

Robotique mobile : survivre dans des environnements incertains

Éric Beaudry

<http://planiart.usherbrooke.ca/~eric/>

Étudiant au doctorat en informatique

Laboratoires Planiart et Laborius

16 Octobre 2007 – Conférences midi CRHI (DOMUS)

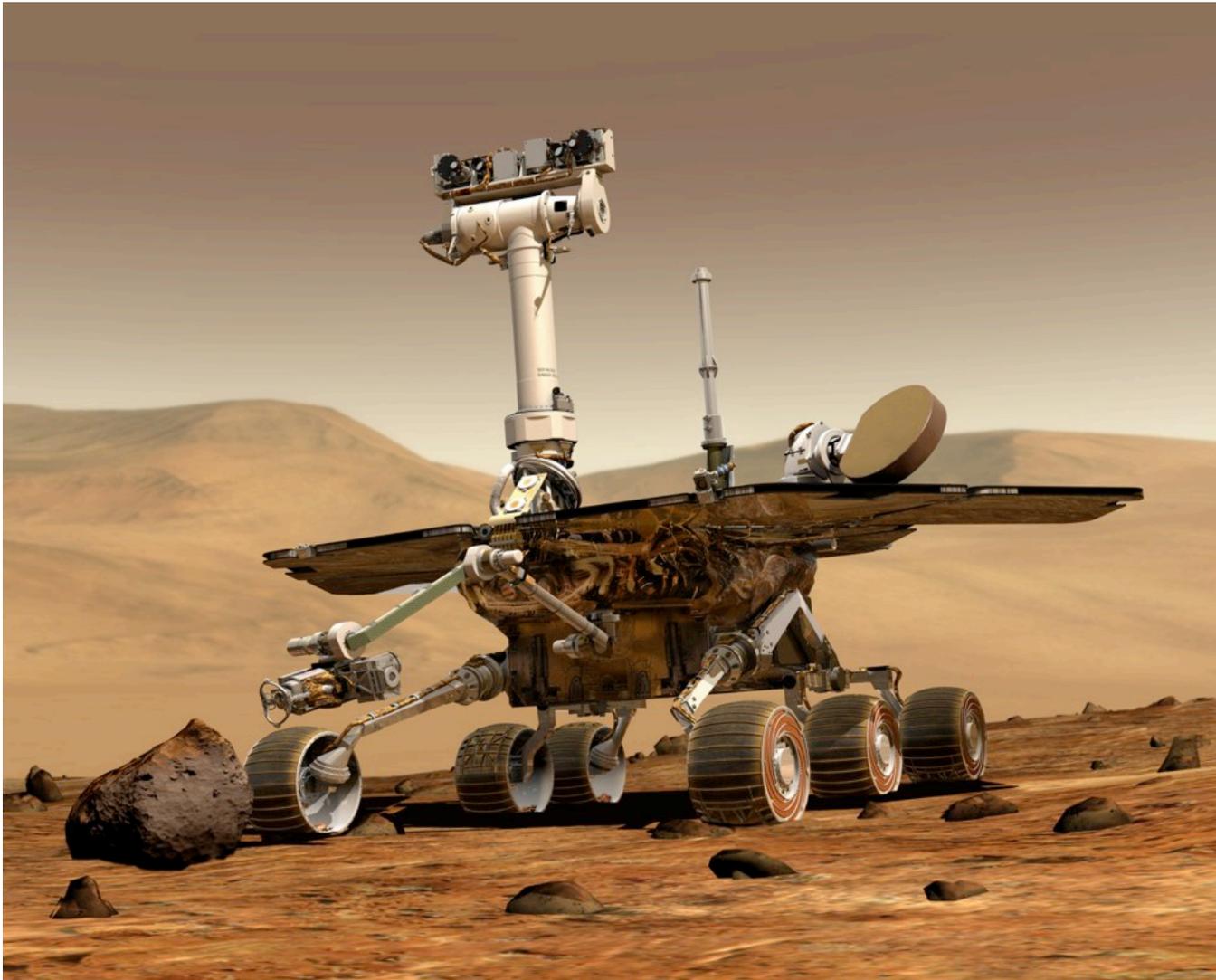
Sommaire

- Robots sur Mars
- Caractéristiques
- Chaîne de traitement
- Localisation intérieure
- Architectures décisionnelles
- Problèmes d'intégration

Caractéristiques de la robotique mobile et autonome

- Environnement partiellement connu
- Environnement dynamique
- Imprécision des capteurs (bruits)
- Les modèles de représentation ne sont que des approximations de la réalité
- Temps réel
- Capacité de calcul limitée
- Autonomie énergétique

Robots sur Mars



Source : <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/artwork/hires/rover3.jpg>

Robots sur Mars

- Analyses du sol directement à la surface de Mars.
- Possibilité de se déplacer à des endroits très précis. L'atterrissage (amarsissage) de sondes sur Mars n'est précise à quelques km près.



Source :

<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/artwork/hires/rover3.jpg>

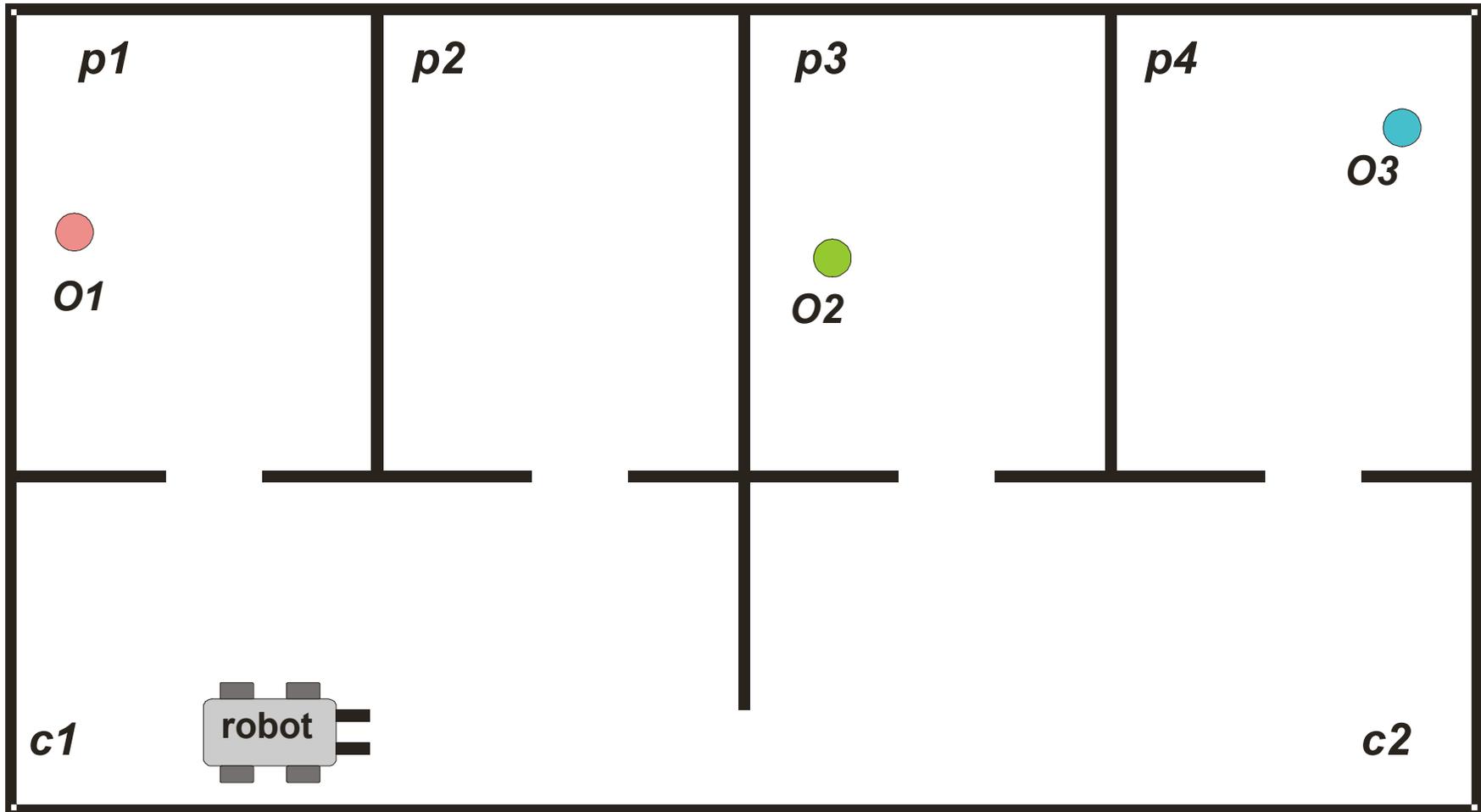
Mars : contraintes et caractéristiques

- Terrain inconnu, relief très accidenté.
- Localisation difficile (pas de systèmes GPS).
- Énergie (pannaux solaires).
- Batteries.
- Puissance de calcul.
- Espace de stockage.
- Aucune intervention possible.
- Fenêtres de communication.
- Protocole d'utilisation des instruments et capteurs.
- Survie au froid.

Mars : incertitude

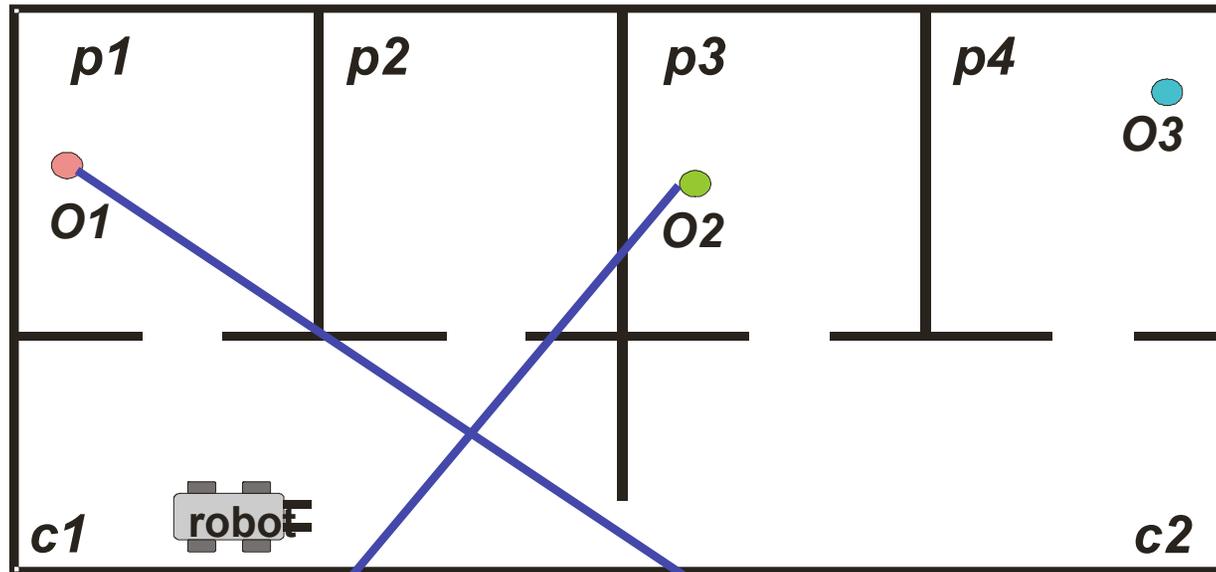
- Une grande partie de l'incertitude est liée aux ressources et au temps:
 - Énergie captée par les panneaux solaires;
 - Énergie consommée par les moteurs;
 - Durée des déplacements;
 - Communications avec la terre;
 - Espace de stockage requis;
- Bref, le plan d'activités du robot doit être soigneusement élaboré et validé avant d'être exécuté. Sinon, le robot risque de «mourir» !

Application classique: un robot livreur de colis

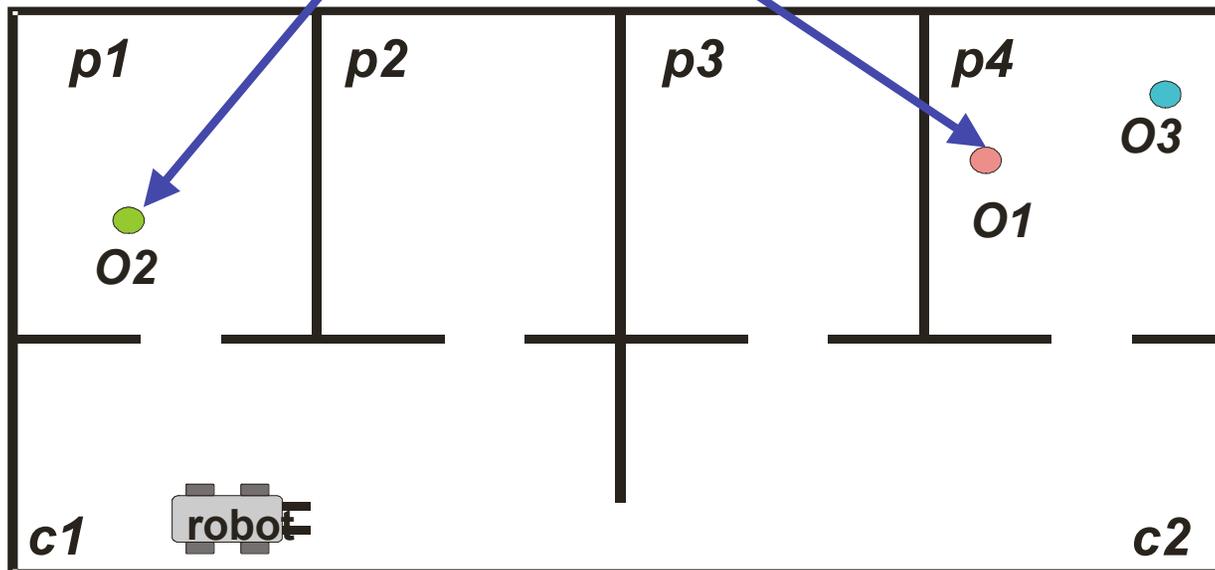


Un robot livreur de colis : problème

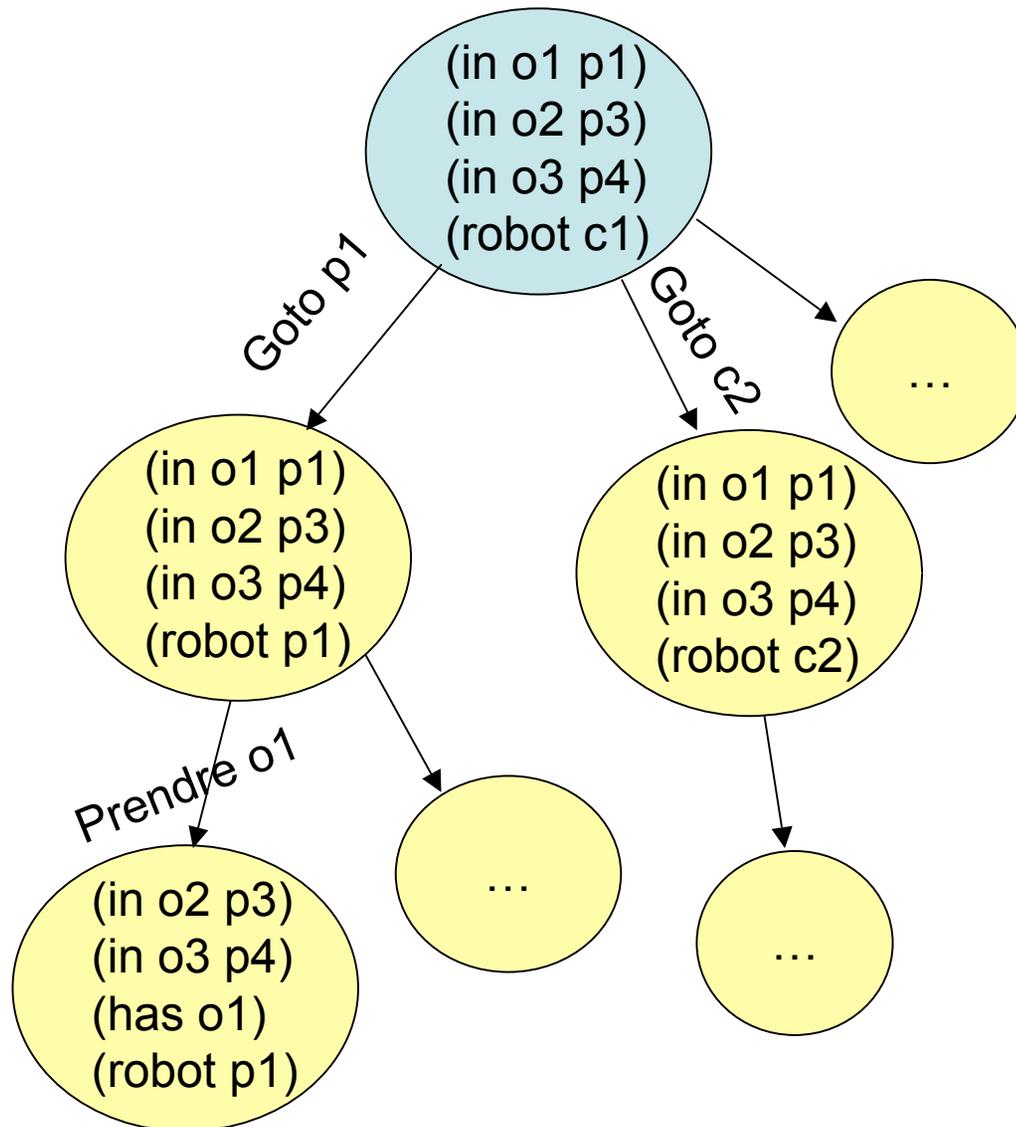
État initial



But



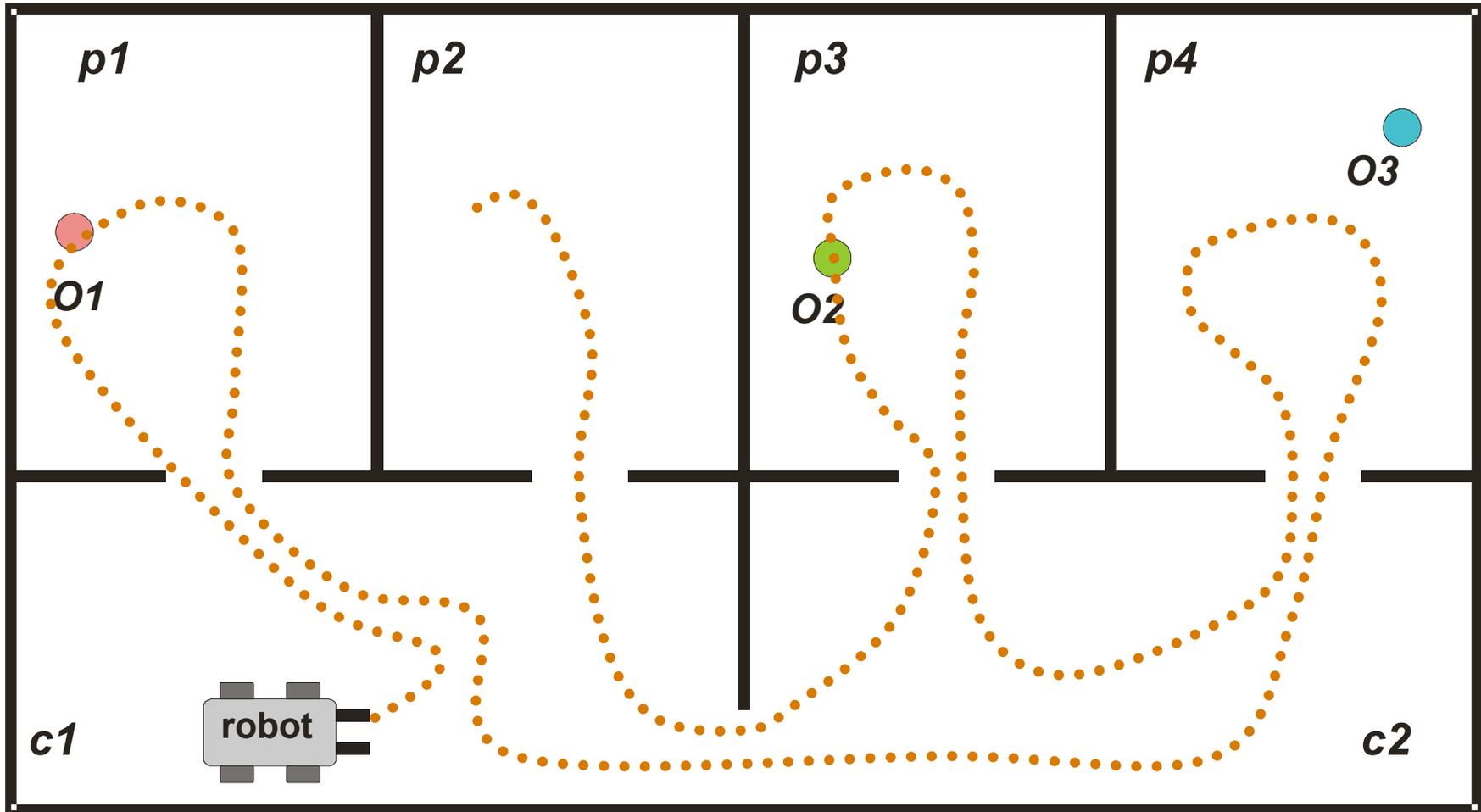
Un robot livreur de colis : A*



Solution:

1. Goto p1
2. Prendre o1
3. Goto c1
4. Goto c2
5. Goto p4
6. Déposer o1
7. Goto c2
8. Goto p3
9. Prendre o2
10. Goto c2
11. Goto c1
12. Goto p1
13. Déposer o2

Un robot livreur de colis : exécution



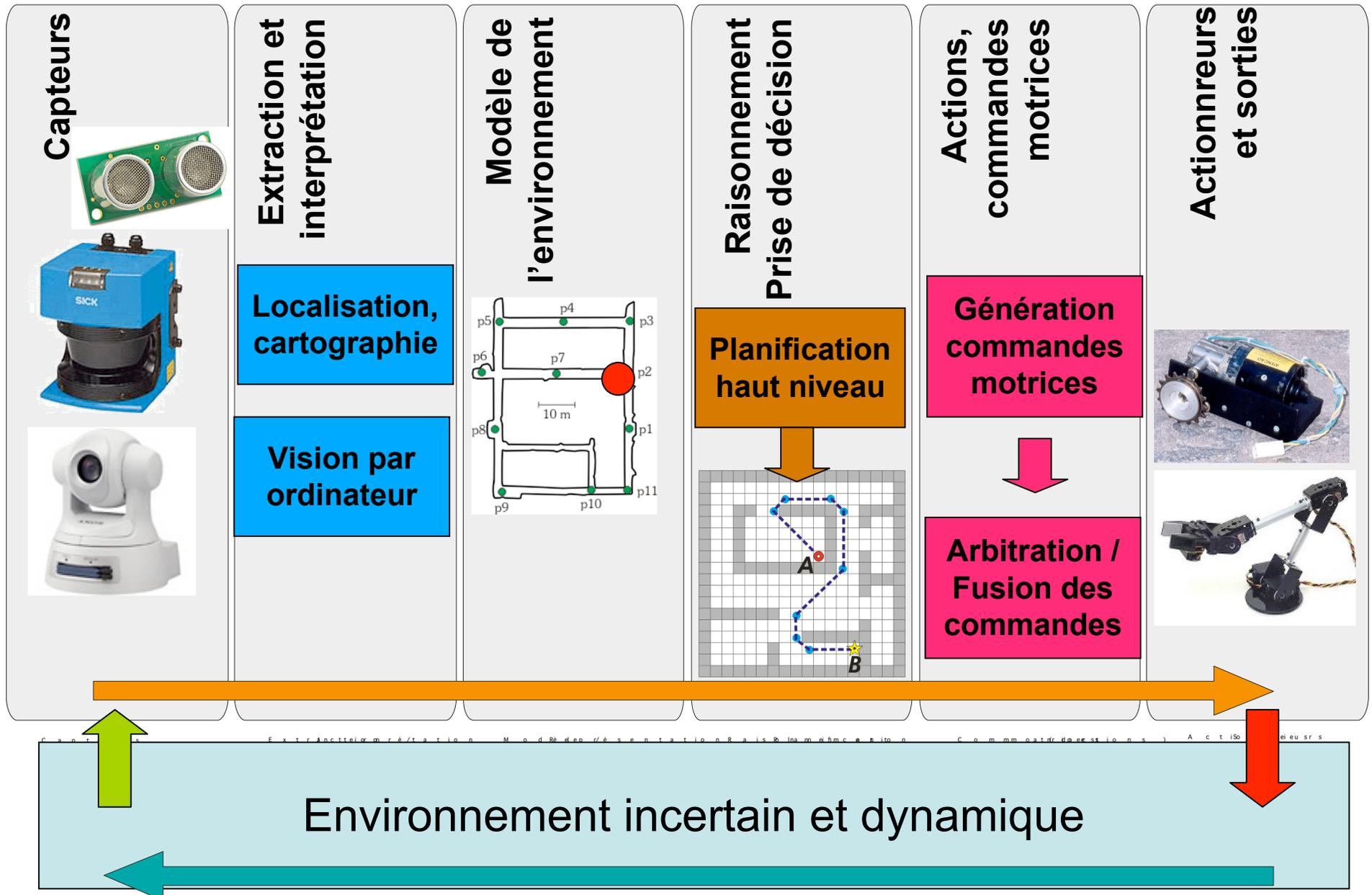
Incertitude

- Que se passe-t-il si ...
 - Des obstacles se trouvent sur le chemin du robot ?
 - Une porte est fermée ?
 - On ajoute des contraintes de temps ?
 - Chute de tension des batteries ?
 - ...

