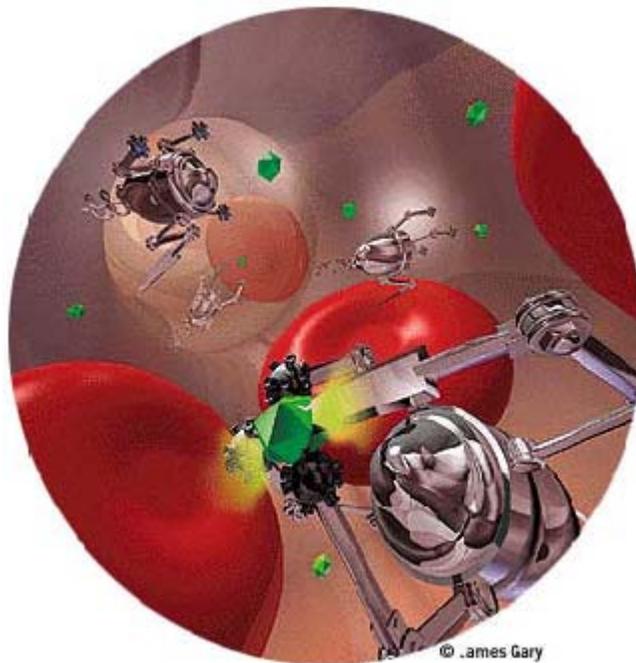


NANOROBOTIQUE



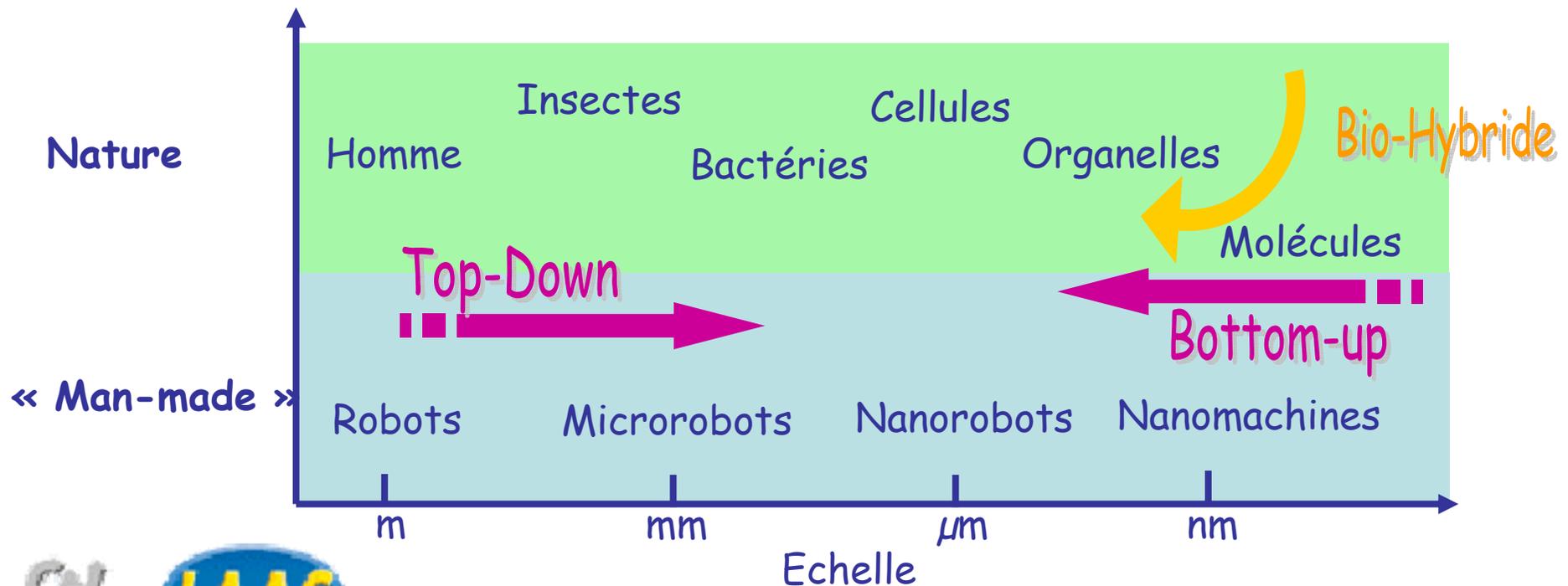
© James Gary

R. Alami
J. Cortès
D. Estève
A.M. Gué
M.O. Killijian
I. Queinnec
T. Siméon
C. Vieu

Quelques éléments de définition:

Un robot est un système ayant des capacités:

