

# 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 2021-2022



# 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 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***

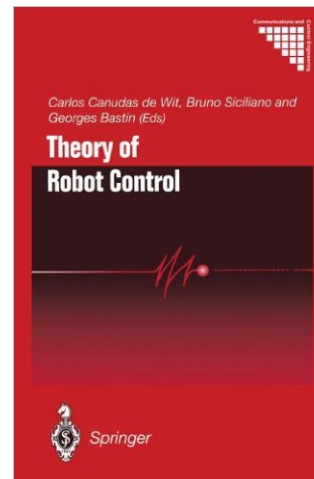
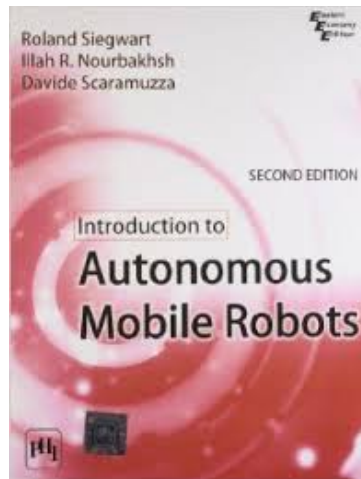
C. Canudas-de-Wit, B. Siciliano, G. Bastin (Éds.), Springer 1996 [Ch. 7]

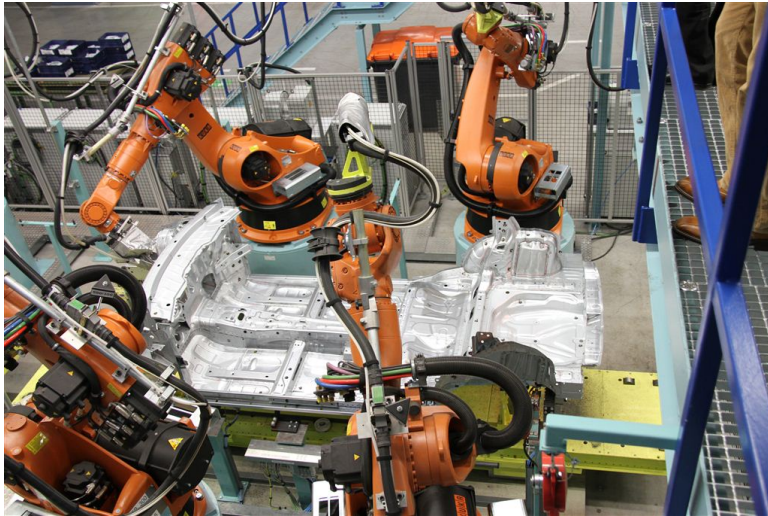
- ***Handbook of Robotics***

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")

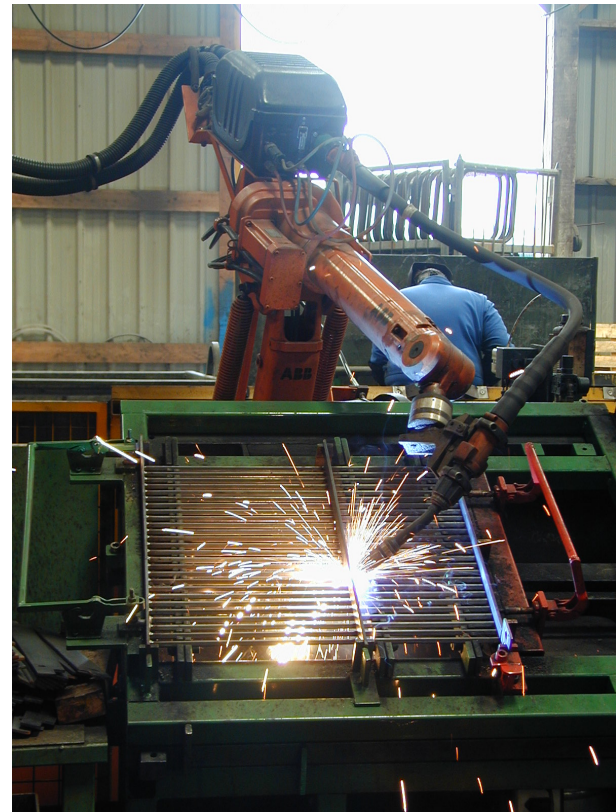
*Environnement naturel*

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

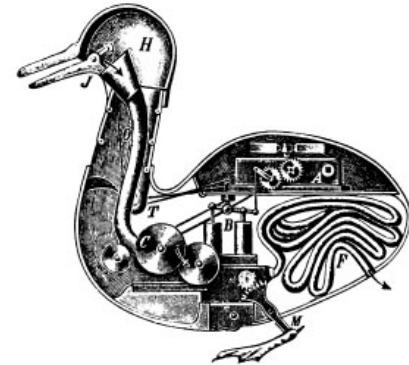




# Premiers robots mobiles

- “*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)

