

# Perception Avancée et Robotique Mobile

UPJV, Département EEA

Master 2 3EA, EC31

Parcours RoVA

**Fabio MORBIDI**

Laboratoire MIS

Équipe Perception Robotique

E-mail: [fabio.morbidi@u-picardie.fr](mailto:fabio.morbidi@u-picardie.fr)



Electronique

Energie Electrique

Automatique

CM, TD - Mardi 9h00-12h00, Jeudi 13h30-16h30, salle CURI 305

TP: Jeudi 13h30-16h30, salle TP204

AU 2022-2023



# Plan du cours

## Chapitre 1: Perception pour la robotique

1. Introduction
2. Classification des capteurs
3. Typologies de capteur

## Chapitre 2: Robotique mobile

1. Petit historique
2. Systèmes, locomotions, applications
3. Marché mondial et besoins technologiques
4. Effecteurs et actionneurs
5. Robots mobiles à jambes, à roues et robots aériens

# Ch. 2: Robotique Mobile

- Petit historique

**Partie 1**

- Applications, systèmes, locomotions

**Partie 2**

- Marché mondial et besoins technologiques

**Partie 3**

- Effecteurs et actionneurs

**Partie 4**

- Robots mobiles à jambes, à roues et aériens

**Partie 5**

# Bibliographie

- ***Introduction to Autonomous Mobile Robots***

R. Siegwart, I.R. Nourbakhsh, D. Scaramuzza, MIT press, 2<sup>e</sup> édition, 2011 [Ch. 1-3]

- ***Theory of Robot Control***

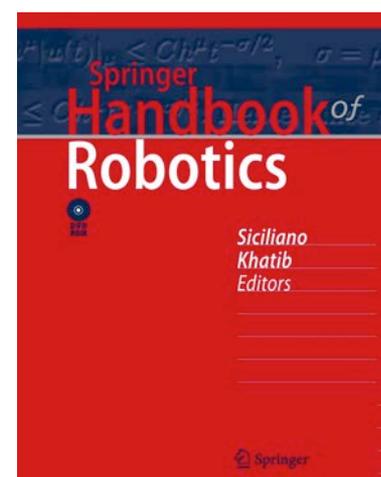
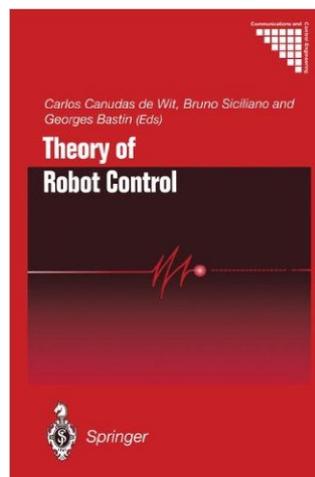
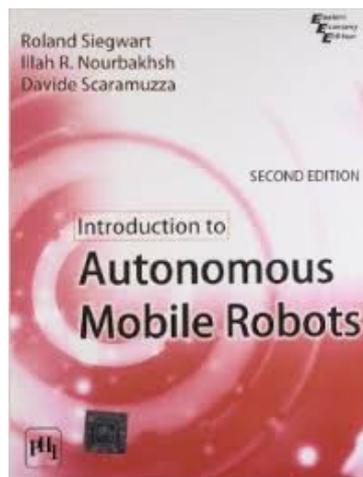
C. Canudas-de-Wit, B. Siciliano, G. Bastin (Éds.), Springer 1996 [Ch. 7]

- ***Handbook of Robotics***

B. Siciliano, O. Khatib (Éds.), 2<sup>e</sup> édition, Springer 2016

- Ch. 24, "Wheeled robots", W. Chung, K. Iagnemma

- Ch. 49, "Modeling and control of wheeled mobile robots", P. Morin, C. Sanson, R. Lenain





**VS**



## *Chaîne de montage*

Tâches répétitives

Prédictible

Contrôlable

(cf. cours M1 de  
"Robotique Industrielle")

## *Environnement naturel*

Dynamique, Incertain !

# Robot manipulateur vs robot mobile

- Robot manipulateur
  - Très implanté sur les lignes d'assemblage
  - Mouvements limités

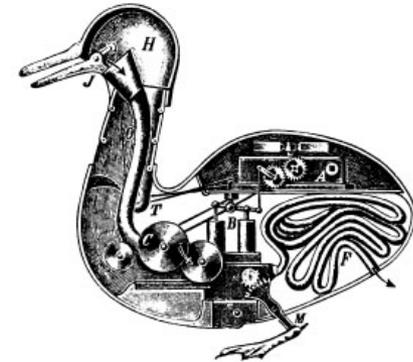
- A l'opposé: **robot mobile**
  - Problématiques de mobilité (déplacement en autonomie)
  - Mécanismes de locomotion complexes



# Premiers robots mobiles

- “*Canard*” de Jacques de Vaucanson (1739)

Canard articulé en cuivre capable de boire, manger, cancaner, battre des ailes et digérer comme un véritable animal



« Automate »

- “*Robot boat*” de Nikola Tesla (1898)