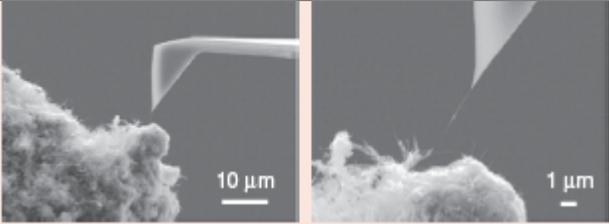
- à percevoir son environnement (capteurs)
- de raisonnement (« calcul »)
- à (inter)agir sur son environnement (actionneurs)
- éventuellement à se reconfigurer



Classification habituelle

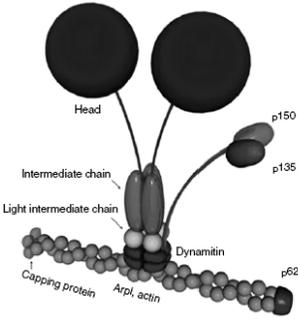
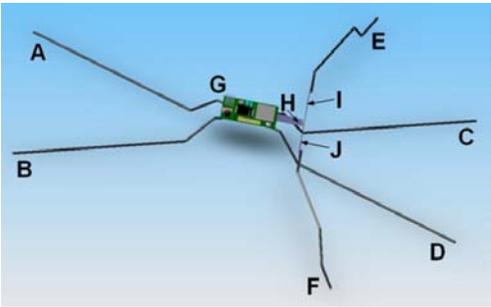
Micro-Nano Robot

Manipulation robotisée à l'échelle du nanomètre



IEE Rob. & Autom. Mag. 2007

Robots miniaturisés:
• Microsystèmes « silicium »
• Systèmes moléculaires

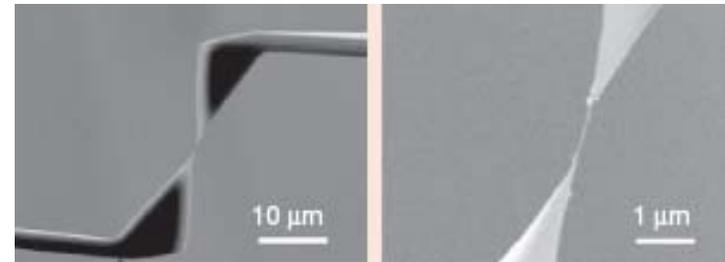


Nanorobotics Lab Carnegie Mellon

Manipulation robotisée à l'échelle du nm

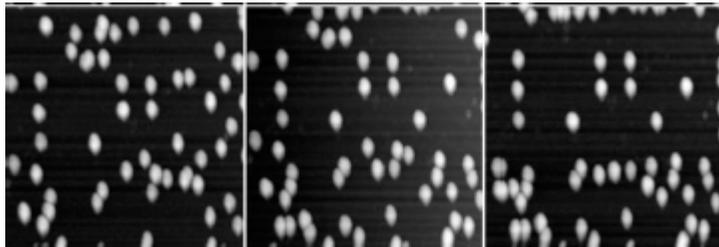
Les fonctions attendues ou visées sont:

- la manipulation (NTC est l'ex. le + étudié)
- la structuration (nanopatterning)
- la caractérisation
- l'assemblage

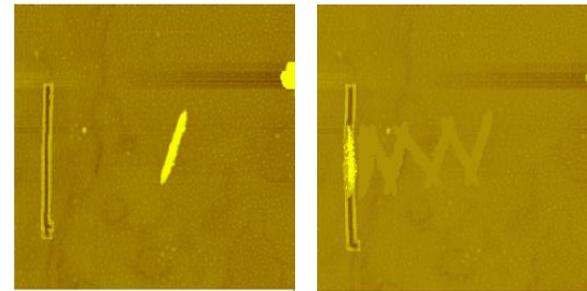


Manipulation de NTC
from L. Dong et al. IEE Rob. & Autom. Mag. 2007

... de nanobriques élémentaires pour la réalisation de NEMS



Etapes successives de construction d'un code ASCII
From A.A.G. Requicha, Proc. Of the IEEE 2003



Nanofils d'Ag insérés dans une nanotranchée en PC
From Robotics and Automation Lab. Michigan State Univ.

