

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

CM, TD: Lundi et Mardi 13h30-16h00, salle CURI 8

TP: Lundi 13h30-16h30, salle TP204

AU 2025-2026



Electronique

Energie Electrique

Automatique



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]

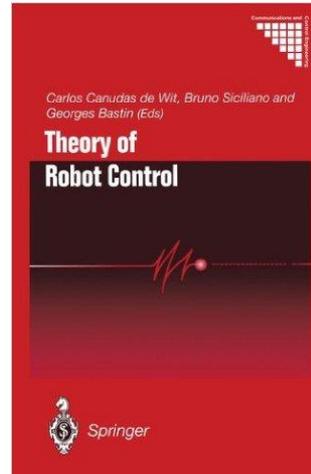
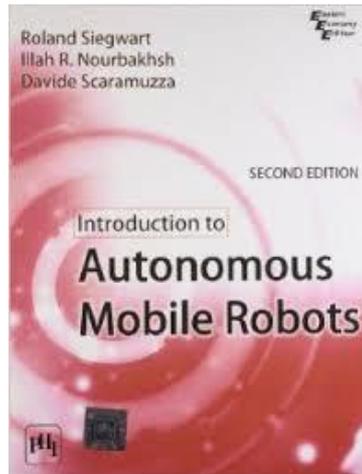
- ***Theory of Robot Control***

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

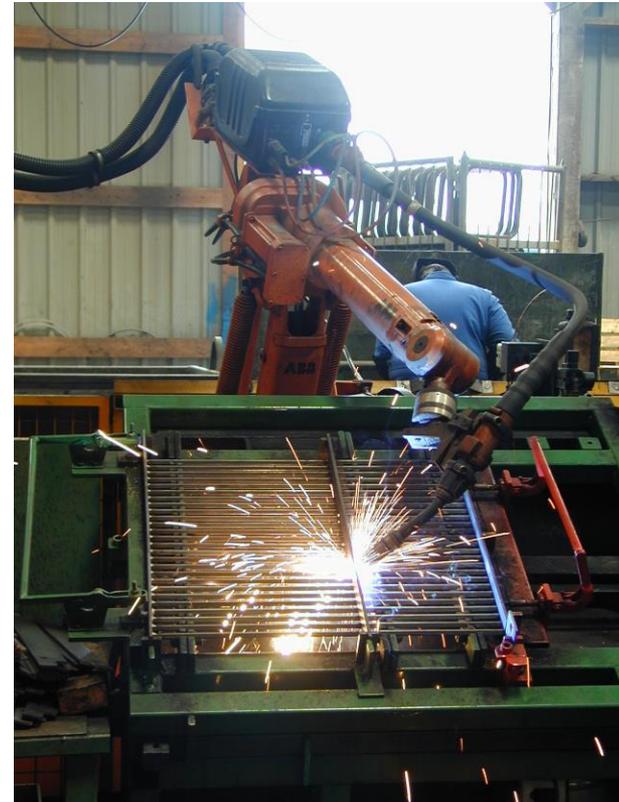
Dynamique, Incertain !

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)

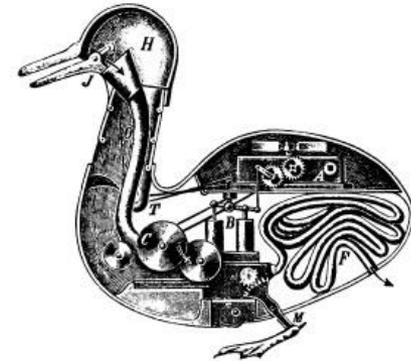
- Mécanismes de locomotion complexes



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)

