

Assistance technique aux personnes handicapées

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées



Philippe Hoppenot

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle

Structure mécanique

Capteurs

Actionneurs

Informatique

Embarquée

Station de contrôle

Fonctions d'autonomie

Planification de trajectoire

Navigation

Localisation

Saisie d'objet

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Structure mécanique

Contraintes - Encombrement

A limiter pour simplifier le déplacement

- Taille suffisante de la base mobile pour
 - Porter le bras manipulateur (poids, équilibre)
 - Embarquer toute l'électronique et la capacité de calcul
- Position des capteurs
 - Evitement d'obstacles
 - Retour utilisateur

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Structure mécanique

Forme semi cylindrique



Codeurs

Caméra

Capteurs à ultrason

Capteurs odométriques

Bras manipulateur

Caméra

Roues

PC embarqué

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Actionneurs

1. Déplacement de la base mobile

Coût, maintenance => Motorisation de fauteuils roulants électriques : DX

Problème Les commandes circulent sur un réseau CAN avec un protocole propriétaire

Solution 1

DXKEY : Passerelle bus DX / liaison parallèle.

Pb de fiabilité et de suivi du produit

Solution 2

Développement d'une carte de commande à partir d'un PIC

Commande En V et Ω

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Actionneurs

2. Caméra

On peut utiliser la caméra comme organe de commande grâce à ses capacités d'orientation en site et en azimut

=> Modes de commande caméra

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Actionneurs

3. Bras manipulateur

Manus, développé en Hollande pour l'assistance aux personnes handicapées

6 degrés de liberté 3 en position
 3 en orientation

+ 1 unité de levage

+ ouverture/fermeture de la pince

2 modes de commande - Cartésien
 - Articulaire



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Capteurs

Coût, maintenance => pas de laser

1. Odométrie

Calcul de la pose (position et orientation) du robot en fonction du mouvement des roues

=> Codeurs incrémentaux sur les moteurs



La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à la fréquence du signal

On ne peut pas connaître le sens de rotation

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

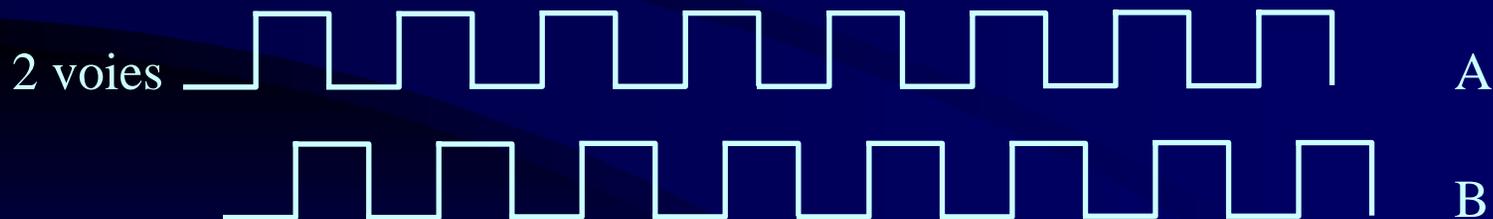
Architecture matérielle - Capteurs

Coût, maintenance => pas de laser

1. Odométrie

Calcul de la pose (position et orientation) du robot en fonction du mouvement des roues

=> Codeurs incrémentaux sur les moteurs



Le décalage des voies A et B permet de connaître le sens de rotation du moteur

+ Coefficient de réduction au niveau des moteurs

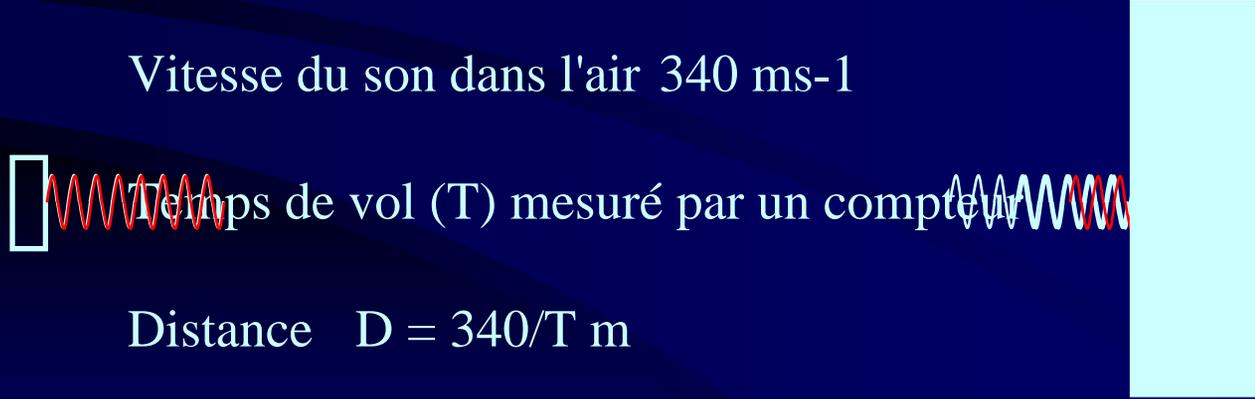
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Capteurs

2. Capteurs à ultrasons

Principe : mesure de distance par temps de vol

Vitesse du son dans l'air 340 ms-1

A diagram illustrating the principle of ultrasonic distance measurement. On the left, a small white rectangle represents the sensor. A red sine wave representing an ultrasonic pulse travels from the sensor to the right. The text 'Temps de vol (T) mesuré par un compteur' is written across the path of the wave. On the right, a vertical cyan rectangle represents a reflecting surface (a wall). The wave reflects off this surface and returns to the sensor.

Temps de vol (T) mesuré par un compteur

Distance $D = 340/T$ m

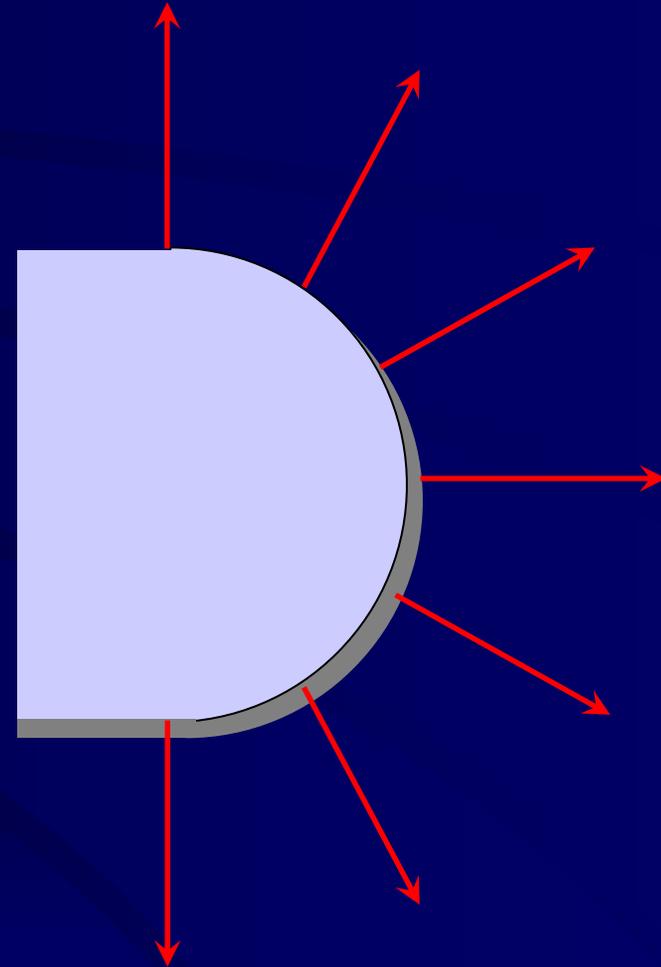
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Capteurs

2. Capteurs à ultrasons

Sur ARPH, 7 capteurs

Evitement d'obstacles



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Capteurs

3. Caméra

2 fonctions Retour d'information à l'opérateur humain
 Calcul de la position du robot

Orientable en site et en azimut

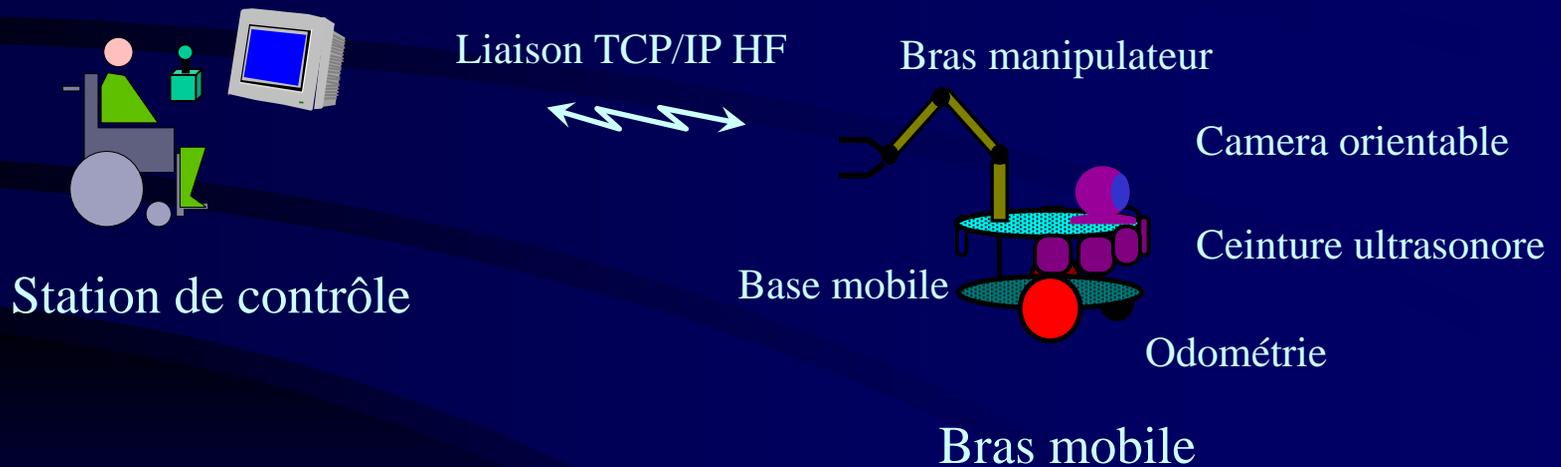
Commandable par liaison série

4. Position du bras

2 retours d'information - Cartésien
 - Articulaire

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle - Informatique



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle – Informatique

1. Station de contrôle

PC Windows

Client C++ ou Java

Pilotage réel

Simulateur

Organe de commande

Souris

Autre interface spécifique

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle – Informatique

2. Bras mobile

PC Linux

Différents serveurs

TCP IP

Serveurs matériels

Modules de comportement

3 liaisons séries Commande de la caméra
 Commande des capteurs à ultrasons
 Commande des moteurs des roues

1 liaison CAN Bras Manus

1 carte d'acquisition vidéo

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Architecture matérielle – Informatique

2. Bras mobile

Commande des capteurs à ultrasons (Intel 80196)

Liaison série

Fonctionnement

Reçoit une demande de mesure

Effectue la mesure

Revoie la donnée au PC maître

Commande des moteurs des roues (Microchip PIC)

Liaison série

Fonctionnement

...

