

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



Electronique

Energie Electrique

Automatique

CM, TD: Mardi et Mercredi 13h30-16h00, salle CURI 305

TP: Jeudi 9h00-12h00, salle TP204

AU 2024-2025



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

- Systèmes, locomotions, applications

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^e édition, 2011 [Ch. 1-3]

- ***Theory of Robot Control***

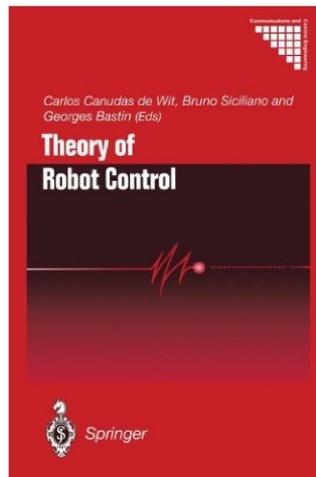
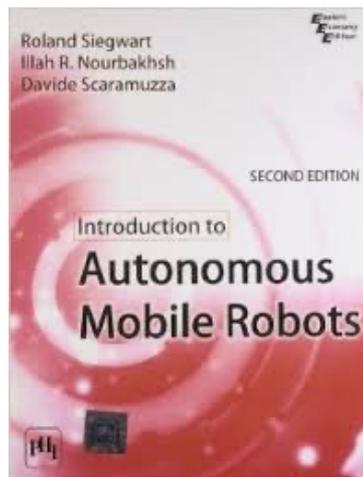
C. Canudas-de-Wit, B. Siciliano, G. Bastin (Éds.), Springer, 1996 [Ch. 7]

- ***Handbook of Robotics***

B. Siciliano, O. Khatib (Éds.), 2^e édition, Springer, 2016

- “*Wheeled robots*”, W. Chung, K. Iagnemma [Ch. 24]

- “*Modeling and control of wheeled mobile robots*”, P. Morin, C. Sanson, R. Lenain [Ch. 49]





VS



Chaîne de montage

Tâches répétitives

Prédictible

Contrôlable

(cf. cours M1 de
"Robotique Industrielle")

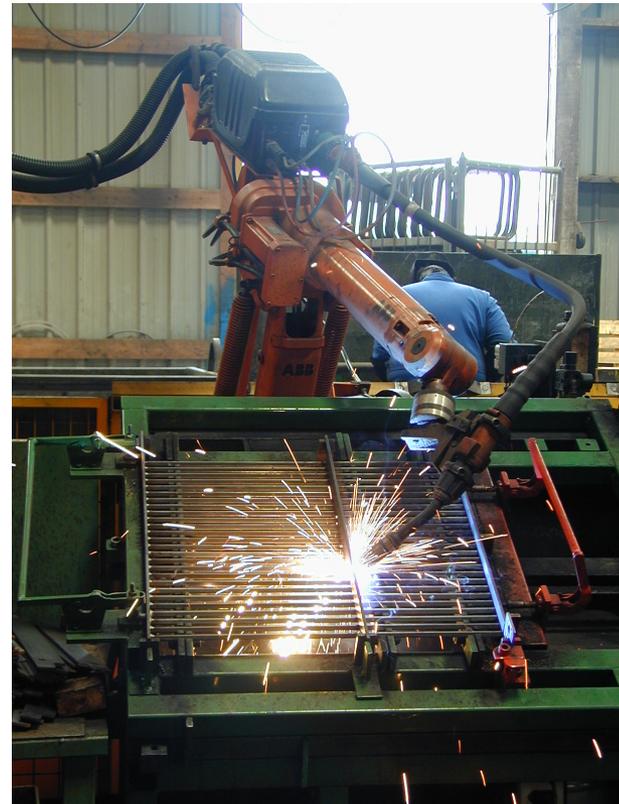
Environnement naturel

Dynamique, Incertain !

Robot manipulateur vs robot mobile

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

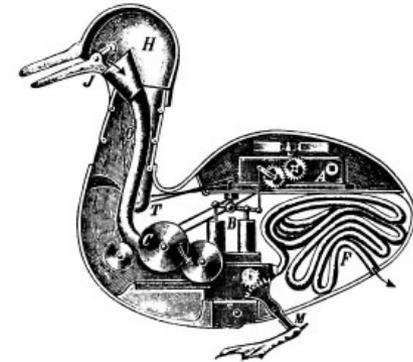
- A l'opposé : **robot mobile**
 - Problématiques de mobilité (déplacement en autonomie)
 - Mécanismes de locomotion complexes



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)