- Pointes AFM et réseaux de pointes AFM sont l'outil des prédilection
- Jusqu'à aujourd'hui, toujours contrôle « visuel » (SEM, optique)

Manipulation robotisée à l'échelle du nm



... des problématiques et points d'intérêt divers et diversifiées

- Physique de la « préhension »
- Modélisation des mécanismes de préhension
- Retour haptique (temps réel, multisensoriel)
- Réseaux de cantilevers
- Simulation virtuelle de la manipulation (retour haptique)
- commande et algorithmique de commande pour la parallélisation et la coordination des tâches

Micro Nano Robot

Un robot est un système ayant des capacités:

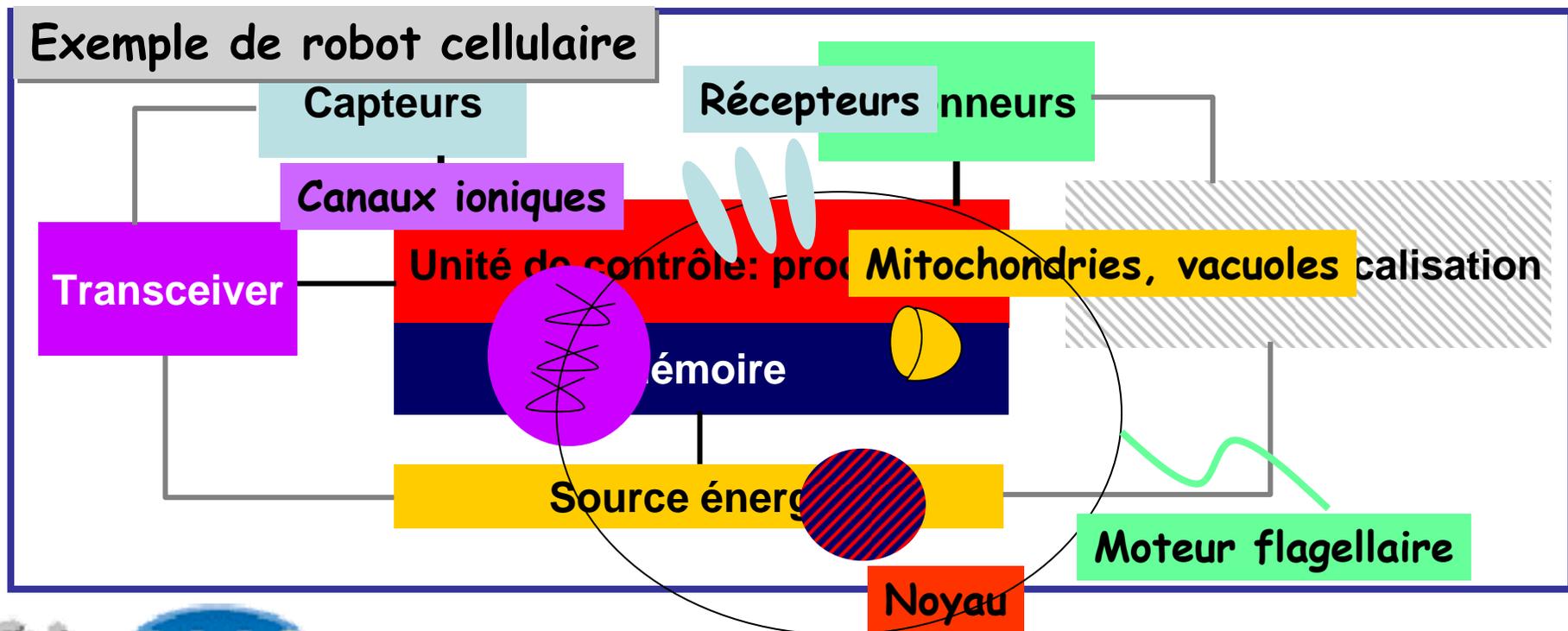
Un micro ou nanorobot doit posséder les mêmes caractéristiques que le macrorobot:

capteurs

« calcul »

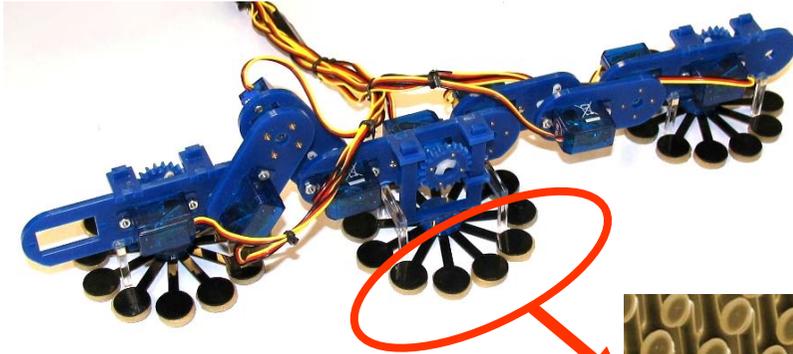
à se déplacer -> actionneurs

- éventuellement à se reconfigurer

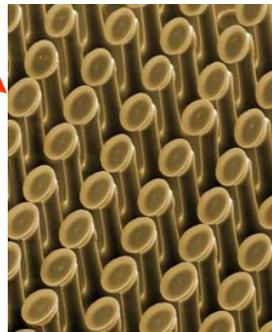
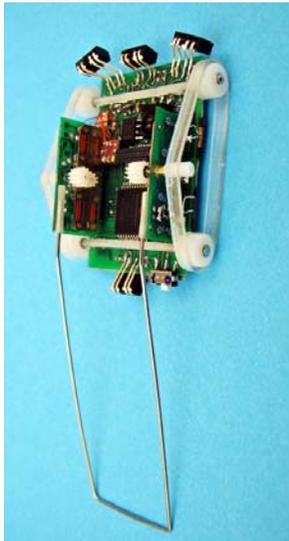