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie

Robotique mobile

1. Planification de trajectoire
Recherche d'un chemin pour aller d'un point à un autre
2. Navigation
Suivi du chemin planifié
3. Localisation
Indispensable pour la planification et la navigation
4. Modes de commande

Manipulation d'objets

Stratégie d'approche pour la saisie

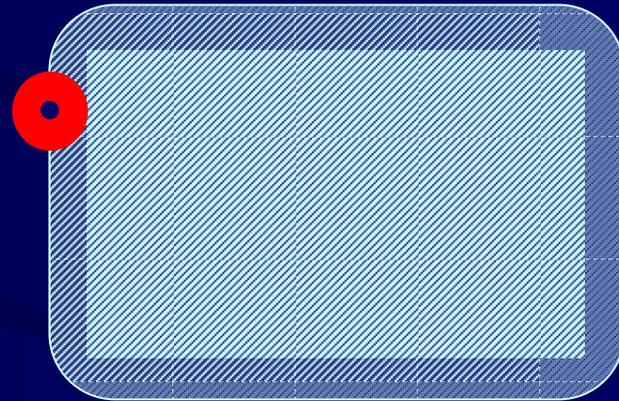
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Planification de trajectoire

Notion d'espace libre

Dilatation des obstacles
de la dimension du robot

=> Le robot peut être
considéré comme un point



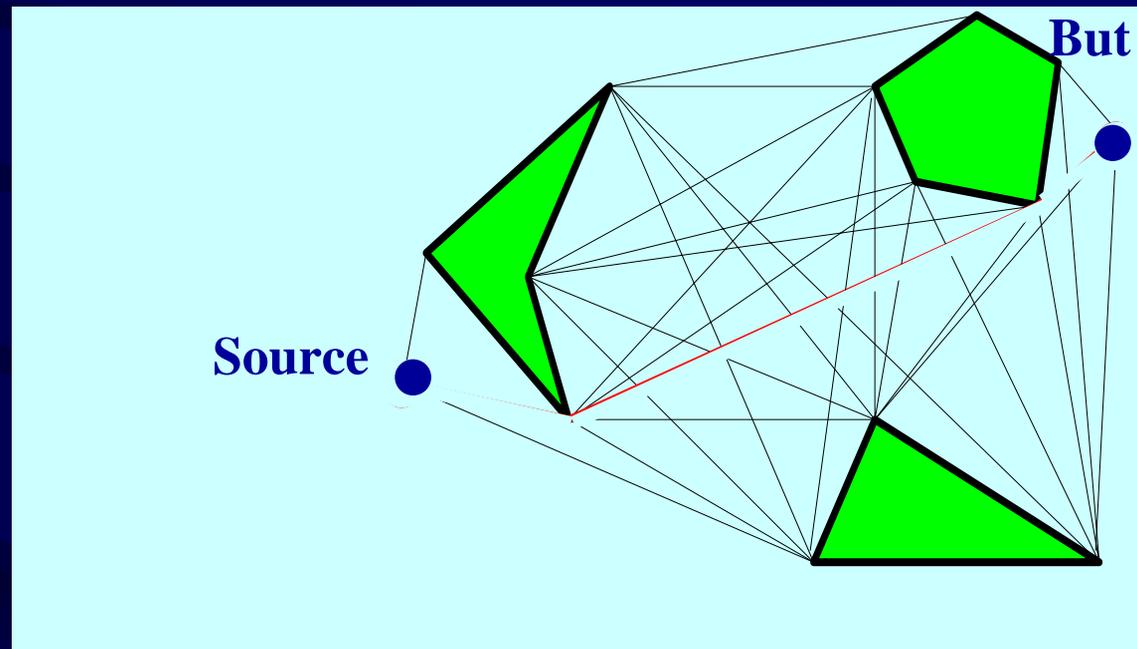
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Planification de trajectoire

Graphe de visibilité

Meilleur chemin

Minimisation d'une
fonction de coût



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Navigation

Suivi de la trajectoire planifiée

2 comportements

Attraction par le but

Evitement d'obstacles

Génération de la commande

$$V = C_v \cdot V_{\max} \quad \text{avec } C_v \text{ dans } [0,1]$$

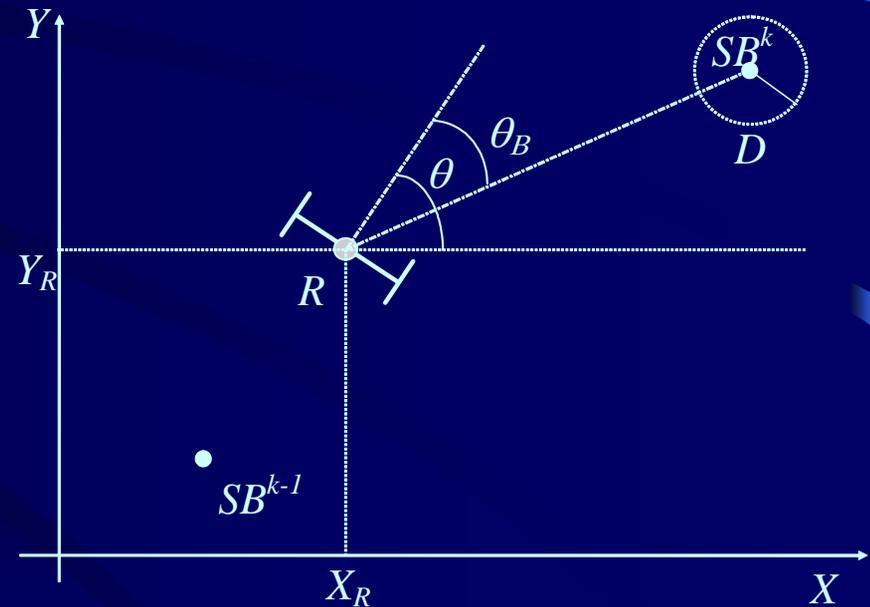
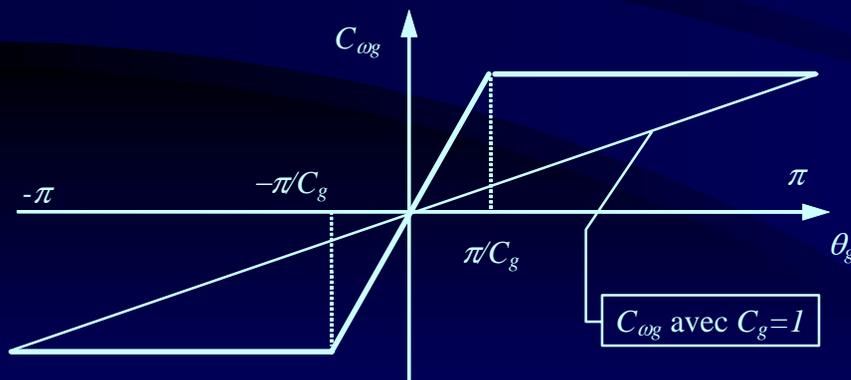
$$\omega = C_\omega \cdot \omega_{\max} \quad \text{avec } C_\omega \text{ dans } [-1,1]$$