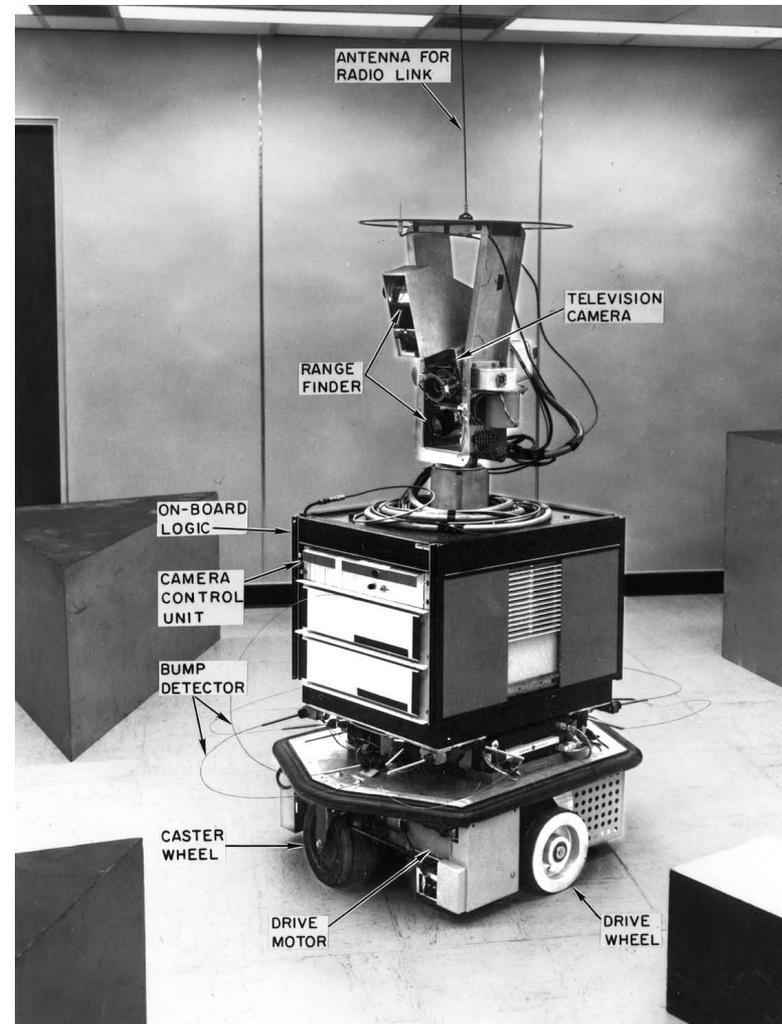
Navire télécommandé

Madison Square Garden, New York,
Electrical Exhibition



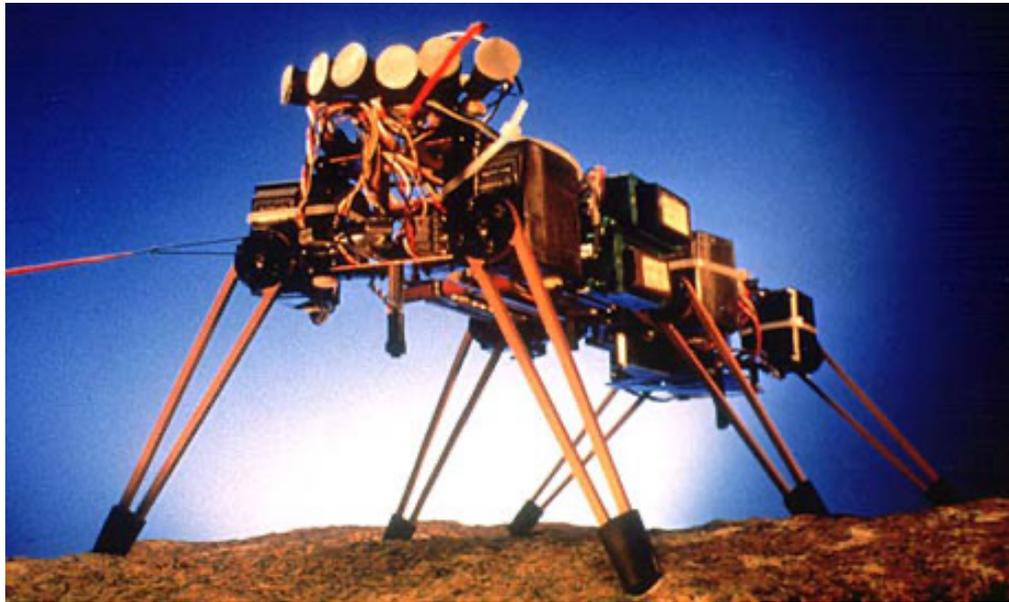
« **Shakey** » Stanford Research Institute (1966)

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



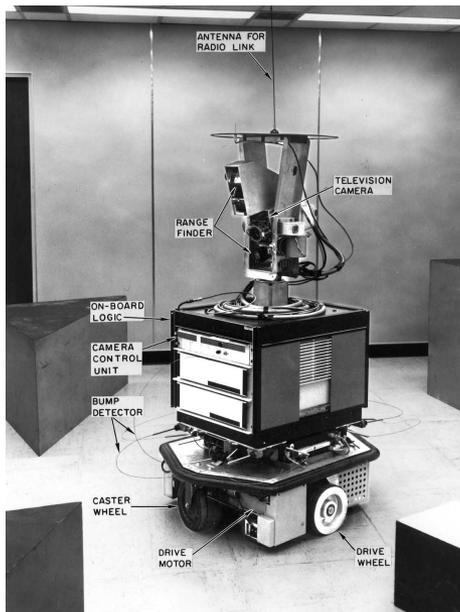
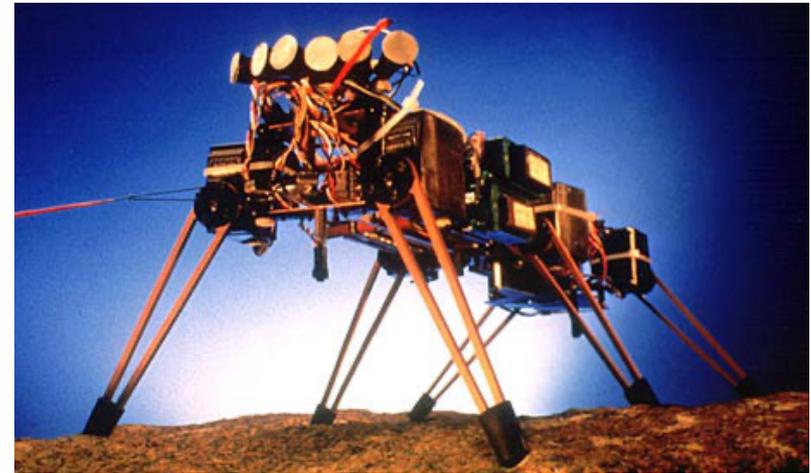
« **Genghis** » MIT (1988)