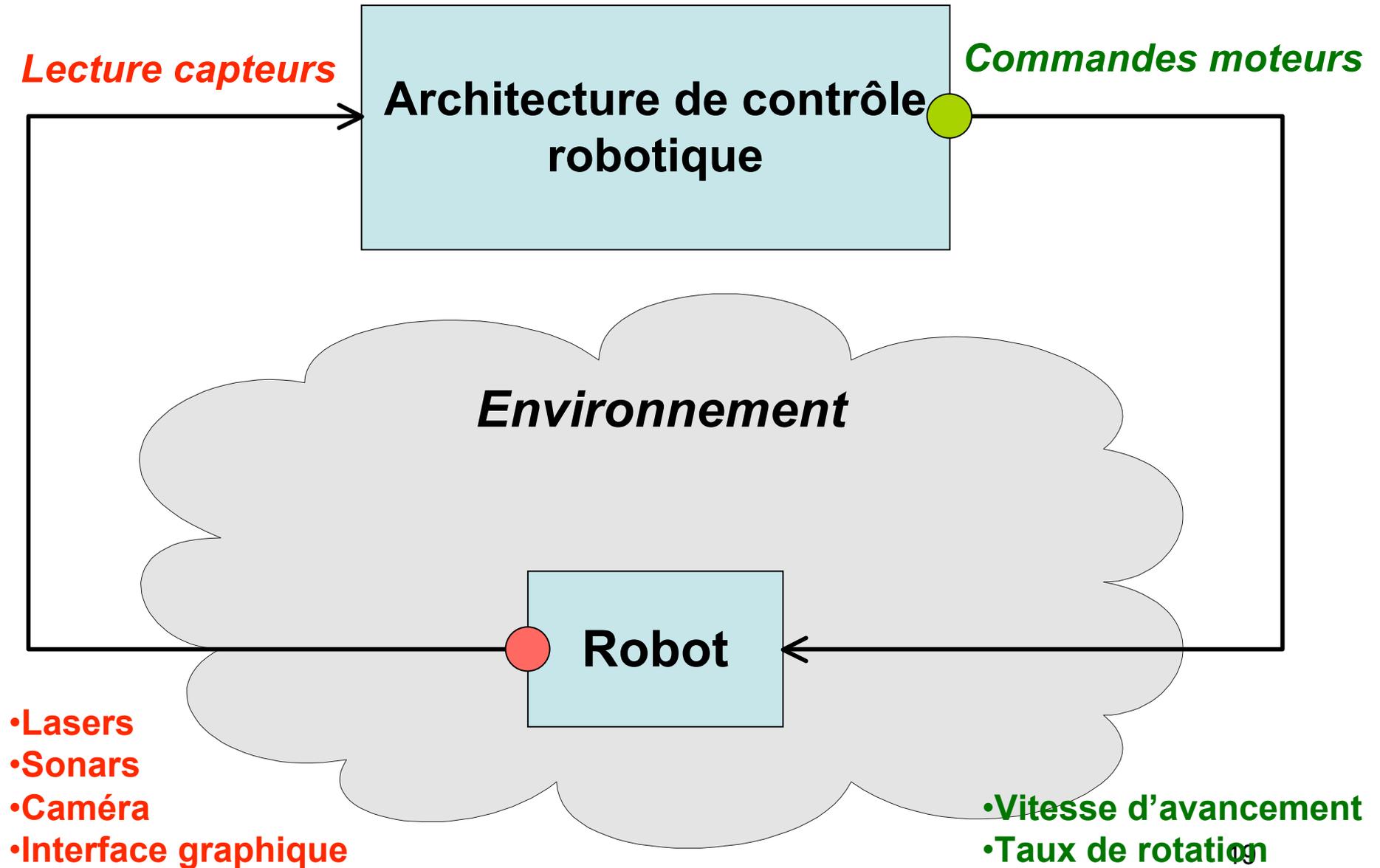
Approches pour gérer l'incertitude

- Architectures décisionnelles
 - Prendre des décisions à plusieurs niveaux
 - Réactif vs délibératif
- Planification déterministe avec monitoring
 - Surveillance des plans
 - Replanification lors d'échecs perçus ou anticipés
- Planification non déterministe
 - Génération de politiques
 - Génération de plans conditionnels

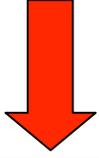
Chaîne de traitement



Boucle de contrôle



Capteurs



Capteurs

**Extraction et
interprétation**

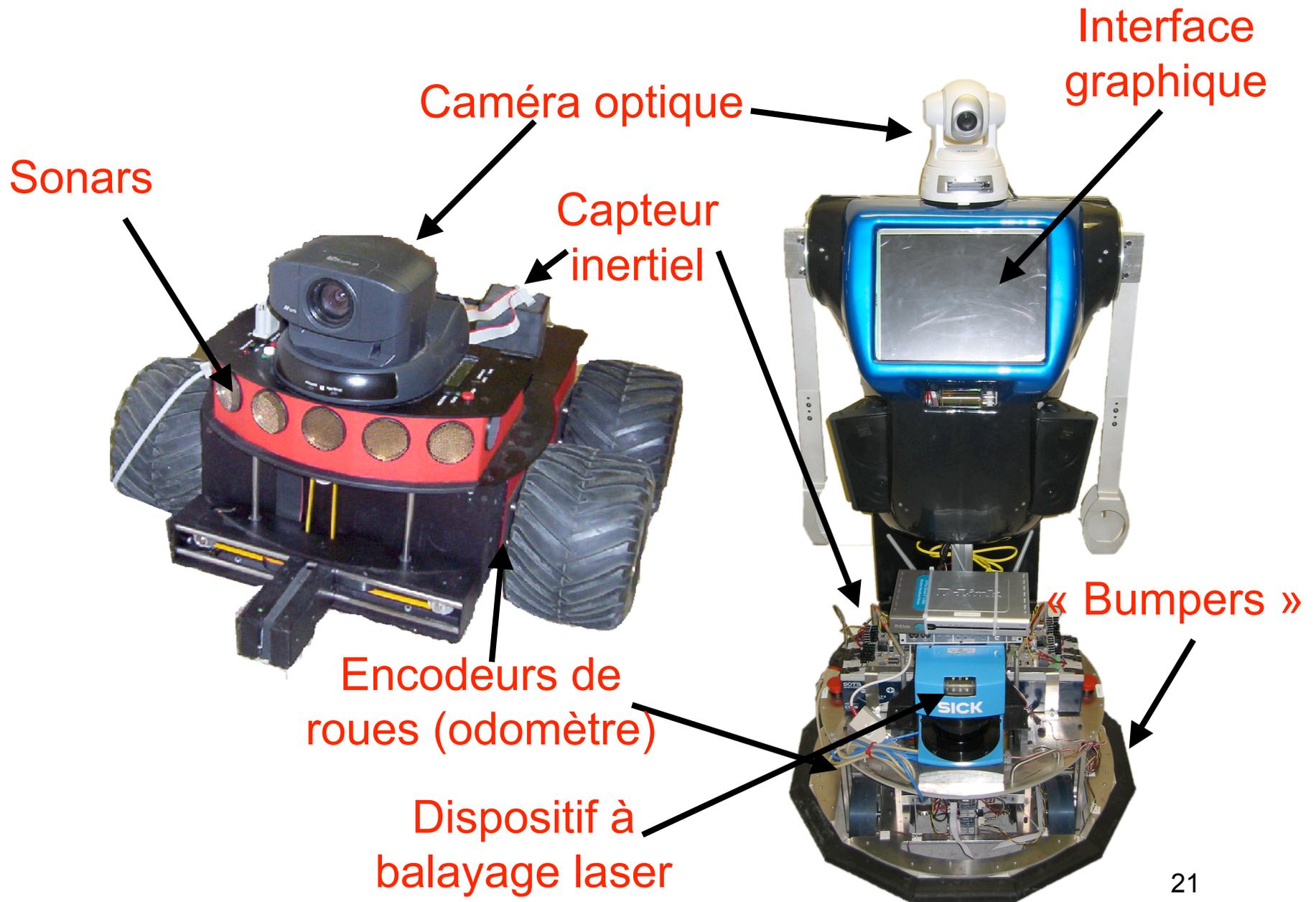
**Modèle de
l'environnement**

**Raisonnement
Prise de décision**

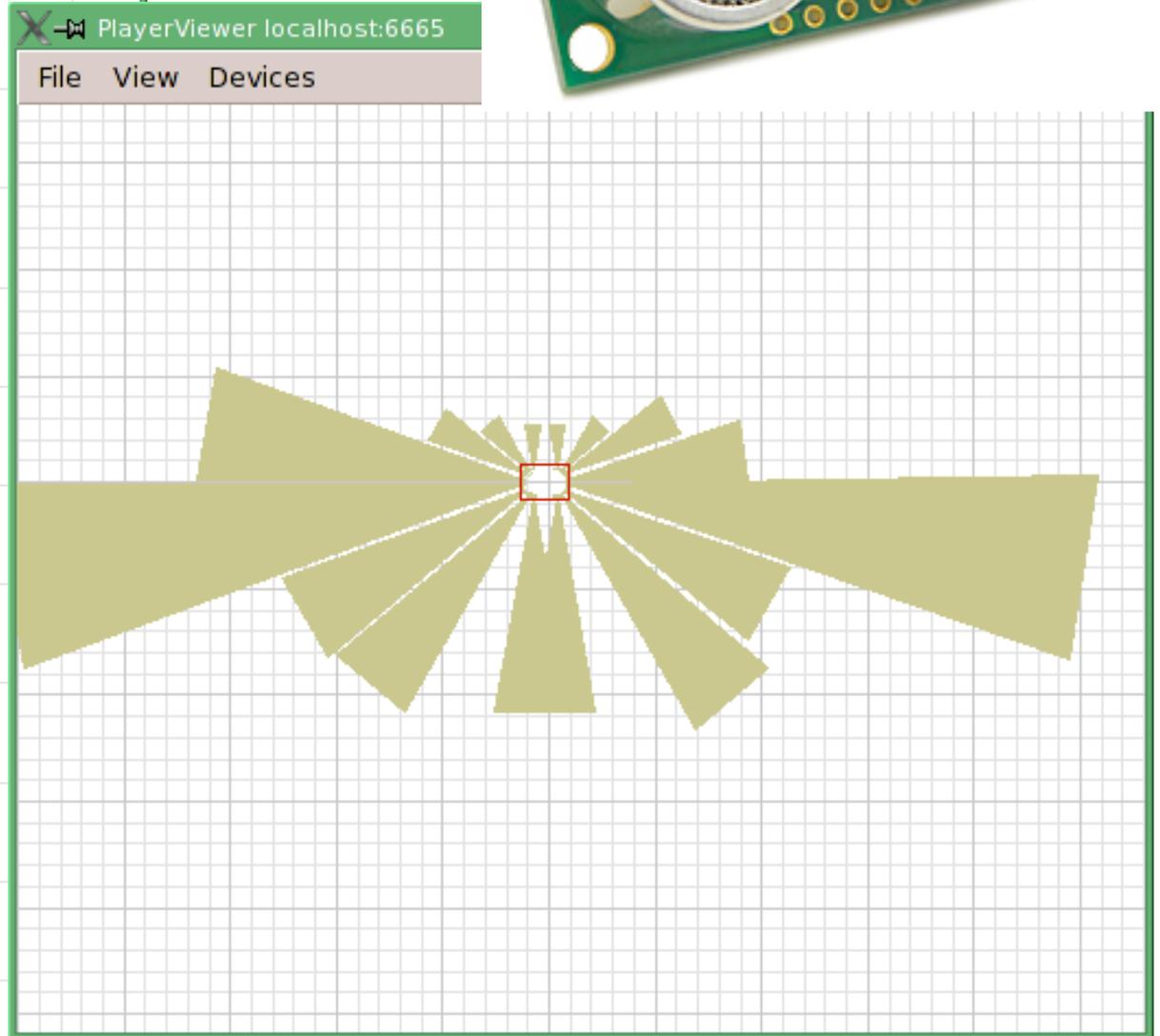
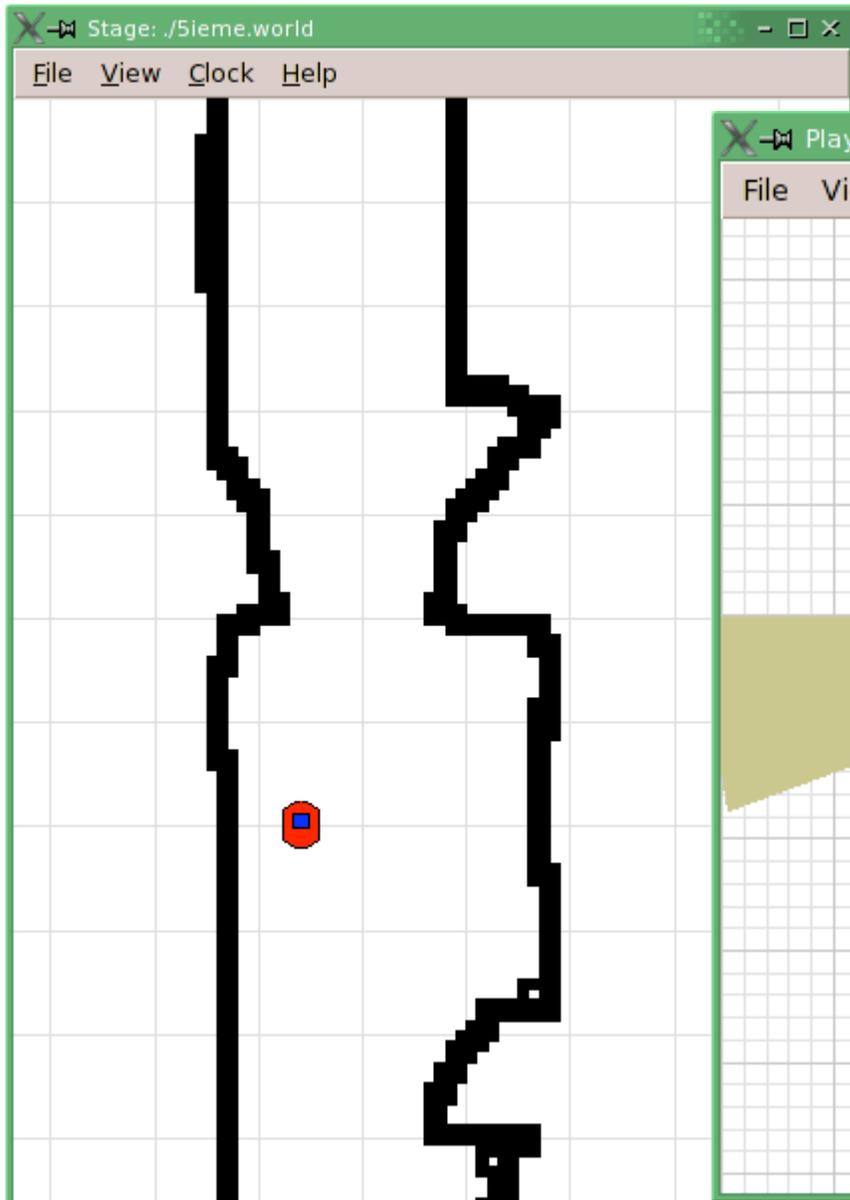
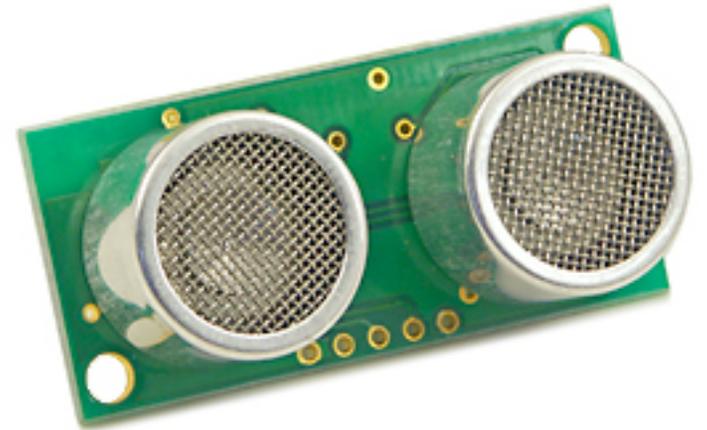
**Actions,
commandes
motrices**

**Actionneurs
et sorties**

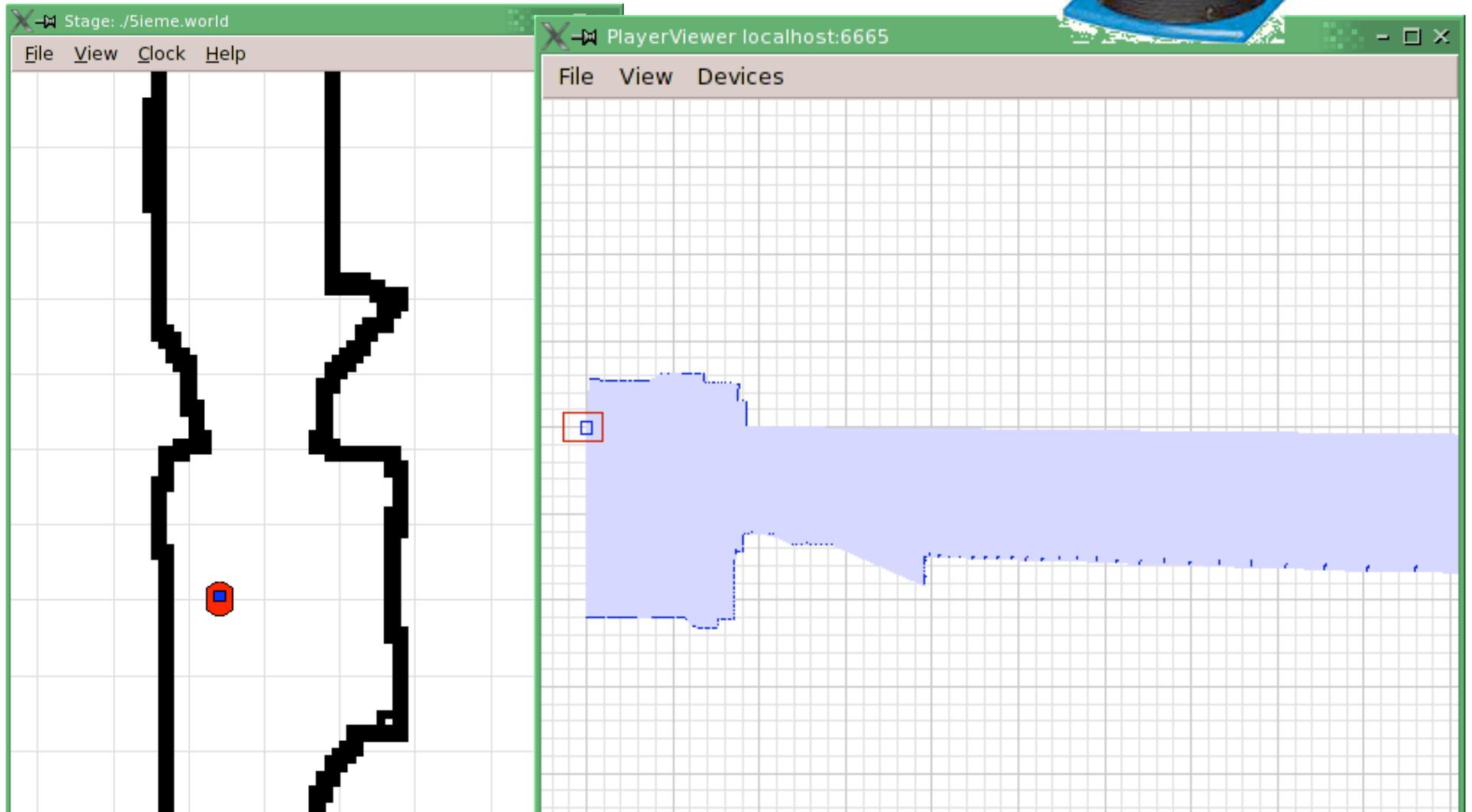
Capteurs d'un robot



Sonars à ultrasons



Capteur de proximité à balayage laser



Stage: ./Sieme.world

File View Clock Help

5 18 17 18 20 21 22 23

Time: 0:0:04:33.800 (sim/real:0.92) subs: 2 Stage v...

