

IFT 615 – Intelligence artificielle

Robotique

Hugo Larochelle

Département d'informatique

Université de Sherbrooke

<http://www.dmi.usherb.ca/~larocheh/cours/ift615.html>

Sujets couverts

- Survol rapide de la robotique
 - ◆ types de robots
 - ◆ types de problèmes en robotique
- Localisation de robot
- Apprentissage de contrôle de robots

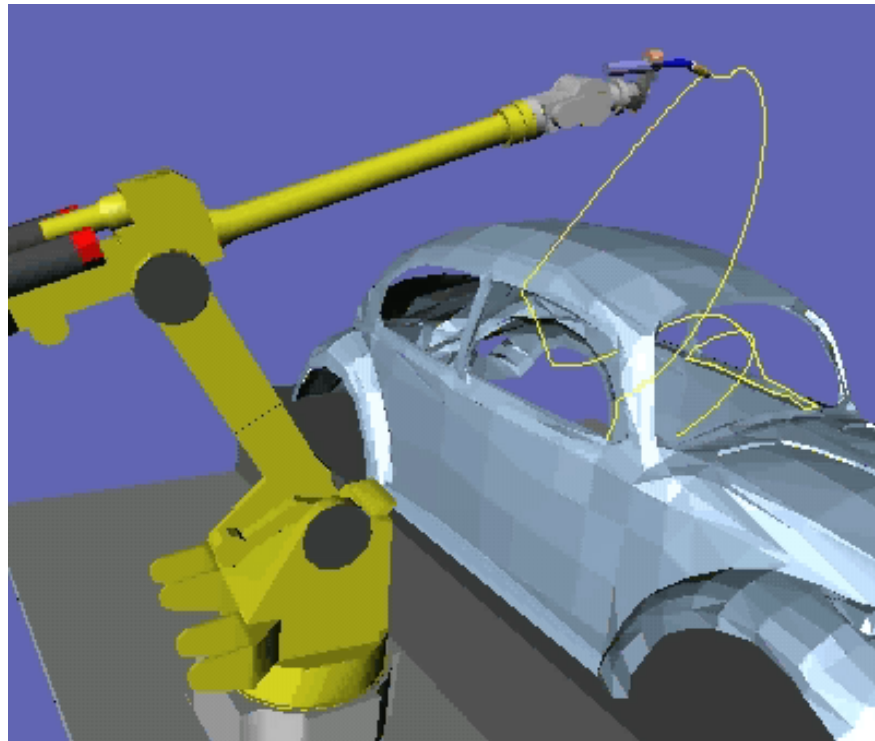
Mise en situation

- La robotique, c'est l'objectif ultime en intelligence artificielle
- Elle fait appel à pratiquement toutes les connaissances vues dans le cours (et bien d'autres!)
- Caractéristiques d'environnement
 - ◆ partiellement observable
 - ◆ stochastique
 - ◆ dynamique
 - ◆ continu
 - ◆ séquentiel (parfois)
 - ◆ multi-agent (parfois)

Mise en situation

- Applications liées à la robotique

Contrôle de bras robotique



Mise en situation

- Applications liées à la robotique

Voiture robotisée



Mise en situation

- Applications liées à la robotique

Robots humanoïdes



<http://www.youtube.com/watch?v=4wMSiKHPKX4&feature=related>
http://www.youtube.com/watch?v=AxD07ZT4s_w

Dans ce cours...

- On va seulement gratter la surface de la robotique
- On va voir différents types de robots
- On va voir une application de l'apprentissage automatique à la robotique
 - ◆ contrôle d'un agent à l'aide d'apprentissage supervisé
- On va voir une application des réseaux bayésiens dynamique à la robotique
 - ◆ localisation de robot

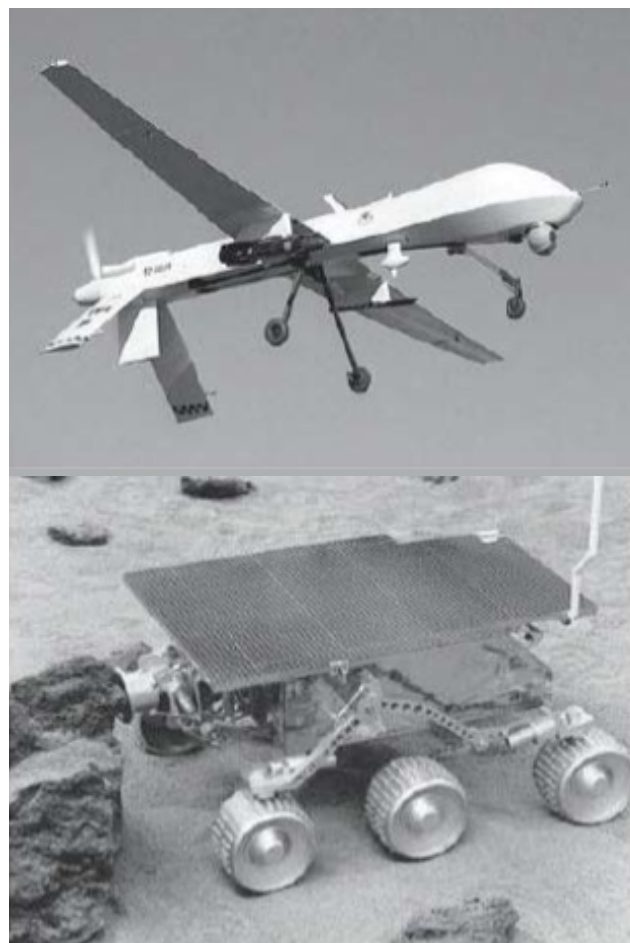
Types de robots

- On distingue **3 types de robots**
- Les robots manipulateurs
 - ◆ peuvent manipuler des objets
 - ◆ très utilisés en contexte manufacturier
 - ◆ plus d'un million installés dans le monde