- 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)

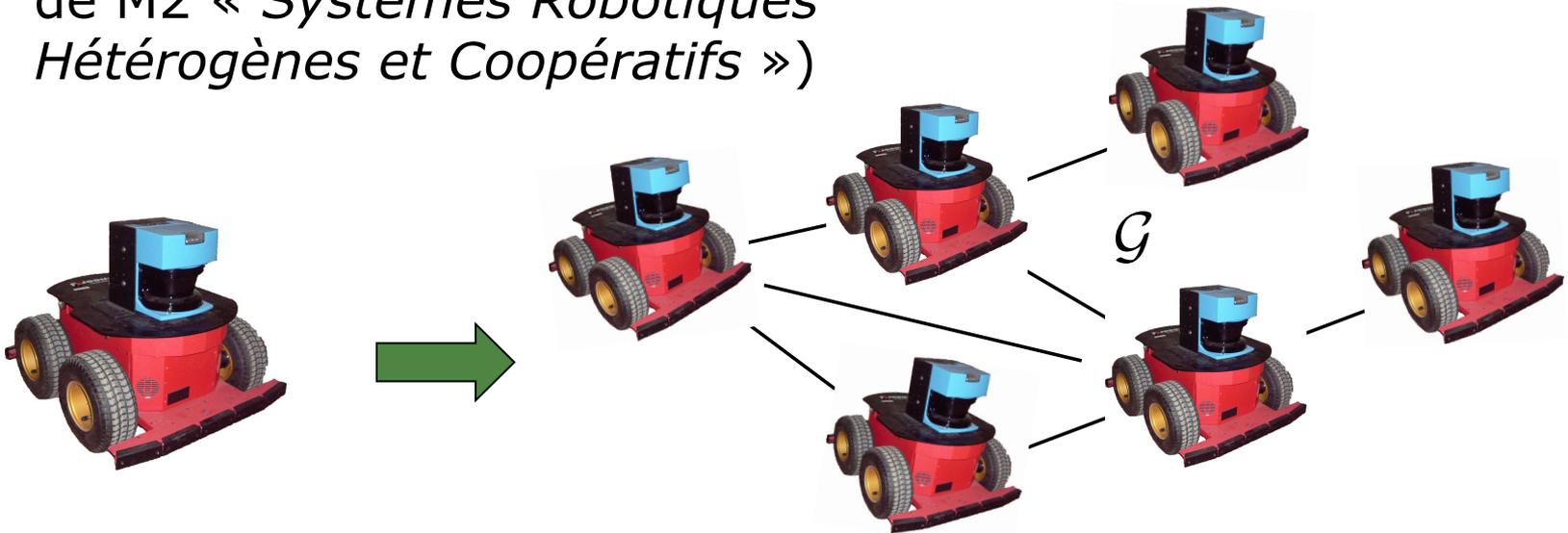
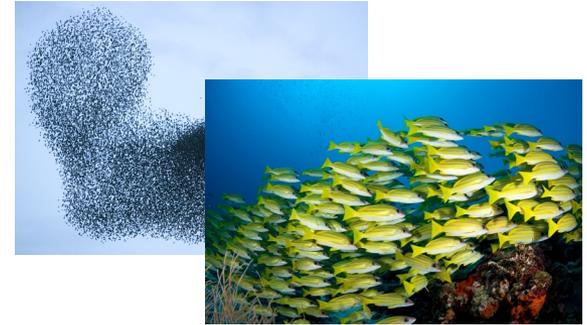
Deux paradigmes différents



Shakey (1966)	Genghis (1988)
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* : cohortes de robots travaillant à l'unisson (inspirée par le monde naturel)
- Commande distribuée (cf. cours de M2 « *Systèmes Robotiques Hétérogènes et Coopératifs* »)



“*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

- Systèmes, locomotions, applications

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), et sous-marine, volcanologie, spéléologie
- 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
 - SLAM visuel



