

# Robotique Mobile

## 01 - Introduction

David Filliat

Alexandre Chapoutot

Goran Frehse

[prenom.nom@ensta-paris.fr](mailto:prenom.nom@ensta-paris.fr)

Machine équipée de capacités de *perception*, d'*action* et de *décision* qui lui permet d'agir de manière *autonome* dans son *environnement* en fonction de la perception qu'il en a et de ses objectifs.

## Machine physique

- Pas juste une simulation (contraint par la physique...)
- Capteurs / effecteurs... (bruit, problèmes d'observabilité...)
- Moyens de décisions : électronique, calculateurs (capacité limitée...)

## Machine autonome

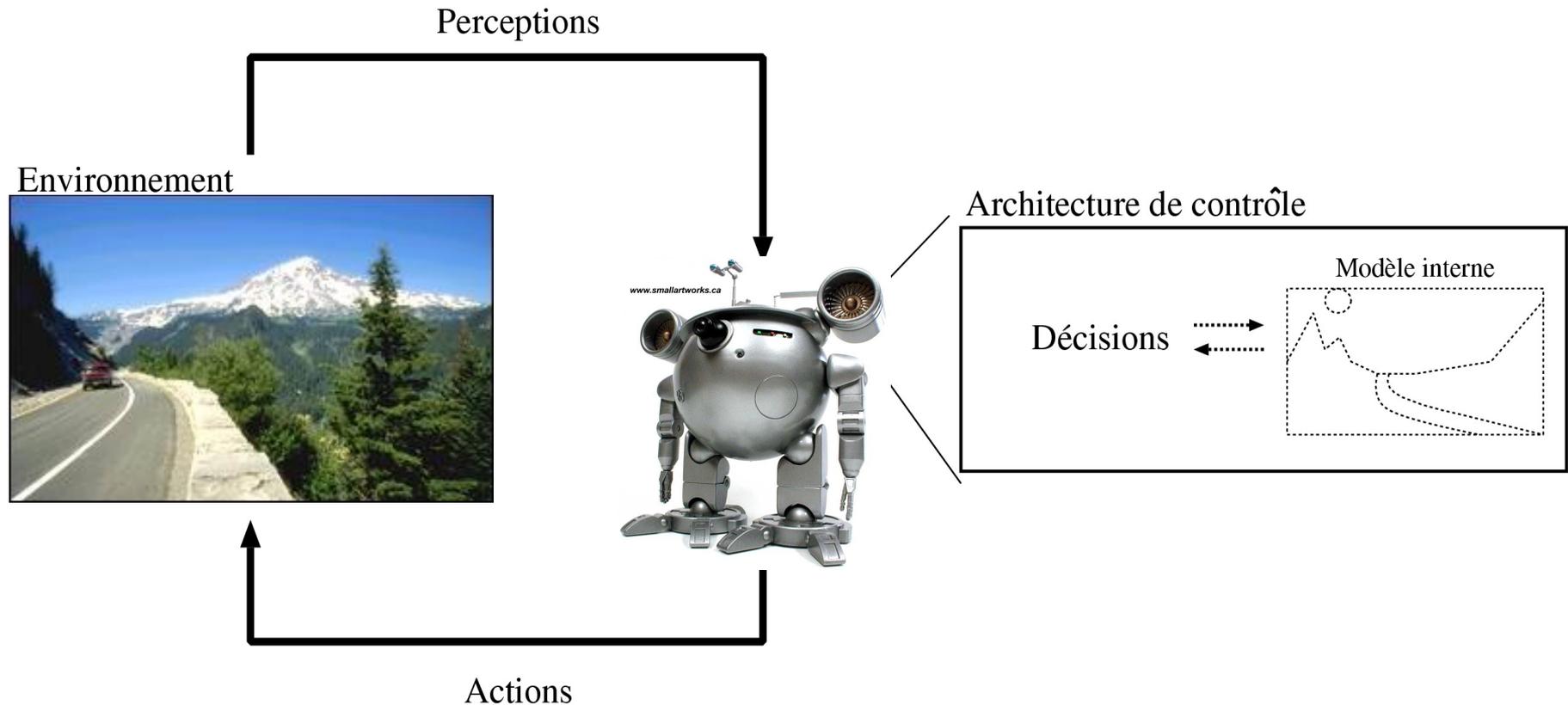
- Capacité à percevoir l'environnement de manière subjective
- Adapter son comportement en fonction des perceptions

## Confronté au vaste monde

- Problème de la navigation (Où suis-je ? Où aller ? Comment y aller ? )
- Environnement inconnu, varié, changeant

# Perception - Décision - Action

Un cycle au cœur de la robotique vue par l'intelligence artificielle



## Machine télécommandée

- Capacité d'**Action seule**
- En vue de l'opérateur qui assure perception et décision
- Vue objective

## Limitations

- Zone d'action limitée
- Danger pour l'opérateur



## Machine télé opérée

- **Perception - Action**
- L'opérateur assure la décision en utilisant les perceptions provenant de la machine
- Vue subjective



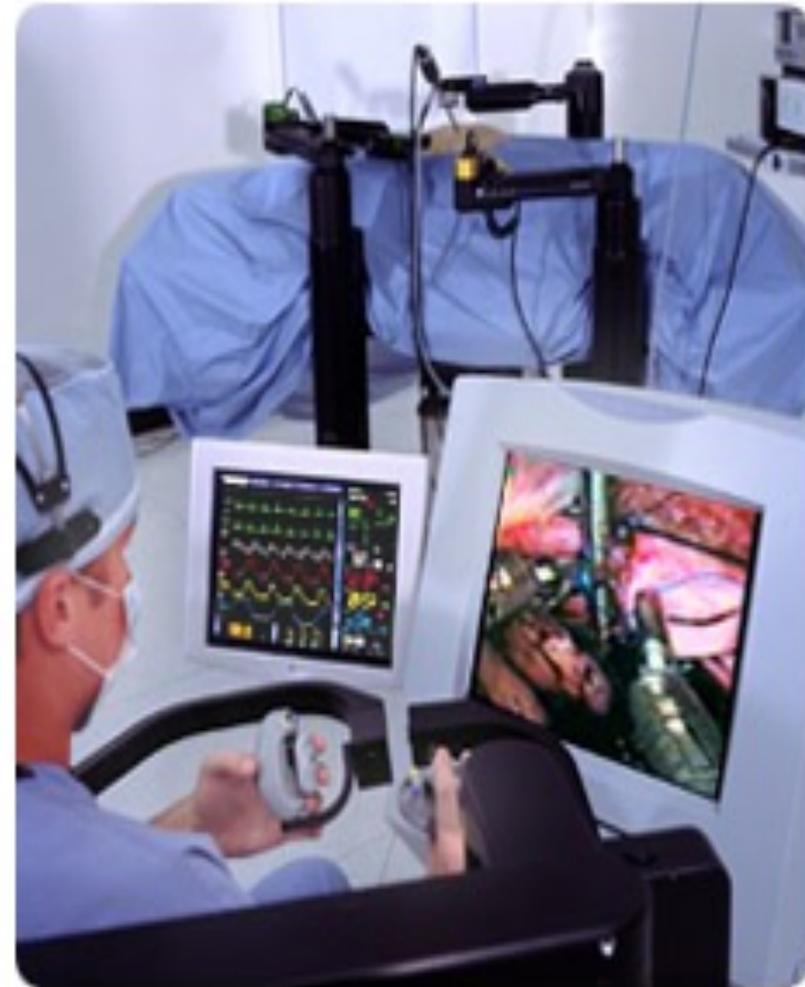
iRobot

## Avantages

- Tâches non structurées, non répétitives
- Manipulation précise (coordination œil-main)
- Analyse de la situation faite par l'opérateur

## Limitations:

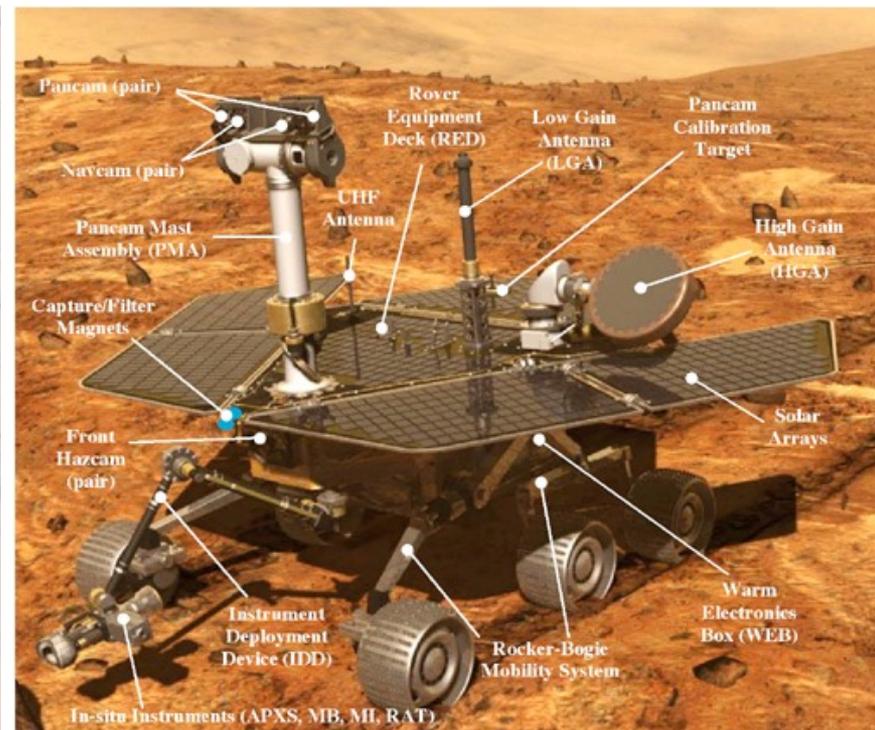
- Manque de retour sur la situation
- Manque de vue objective
- Problèmes de communication (délais, pertes, bande passante...)
- Besoin de nombreux opérateurs (par ex pour les drones)



Copyright Computermotion

## Robot

- Perception – Décision – Action
- Autonome ou semi-autonome
- Un opérateur peut intervenir dans le processus de décision



## Processus de décision

- Réaction aux événements imprévus
- Localisation, navigation
- Représentation du monde
- Planification
- Apprentissage
- Vision
- ...

## Différents modes d'intervention de l'opérateur

- Supervision par l'opérateur
  - Lancement d'actions
  - Arrêt d'actions
  - Réalisation par l'opérateur d'actions trop complexes
- Initiative partagée
  - Lancement ou arrêt d'actions par le robot et l'opérateur

## Niveaux d'autonomie des véhicules autonomes

- Définie par OICA (Organisation Int. des Constructeurs Automobiles)

### LES 6 NIVEAUX D'AUTONOMIE D'UN VÉHICULE

	ACCÉLÉRATION FREINAGE & VOLANT	SURVEILLANCE DE LA ROUTE	CONTRÔLE EN CAS DE PROBLÈME	QUELLES CONDITIONS
<b>Niveau 0</b>				
<b>Niveau 1</b>	 			Certaines routes
<b>Niveau 2</b>				Certaines routes
<b>Niveau 3</b>				Certaines routes
<b>Niveau 4</b>				Certaines routes
<b>Niveau 5</b>				Toutes les routes

## Introduction - En résumé

- Un robot est une machine embarquant des capacités de **Perception, Décision et Action**
- La partie décision peut prendre des formes très différentes, donnant des niveaux d'autonomie variés aux robots

# Robotique Mobile

## 02 – Bref aperçu historique

David Filliat

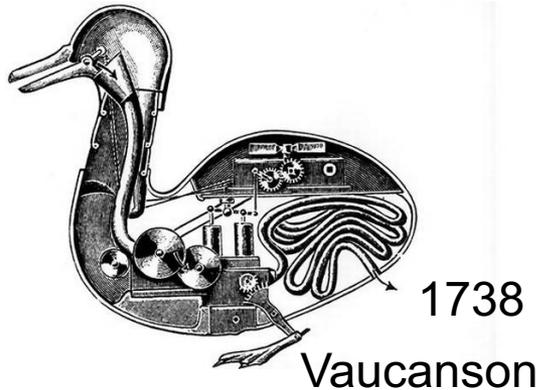
Alexandre Chapoutot

Goran Frehse

[prenom.nom@ensta-paris.fr](mailto:prenom.nom@ensta-paris.fr)

## Antiquité

- Gilgamesh, Talos, Golem...
- Automates ...