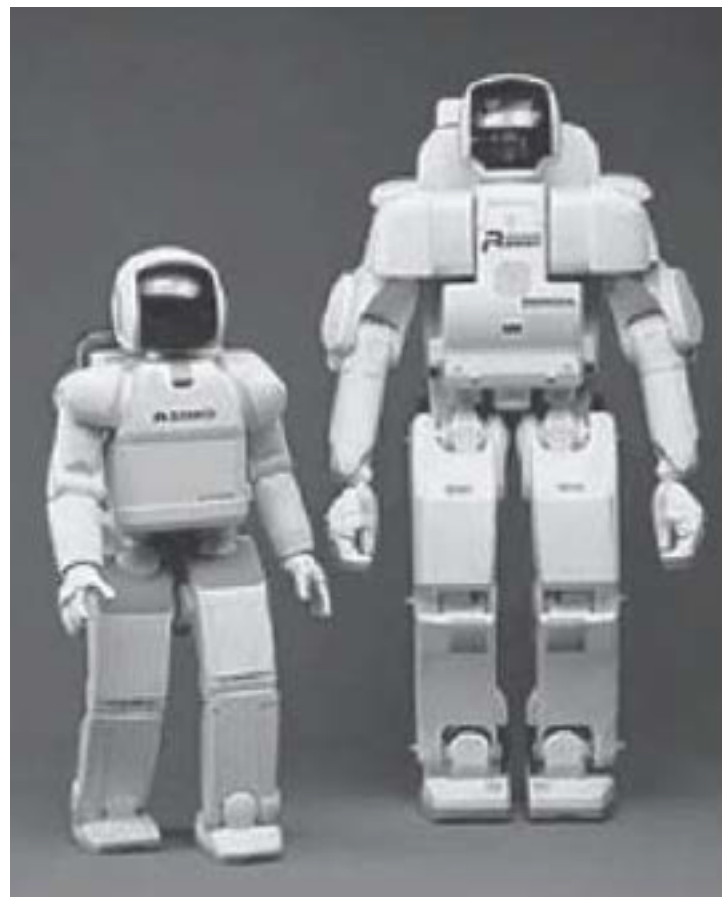
Types de robots

- On distingue **3 types de robots**
- Les robots mobiles
 - ◆ leur fonction première est l'exploration
 - ◆ se déplacent sur roues, pattes, ou autre mécanisme
 - ◆ se déplacent sur terre, dans les airs, dans l'eau, dans l'espace



Types de robots

- On distingue **3 types de robots**
- Les robots hybrides
 - ◆ combine l'exploration et la manipulation
 - ◆ n'inclue pas seulement les robots humanoïdes
- On inclue également dans la robotique
 - ◆ prothèses artificielles
 - ◆ environnement intelligents
 - ◆ systèmes multicorps



Environnement robotique

- Un algorithme doit être efficace et rouler en temps réel (ou proche)
- Un algorithme d'apprentissage dans un robot doit s'améliorer rapidement
 - ◆ un environnement réel ne va pas plus vite qu'en "temps réel »
- En pratique, l'apprentissage se fait souvent hors-ligne (*offline*)
 - ◆ un simulateur peut fournir des millions d'essais en quelques heures
 - ◆ aucun risque de briser/détruire le robot
- Un système robotisé concret va normalement nécessiter une connaissance préalable:
 - ◆ du robot
 - ◆ de son environnement physique
 - ◆ des tâches à effectuer

Apprentissage de contrôle d'un robot

- On a vu une approche par apprentissage par renforcement
 - ◆ on apprend un modèle de l'environnement
 - ◆ on fait des simulations hors-ligne, pour optimiser la politique

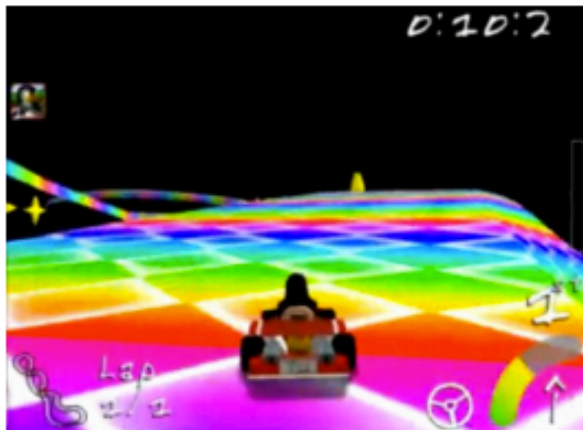


<http://heli.stanford.edu/>

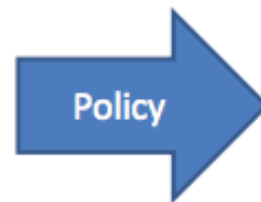
Apprentissage de contrôle d'un robot

- On a vu une approche par apprentissage supervisé
 - ◆ on construit un ensemble d'entraînement où x_t est l'information des capteurs, et y_t est la décision à prendre
 - ◆ cet ensemble est construit en demandant à un humain de contrôler le robot

Input:



Camera Image



Output:



Ross,
Gordon et
Bagnell
(2011)

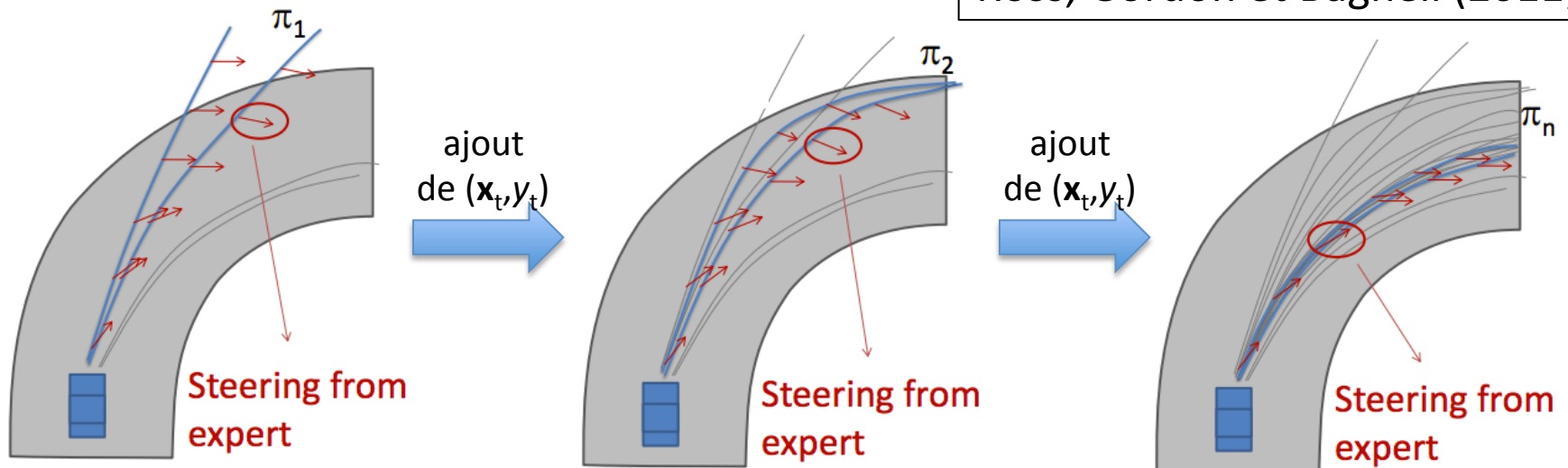
Steering in $[-1,1]$

Hard left turn

Hard right turn

Apprentissage de contrôle d'un robot

- Cette dernière approche ne fonctionne pas toujours très bien
http://videolectures.net/aistats2011_ross_reduction/
- Solution: « accompagner » le robot
 - ◆ on observe les erreurs faites par le robot
 - ◆ on lui donne de nouveaux exemples d'apprentissage, afin de corriger ces erreurs