Automatisation des entrepôts

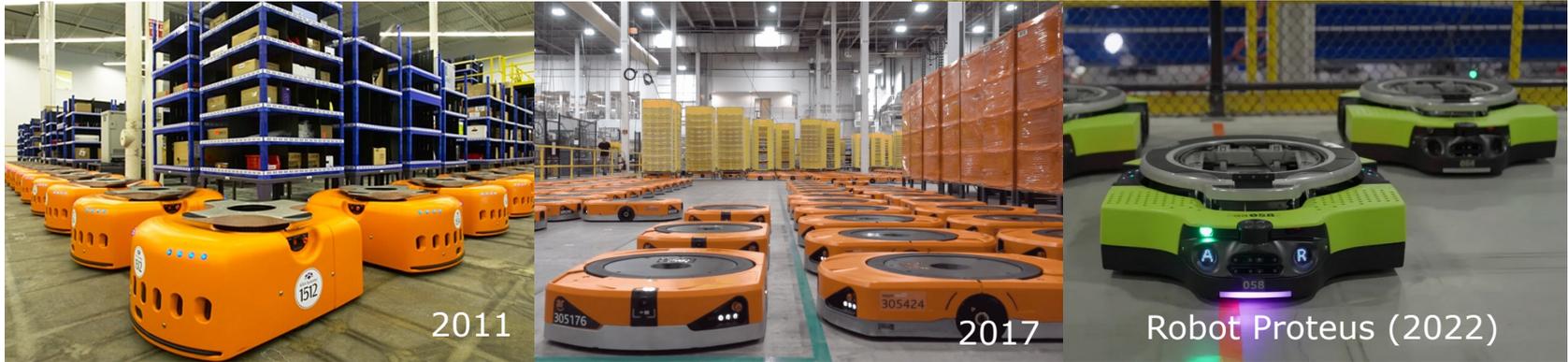
Amazon Robotics (ex Kiva Systems, 2011), Exotec (2015-) et Omron (2015-)

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

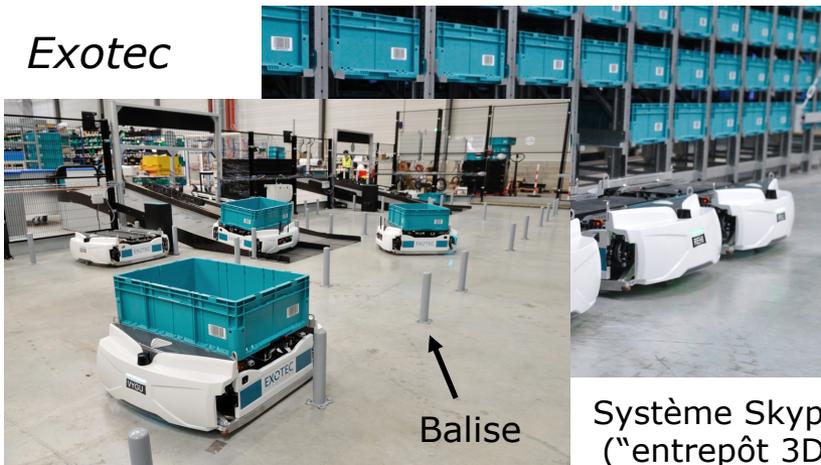


Automatisation des entrepôts

Amazon Robotics



Exotec



Système Skypod
("entrepôt 3D")

[Vidéo](#)



Omron



Fetch Robotics
(FlexShelf)

Automatisation des entrepôts

Boston Dynamics : robots Handle (2019, en haut) et Stretch (2024, en bas)



Vidéo



Corvus Robotics : Inventaire des entrepôts par drone (2021)



Vidéo

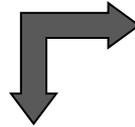


<https://verity.net>

Domaine agricole

Robot Oz de *Naïo Technologies*

- Désherbage automatique
- Transport de matériel agricole



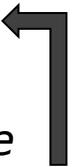
Husky de *Clearpath Robotics*

- Arrosage de vignes (Californie)



Titan de *FarmWise*

- Surveillance de récolte



Domaine agricole



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

- Labourage, semis



Système autonome
(drones + véhicule à
roues) de *Tevel* (Israël)

- Cueillette automatique
de fruits (pommes)



AG-272 de *Hylio*

- Drone pour la dispersion
des pesticides

Autres applications

- **Le service**

- Médecine
 - Pilules robotiques
- Aide aux personnes à mobilité réduite ou âgées (fauteuil roulant intelligent)
- Robot facteur
- Robot policier



Drone Swiss Post (2018)
de *Matternet*



PostBot (2018)
Deutsche Post, Dresde

Projets U.E. Interreg
COALAS/ADAPT
(2012-2021)