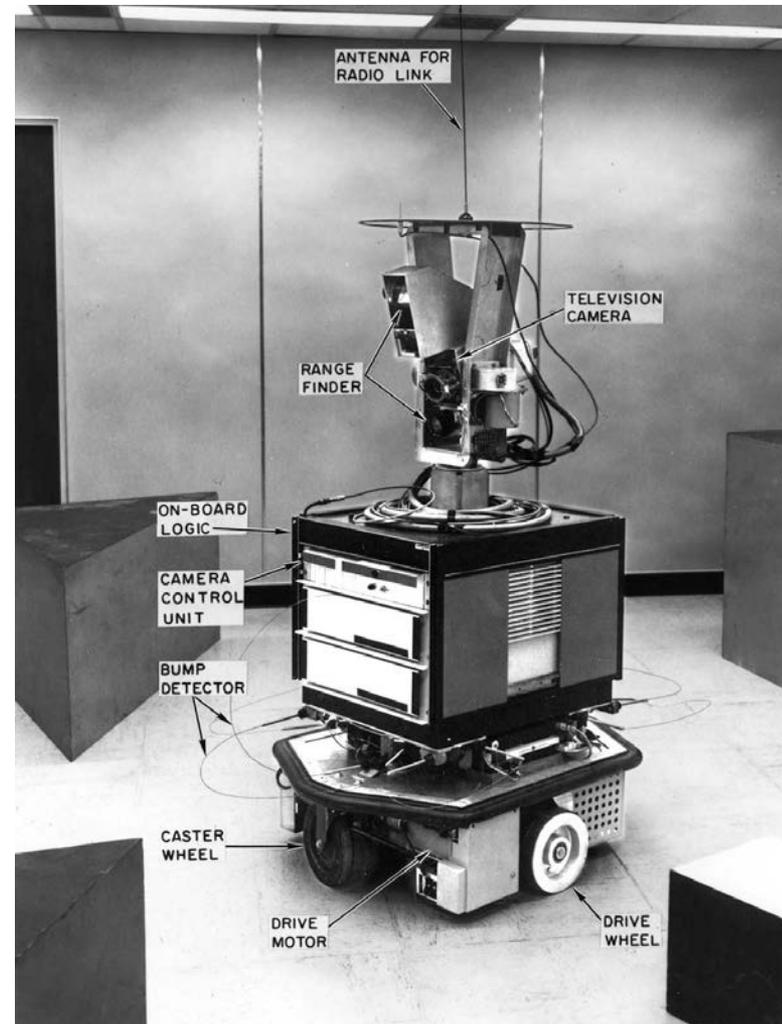
Navire télécommandé

Madison Square Garden, New York,  
Electrical Exhibition



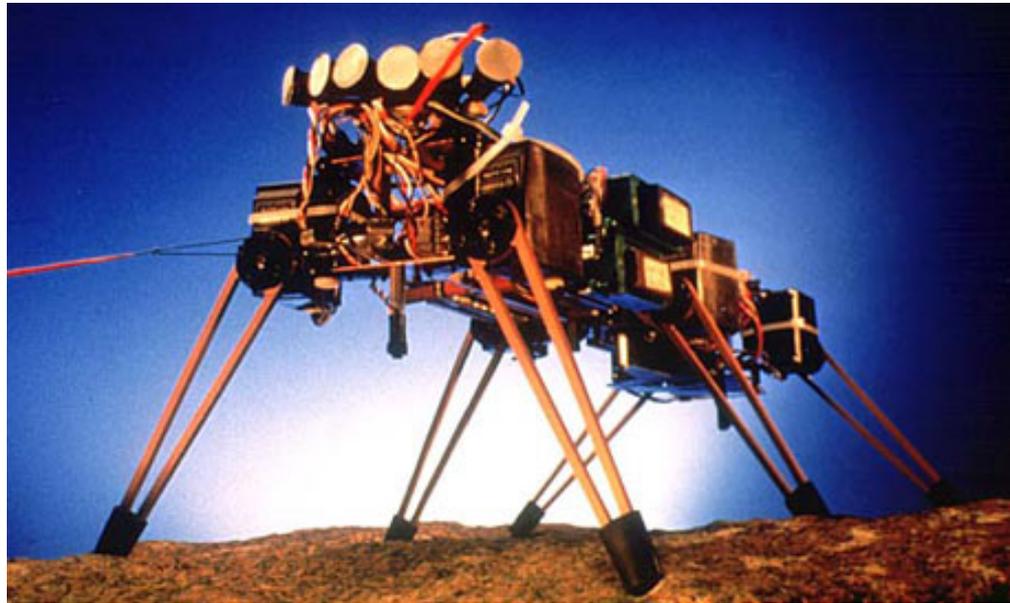
# « **Shakey** » Stanford Research Institute (1966)

- Premier robot mobile percevant son environnement
- Capteurs
  - Caméra
  - Télémètre
  - Contact (bumper)



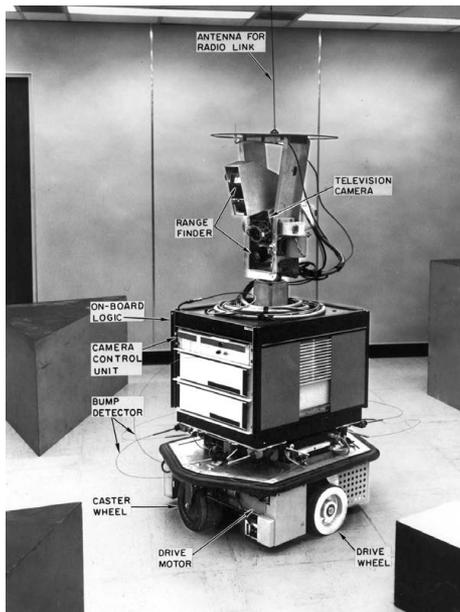
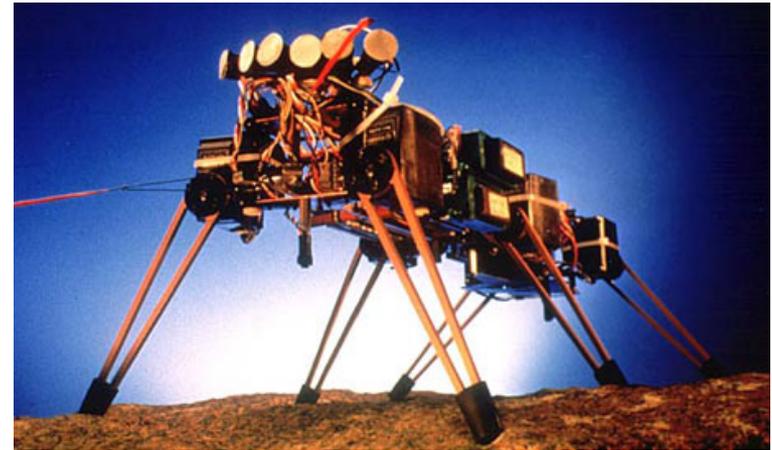
## « **Genghis** » MIT (1988)

