

Robotique Mobile

03 – Architectures de contrôle & stratégies de navigation

David Filliat

Alexandre Chapoutot

Goran Frehse

prenom.nom@ensta-paris.fr

Un robot est un système complexe

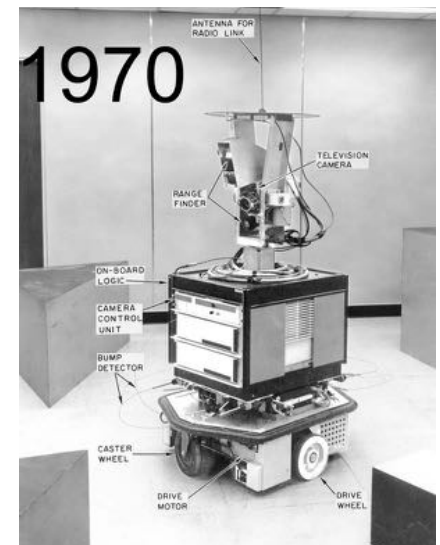
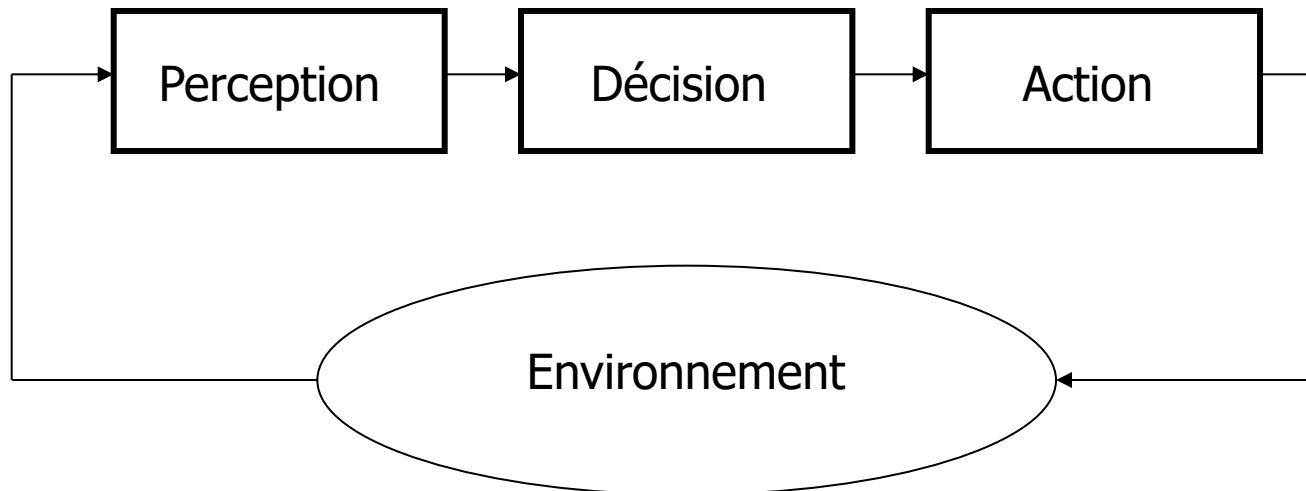
- Buts à court ou long terme
- Buts contradictoires
- Besoin de réactivité (temps réel)
- Gestion des capteurs et des ressources

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)

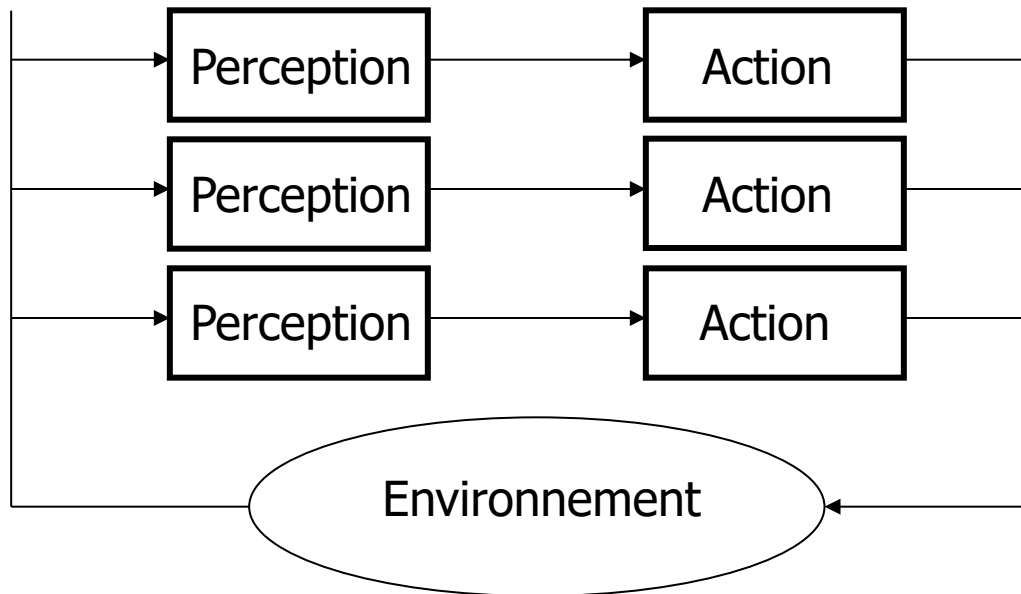
- « Stanford Research Institute problem solver »
- Planification symbolique
- Description de l'état à atteindre
- Planification des actions pour réduire les différences entre l'état courant et l'état but
- Actions représentées sous forme
 - Précondition move (x, y, z)
 - Liste ajout precondition: on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

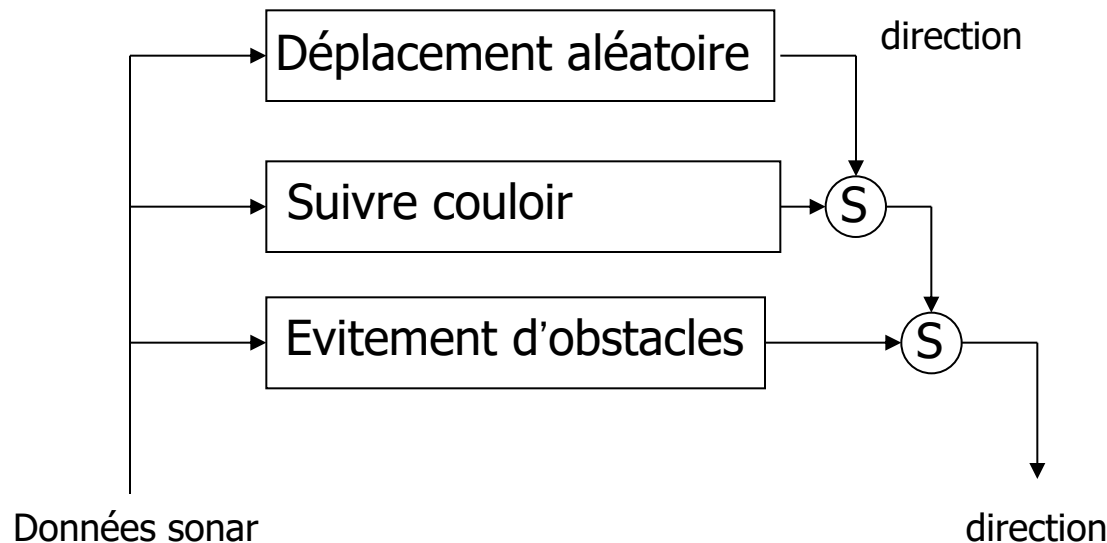
- Complètement opposé à l'approche hiérarchique et à son modèle du monde
- Privilégie la réactivité
- Ensemble de *comportements* fonctionnant en parallèle + arbitrage
- Comportement global émergent des comportements élémentaires
- Pas de modèle interne pour les comportements