<http://sssa.bioroboticsinstitute.it>

Caméra
panoramique



Robot policier (2019)
de *Knightscope*



Livraison
de repas →



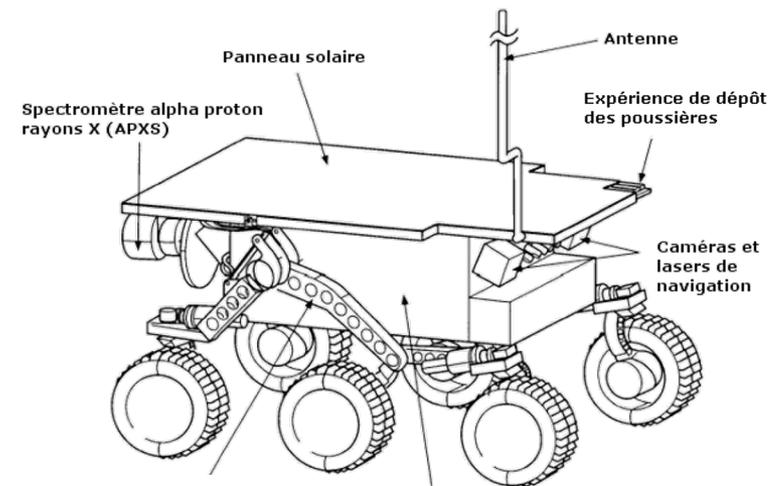
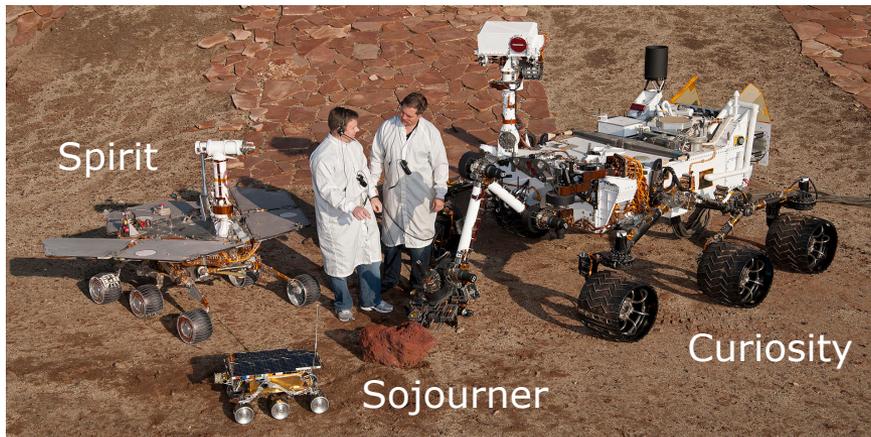
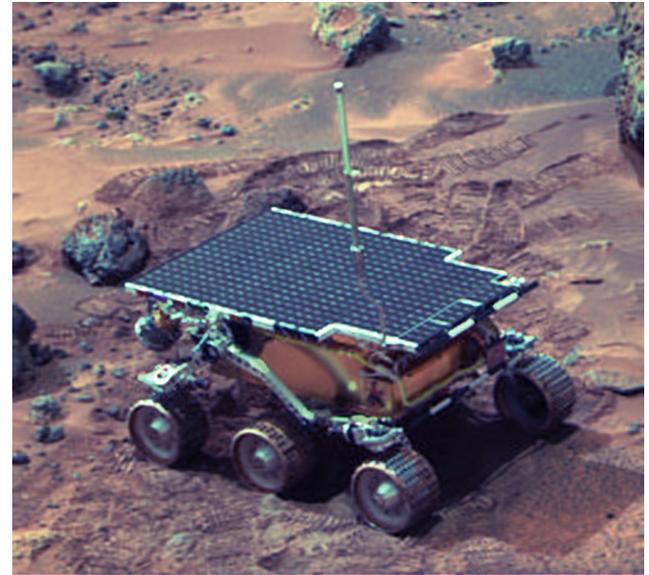
Ottobot : Aéroport
de Pittsburgh (2023)



Uber Eats :
Tokyo (2024)

Systemes et locomotions

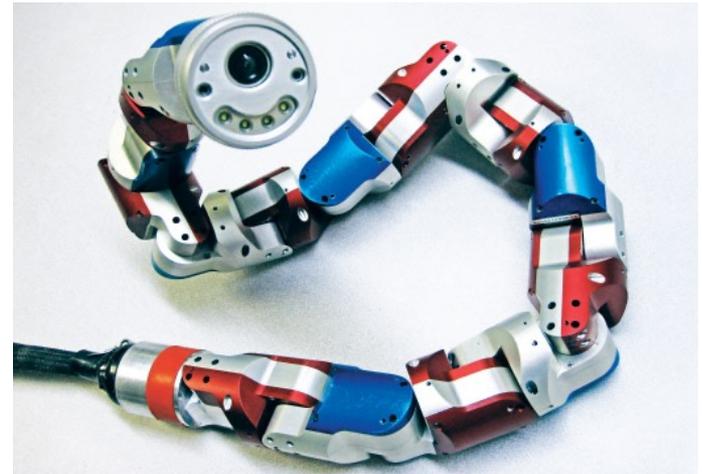
- *Environnement hostile*
 - Locomotion non conventionnelle
 - Rovers NASA sur Mars
 - Sojourner (1997)
 - Spirit et Opportunity (2004)
 - Curiosity (2012)
 - Perseverance & Ingenuity (2020)
 - Téléopérés depuis la Terre, mais détection automatique des obstacles



Suspension de type **rocker-bogie**

Systemes et locomotions

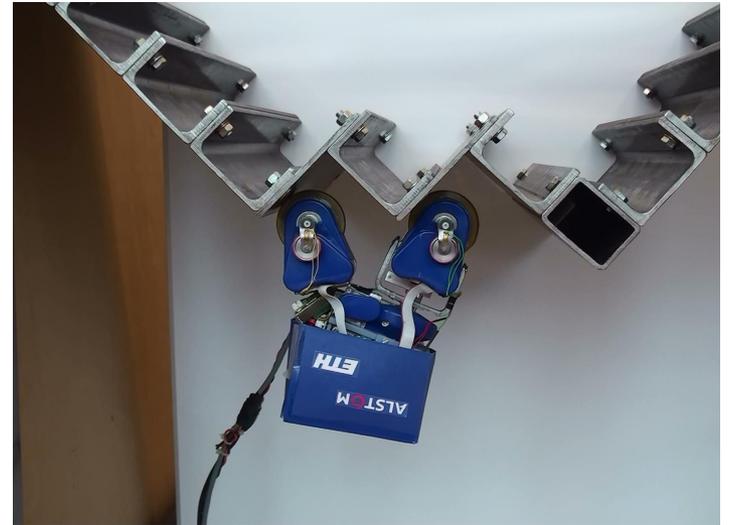
- *Robot rampant (ou continuum)*
 - Inspiration : locomotion des serpents
 - Modulaires et flexibles
 - Déplacement sur tous les terrains (insertion dans des passages étroits)
 - Idéal pour missions de sauvetage
- *Robot chenillé*



