

# Les robots inspirés de la nature.

## Enjeux et perspectives



Par : Agnès GUILLOT et Jean-Arcady MEYER, chercheurs à l'ISIR.

Agnès Guillot est docteur en psychophysiologie et biomathématique.

Jean-Arcady Meyer est ingénieur et docteur ès sciences naturelles.



Ils ont fait carrière en robotique bioinspirée, respectivement à l'Université et au CNRS, et poursuivi leurs recherches notamment à l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique de l'université Pierre et Marie Curie.

## Sommaire

Les robots inspirés de la nature. ....	1
I. Pour explorer les mers, les airs, les terres : .....	2
A. Pour explorer les mers : .....	2
B. Pour explorer les airs : .....	2
C. Pour explorer les terres : .....	3
D. Pour explorer ensemble : .....	4
II. Pour comprendre l'autonomie du vivant : .....	4
III. Pour assister les humains : .....	5
IV. Pour réparer les humains : .....	7
V. Perspectives : .....	7

Le biomimétisme et la bioinspiration sont des secteurs de la recherche où l'on essaie de s'inspirer du vivant pour concevoir des machines.

Les travaux s'articulent selon deux directions :

- ✚ La recherche appliquée qui a pour but de proposer des concepts innovants aux ingénieurs.
- ✚ La recherche fondamentale pour augmenter nos connaissances sur le vivant.

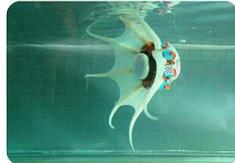
Quels sont les enjeux de la production de robots bioinspirés ?

## I. Pour explorer les mers, les airs, les terres :

On va se servir de modèles multiples selon les tâches à accomplir, mais choisir de préférence ces modèles dans le milieu marin pour des travaux sous-marins, parmi les oiseaux pour voler, etc.

### A. Pour explorer les mers :

*Octopus Poulpe (EU)*



*Angels Anguille (Ecole des Mines, FR)*



*Robolobster Homard (Boston, USA)*



*Mantabot Raie Manta (U. Virginia, USA)*

L'*Octopus Poulpe* peut explorer le fond des mers et peut manipuler des objets avec ses tentacules.

Le *Robolobster Homard* peut détecter des mines dans les zones côtières. Le homard dispose d'un odorat plus performant que celui des chiens, ce qui intéresse beaucoup les chercheurs.

L'*Angels Anguille* explore en eaux troubles avec visibilité nulle. Il est équipé de vertèbres qui peuvent se séparer ; lorsqu'une vertèbre détecte un objet, les autres se regroupent autour et permettent de définir la prise en effectuant une nage ondulante dite « anguilliforme ».

La *Mantabot Raie Manta* dispose d'une très grande manœuvrabilité ; si on la dote d'un hydrojet elle devient capable d'avoir des poussées très rapides. La rugosité de la peau des requins<sup>1</sup> est également étudiée, car elle leur permet d'atteindre de très grandes vitesses.

### B. Pour explorer les airs :

On s'est aperçu que les ailes battantes sont beaucoup plus économes en énergie que les ailes fixes utilisées par les avions.

Ces petits robots-drones, souvent de petite ou très petite taille, permettent des explorations très fines.



*Robabee Abeille (Harvard, USA)*



*Smartbird Goéland (Festo, DE)*



*Grasp Aigle (U. Pennsylvanie, USA)*



*Entomopter Papillon de nuit (Nasa, USA)*

<sup>1</sup> Pour le thon, c'est plutôt sa morphologie hydrodynamique qui est étudiée, mais les « robots-thons » ne sont pas très performants.

Le vol battu est aussi très intéressant pour des vols sur Mars. Si le robot était équipé d'ailes fixes, pour les mêmes usages, il faudrait qu'il atteigne une vitesse cinq fois supérieure à ce que l'on sait faire.

Le mieux adapté à ces situations, c'est le vol du papillon de nuit, comme l'*Entomopter Papillon de nuit*. Le vol de la libellule est aussi très performant.