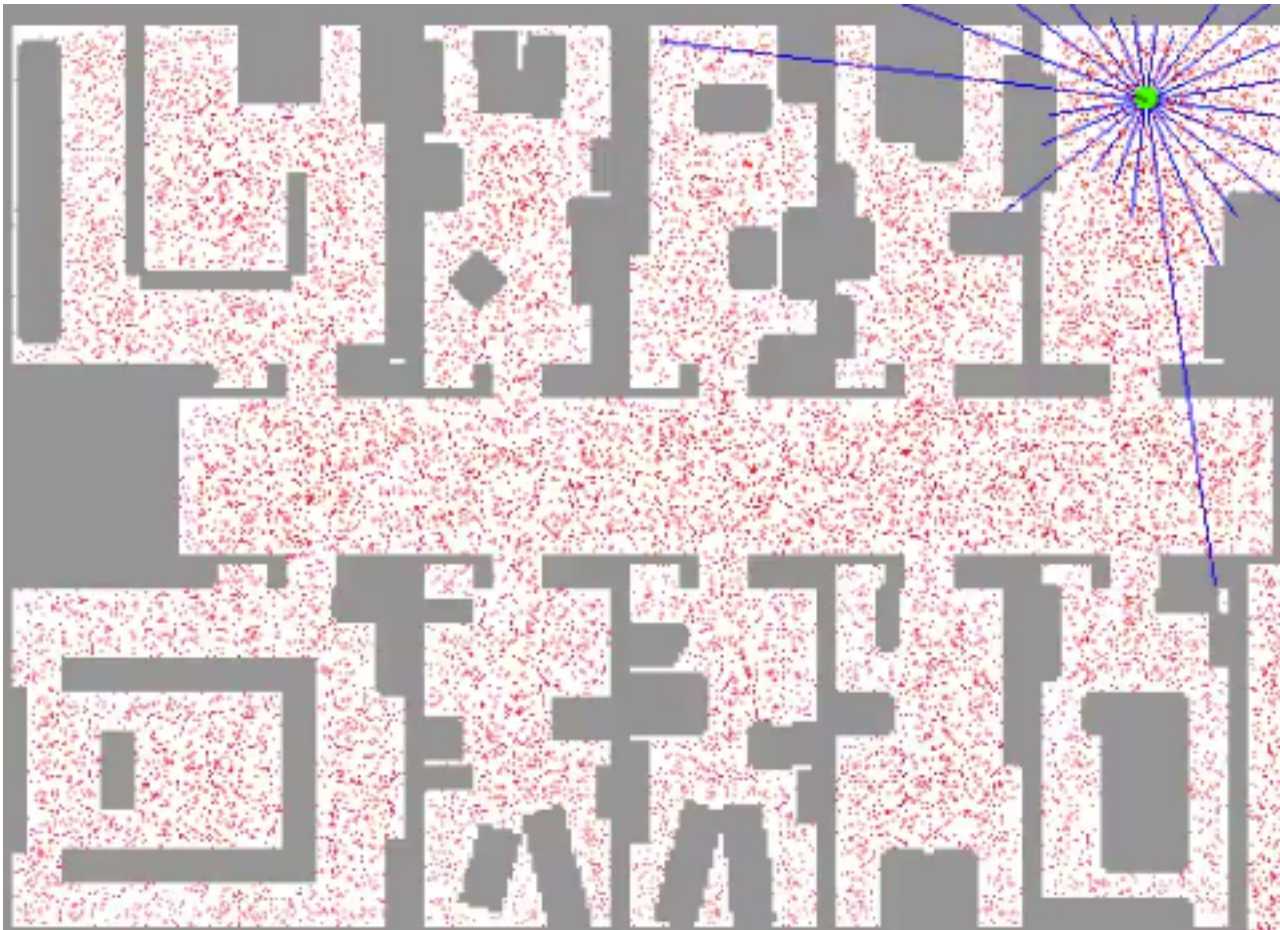


Localisation de robot

- Un exemple d'application d'un réseau bayésien dynamique à la robotique
- **Problème à résoudre:** étant donné des informations de capteurs, déterminer la position du robot
- Types de capteurs
 - ◆ capteurs passifs: caméra vidéo, microphone, etc.
 - ◆ capteurs actifs: sonar, laser, etc.
- On suppose que le robot connaît
 - ◆ la carte de l'environnement dans lequel il se trouve
 - ◆ la vitesse à laquelle il se déplace
- On va supposer qu'une politique/plan à suivre est spécifié

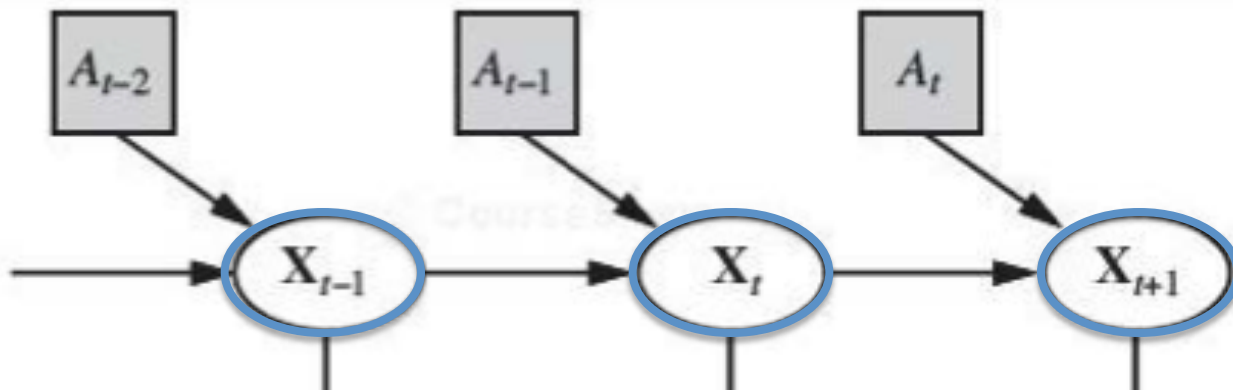
Localisation de robot

- Simulation: <http://www.youtube.com/watch?v=nWvLX6xmoAw>



Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)