Robots miniaturisés

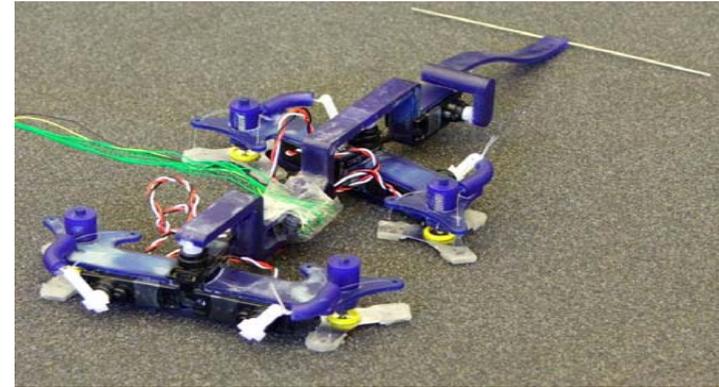
... sont un assemblage plus ou moins miniaturisé, plus ou moins intégré



Nanorobotics lab Carnegie Mellon



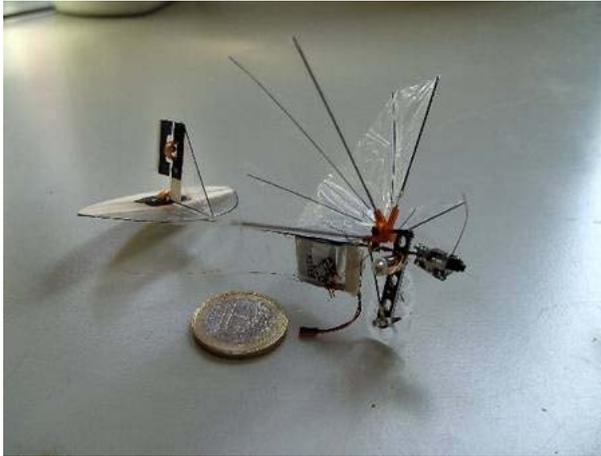
Gecko adhesive



Nanorobotics lab Carnegie Mellon

- Assemblage mécanique conventionnel
- Intelligence embarquée
- perception de l'environnement simple
- détection obstacle
- autonomie énergétique ou non
- modes de propulsion originaux
- solutions bio-inspirées

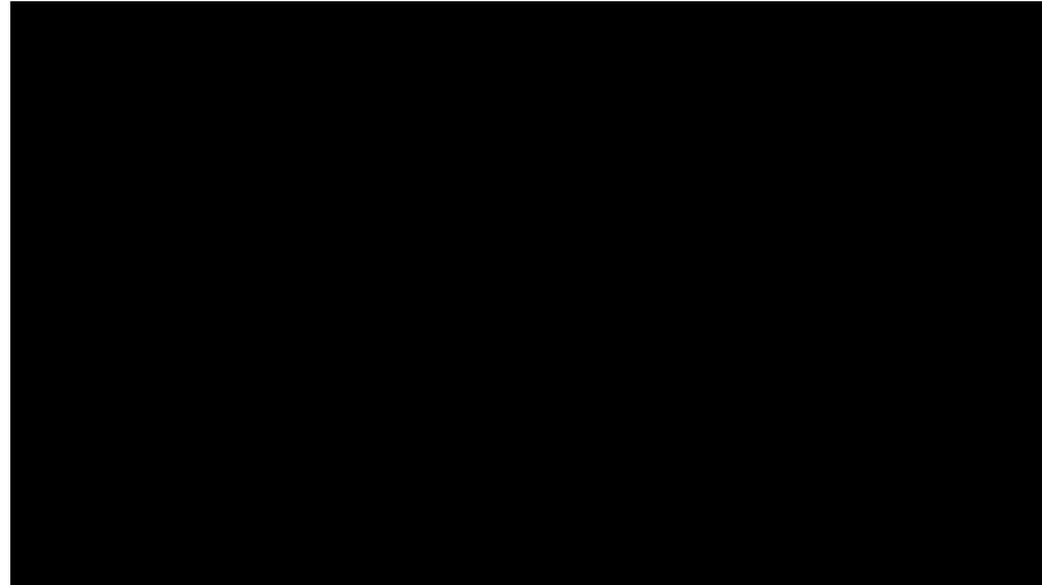
Robots miniaturisés: Microsystèmes « Si »



