendue des applications

auxquelles ces robots sont destinés que par leurs ptitudes actuelles en matière d'autonomie décisionnelle et énergétique. On constatera en effet les difficultés qu'éprouvent ces humanoïdes à adopter une marche naturelle ou à exhiber certaines activités qui nous paraissent, à nous humains, si évidentes à pratiquer. Quasiment tous les corps de métiers sont illustrés ici : surveillants, pompiers, spationautes, infirmiers, patients, assistants, cuisiniers, sportifs, acteurs, musiciens... Il apparaît qu'un marché considérable – labélisé sous le terme de « *silver economy* » – concerne en particulier les humanoïdes susceptibles d'aider ou de divertir les personnes âgées dépendantes, de plus en plus nombreuses dans tous les pays.

Et après ? Cet ouvrage se conclut par l'évocation des bénéfices que les recherches bioinspirées peuvent apporter au futur de l'Homme, que certains qualifient de bionique. À l'évidence, la mise au point de prothèses intelligentes, apprenant à se comporter comme le souhaite leur porteur, de même que des exosquelettes, de plus en plus sophistiqués, changent le sort des handicapés légers ou sévères. Un grand nombre de membres et d'organes sont déjà remplaçables chez l'Homme. Un humanoïde présenté récemment à Londres a apporté la preuve que 60 à 70 % d'un organisme humain est actuellement disponible à la vente. Cependant il manque à cette panoplie un chef d'orchestre, autrement dit un cerveau qui, pour l'heure, n'est pas encore remplaçable. Ce n'est pourtant pas faute de mettre cet organe à contribution, notamment au cours d'expériences d'interfaces cerveau-ordinateur durant lesquelles un tétraplégique, emmuré dans son corps, peut être capable de se nourrir ou d'écrire des textes en commandant le bras d'un robot par la pensée.

La conclusion jettera un regard critique sur les avancées indéniables qu'assure une approche bioinspirée mais aussi sur les inquiétudes que peuvent soulever les déferlantes robotiques et bioniques dans notre vie quotidienne, sans oublier le fol espoir d'immortalité qu'elles suscitent chez certains.

Il y a un demi-siècle, Vercors⁽³⁾ écrivait : « *Pour interroger, il faut être deux : celui qui interroge, celui qu'on interroge. Confondu avec la nature, l'animal ne peut interroger. [...] L'animal fait un avec la nature. L'homme fait deux* ». Questionner la nature serait donc la prérogative de notre espèce, ne nous en privons pas.

POULPE FICTION AND CO

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 contondante, 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.

Victor Hugo, *Les Travailleurs de la mer*, 1866.

Qui eut dit qu'un organisme primitif improbable, difficilement classable entre champignon et animal, pouvait révolutionner la régulation des trafics routiers ou participer à l'immortalité d'un robot?

Corps mous soumis aux prédateurs et ballottés par les turbulences marines, les mollusques offrent aux ingénieurs et chercheurs des procédés astucieux de protection et d'agilité. Ils inspirent l'aéronautique, la médecine et la robotique.

Quant au homard, ce crustacé est copié pour... la précision de son odorat!

Ni végétal, ni champignon, ni animal

Le labyrinthe de Physarum pour un voyageur de commerce

Physarum polycephalum est en quelque sorte un paria de la biologie : ni végétal, ni champignon, ni animal ! En période de disette, cette sorte de moisissure jaune forme une cellule unique par la fusion de plusieurs cellules et sa taille peut alors varier de quelques dizaines de microns à plusieurs mètres. Ses échanges avec l'environnement se font par un réseau très dense de tubules microscopiques remplis de cytoplasme. En se contractant, ce cytoplasme permet à cette limace amibienne de se déplacer.