$\mathbf{X}_t = [i_t, j_t, \theta_t]$, où

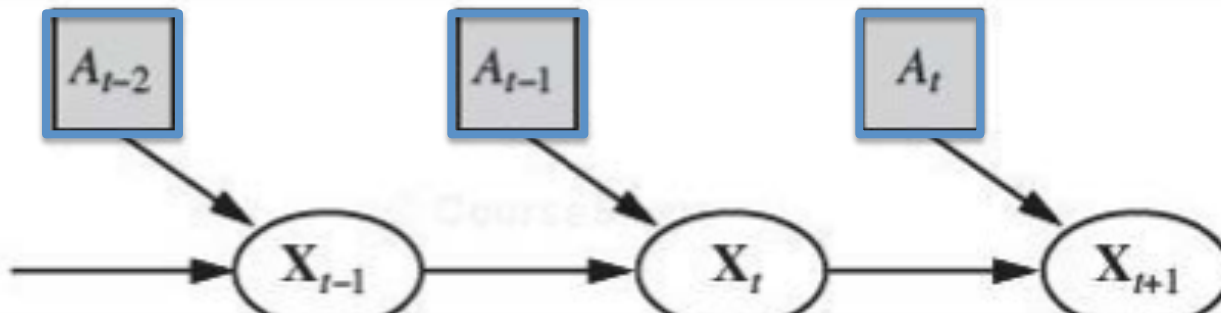
i_t : position horizontale du robot à l'instant t

j_t : position verticale du robot à l'instant t

θ_t : angle d'orientation du robot à l'instant t

Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)



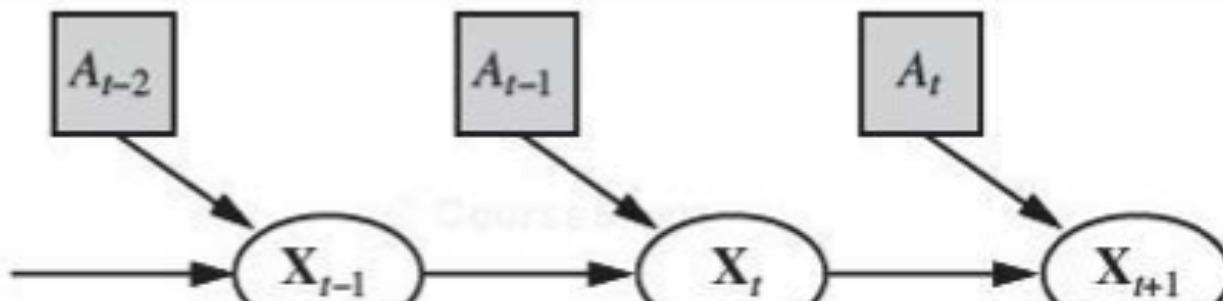
$\mathbf{A}_t = [v_t, w_t]$, où

v_t : vitesse de déplacement (translation) à l'instant t

w_t : vitesse de rotation (angulaire) à l'instant t

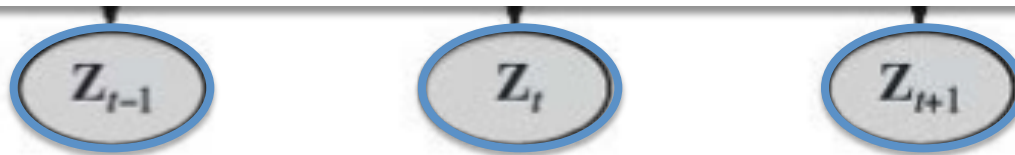
Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)



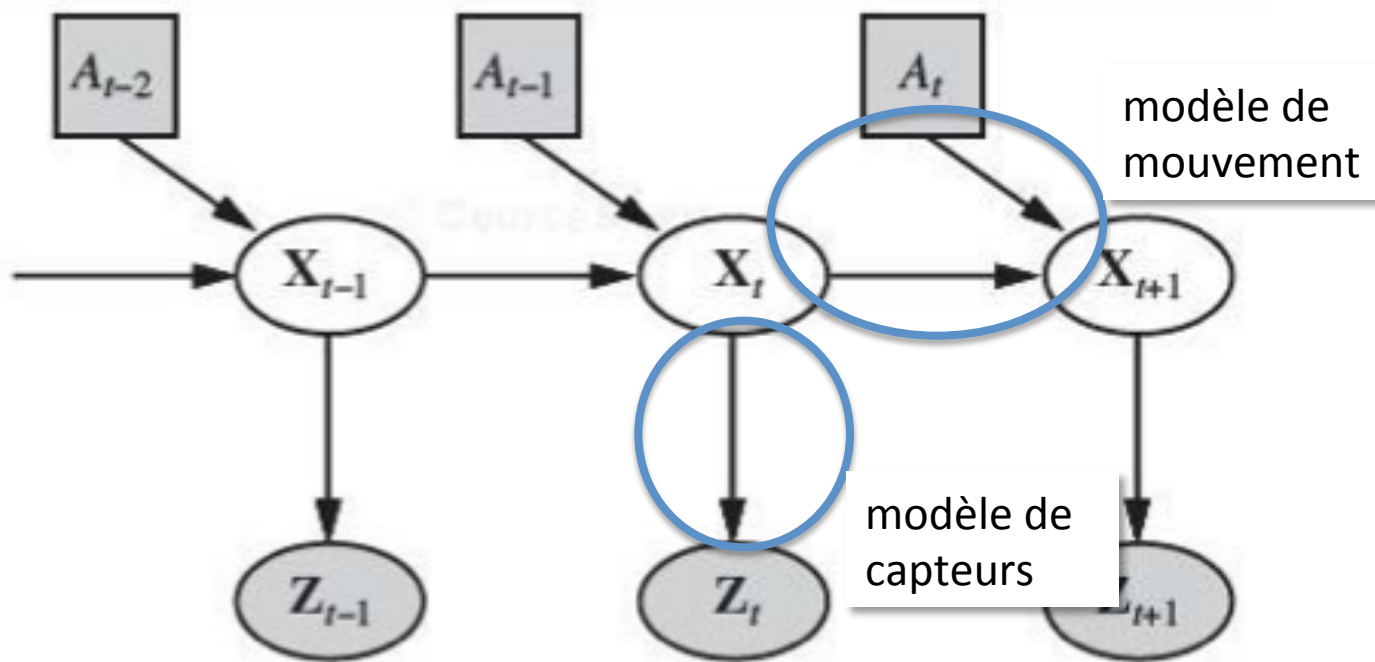
$\mathbf{Z}_t = [Z_{t,1}, Z_{t,2}, \dots, Z_{t,M}]$ où

$Z_{t,i}$: la mesure du i^{e} capteur (laser) du robot à l'instant t



Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)