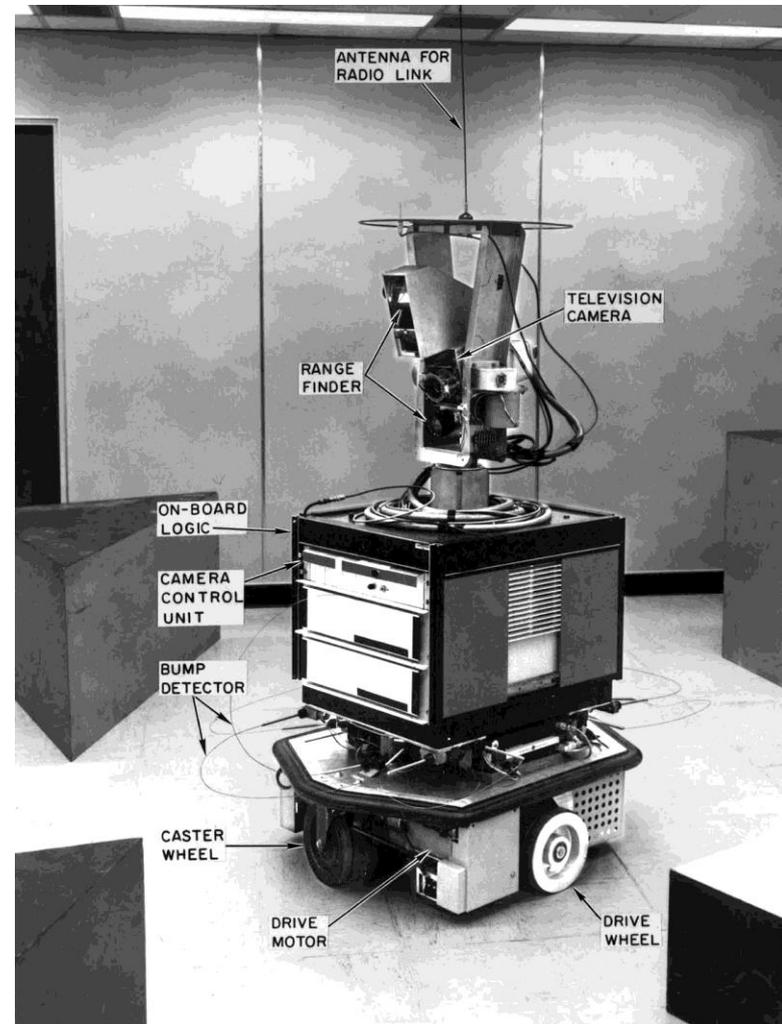
Navire télécommandé

Madison Square Garden, New York,
Electrical Exhibition



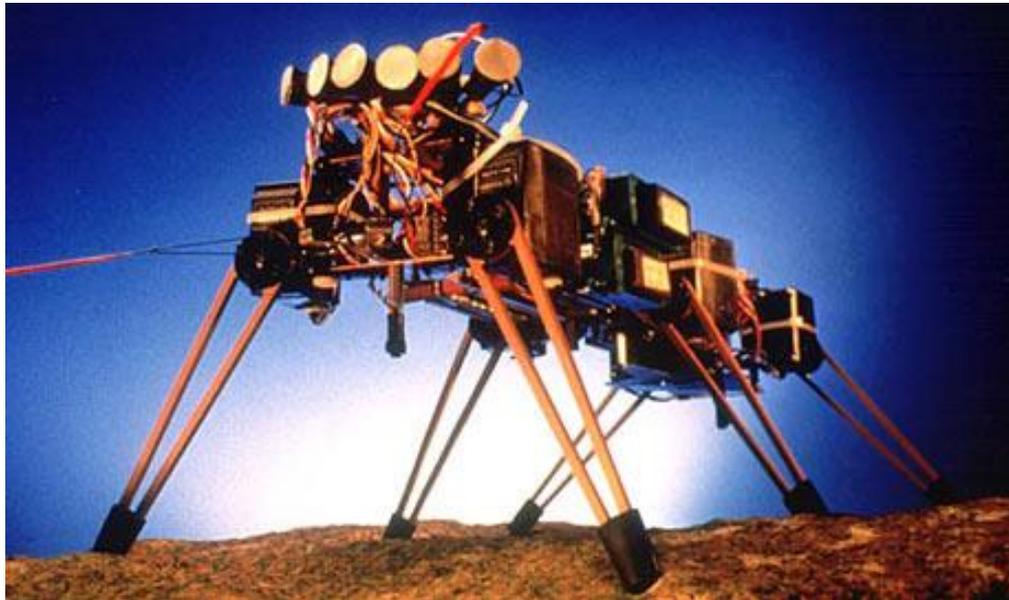
« **Shakey** » Stanford Research Institute (1966)