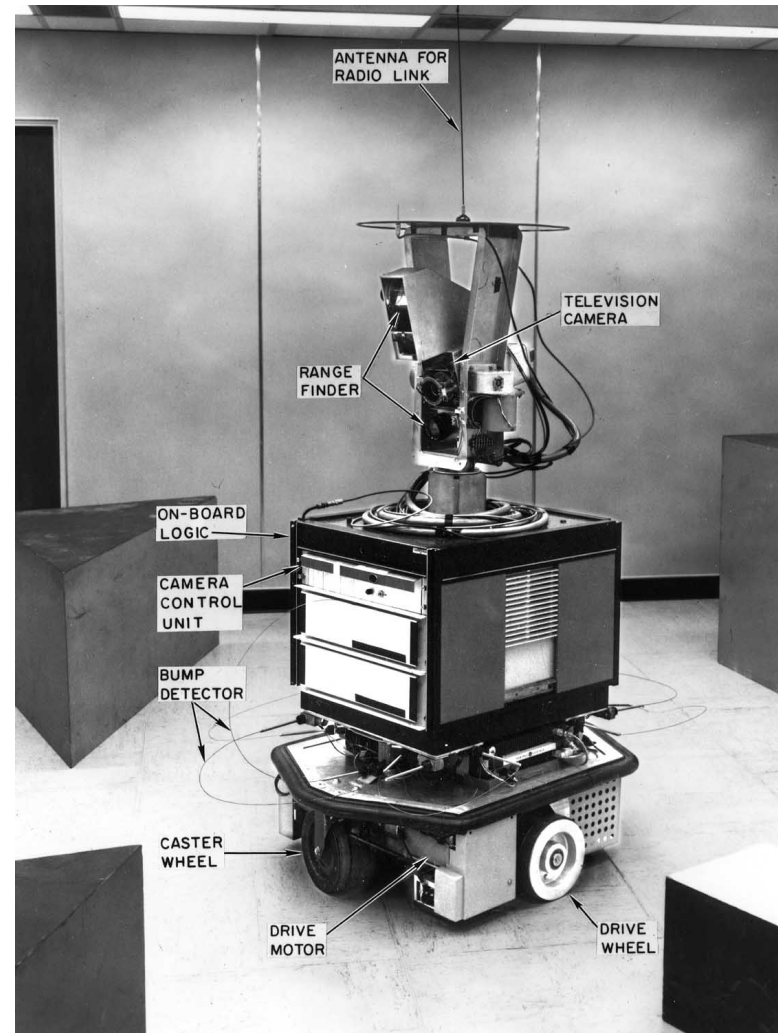
Navire télécommandé

Madison Square Garden, New York,  
Electrical Exhibition



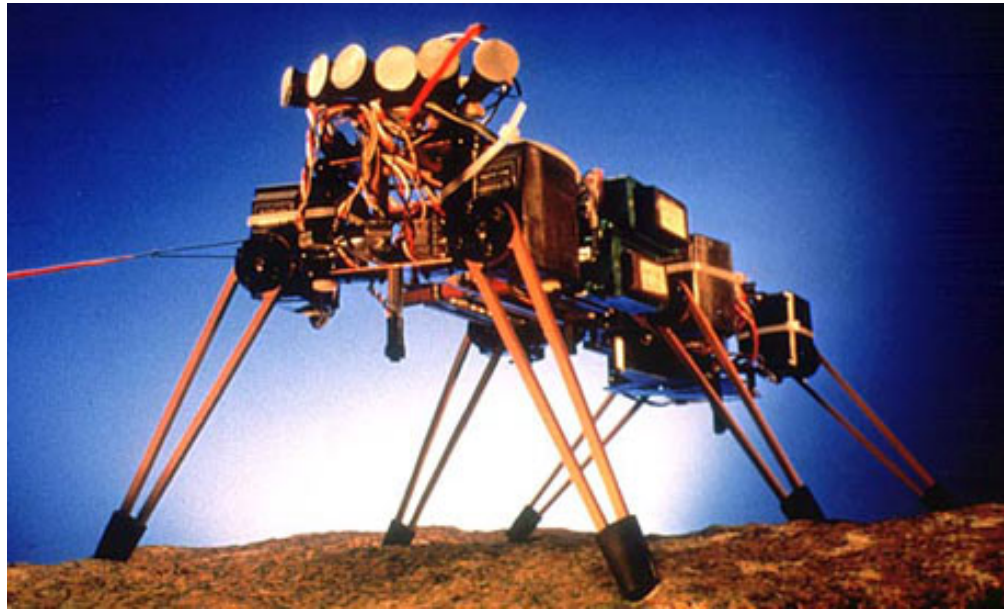
# « **Shakey** » Stanford Research Institute (1966)