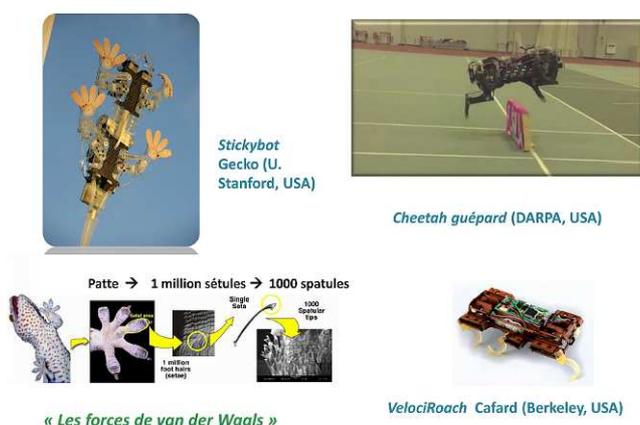
Si on souhaite transporter un peu plus de poids, il faut se tourner vers les oiseaux, comme :  
*Le Smartbird Goéland*, capable de se poser à un endroit très précis.

*Le Grasp Aigle* explore des monuments, des lignes électriques...

On s'inspire de l'aigle qui a la possibilité de saisir un objet au vol dans ses serres, ou de s'agripper à un perchoir.

### C. Pour explorer les terres :

On va équiper le robot de pattes.



Le *VelociRoach Cafard* : le cafard peut se déplacer de cinquante fois sa longueur par seconde. Ce petit robot est le plus rapide du monde relativement à sa taille, il se déplace de 4,9 mètre par seconde.

Si le poids à transporter est plus lourd, on utilise :

Le *Cheetah Guepard*, très stable même à la suite d'un choc latéral. Il saute les obstacles, mais dispose d'une faible autonomie énergétique (1 heure).

On s'est aussi demandé comment un insecte peut adhérer sur tout support (plafond, ou autre) sans utiliser de substance adhésive sous ses pattes, comme la mouche par exemple.

Le *Sickybot Gecko*, copié du Gecko, sorte de lézard, y parvient.

Le Gecko possède sous chacun de ses doigts des poils microscopiques, les sétules, au nombre d'un million. Chaque sétule comprend à son extrémité mille spatules qui s'accrochent au support grâce aux forces de Van der Waals<sup>2</sup>. Au niveau de chaque spatule, la force est très faible, mais multipliée des millions de fois, elle devient colossale.

Pour le Sickybot, il a fallu apprendre à « désadhérer » : c'est devenu possible en dérigidifiant les filaments (sétules).

<sup>2</sup> Forces électromagnétiques résiduelles faibles

## D. Pour explorer ensemble :

C'est « l'intelligence en essaim » des insectes sociaux.

Par exemple, pour traverser un fossé, certaines s'agrippent les unes aux autres afin que d'autres puissent traverser en passant sur ce « pont ».

Dans d'autres circonstances, des fourmis peuvent se mettre en groupe pour tirer de lourdes masses.

Ce concept a révolutionné la robotique en rendant les systèmes plus robustes. Si un seul robot effectue la tâche, celle-ci ne peut plus être réalisée s'il tombe en panne. Dans le cas de la « robotique en essaim », si quelques robots sont détruits, la tâche peut continuer.



Swarmbot Fourmis (EPFL, CH)



www.swarm-bots.org

## II. Pour comprendre l'autonomie du vivant :



L'orientation sans GPS du Rat

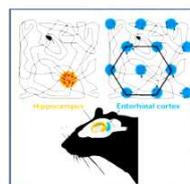


Psikharpax Rat (Paris ISIR, FR/EU)

Prix Nobel de Physiologie et de Médecine 2014

Cellules de

lieu (localisation) grille (distance)



cellules de direction de la tête (direction)



Toucher (vibrisses)

Système vestibulaire



Psikharpax (Paris ISIR,FR/EU)



Vision binoculaire



Cochlée artificielle

12

Sans GPS le rat sait s'orienter.

Le 6 octobre 2014 John O'Keefe reçoit le Prix Nobel de médecine avec May-Britt et Edvard Mosel pour « leurs découvertes sur les cellules qui constituent un système de géo-position dans le cerveau ». Leurs travaux ont permis de mieux comprendre le système d'orientation du rat.