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



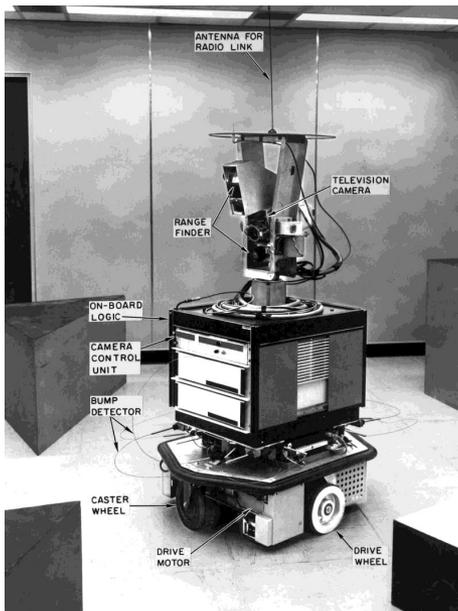
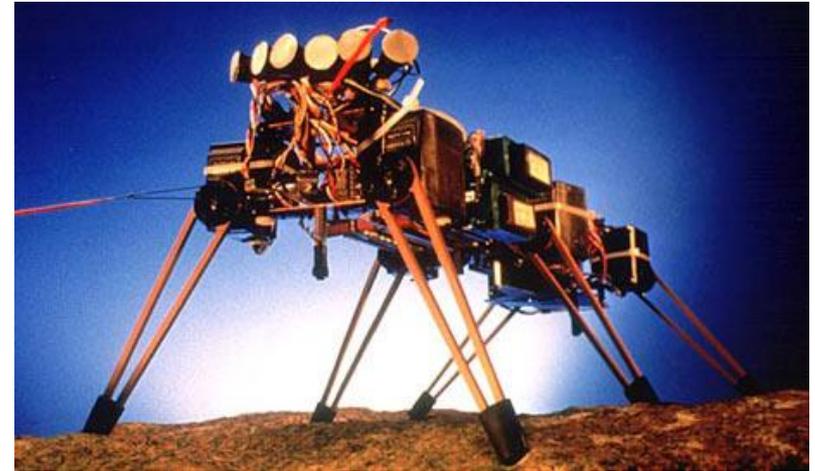
« **Genghis** » MIT (1988)

- 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)

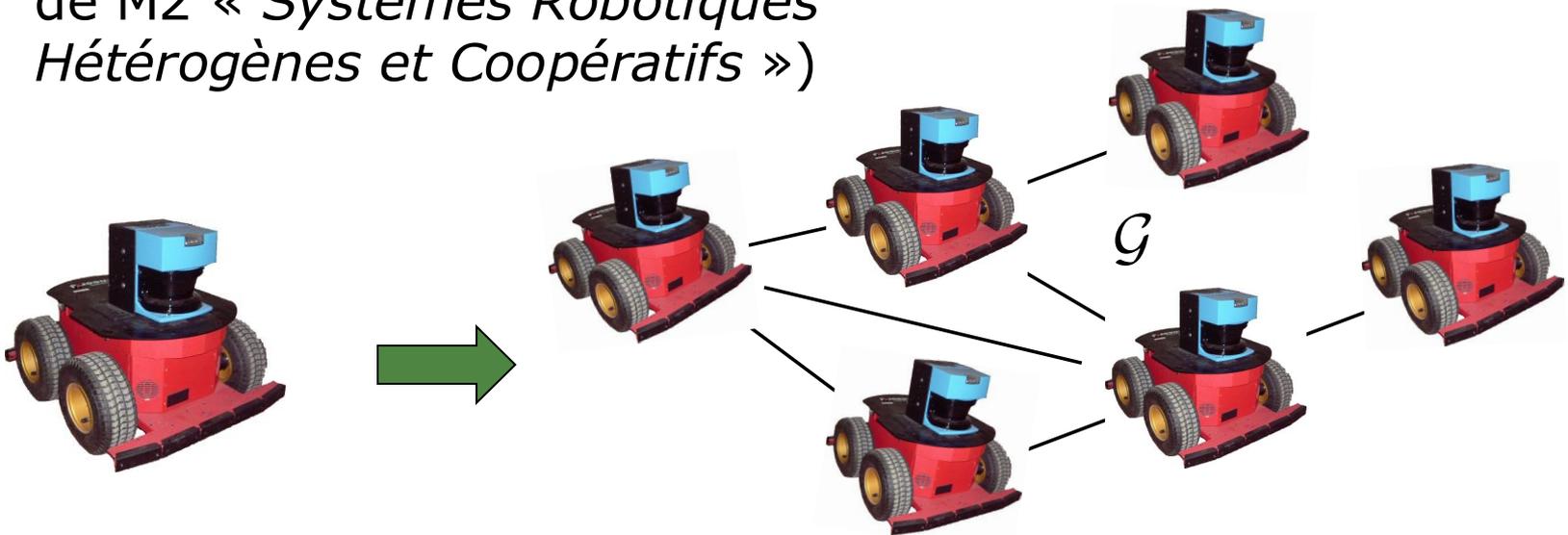
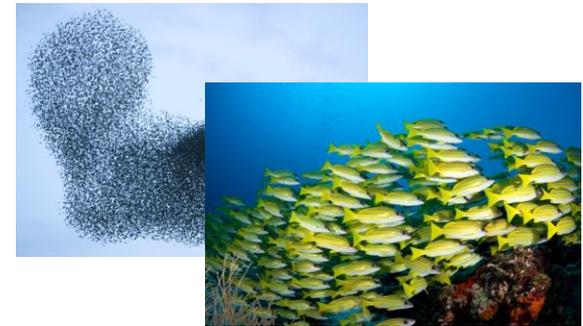
Deux paradigmes différents