Delfly, Univ. De Delft



Therapeutic Capsule Endoscopes
Carnegie Mellon



Robots miniaturisés: Microsystèmes « Si »

Applications:

- Médical: pilule intelligente (diagnostic et thérapie)
- surveillance (s): militaire, environnement, procédés,
- Espace: exploration

Ce qu'on n'a pas trop vu:

- systèmes très miniaturisés
- systèmes très intégrés
- systèmes multi-robot
- systèmes coopératifs
- ...

Robots miniaturisés: Microsystèmes « Si »

Les problématiques MINAS:

- Utilisation de nouvelles physique: forces de capillarités, d'adhésion moléculaire...
- nouveaux concepts (qui peuvent être bio-inspirés): drone aile battante, vision « mouche », robots sauteurs, monteurs sur les murs etc ...
- Intégration de systèmes de perception: capteurs, caméras, systèmes de balayage, ...
- actionneurs pour la propulsion (le mouvement du robot): reptation, saut, flagelles artificielles etc ...
- retour haptique (peau artificielle)
- autonomie énergétique
- communication avec environnement ou de robot à robot
- intégration compacte des différents éléments

Robots miniaturisés: Microsystèmes « Si »

Les problématiques hors MINAS:

- Commande du mouvement de réseaux de MEMS (par ex. comment à partir d'une commande unique gérer des comportements ou fonctions différentes)
- algorithmique de commande
- Coopération entre robots
- Système reconfigurable
-

NanoRobots : Systèmes moléculaires et bionanorobots

Approche Top-down:

- miniaturisation extrême des microrobots Si → NEMS
- fabrication de structures mécaniques simples (à discuter)
- problème de l'assemblage

La Nanorobotique est vue essentiellement comme une approche bottom-up !

La Nano **BIO** robotique est la voie privilégiée !

Caractéristiques attendues des nanorobots (nanomachines)

- Chaque nanorobot porte les instructions nécessaires à la réalisation de la tâche
- Le nanorobot est construit par auto-organisation
- Un nanorobot est mobile: il doit être capable de se déplacer et de se trouver au bon endroit, au bon moment
- Les nanorobots communiquent entre eux: ils peuvent réaliser des tâches coopératives complexes
- Un nanorobot peut se répliquer: ceci doit permettre de créer de très grands nombres de nanorobots

Les applications attendues

Biomédicales

➔ Détection et élimination des éléments pathogènes (cellules cancéreuses par exemple): traitements non invasifs

Implants bio-hybrides: remplacement des organes, tissus, restauration du système nerveux central, ...

Administration de médicaments

Analyse et Diagnostic: diagnostic précoce

Ingénierie génétique: manipulation et modification de séquences moléculaires

Les applications attendues

Industrielles

➔ Fabrication et synthèse de nouveaux produits: contrôle répartis des conditions extérieures, nano-assemblage intelligent, ...

Contrôle de la qualité: équivalent à applications à la santé mais dans contexte différent du corps humain (détection agents pathogènes dans industrie alimentaire, détection agents biologiques dans l'eau, ...)

Militaires

➔ Déploiement de réseau de nanorobots: détection et contrôle d'agents hostiles

Equipements nanofonctionnalisés: auto-régulation de la température, détection blessure, maladie, etc ...

Les applications attendues

Environnement

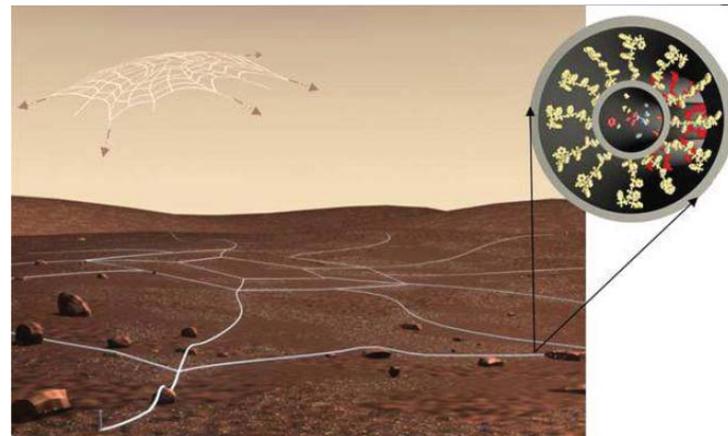
➔ **Biodégradation: détection et marquage des différents matériaux qui pourront ensuite être localisés et « processés par des nanoactionneurs**

Contrôle de la biodiversité: interaction avec les animaux (localisation et communication) et contrôle de leur présence

Contrôle de la pollution: détection, nanofiltration, ...