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Navigation

Suivi de la trajectoire planifiée - Attraction par le but

2 cas Loin du sous-but
Près du sous-but

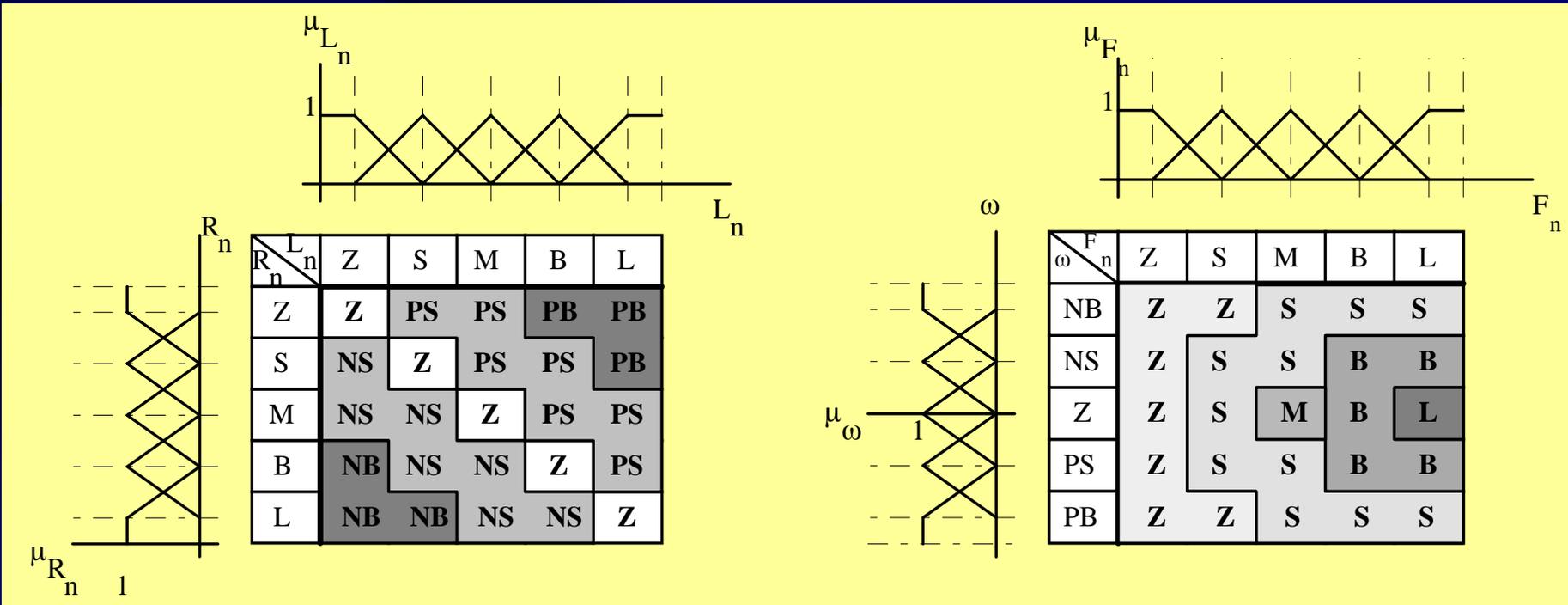


Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Navigation

Suivi de la trajectoire planifiée - Evitement d'obstacles

Logique floue



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

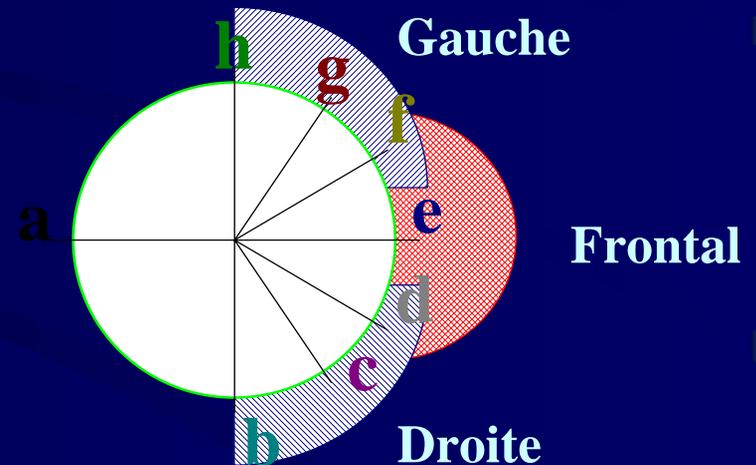
Fonctions d'autonomie - Navigation

Suivi de la trajectoire planifiée - Evitement d'obstacles

Regroupement des capteurs

$$L = \frac{\text{(Left)}}{\text{(Left + Right)}}$$

$$R = \frac{\text{(Right)}}{\text{(Left + Right)}}$$



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Navigation

Suivi de la trajectoire planifiée – Fusion des 2 comportements

Idée maîtresse Plus on se rapproche d'un obstacle, plus l'évitement d'obstacles doit devenir prépondérant.

Deux zones

- Proche d'un obstacle
 - Uniquement l'évitement
- Loin d'un obstacle
 - Combinaison linéaire des deux comportements

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

Deux grandes familles de localisation

Relative

La position à l'instant t est calculée en fonction de la position à l'instant $t-1$ et du déplacement mesuré par des capteurs proprioceptifs

=> Dérive dans le temps, non bornée

- Accumulation d'erreurs
- Glissement

Mais facile à mettre en œuvre (odométrie)

Absolue

La position est calculée en fonction de mesures extéroceptives

=> Erreur bornée

Mais lourde à mettre en œuvre

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

Absolue (thèse de Omar Ait Aider)

- 1- Acquisition de l'information par les capteurs (ici la caméra)
- 2- Extraction des primitives (ici des segments)
- 3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle
- 4- Calcul de la position de la caméra

Modèle de la caméra

Pleine perspective

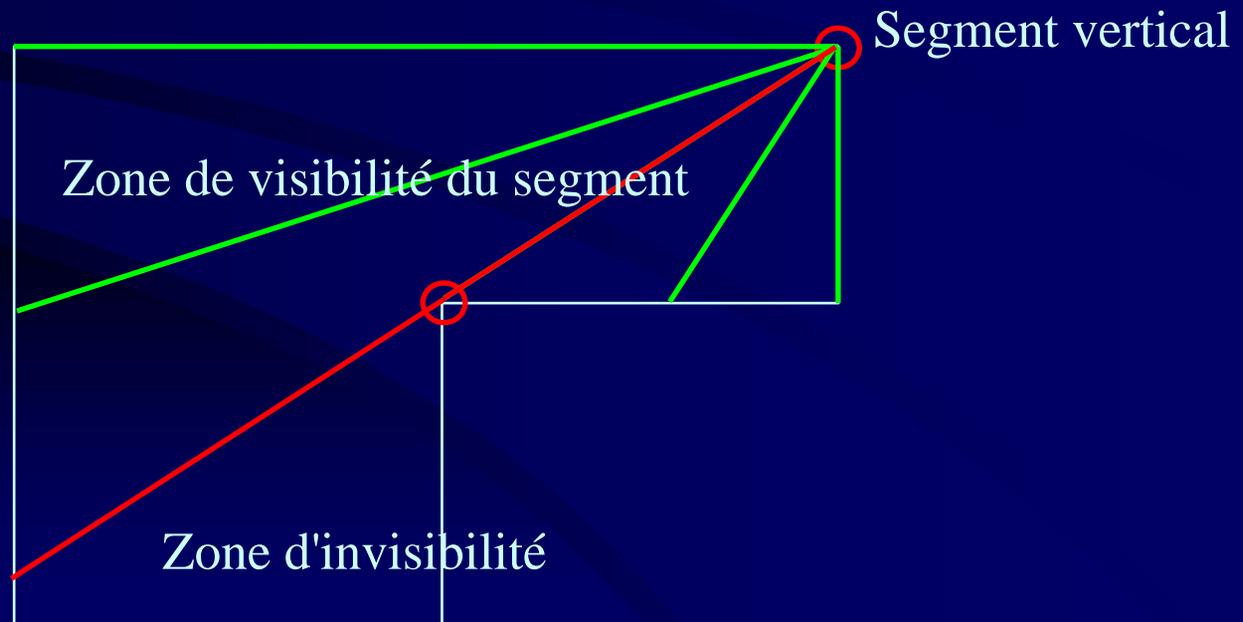
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle

- Réduction de l'espace de recherche

Régions d'Invariance Visuelle



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

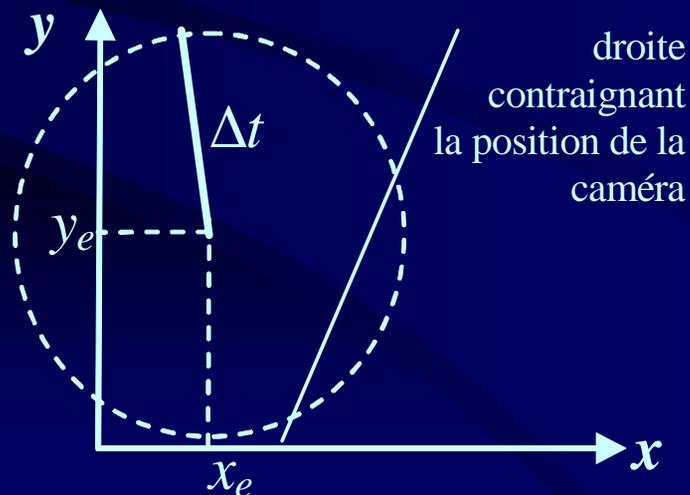
Fonctions d'autonomie - Localisation

3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle

- Génération d'hypothèses de correspondance

Contraintes

Unaire - 1 segment du modèle / 1 segment de l'env.



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

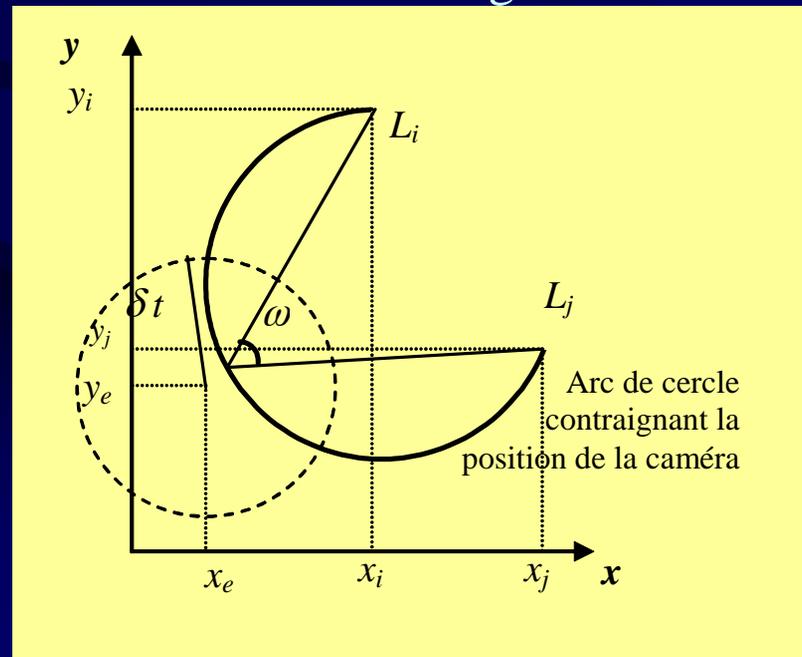
Fonctions d'autonomie - Localisation

3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle

- Génération d'hypothèses de correspondance

Contraintes

Binaire - 2 segments du modèle / 2 segments de l'env.