- Six pattes
- Apprentissage autonome
  - Franchissement d'obstacles
  - Réaction de chaque jambe à l'environnement
    - Programme de contrôle très simple



Actuellement au *Smithsonian Air and Space Museum* (Washington DC)

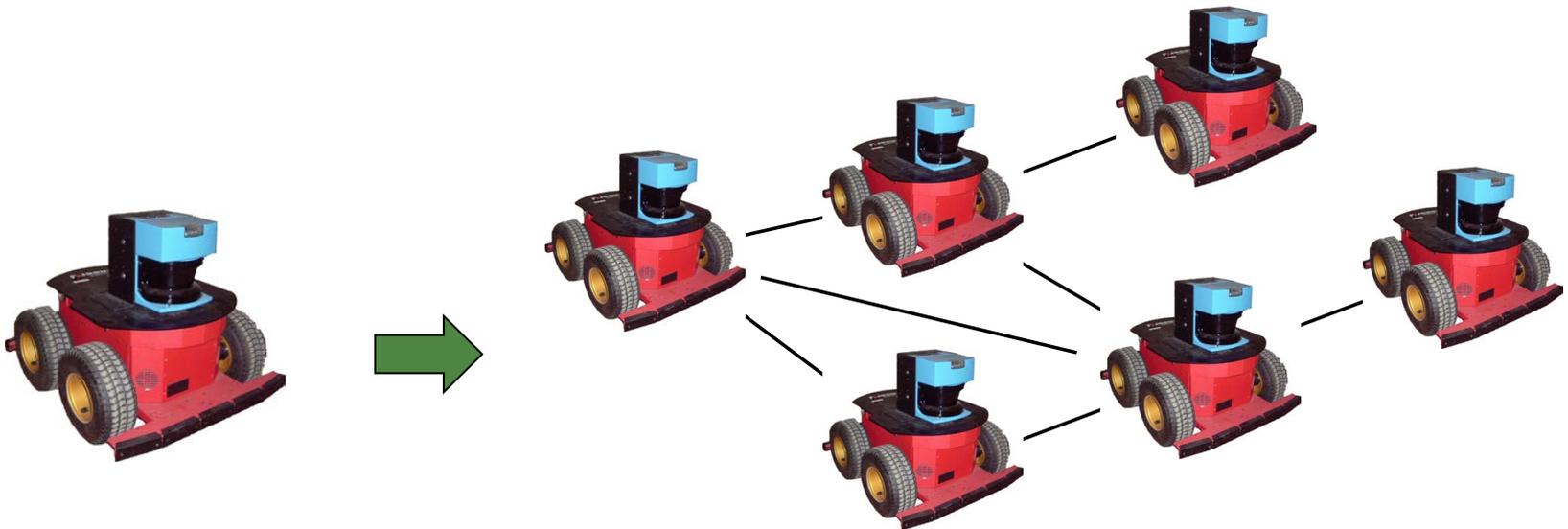
# Deux paradigmes différents



<b>Shakey (1966)</b>	<b>Genghis (1988)</b>
Pensée, raisonnement	Action, comportement
Intelligence: cerveau	Intelligence: organisme
Intelligence artificielle	Vie artificielle
Traitement d'information	Coordination sensori-motrice
Pensée cartésienne	Centré sur l'agent, basé action

# Tendance récente (20 dernières années)

- *Robotique coopérative*: volées, troupes, cohortes, équipes et formations de robots
- Commande *décentralisée* ou *distribuée*



"Consensus and Cooperation in Networked Multi-agent Systems", R. Olfati-Saber, J.A. Fax, R.M. Murray, Proc. of the IEEE, vol. 95, n. 1, pp. 215-233, 2007

# Ch. 2: Robotique Mobile

- Petit historique

**Partie 1**

- Applications, systèmes, locomotions

**Partie 2**

- Marché mondial et besoins technologiques

**Partie 3**

- Effecteurs et actionneurs

**Partie 4**

- Robots mobiles à jambes, à roues et aériens

**Partie 5**

# Applications

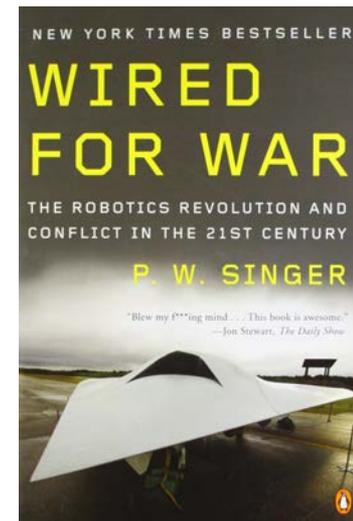
- **Le milieu hostile**

- Industrie nucléaire
- Exploration: spatiale (par ex. lander Philae), sous-marine, volcanique, spéléologique
- Surveillance: robots militaires (par ex. drone *Predator* de l'US Air Force)
- Sauvetage en cas de catastrophes naturelles (tremblements de terre, inondations, avalanches)
- Déminage



- **Les travaux répétitifs**

- Nettoyage
- Automatisation des entrepôts
- Domaine agricole



# Nettoyage

- Robot40 de *Cleanfix*
  - Nettoyage de gymnases
  - Navigation basée sonars et capteurs IR
- VC-RE70V de *Samsung*
  - Aspirateur autonome
  - Exploration exhaustive
  - SLAM visuel « plafond »
  - Capteur optique: mesure la pollution de l'air aspiré
- Roomba de *iRobot*
  - Nettoyage de maisons
  - Brosse rotative
  - Bumpers