Spatial

➔ **Exploration**



Les défis de la nanorobotique

Les technologies de réalisation: bottom-up, bio-hybrides, ...

Les principes fonctionnels: de détection, d'actionnement et de propulsion, de communication, ...

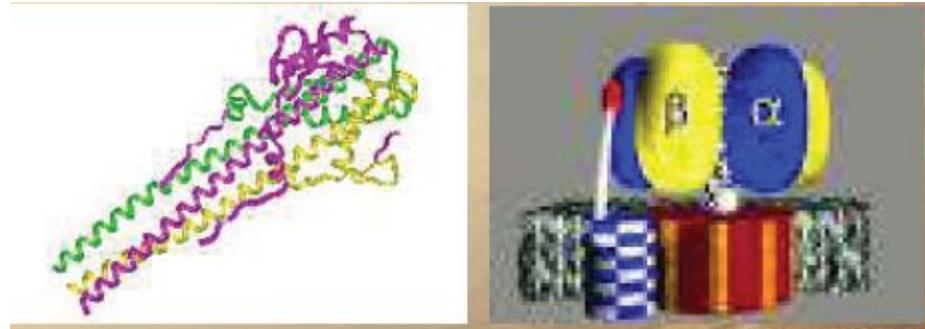
Les méthodes: comment contrôler (guider) les déplacements, provoquer, organiser la communication, coder les tâches à accomplir; ...

Les outils: algorithmique, modèles, simulation, ...

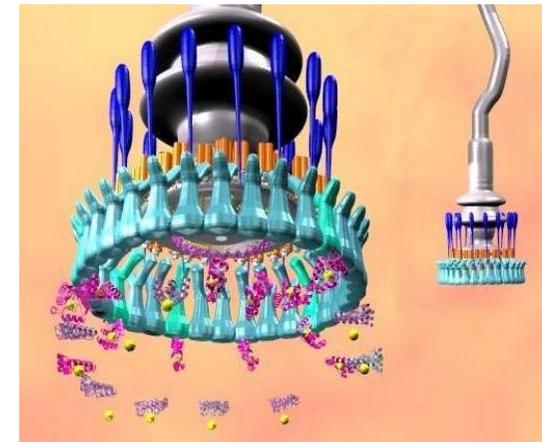
Les voies d'implémentation

LOCOMOTION

➔ Les moteurs moléculaires: ATP synthase (moteur rotatif),
Myosine (moteur linéaire)
Kinésine,
Dynéine,
...



Les moteurs flagellaires:



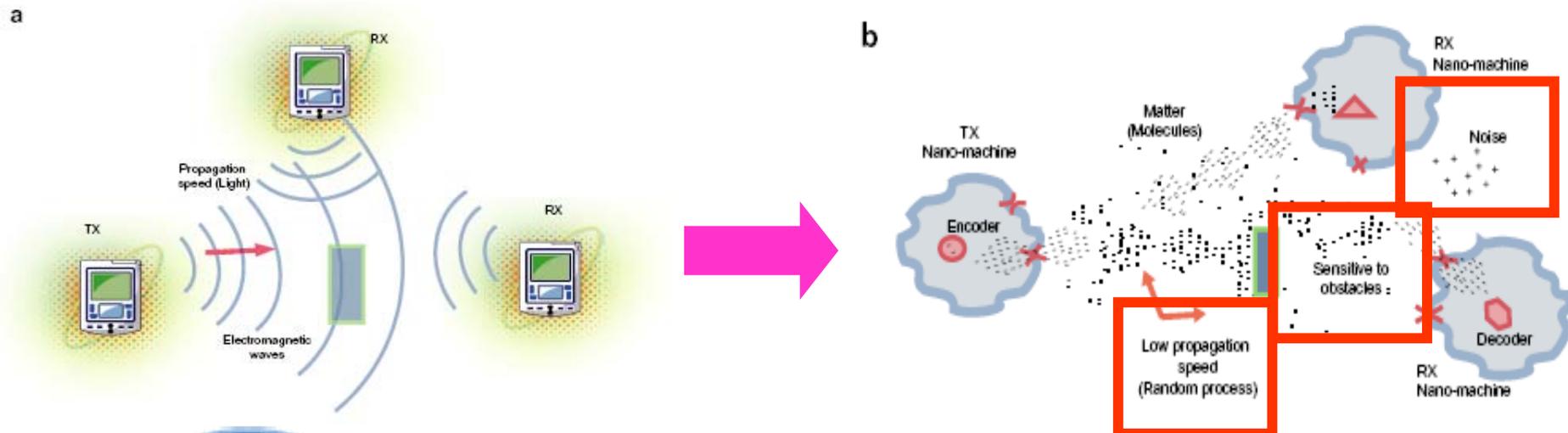
Les voies d'implémentation

COMMUNICATION

Le message est un message: moléculaire, électromagnétique, optique, acoustique, ... ?