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 subsumption (R. Brooks)



Les slogans de l'approche :

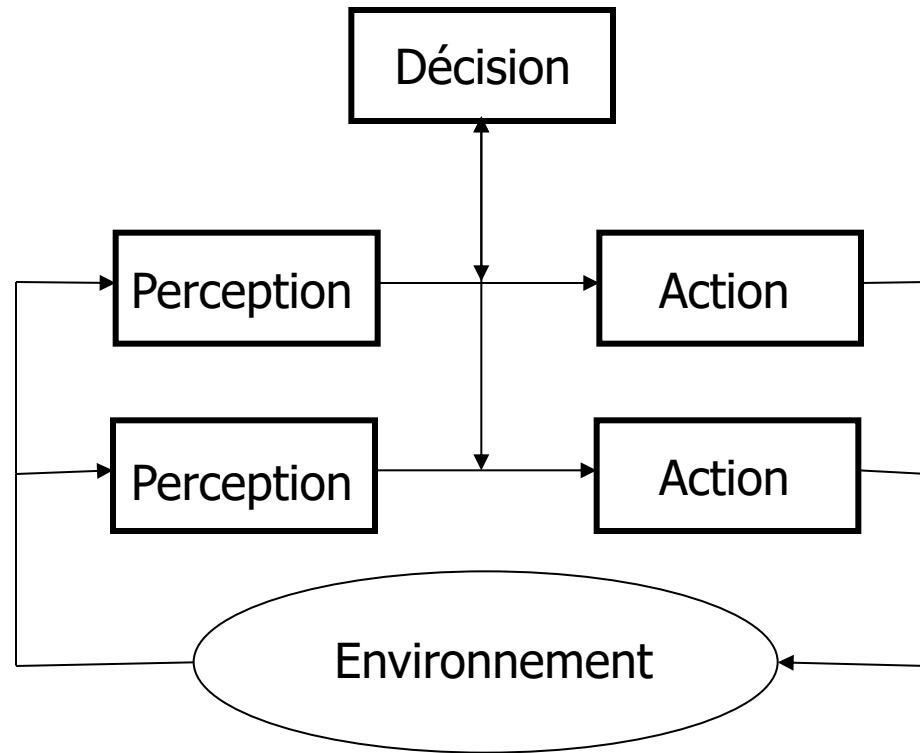
- *Les éléphants ne jouent pas aux échecs*
- *L'intelligence est dans l'œil de l'observateur*
- *Le monde est son meilleur modèle*

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

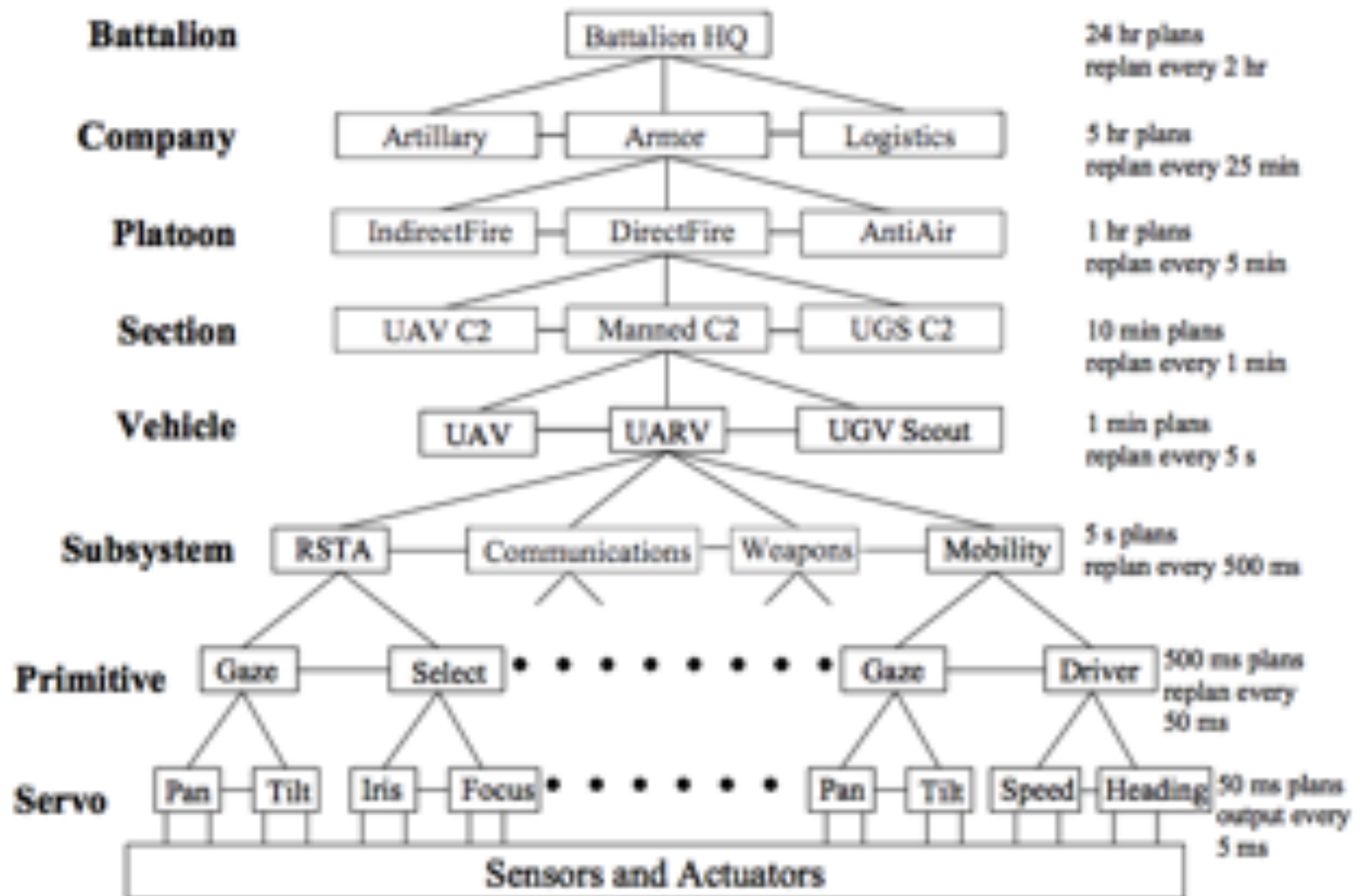
Architectures très répandues, nombreuses variantes