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 « *Systemes 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

- **Les milieux hostiles**

- 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



Drone utilisé dans la guerre en Ukraine (2022-)

Nettoyage

- Robot40 de *Cleanfix*
 - Nettoyage de gymnases
 - Navigation basée sonars et capteurs IR
- VC-RE70V de *Samsung*
 - Nettoyage de maisons
 - 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

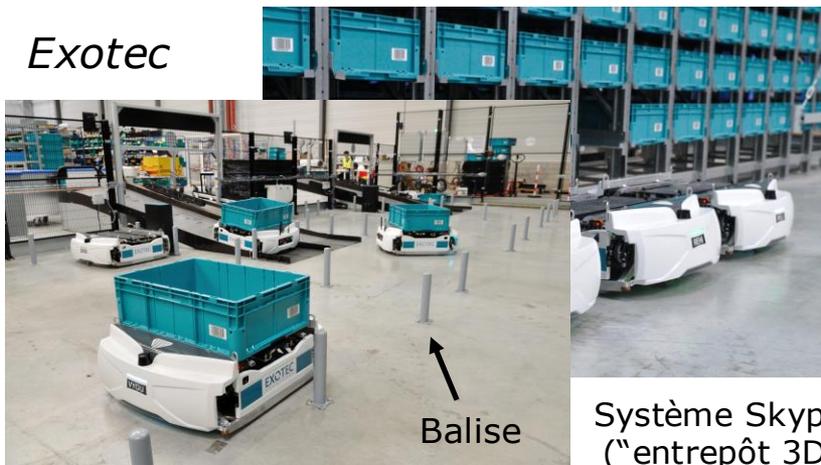


Automatisation des entrepôts

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



Automating
Inventory Tracking
in the Warehouse

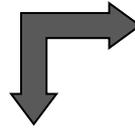
Whitepaper

<https://verity.net>

Domaine agricole

Robot Oz de *Naïo Technologies*

- Désherbage automatique
- Transport de matériel agricole



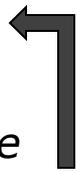
Husky de *Clearpath Robotics*

- 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 de
pesticides dans les champs

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)



Caméra
panoramique



<http://sssa.bioroboticsinstitute.it>

Robot policier (2019)
de *Knightscope*



Livraison
de repas →



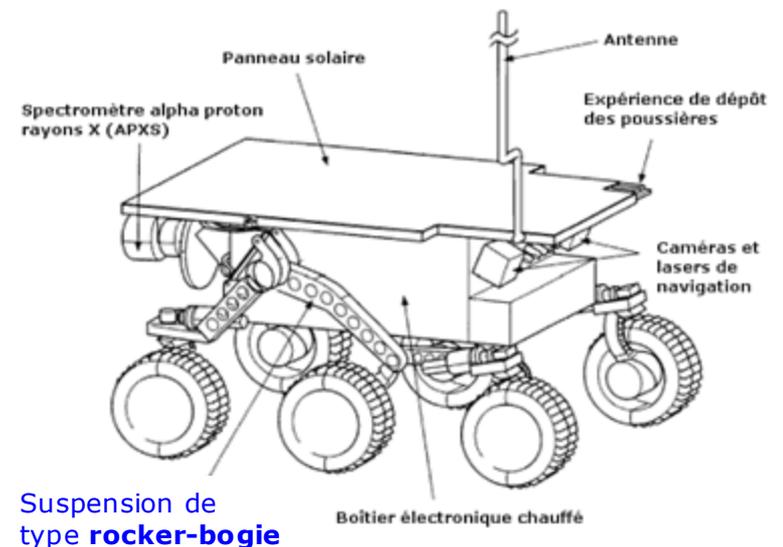
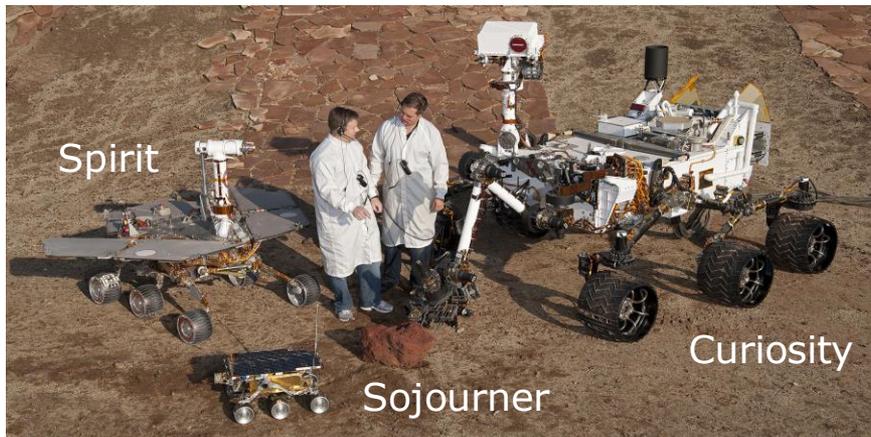
Ottobot : Aéroport
de Pittsburgh (2023)