## Karel Capek

- ROSSUM Universal Robot
- Pièce de théâtre
- Invention du terme robot
- En fait des humains artificiels

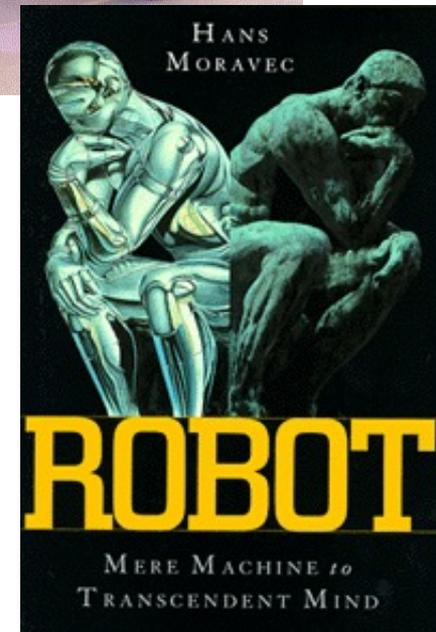
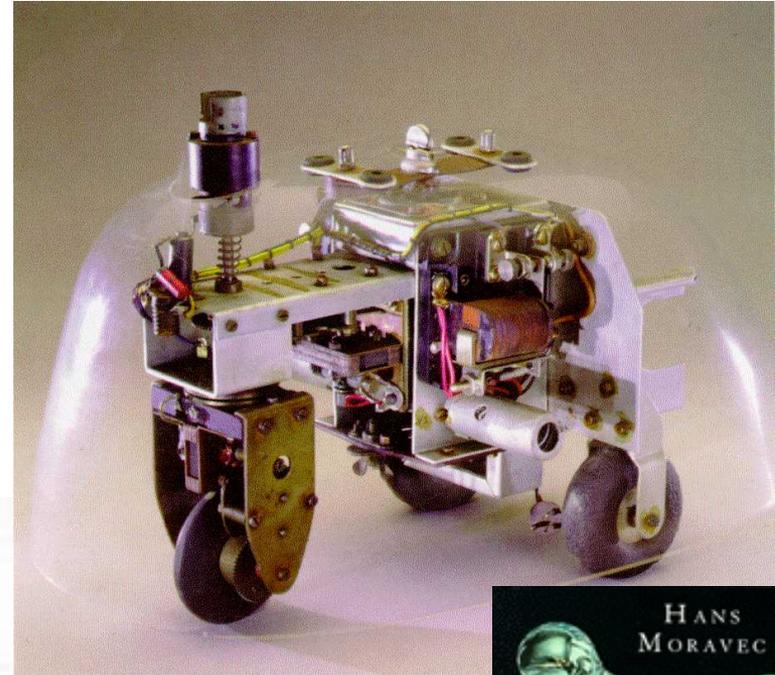


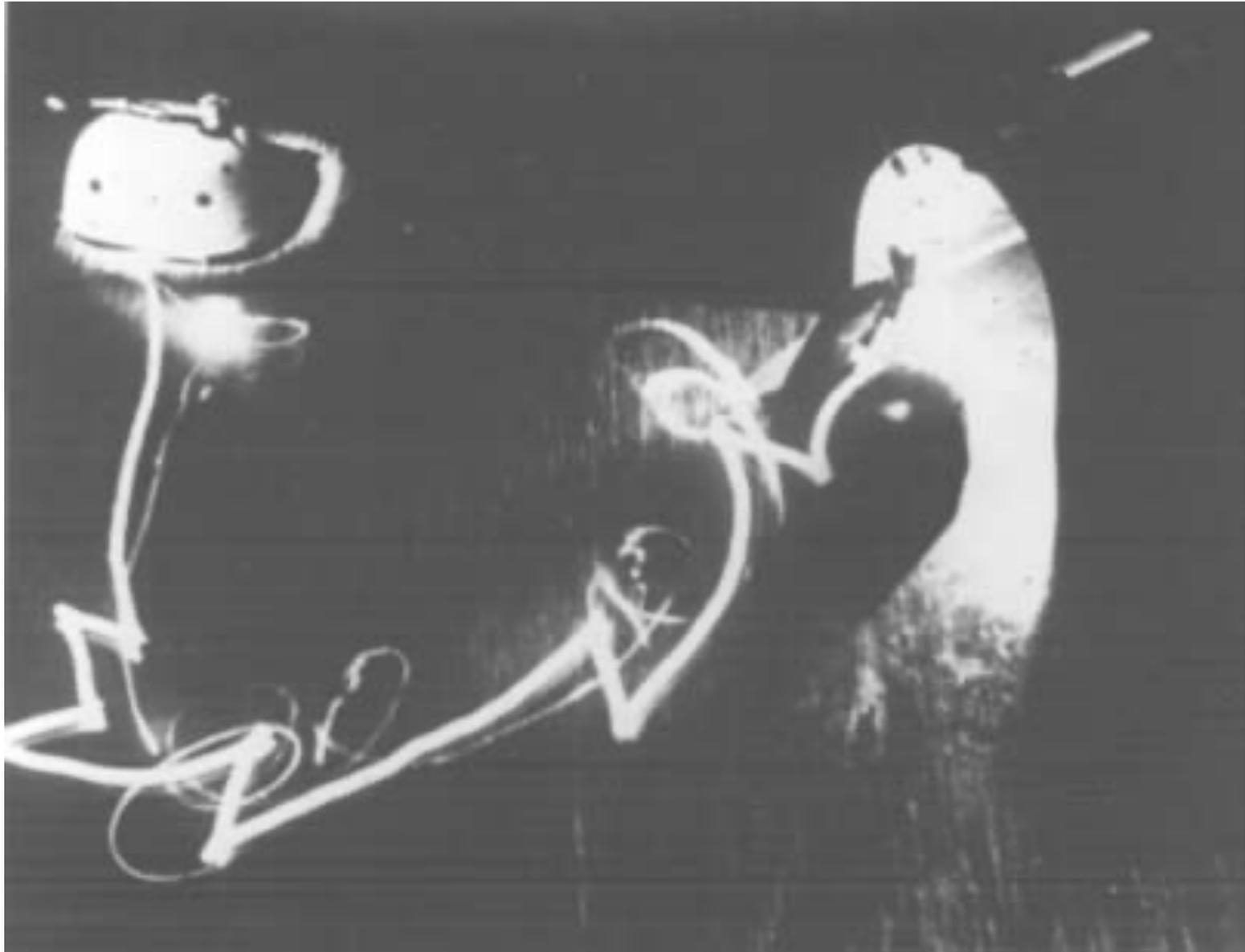
## Années 50

- Tortue de Grey Walter

## Elsie

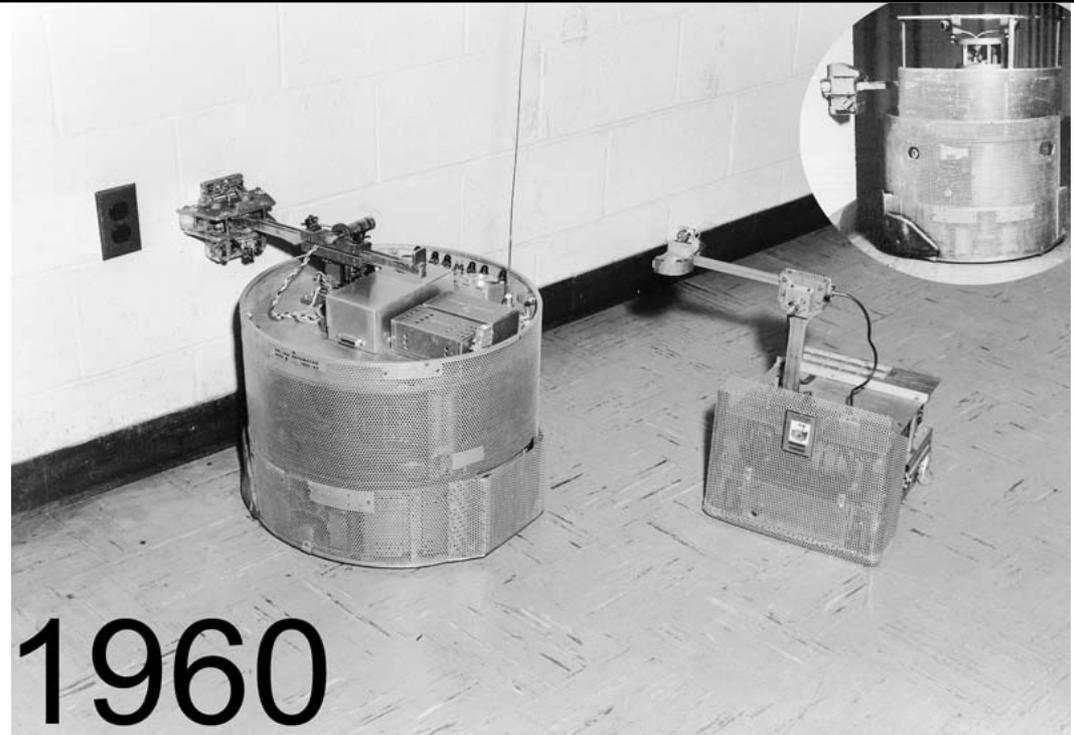
- Déplacement vers une lumière
- Arrêt sur des obstacles
- Utilise des lampes à vide





## Années 60

- John Hopkins University



## « Beast »

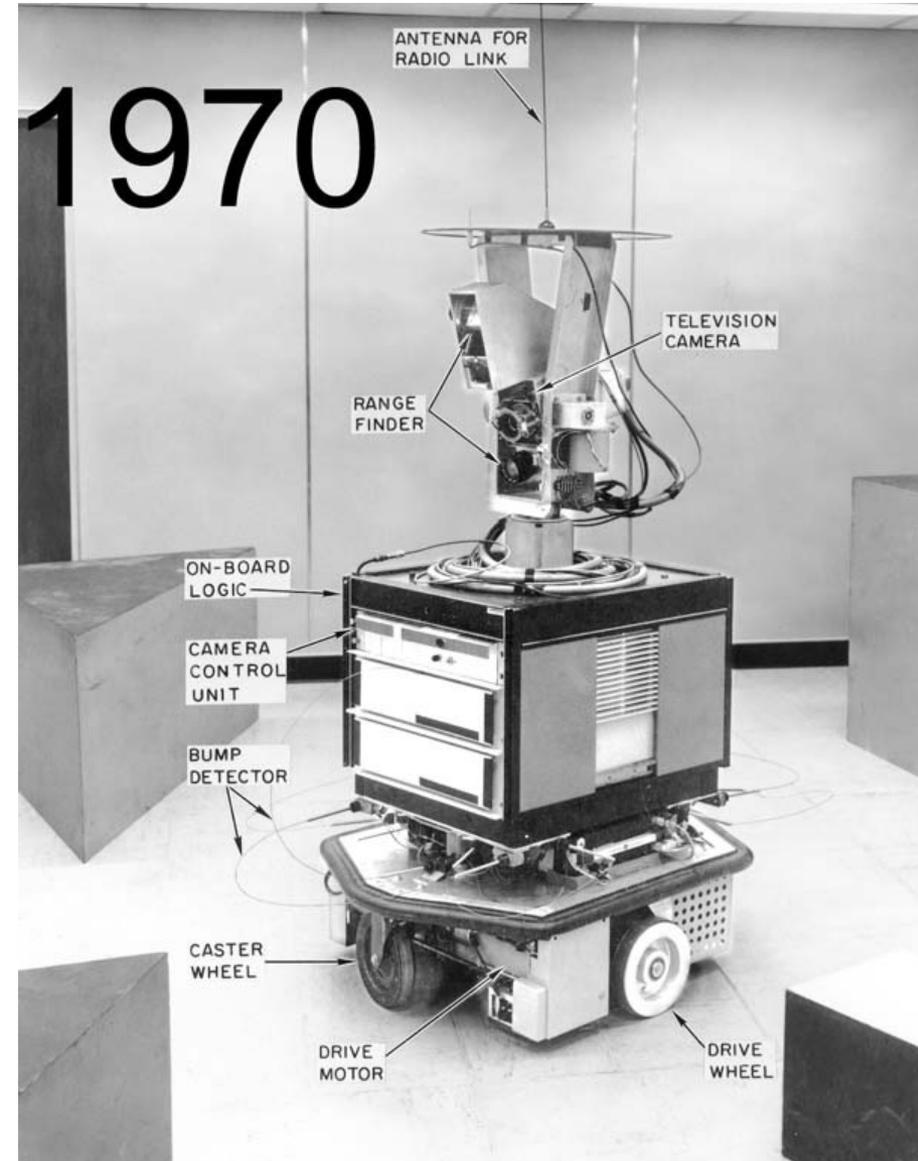
- Utilise des transistors
- Déplacement dans des couloirs blancs
- Centrage dans les couloirs (ultrasons)
- Recherche de prises noires (photodiodes)