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



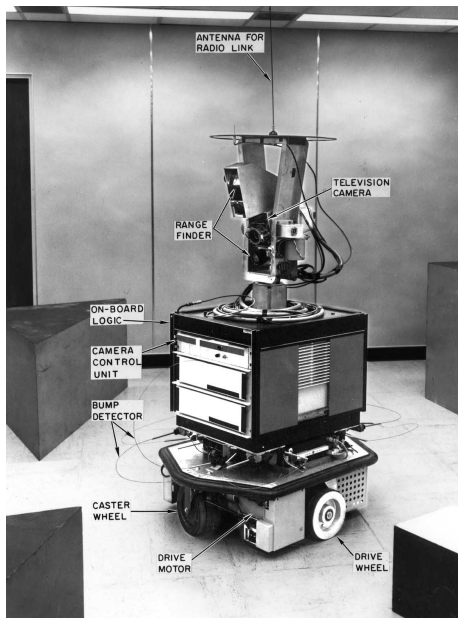
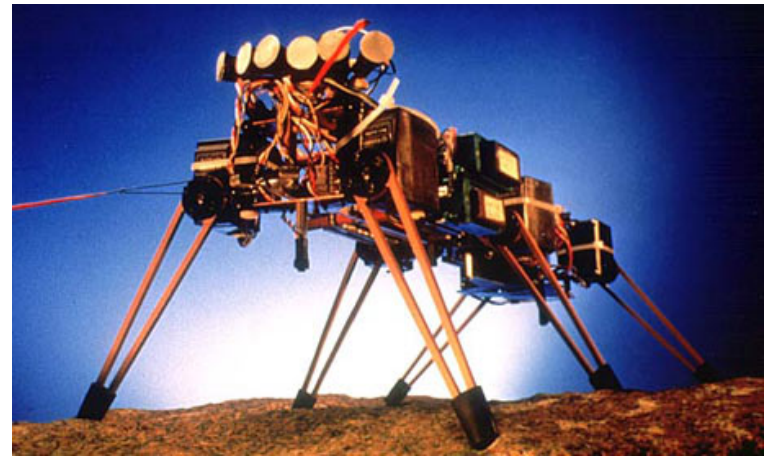
## « **Genghis** » MIT (1988)

- 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

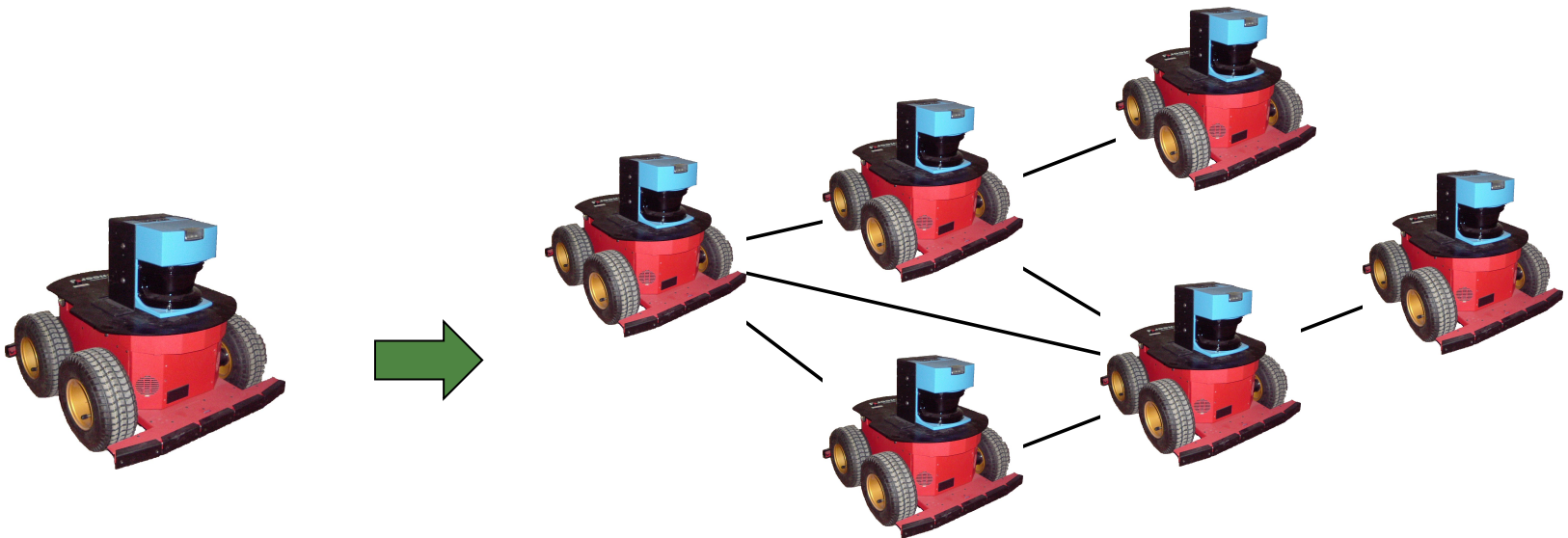


<b>Shakey (1966)</b>	<b>Genghis (1988)</b>
Pensée, raisonnement	Action, comportement
Intelligence: cerveau	Intelligence: organisme
Intelligence artificielle	Vie artificielle
Traitement d'information	Coordination sensori-motrice
Pensée cartésienne	Centré sur l'agent, basé action