Uber Eats :
Tokyo (2024)

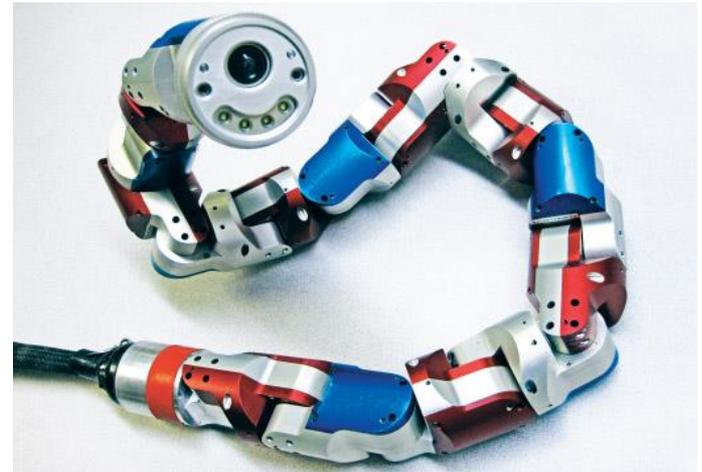
Systemes et locomotions

- *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



Systemes et locomotions

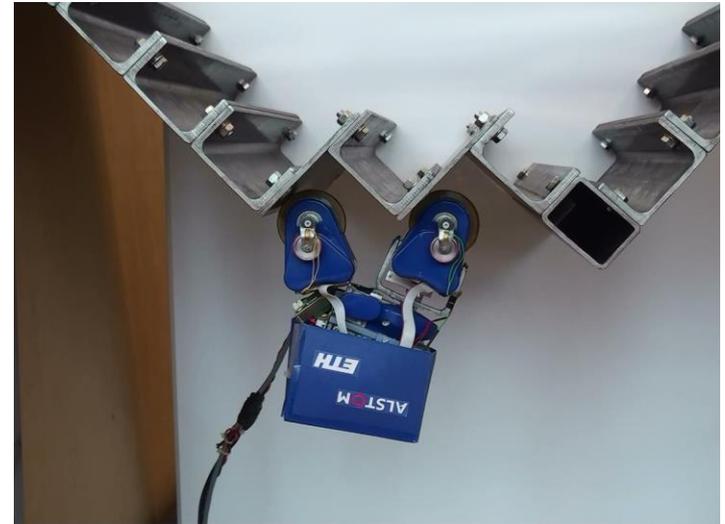
- *Robot rampant (ou continuum)*
 - Inspiration : locomotion des serpents
 - Modulaires et flexibles
 - Déplacement sur tous les terrains (insertion dans des passages étroits)
 - Idéal pour missions de sauvetage
- *Robot chenillé*



Snakebot, Carnegie Mellon University

Systemes et locomotions

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



[Vidéo](#)

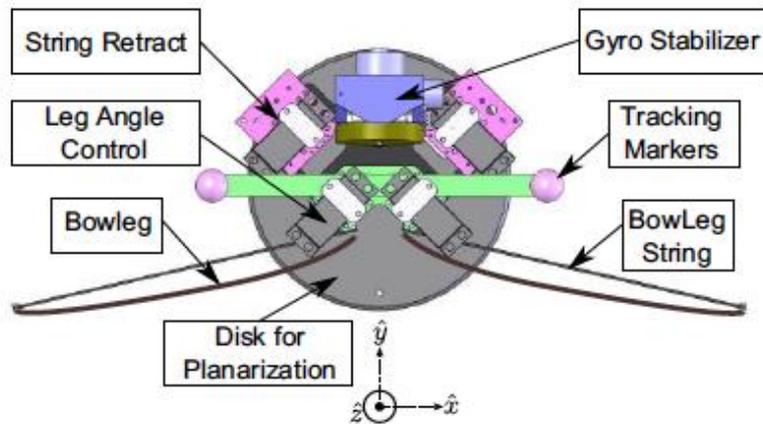
- Gibbot (NxR lab, Northwestern University)
 - Robot « singe »
 - Brachiation
 - Deux extrémités magnétiques
 - Déplacement sur des parois métalliques