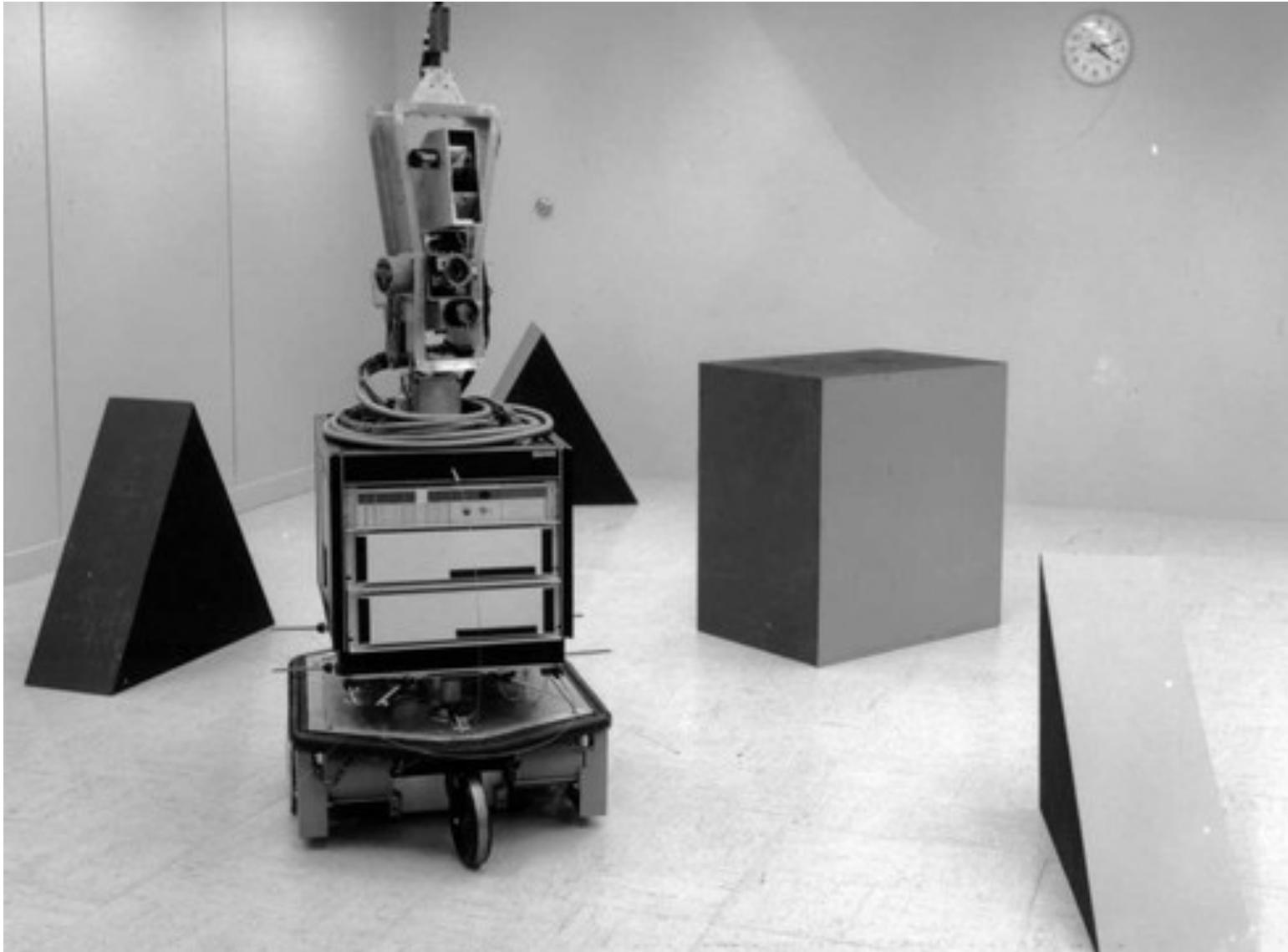
## Années 1970

- Stanford Research Institute

## Shakey

- Contrôlé par un ordinateur (gigantesque !)
- Utilise une caméra et un télémètre
- Application de l'intelligence artificielle symbolique
- Déplacements planifiés dans un monde de blocs





Shakey – SRI

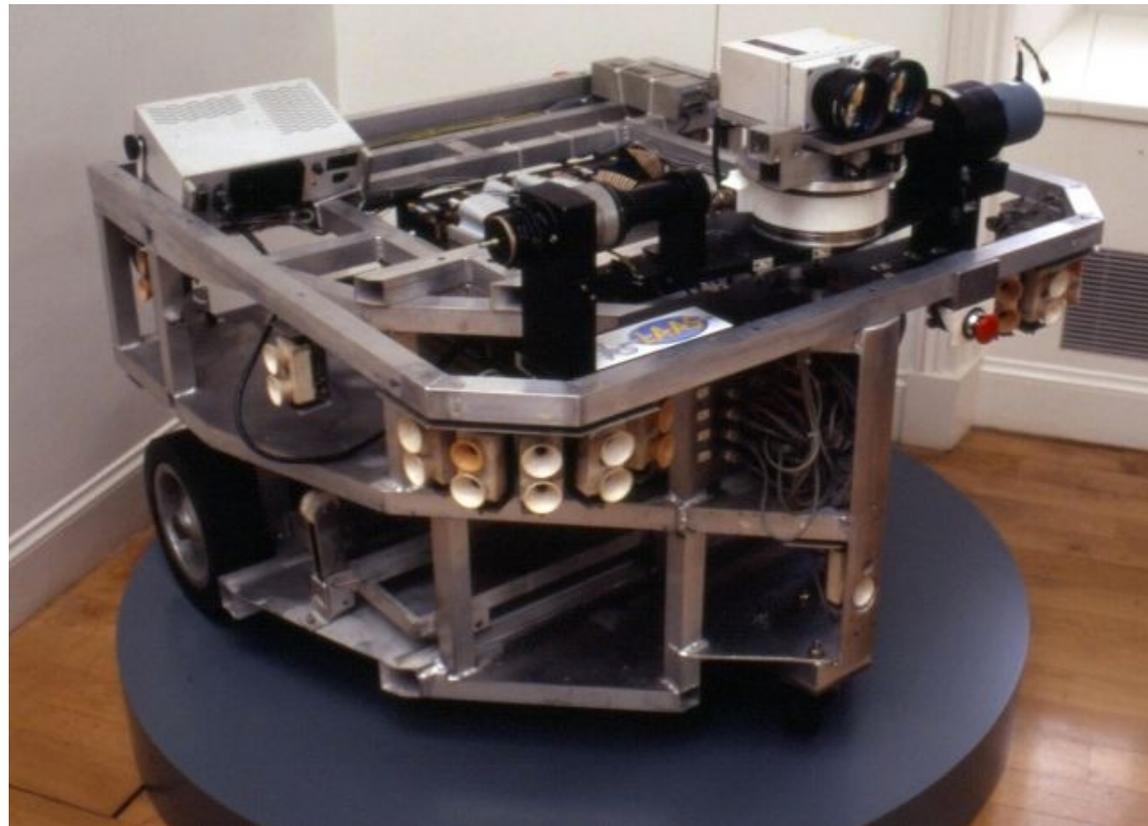
<https://www.youtube.com/watch?v=7bsEN8mwUB8>

## Années 1970

- LAAS (Toulouse)

## Hilare

- Caméra
- 16 télémètre ultrasons
- 1 télémètre laser
- Localisation, cartographie
- Planification

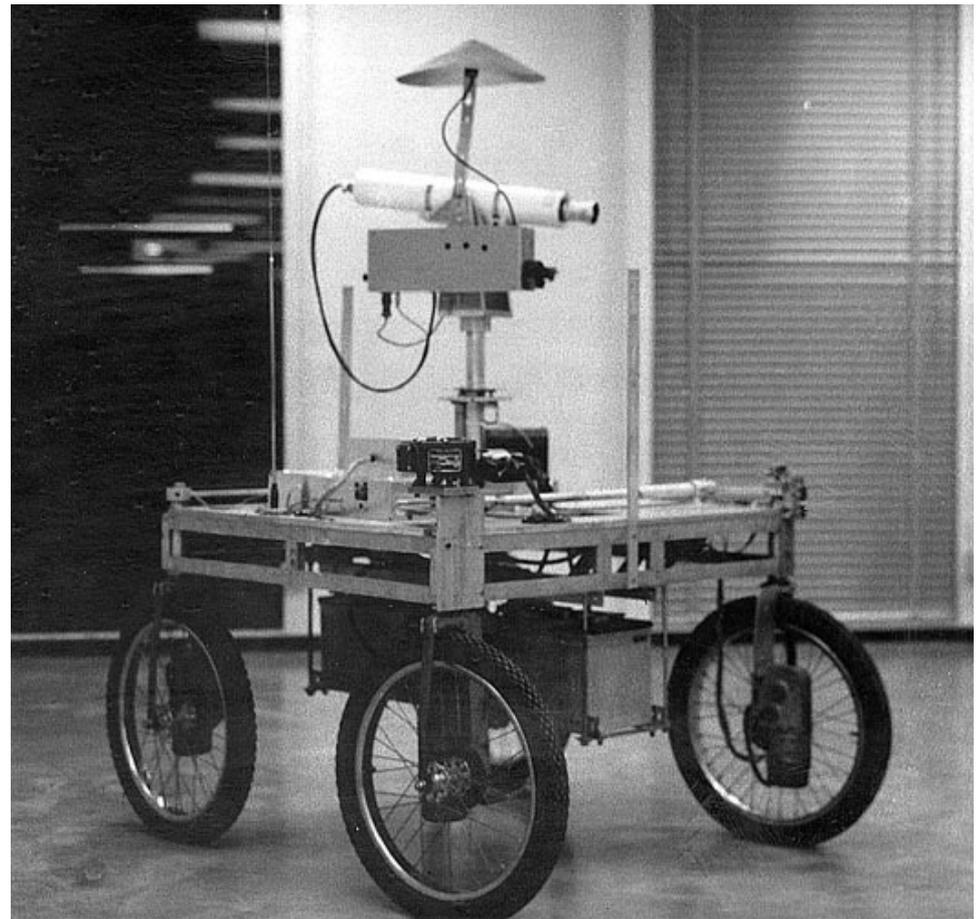


## Années 1980

- Stanford

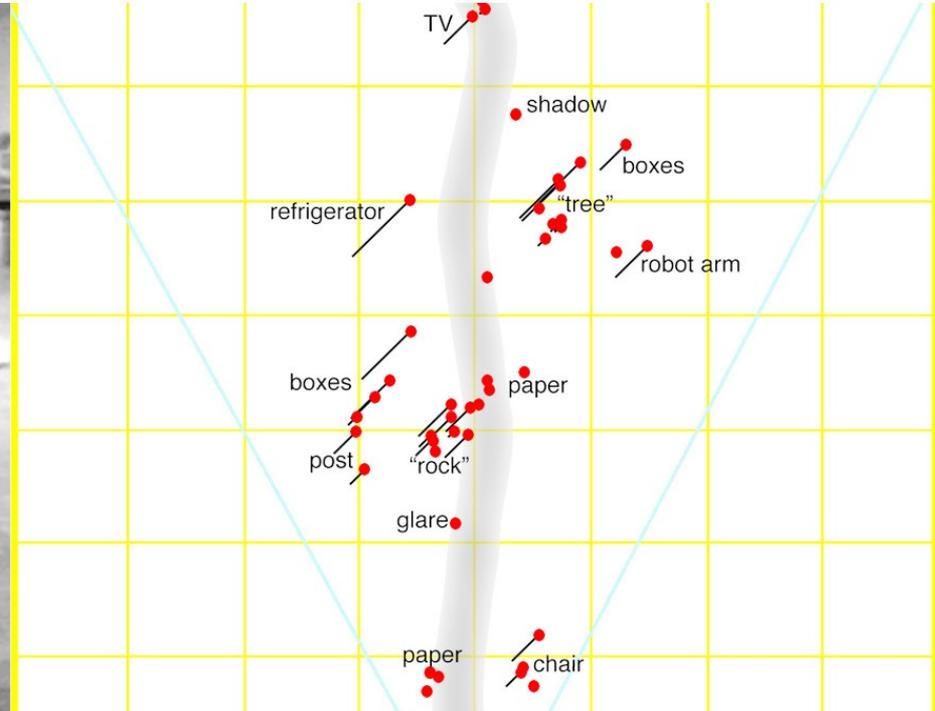
### « Cart »

- Contrôlé par un ordinateur (gigantesque !)
- Utilise une caméra pour suivre une ligne
- Caméras stéréo pour l'évitement d'obstacles









## NavLab

## Carnegie Mellon



- Suivi de route autonome
- Détection / évitement d'obstacles
- Vision, télémétrie laser
- ...



1986

-&gt;

1996

-&gt;

2007



## Années 1990

- Rodney Brooks
- Robotique réactive



## « Genghis »

- Robot simple, réactif, rapide
- A l'opposé de l'intelligence artificielle classique
- Très efficace en environnement inconnu



## Inspiration biologique

- Une idée ancienne

*Instead of trying to produce a program to simulate the adult mind, why not rather try to produce one which simulates the child's? If this were then subjected to an appropriate course of education, one would obtain the adult brain [...] Our hope is that there is so little mechanism in the child brain that something like it can be easily programmed.*

(Turing, 1950, "Computing Machinery and Intelligence")