# 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

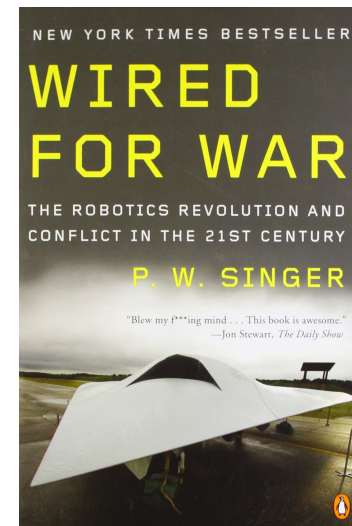
**Partie 4**

- 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 auto-gérés



# Automatisation des entrepôts

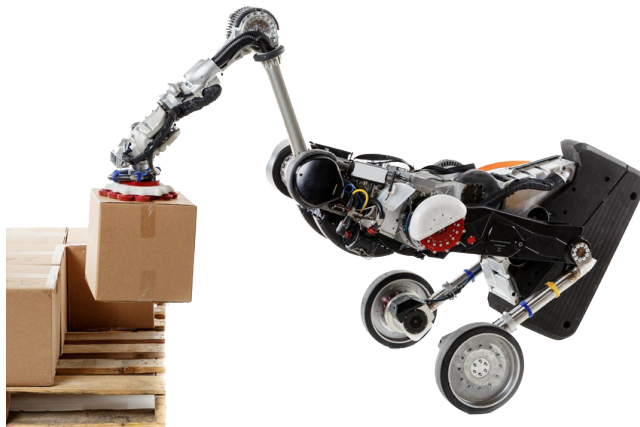
*Boston Dynamics* : robots SpotMini et Handle (2019)



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



Vidéo



Vidéo

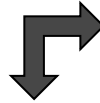




# Domaine agricole

Robot Oz de *Naïo Technologies*

- Désherbage automatique
- Transport de matériel agricole



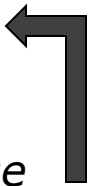
Husky UGV de *Clearpath Robotics*

- Arrosage de vignes (Californie)



Titan de *FarmWise*

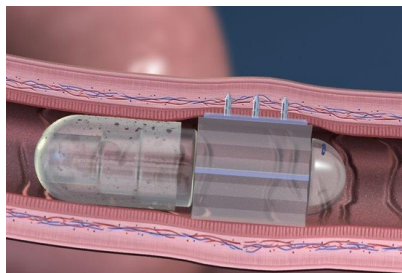
- Surveillance du récolte



# Autres applications

- **Le service**

- Médecine
  - Pilules robotiques
- Aide aux personnes handicapées 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

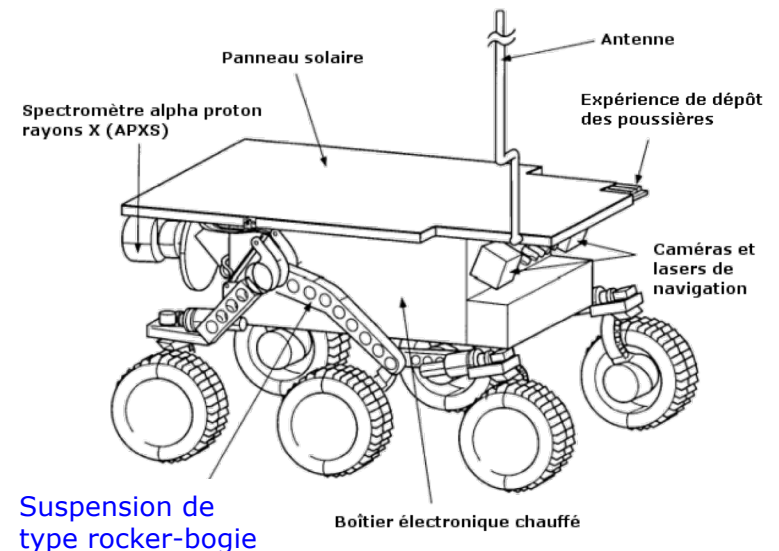
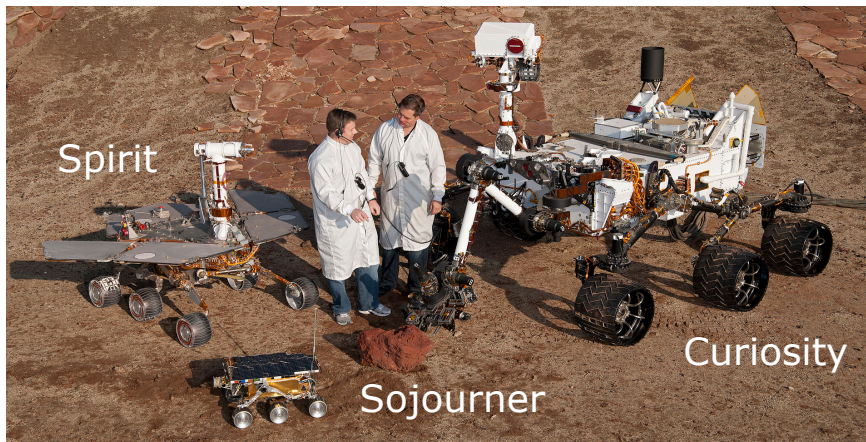
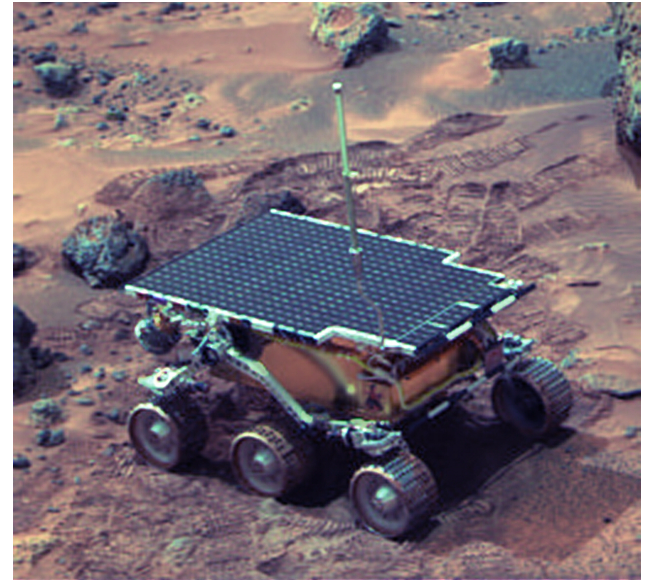