# Automatisation des entrepôts

*Amazon Robotics (ex Kiva Systems, 2011), Exotec (2015-) et Omron (2015-)*

- Flotte de robots mobiles
- Stockage global par logiciel gestionnaire
- Déplacements autogérés



# Automatisation des entrepôts

## Amazon Robotics



## Exotec



Système Skypod  
("entrepôt 3D")

[Vidéo](#)

## Omron



# Automatisation des entrepôts

*Boston Dynamics* : robots SpotMini et Handle (2019)



*Corvus Robotics* : Inventaire des entrepôts par drone (2021)



Vidéo



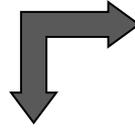
Vidéo



# Domaine agricole

Robot Oz de *Naïo Technologies*

- Désherbage automatique
- Transport de matériel agricole



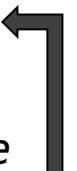
Husky UGV de *Clearpath Robotics*

- Arrosage de vignes (Californie)



Titan de *FarmWise*

- Surveillance de récolte



# Domaine agricole



AgBot 2.055W4 de *AgXeed*  
(Pays-Bas)

- Labourage, semis



Système autonome (drones et  
plateforme terrestre) de *Tevel*  
(Israël)

- Cueillette automatique  
de fruits (pommes)

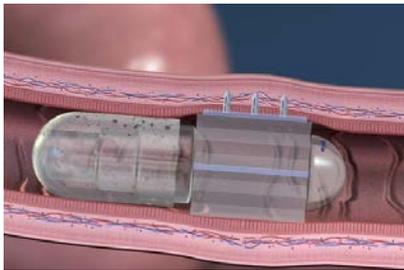


Vidéo

# Autres applications

- **Le service**

- Médecine
  - Pilules robotiques
- Aide aux personnes à mobilité réduite ou âgées (fauteuil roulant intelligent)
- Robot guide (musées, centres commerciaux, etc.)
- Robot facteur



<http://sssa.bioroboticsinstitute.it>



Drone Swiss Post (2018)  
de *Matternet*



PostBot (2018)  
*Deutsche Post, Dresde*



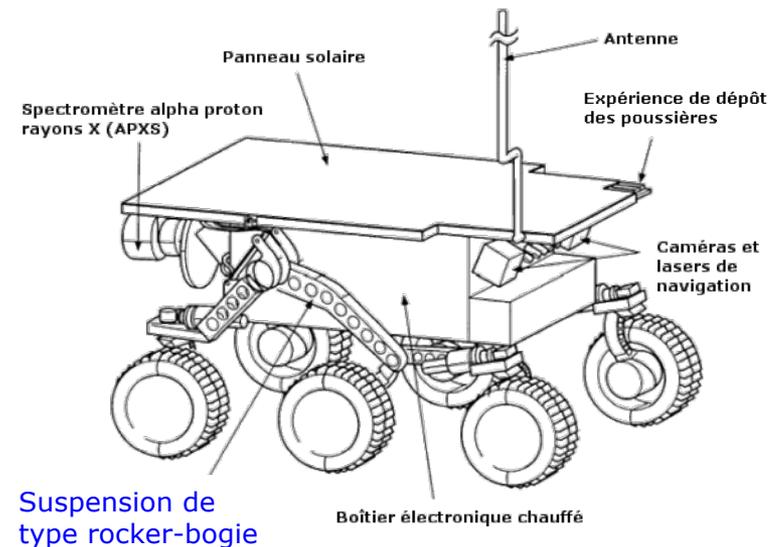
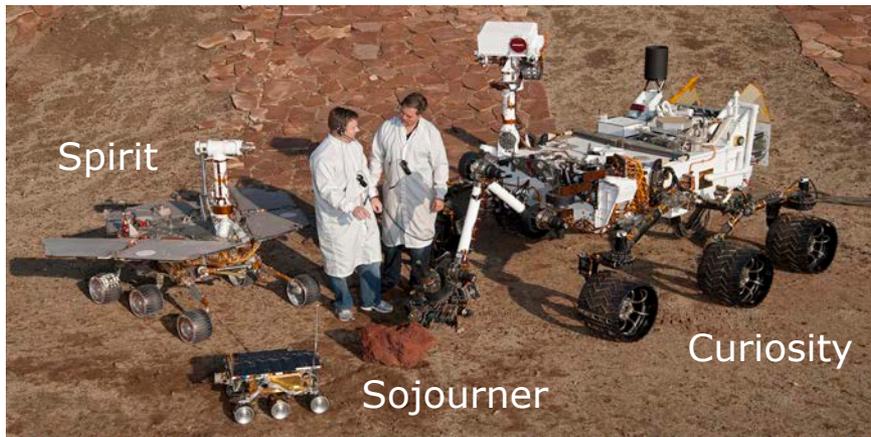
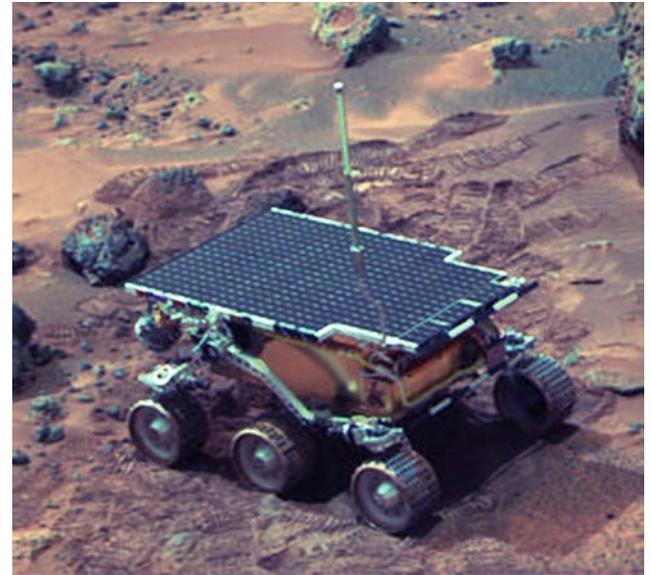
Projets U.E. Interreg  
COALAS/ADAPT