Le rat dispose de neurones de localisation, et de neurones qui vont s'activer lorsqu'il se déplace et quadriller l'environnement. Cela lui permet de calculer des distances. Quelques autres neurones s'activent pour prendre en compte la position de la tête d'où le cerveau du rat déduit la direction qu'il suit.

L'ensemble de ces renseignements lui permet de construire l'environnement qui l'entoure, et si l'itinéraire qu'il pensait au départ emprunter est bouché, à partir des renseignements sur son environnement qu'il vient d'obtenir, il va pouvoir imaginer un autre trajet.

Le robot-rat *Psikharpax*, robot d'invention française conçu par Jean-Arcady Meyer, a été créé en copiant au mieux les circuits nerveux du rat qui lui permettent de construire une « carte mentale ». Le robot apprend tout seul son environnement.

Contrairement à d'autres robots, il possède plusieurs systèmes sensoriels. Sa vision binoculaire est inspirée de celle des mammifères. Il a des cochlées artificielles, parties de l'oreille interne où se trouve l'organe récepteur de l'audition. Il est même doté de moustaches (les vibrisses, capteurs tactiles), très utiles en milieu sombre.

### III. Pour assister les humains :

Les humanoïdes sont des robots à apparence humaine. On s'en sert pour assister les humains ; on les appelle « cobots » ou robots collaboratifs.

Travaux pénibles  
*Cui* (CN)



Travaux répétitifs  
*Baxter* (Rethink Robotics, USA)



Travaux dangereux  
*Octavia* (US Navy, USA)

Ces robots peuvent être utilisés pour des travaux pénibles comme les « Cui » (qui fabriquent des nouilles chinoises), pour des travaux répétitifs comme le Baxter (qui apprend par imitation les gestes d'un ouvrier), ou pour effectuer des travaux dangereux.

Ici, la forme humaine ne se justifie pas, ce qui n'est pas le cas dans le domaine médical.



Interaction avec les enfants autistes  
*Kaspar* (Hertfordshire, UK)



Chez le dentiste  
*Simroid* (Morita, JP)



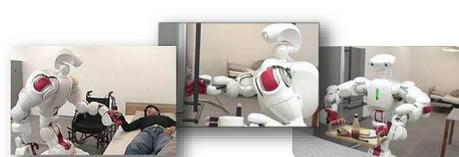
« Compagnon »  
*Zora* (Aldebaran, FR/JP)



Assistant  
*ASIMO* (Honda, JP)



A l'hôpital  
*SIMman*, *SimJunior*, *SimNewB*, *SimBaby* (Arizona, USA)



Aide à la personne  
*Twendy One* (Waseda, JP)

Ils peuvent jouer le rôle de patient ou de thérapeute :

Patients chez le dentiste pour que l'étudiant apprenne, en médecine pour étudier le pouls, simuler la douleur, en chirurgie...

Thérapeute avec des enfants autistes. Le robot peut sembler manifester des émotions, mais de manière très simple, ce qui ne perturbe pas l'autiste.

On parle aussi de « Silver Economy » lorsqu'ils assistent des personnes âgées pour les distraire, leur apporter des médicaments, ou les remplacer dans les gestes simples de la vie. Ils peuvent aussi transporter des personnes à mobilité réduite de leur lit au fauteuil, par exemple. On peut

cependant se demander si de tels projets sont viables (vu, par exemple, le peu de réserve énergétique de ces robots) ou souhaitables (est-il pertinent de mettre à l'écart toute assistance humaine ?).

Mais dans ces cas, l'aide apportée ne peut pas se faire sans respecter certaines règles implicites.

Un robot humanoïde ne doit jamais avoir la même taille que l'adulte, il ne doit pas toujours avoir visage humain ; il ne doit pas faire penser à un clone.