Snakebot, Carnegie Mellon University

Systemes et locomotions

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



[Vidéo](#)

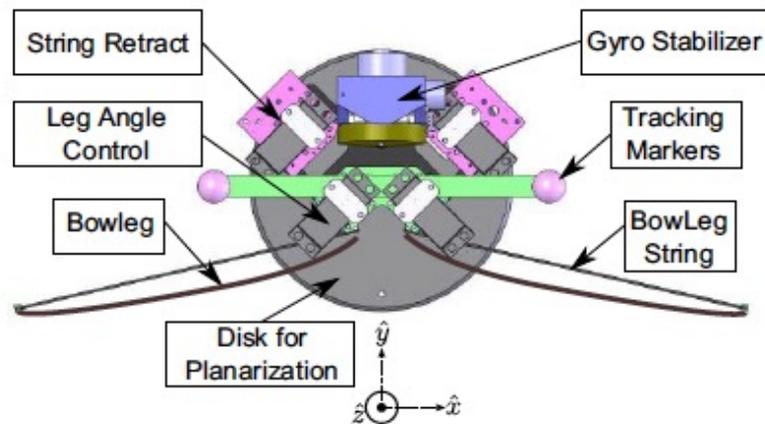
- Gibbot (NxR lab, Northwestern University)
 - Robot « singe »
 - Brachiation
 - Deux extrémités magnétiques
 - Déplacement sur des parois métalliques



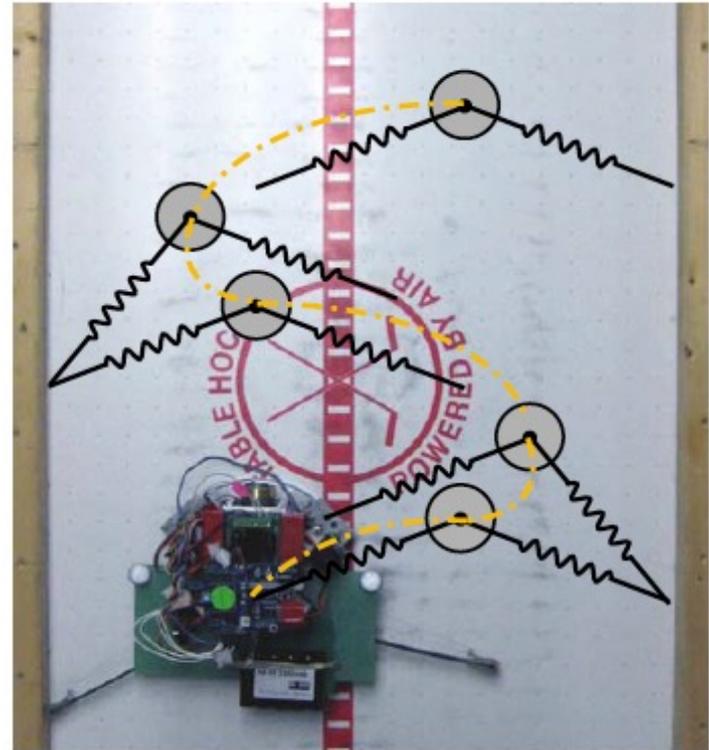
[Vidéo](#)

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.)

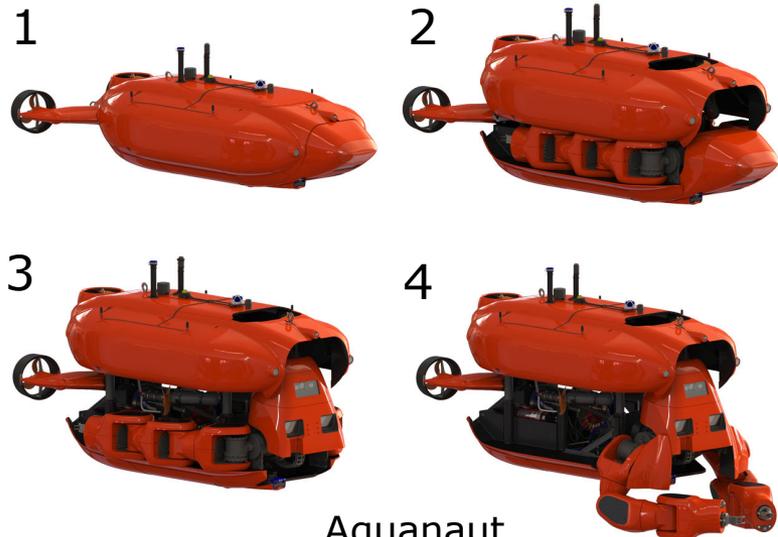
Applications :