Grâce à ses récepteurs chimiques présents dans sa membrane, *Physarum* capte l'odeur des bactéries – qui l'attire – ou une source de lumière – qu'elle fuit. Bien qu'elle soit totalement dépourvue de système nerveux, elle est capable d'adapter les pulsations de son cytoplasme à ce qu'elle perçoit dans son environnement et d'effectuer des trajets qui ont l'air « pensés ». Très récemment un chercheur japonais de l'université d'Hokkaido a en effet démontré que cette moisissure était parfaitement capable de trouver la sortie d'un labyrinthe. Si on la morcelle en 30 parcelles disposées aux quatre coins du dispositif, elle se rassemble en trouvant le chemin le plus court et en évitant de retourner dans les impasses, comme si elle possédait une mémoire ! En réalité, c'est par le dépôt d'une substance gluante que la cellule évite les chemins inutiles, alliant à la fois précision et économie d'énergie.

En imitant la façon dont elle explore son environnement au hasard puis affine son trajet tout en s'avérant peu énergivore, des collègues japonais spécialistes en modélisations mathématiques ont concocté *Physarum Solver*, un programme destiné à trouver un moyen de résoudre efficacement le problème dit « du voyageur de commerce ».

C'est en 1859 que William Rowan Hamilton a lancé ce jeu, dont l'énoncé est simple : « Un voyageur de commerce doit faire sa tournée en visitant une seule fois un nombre fini de villes avant de revenir à son point d'origine. Trouvez l'ordre de visite qui minimise la distance totale parcourue par le voyageur ». Lorsqu'on saura que, pour visiter 20 villes, le nombre de trajets possibles est égal à 60×10^{15} (un 6 suivi de 16 zéros !) et qu'il faudrait à un ordinateur un peu plus de 1 900 ans pour générer tous les chemins possibles et les comparer systématiquement un à un, on com-

prendra qu'il vaut mieux chercher des stratégies plus efficaces. Ce problème est donc éminemment complexe et bon nombre de programmes informatiques tentent de se surpasser les uns les autres depuis des décennies.

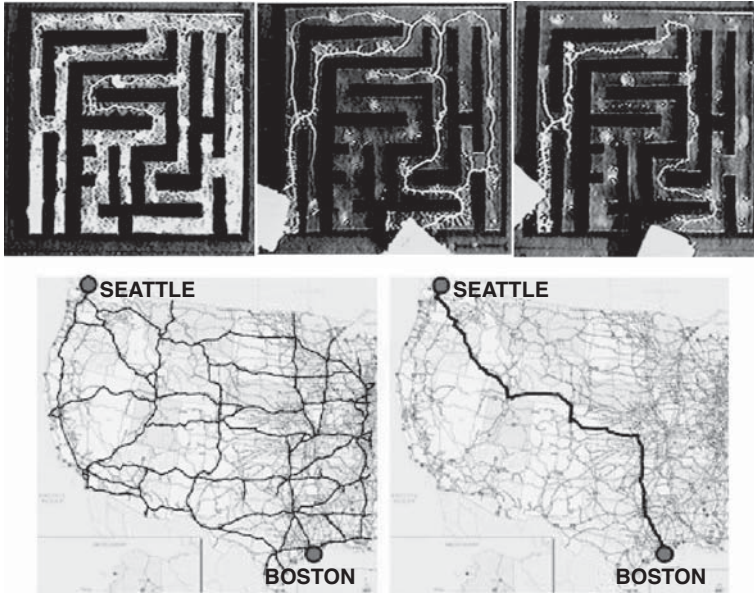


Figure 1.1. *Trouver le plus court chemin d'un point à un autre, c'est ce que peut réaliser la moisissure Physarum dans un labyrinthe (en haut) et qui permet de calculer efficacement le plus court trajet entre deux villes des États-Unis (en bas) (© Toshiyuki Nakagaki. Research Institute for Electronic Science. Hokkaido University). [voir cahier couleur]*