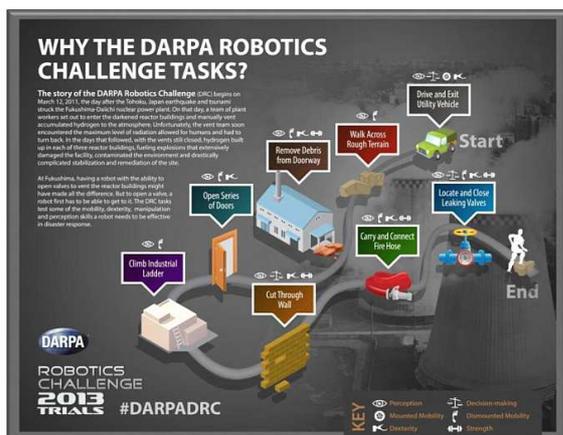
« Vallée de l'étrange » : si sur un axe on reproduit le degré de ressemblance du robot avec l'humain, et sur un autre axe, le degré d'acceptation par la personne aidée, on constate qu'au début, c'est de mieux en mieux, puis à un certain moment, c'est une chute brutale, et le robot n'est plus accepté.

On est arrivé à un début de compréhension de ce phénomène grâce à des recherches sur la résonance magnétique du cerveau ; celui-ci réagit de manière très différente quand le robot ressemble trop à un être humain.

Au vu de l'avancée des réalisations, des Etats se sont demandé si on pouvait imaginer des humanoïdes plus efficaces que l'homme, dans des conditions extrêmes, comme à Fukushima.

Un concours international a été lancé par le ministère de la défense américain :  
Le challenge Darpa Robotics 2013 - 2015

Il s'agissait de faire des recherches pour qu'un robot puisse intervenir dans une centrale en détresse. Les réalisations étaient notées à la suite d'un certain nombre d'épreuves : la conduite d'un véhicule, la marche sur un terrain accidenté, l'enlèvement de débris devant une porte, etc.



**Epreuves**

- Conduire un véhicule
- Marcher sur terrain accidenté
- Enlever débris devant porte
- Ouvrir plusieurs portes
- Escalader échelle
- Trou dans le mur
- Prendre et connecter lance incendie
- Localiser et fermer des vannes

Vingt-cinq équipes de recherche se sont retrouvées en finale : Allemagne, Hong Kong, Italie, Japon... (mais pas la France). Tous les robots proposés avaient une forme humanoïde.

L'équipe vainqueur est celle de la Corée du Sud !

On voit bien l'utilité, ici, des robots humanoïdes.

## IV. Pour réparer les humains :

Ici, on va s'inspirer des humains... pour réparer des humains.

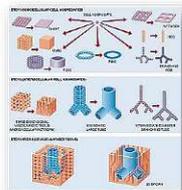
On attend beaucoup des nouvelles imprimantes en 3D, capables de reproduire des objets très rapidement, quasiment à l'identique, pour un coût très faible : une trachée personnalisée pour sauver un enfant coûte entre 300 et 400 \$.

Trachée personnalisée (U. Michigan, USA)



Imprimante 3D

Bras, main (USA)



Tissus vivants (Organovo, USA)



Organes dans un futur proche ?

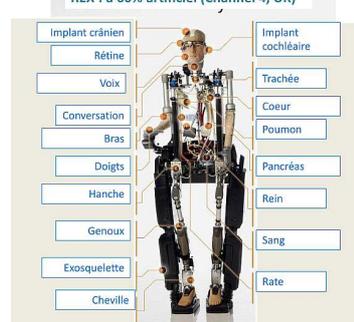
On va ainsi « fabriquer » des morceaux de trachée, des bras ou des mains, des parties de tissus vivants.

Pourra-t-on un jour « fabriquer » des organes humains par ce moyen ?

Actuellement, on en est capable dans environ 60% des cas.

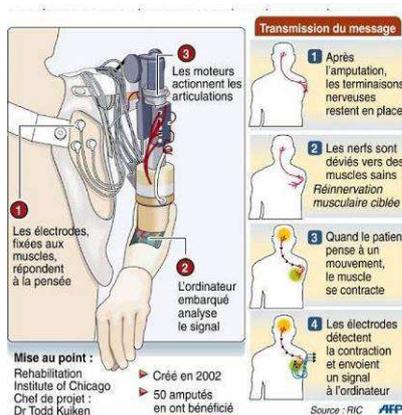
On sait faire des

REX : à 60% artificiel (Channel 4, UK)



prothèses « passives » et « intelligentes ».