Robotique Mobile

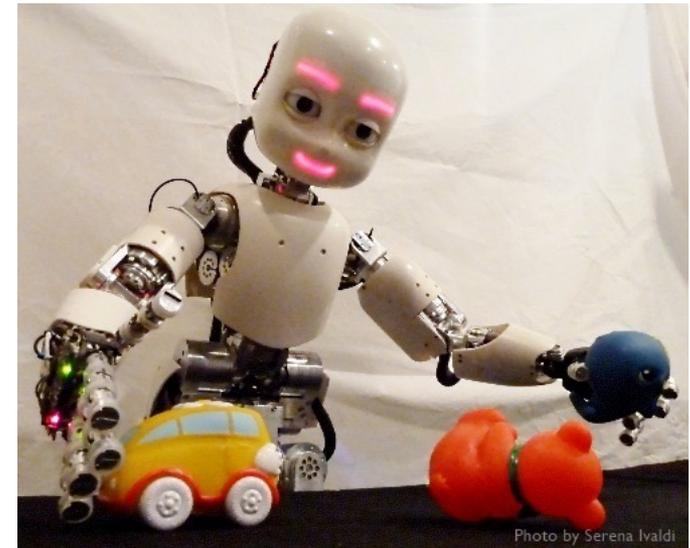


Photo by Serena Ivaldi

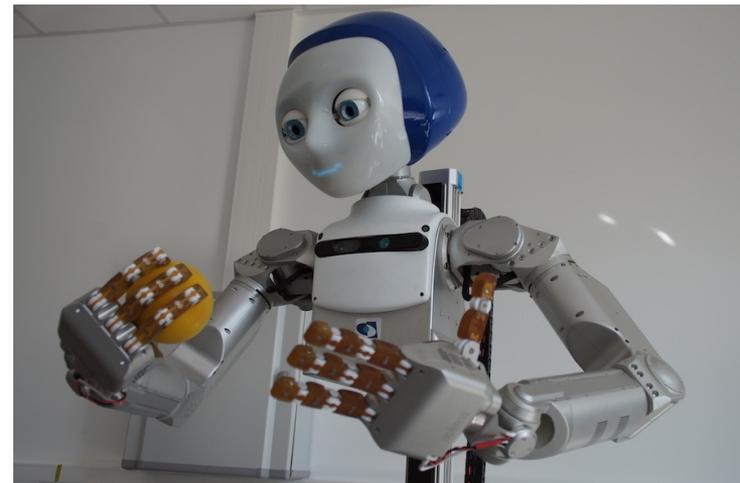
D. Filliat / A. Chapoutot / G. Frehse

## Pourquoi des robots ?

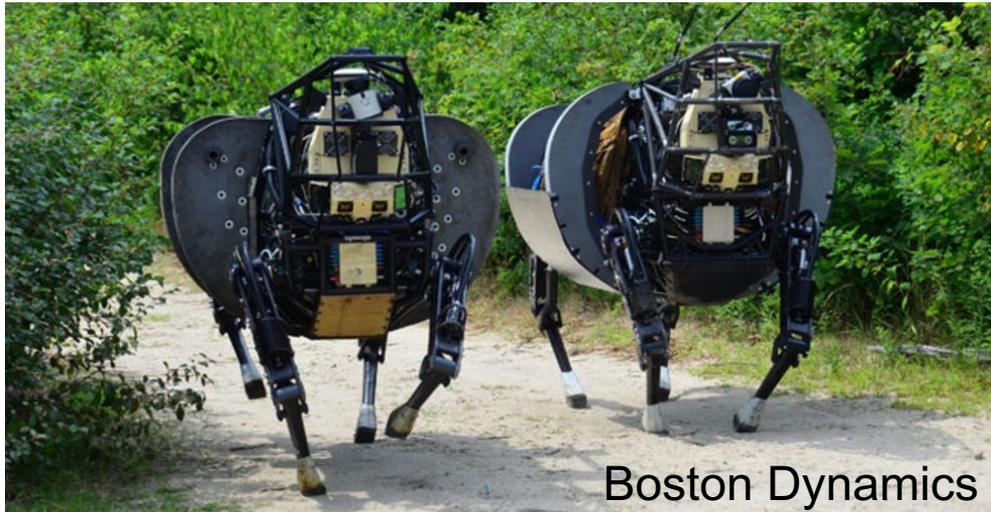
- 3 D's : tâches Dull, Dirty, Dangerous
  - Espace, volcans, antarctique
  - Militaire
  - Construction
  - Agriculture
  
- Mais aussi :
  - Ludique
  - Service
  - Assistance aux personnes
  - Conduite automatisée
  - ...

## Robots de recherche

- Navigation
- Perception
- Interaction Homme-Robot
- Mobilité
- Multi-Robot
- Apprentissage
- ...



# Robotique milieux hostile



# Robotique de service



Robotique Mobile



D. Filliat / A. Chapoutot / G. Frehse

# Robotique Ludique



Nao  
Softbank Robotics



LEGO Mindstorms



Bebop - Parrot



Aibo  
Sony

## Véhicules intelligents

- DARPA Grand Challenge (2002 / 2003)



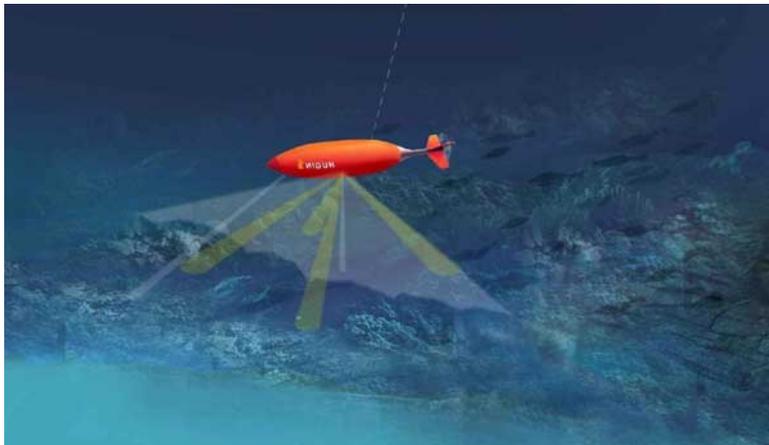
- Waymo / Tesla / ...



## Drones



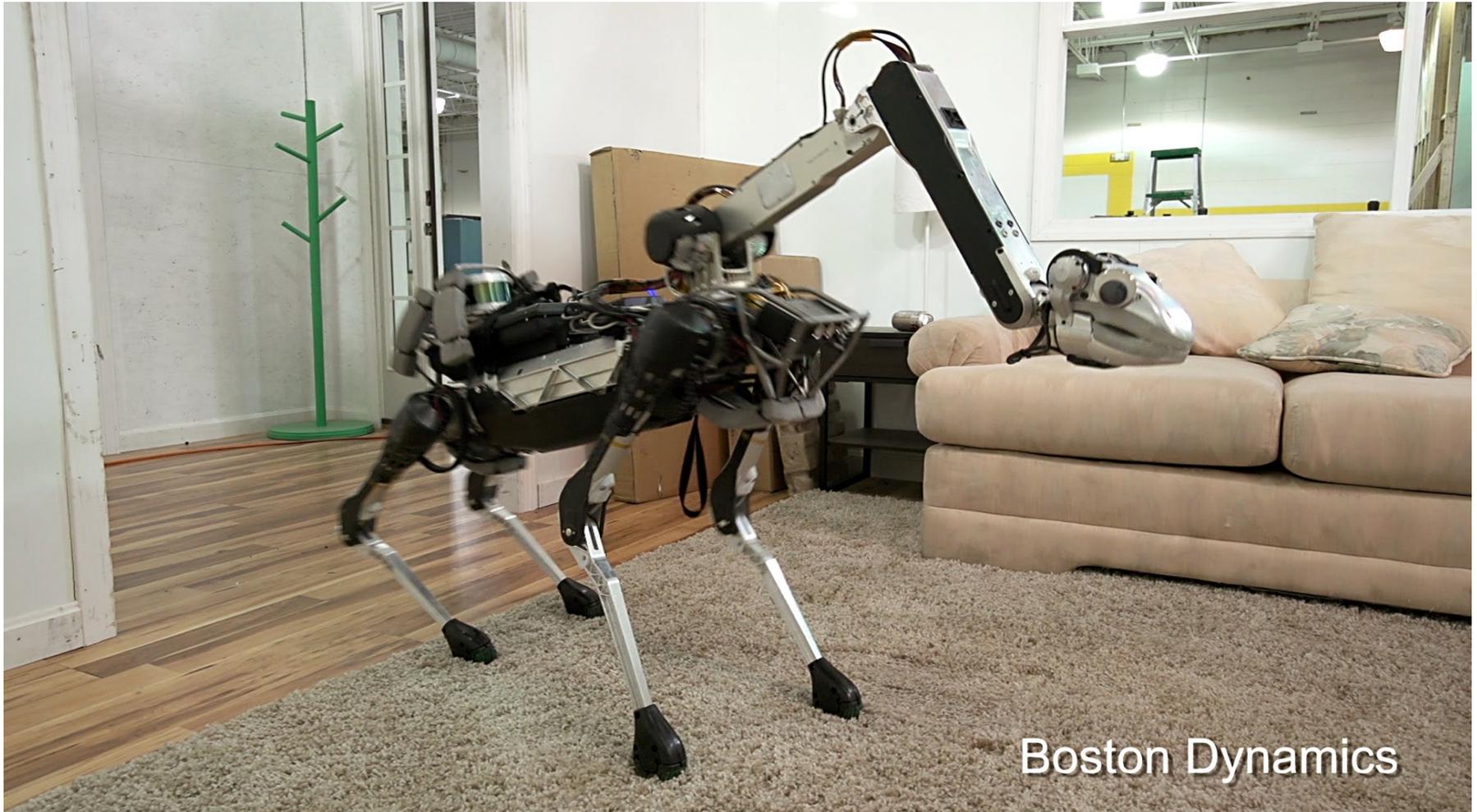
## AUV - USV





Robbie  
Forbidden Planet  
1956

1956 : vision d'un robot peu agile, très intelligent



2018 : les robots deviennent agiles, mais encore peu intelligents

## Aurons-nous besoin de telles lois ?

**Première loi** : Un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger.

**Deuxième loi** : Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la première loi.

**Troisième loi** : Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la première ou la deuxième loi.

Manuel de la robotique  
58e édition (2058 après J.-C.) (I. Asimov)

## Comment les appliquer ?



## Ethique et Robotique

- Nombreux groupes de réflexion
- Quelques ouvrages
- Concerne plus généralement l'IA
- Implication naissante  
des industriels



## Aperçu historique - En résumé

- La robotique se rattache a une longue tradition de machines « intelligentes » ou reproduisant certaines capacités de l'homme remontant à l'antiquité
- Les travaux en robotique touchent à tous les milieux : terre, air, mer
- Les applications des techniques de la robotique sont très variées : robots de service, défense et sécurité, loisir, véhicules autonomes...
- Comme pour l'intelligence artificielle en général, la robotique soulève de nombreuses questions d'éthique

# Robotique Mobile

## 03 – Architectures de contrôle & stratégies de navigation

David Filliat

Alexandre Chapoutot

Goran Frehse

[prenom.nom@ensta-paris.fr](mailto:prenom.nom@ensta-paris.fr)

## Un robot est un système complexe

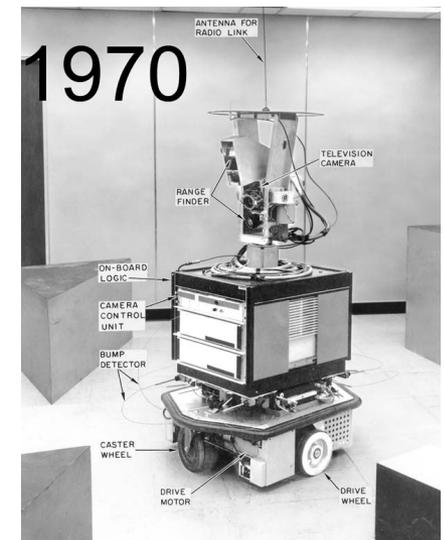
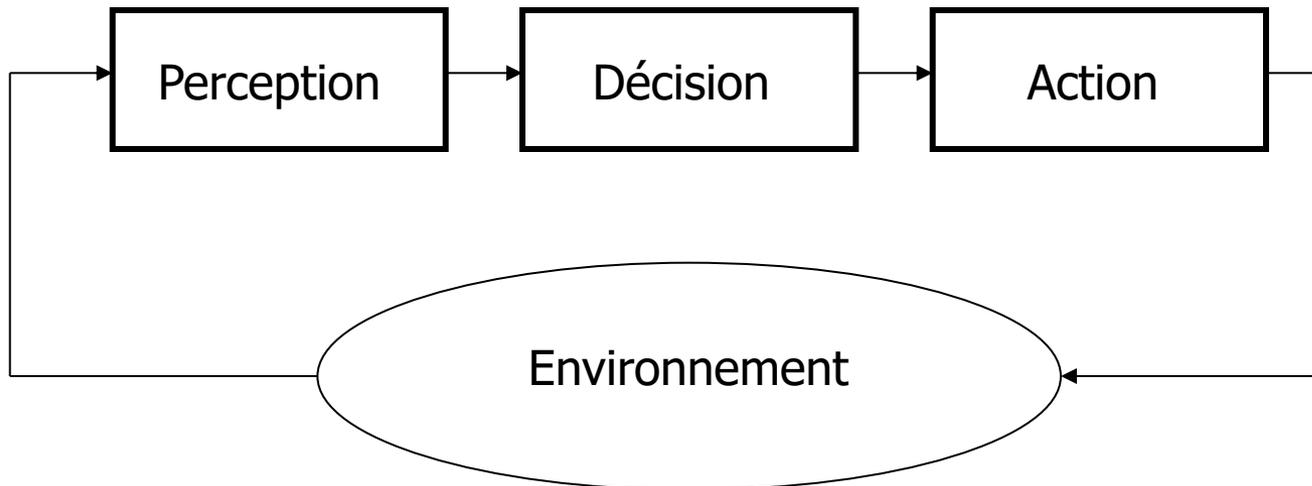
- Buts à court ou long terme
- Buts contradictoires
- Besoin de réactivité (temps réel)
- Gestion des capteurs et des ressources

L'architecture de contrôle définit comment ces différentes contraintes sont gérées

Elle définit comment organiser le cycle  
**Perception-Décision-Action**

## Les contrôleurs hiérarchiques

- Historiquement les premiers (Shakey - 1967)
- Privilégie les capacités de raisonnement sur un *modèle du monde* (premières applications de l'IA: STRIPS)
- Perception et action assurent simplement les entrées-sorties du système de planification (décision)