Les problèmes de labyrinthe et de voyageur de commerce résolus par la... chose bizarre évoquée plus haut ont tout d'abord suscité l'ironie du jury de l'Ig Nobel Prize (le prix des découvertes improbables), puisqu'il a décerné ce prix en 2008 et en 2010 aux chercheurs responsables, notamment au professeur Kobayashi, coordinateur des recherches. Nullement vexé, celui-ci a poursuivi ses investigations avec une motivation exacerbée. Depuis, les sarcasmes se sont transformés en rictus, car le programme d'optimisation de trajet mis au point par son équipe est repris par des chercheurs du monde entier. Comparé à d'autres approches – en particulier à des méthodes plus anciennes qui, elles,

puisent leur inspiration dans l'observation des colonies de fourmis terrestres –, il est considéré comme le plus performant lorsque les données à traiter sont particulièrement volumineuses.

Les applications de ce type de programme dépassent de loin le problème de carburant d'un VRP. Elles concernent en effet des tâches très variées, comme la régulation du trafic routier et ferroviaire, l'acheminement des télécommunications intercontinentales, la façon dont les produits sont collectés dans un entrepôt ou un supermarché, la programmation d'une machine-outil qui perfore une carte électronique ou le séquençage du génome.

L'immortalité de Physarum pour un robot endurent

Cette même amibe improbable a trouvé une application encore plus étonnante, la conception de robots dont la durée de fonctionnement pourrait être infinie. En effet, Physarum est capable de s'autoréparer ; elle peut aussi survivre pendant plusieurs jours sans être alimentée ; elle peut également être maintenue longtemps à sec dans un état dormant et être réactivée par humidification. L'innovation a consisté à concevoir un robot qui puisse utiliser les pseudopodes de cette amibe en guise de système nerveux afin de bénéficier de ses capacités d'endurance.

Une équipe de chercheurs japonais et anglais a réussi cette gageure. Elle a consisté d'abord à semer quelques extraits de Physarum sur de l'agar – une substance gélatineuse souvent utilisée comme milieu de culture en microbiologie –, de façon à les faire croître pour qu'ils reconstituent une cellule unique formant une étoile à six branches. Cette étoile a été alors glissée dans Phibot, un robot à six pattes équipé de six détecteurs de lumière, chacun d'eux étant en contact avec l'une des branches de Physarum. Un circuit électronique a été développé de façon à ce qu'une source lumineuse, projetant un faisceau sur l'une des extrémités des branches, stimule la cellule et fasse osciller le cytoplasme contenu dans les tubules. L'ordre donné correspond au même mouvement d'évitement que réalise Physarum dans sa vie quotidienne, lorsqu'elle fuit la lumière. Cependant la versatilité de l'organisme donne encore de gros soucis à Phibot qui a beaucoup de mal à garder le contrôle de ses actions...

Au-delà du caractère apparemment anecdotique de cette implémentation, le défi consiste à réussir l'échange d'informations entre

artificiel et vivant, ce qui semble crucial pour le futur de la chirurgie réparatrice.



Figure 1.2. À gauche : une portion de *Physarum polycephalum* avec le réseau de tubules qui la traverse. À droite : Phibot, le robot hexapode contrôlé par la moisissure (© Soichiro Tsuda, Kobe University).

Pas si mous les mollusques

Dure, l'oreille-de-mer, pour l'aéronautique

Les coquilles sont constituées de matériaux convoités pour l'ingéniosité et la solidité de leur constitution. Le mollusque *Haliotis rufescens*, plus connu sous le nom d'ormeau rouge ou oreille-de-mer, vit près des côtes de Californie. L'intérieur de sa coquille est tapissé d'une nacre qui consolide son habitat et qui est produite en continu à des fins de développement ou de réparation. Ce matériau, plus dur que la céramique, est très prisé pour la confection de bijoux, ce qui entraînera irrémédiablement l'extinction de l'espèce. L'ormeau a acquis sa résistance au cours de l'évolution, en étant constamment agressé par son prédateur principal, la loutre, qui s'acharne à casser sa coquille en la frappant contre une pierre calée sur son ventre.