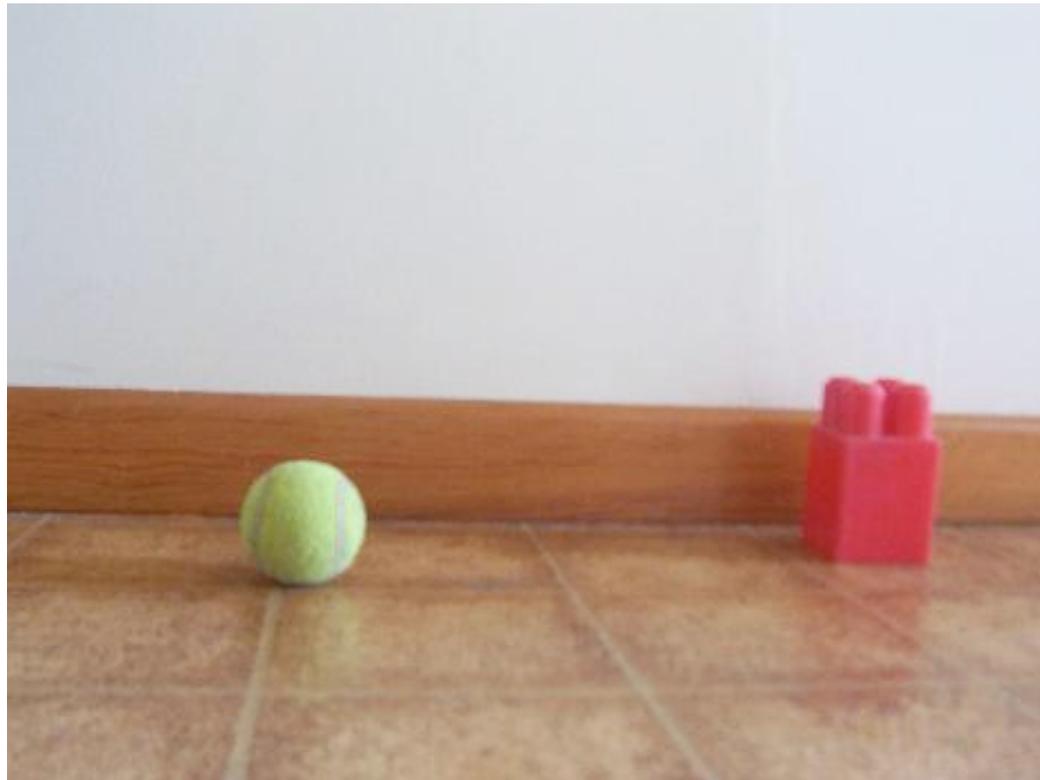
PlayerViewer localhost:6665

File View Devices

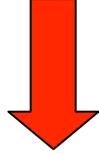
Time: 0:0:04:33.800 (sim/real:0.92) subs: 2 Stage v...



Caméra optique



Extraction d'information



Capteurs

**Extraction et
interprétation**

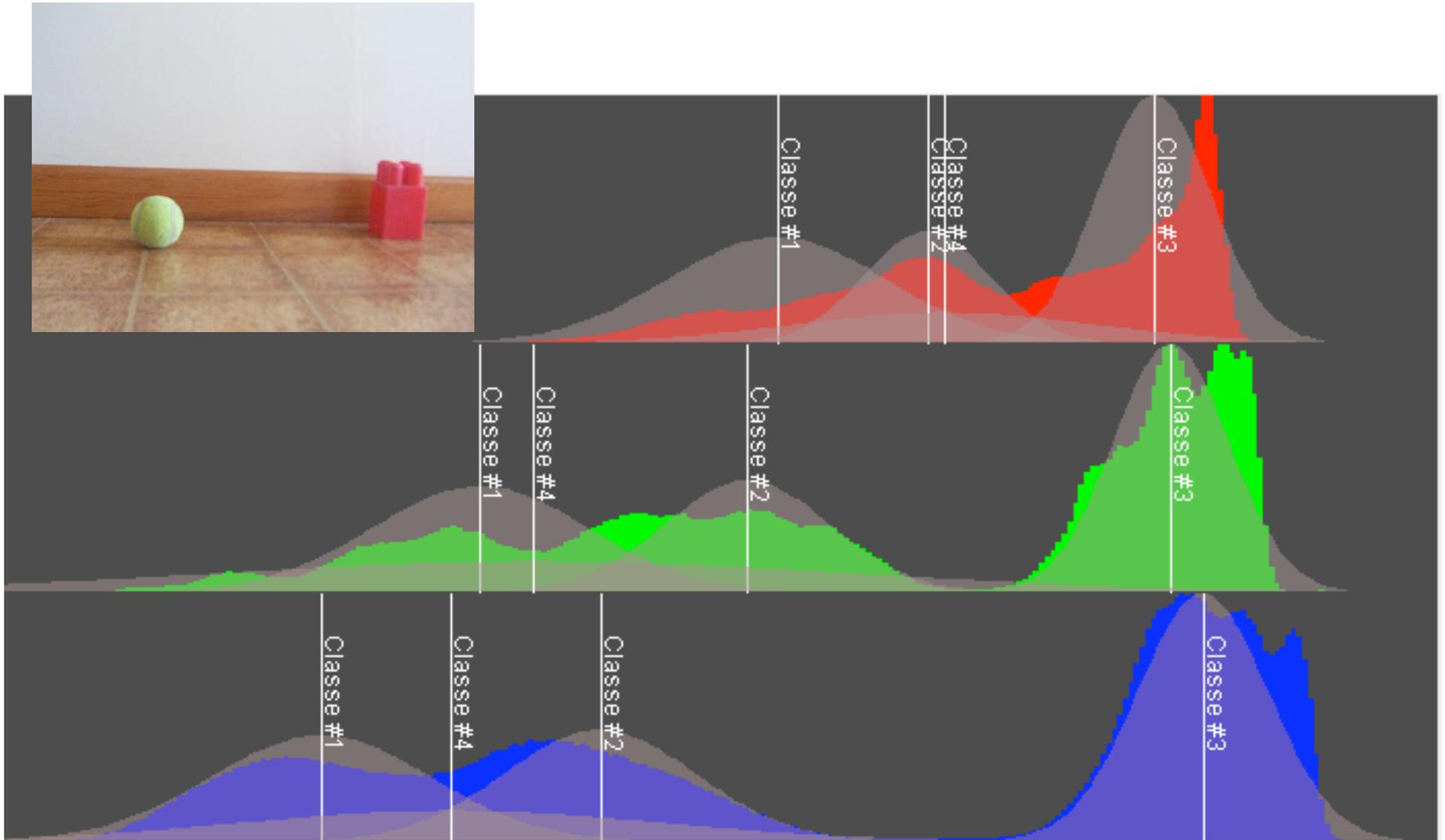
**Modèle de
l'environnement**

**Raisonnement
Prise de décision**

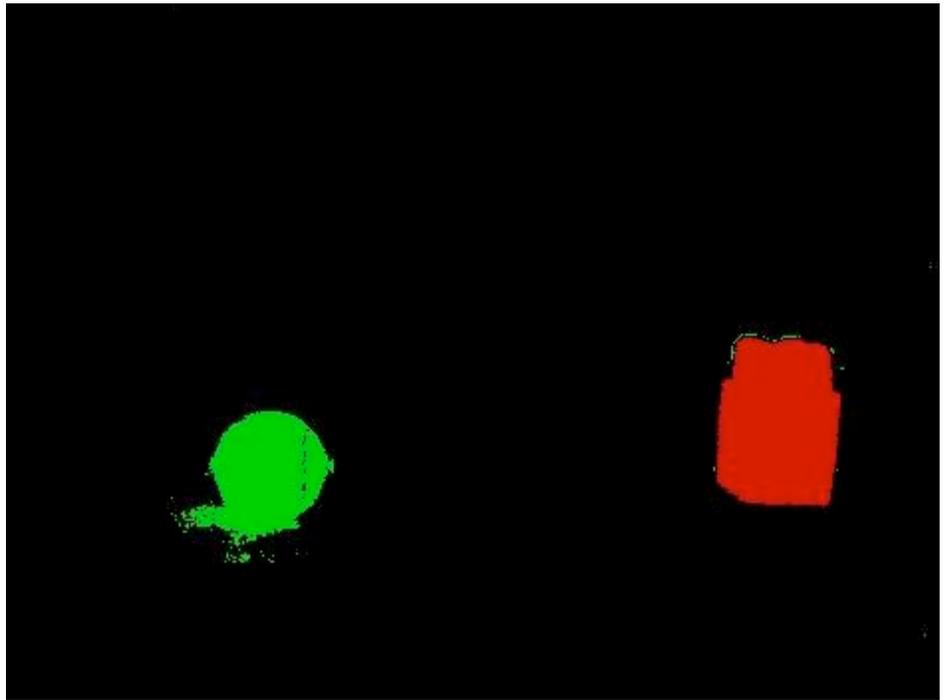
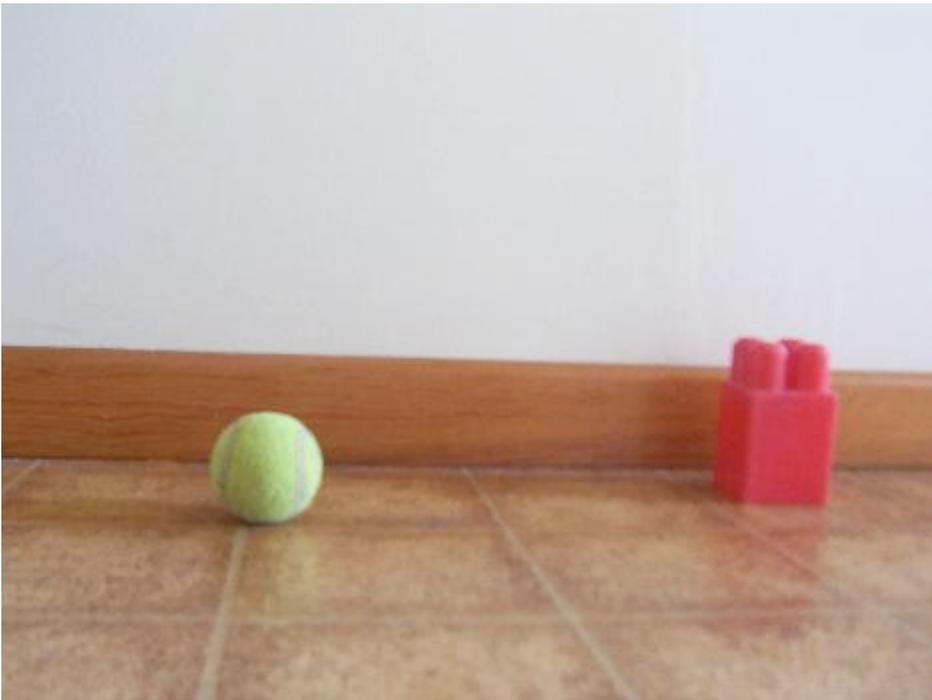
**Actions,
commandes
motrices**

**Actionneurs
et sorties**

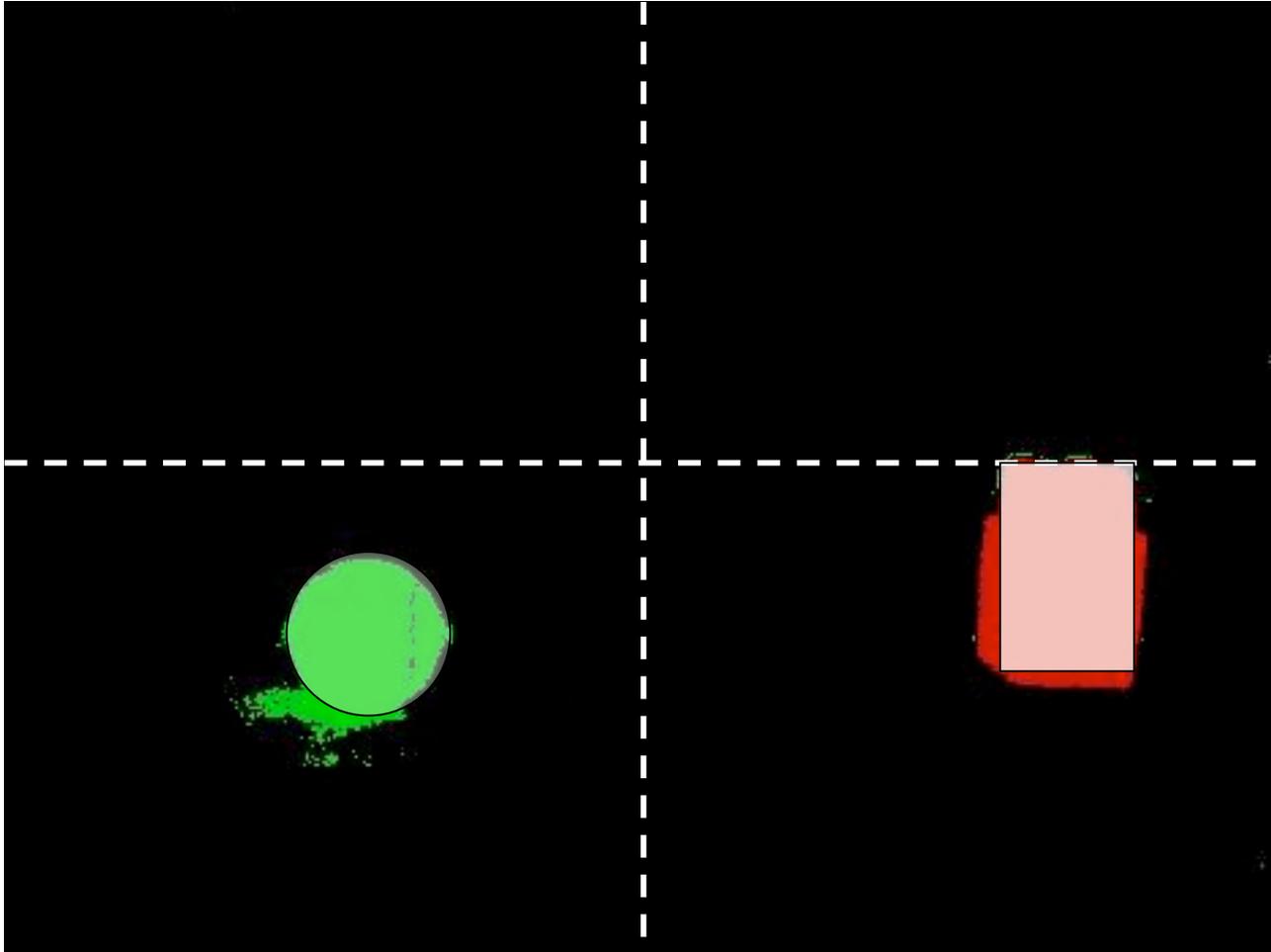
Classification d'images



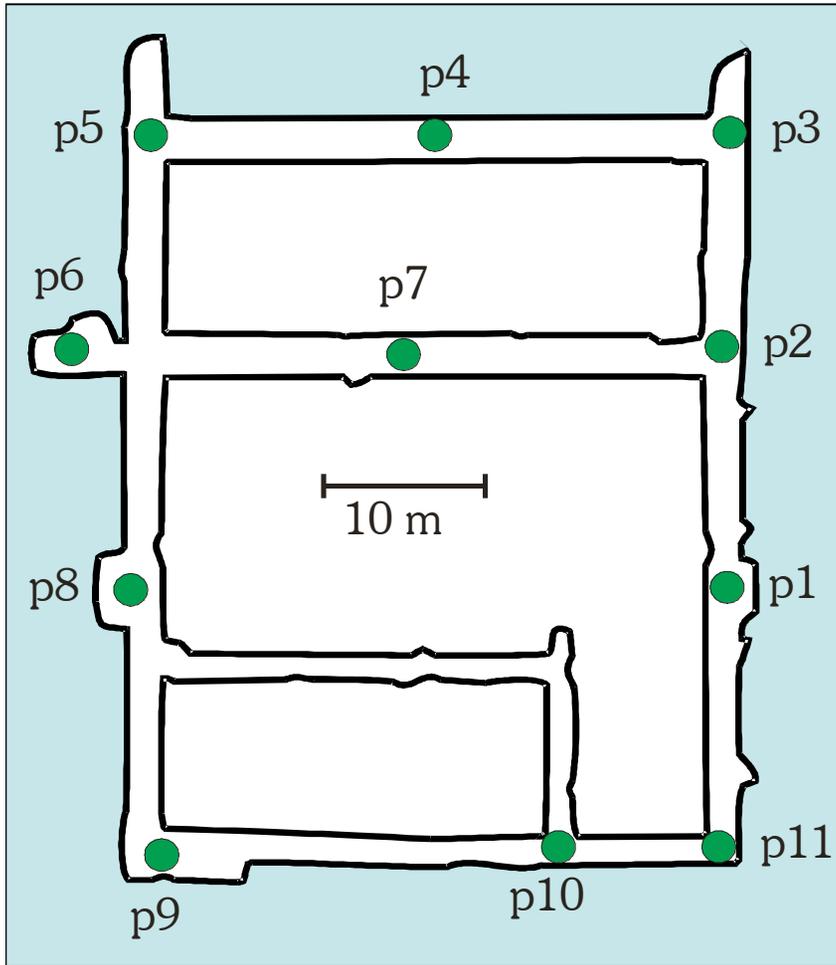
Classification d'images



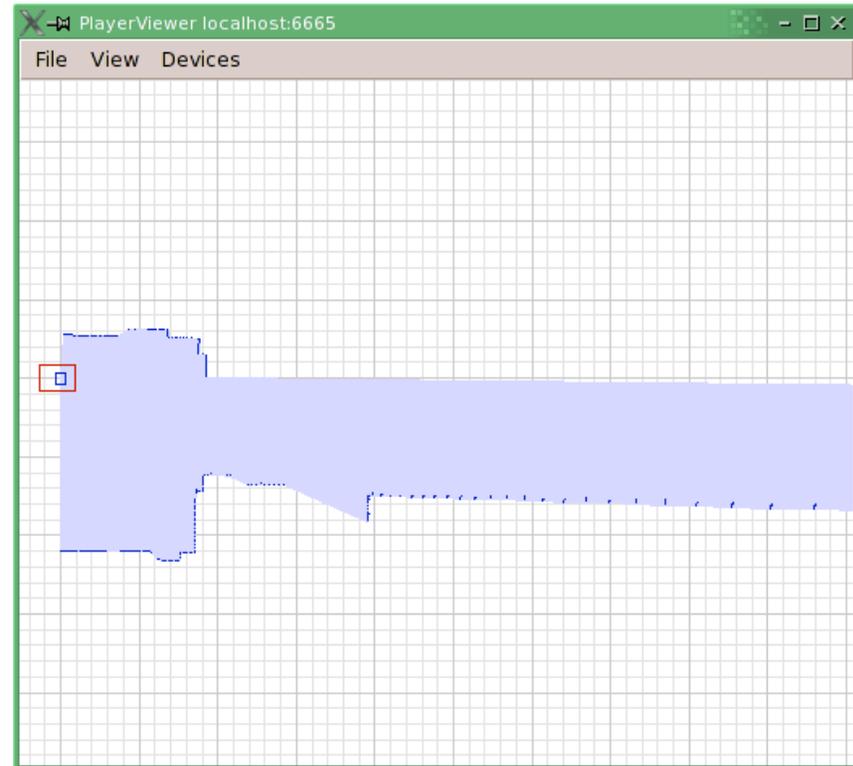
Segmentation d'images



Localisation : où suis-je ?



Carte connue



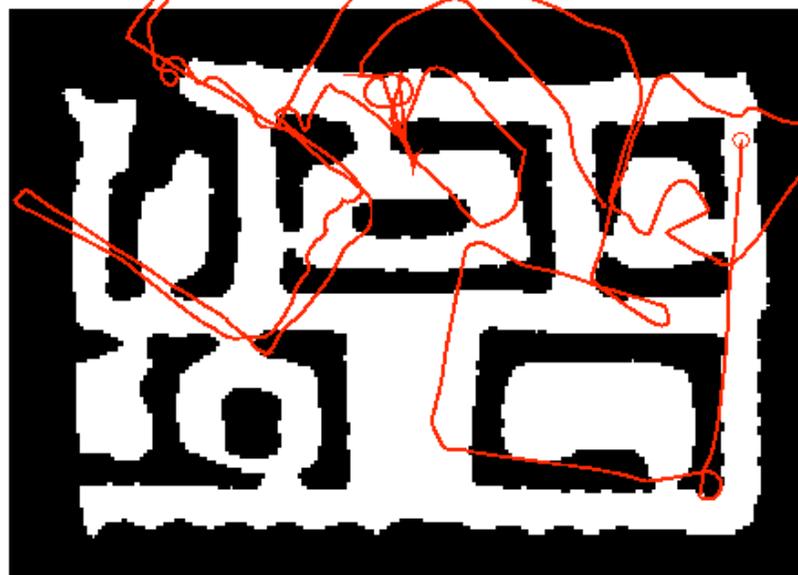
Représentation graphique de la « vue » du laser

Localisation

- La localisation consiste à trouver la position courante d'un robot.
- Carte connue, **environnement dynamique**.
- Capteurs **imprécis, bruités et sensibles au milieu** (ex: laser et miroir).
- Généralement, on ne peut pas mesurer directement la position. Il faut plutôt l'**estimer**.
- Plusieurs méthodes:
 - Capteur GPS (extérieur)
 - Capteurs infrarouges (requiert d'altérer l'environnement)
 - **Laser + odomètre (Kalman / Monte Carlo)**
 - ...