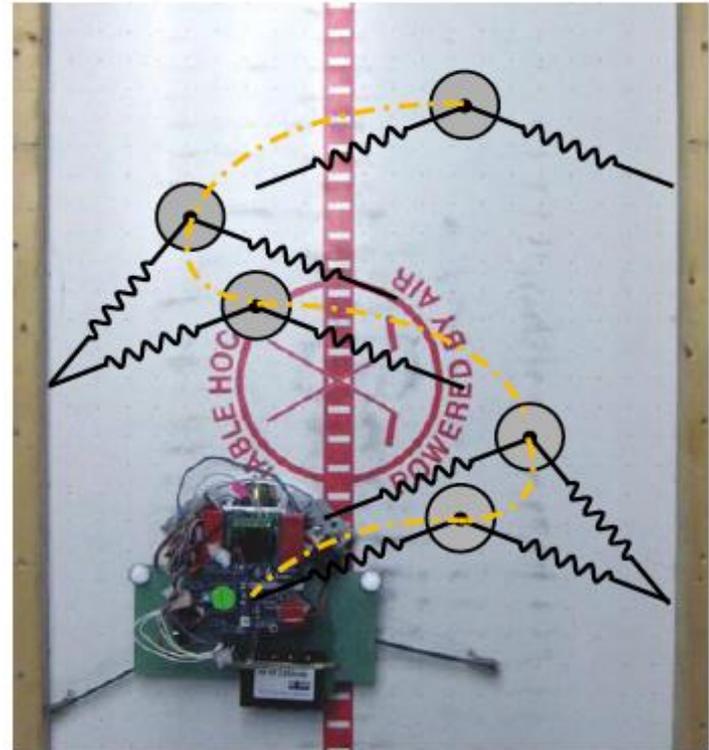
[Vidéo](#)

Systemes et locomotions

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



[Vidéo](#)



Systemes et locomotions

- Astrobees (NASA, 2019)
 - Systeme Astrobees : 3 robots à forme de cube (*Honey, Queen et Bumble*)
 - Propulsion: ventilateurs électriques. Les robots volent librement dans l'environnement en microgravité de l'ISS
 - Caméras et d'autres capteurs pour la navigation. Bras pour s'ancrer aux rambardes de l'ISS (afin de conserver l'énergie) ou pour saisir des objets



L'astronaute Anne McClain with Bumble dans l'ISS

www.nasa.gov/astrobee



Int-Ball2
(Japan
Aerospace
eXploration
Agency –
JAXA, 2025)



Systemes et locomotions

Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

- Ocean One (Stanford Robotics Lab)
- Aquanaut (Houston Mechatronics Inc.)

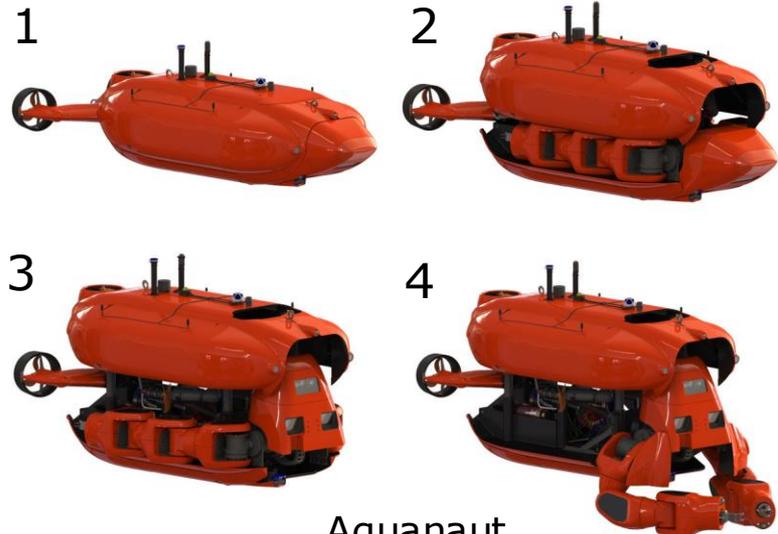
Applications :