SHAKY

## STRIPS (1971)

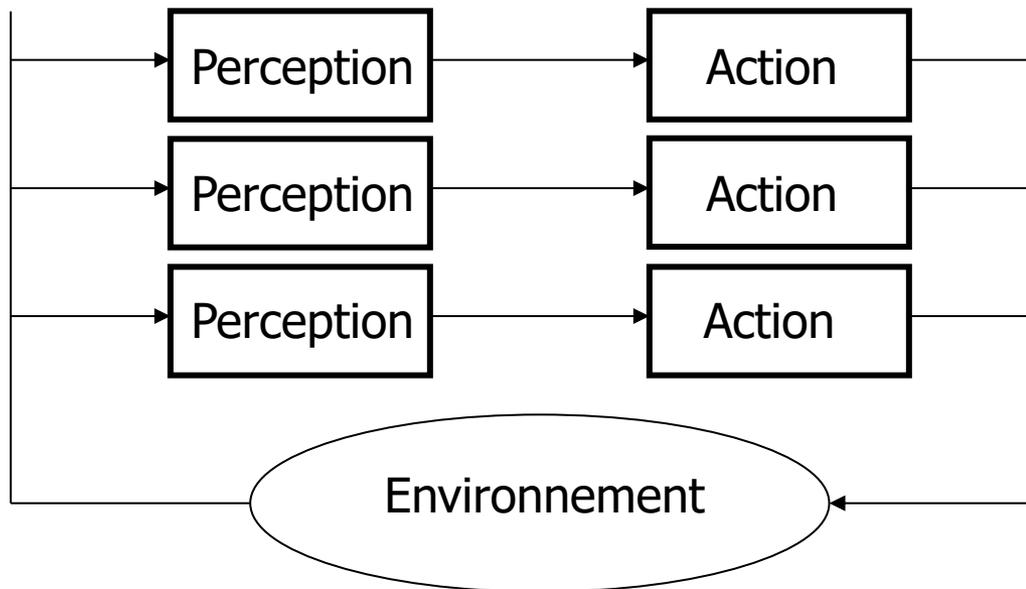
- « Stanford Research Institute problem solver »
- Planification symbolique
- Description de l'état à atteindre
- Planification des actions pour réduire les différences entre l'état courant et l'état but
- Actions représentées sous forme
  - Précondition      `move (x, y, z)`
  - Liste ajout        `precondition:`      `on (x, y) ∧ clear (x) ∧ clear (z)`  
                         `delete-list:`        `clear (z), on (x, y)`
  - Liste retrait      `add-list:`            `on (x, z), clear (y), clear (Table)`  
   *in case z=Table*

## Caractéristiques :

- **Planification a long terme**
- **Repose sur le modèle du monde unique qui doit contenir toutes les informations nécessaires**
  - Hypothèse de monde fermé (pas de surprises) non vérifiée
  - *Frame problem* (comment définir le monde de manière suffisante ?)
  - Problème de validité dans le temps (l'action est déclenchée alors que le modèle n'est plus valable)
  - Planification (longue) à chaque cycle
- **Manque de réactivité face aux situations imprévues**
- **Boucle P/D/A très longue**
- **Contrôle des actions difficile**

## Les contrôleurs réactifs (Rodney Brooks, 1991)

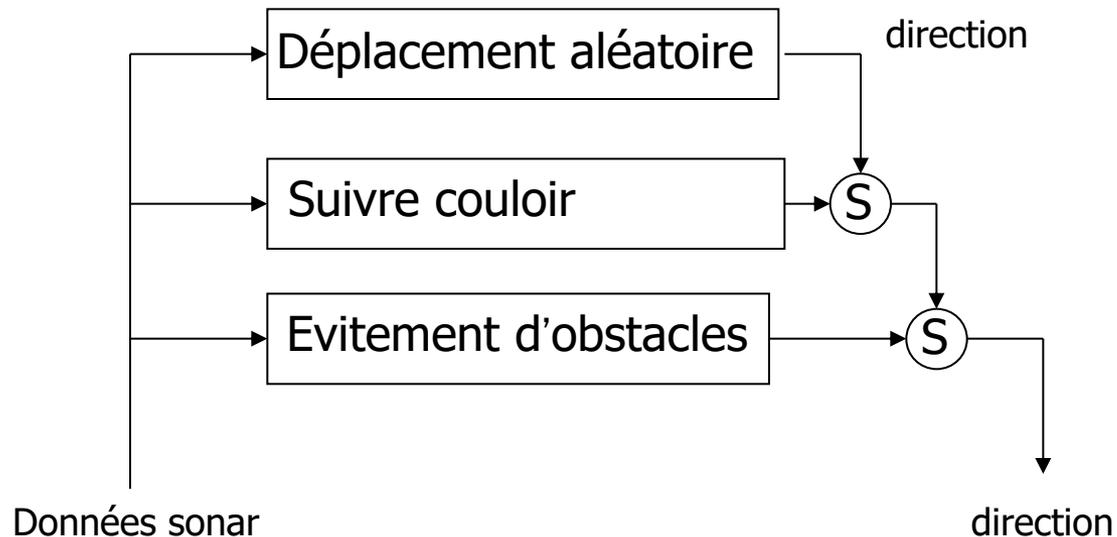
- Complètement opposé à l'approche hiérarchique et à son modèle du monde
- Privilégie la réactivité
- Ensemble de *comportements* fonctionnant en parallèle + arbitrage
- Comportement global émergent des comportements élémentaires
- Pas de modèle interne pour les comportements



GENGHIS

## Choix de l'action réalisée en fonction des choix des différents comportements

- Combinaison linéaire (direction, vitesse ...)
  - Ex : champs de potentiels, logique floue ...
- Arbitrage (hiérarchisé, vote, etc.)
  - Ex : Architecture de subsomption (R. Brooks)



## Les slogans de l'approche :

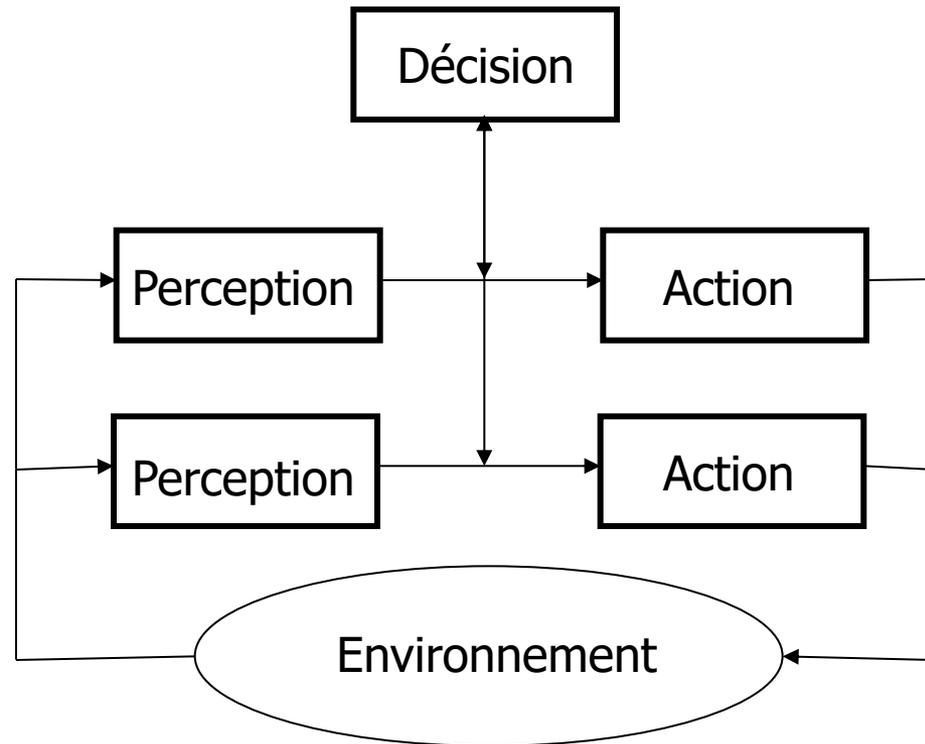
- *Les éléphants ne jouent pas aux échecs*
- *L'intelligence est dans l'œil de l'observateur*
- *Le monde est son meilleur modèle*

## Caractéristiques:

- **Liens avec la biologie**
- **Boucle P/D/A très courte**
- **Modulaire**
- **Implémentations très spécifiques à un problème**
- **Limité par le manque de modèle du monde comme support de prévision des actions à long terme**

## Les contrôleurs hybrides

- Synthèse des deux approches précédentes
- Bas niveau réactif
- Haut niveau délibératif (planification)
- Le haut niveau contient une ou des représentations du monde et planifie des actions que le bas niveau peut exécuter
- Le bas niveau gère les imprévus en exécutant le plan au mieux
- Possibilité de hiérarchie de niveaux



## 2 boucles P/D/A longues et courtes

### Niveau réactif

- Différents comportements
- Sélection par champs de potentiels, subsomption, vote, logique floue

### Niveau délibératif

- Différents modèles du monde
- Différentes échelles de temps
- Différents plans : objectifs, chemins...
- Un plan peut être un enchaînement de comportements, des paramètres des comportements ...
- Capteur virtuel: haut niveau->bas niveau

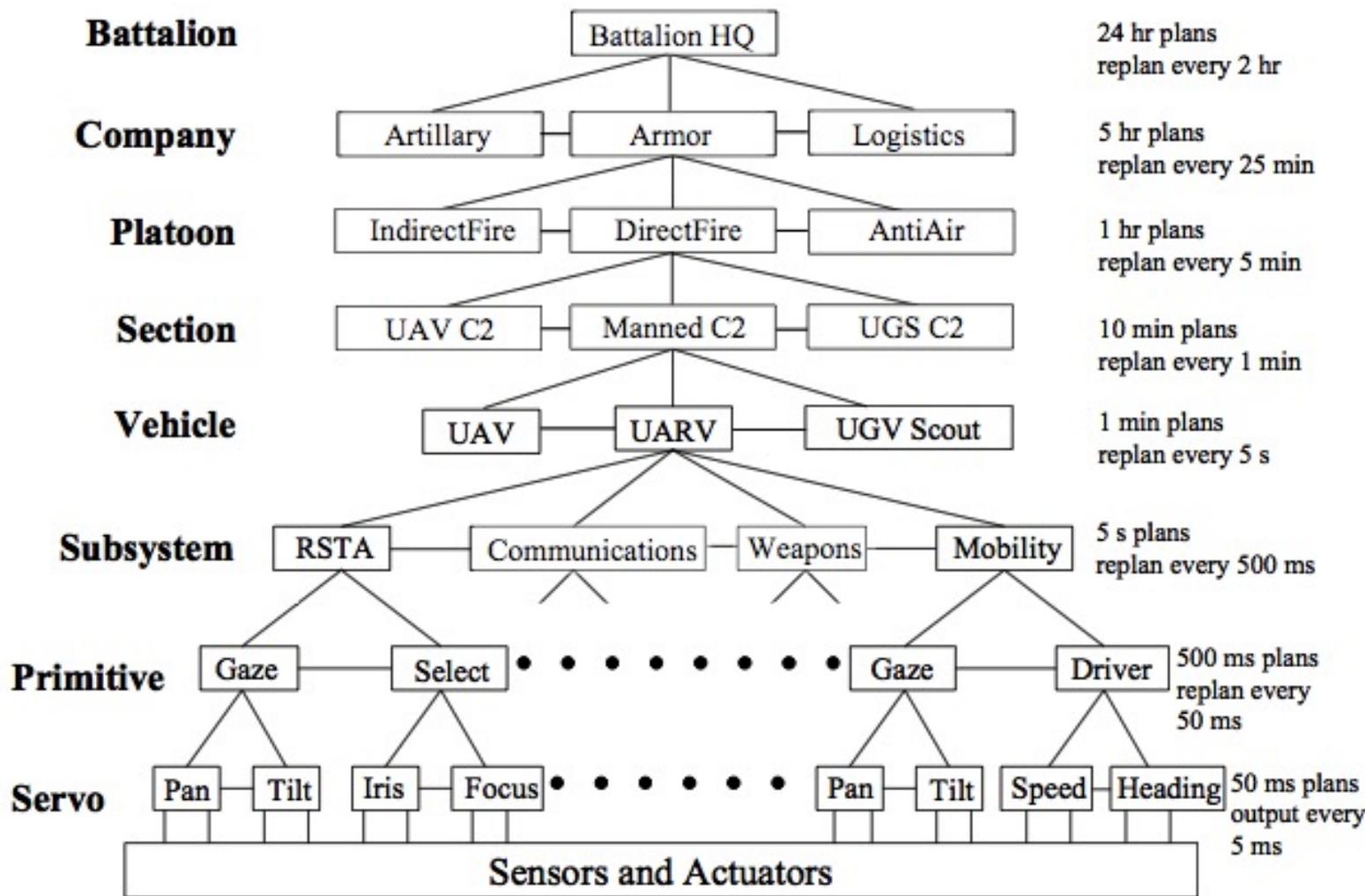
## Architectures très répandues, nombreuses variantes