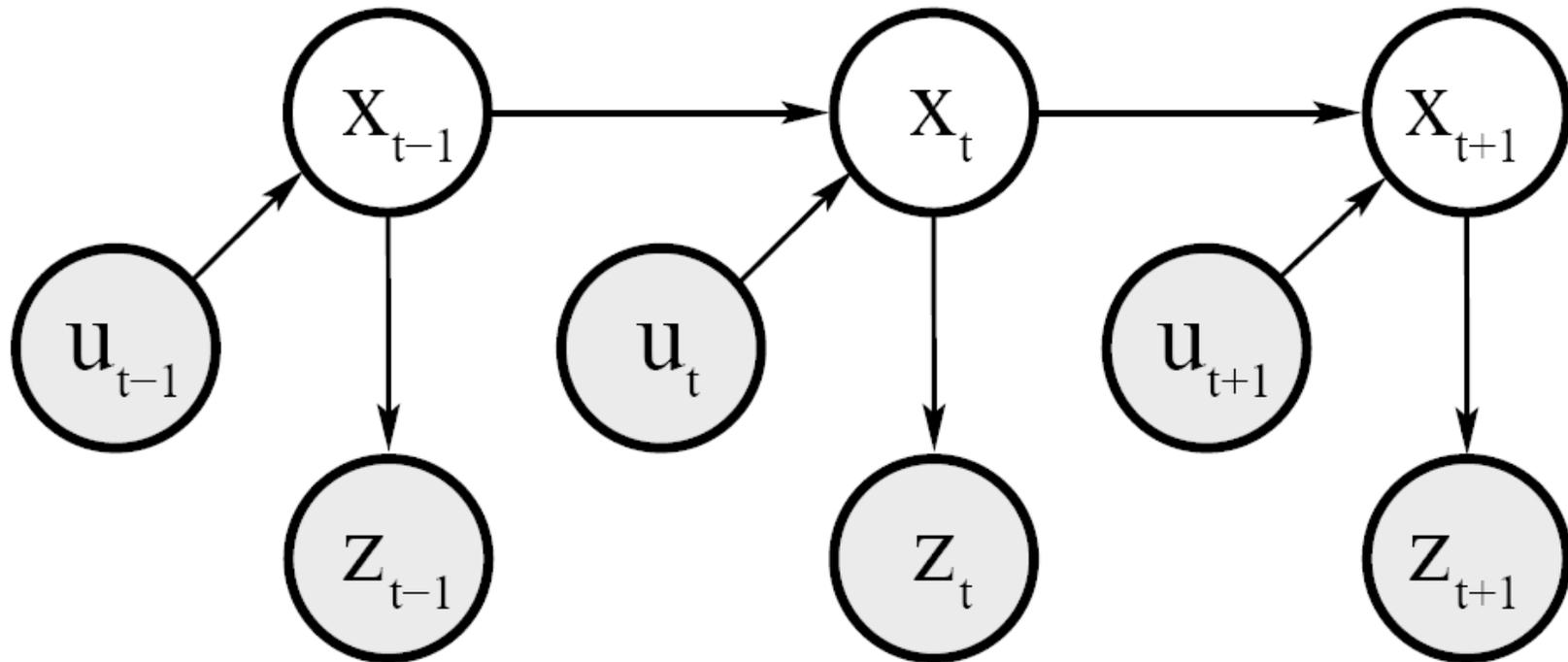
Localisation

- Odomètre (encodeurs de roues)
imprécis : glissement des roues



Source : figures tirées de <http://www.probablistic-robotics.org/>

Chaîne de Markov cachée

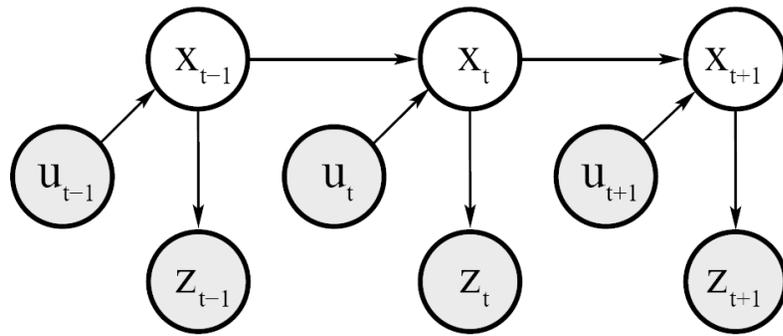


x : position du robot (variable cachée)

u : actions (ou déplacement perçu)

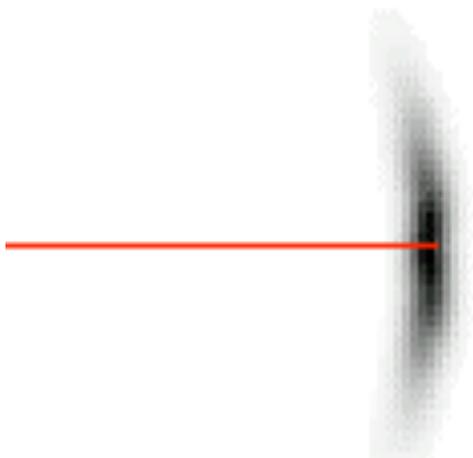
z : observations (capteurs)

Modèle probabiliste



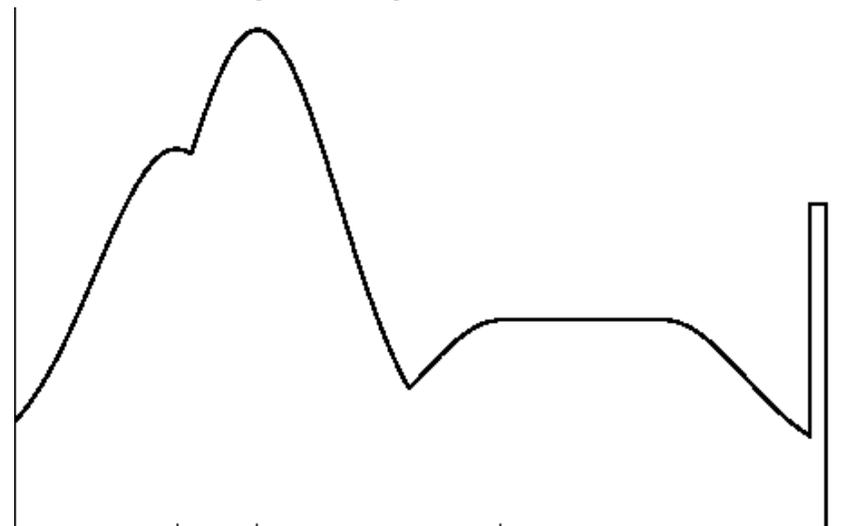
Déplacement

$$p(x_t | x_{t-1}, u_t)$$

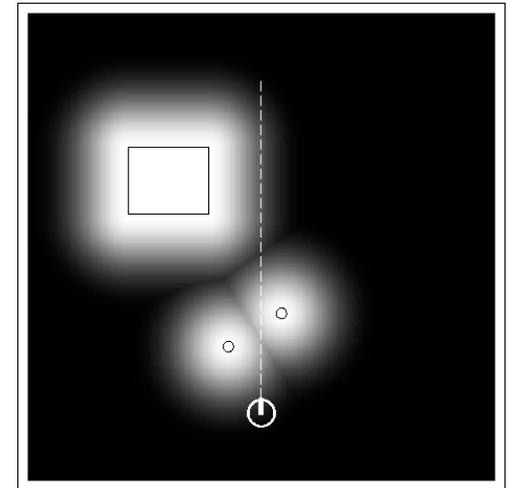


Observation

$$p(z_t | x_{t-1}, m)$$



Carte m



Filtre bayésien*

- Intégration des actions ou de l'odométrie (x)

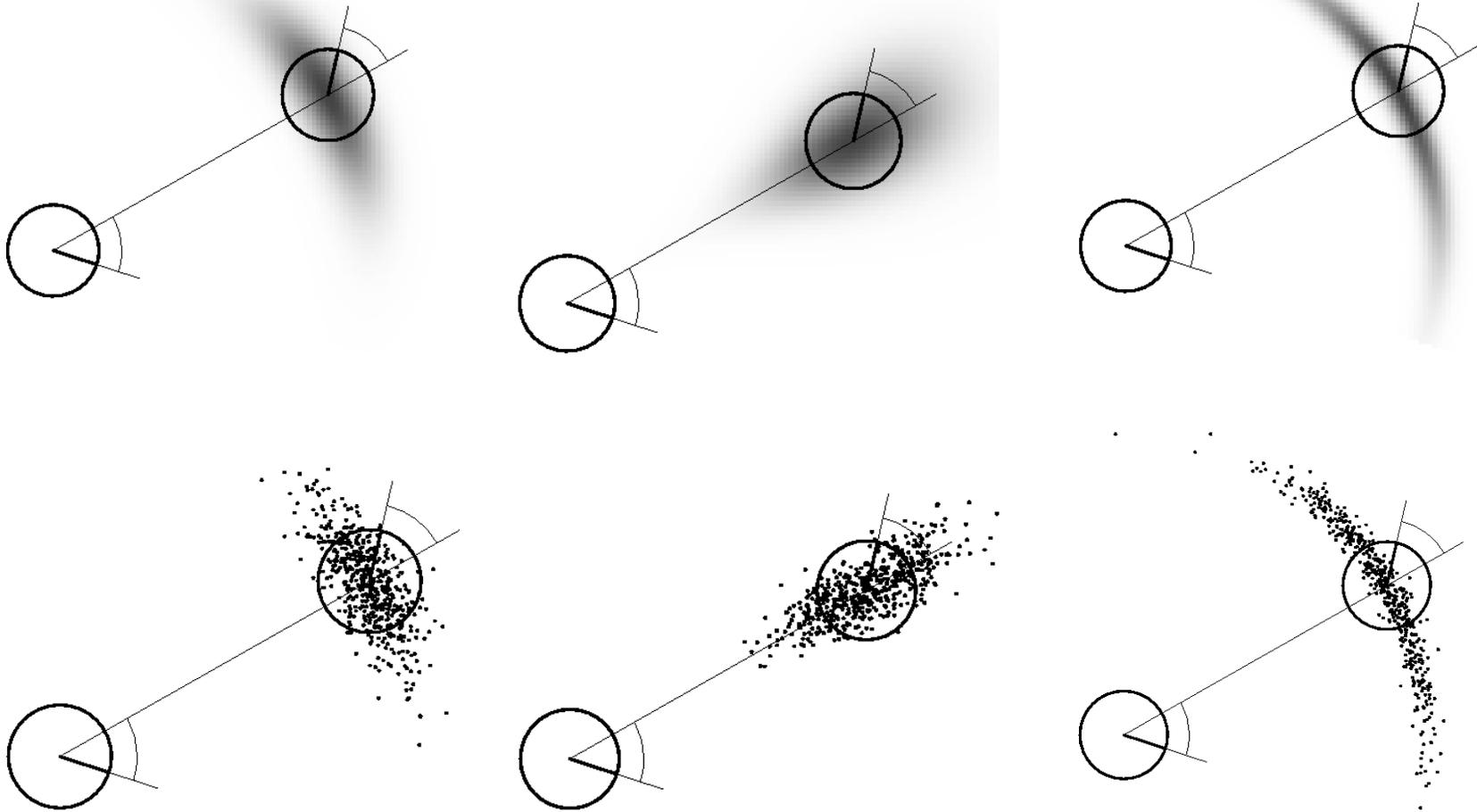
$$\overline{bel}(x_t) = \int p(x_t | u_t, x_{t-1}) bel(x_{t-1}) dx_{t-1}$$

- Intégration des observations (z)

$$bel(x_t) = \eta p(z_t | x_t) \overline{bel}(x_t)$$

*Le filtre Kalman est un cas particulier quand $p(x)$ est une fonction gaussienne.

Modèles d'odométrie $p(x|u)$



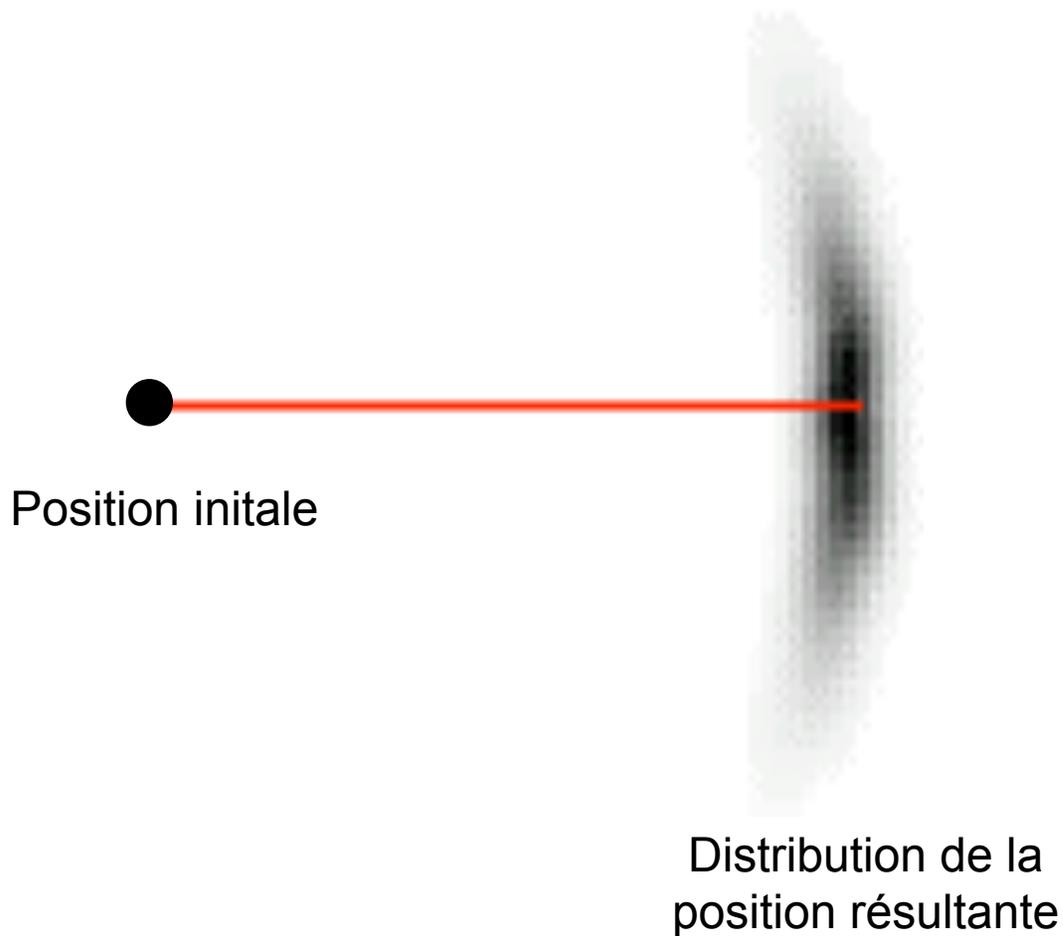
Localisation locale

- Locale : la position initiale est connue, c'est-à-dire qu'on connaît la fonction de densité $p(x[t])$
- Estimations itératives
- Hypothèses (modèle probabiliste) :
 - Dynamique du robot (effet d'une action de déplacement a)
$$p(x[t+1] | x[t+1]) = x[t] + a + \textit{Erreur}$$
 - Modèle d'observation
$$p(x[t] | o) = p(o | x[t]) / p(x[t]) + \textit{Erreur}$$
- Basée sur le filtre de Kalman (« Kalman filter »), un estimateur statistique optimal

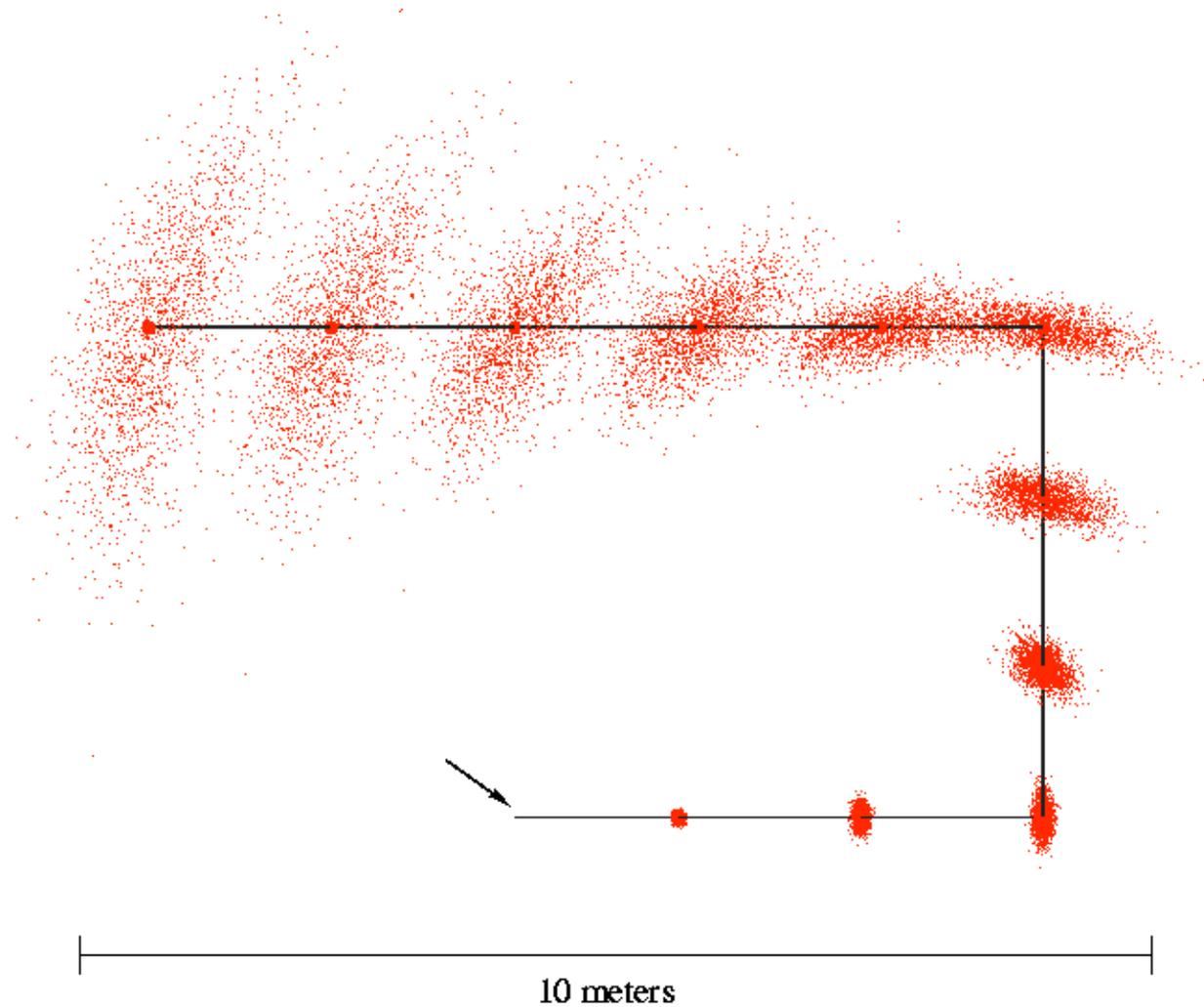
Localisation locale

- Algorithme général itératif
 - Intégrer **dynamique**: prédire la position sachant l'action de déplacement appliquée
 - Intégrer **observations**: corriger la position prédite sachant l'observation réalisée
- Kalman Filter ou Extended Kalman Filter
- **Approximation avec des techniques de Monte Carlo (filtre à particules ou « Particles Filter »)**

Modèle de déplacement (continue)



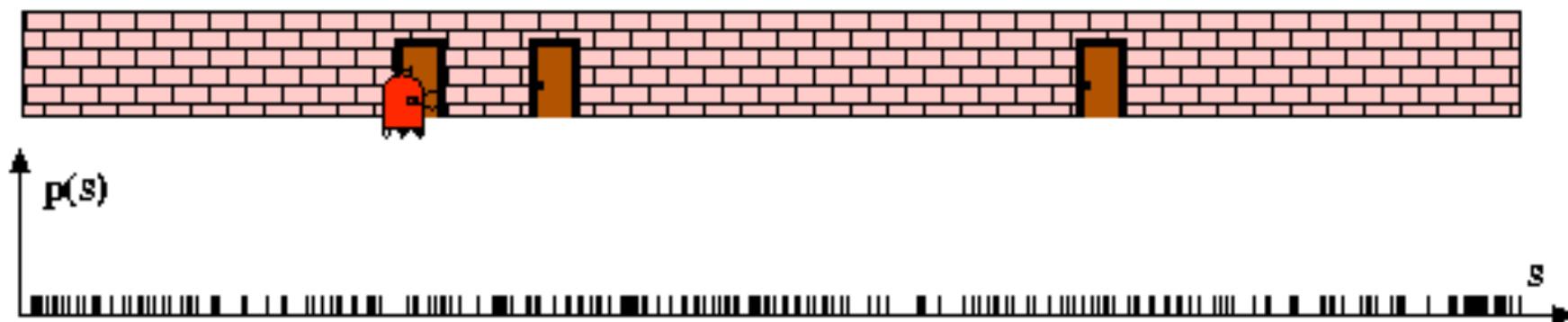
Modèle de déplacement (discret)



Localisation globale

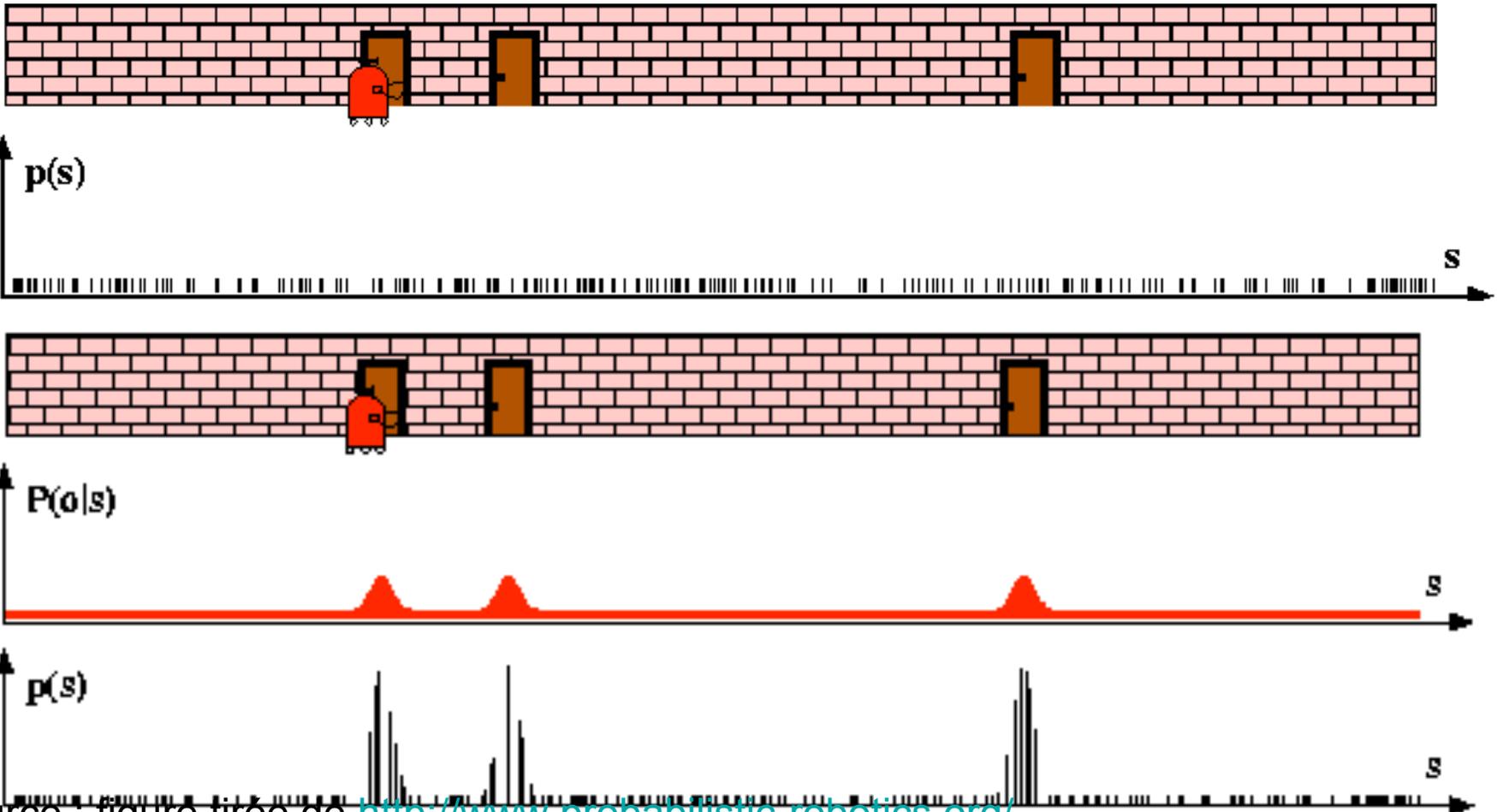
- Globale : on ne connaît pas la position initiale du robot.
- Donc, la densité de $p(x)$ est une fonction de densité uniforme.
- Avec Monte Carlo, on distribue uniformément les particules sur la carte.