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



Ocean One

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

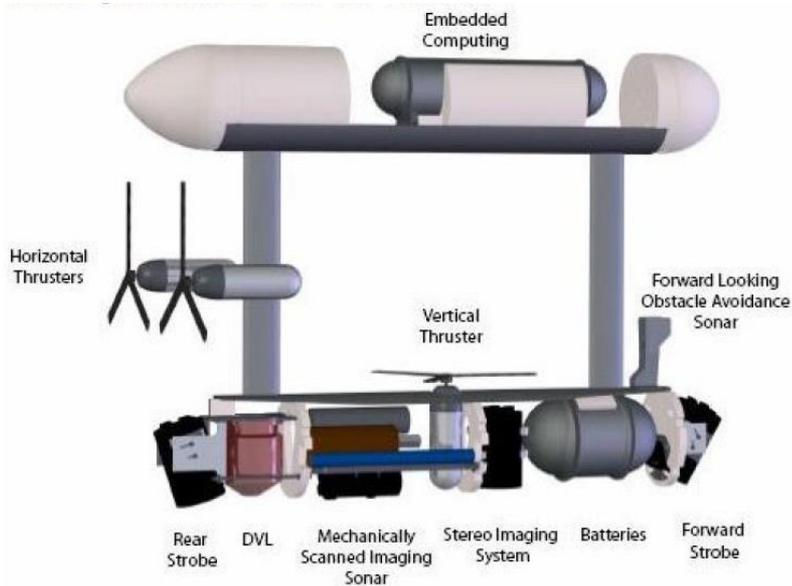
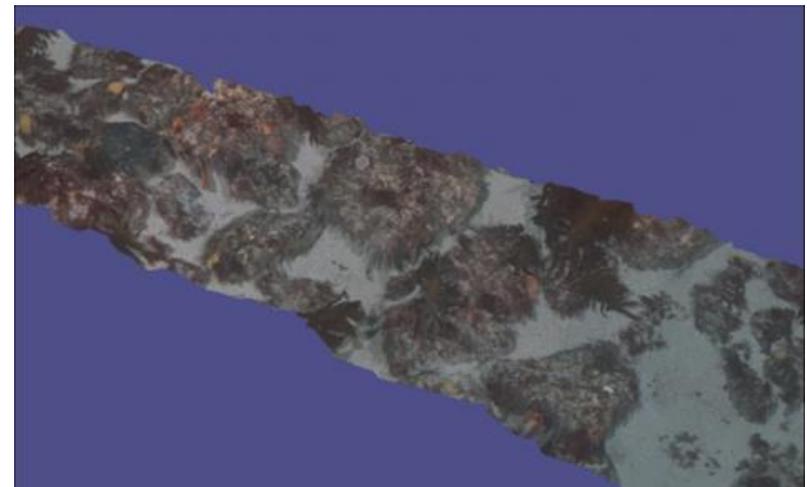


Aquanaut

Systemes et locomotions

Vehicules Autonomes Sous-marins (AUVs)

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

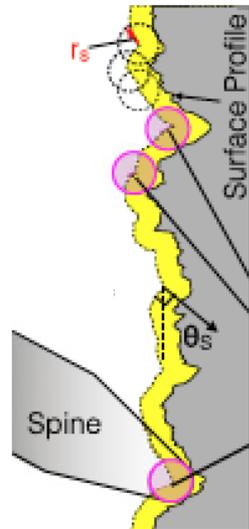
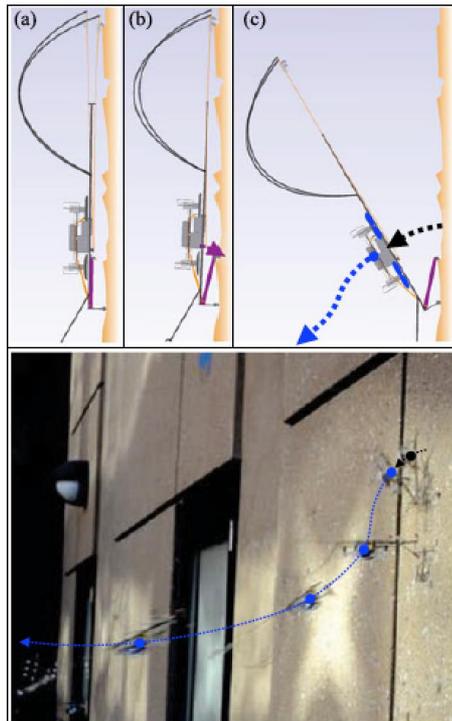