- AuRA
- 3T (Planner, Sequencer, Skills)
- Saphira
- 4D/RCS
- HARPIC

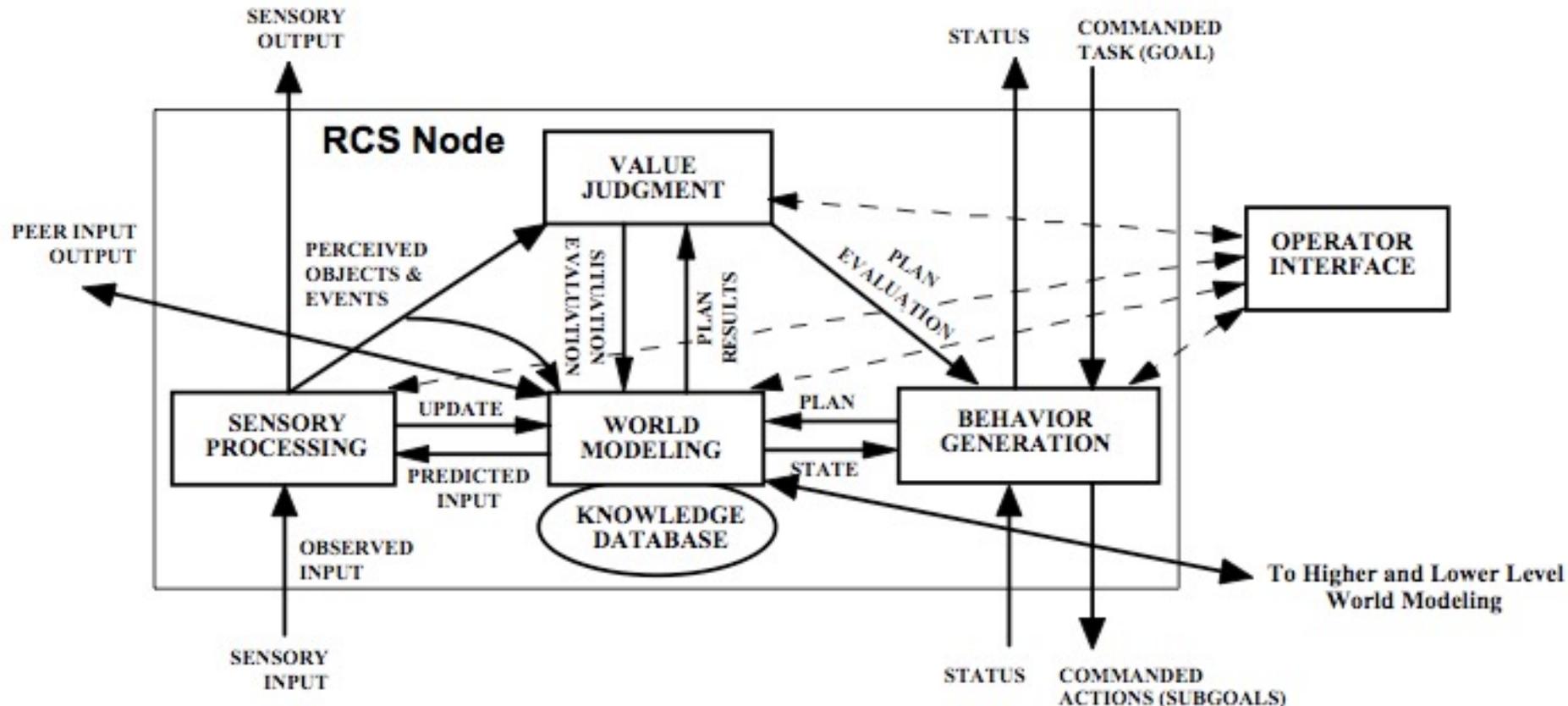
### Exemple : 4D/RCS

- Architecture développée au NIST (National Institute of Standard and Technologies, USA)
- Real-time Control System (dernière génération)
- Mature, nombreuses applications :
  - 1979 : RCS 1 : Laboratory robot control
  - 1981 : RCS 2 : Automated Manufacturing
  - 1987 : RCS 3 : NASREM Space Telerobotics
  - 1988 : RCS 4 DARPA Multiple AUVs
  - 1998 : 4D/RCS : Demo III Multiple UGVs

# 4D/RCS : Structure hiérarchique

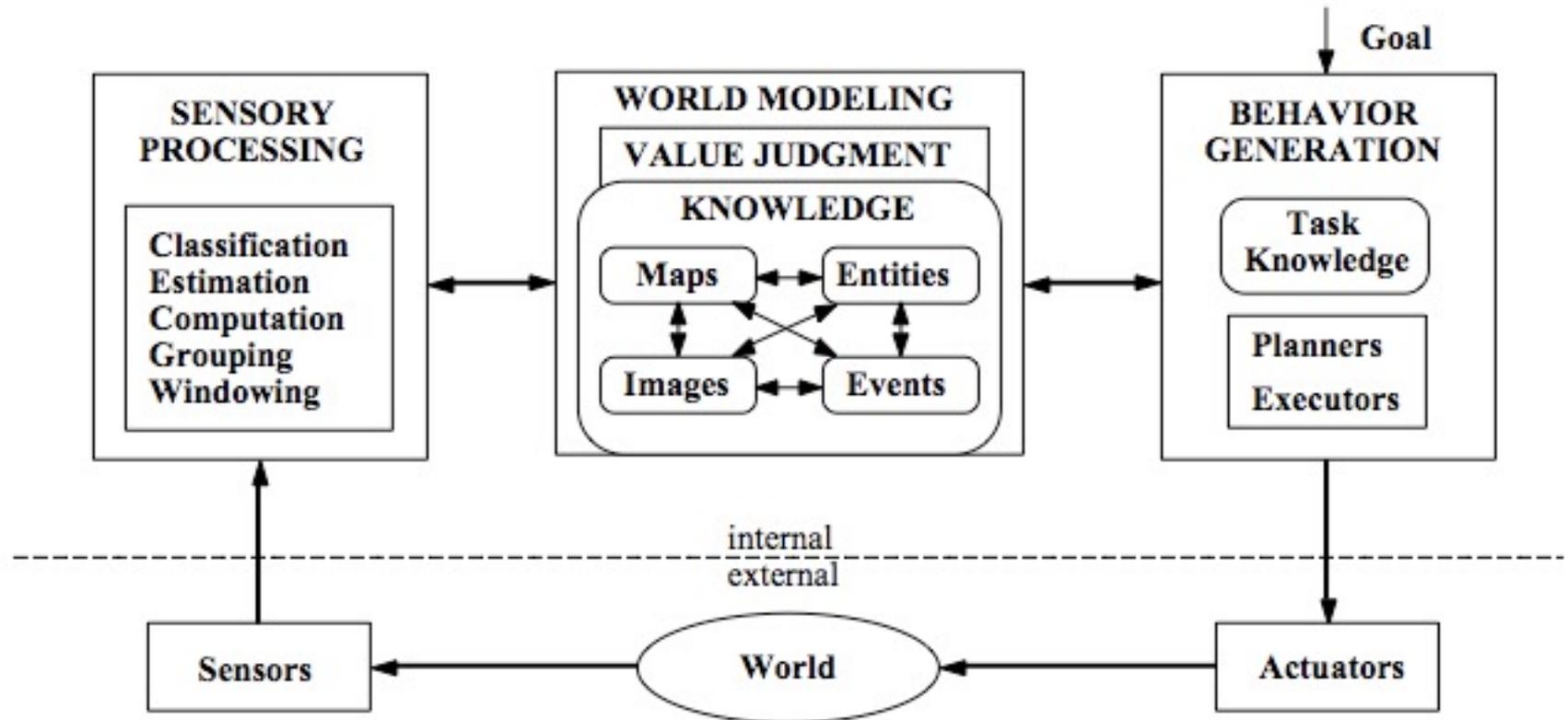


## 4D/RCS : Structure commune des nœuds

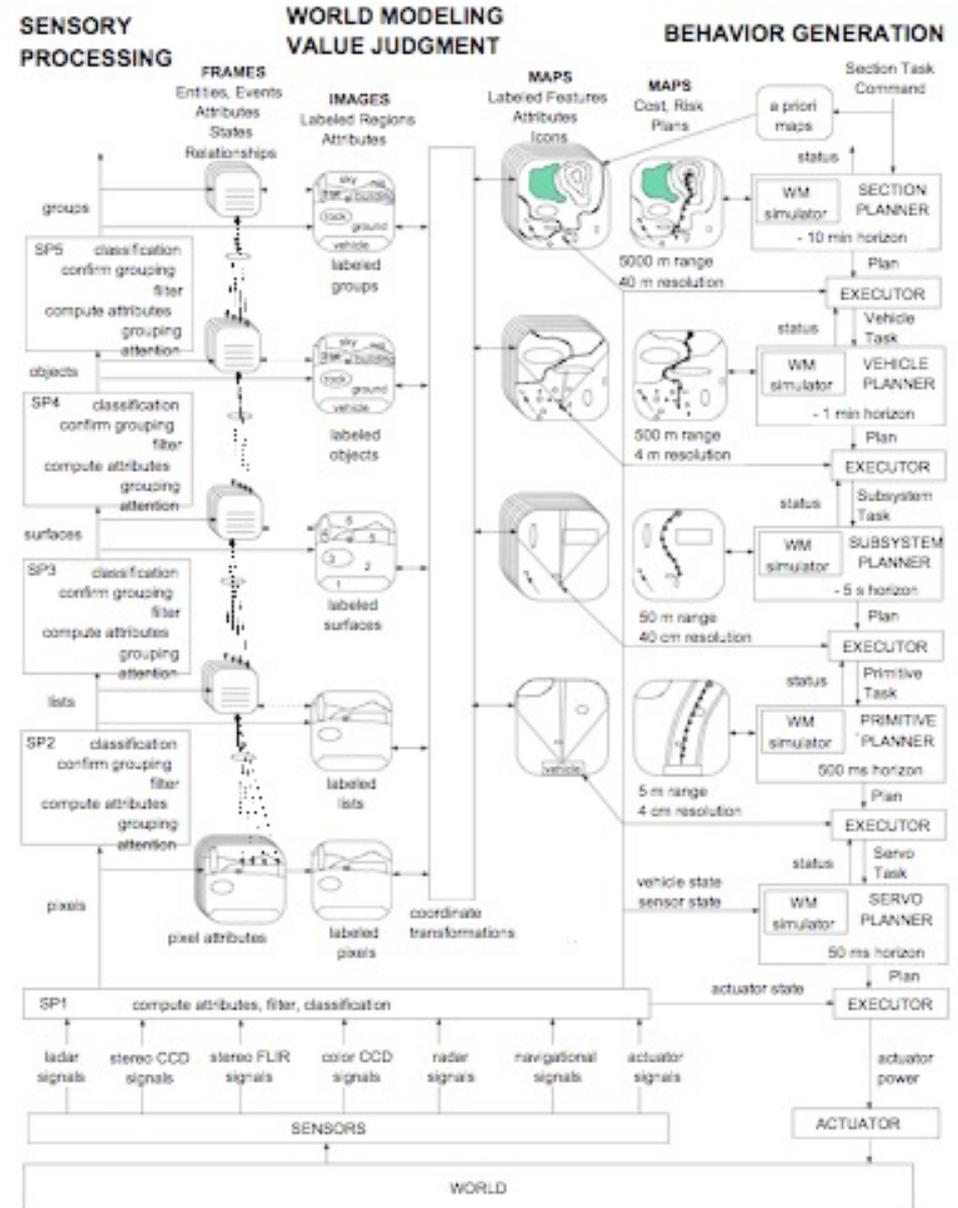


- Service de messagerie
- Interfaces capteurs, algorithmes réutilisables

## 4D/RCS : Structure commune des nœuds

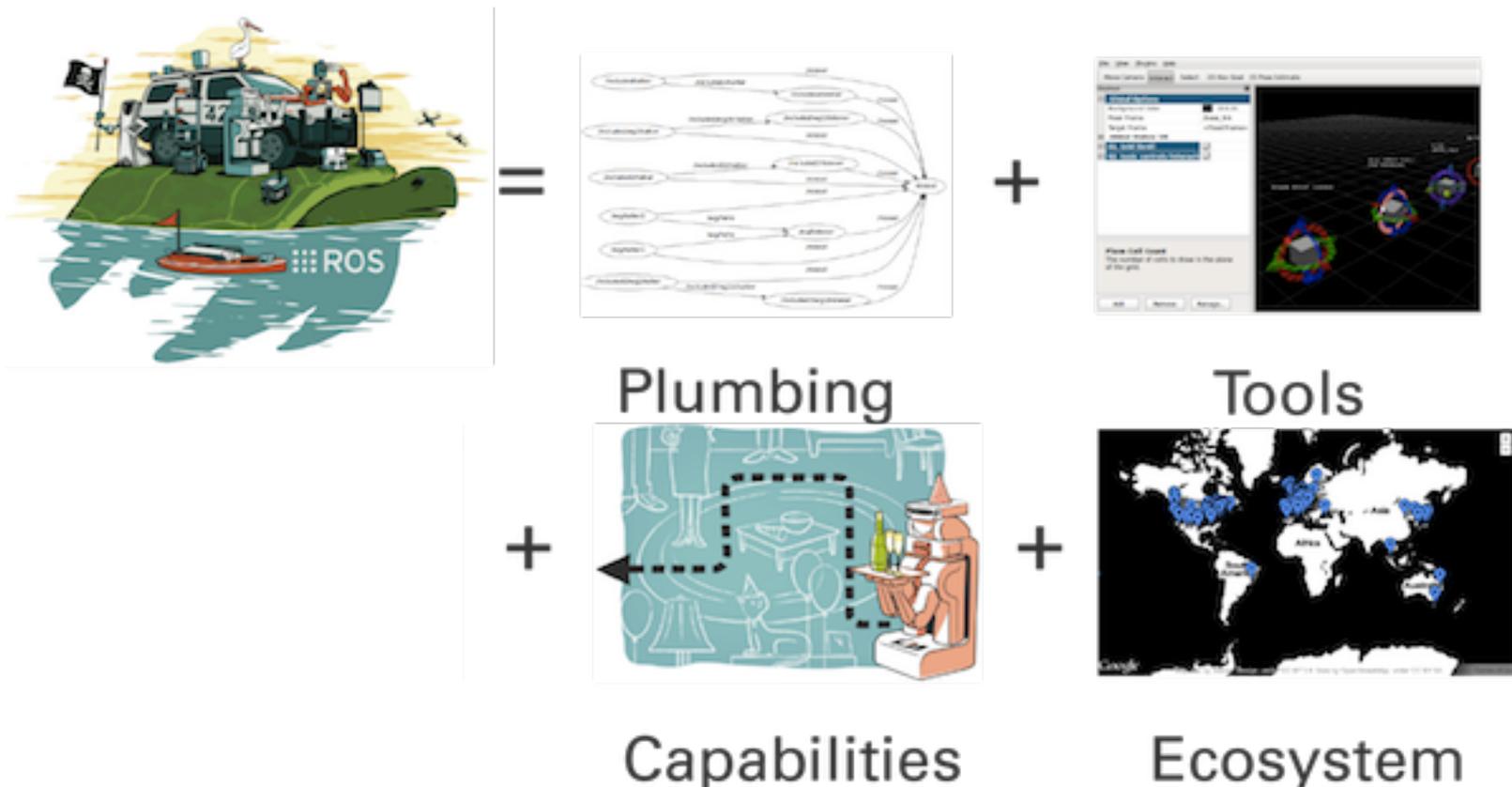


## Ex : Demo III



# Robot Operating System

- Software architecture for robots (middleware)
- ! Different from control architecture