Particle Filters



Sensor Information: Importance Sampling

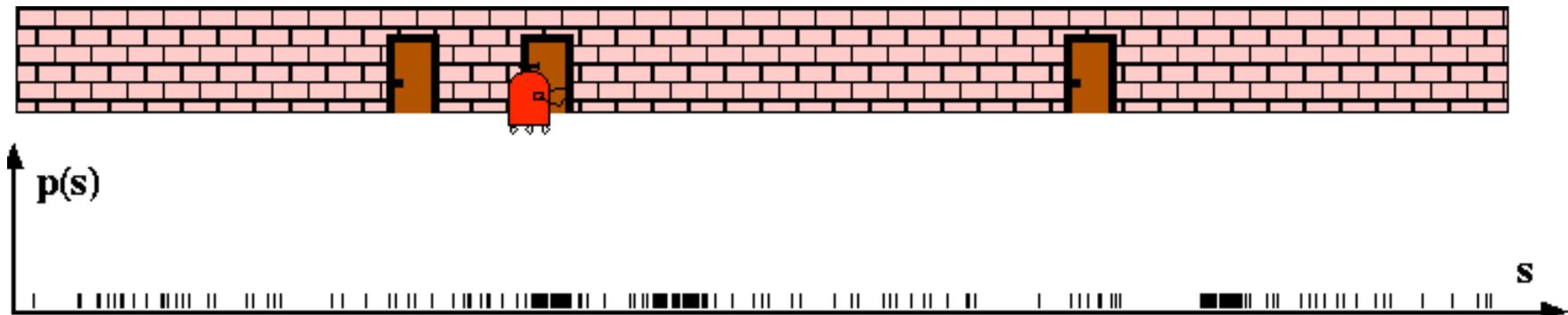
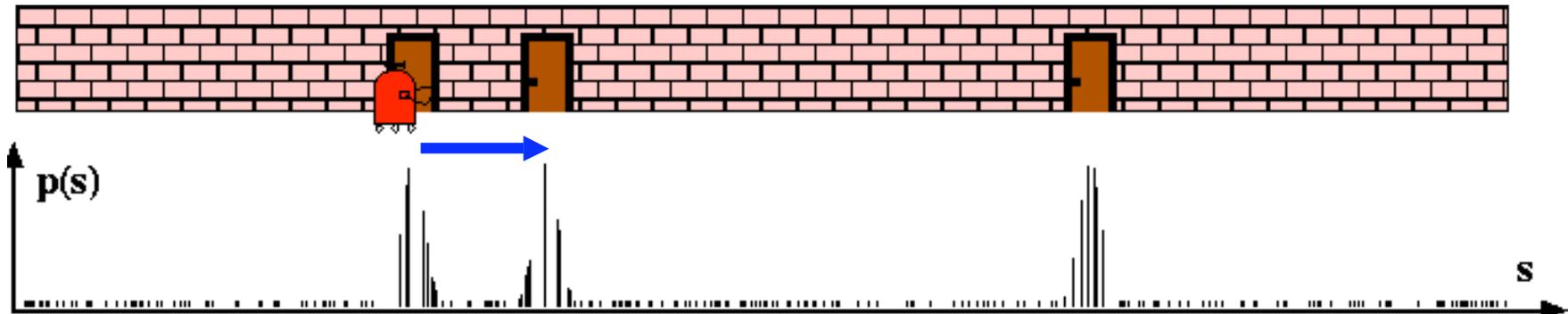
$$\begin{aligned} Bel(x) &\leftarrow \alpha p(z|x) Bel^-(x) \\ w &\leftarrow \frac{\alpha p(z|x) Bel^-(x)}{Bel^-(x)} = \alpha p(z|x) \end{aligned}$$



Source : figure tirée de <http://www.probabilistic-robotics.org/>

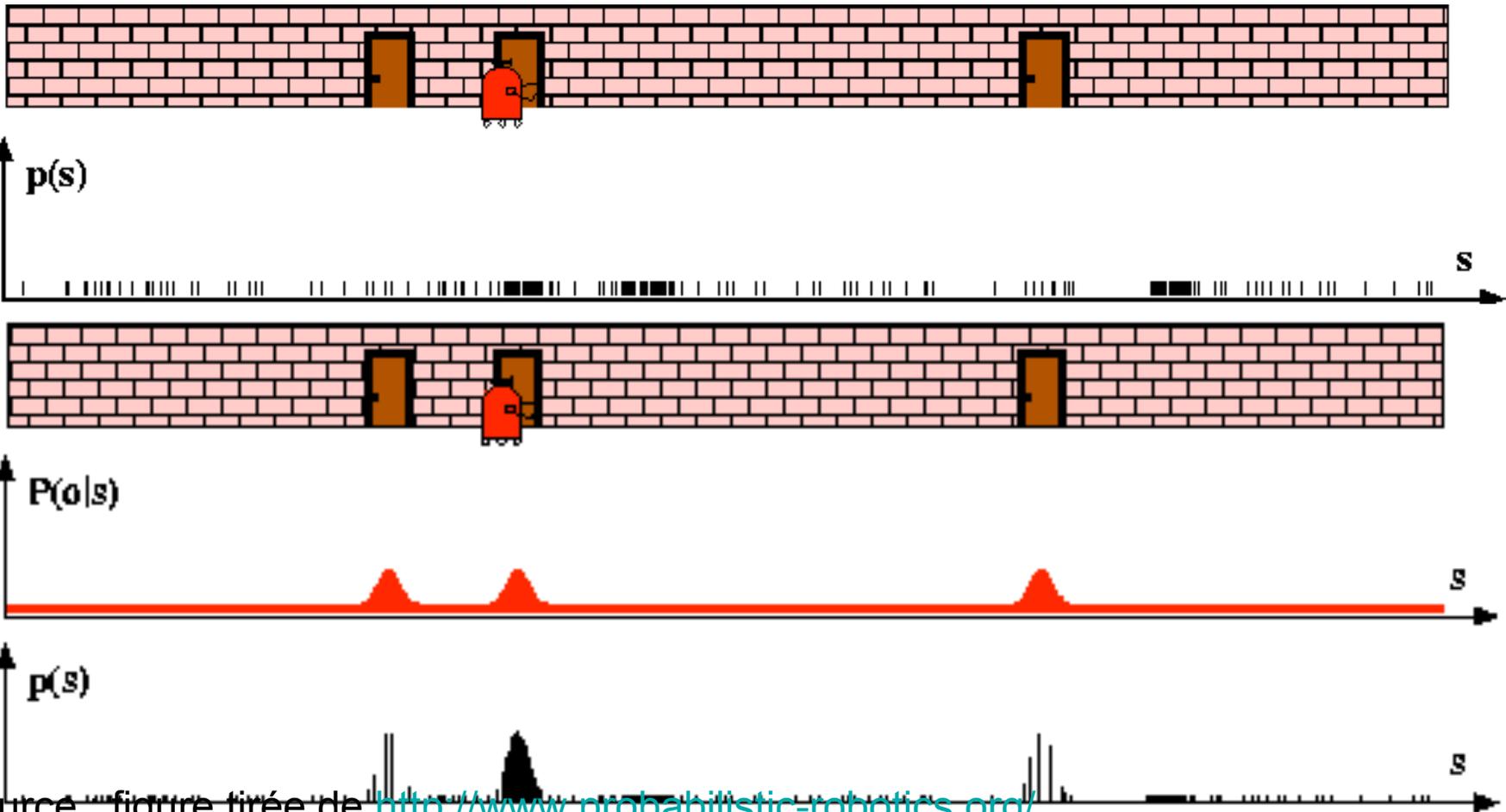
Robot Motion

$$Bel^-(x) \leftarrow \int p(x|u, x') Bel(x') dx'$$



Sensor Information: Importance Sampling

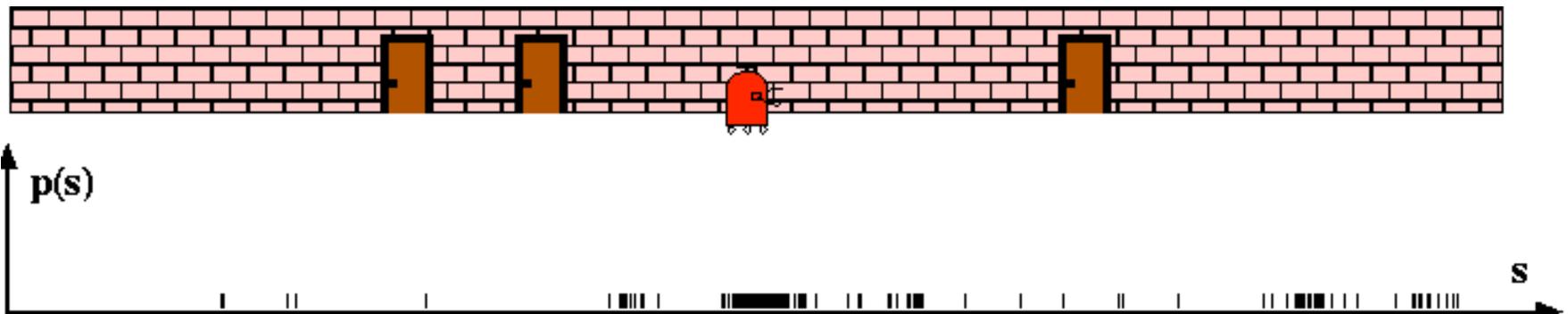
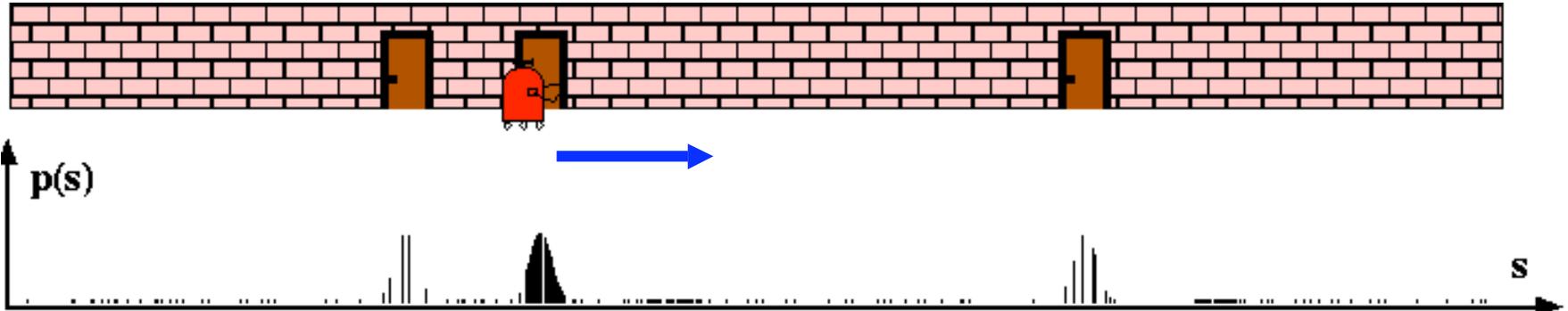
$$\begin{aligned} Bel(x) &\leftarrow \alpha p(z|x) Bel^-(x) \\ w &\leftarrow \frac{\alpha p(z|x) Bel^-(x)}{Bel^-(x)} = \alpha p(z|x) \end{aligned}$$



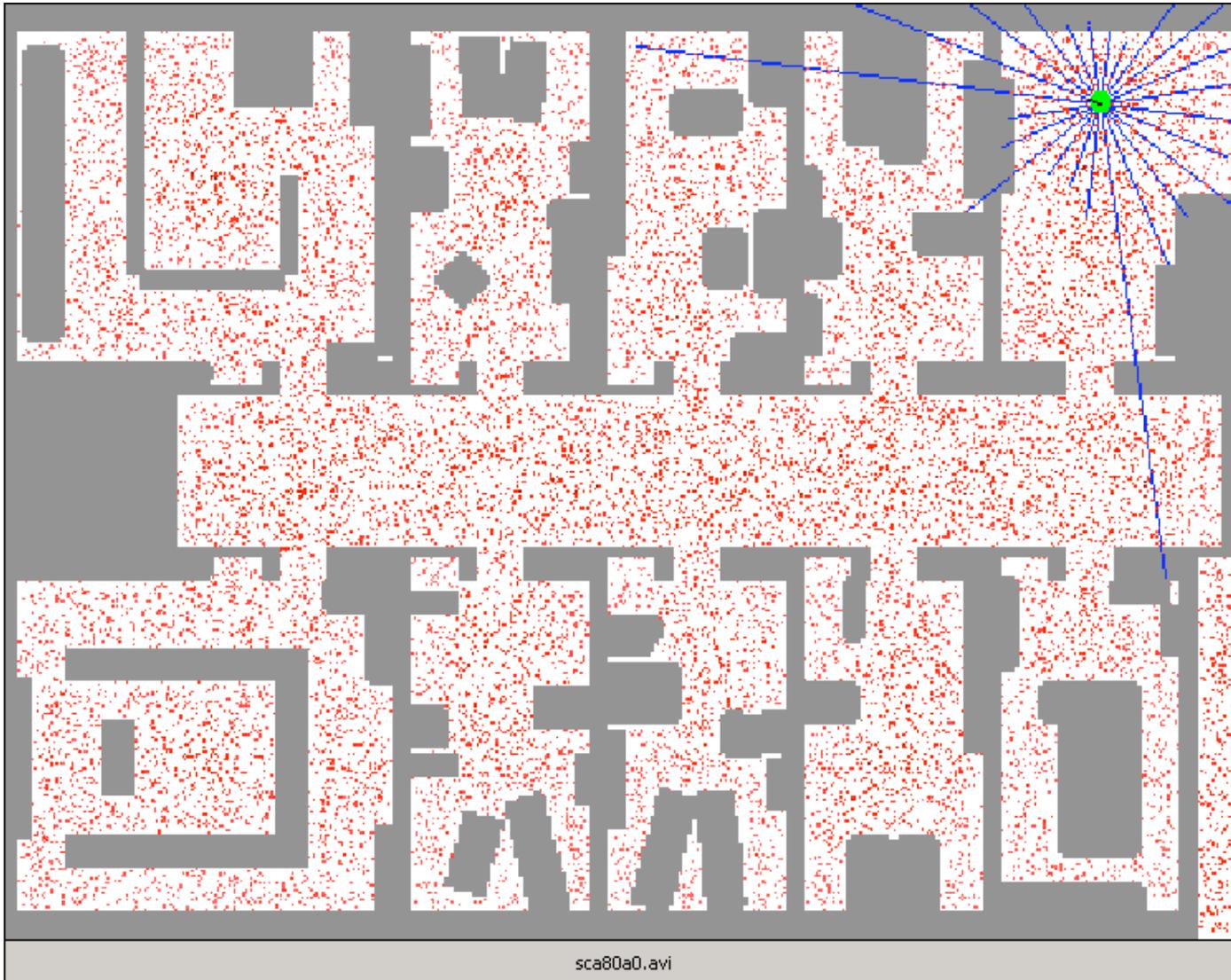
Source : figure tirée de <http://www.probabilistic-robotics.org/>

Robot Motion

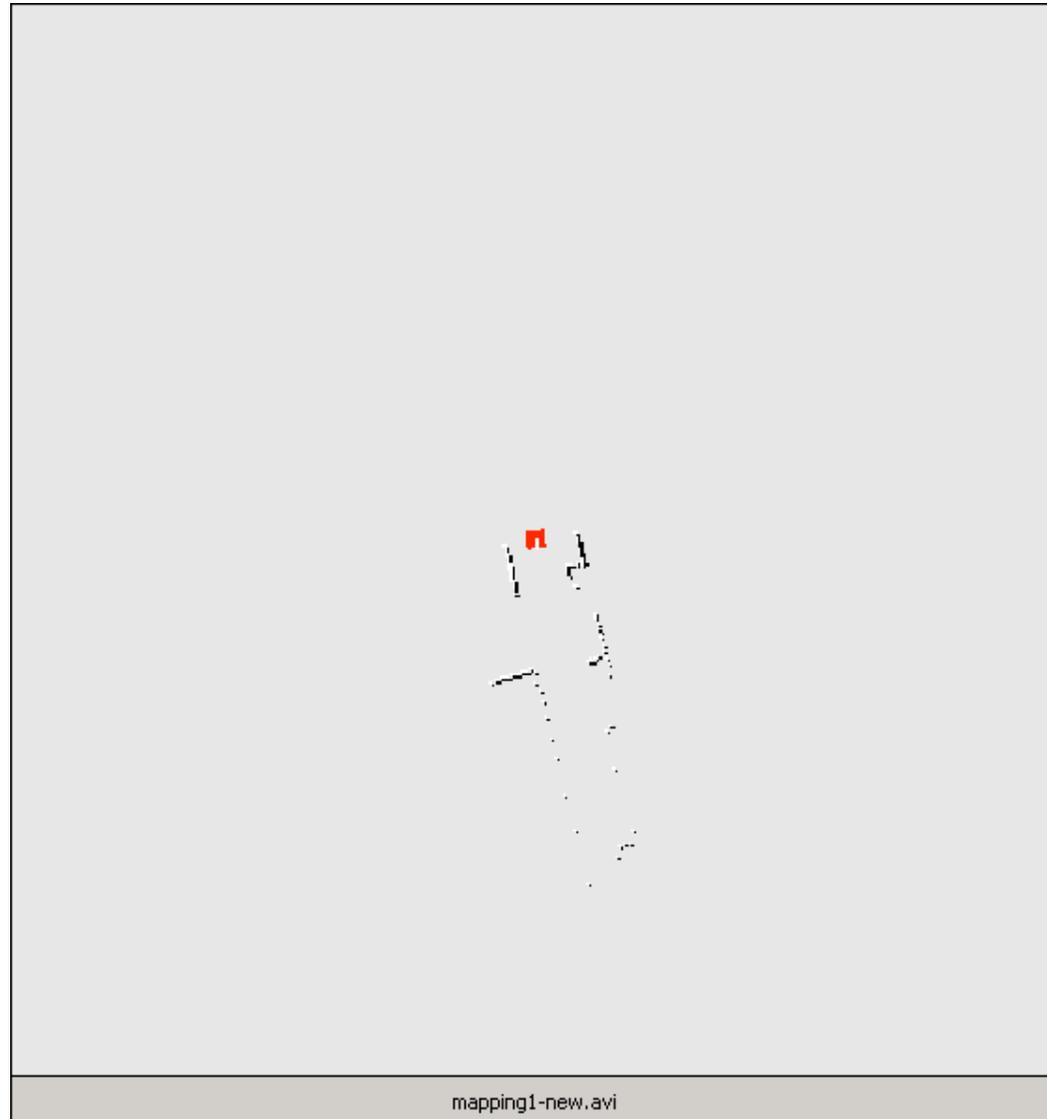
$$Bel^-(x) \leftarrow \int p(x|u, x') Bel(x') dx'$$