Robot Enon de *Fujitsu*

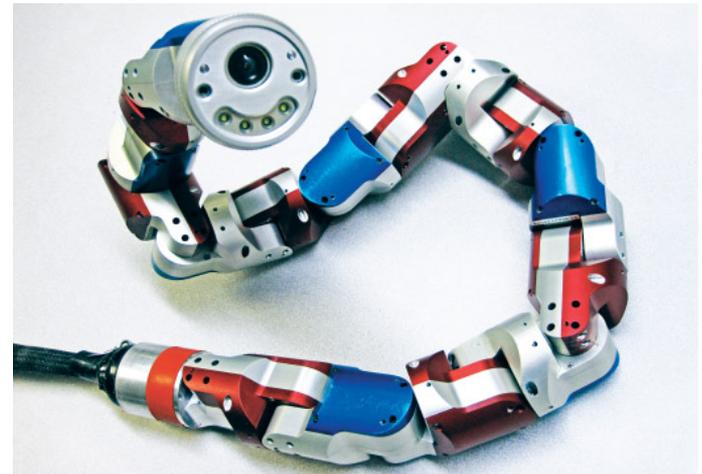
# Systemes et locomotions

- *Environnement hostile*
  - Locomotion non conventionnelle
    - Rovers NASA sur Mars
      - Sojourner (1997)
      - Spirit et Opportunity (2004)
      - Curiosity (2012)
      - Perseverance & Ingenuity (2020)
    - Téléoopérés depuis la Terre, mais détection automatique des obstacles



# Systemes et locomotions

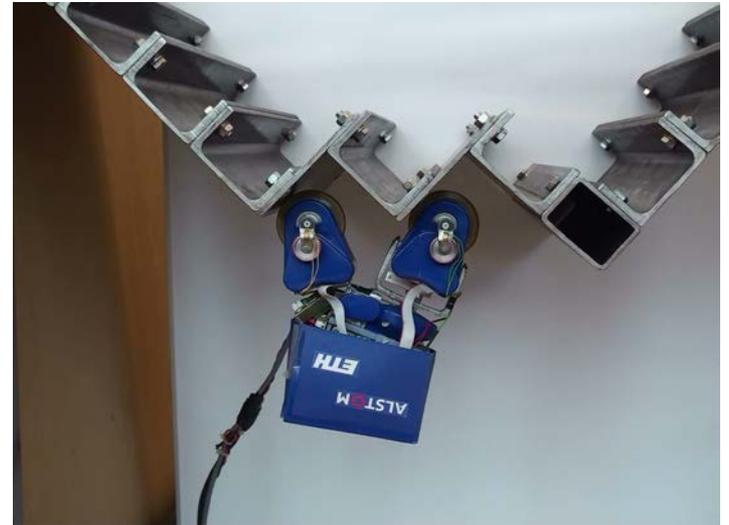
- *Robot rampant (ou continuum)*
  - Inspiration : locomotion des serpents
  - Modulaires et flexibles
  - Déplacement sur tous les terrains (insertion dans des passages étroits)
  - Idéal pour missions de sauvetage
- *Robot chenillé*



Snakebot, Carnegie Mellon University

# Systemes et locomotions

- MagneBike (ETH et ALSTOM)
  - Roues magnétiques
  - Grande mobilité
  - Inspection de structures complexes
    - Tuyaux
    - Oléoducs
    - Turbines



[Vidéo](#)

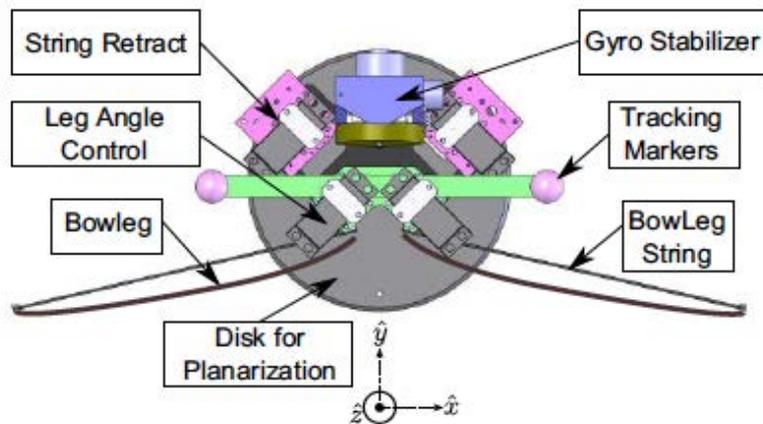
- Gibbot (NxR lab, Northwestern University)
  - Robot « singe »
  - Brachiation
  - Deux extrémités magnétiques
  - Déplacement sur des parois métalliques