# ROS

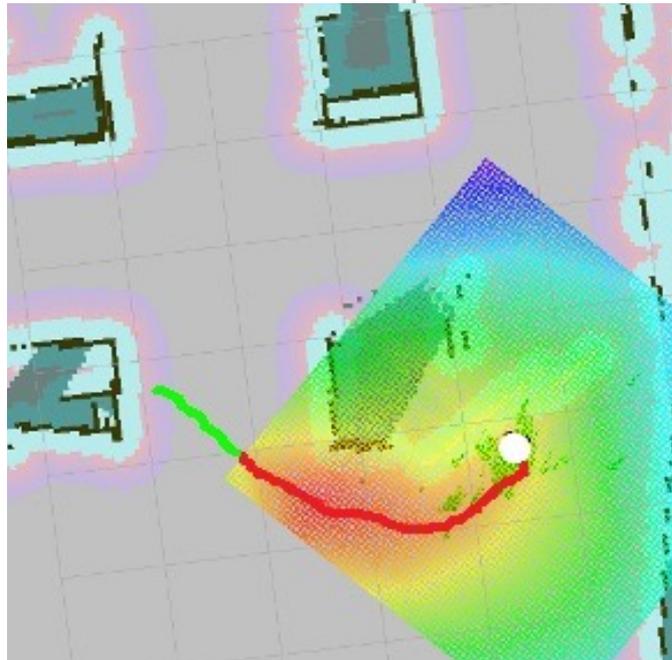
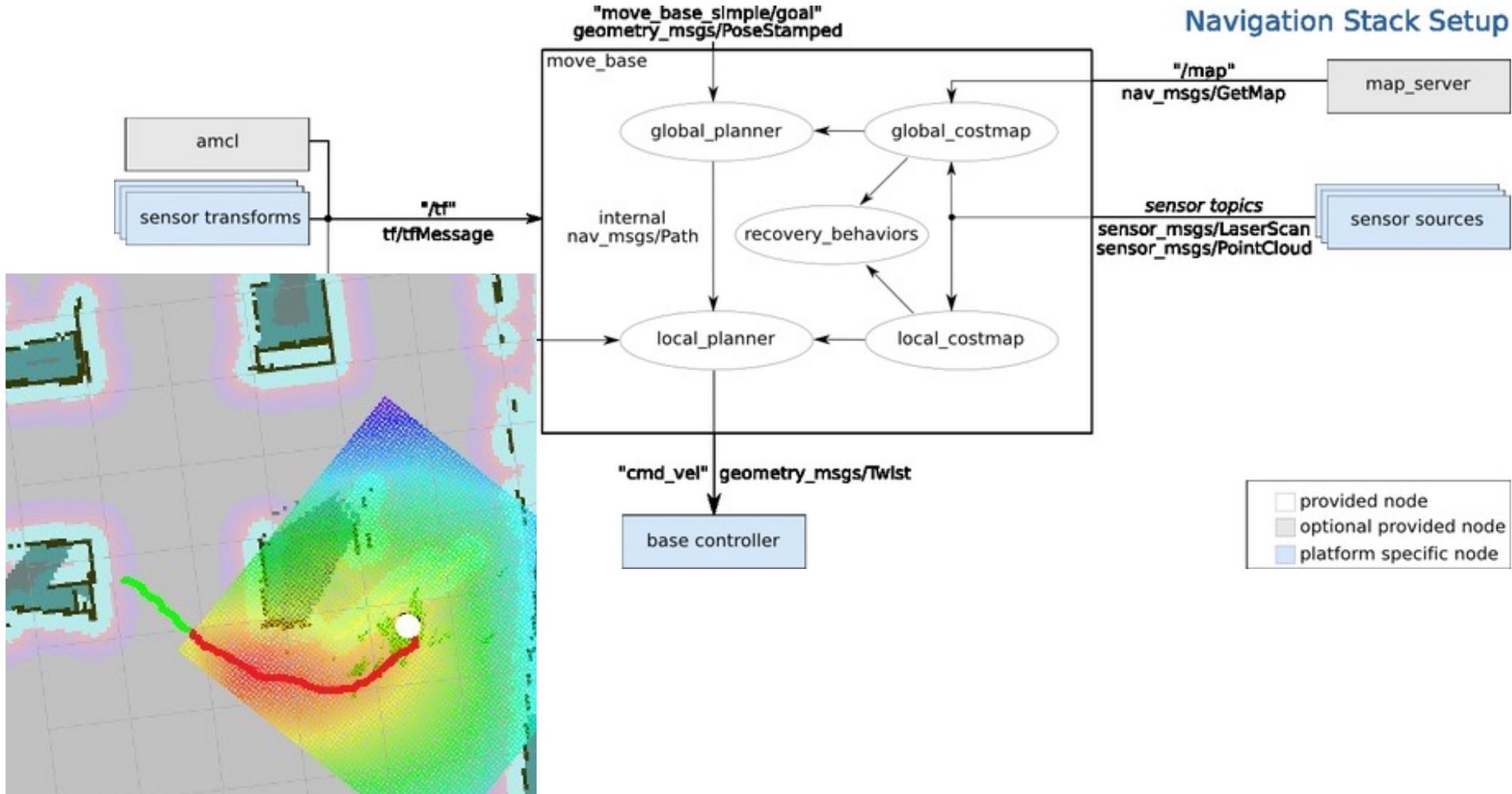
- Ce n'est pas une architecture
- Permet d'implémenter les 3 types d'architectures
- Souvent utilisé pour implémenter des architectures hybrides

## Points communs

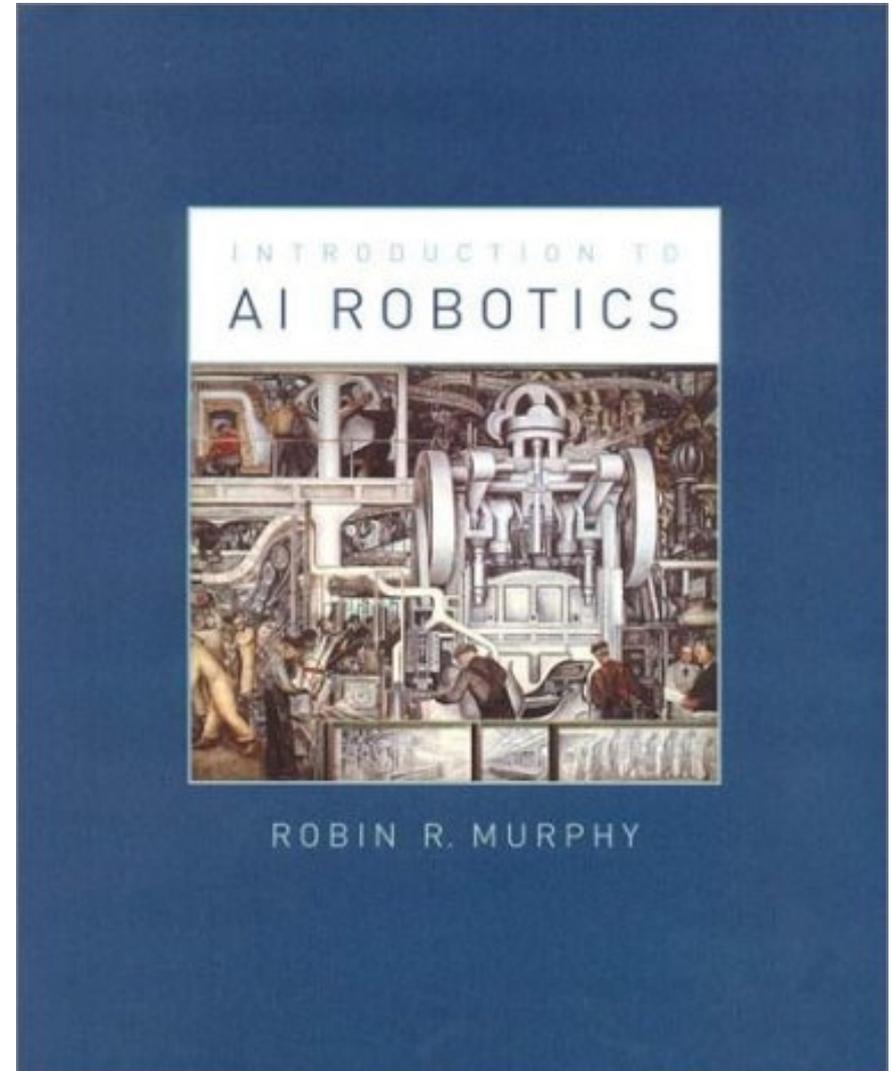
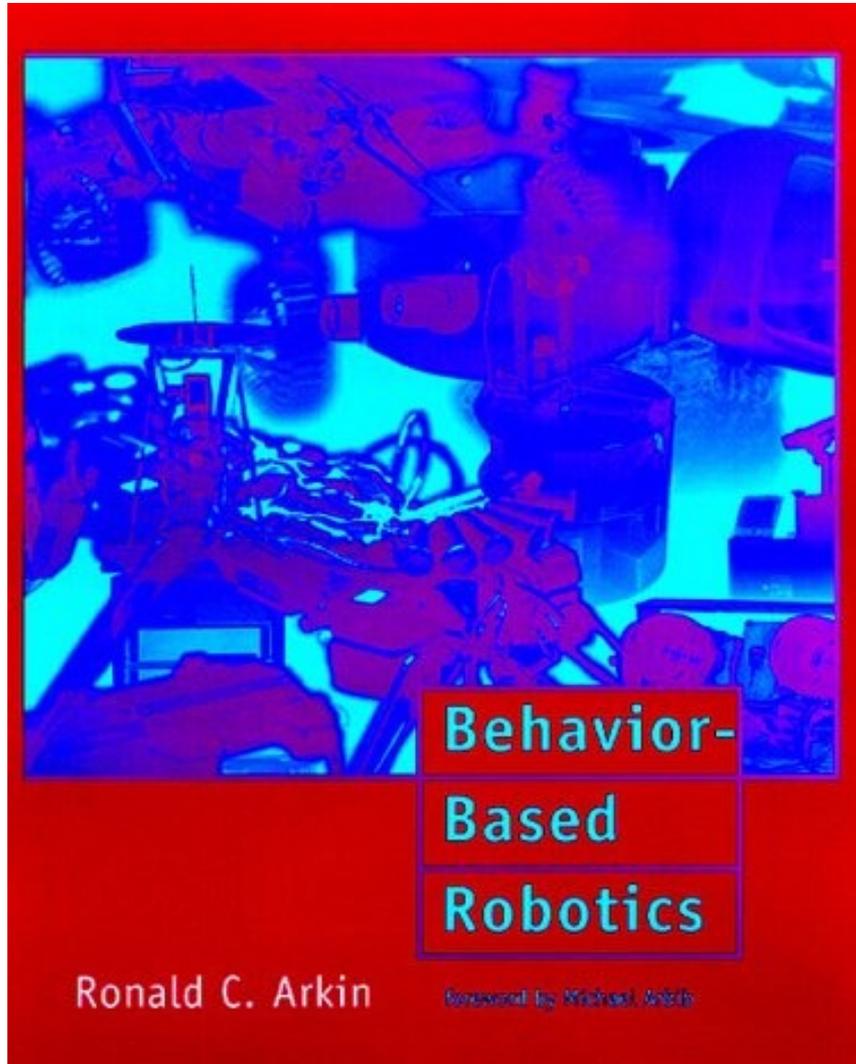
- Standardisation (messages, représentations,...)
- Modularisation du code
- Réutilisabilité de composants
- Propose des parties d'architecture (ex: Navigation stack)

# Navigation Stack

– Navigation avec une carte métrique



## Pour plus de détails



# Les différentes stratégies de navigation

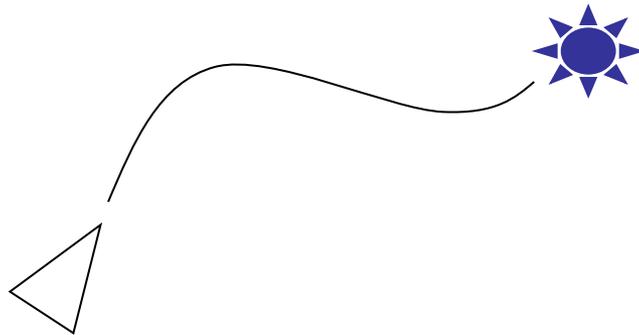
## Classification établie par O. Truillier

O. Trullier and J. A. Meyer. **Biomimetic navigation models and strategies in animats**. *AI Communications*, 10 :79–92, 1997.