Robot Enon de *Fujitsu*



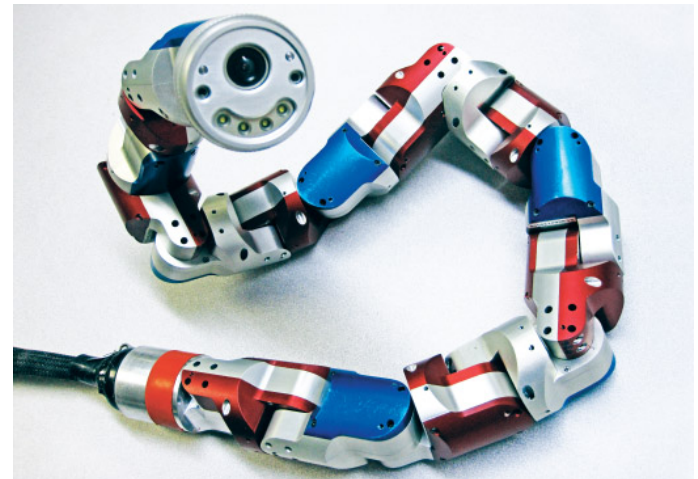
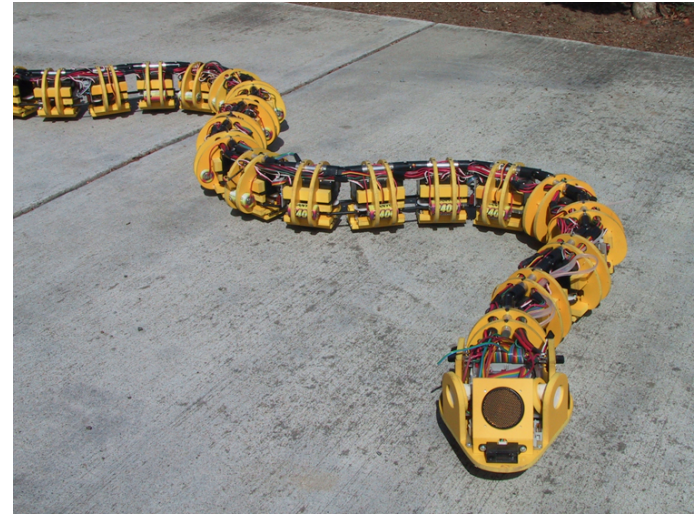
# Systemes et locomotions

- *Environnement hostile*
  - locomotion non conventionnelle
    - Rovers NASA sur Mars
      - Sojourner (1997)
      - Spirit et Opportunity (2004)
      - Curiosity (2012)
      - Perseverance & Ingenuity (2020)
    - Téléopérés 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)
  - Idéaux pour missions de sauvetage
- *Robot chenillé*

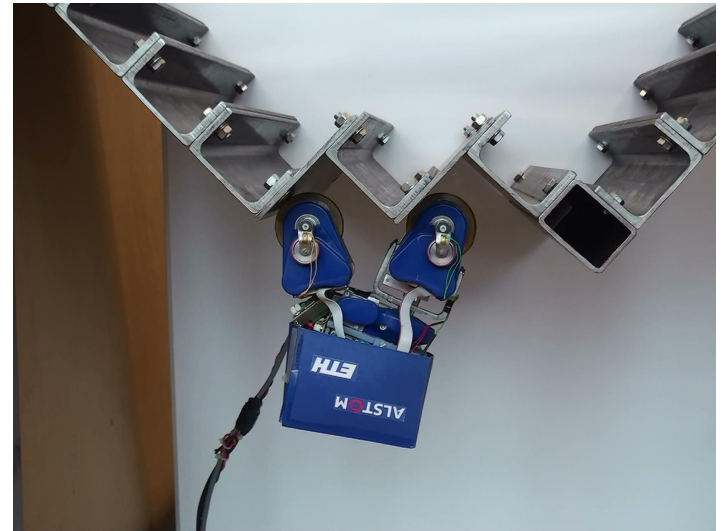


Snakebot, Carnegie Mellon University



# Systemes et locomotions

- MagneBike (ETHZ + ALSTOM)
  - Roues magnetiques
  - Grande mobilite
  - Inspection de structures complexes
    - Tuyaux
    - Oléoducs
    - Turbines