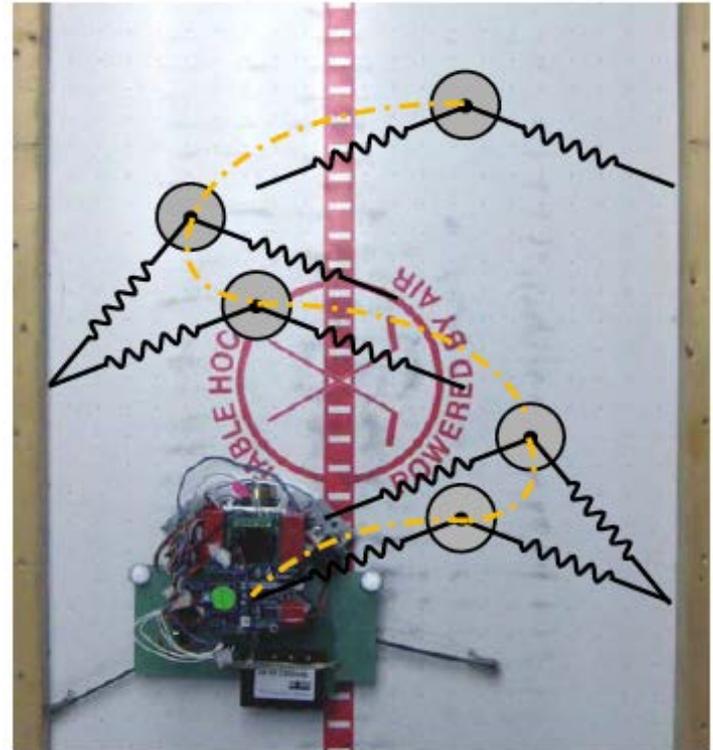
[Vidéo](#)

# Systemes et locomotions

- ParkourBot (Northwestern et Carnegie Mellon University)
  - Robot sauteur/grimpeur
  - Deux jambes élastiques
  - *Application*: inspection de tuyaux



[Vidéo](#)



# Systemes et locomotions

## Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

- OceanOne (Stanford Robotics Lab)
- Aquanaut (Houston Mechatronics Inc.)

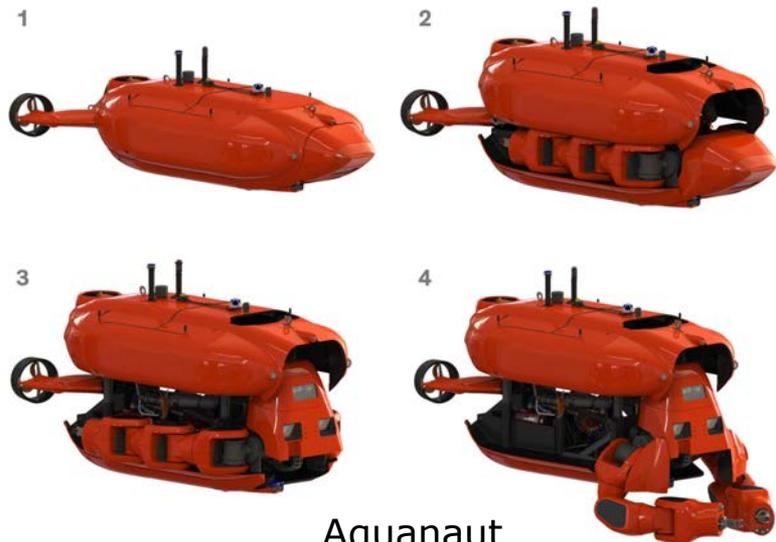
### Applications:

- Maintenance de plate-formes petrolieres/pipelines
- Archeologie sous-marine
- Echantillonnage de materiel biologique sous-marin



OceanOne

<https://cs.stanford.edu/group/manips/ocean-one.html>

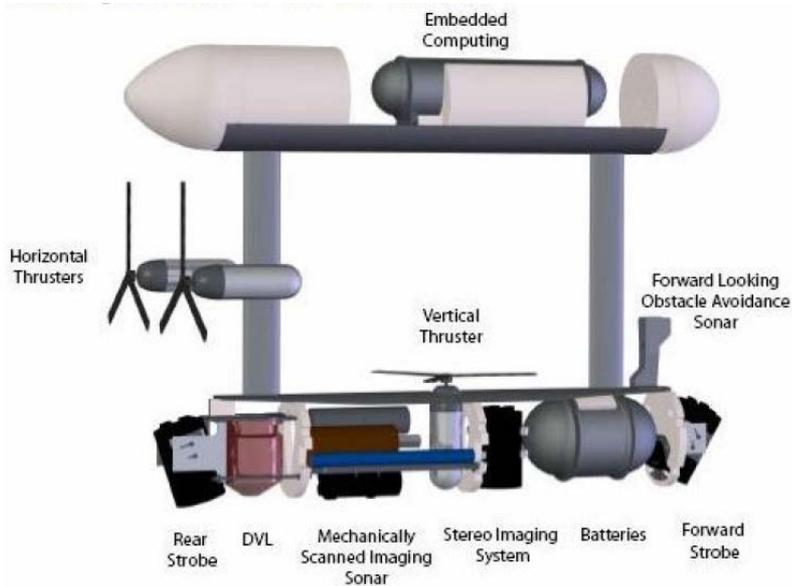
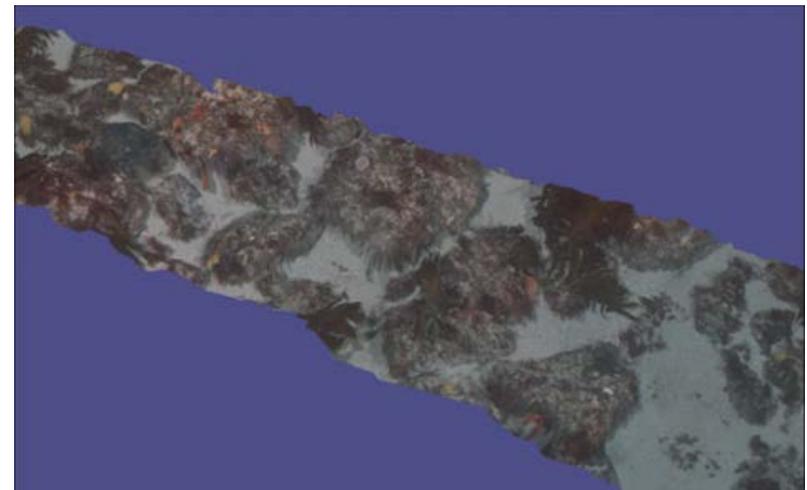