➡ Communication avec environnement et le reste du système (électronique par ex)

➡ Communication avec les autres nanorobots:
TRAVAIL COOPERATIF

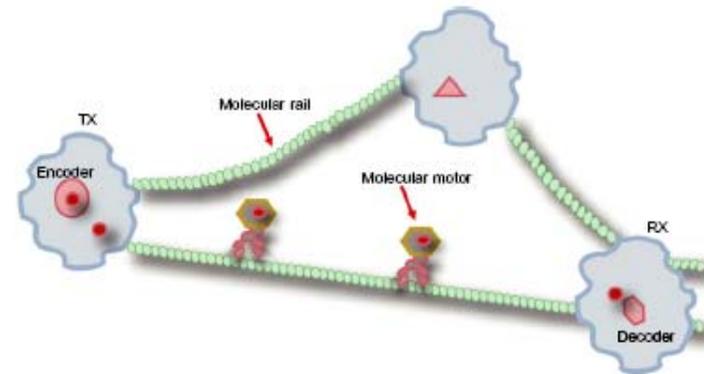


Les voies d'implémentation

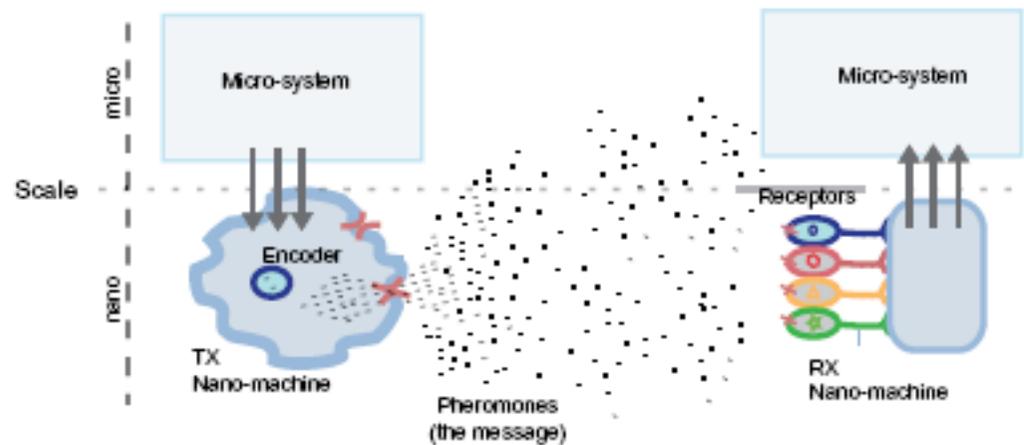
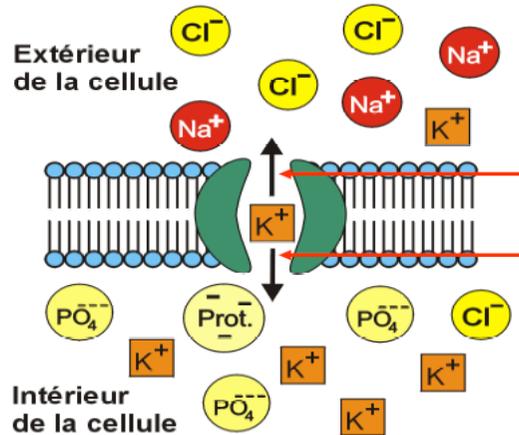
COMMUNICATION

Les moteurs moléculaires

Les canaux ioniques
(principalement Na^+ , K^+ , Ca^{2+})