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

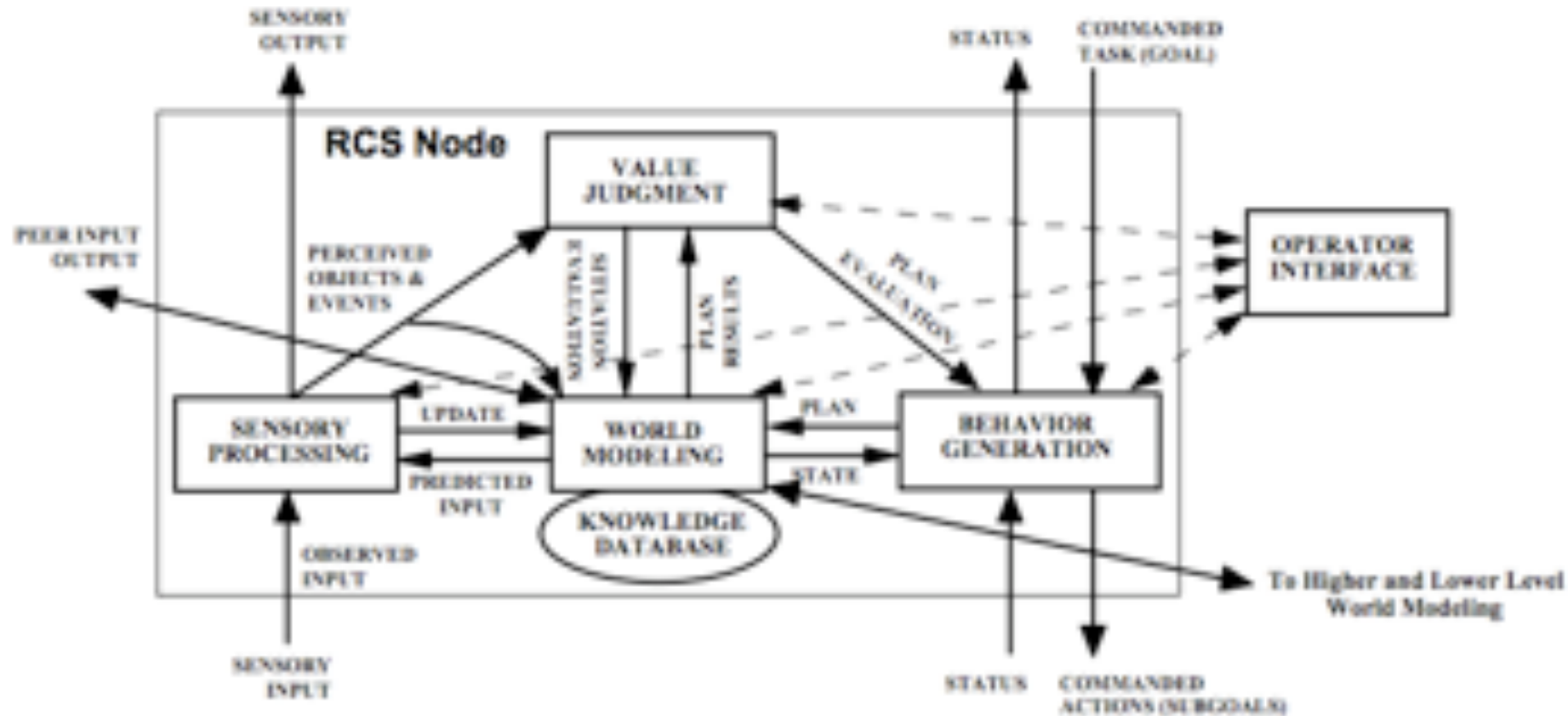
Exemple : 4D/RCS

- 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

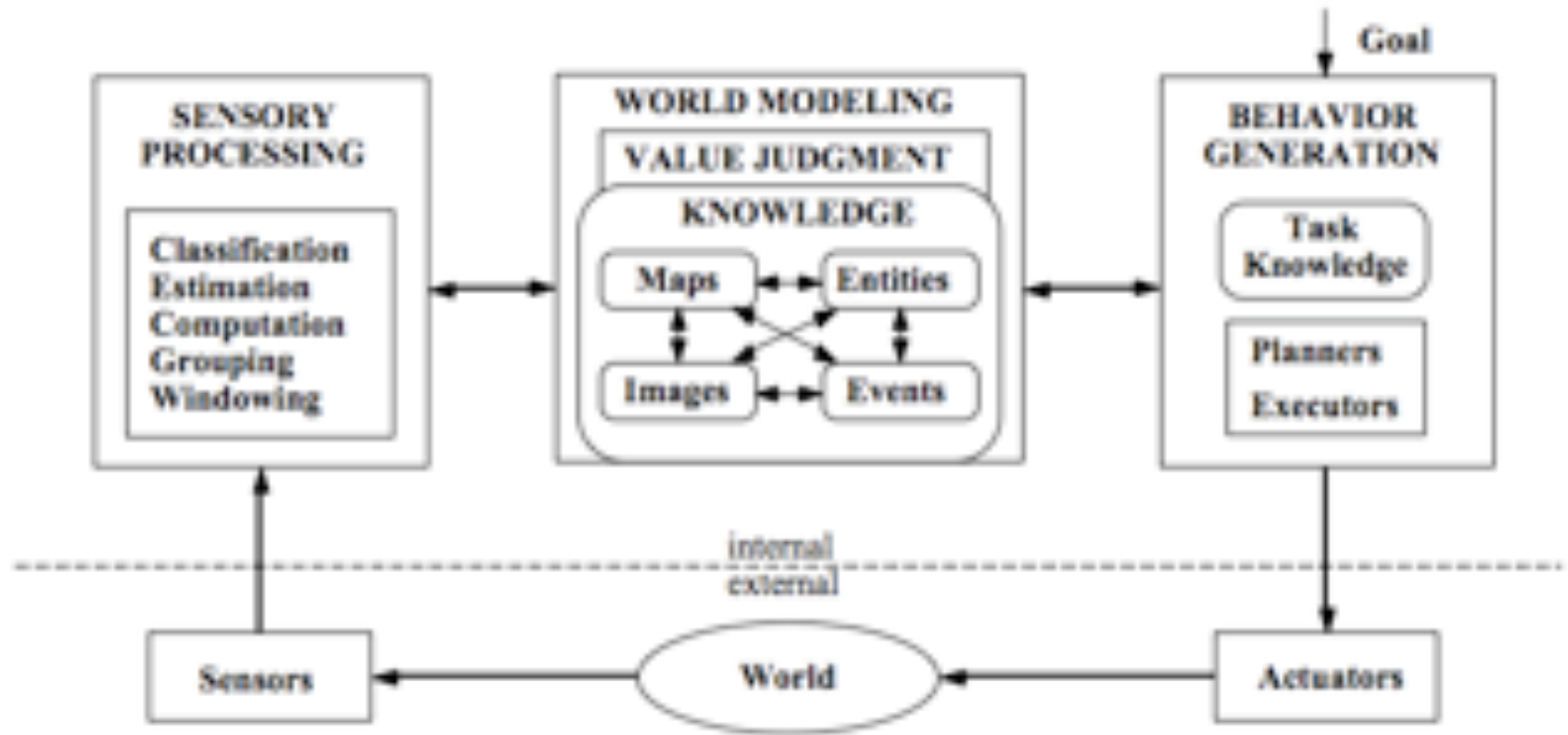