- 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>

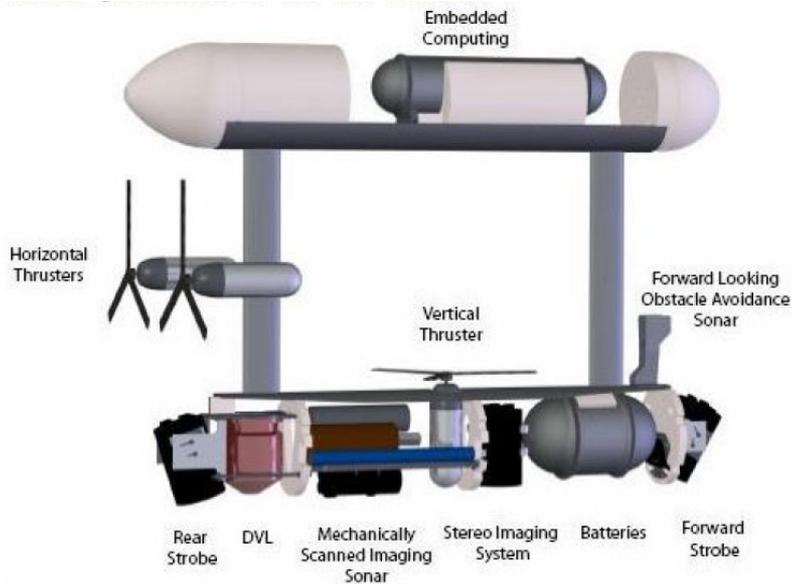
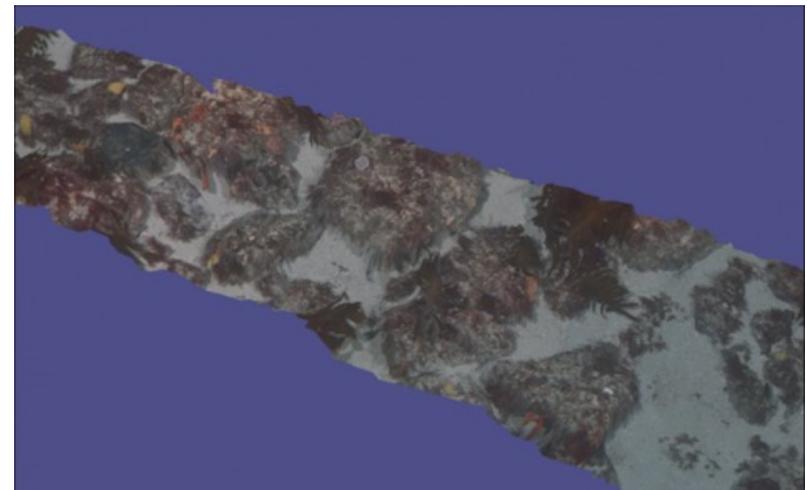


Aquanaut

Systemes et locomotions

Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

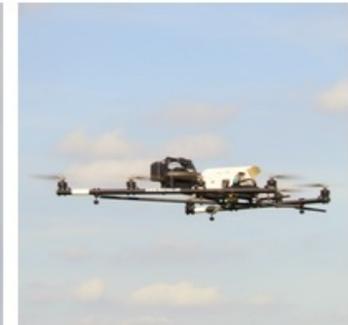
- Sirius (University of Sydney)
 - Cartographie 3D des fonds marins
 - Assemblage d'images stéréo (mosaïque)



Systemes et locomotions

Les drones

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

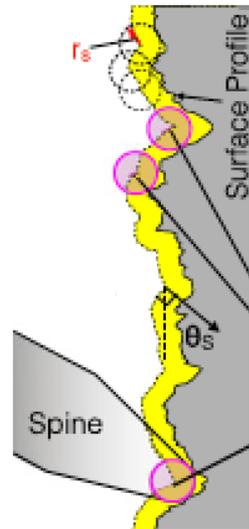
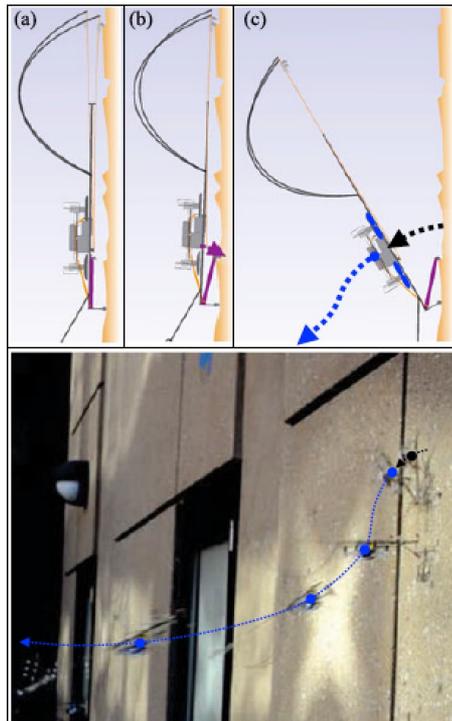