C'est à l'échelle du nanomètre (un milliardième de mètre) que les chercheurs ont analysé et élucidé les raisons de la résistance de cette coquille. L'animal élabore sa nacre en nano-tuiles d'aragonite (carbonate de calcium) mille fois plus fines qu'un cheveu humain. Ce matériau est élaboré avec de l'eau de mer, substrat qui favorise sa cristallisation. Dans une couche, chaque tuile est un peu décalée par rapport à ses voisines. Des milliers de strates successives sont déposées les unes sur

les autres, associées par une protéine adhésive, la conchyoline. Celle-ci maintient fermement 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. C'est cette dernière astuce qui confère la grande résistance aux chocs de ce matériau.

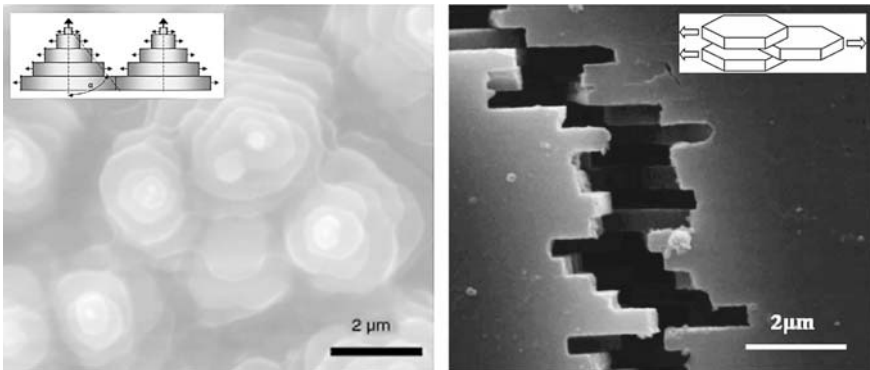


Figure I.3. *Microstructure de la nacre de l'ormeau.*

À gauche : Des tuiles hexagonales en aragonite sont empilées les unes au-dessus des autres et liées par une protéine adhésive, la conchyoline.

À droite : Ces tuiles peuvent glisser latéralement sous l'effet d'un choc

(© Marc Meyers, University of California, San Diego).

La fabrication de matériaux inspirés de la nacre d'ormeau a été tentée par plusieurs laboratoires, dont celui de l'université de Californie à San Diego. Ces laboratoires ont mis au point un composite métallique composé de couches superposées d'aluminium – remplaçant l'aragonite – et de titane – remplaçant la conchyoline. Afin de tester la dureté de ce produit, une tige en tungstène chauffée au rouge a été enfoncée à une vitesse de 900 mètres par seconde dans un échantillon de 2 centimètres d'épaisseur. La tige n'a pénétré que d'un petit centimètre...

Des applications extrêmement prometteuses de ces recherches sont envisagées, comme des vêtements militaires ou des revêtements dans le domaine de l'aéronautique, en remplacement de matériaux souvent moins résistants et fortement toxiques.

L'adhésif de la moule bleue pour réparer des lésions

Ce mollusque détient le secret de la colle qui durcit sous l'eau et qui peut résister à de fortes turbulences. Ce secret est presque entièrement décrypté.

Mytilus edulis, la moule bleue, produit cet adhésif assez tenace pour s'attacher par le byssus – ces filaments qui sortent de sa coquille – à n'importe quel support, et ce dans l'eau salée. Voilà qui intéresse énormément les chirurgiens, ophtalmologistes ou dentistes, qui pourraient réparer avec ce produit des lésions organiques dans un milieu vivant, aqueux et salé comme celui de la mer.

Des protéines variées, fabriquées par l'animal, interviennent dans la composition du produit. Une protéine prépare le support, une autre constitue la colle elle-même, d'autres forment le fil du byssus, une autre encore protège le fil contre la décomposition bactérienne. Des chercheurs suédois les avaient bien purifiées – 10 000 moules fournissant 1 gramme de produit – mais ils ont rencontré une grosse déconvenue: le produit était impossible à décoller des instruments permettant de l'extraire!