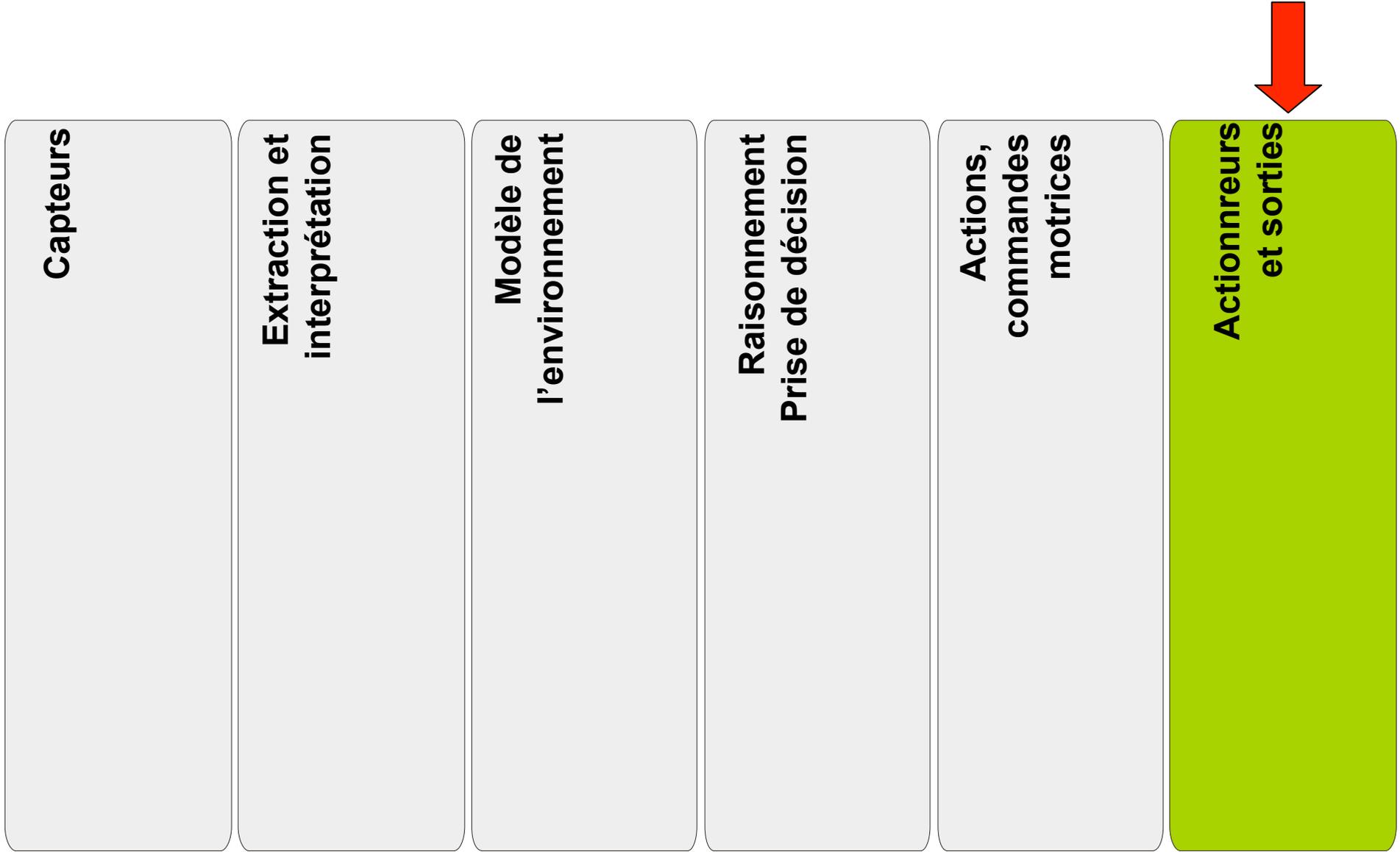
Localisation Monte Carlo



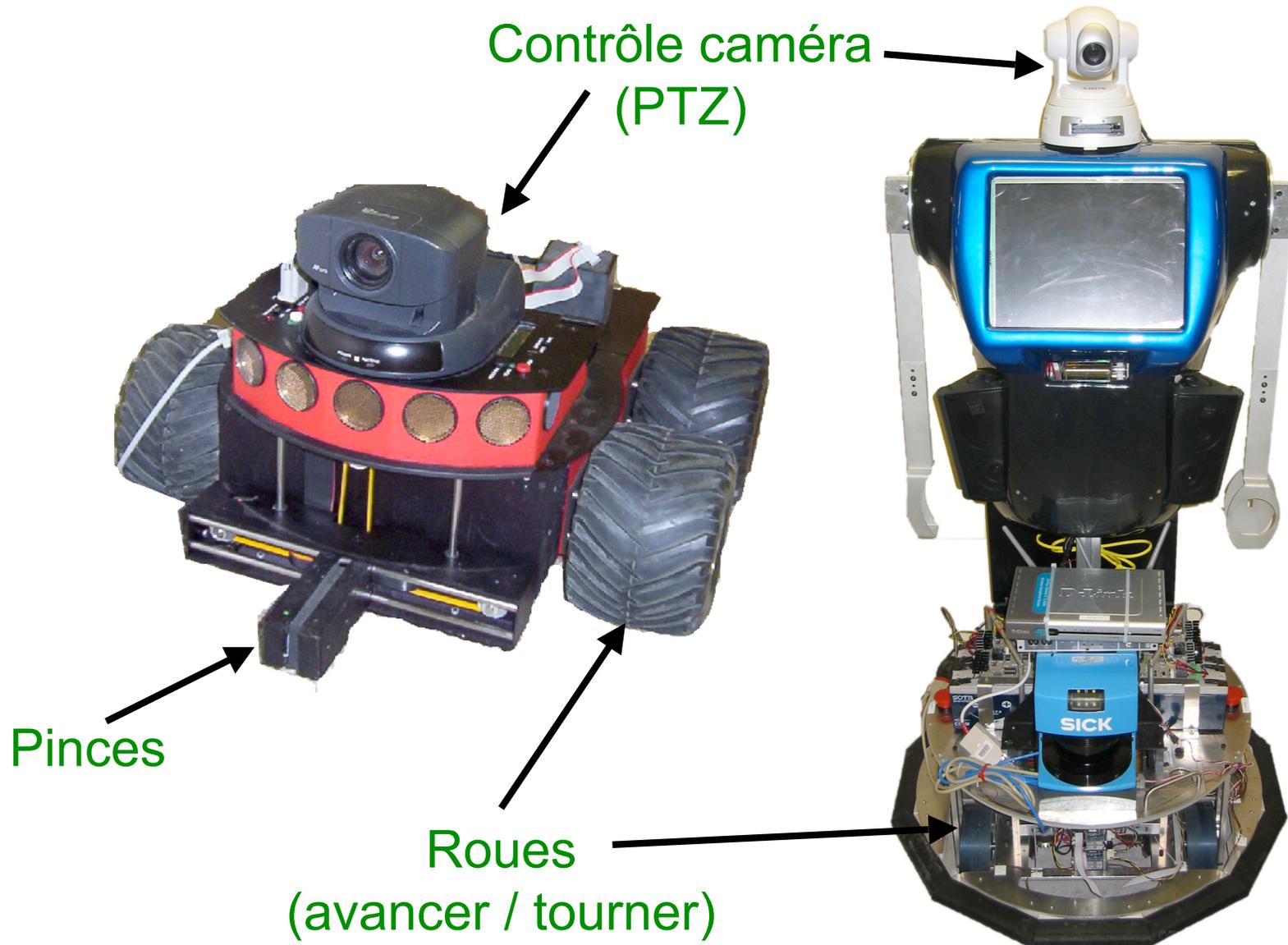
Construction d'une carte



Actionneurs



Actionneurs d'un robot



Génération des actions



Capteurs

**Extraction et
interprétation**

**Modèle de
l'environnement**

**Raisonnement
Prise de décision**

**Actions,
commandes
motrices**

**Actionneurs
et sorties**

Modules comportementaux (« *Behaviors producing modules* »)

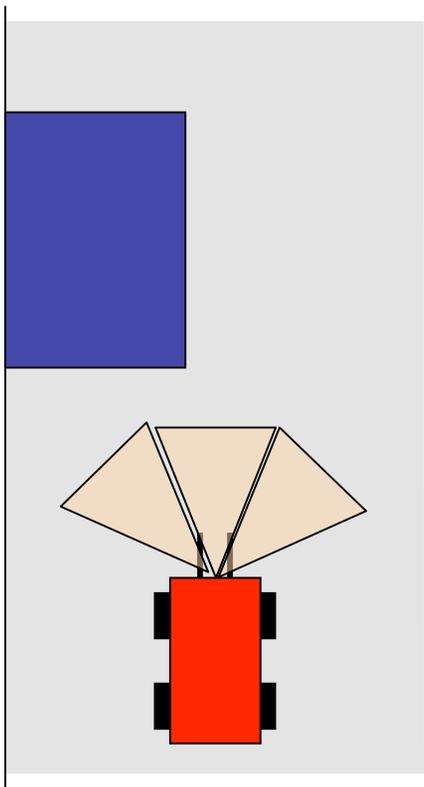
- Un **module comportemental** est une boucle de rétroaction générant des commandes pour 1+ actionneurs à partir des données de 0 ou plusieurs capteurs
- Aussi appelé **comportement**
- Responsable d'accomplir une seule fonction
 - Évitement d'obstacles
 - Suivit de trajectoires
 - Suivit de couleurs, objets, ...
 - Longer des murs
 - ...

Exemples de comportement :

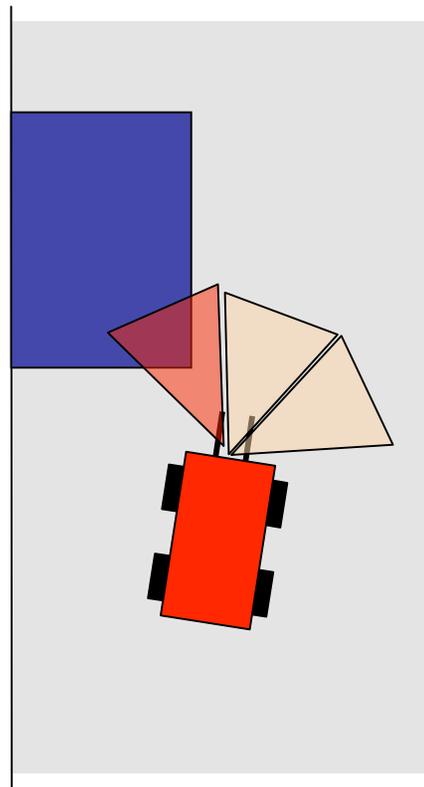
évitement d'obstacles (1)

Obstacle	Action
(aucun)	(aucune)
à gauche	tourner à droite
à droite	tourner à gauche
devant	tourner à gauche ou à droite
devant + gauche + droite	faire demi-tour

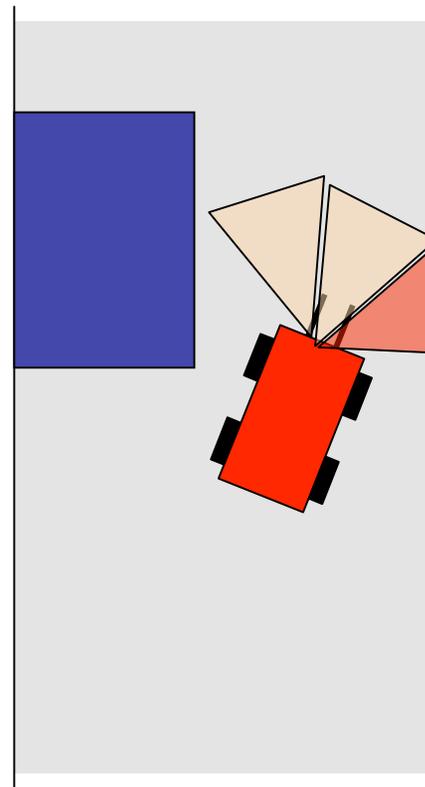
Exemples de comportement : évitement d'obstacles (2)



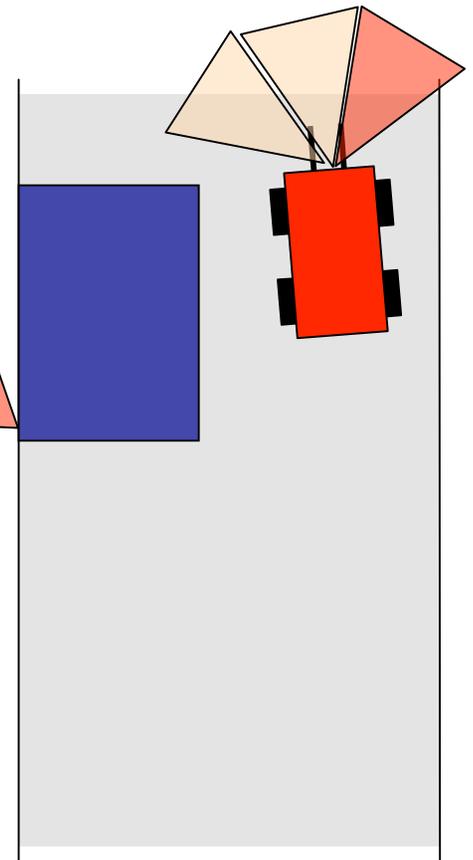
aucune action



tourner à droite



tourner à gauche

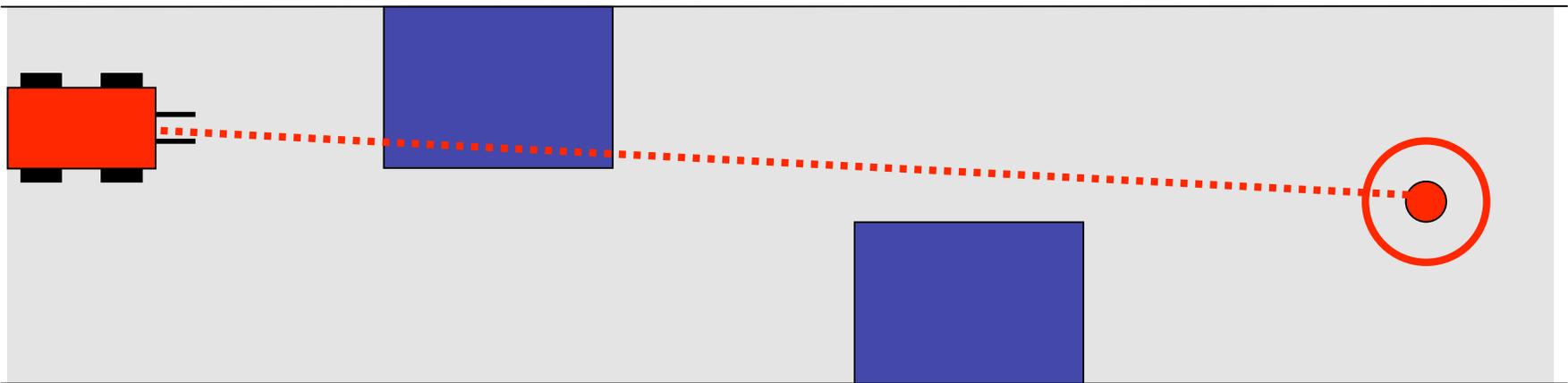


légèrement à gauche

Exemples de comportement :

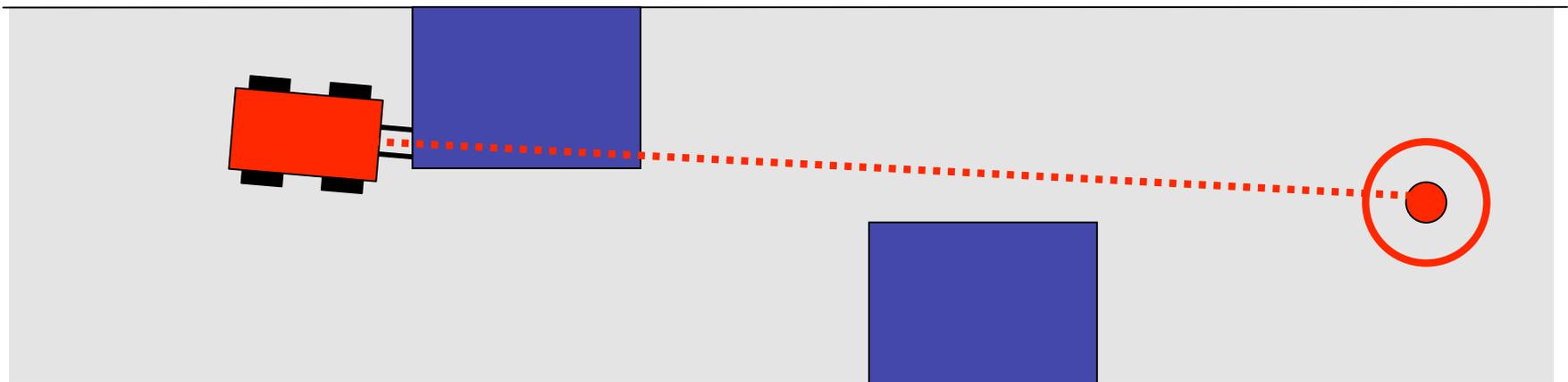
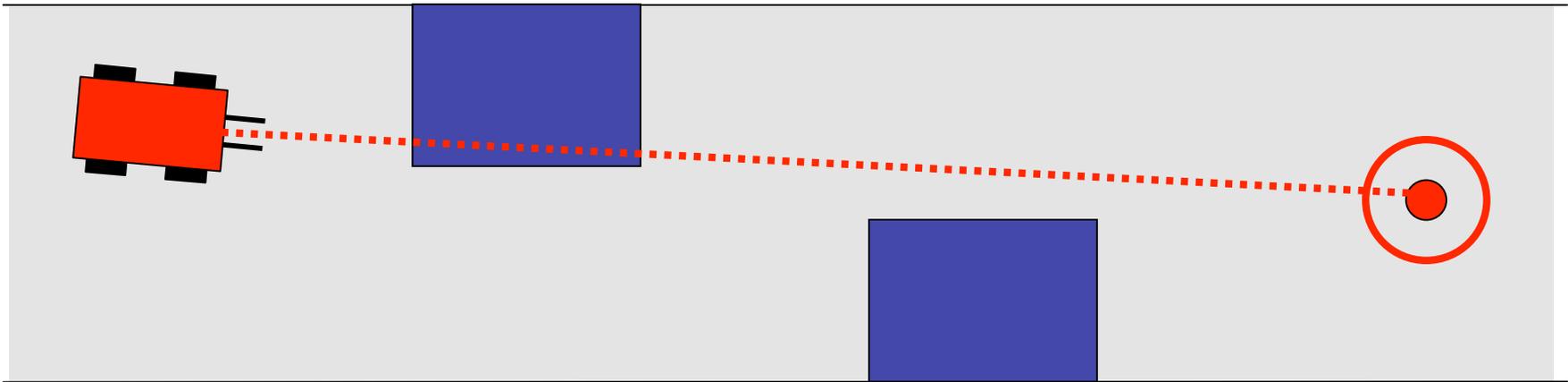
« GOTO » (1)

- Diriger le robot en ligne droite sur une cible



Exemples de comportement :

« GOTO » (2)

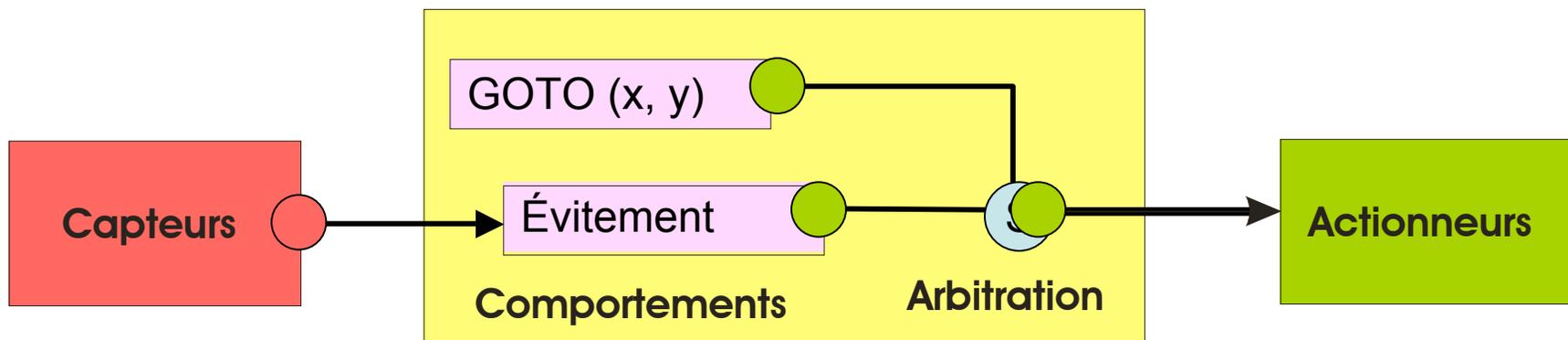


Architecture comportementale

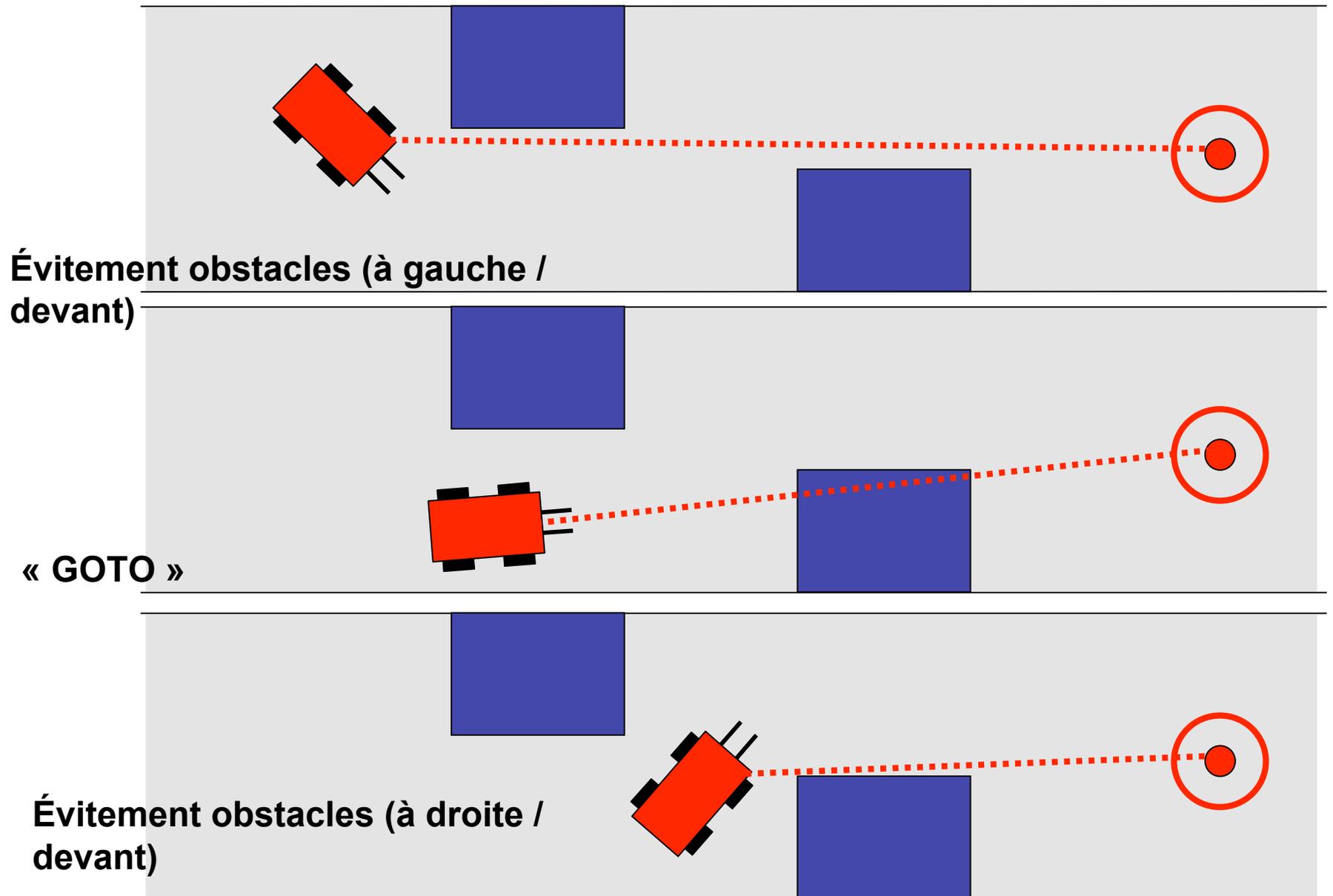
- Combinaison des comportements
- Arbitration de comportements
 - Priorité
 - Somme pondérée (« motor schema »)
 - Logique floue
 - Etc.