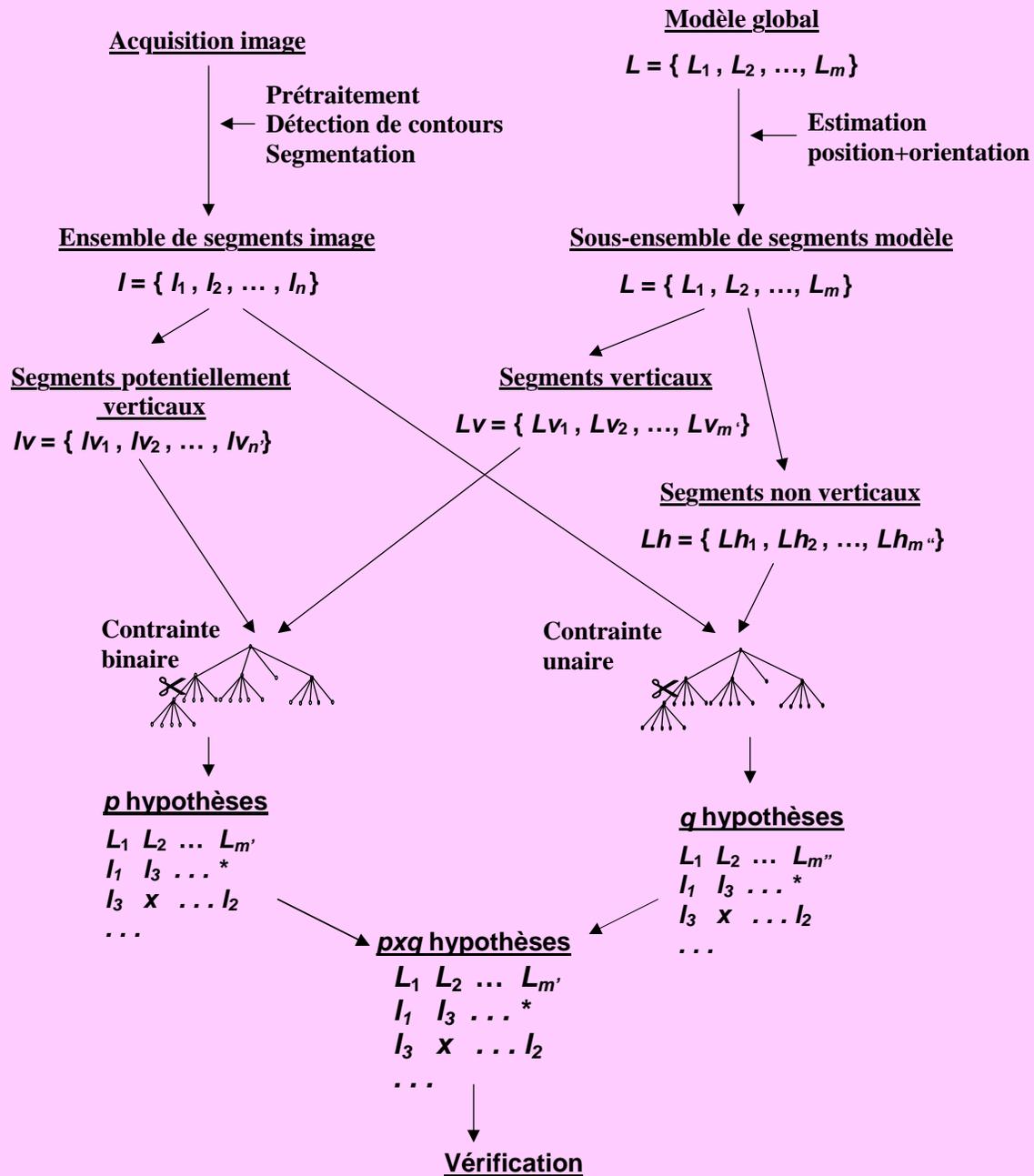


Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle

- Génération d'hypothèses de correspondance
Génération d'un arbre d'interprétation
- Vérification et sélection de la meilleure hypothèse



- Calcul de la position et de l'orientation
- Calcul du score
- Sélection de la meilleure hypothèse

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

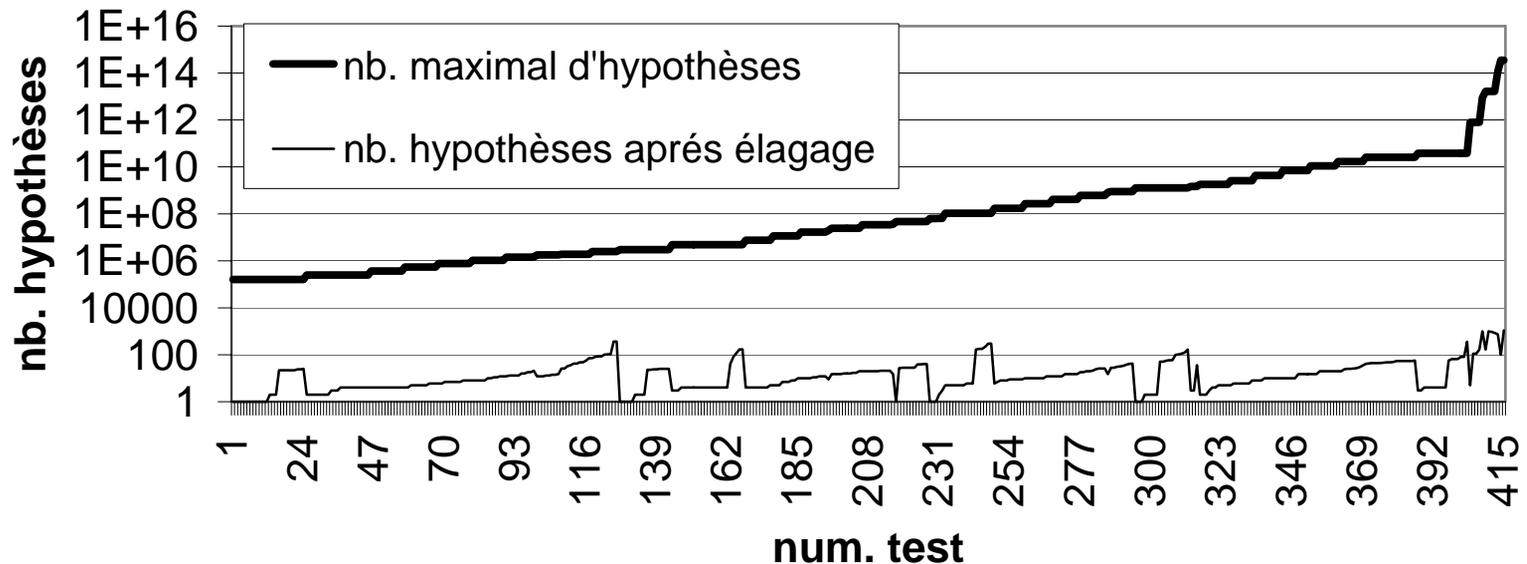
Fonctions d'autonomie - Localisation

3- Mise en correspondance 2D-3D des observations avec le modèle

- Vérification et sélection de la meilleure hypothèse

Résultat des performances de l'élagage

Erreur d'initialisation 1,5 m et 40°



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

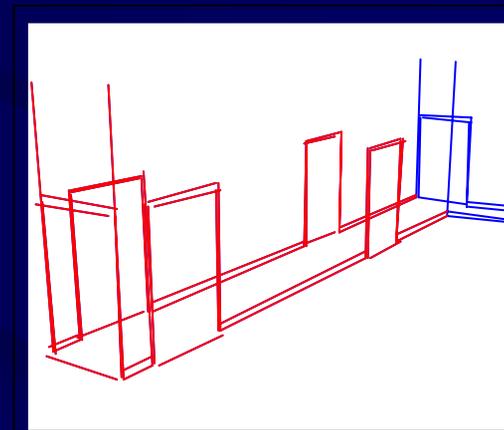
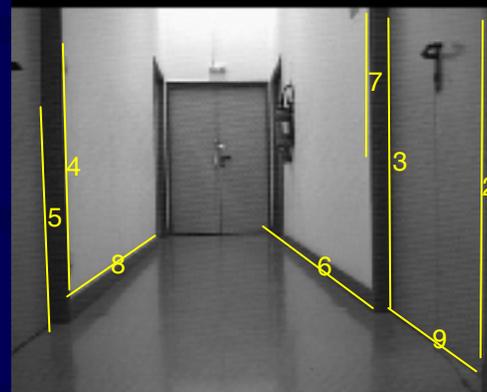
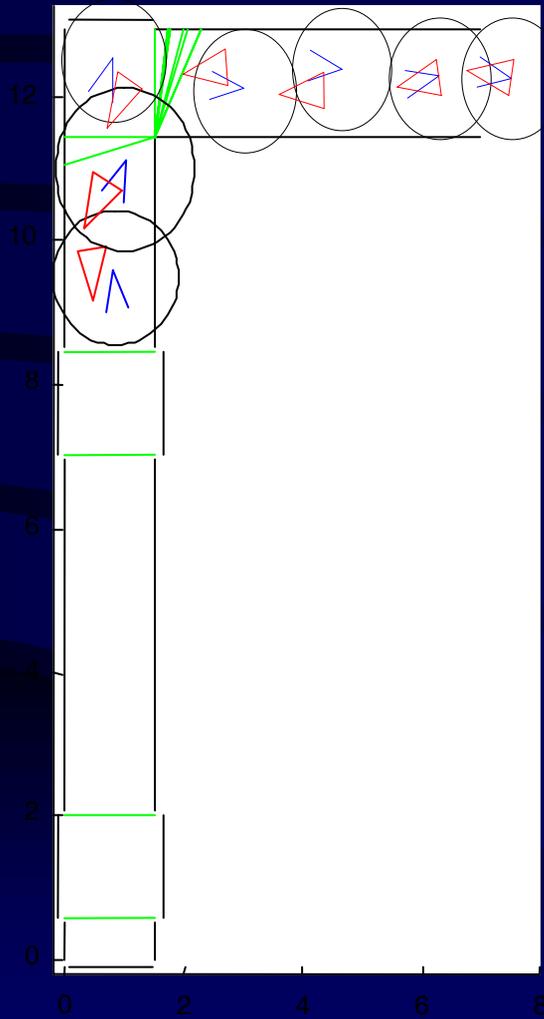
4- Calcul de la position de la caméra

Lowe. Minimisation de la distance entre les points de l'image et la projection estimée des points correspondants dans le modèle.