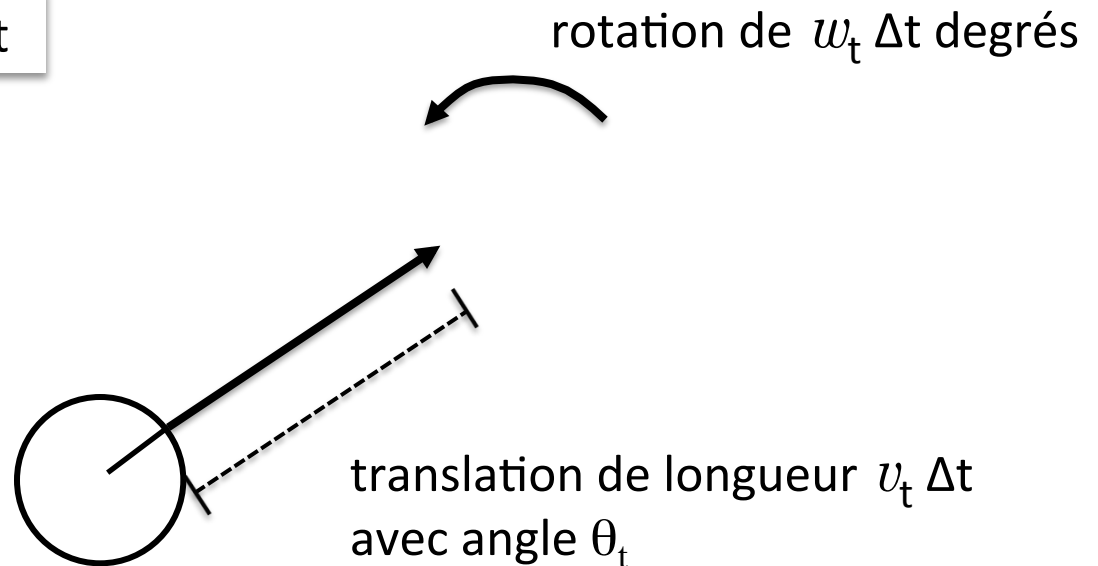
Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

Modèle de mouvement

Δt : temps entre chaque instant

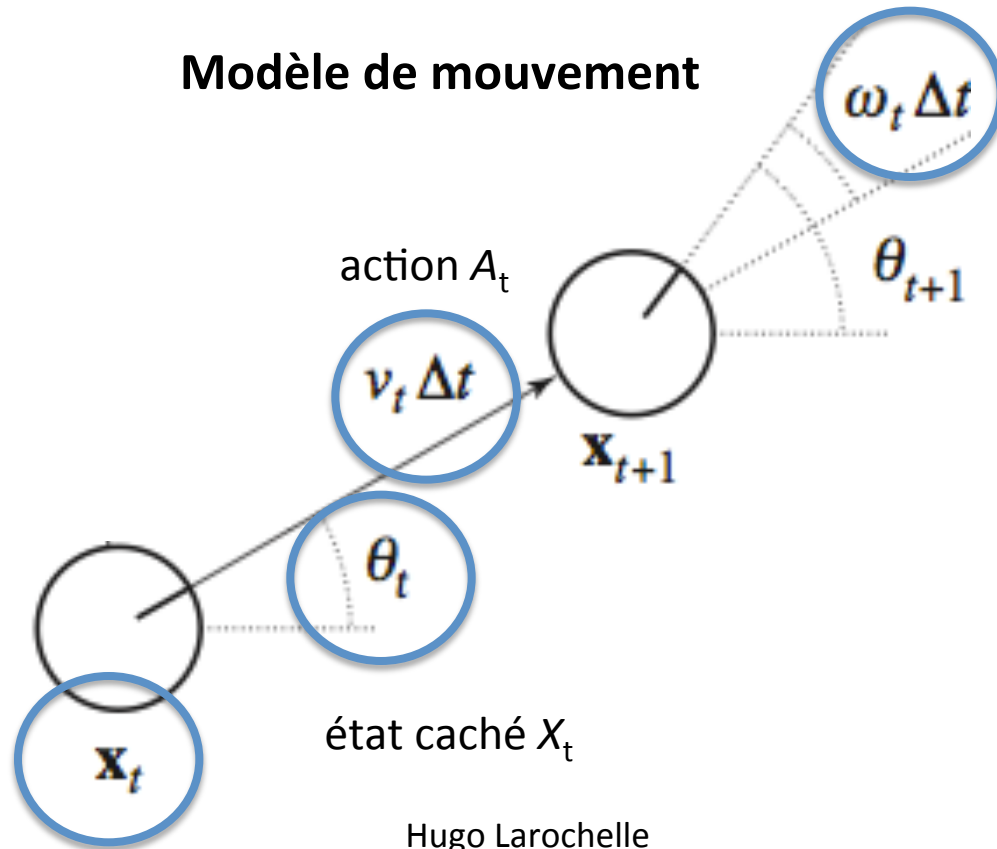
Si à l'instant t , le robot a
une vitesse de translation v_t
et une vitesse de rotation w_t
alors...



Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

Modèle de mouvement

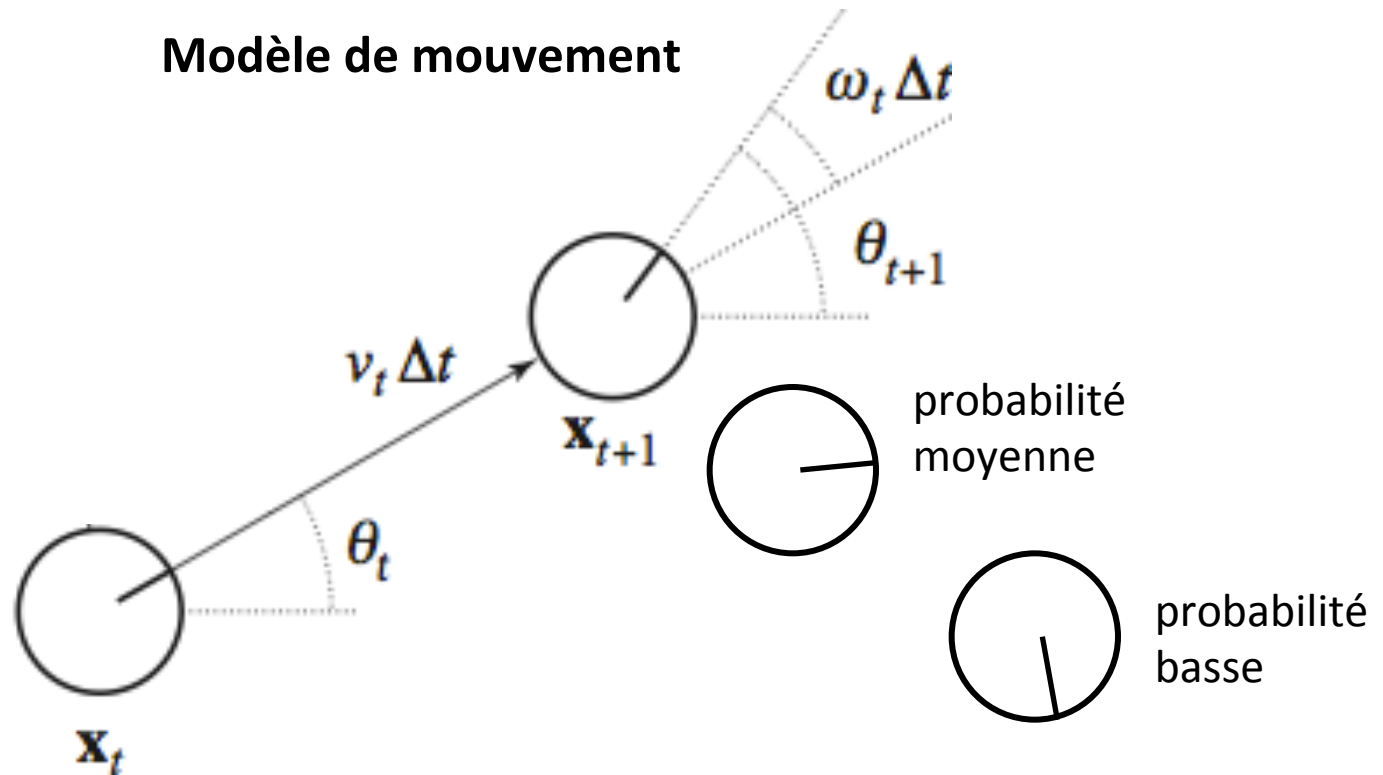


Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

Modèle de mouvement

Plus on s'éloigne
de la prédiction
attendue,
plus la probabilité
du mouvement
est basse

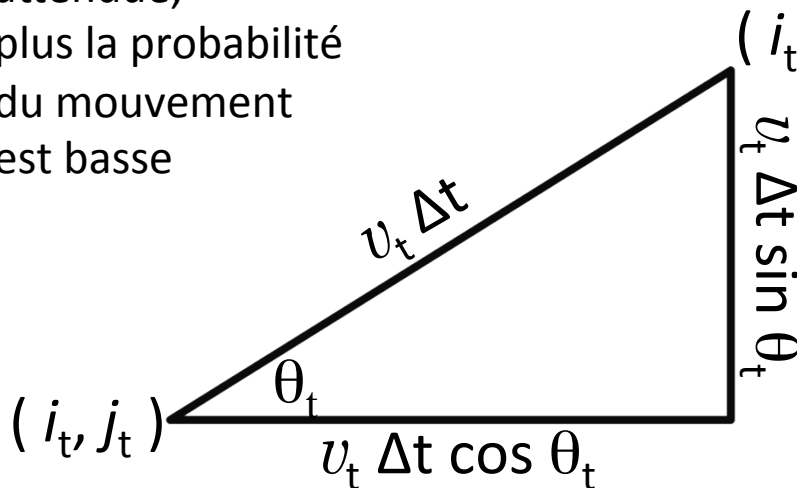


Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

Modèle de mouvement

Plus on s'éloigne de la prédiction attendue, plus la probabilité du mouvement est basse



$$P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{X}_t, v_t, w_t) \propto \exp\left(-\left(\begin{array}{c} i_t + v_t \Delta t \cos \theta_t \\ j_t + v_t \Delta t \sin \theta_t \\ \theta_t + w_t \Delta t \end{array} - \begin{array}{c} i_{t+1} \\ j_{t+1} \\ \theta_{t+1} \end{array}\right)^2 + \text{erreur de} \right. \\ \left. \text{prédiction} \right) / \sigma^2$$

prédiction basée sur \mathbf{X}_t, v_t, w_t \mathbf{X}_{t+1} attendue

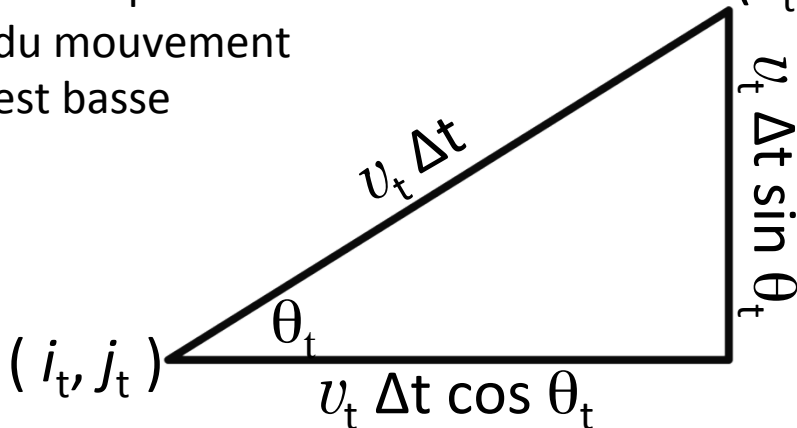
Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

Modèle de mouvement

Plus on s'éloigne
de la prédiction
attendue,
plus la probabilité
du mouvement
est basse

$$P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{X}_t, v_t, w_t) \propto \exp(- ((i_t + v_t \Delta t \cos \theta_t - i_{t+1})^2 + (j_t + v_t \Delta t \sin \theta_t - j_{t+1})^2 + (\theta_t + w_t \Delta t - \theta_{t+1})^2) / \sigma^2)$$