Architecture comportementale

- L'évitement d'obstacles est prioritaire
- Quand l'évitement génère une commande, il « écrase » celle du suivi de trajectoire



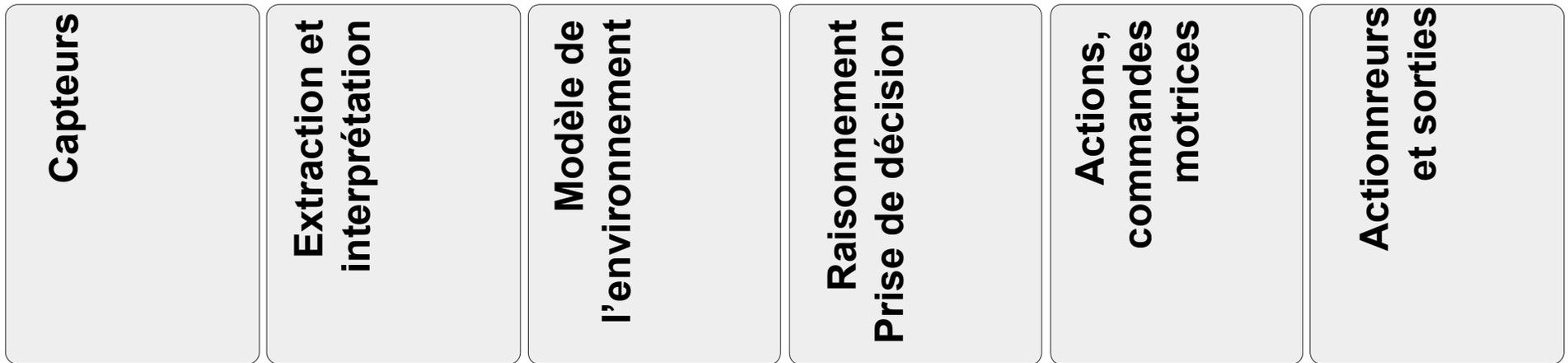
Arbitration de comportements



Architecture comportementale

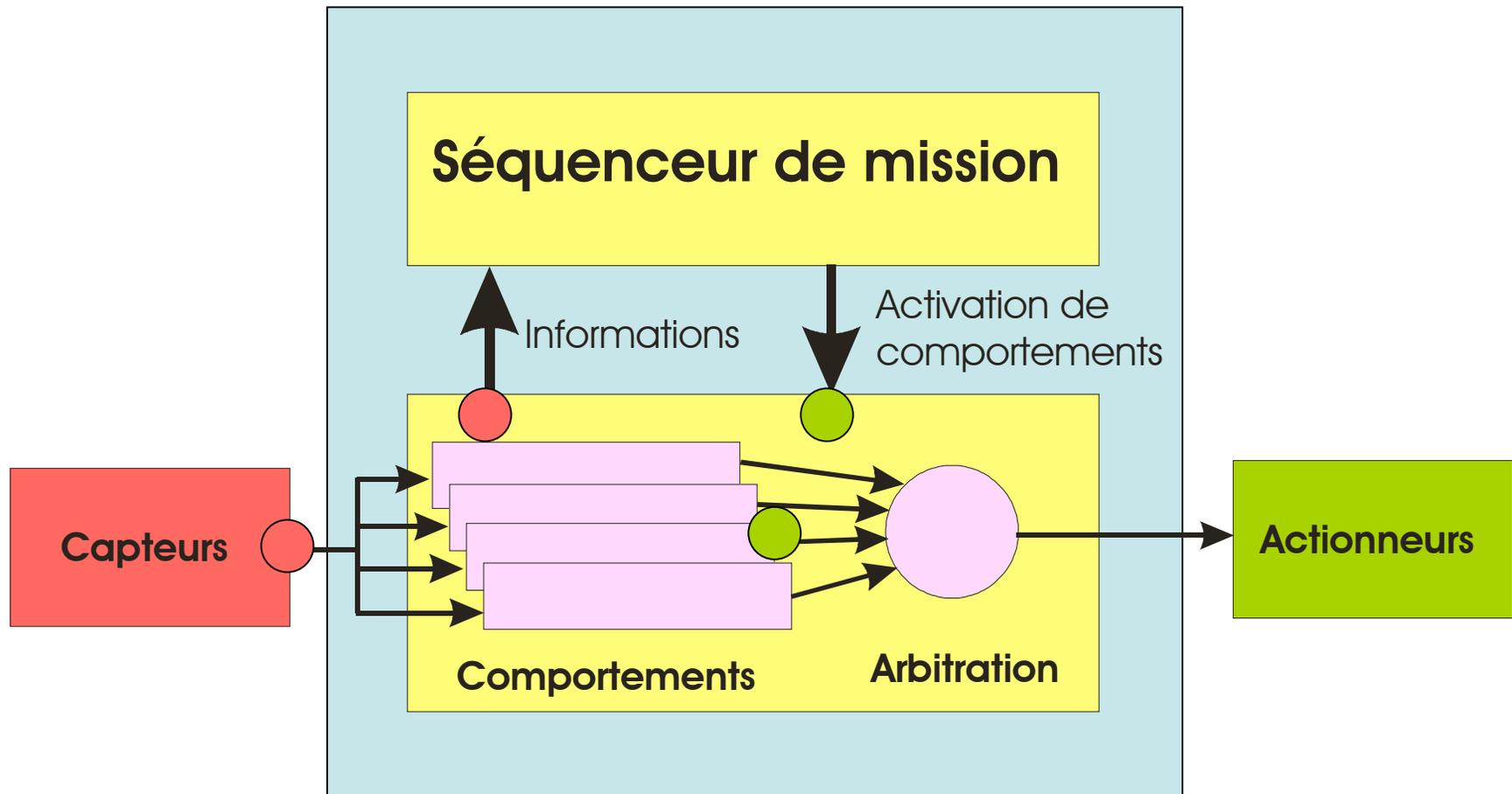
- Problème :
 - Manque de flexibilité pour coordonner l'exécution de tâches complexes

Intégration

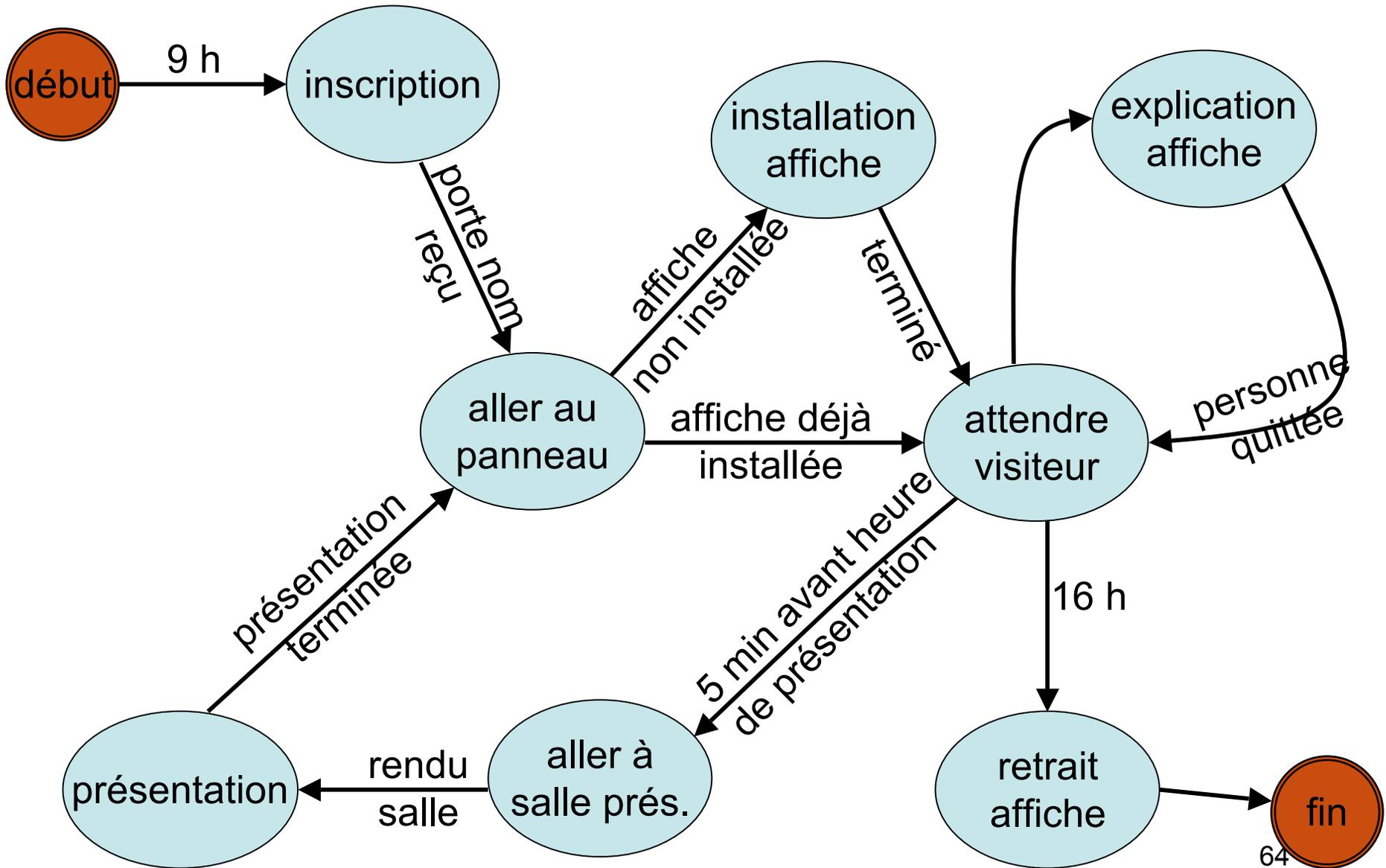


- **Intégration des fonctions : architectures**
- Intégration logicielle
 - Assemblage de modules
 - Programmation distribuée

Architecture robotique de type hybride



Exemple de schéma de mission à l'aide d'une « machine à états finis »

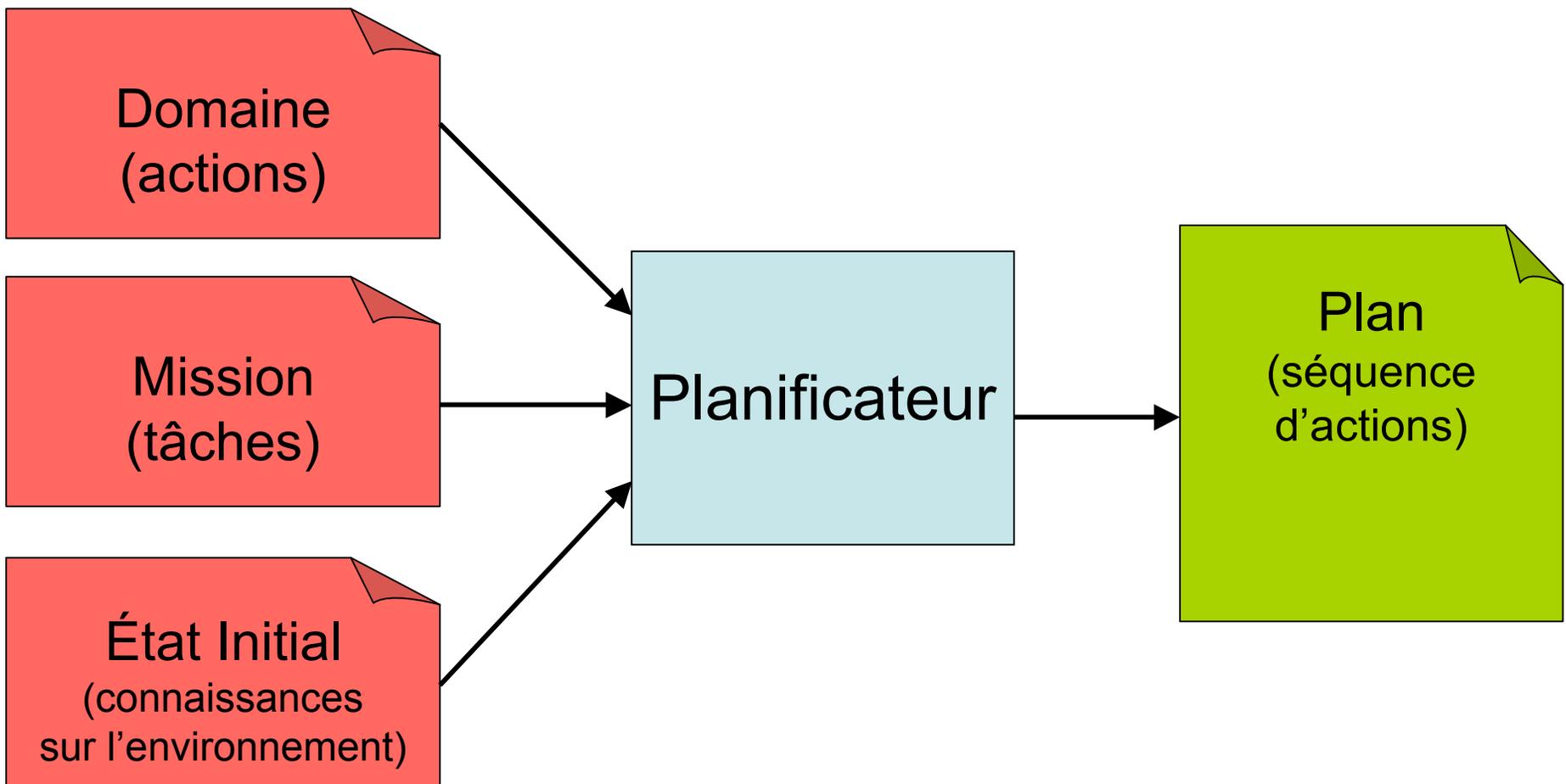


Limitations

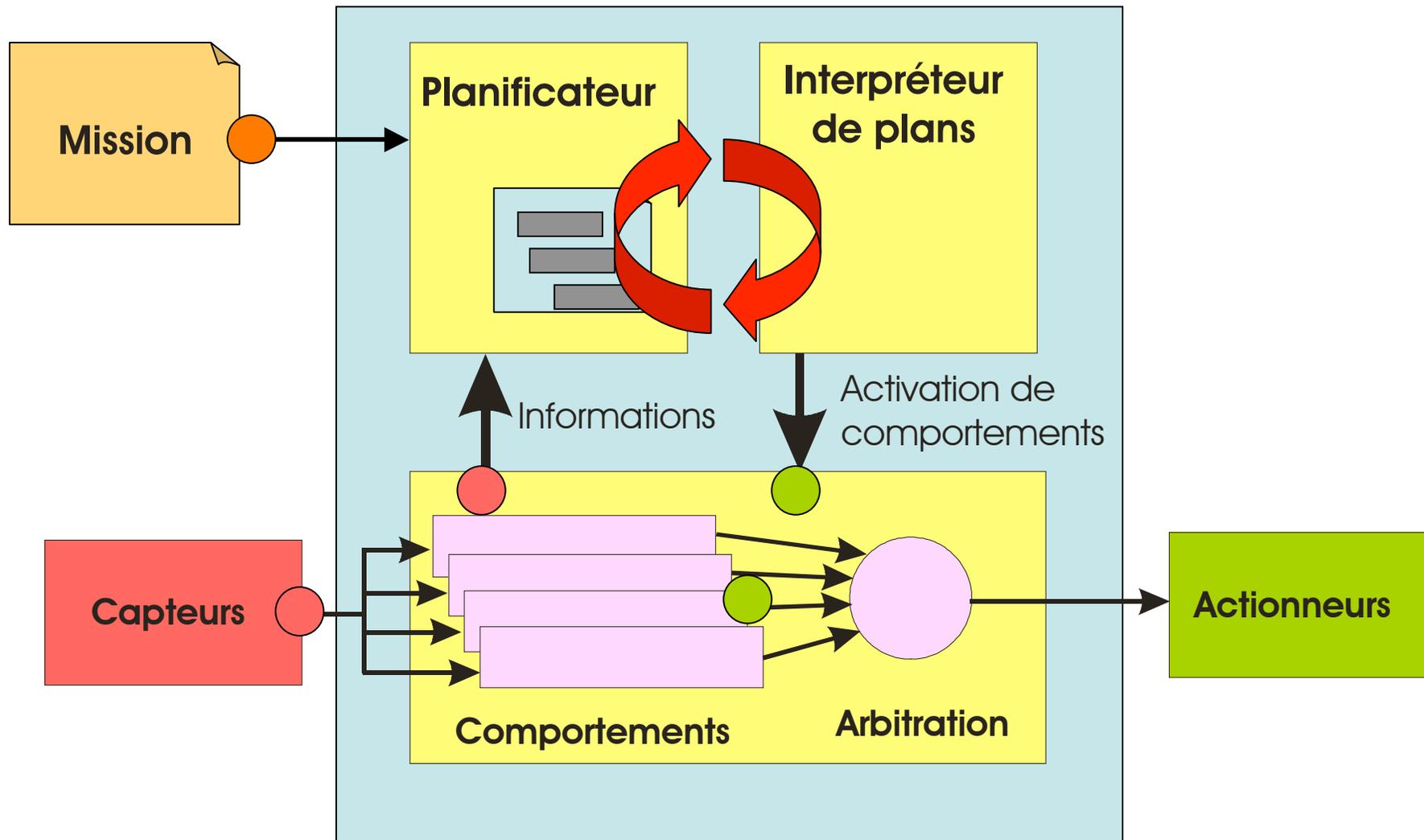
- Demande beaucoup de temps pour programmer les machines à états finis
- Impossible de prévoir tous les cas possibles (nous n'avons pas de boule de cristal)
- Comportement non optimal
- Manque de flexibilité
- Risques d'erreurs



Modèle de planification



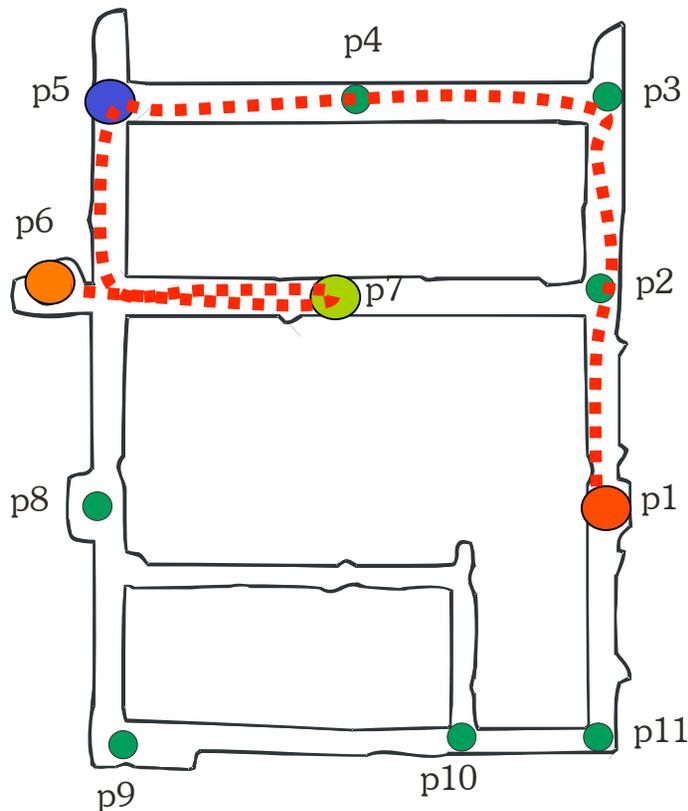
Boucle réactive



Exemple

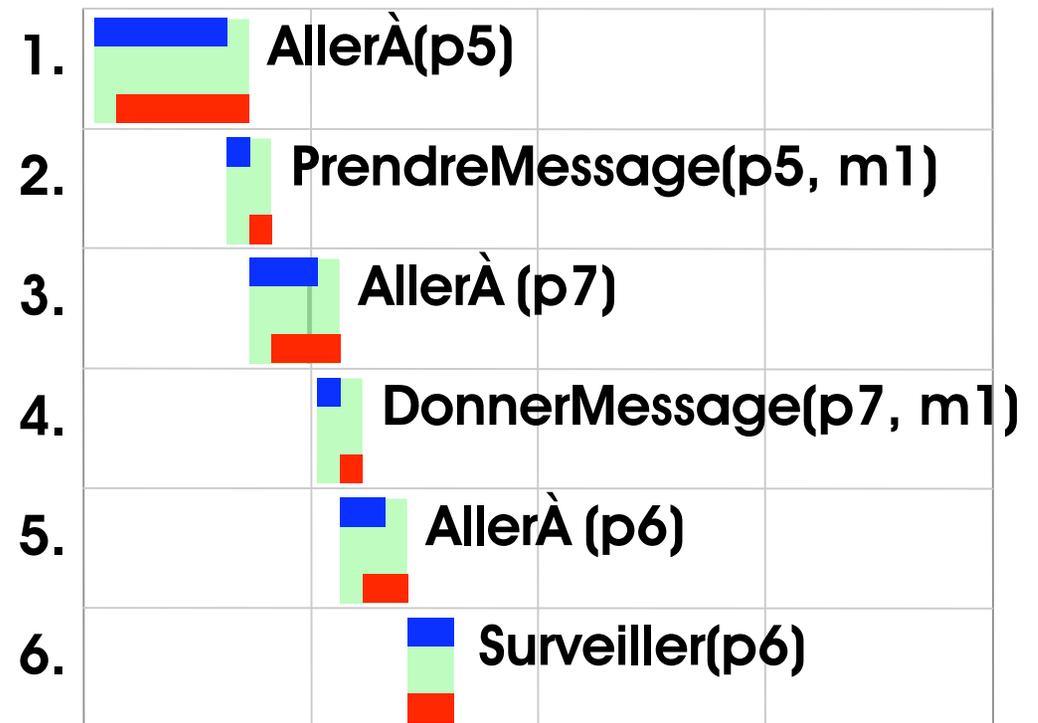
Mission :

- Livrer message p5 ● -> p7 ●
- Surveiller p6 à t=0h22m ●

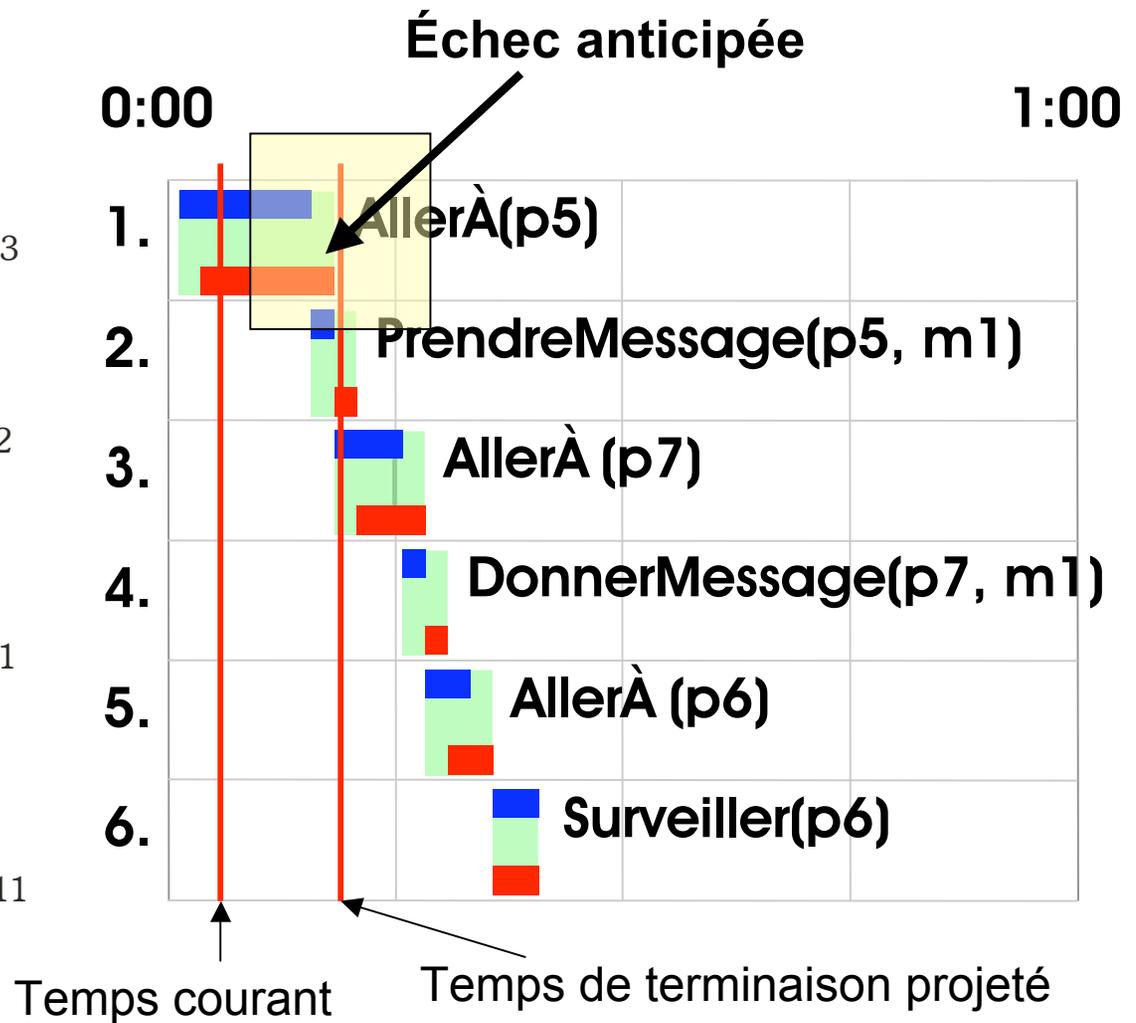
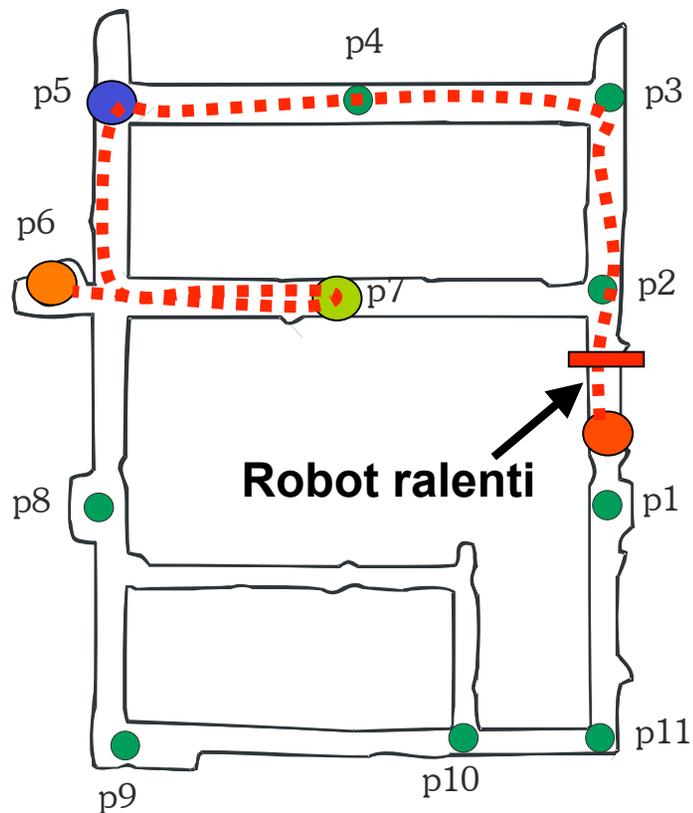