4D/RCS : Structure commune des nœuds

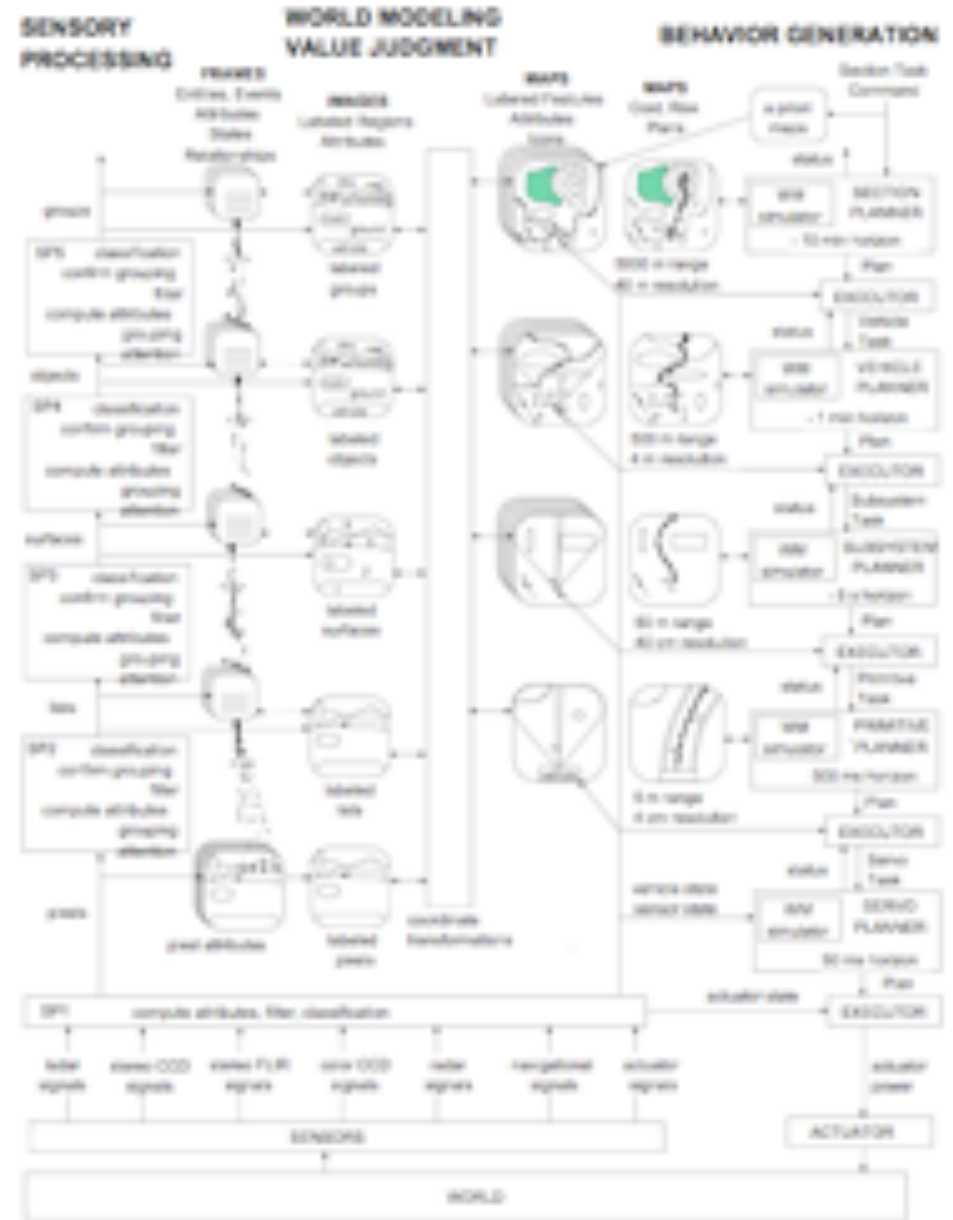


- Service de messagerie
- Interfaces capteurs, algorithmes réutilisables

4D/RCS : Structure commune des nœuds