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

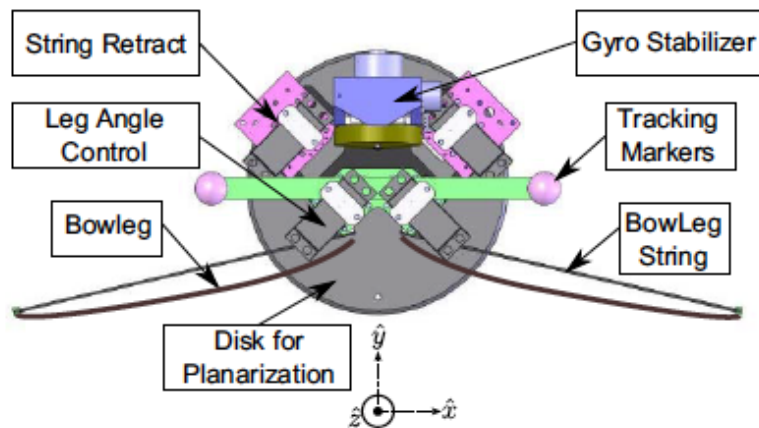


[Vidéo](#)

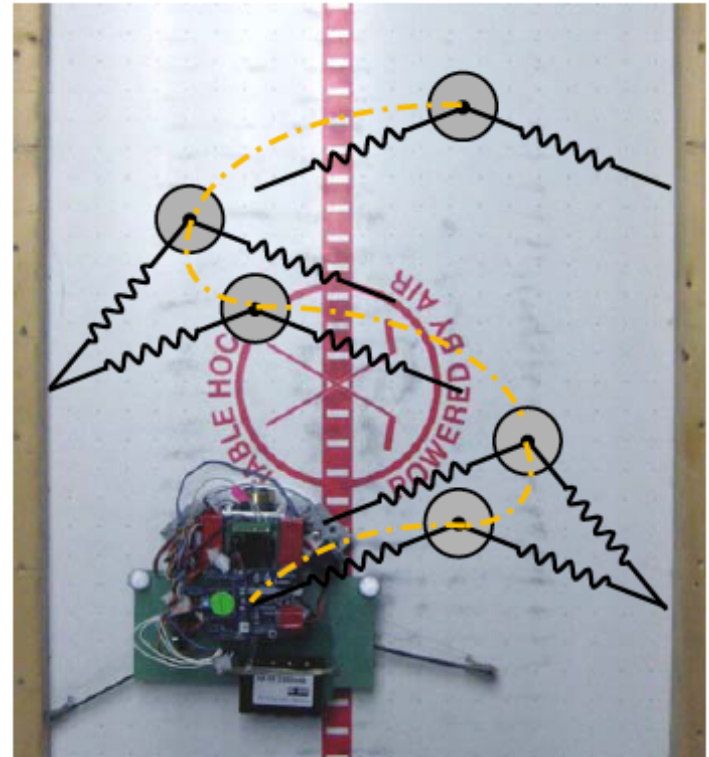
[Vidéo](#)

# Systemes et locomotions

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



[Vidéo](#)



# Systemes et locomotions

## Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

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

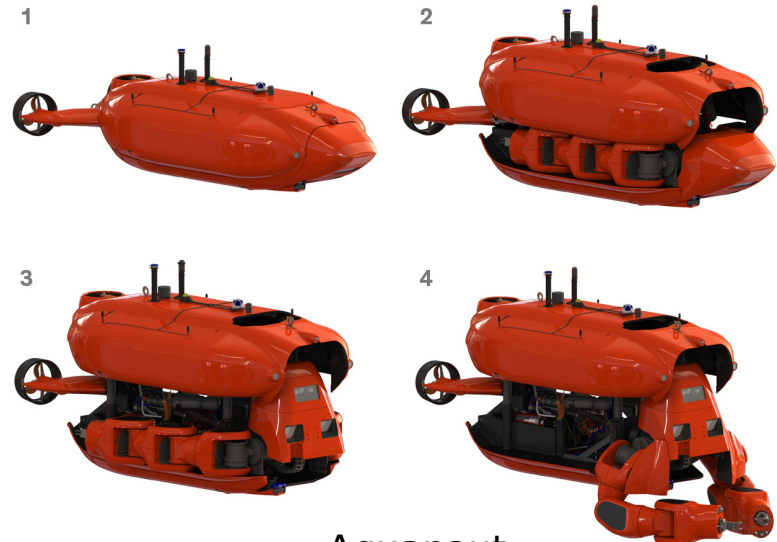
### Applications:

- 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>

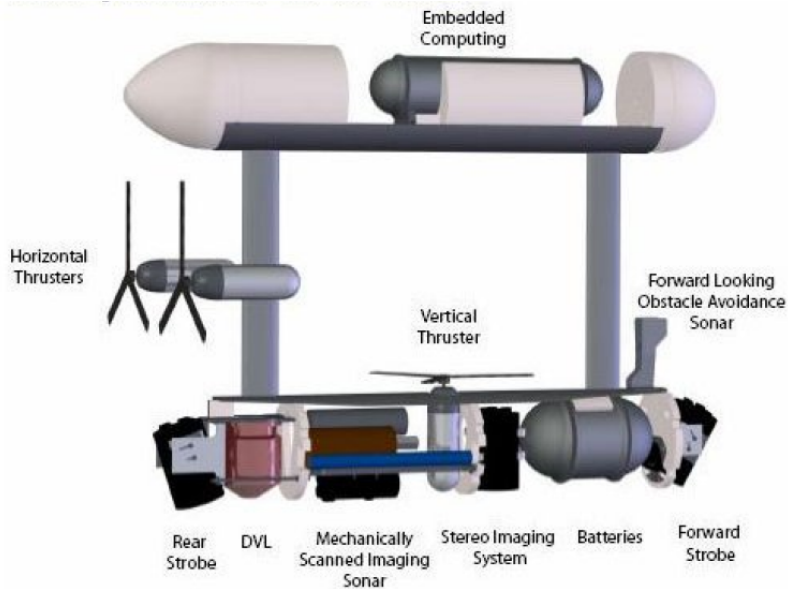
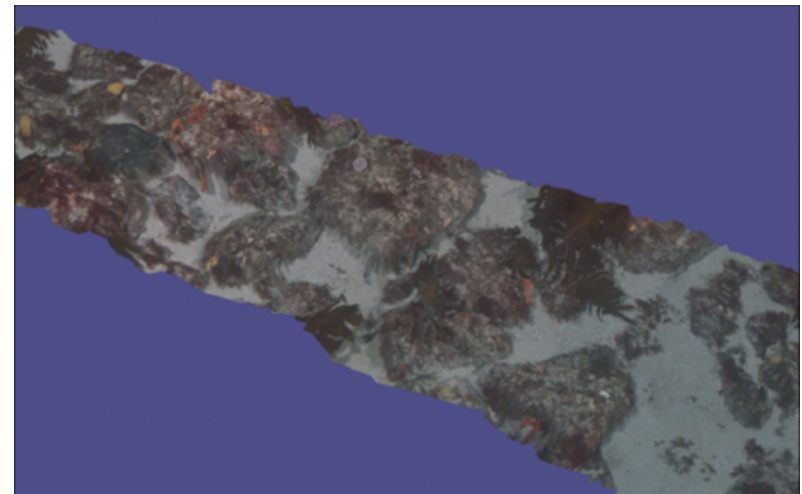


Aquanaut

# 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**
  - Dirigeable

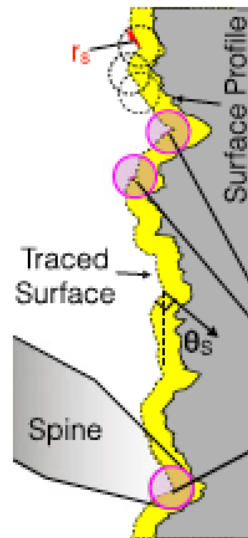
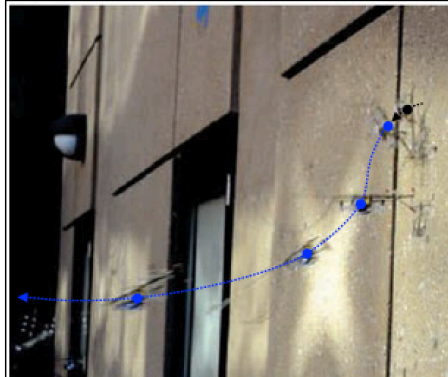
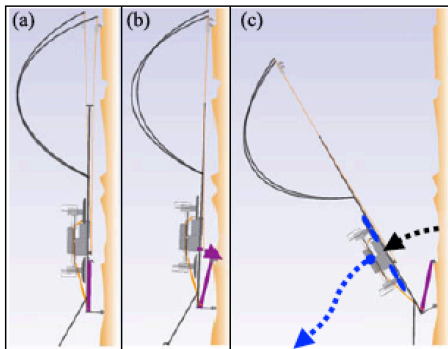


*Firefly* de AscTec

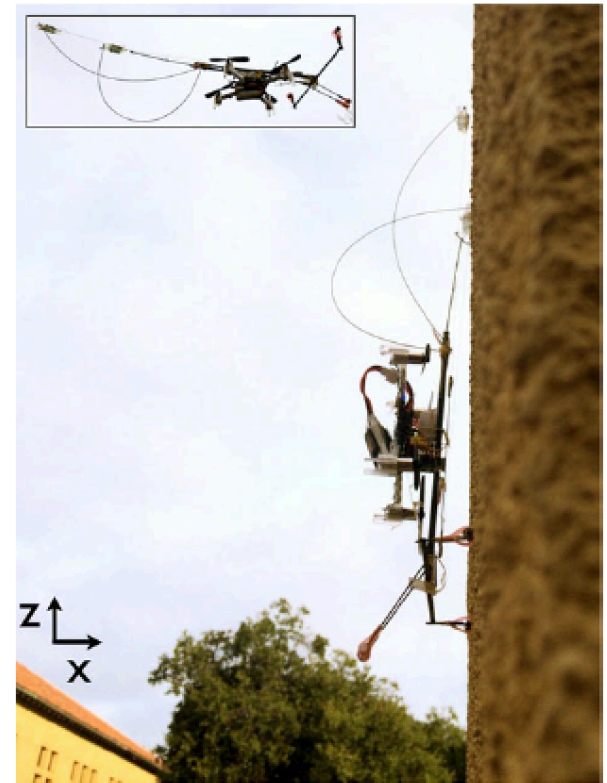
*Phantom 1* de DJI

# 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 d'une surface verticale



[Vidéo](#)