Aquanaut

# Systemes et locomotions

## Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

- Sirius (University of Sydney)
  - Cartographie 3D des fonds marins
  - Assemblage d'images stéréo (mosaïque)



# Systemes et locomotions

## Les drones

- **Voilure fixe**
  - Non motorisée
    - Planeur
  - Motorisée
    - Traction
    - Propulsion
- **Voilure tournante**
  - Birotor (co-axial)
  - *Quadrirotor*
  - Hexarotor
  - ...
- **Voilure battante**
- **Plus léger que l'air**
  - Dirigéable

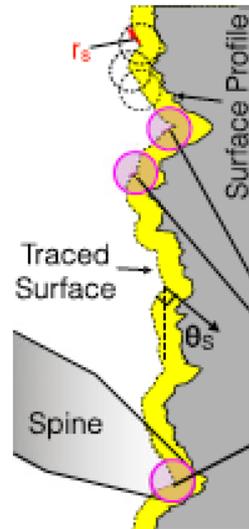
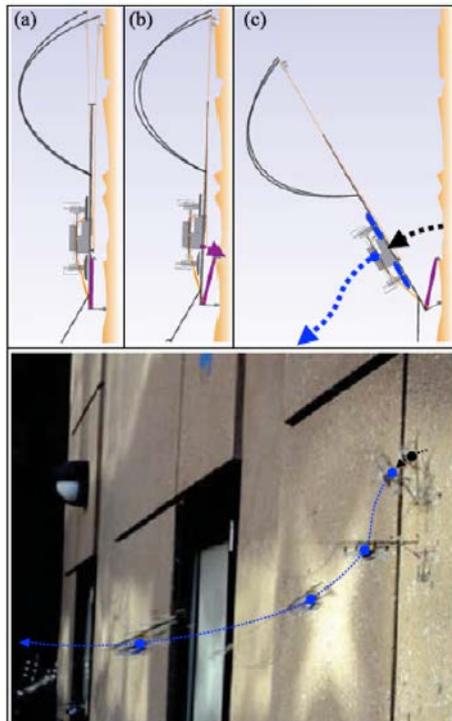


Firefly de AscTec

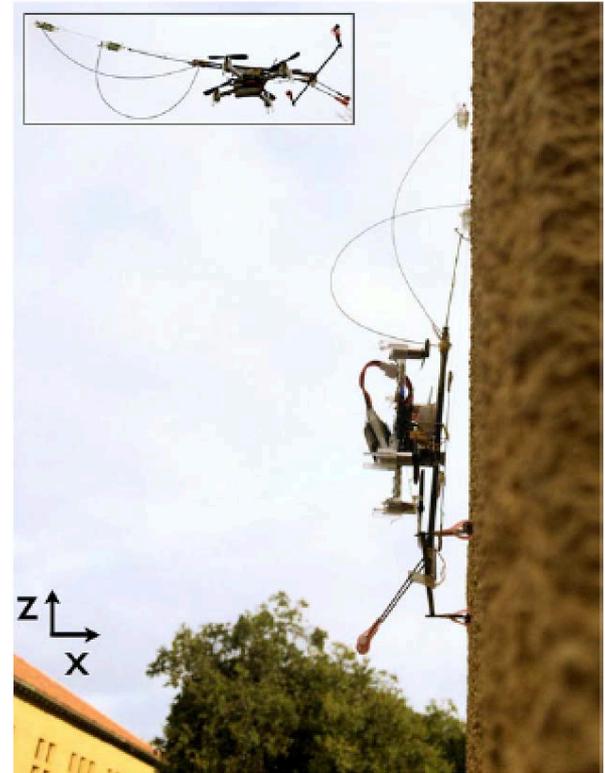
Phantom 4 de DJI

# Systemes et locomotions

- SCAMP (« **S**tanford **C**limbing and **A**erial **M**aneuvering **P**latform»)◦ **Robot multi-modal** qui peut:
  - Voler (comme un quadrirotor)
  - Se percher avec un systeme passive
  - Grimper sur des surfaces à l'exterieur
  - Decoller à partir d'une surface verticale



[Vidéo](#)



"A Multimodal Robot for Perching and Climbing on Vertical Outdoor Surfaces", T.M. Pope et al., IEEE Trans. Robotics, vol. 33, n. 1, pp. 38-48, 2017

# Systemes biomimetiques

## • Volatiloïde

- BionicSwift, eMotionButterflies et BionicFlyingFox de *Festo*
- Nano Hummingbird de *AeroVironment*



[Vidéo](#)



[Vidéo](#)

## • Poissonoïde

- Airacuda de *Festo*
  - Commande pneumatique
  - « Muscles » fluides



## • Insectoïde

- Genghis

## • Plantoïde

- Projet U.E.  
« Plantoid » (IIT)