- 5 catégories
- Couvre les stratégies avec et sans modèle interne
  - Approche d'un objet
  - Guidage
  - Action associée à un lieu
  - Navigation topologique
  - Navigation métrique

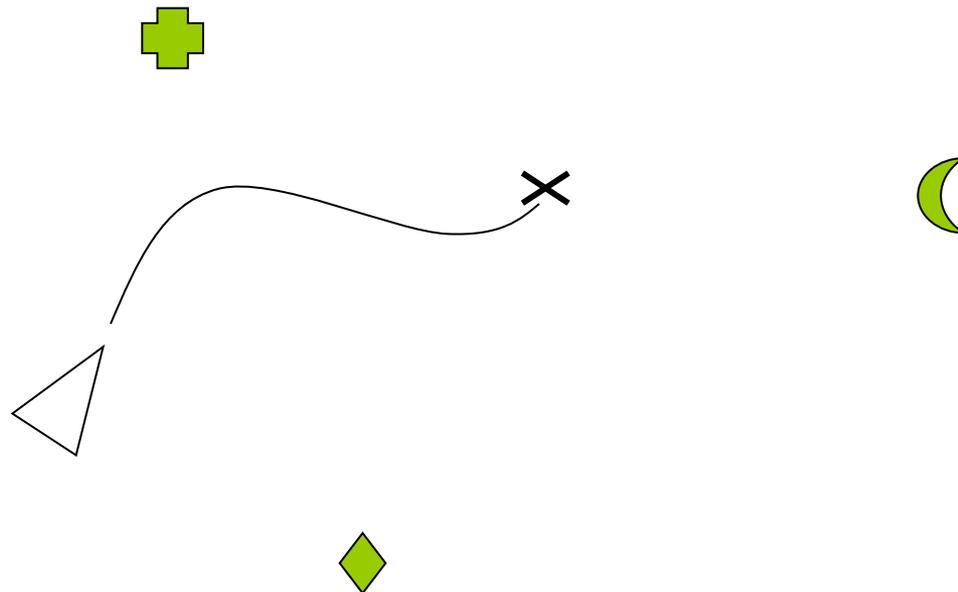
## 1. Approche d'un objet

- Stratégie réactive (perception => action)
- Stratégie locale
- But matériel et visible (lampe...)
- Ex : recharge de robot aspirateur



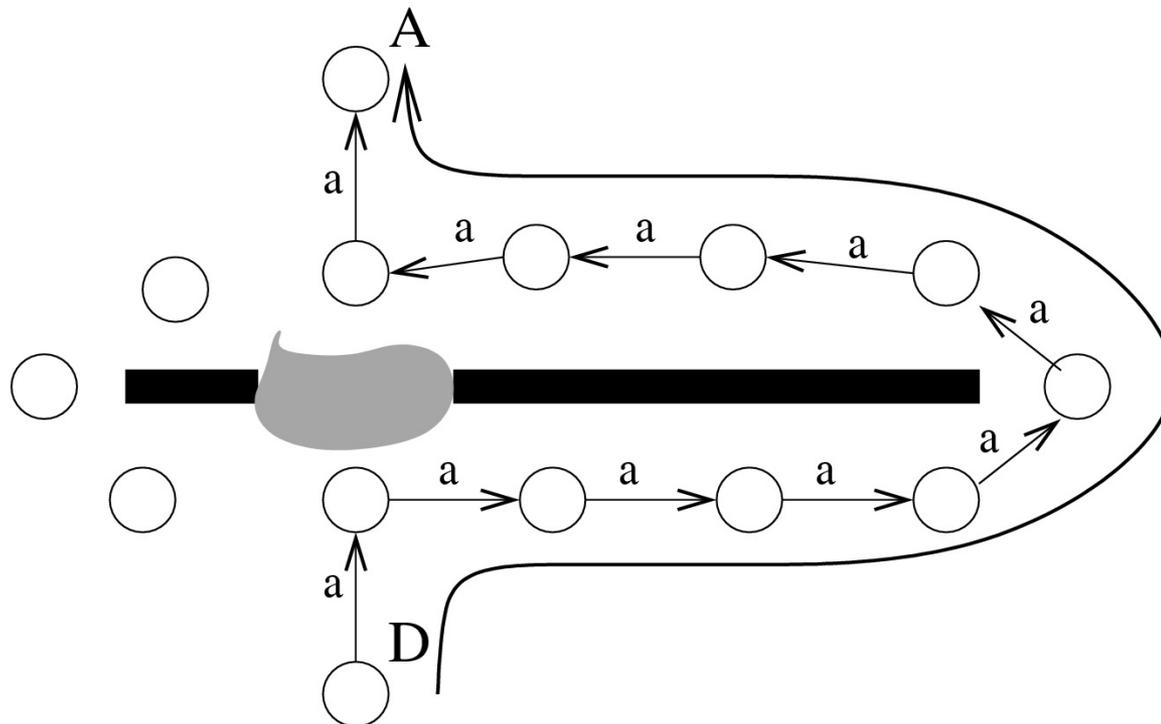
## 2. Guidage

- Stratégie réactive (perception => action)
- Stratégie locale
- But défini par des repères distants (amers)
- Ex : retour à la ruche pour les abeilles



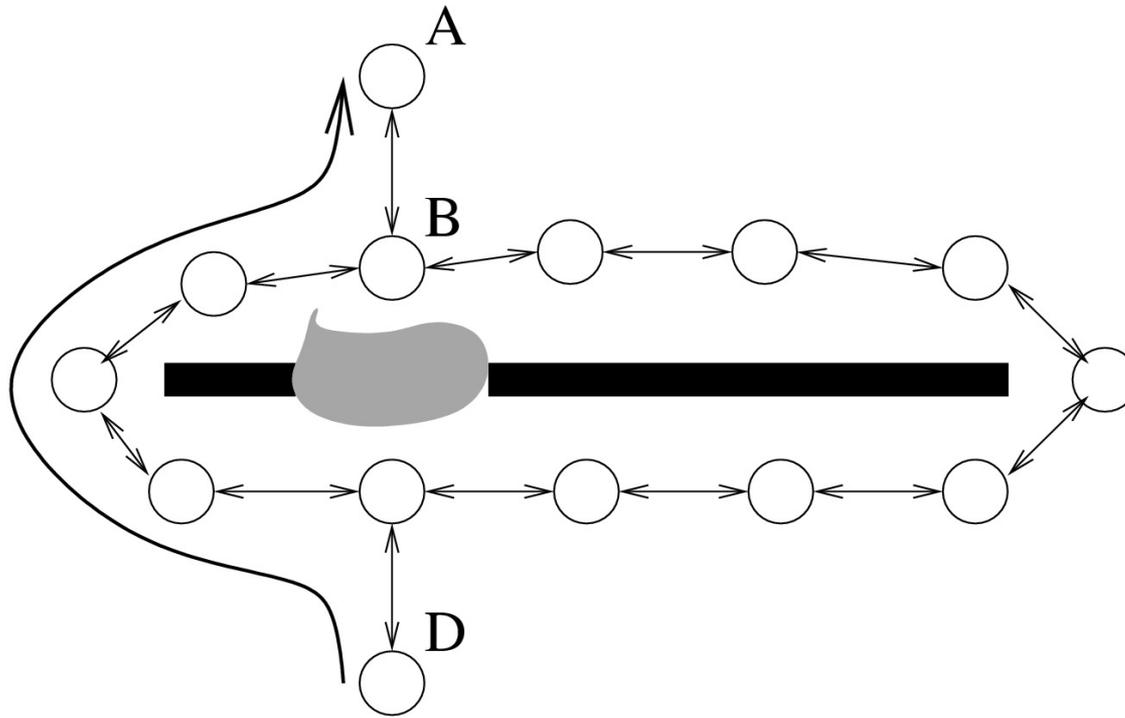
### 3. Action associée à un lieu

- Stratégie réactive (lieu => action), mais modèle du monde (lieux)
- Stratégie globale
- Mémorisation de routes sous la forme (lieu => action)



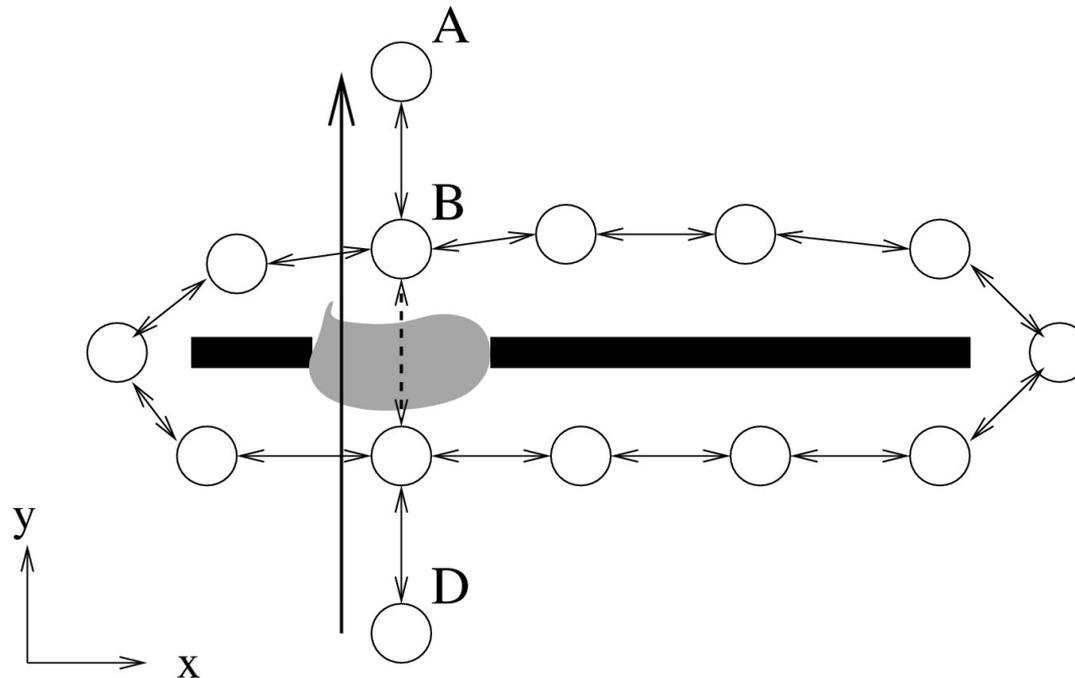
## 4. Navigation topologique

- Stratégie planifiée (mémorisation de chemins possibles)
- Stratégie globale
- Chemins empruntant les passages connus



## 5. Navigation métrique

- Stratégie planifiée (mémorisation de chemins possibles et de positions des lieux)
- Stratégie globale
- Chemins pouvant emprunter des chemins inconnus



## Catégories 1,2,3 : Navigation réactive

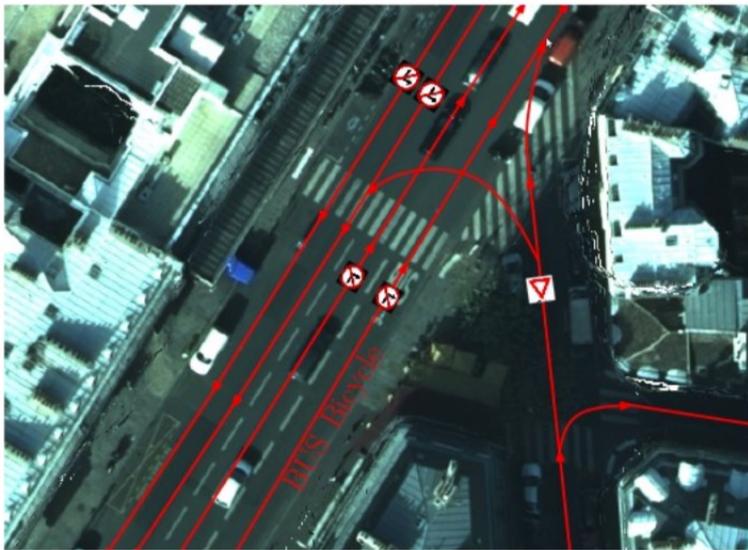
- Champ d'application restreint
- Très rapide
- Robuste (potentiellement ...)



Traffic Jam  
Assist

## Catégories 4,5 : Navigation utilisant une carte

- Déplacements à long terme
- Problème difficile
- Naturel pour l'homme qui utilise des processus cognitifs élaborés
- Utilisé aussi par des animaux (rats...)



## Architectures de contrôle - En résumé

- Les architectures de contrôle organisent le cycle Perception/Décision/Action
- Il existe trois types principaux d'architectures :
  - Hiérarchiques
  - Réactifs
  - Hybrides
- Ne pas confondre avec les « middleware » tels que ROS

## Stratégies de navigation - En résumé

- Il existe deux grandes catégories de stratégies de navigation :
  - **réactives** qui dépendent des perceptions instantanées
  - **utilisant une carte** qui mémorisent un modèle de l'environnement et planifient des déplacements