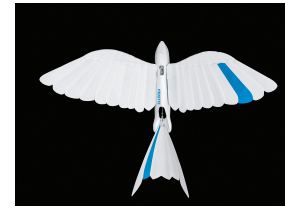
"A Multimodal Robot for Perching and Climbing on Vertical Outdoor Surfaces", T.M. Pope et al., IEEE Trans. Robotics, vol. 33, n. 1, pp. 38-48, 2017



# Systemes biomimetiques

- **Volatiloïde**

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



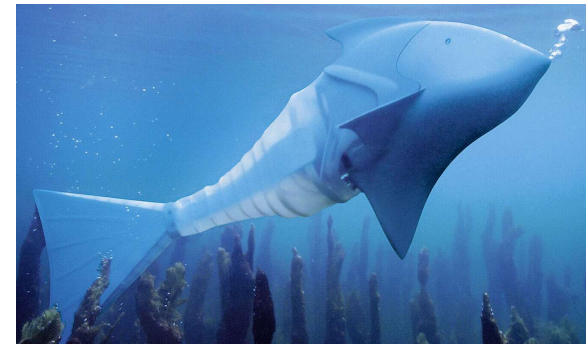
[Vidéo](#)



[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

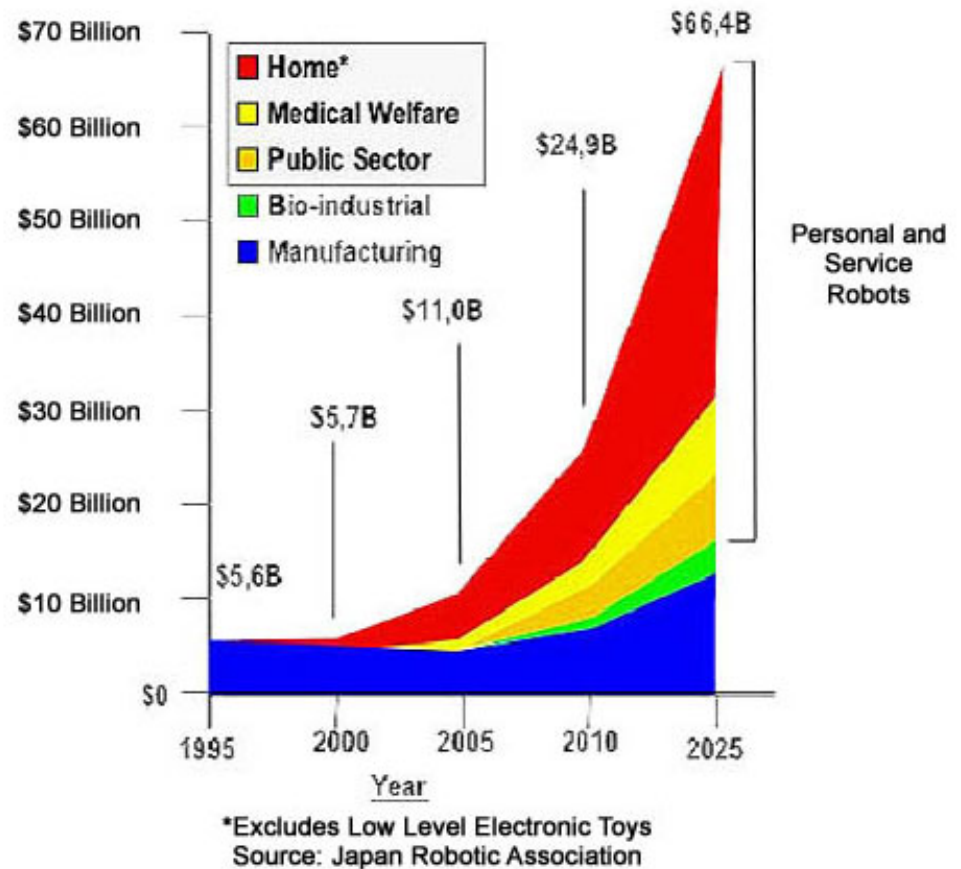
**Partie 4**

- 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* de 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 attribuable 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*
  4. *TurtleBot* (Willow Garage: Create de *iRobot* + *Kinect* de Microsoft)
  5. *Pioneer 3-AT*
  6. *AmigoBot*
  7. *Seekur Jr*
- EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
(K-Team Corporation)
- Omron Adept Technology



1



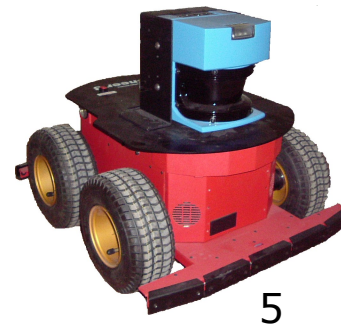
2



3



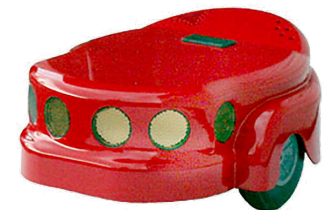
4



5



7



6

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>



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