Firefly de AscTec

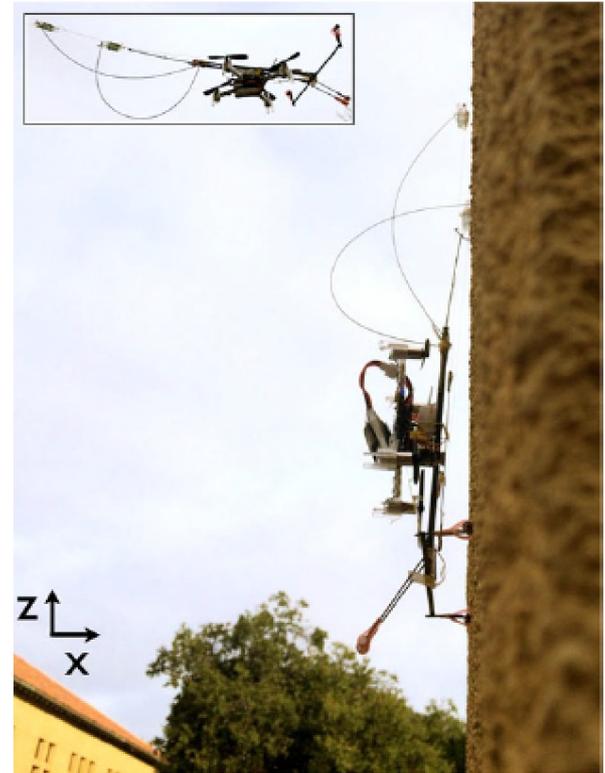
Phantom 4 de DJI

Systemes et locomotions

- SCAMP (« **S**tanford **C**limbing and **A**erial **M**aneuvering **P**latform»)◦ **Robot multi-modal** ou **hybride** qui peut:
 - Voler (comme un quadrirotor)
 - Se percher avec un systeme passif
 - Grimper sur des surfaces verticales
 - Decoller a 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

Systèmes biomimétiques

• Volatiloïde

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



Festo

[Vidéo](#) [Vidéo](#)

[Vidéo](#)



AeroVironment

[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

- Systèmes, locomotions, applications

Partie 2

- Marché mondial et besoins technologiques

Partie 3

- Effecteurs et actionneurs

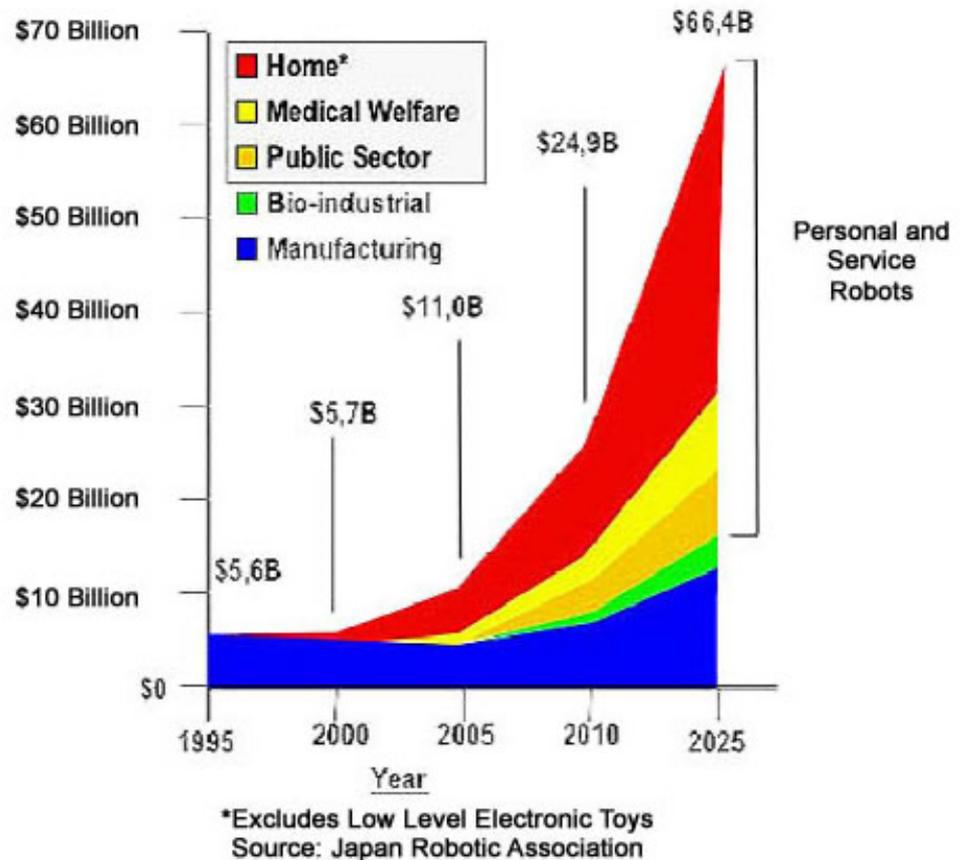
Partie 4

- 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\$, (+30%) en 2023
- Le chiffre d'affaires pour la **robotique médicale** a augmenté de 28% en 2019 (de 36% en 2023), qui correspond à 47% du 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*
(Taux de Croissance Annuel Composé)



Plate-formes pour la recherche et l'enseignement

1. E-puck
 2. Khepera III
 3. Koala 2.5
- } EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne
(*K-Team Corporation*)
4. LoCoBot de *Interbotix* (Create3 de *iRobot*, camera RGB-D, LIDAR 2D, manipulateur à 4 DDL) : Compatibilité avec ROS 2
 5. Husky
- } *Clearpath Robotics*
(*Rockwell Automation*)
6. AmigoBot
 7. Seekur Jr
- } *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 d'outils (drivers, algorithmes, etc.) pour développer des applications robotiques ("middleware")
- ROS (2007), ROS 2 (2022). *Open source* : <http://wiki.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



CoppeliaSim
from the creators of V-REP

Vidéo

- *Matlab*

- *Robotics System Toolbox* de MathWorks (à partir de R2015b)
- Basée sur la *Robotics Toolbox* de Peter Corke (à partir de 1996)
 - *Gratuit*: <https://petercorke.com/toolboxes/robotics-toolbox>