Phong-Horaud. Minimisation des différences d'orientations de vecteurs dans l'espace 3D

=> Adaptation des méthodes au contexte de la robotique mobile: 3 ddl

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

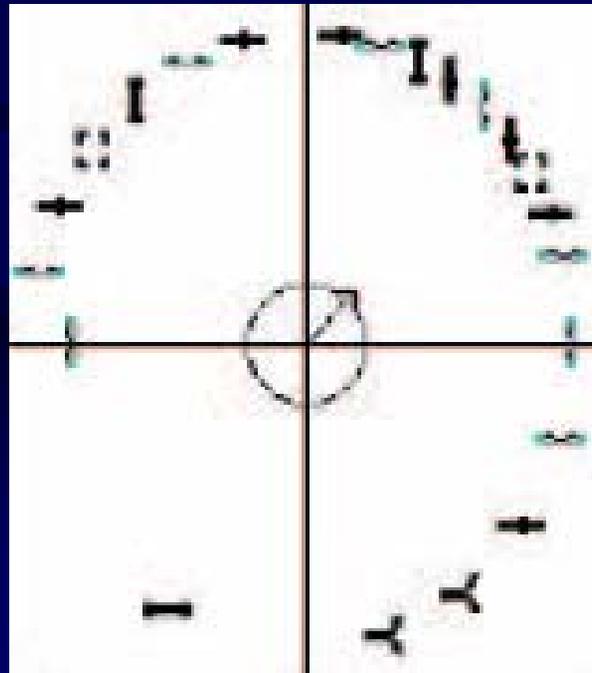


Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

Localisation symbolique

- Basée sur un modèle topologique de l'environnement
- Mode de représentation : Fresques = liste ordonnée d'amers
Angles, fins de mur (horizontale, verticale...), ouvertures



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

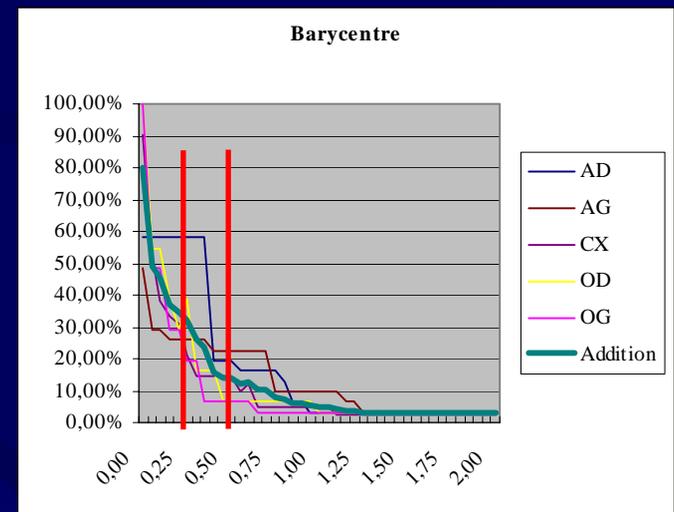
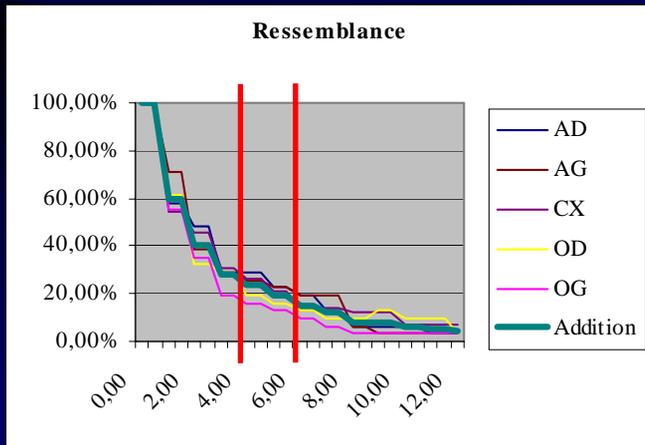
Localisation symbolique

- Description d'une trajectoire

Suite de fresques

Quelles sont les fresques représentatives de la trajectoire ?

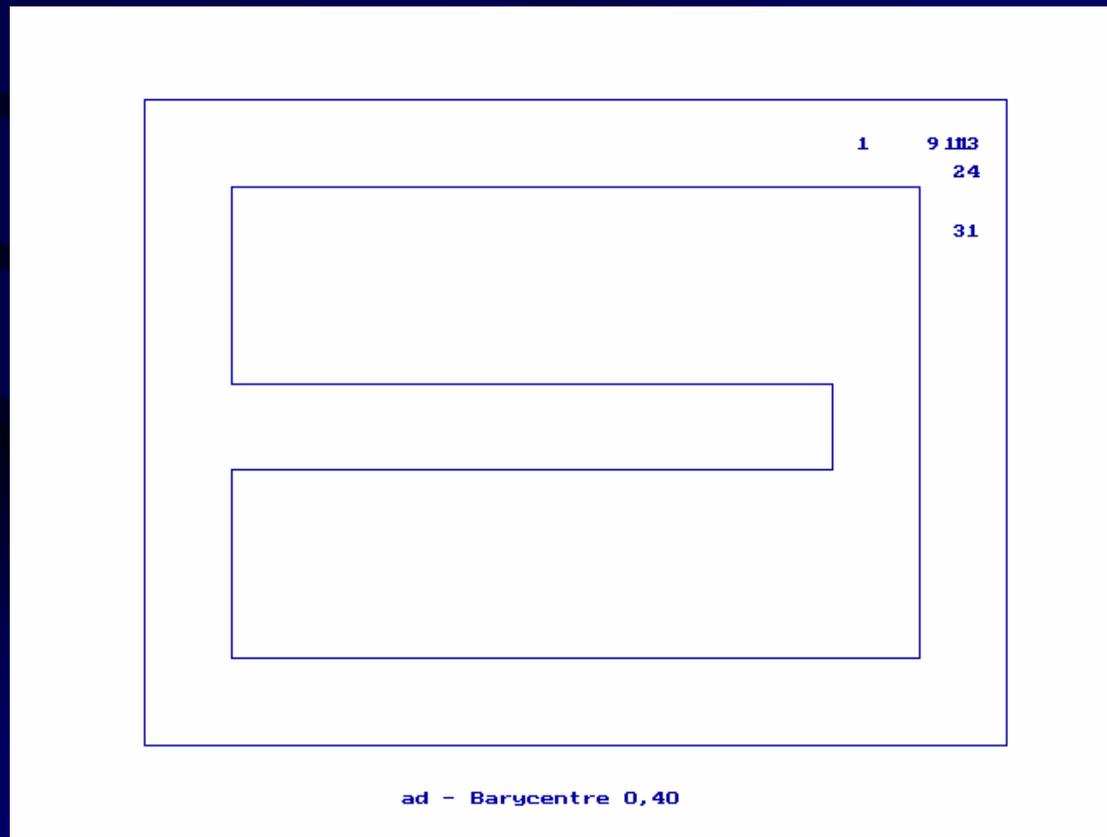
=> 2 mesures de distance entre des fresques
barycentre, ressemblance



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

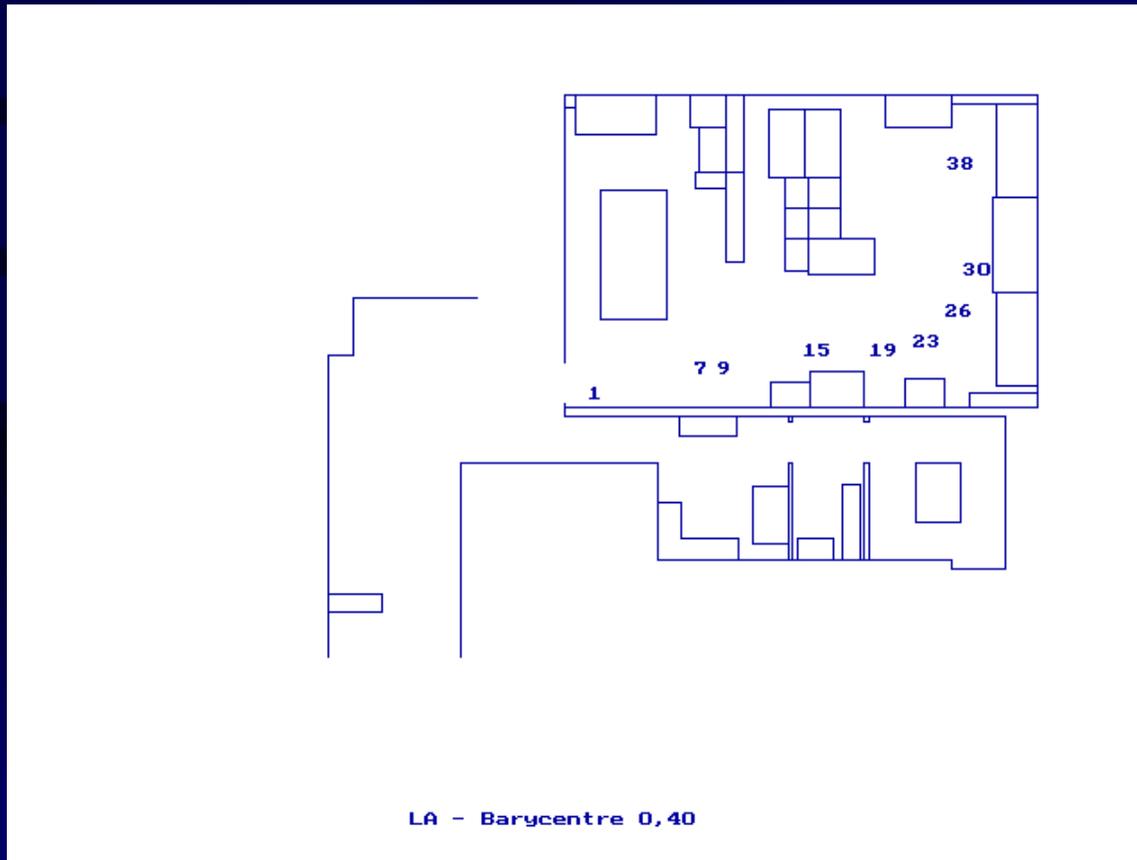
Localisation symbolique



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Localisation

Localisation symbolique



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Modes de commande

Manuel

Automatique

Partagée Manuel avec évitement

Caméra manuelle (avec ou sans évitement)