Un chercheur à l'université de l'Oregon a préféré aborder le problème sous un autre angle. Ayant déterminé que les propriétés collantes de la protéine du byssus sont dues à la grande quantité d'acides aminés présentant les mêmes groupements, il a eu l'idée d'incorporer ce type de molécules à du... tofu, cette protéine de soja en abondance et très bon marché aux États-Unis. Il a ainsi élaboré un adhésif très compétitif, comparé à d'autres résines qui, bien qu'étant très usitées, sont suspectées d'être irritantes et cancérogènes pour l'Homme. Pour l'instant, le matériau n'est adapté qu'à coller du bois, mais il rend les contreplaqués beaucoup plus résistants à l'humidité, et même à des séjours prolongés dans une eau qui peut être turbulente et portée à haute température.

Très récemment, l'équipe d'ingénierie biomédicale de l'université Northwestern a mis au point un adhésif synthétique comparable qui a déjà été appliqué avec succès à la réparation des ruptures prématurées des membranes qui entourent le fœtus et qui sont causes d'avortements spontanés. D'autres laboratoires développent des produits similaires et visent la réparation d'os ou de dents cassées.

La dextérité du poulpe pour des robots sous-marins

Le projet Octopus, réunissant plusieurs équipes européennes et rassemblant des roboticiens, des ingénieurs, des mathématiciens, des biologistes et des neurophysiologistes, vise à concevoir un robot sous-marin à la fois agile, flexible et rapide. Bien des projets, dont certains seront décrits plus loin, optent pour la morphologie hydrodynamique des poissons, mais ce projet cible un modèle totalement différent, en l'occurrence le poulpe⁽⁴⁾ et ses huit tentacules.

Ce choix est audacieux, car il a pour objectif de doter le robot de certaines des capacités remarquables de l'animal : changer de forme pour pouvoir se glisser dans des interstices, mouvoir ses tentacules n'importe où dans l'espace, manipuler des objets en coordonnant ses huit bras, pratiquer différentes sortes de locomotion. Concernant ce dernier point, il se trouve en effet qu'un poulpe nage parfaitement, mais qu'il peut aussi utiliser deux de ses tentacules pour « marcher » au fond de l'eau. Enfin, caractéristique non négligeable, cet animal est réputé pour son « intelligence » en termes de mémorisation, de déduction et d'apprentissage, ce qui est d'autant plus étonnant que son système nerveux est relativement simple. On a démontré qu'en observant simplement un opérateur, il est capable d'apprendre rapidement comment ouvrir un bocal dans lequel se trouve de la nourriture, même lorsqu'il s'agit de dévisser un bouchon.

En revanche, aucune étude scientifique n'est venue confirmer ses capacités de prédiction des scores de compétitions sportives !

Le projet Octopus vise des avancées dans la conception de capteurs tactiles – intégrés dans des ventouses passives – et d'actionneurs flexibles pour que les tentacules du robot puissent effectuer des tâches sous-marines complexes. Il ambitionne surtout de développer des programmes informatiques, inspirés des circuits nerveux du poulpe, qui seront non seulement capables de coordonner les manipulations exécutées par les huit bras mais aussi de réaliser des apprentissages aussi complexes que ceux que réalise leur modèle marin.