Les 40% qui manquent concernent principalement les muscles et le cerveau.



Mais on peut déjà faire contrôler des muscles par le cerveau ?

Pour contrôler par exemple une main artificielle, on pouvait mettre des capteurs soit dans les pectoraux, soit dans le cerveau. Eh bien, on s'est aperçu que prendre des informations dans le cerveau cela fonctionne actuellement moins bien que dans les pectoraux.

## V. Perspectives :

Serons-nous un jour en route vers l'immortalité ?

En 2045, selon certains chercheurs, la puissance des ordinateurs dépasserait celle de tous les cerveaux humains.

En conséquence, l'Américain Ray Kurzweil (directeur de l'ingénierie chez Google) et le Russe Dimitri Itskov (milliardaire russe) ont imaginé le *transhumanisme*, et sont persuadés que les progrès iront selon un calendrier qu'ils ont défini :

2020 : avatar<sup>3</sup> robotique d'un corps humain.

2025 : un cerveau humain dans un avatar.

2035 : un cerveau artificiel dans un avatar.

2045 : transfert total dans un hologramme (sorte de personnage complètement fabriqué).

Au-delà de ses aspects futuristes très médiatiques, ce courant suscite des réactions négatives, souvent à juste titre...

<sup>3</sup> Avatar s'emploie au sens figuré de métamorphose, transformation d'un objet ou d'un individu.

Mais avant cela, et plus concrètement, il existe deux perspectives raisonnables et indispensables.

Il y a encore énormément de ressources, parmi toutes les espèces animales et végétales, à aller découvrir sur Terre ; on peut continuer à chercher.

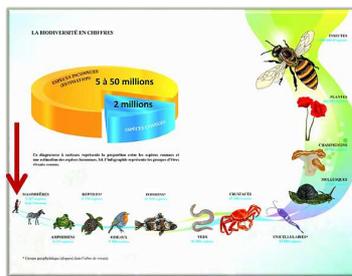
Plutôt que d'essayer d'imaginer ex-nihilo un robot qui remplirait certaines tâches, ce qui a souvent mené à des impasses, il y a beaucoup plus d'espoir de réussite dans la conception de robots inspirés des stratégies de la nature.

Pour concevoir tous les organismes vivants, la nature n'utilise que très peu de matériaux, lesquels matériaux sont presque toujours recyclables, alors que l'Homme en utilise des milliers, qui sont sources de déchets indestructibles.

Quelque chose d'irrégulier, de non parfait comme on peut trouver dans la nature, risque de mieux fonctionner qu'une forme « parfaite » imaginée par l'homme.

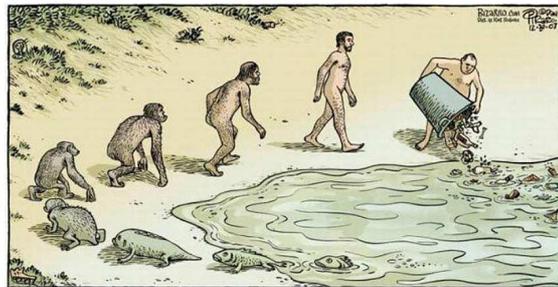
L'homme fabrique un robot pour accomplir une seule tâche ; c'est un robot « spécialisé ».  
La nature recherche la polyvalence.

« C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain n'écoute pas » Victor Hugo



Concevoir les robots avec les STRATEGIES de la nature

- Matériaux
- Formes
- Spécialisation
- Energie
- Recyclage



Retrouver l'inspiration des robots animaux **NON HUMAINS**

La nature utilise le soleil comme source d'énergie, pratiquement inépuisable, avec la photosynthèse; l'homme utilise l'électricité, avec ses problèmes de pannes d'autonomie

La nature est capable de recycler ; la « dépouille » d'un robot « mort » ne pourra être réutilisée.