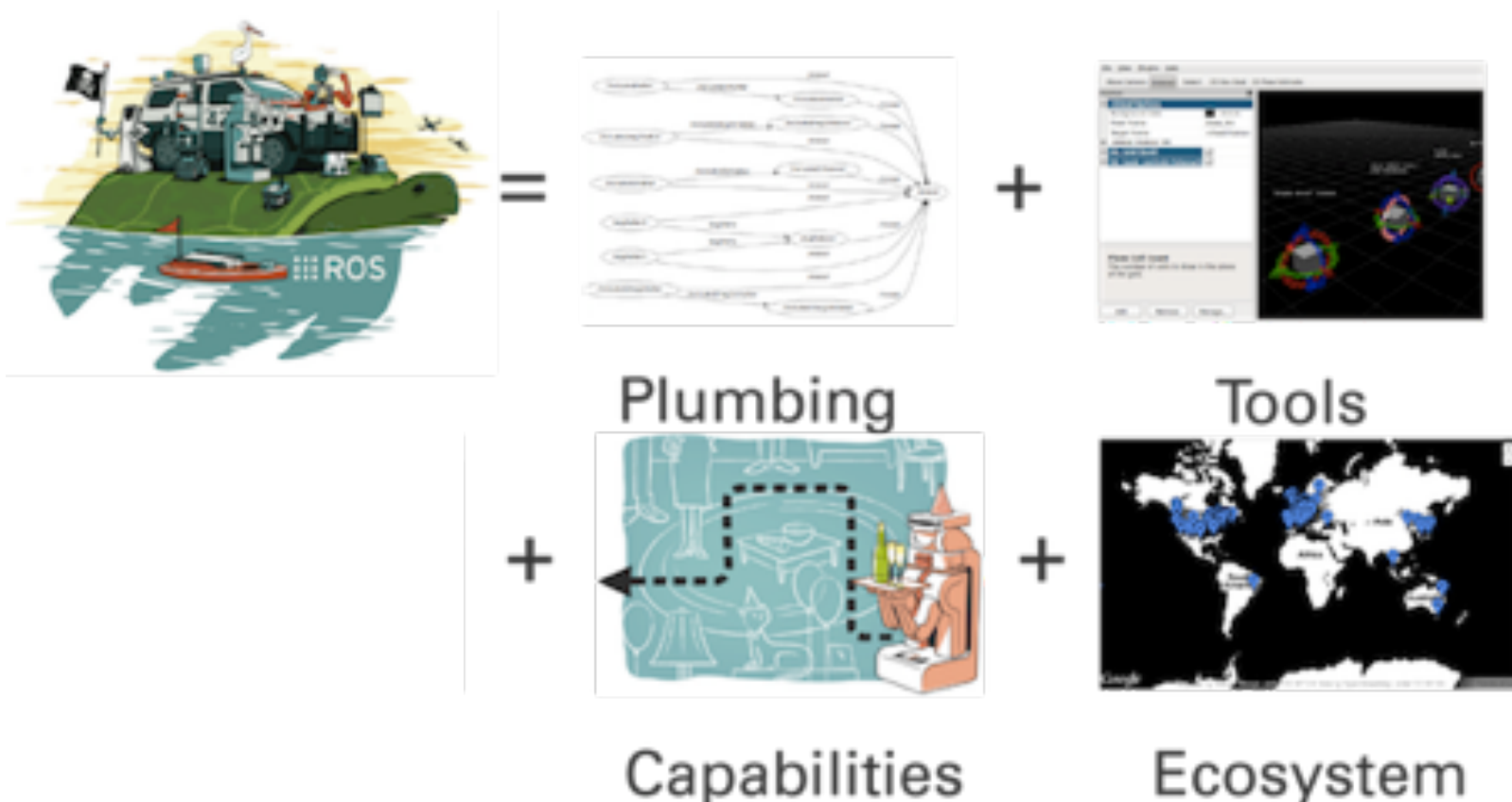


Ex : Demo III



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

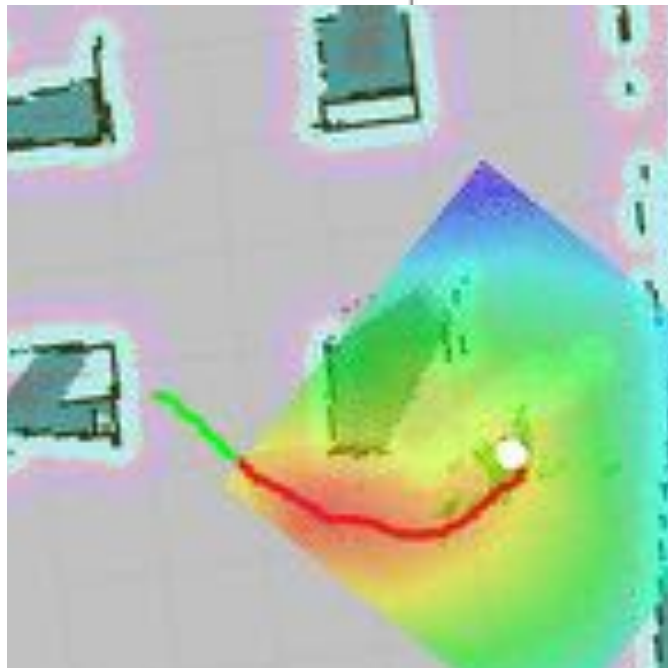
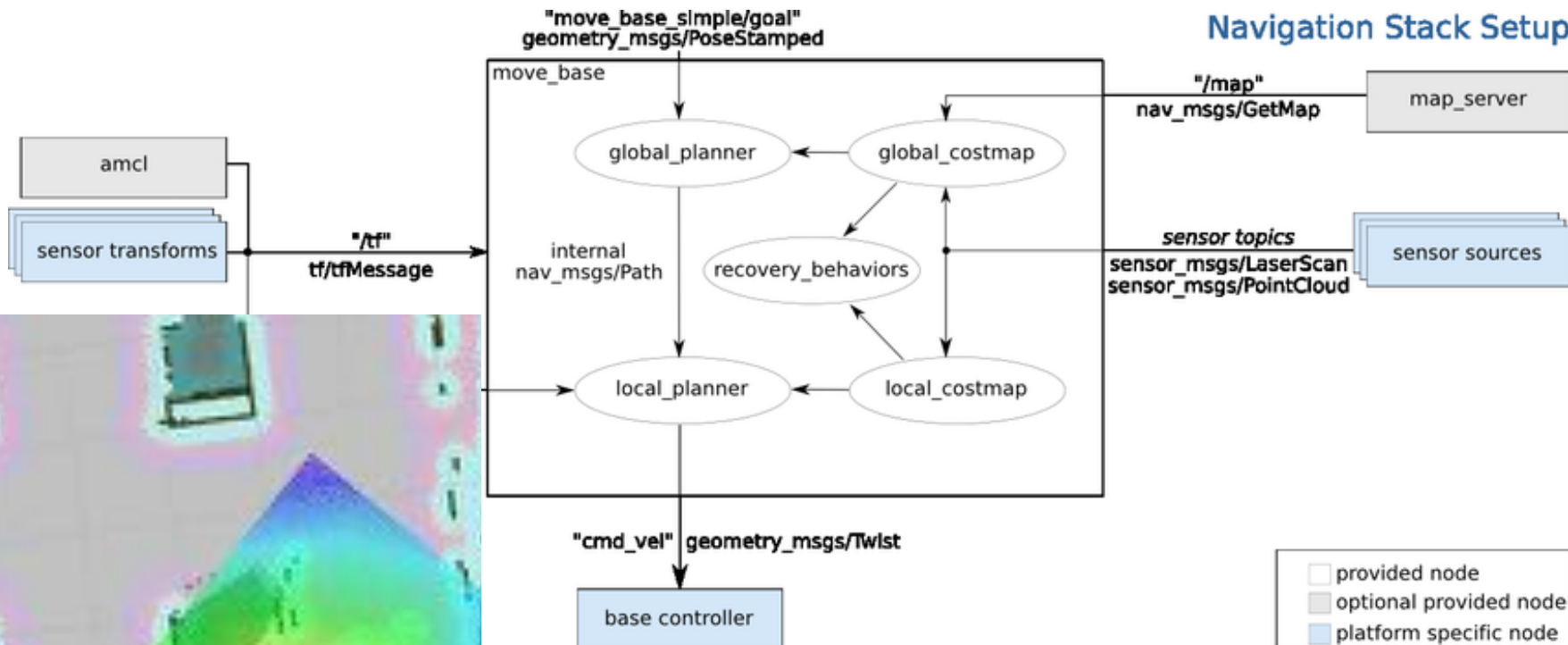
Points communs