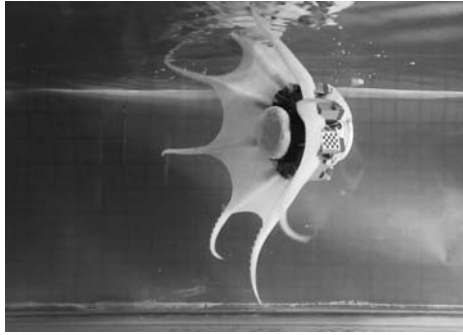


Figure I.4. *Le robot poulpe Octopus* (© Dimitris Tsakiris. Institute of Computer Science – FORTH⁽⁵⁾). [voir cahier couleur]

Un autre robot à tentacules, issu de l'université de Harvard aux États-Unis, vise les stratégies de camouflage du calamar. Subjugué par une vidéo de ce céphalopode changeant de couleur grâce aux chromatophores répartis dans sa peau⁽⁶⁾, un scientifique spécialiste des matériaux a équipé le revêtement du robot de fins canaux diffusant divers colorants à l'extérieur, en fonction des nuances environnementales. Il peut même scintiller comme une luciole s'il veut, au contraire, se faire remarquer...

Les céphalopodes pourraient-ils être aussi de futurs modèles pour des robots émotifs? D'après une directive européenne datée de janvier 2013, ces mollusques auraient des aptitudes «à ressentir angoisse, douleur et souffrance» et seraient donc inscrits sur la liste des animaux qu'il convient de protéger contre des expérimentations abusives. Il en serait de même pour le homard qui, d'après un chercheur à l'université Queen's de Belfast, ressentirait la douleur. Certains préconisent depuis d'endormir le crustacé avant de le plonger dans le bouillon, un point auquel les innovations suivantes ne font pas encore référence...

À l'affût dans les zones côtières

La tactique du homard pour détecter les mines

Le jour, le homard se cache dans les récifs et crevasses pour se protéger des fortes turbulences des régions côtières, ainsi que de ses principaux prédateurs tels que le labre, la morue, le poulpe, le crabe et l'homme.

Il sort donc la nuit pour trouver sa nourriture – petits crustacés et poissons – dans une obscurité parfois totale. Si curieux que cela puisse paraître, cet animal identifie ses proies à l'odeur. Sa sensibilité olfactive est fantastique : on estime qu'il pourrait détecter 33 mg d'acides aminés versés à l'autre extrémité d'une piscine olympique dans laquelle on aurait ajouté une centaine de tonnes de sel pour simuler la composition de l'eau de mer !

Pour détecter ses proies, il adopte un comportement curieux : tout en agitant périodiquement sa tête de haut en bas, il remonte le flux des quelques molécules que ses proies lointaines laissent échapper. La tâche est d'autant plus ardue que les turbulences de son milieu aquatique ne lui permettent pas de suivre le flux moyen des molécules. Il doit donc constamment se repositionner dans le courant odorant pour ne pas perdre la trace de sa proie. C'est par chemo-tropotaxie que le homard réalise ces prouesses, c'est-à-dire en faisant des comparaisons entre les concentrations chimiques détectées à différents endroits par les organes olfactifs situés sur ses antennes et sous ses pattes. En effectuant un mouvement brusque vers le haut, il emprisonne des molécules dans les poils de ses antennes. Le temps de comparer leur concentration à celle des molécules qu'il a captées avec ses pattes, il remonte le courant vers la zone la plus concentrée. Tout au long de son trajet, en baissant la tête lentement, il se débarrasse des molécules captées précédemment et peut reprendre ses coups de tête vers le haut.

Des scientifiques de l'université de Brooklyn ont développé le robot BICSAAR (*Biologically Inspired Chemical Sensing Aquatic Autonomous Robots*), dont la taille est celle d'un homard. Il ne copie pas exactement la morphologie de son modèle animal, mais il est équipé de deux antennes sur lesquelles se trouvent des capteurs qui détectent les molécules – non pas d'acides aminés, mais de fluorescéine, pour les besoins de l'expérience – avec les mêmes résolutions spatiale et temporelle que celles des récepteurs olfactifs du homard. Une grande antenne médiane balaye le sol et simule la fonction sensorielle des pattes du homard. Dans un premier temps, en utilisant les mouvements pendulaires de la tête décrits plus haut, ce robot n'a pas réussi à rejoindre la source olfactive. Les chercheurs sont donc retournés inspecter la stratégie du homard naturel et ont acquis la conviction