Les phéromones

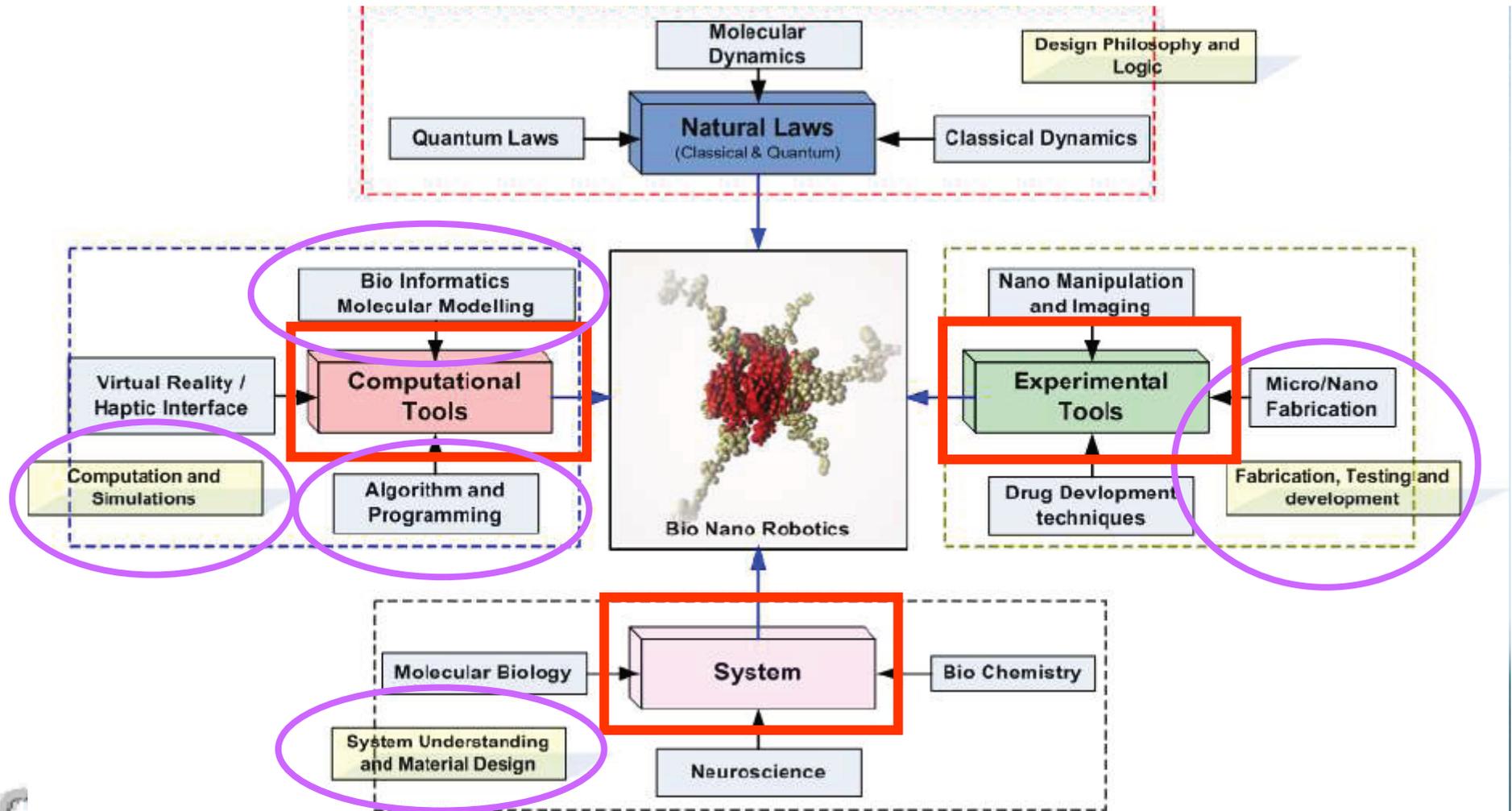


Les voies d'implémentation

Intelligence

Intelligence extérieure
Apprentissage ?
Nanorobots ou nanomachines ?
Tâches pré-codées

Les challenges pour la recherche: un champ réellement pluridisciplinaire



Les challenges pour la recherche

Conception et élaboration de Nanorobots

- Compréhension des mécanismes de fonctionnement et d'interaction
- Simulation moléculaire des mécanismes d'interaction en environnement variable
- Technologies d'élaboration: auto-assemblage, nano-imprint, assemblage dirigé, synthèses dirigées, synthèse en μ réacteurs, ...
- Mise en œuvre des principes de contrôle des actionnements (propulsion et sens de la propulsion): chemotaxie, magnétotaxie, optotaxie, ...
- Etude et compréhension des comportements
- Outils de commande: environnement (intelligent)

Les challenges pour la recherche



Modèles computationnels de nanorobots

- Point de vue théorique de la résilience
- Comment modéliser le comportement d'un NanoRobot ou d'un système de nanorobots
 - Est-il désignable ? Possède-t-il une identité, un identifiant ?
 - Est-il capable de communiquer ?
 - A ses voisins (multicast) ?
 - A un de ses pairs (unicast) ?
 - Quel est le coût en ressources de la communication ? (Ca+)
 - Peut-il reconstituer son stock de ressources ?
 - Peut-on diriger le nanorobot ?
 - Quelles sont ses capacités de sensing ?
 - Quelle est la population de nanorobots ? (hétérogénéité, échelle, etc ...)
- Quels sont les problèmes théoriques solvables avec un tel modèle ?
 - rendez-vous, isolation d'un élément, etc ...