0:00

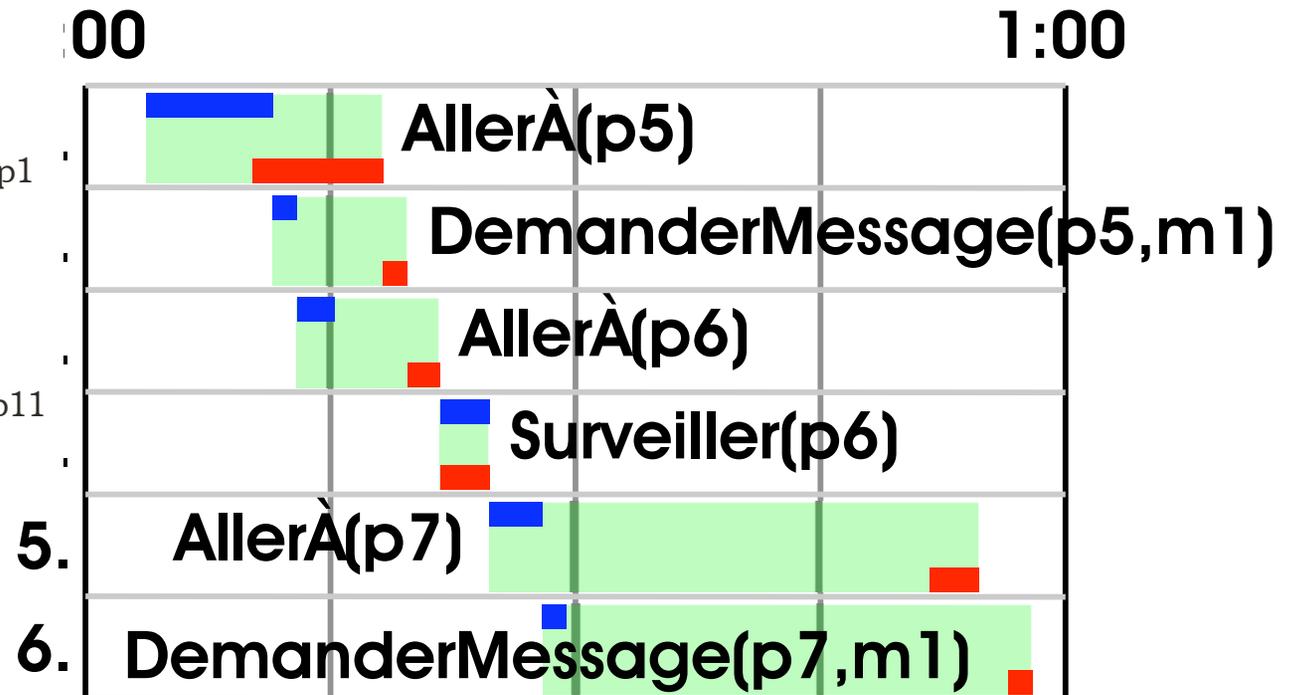
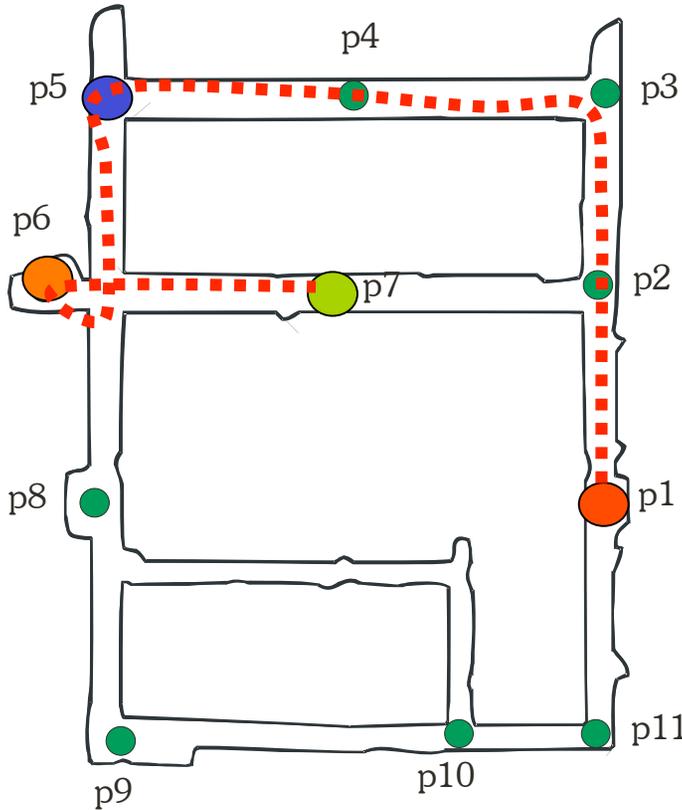
1:00



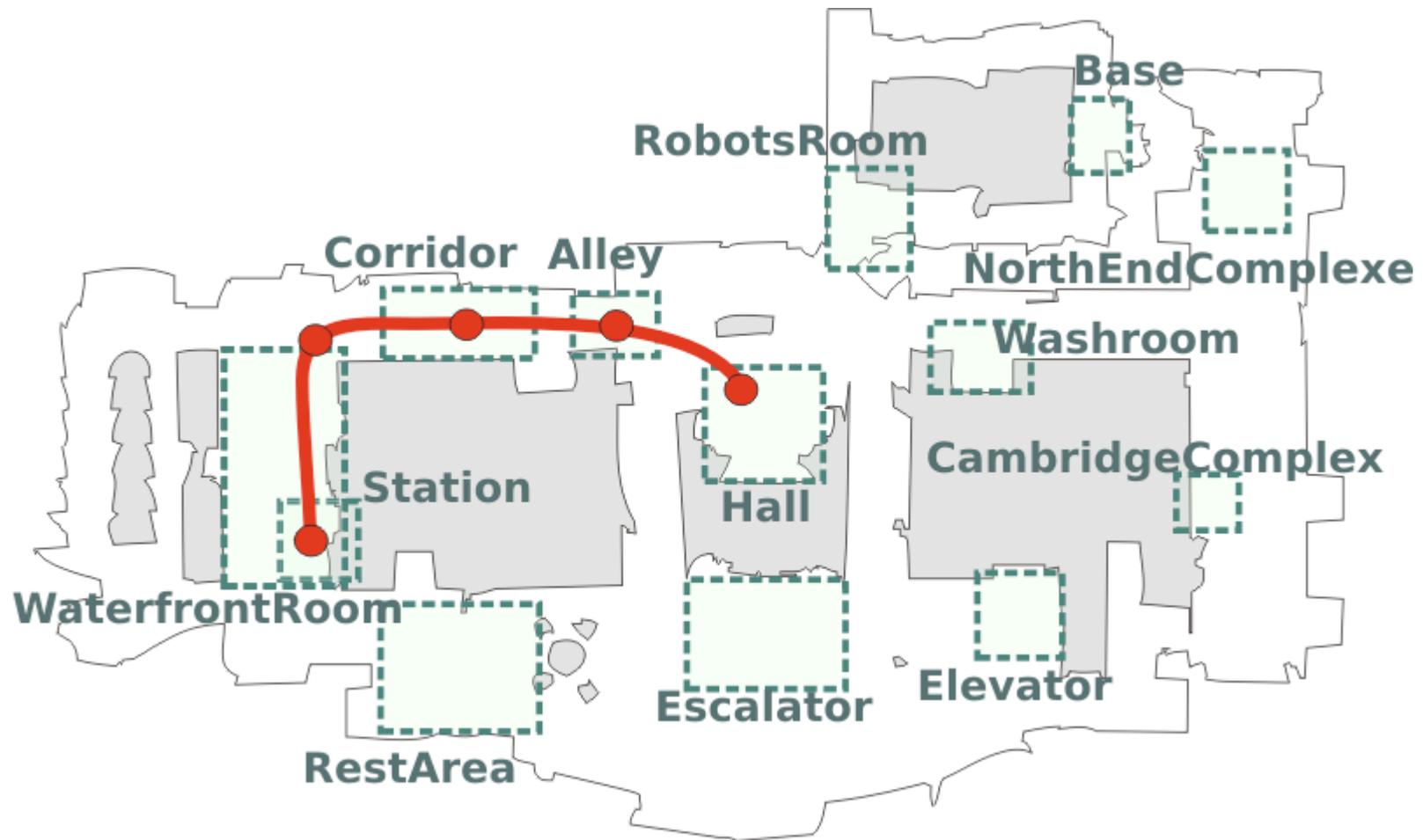
Exemple (suite)



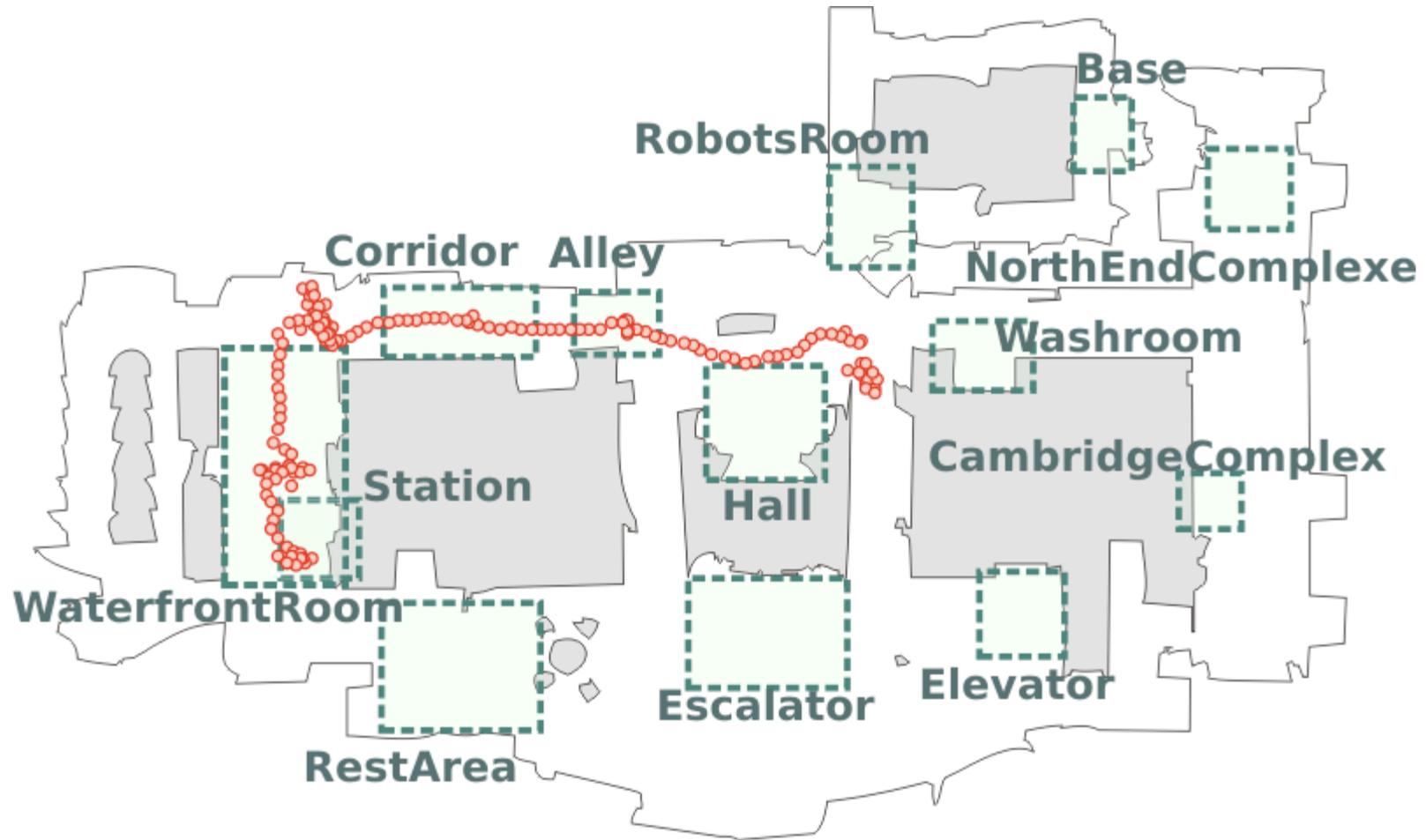
Exemple (suite)



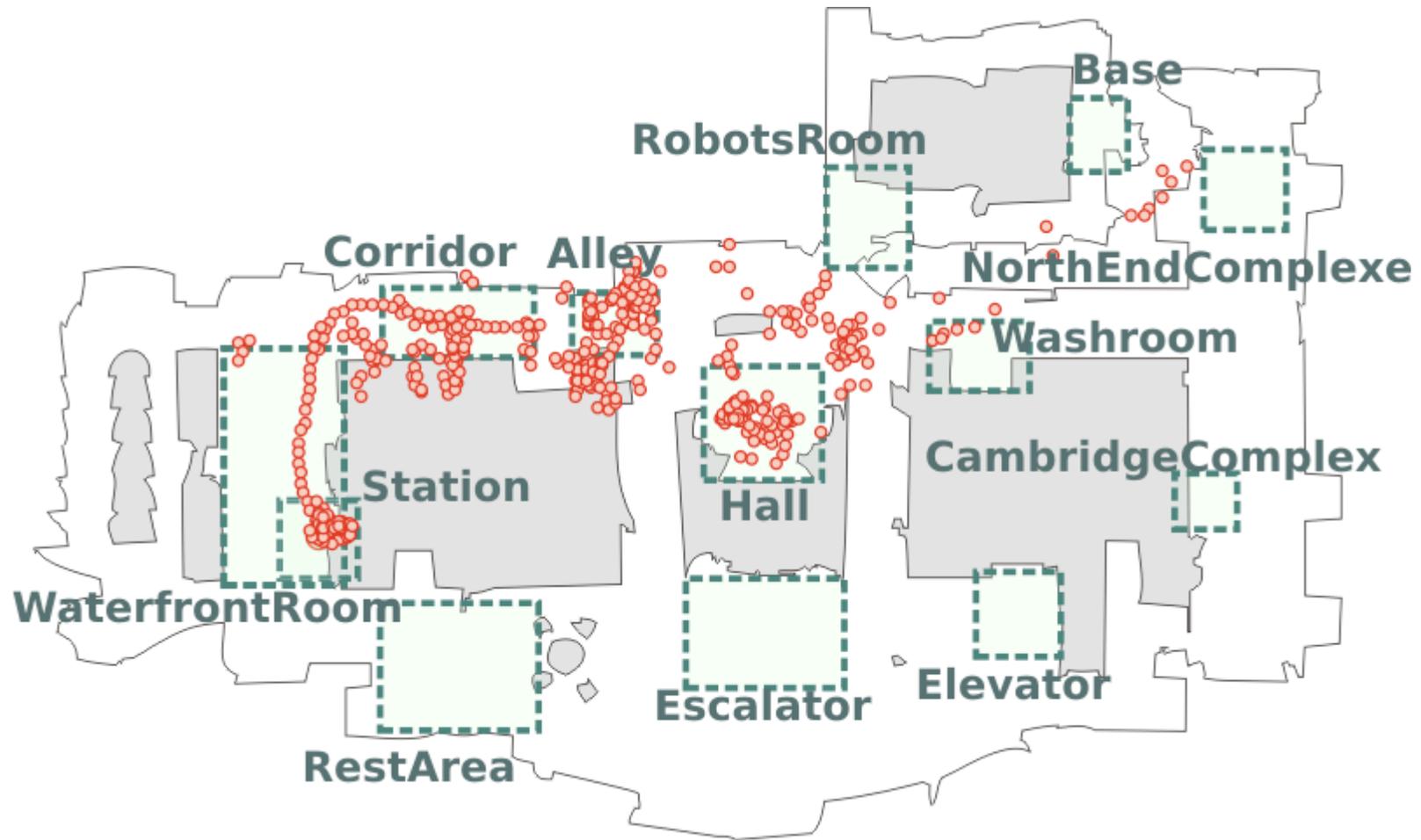
Plan de démonstration aux juges



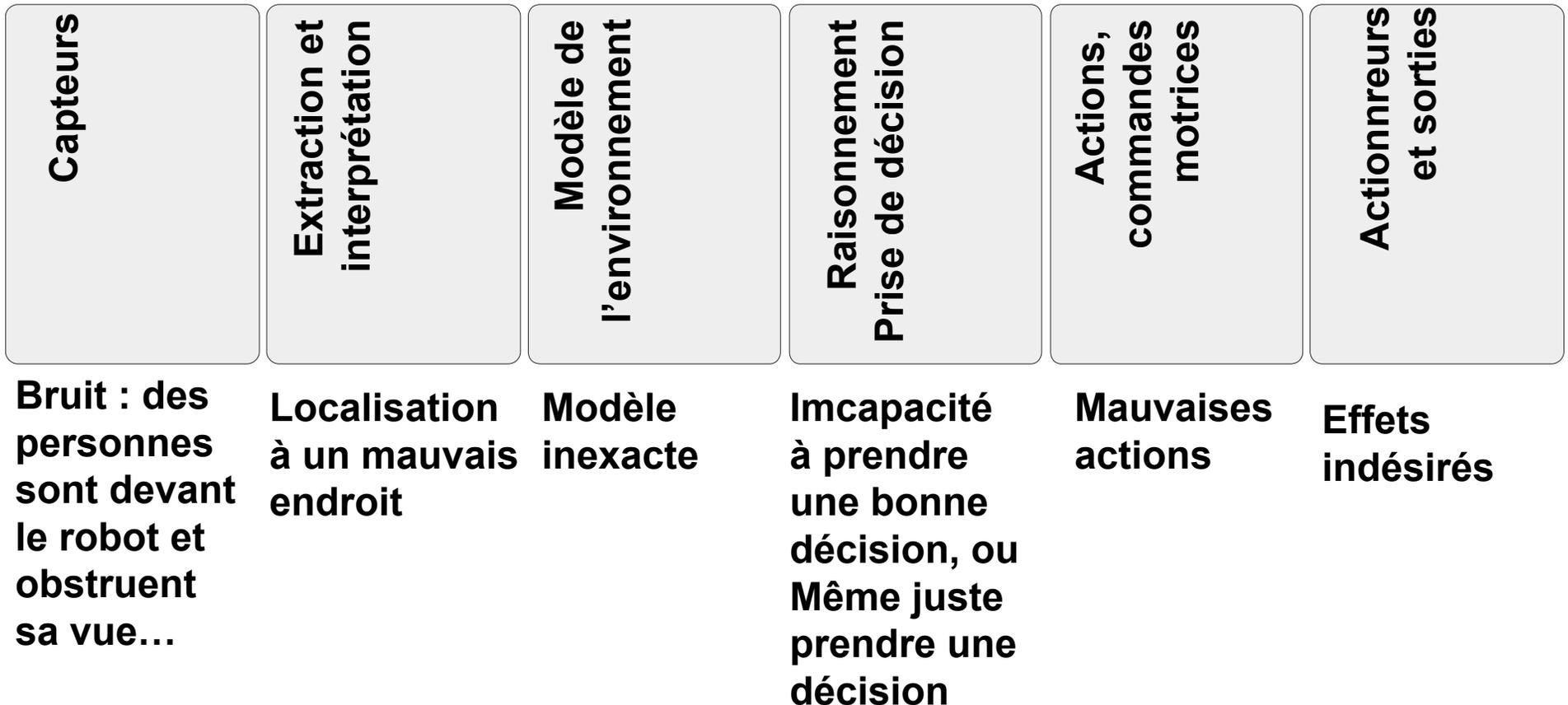
Expérience de préparation

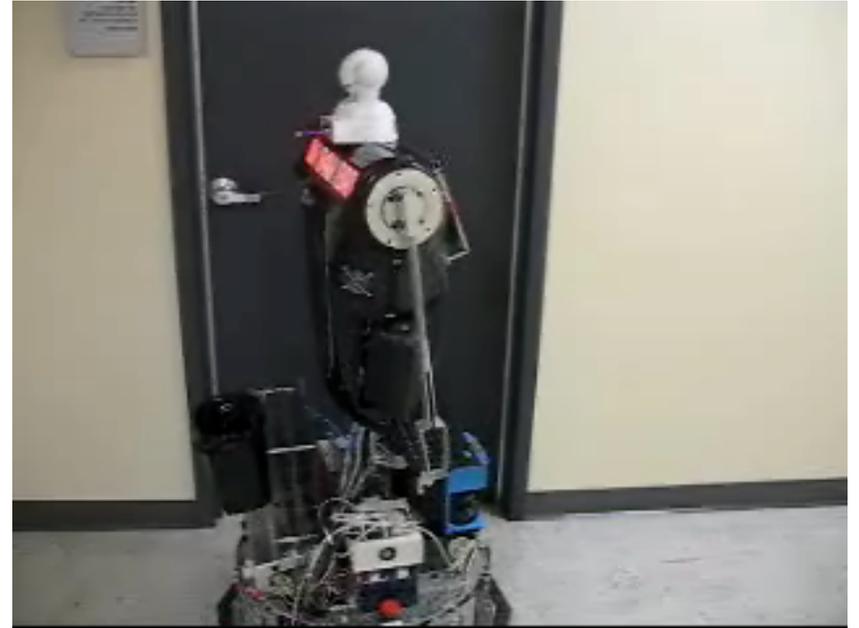


Trajet du robot lors de la démonstration



Problèmes d'intégration





Questions ?

<http://planiart.usherbrooke.ca/~eric/>

Merci au **CRSNG** pour
son support financier