## • Humanoïde

- Asimo, Baxter, Atlas



# Ch. 2: Robotique Mobile

- Petit historique

**Partie 1**

- Applications, systèmes, locomotions

**Partie 2**

- Marché mondial et besoins technologiques

**Partie 3**

- Effecteurs et actionneurs

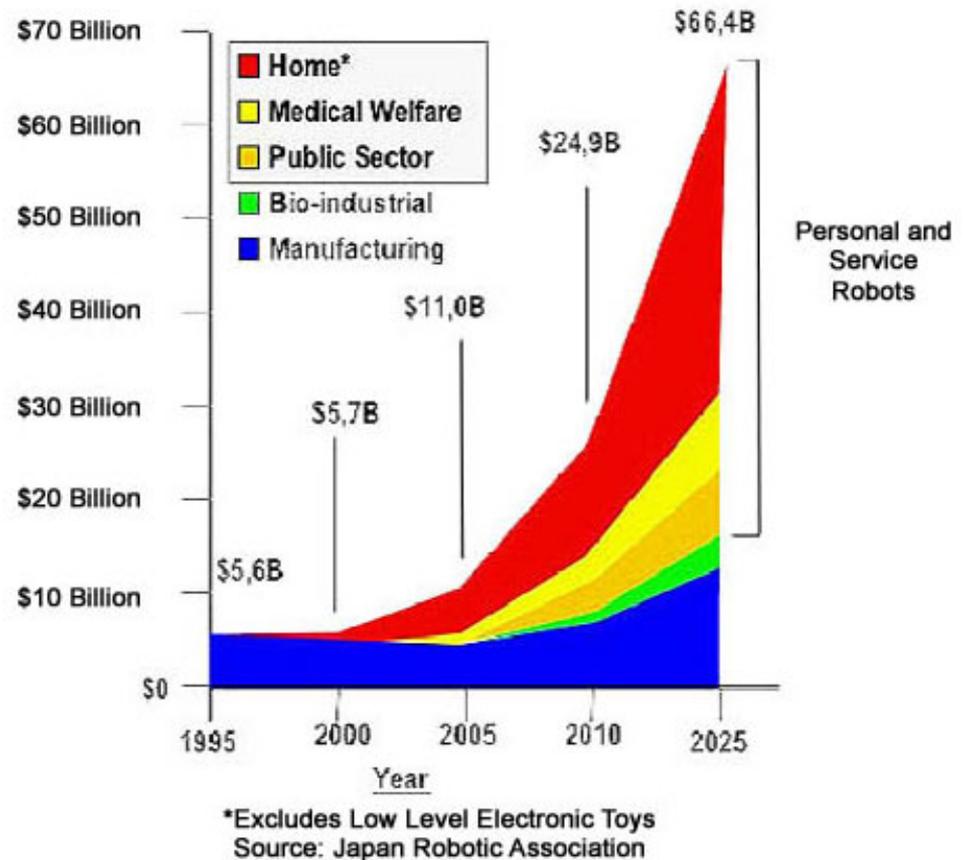
**Partie 4**

- Robots mobiles à jambes, à roues et aériens

**Partie 5**

# Marché mondial et besoins technologiques

- **Aujourd'hui**
  - Industrie: 20%
  - Robotique personnelle et de service: 72%
- **2025**
  - Industrie: 15%
  - Robotique personnelle et de service: 77%
- Robotique personnelle seule: de 5 G\$ à 50 G\$ !



# Marché mondial des robots\*

## Robots de service

- Robot semi ou complètement autonome
- Robot réalisant des tâches pour les humains ...  
... hormis les *opérations de manufacture*
- Le marché de la robotique de service pour les professionnels a connu une *forte croissance* (32%) en 2019: de 8.5 G\$ à 11.2 G\$
- La chiffre d'affaires pour la **robotique médicale** a augmenté de 28% en 2019, qui correspond à 47% de la chiffre d'affaires totale pour la robotique de service pour les professionnels. Cette hausse est due en grande partie aux systèmes pour la *robotique chirurgicale*, qui sont les plus coûteux en robotique de service



---

\*Executive Summary, World Robotics 2020: Service Robots (<https://ifr.org>)

# Marché mondial des robots\*

## Robots de service

- Robots de service pour les **professionnels**:
  - 2019: 173000 unités, +32%
  - Développement potentiel en 2020: 240000 unités, +38%
  - 2023: 537000 unités, +31% CAGR
- Robots de service pour les **tâches domestiques/ménagères**:
  - 2019: 18.6 millions d'unités, +40%
  - Développement potentiel en 2020: 21.6 millions d'unités, +16%
  - 2023: 48.6 millions d'unités, +31% CAGR
- Robots de service pour les **loisirs**:
  - 2019: 4.6 millions d'unités, +13%
  - Développement potentiel en 2020: 5.1 millions d'unités, +10%
  - 2023: 6.7 millions d'unités, +10% CAGR

**CAGR** = Compound Annual Growth Rate (ou Taux de Croissance Annuel Composé)



# Plate-formes pour la recherche et la pédagogie

1. E-puck
  2. Khepera III
  3. Koala 2.5
- } EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
(*K-Team Corporation*)
4. TurtleBot 4 de *Clearpath Robotics* (Create3 de *iRobot*, camera RGB-D, LiDAR 2D)

5. Pioneer 3-AT
  6. AmigoBot
  7. Seekur Jr
- } *Omron Adept Technology*



Robots pas à l'échelle

# Environnements de simulation et développement

- *Robot Operating System (ROS)*

- Ensemble de bibliothèques et outils (drivers, algorithmes, etc.) pour développer des applications robotiques ("middleware")

- *Open source*: [www.ros.org](http://www.ros.org)



- *Gazebo*

- Simulation précise et efficace de populations de robots dans des environnements virtuels

- Moteur physique robuste et interfaces graphiques avancées

- *Gratuit*: <http://gazebosim.org>



GAZEBO

- *CoppeliaSim (ex V-REP)*

- 6 approches et 7 langages de programmation

- Destiné à chercheurs, amateurs et développeurs professionnels

- Version « player » et « edu » *gratuite*: [www.coppeliarobotics.com](http://www.coppeliarobotics.com)



CoppeliaSim  
from the creators of V-REP

[Vidéo](#)

- *Matlab*

- *Robotics System Toolbox* de MathWorks (à partir de R2015b)

- *Robotics Toolbox* de Peter Corke (Queensland Univ. of Technology)

- *Gratuit*: <https://petercorke.com/toolboxes/robotics-toolbox>