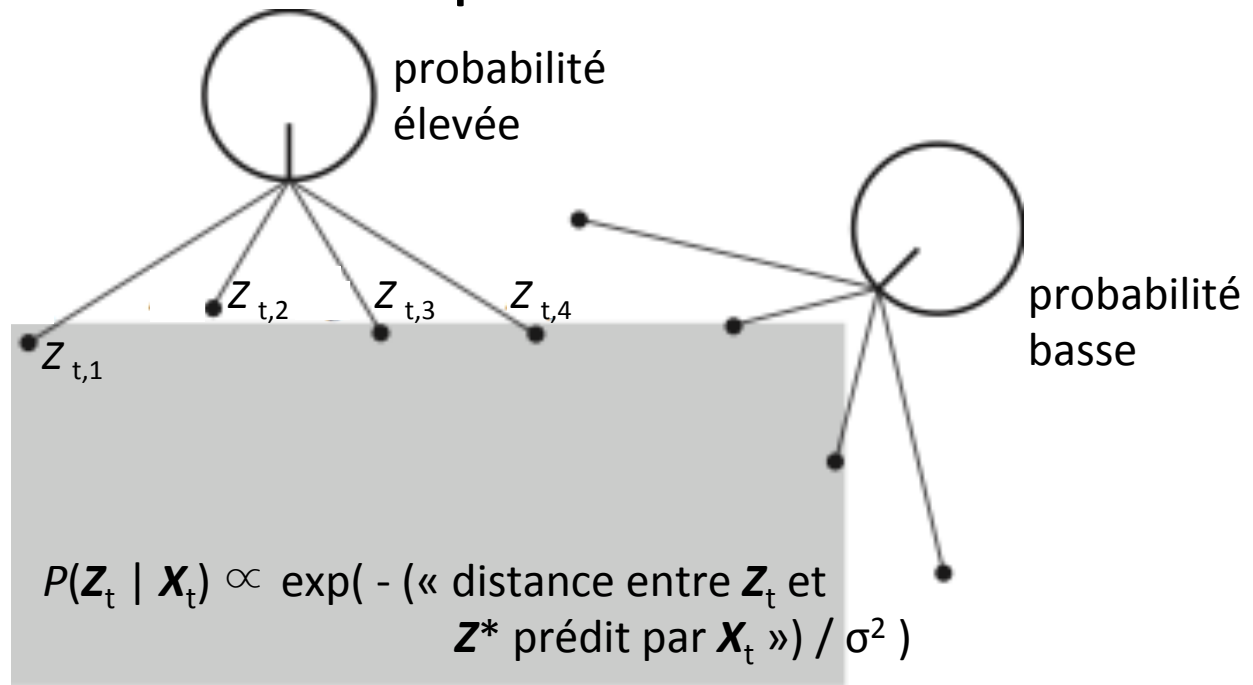


Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)

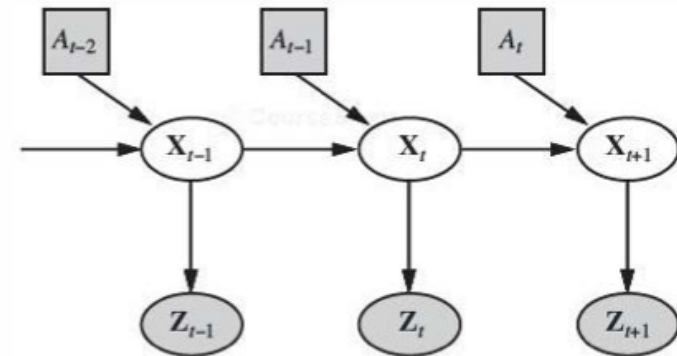
Modèle de capteurs

Moins l'observation est cohérente avec la variable d'état cachée, plus la probabilité est basse



Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)
- On souhaite mettre à jour notre croyance p/r à la position du robot après chaque observation
 - filtrage en ligne (voir cours sur RBD)



$$\begin{aligned}
 P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{z}_{1:t+1}, \mathbf{a}_{1:t}) &= P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{z}_{t+1}, \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t}) \\
 &= P(\mathbf{z}_{t+1}, \mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t}) / \alpha \\
 &= \sum_{\mathbf{x}_t} P(\mathbf{z}_{t+1}, \mathbf{X}_{t+1}, \mathbf{x}_t \mid \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t}) / \alpha \\
 &= \sum_{\mathbf{x}_t} P(\mathbf{z}_{t+1} \mid \mathbf{X}_{t+1}) P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{x}_t, \mathbf{a}_t) P(\mathbf{x}_t \mid \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t-1}) / \alpha \\
 &= P(\mathbf{z}_{t+1} \mid \mathbf{X}_{t+1}) \sum_{\mathbf{x}_t} P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{x}_t, \mathbf{a}_t) P(\mathbf{x}_t \mid \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t-1}) / \alpha
 \end{aligned}$$

Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)
- Une valeur de \mathbf{X}_{t+1} de l'état caché au temps $t+1$ aura une probabilité élevée si:
 1. elle est **explique bien les observations des capteurs** et
 2. elle est une **conséquence probable de l'action \mathbf{a}_t** appliquée à l'instant t , sur les **valeurs probables de \mathbf{X}_t selon mes croyances précédentes**

$$P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{z}_{1:t+1}, \mathbf{a}_{1:t}) =$$

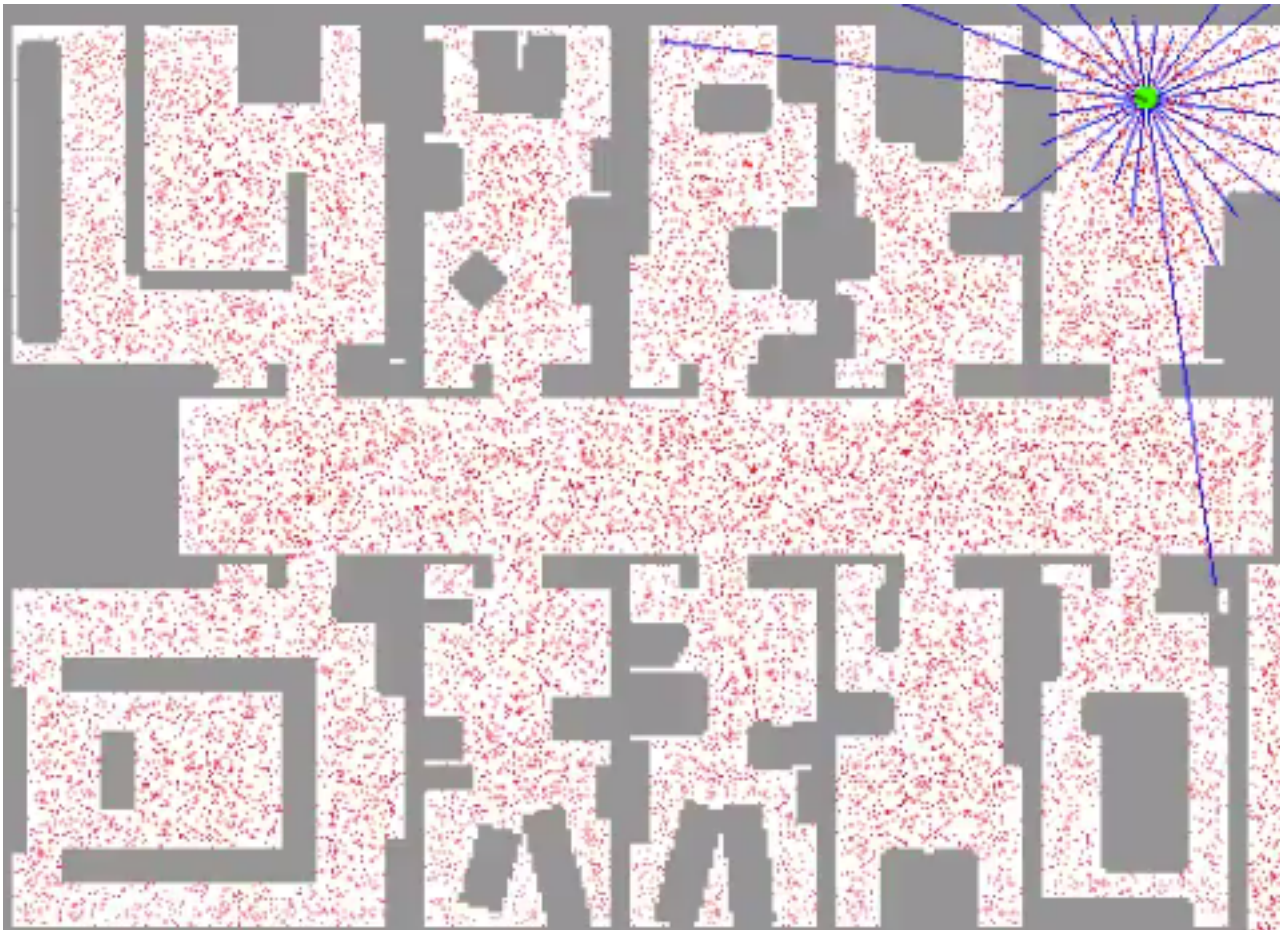
$$\underbrace{P(\mathbf{z}_{t+1} \mid \mathbf{X}_{t+1})}_{\text{explique bien les observations des capteurs}} \underbrace{\sum_{\mathbf{x}_t} P(\mathbf{X}_{t+1} \mid \mathbf{x}_t, \mathbf{a}_t) P(\mathbf{x}_t \mid \mathbf{z}_{1:t}, \mathbf{a}_{1:t-1})}_{\text{conséquence probable de l'action } \mathbf{a}_t \text{ sur les valeurs probables de } \mathbf{X}_t} / \alpha$$