Caméra automatique (avec ou sans évitement)



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

- Système redondant

Espace opérationnel	6 ddl
Espace des configurations	9-1 ddl

- 2 approches Robotique classique
 Systèmes multi-agents

- Robotique classique (thèse Khiair Nait Chabane)

Manipulabilité

Yoshikawa 85 $\omega = \Pi \sigma_i$ si valeurs singulières de J
=> Mesure la capacité d'un bras manipulateur de se déplacer
dans toutes les directions
Extension à un bras mobile

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Plate-forme mobile

$$q_P = [x_P, y_P, \theta_P]^T$$

Bras manipulateur

$$q_B = [q_{B1}, \dots, q_{B6}]^T$$

MGD

$$X = f(q_P, q_B)$$

MCD

$$\dot{X} = J(q)\dot{q}$$

+

Contrainte de non holonomie

$$A(q_P)\dot{q} = 0 \quad A(q_P) = [\sin(\theta_P), \cos(\theta_P), 0, 0_{1 \times n_B}]$$

MCDR

$$\dot{X} = \bar{J}(q)u$$

$$u = [v, \omega, \dot{q}_{B1}, \dots, \dot{q}_{B6}]^T$$

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

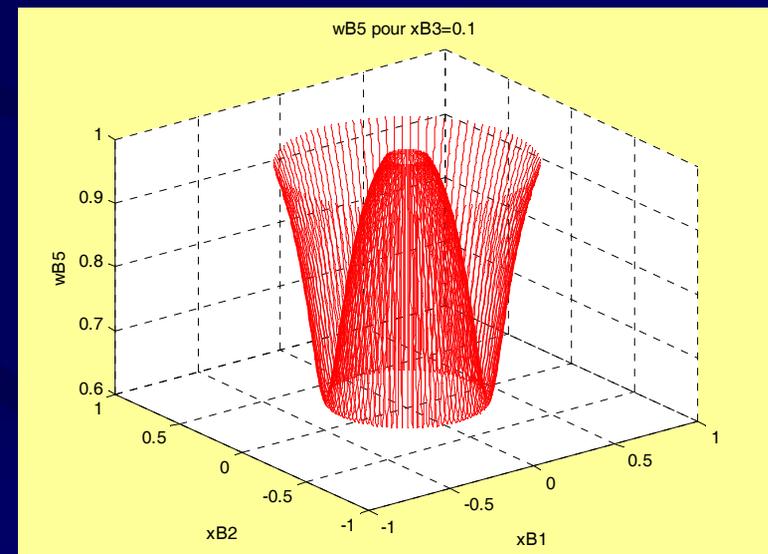
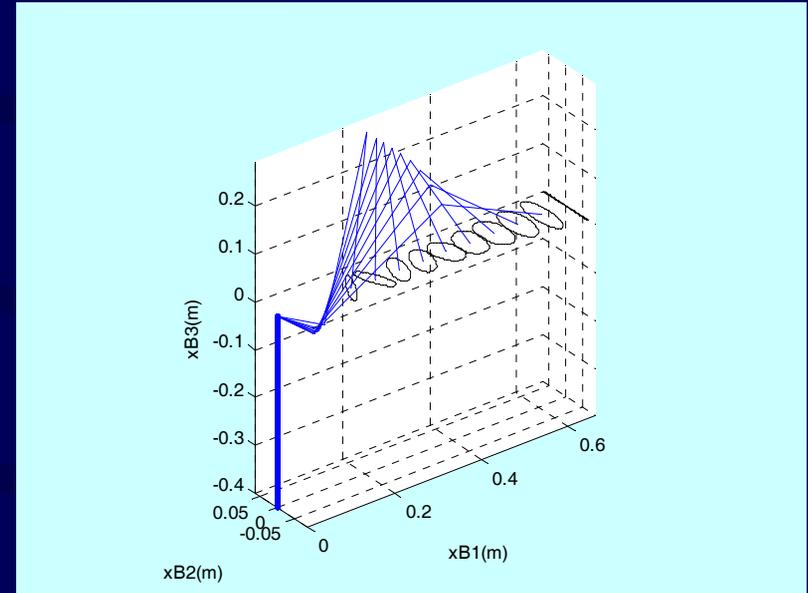
Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique

$$w_B = \prod_{i=1}^{m_B} \sigma_{B_i}$$

$$w_{B5} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{Bm}^2}{\sigma_{B1}^2}} \in [0,1]$$

$$w_{B2} = \frac{\sigma_{Bm}}{\sigma_{B1}} \in [0,1]$$



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique

La manipulabilité classique ne prend en compte que la configuration du système

=> Une proposition pour prendre en compte la direction de la tâche

$$\omega_D = \sum \left| \sigma_i \frac{\dot{\mathbf{X}}_d}{\|\dot{\mathbf{X}}_d\|} \mathbf{U} \right|$$

$\dot{\mathbf{X}}_d$ Vitesse de l'organe terminal

\mathbf{U} Matrice unitaire des vecteurs singuliers

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique - Application de la manipulabilité à la commande

$$u = \bar{J}^+(q) \dot{X}_d + P_{N(\bar{J})} \Delta \alpha$$

$$P_{N(\bar{J})}$$

Opérateur de projection sur le Noyau de \bar{J}

$$P_{N(\bar{J})} = (I_{n-1} - \bar{J}^+ \bar{J})$$

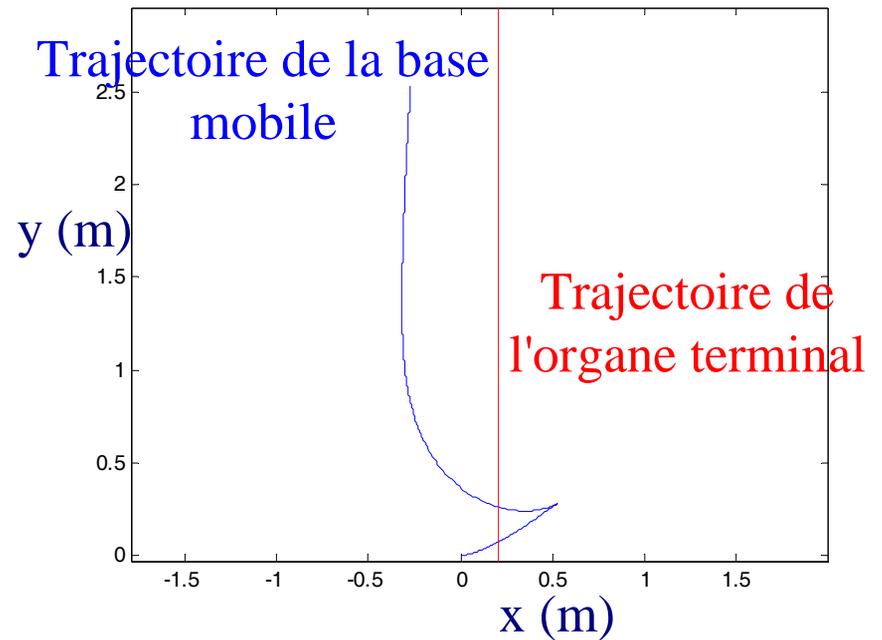
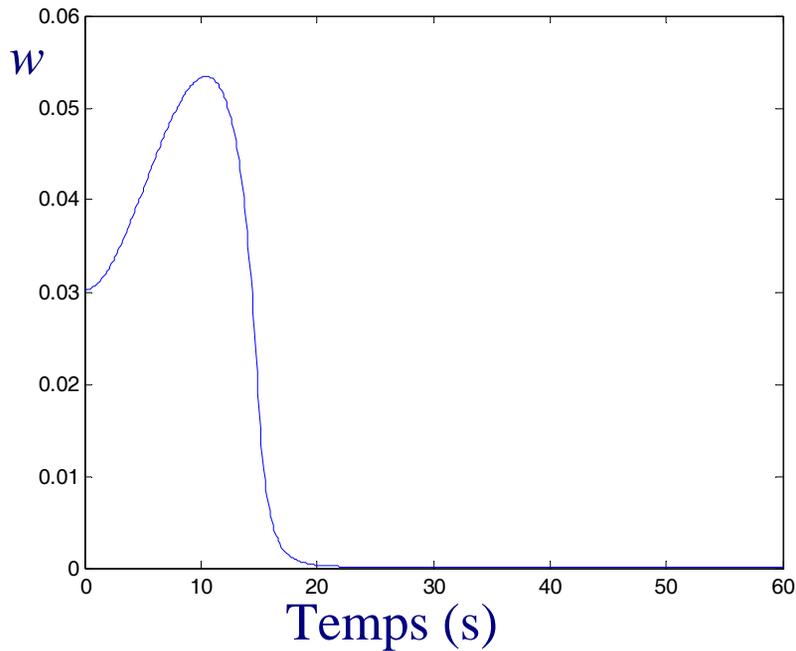
$\Delta \alpha$ est en général le gradient d'une fonction de coût $P(q)$