Firefly de AscTec

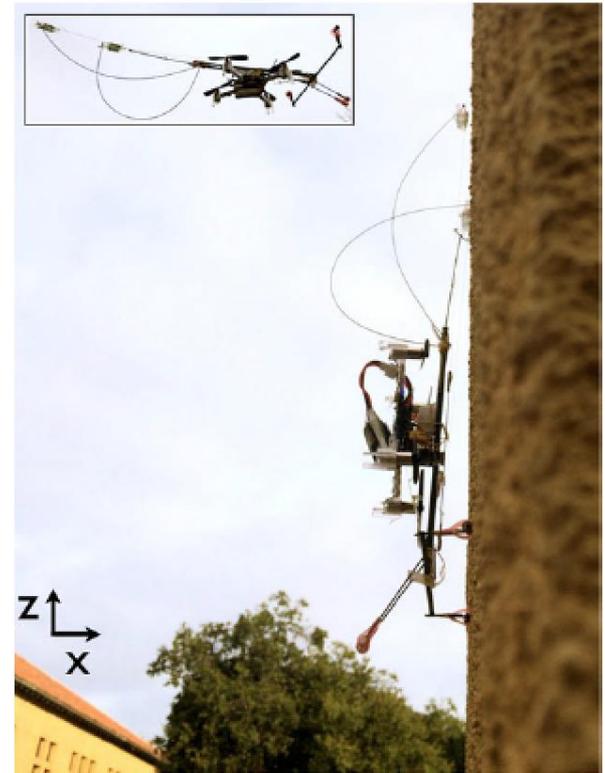
Phantom 4 de DJI

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, BionicOpter, BionicBee de *Festo*
- Nano Hummingbird de *AeroVironment*



[Vidéo](#) [Vidéo](#)

[Vidéo](#)



[Vidéo](#)

• Poissonoïde

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



• Insectoïde

- Genghis

• Plantoïde

- Projet U.E. (2012-15)
 - « 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

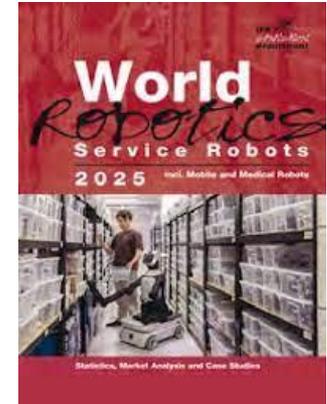
- Robots mobiles à jambes, à roues et aériens

Partie 5

Marché mondial 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 et +9% en 2024
 - Le chiffre d'affaires pour la **robotique médicale** a augmenté de 28% en 2019 (de 36% en 2023 et de 91% en 2024), qui correspondait 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 2025: Service Robots (<https://ifr.org>)

Marché mondial des robots*

Robots de service

- Robots de service pour les **professionnels** (944 fabricants dans le monde en 2024) :
 - 2023: 537000 unités, +31% CAGR
 - 2024: 199000 unités, +9% CAGR
- Robots de service pour les **tâches domestiques/ménagères** :
 - 2023: 48.6 millions d'unités, +31% CAGR
 - 2024: 20.1 millions d'unités, +11% (+34% pour les robots aspirateurs)
- Robots de service pour les **loisirs** :
 - 2023: 6.7 millions d'unités, +10% CAGR
- Robots de service pour **l'agriculture** :
 - 2024: 19500 unités, -6% CAGR

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

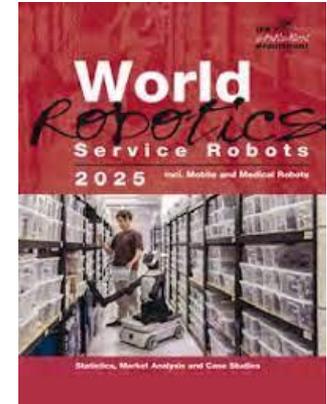


Plate-formes pour la recherche et l'enseignement

1. E-puck
 2. Khepera III
 3. Koala 2.5
 4. LoCoBot de *Interbotix* (Create3 de *iRobot*, camera RGB-D, LIDAR 2D, manipulateur à 4 DDL) : Compatibilité avec ROS 2
 5. Husky
 6. AmigoBot
 7. Seekur Jr
- EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne
(*K-Team Corporation*)
- Clearpath Robotics*
(*Rockwell Automation*)
- 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>