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

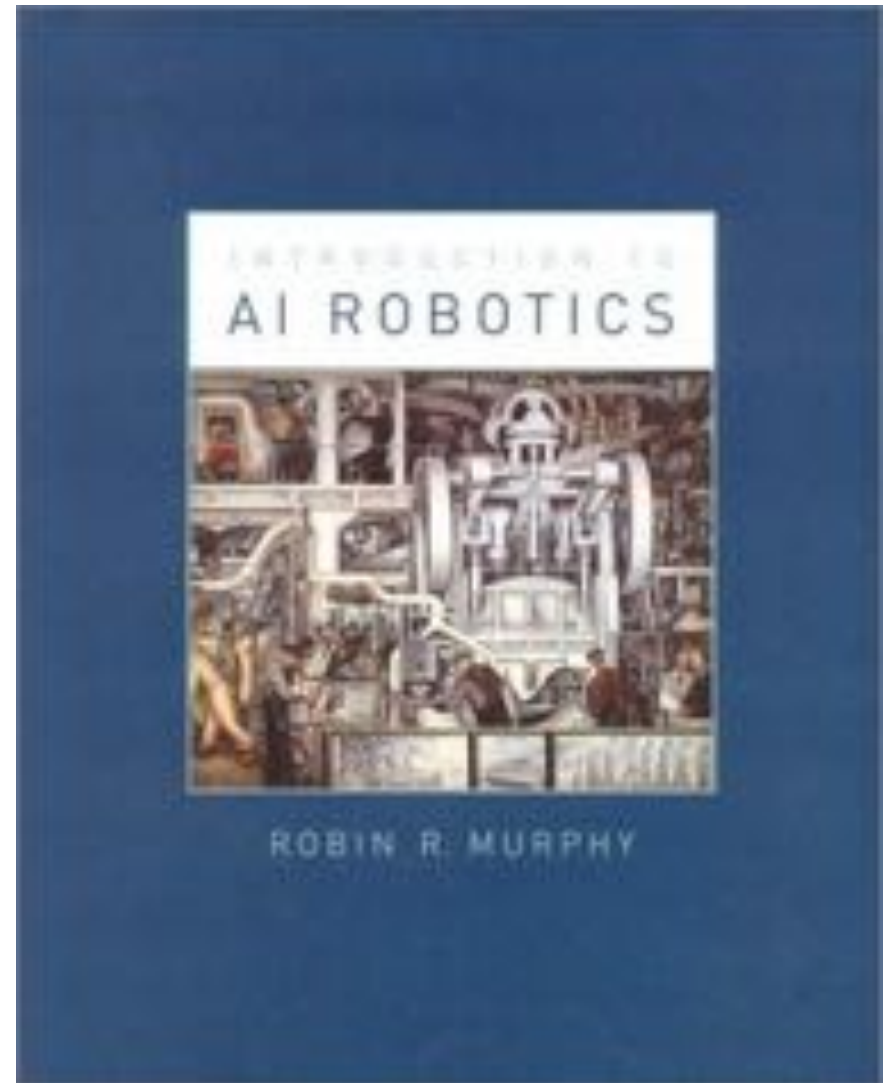
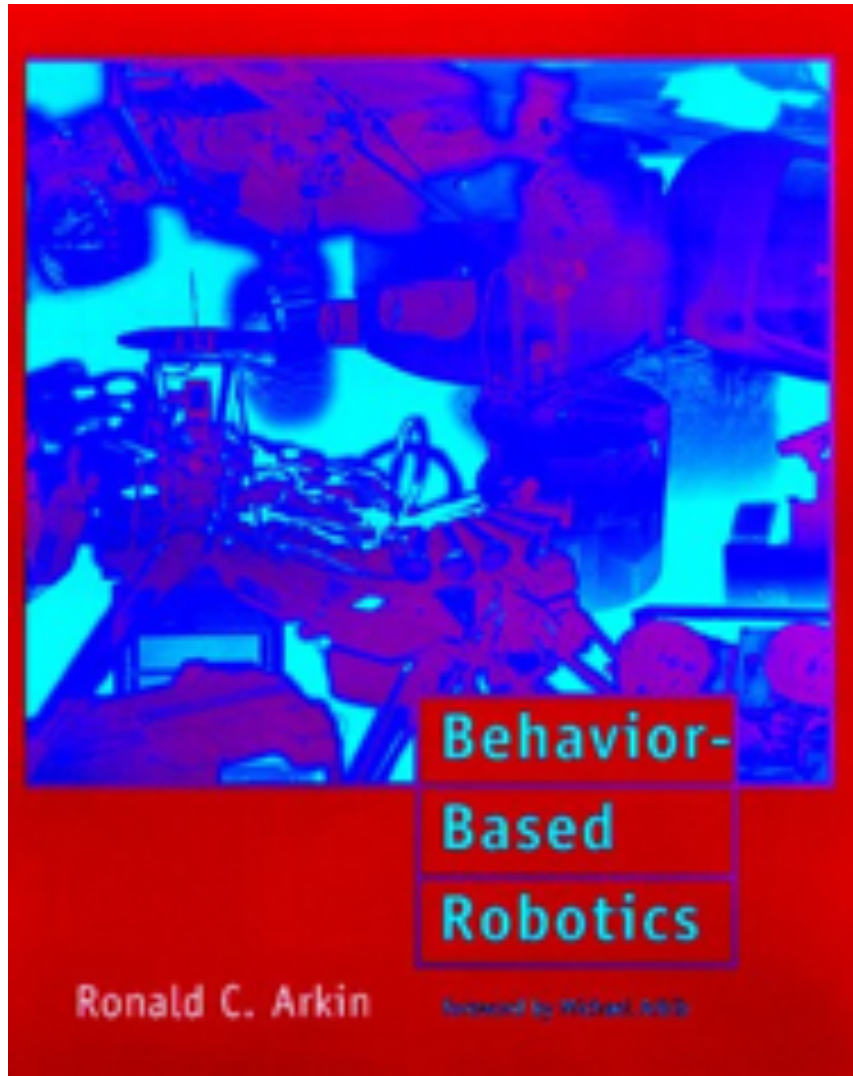
Navigation Stack