On peut optimiser la manipulabilité

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique

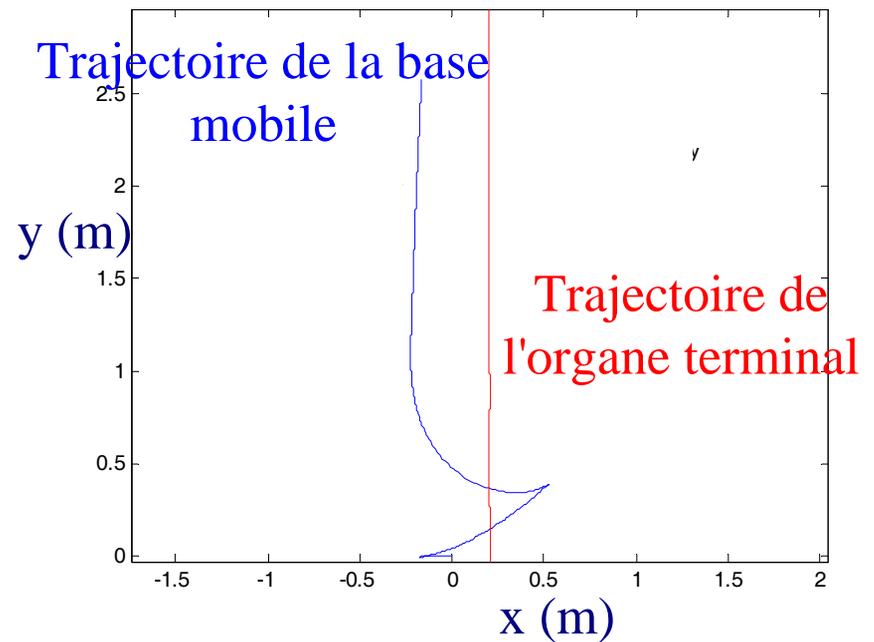
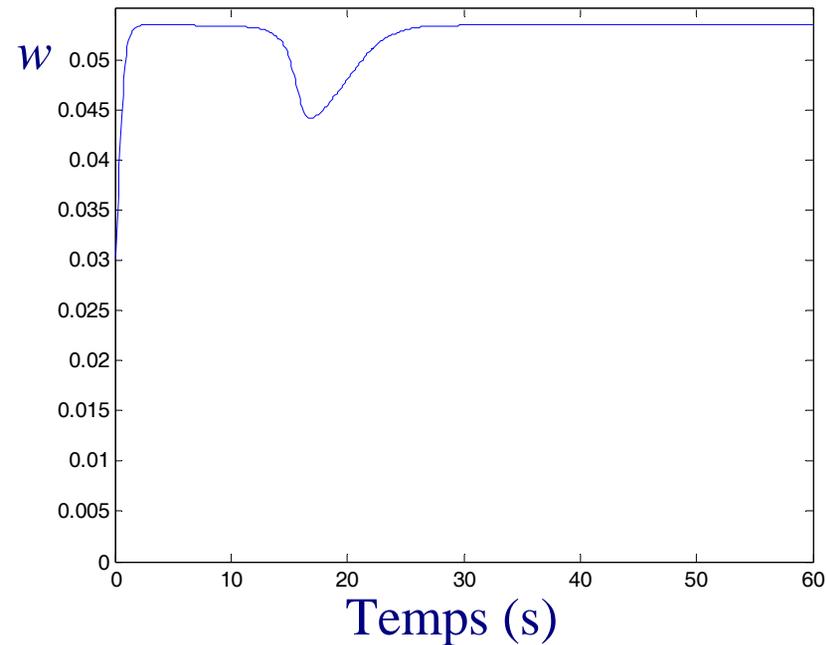


Pseudo inverse

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique

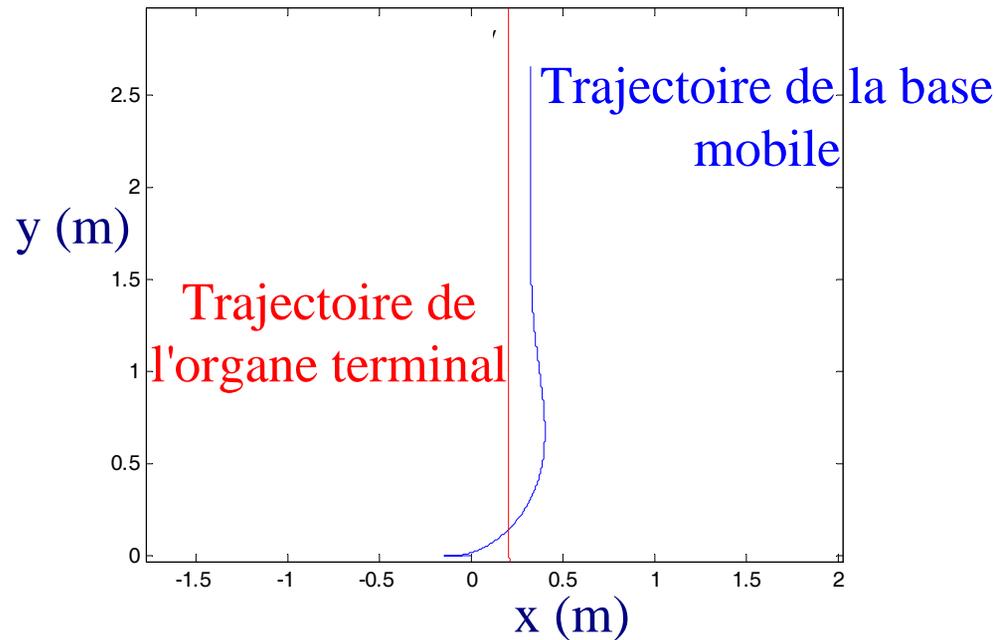
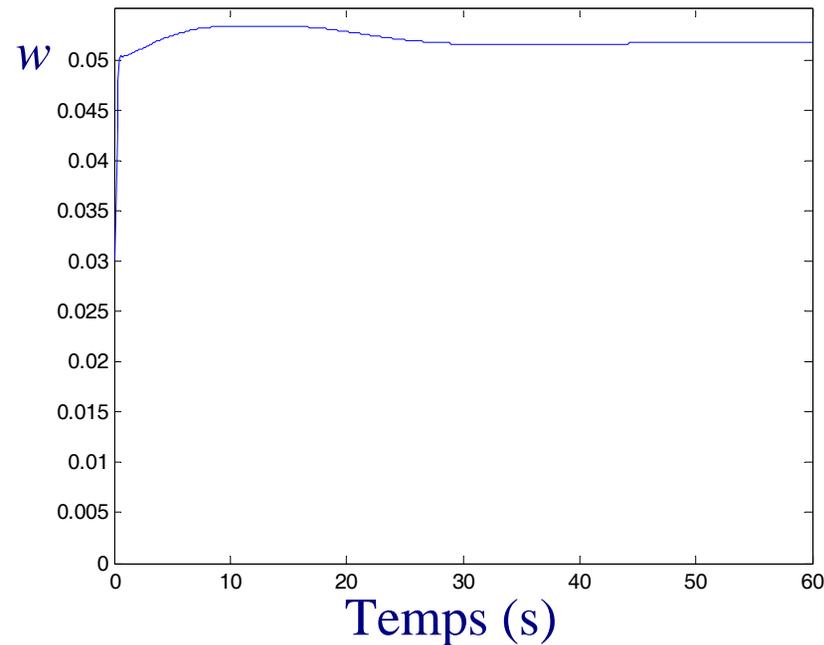