Localisation de robot

- On utilise un réseau bayésien dynamique avec
 - ◆ des variables cachées \mathbf{X}_t et observées \mathbf{Z}_t continues
 - ◆ des actions \mathbf{A}_t qui déterminent la distribution de transition (mouvement)
- L'état \mathbf{X}_{t+1} (position et angle) est une variable continue
 - ◆ nombre infinie de valeurs
 - ◆ on devrait remplacer la somme sur \mathbf{x}_t par une intégrale
- Deux approximations possibles
 1. on discrétise l'espace (impose un nombre fini de positions et d'angles)
 2. on approxime les intégrales avec de l'échantillonnage aléatoire (Monte Carlo)
 - » méthode normalement utilisée (voir livre de référence)

Localisation de robot

- Simulation: <http://www.youtube.com/watch?v=nWvLX6xmoAw>



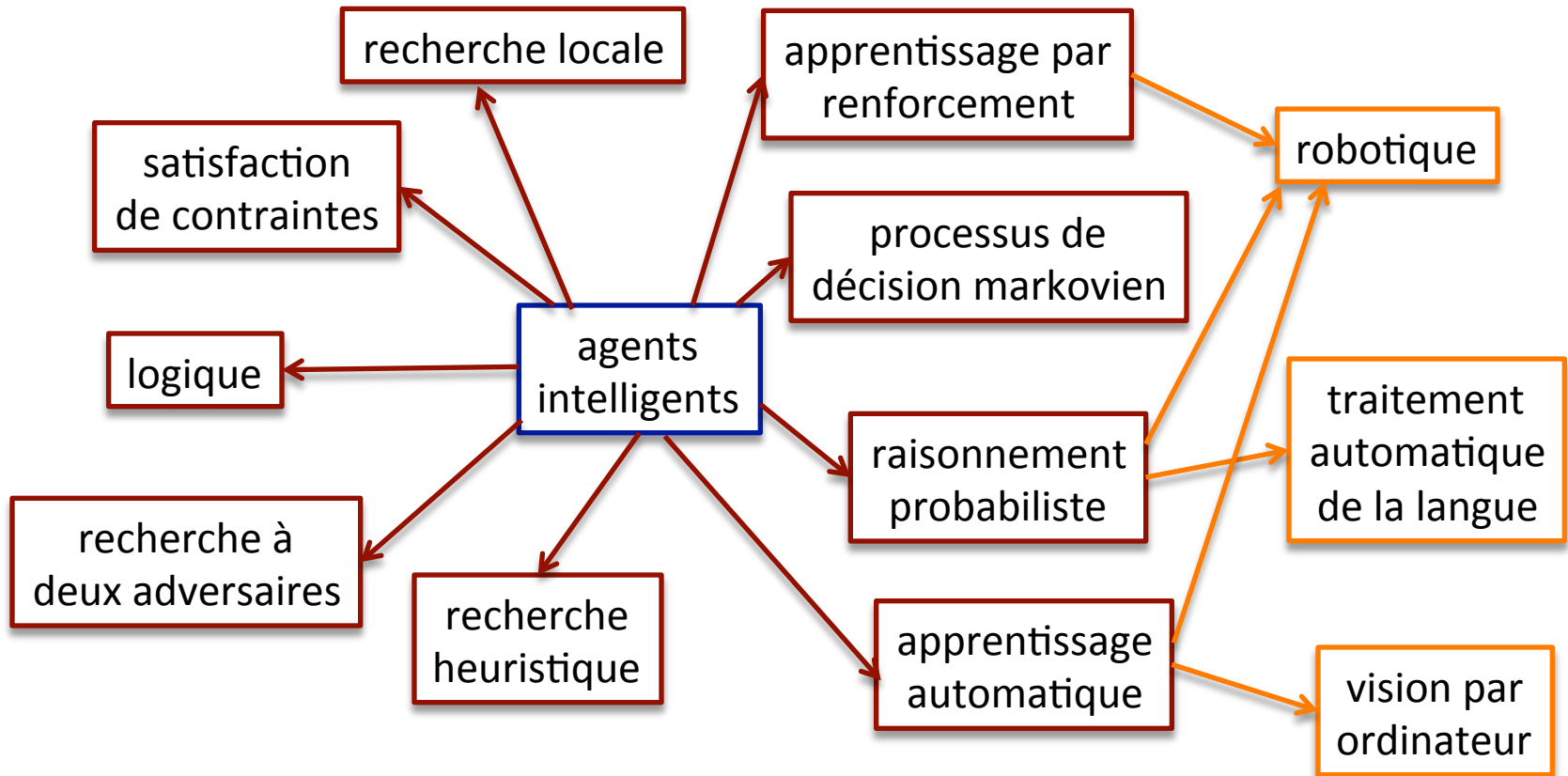
Conclusion

- La robotique est un autre exemple de domaine où l'apprentissage automatique joue un rôle de plus en plus important
- Nous sommes encore très loin du robot qui apprend seul, par lui-même, dans un vrai environnement
- Pas de cours de robotique au département d'informatique
 - ◆ par contre, le département de génie électrique et informatique offre des cours...
 - ◆ le livre de référence est contient plusieurs autres exemples et références

Objectifs du cours

Algorithmes et concepts

Applications



Vous devriez être capable de...

- Avoir une meilleure idée de ce qu'il vous reste à apprendre pour faire de la robotique...