– Navigation avec une carte métrique

Navigation Stack Setup



Pour plus de détails



Les différentes stratégies de navigation

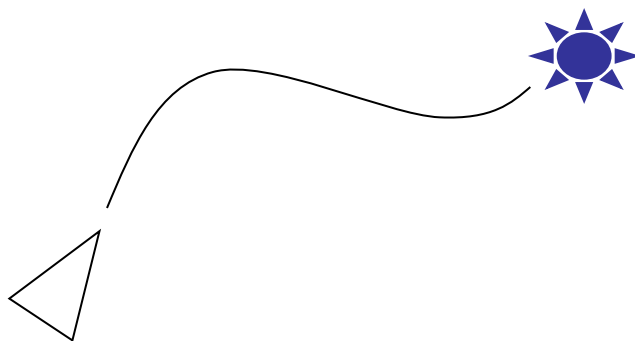
Classification établie par O. Truillier

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

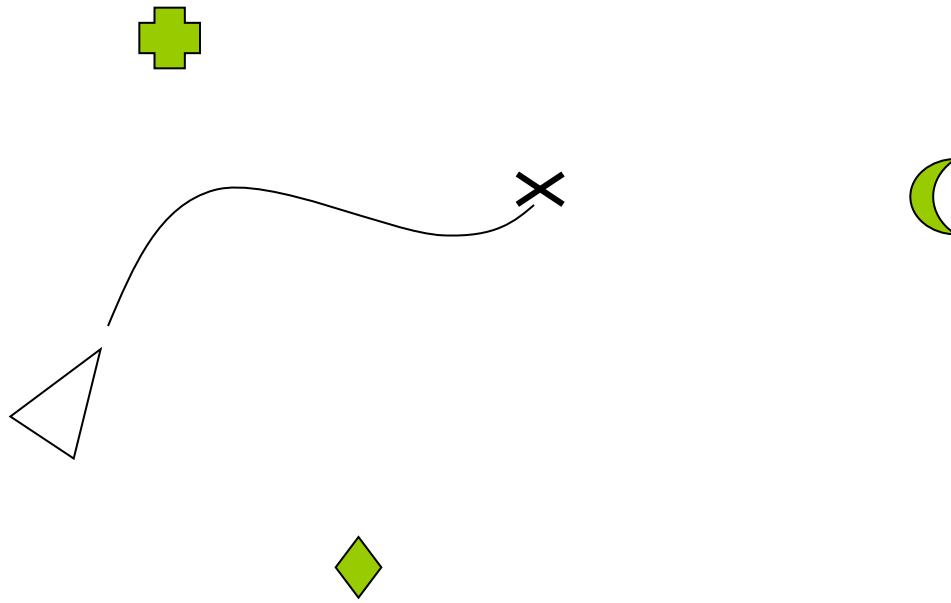
1. Approche d'un objet

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



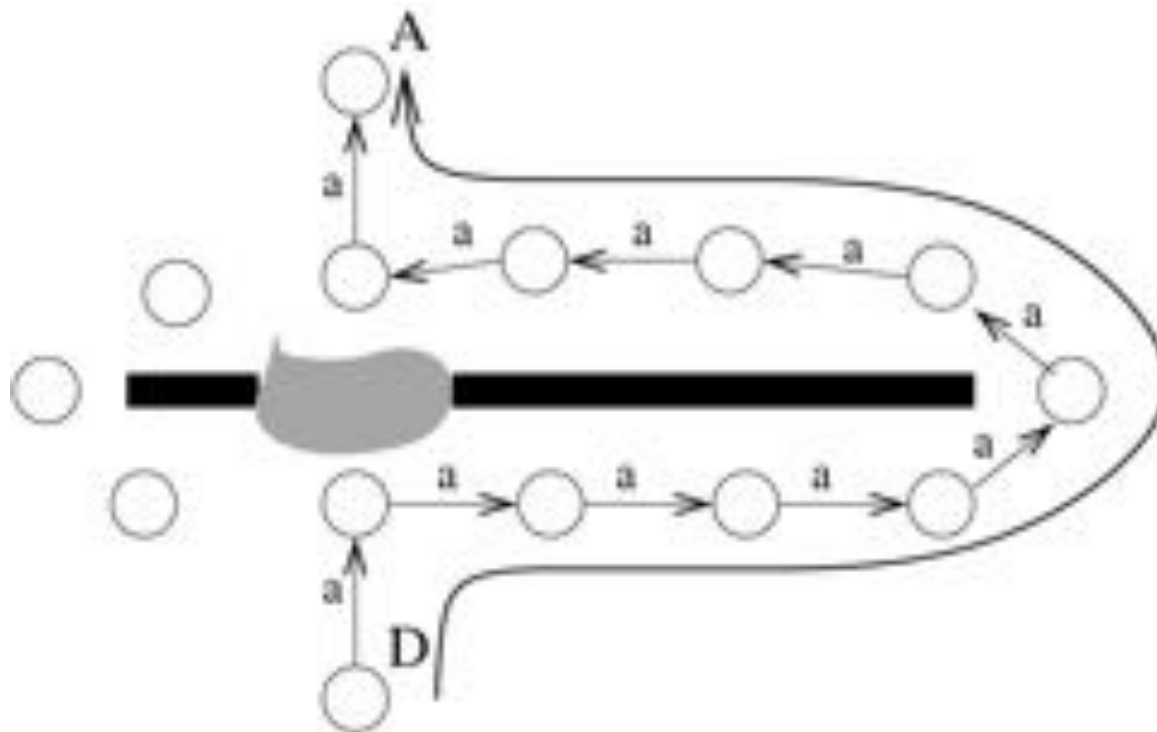
2. Guidage

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



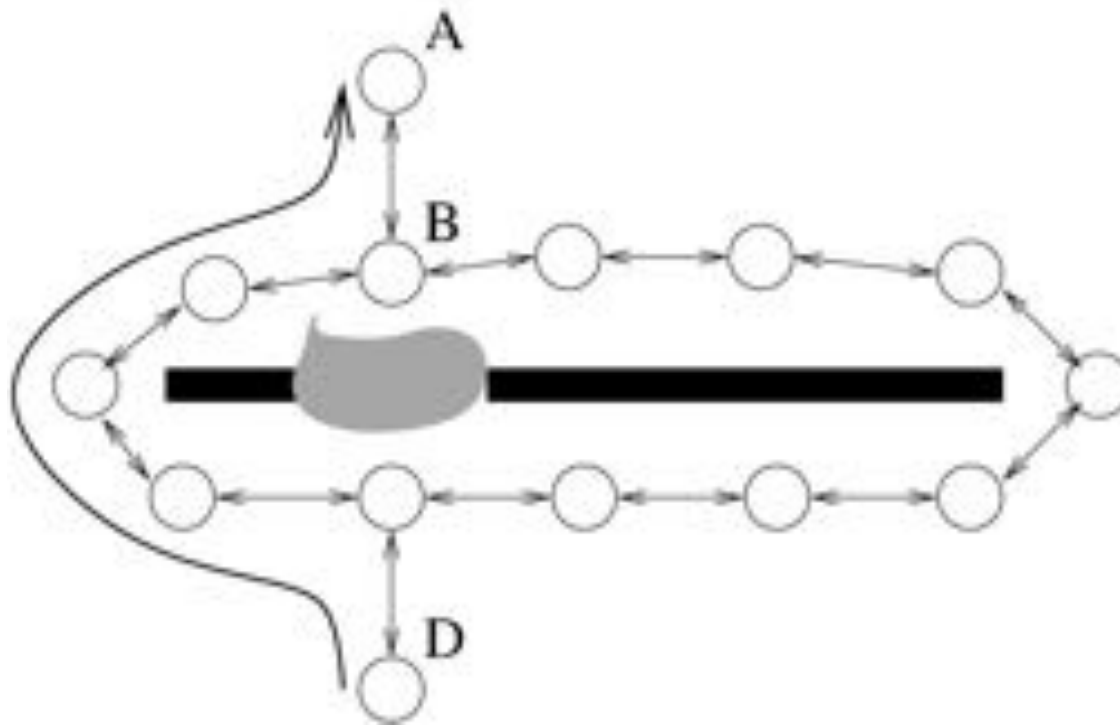
3. Action associée à un lieu

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



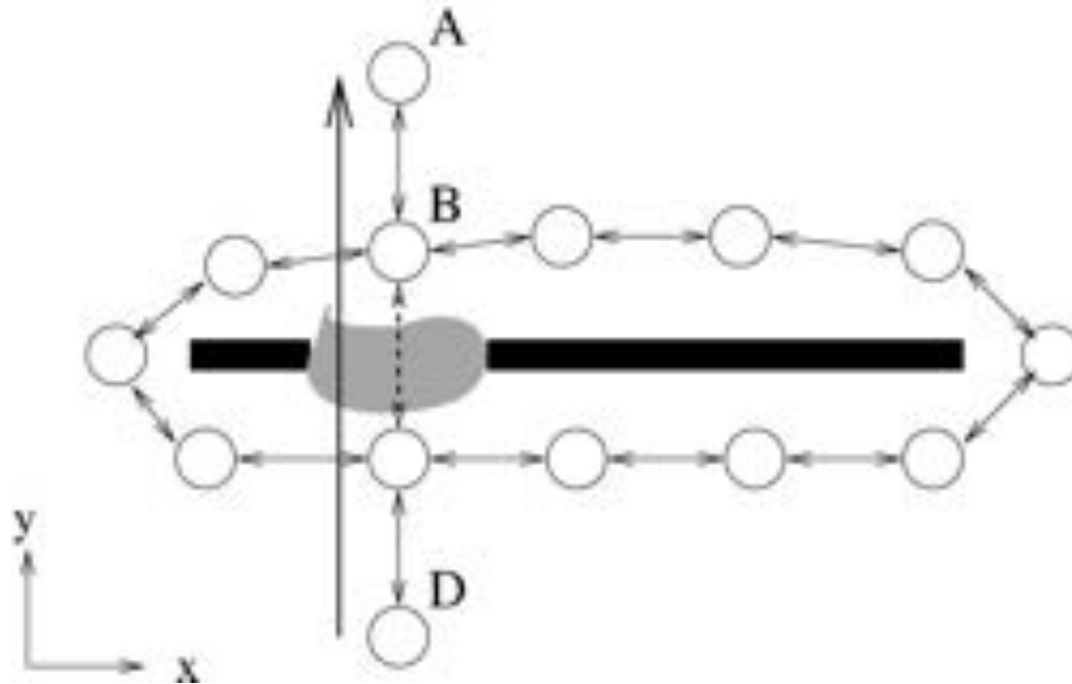
4. Navigation topologique

- 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

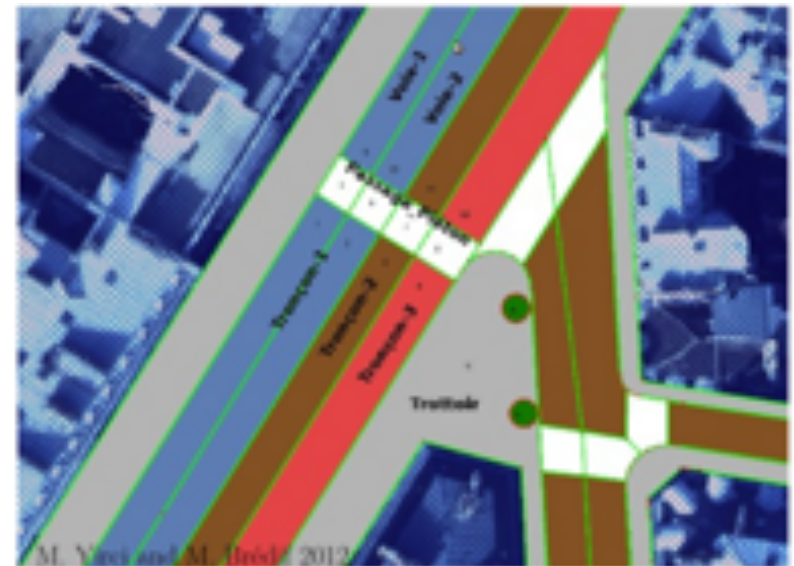
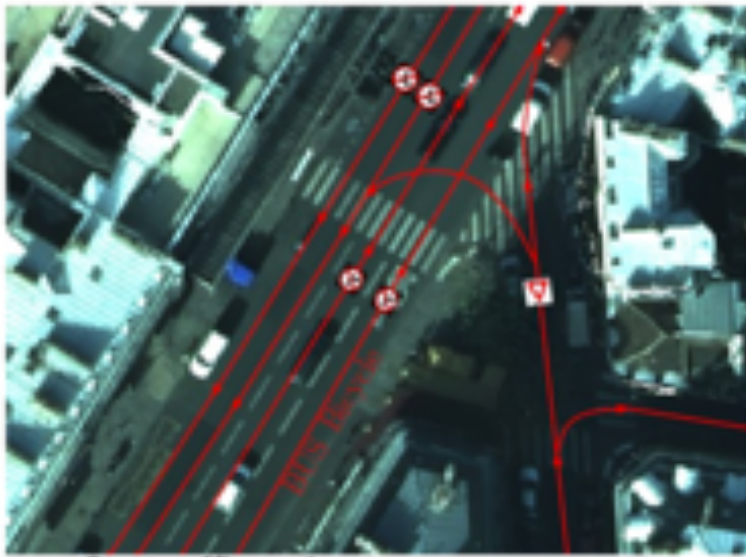
- Champ d'application restreint
- Très rapide
- Robuste (potentiellement ...)



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