Optimisation de ω

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique

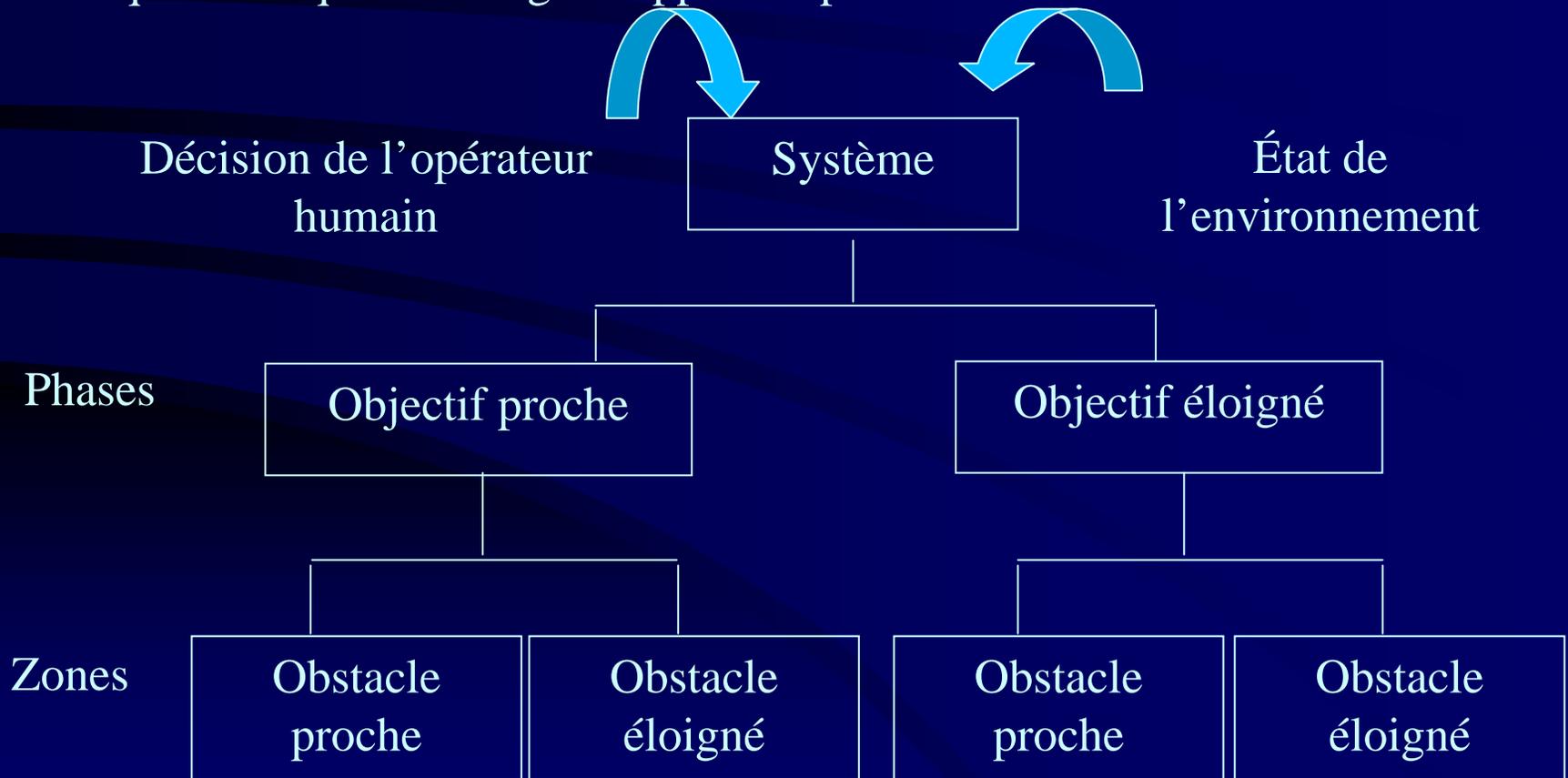


Optimisation de ω_D

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique - Stratégie d'approche pour la saisie



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique - Stratégie d'approche pour la saisie

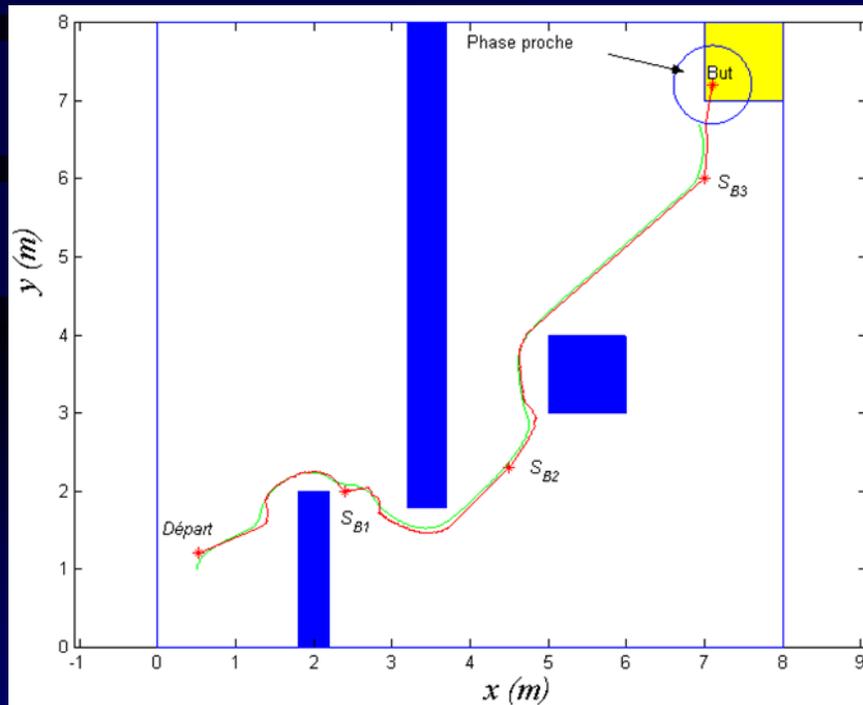
Seuil 1	
Zone : obstacle éloigné	Zone : obstacle proche
Tâche principale : TO	Tâche Principale : combinaison entre évitement d'obstacles et convergence vers l'objectif

Seuil 2	
Zone : obstacle éloigné	Zone : obstacle proche
Tâche principale: TO Tâches secondaires: manipulabilité et évitement des obstacles	Tâche principale : TO Tâche secondaire: manipulabilité Tâche additionnelle : vitesse v de la plate-forme nulle

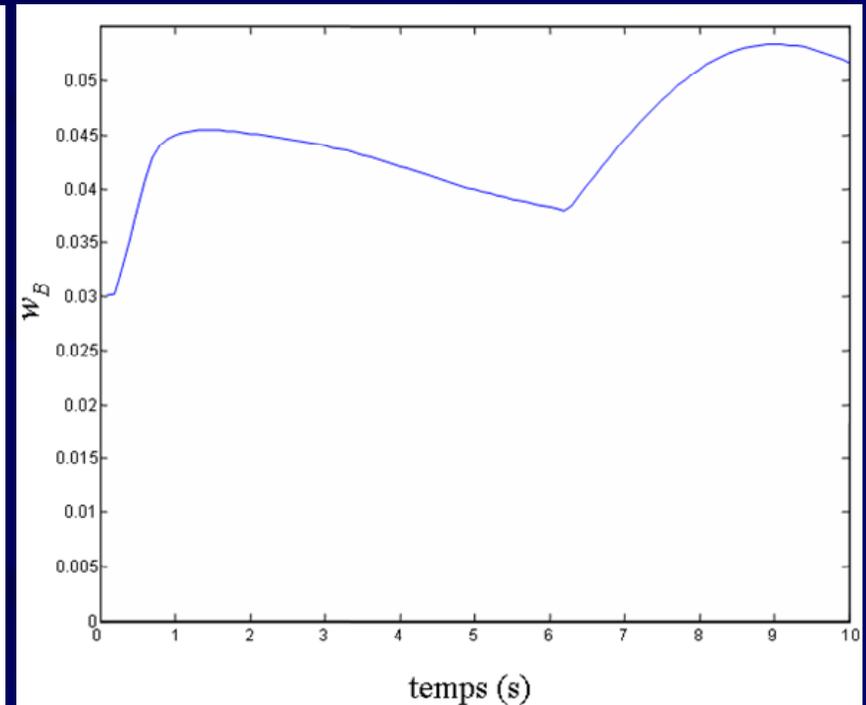
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Robotique classique - Stratégie d'approche pour la saisie



(a) : trajectoires de la plate-forme et de l'OT



(b) : mesure de manipulabilité w_B .

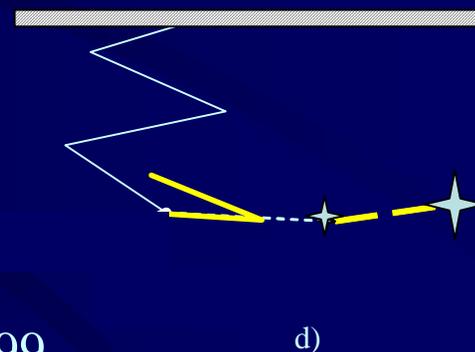
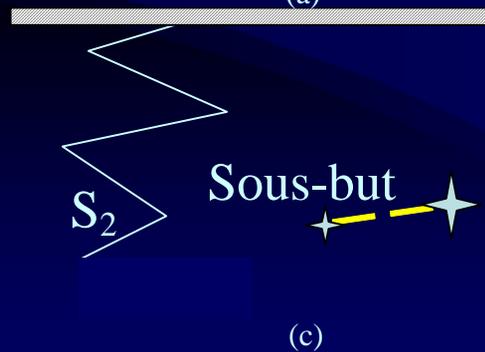
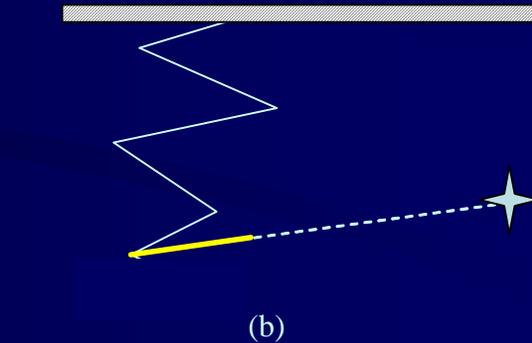
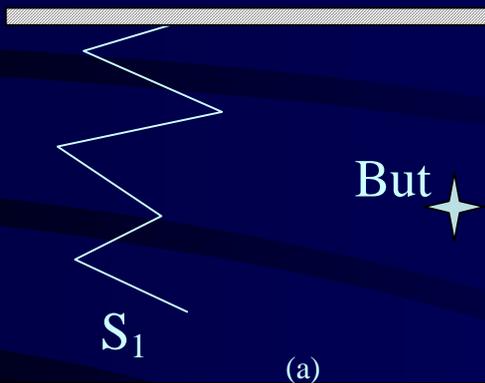
Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Systemes multi-agents (Thèse de Sébastien Delarue)

Principal intérêt

Indépendant du modèle => peu sensible aux pannes



Duhaut 99

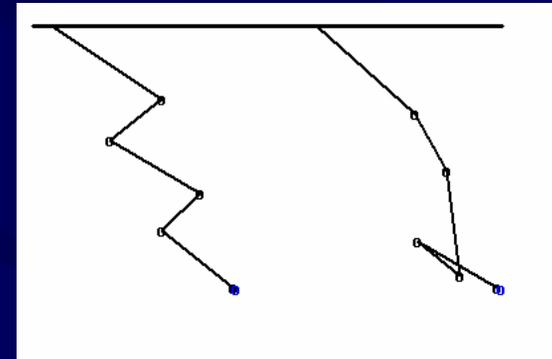
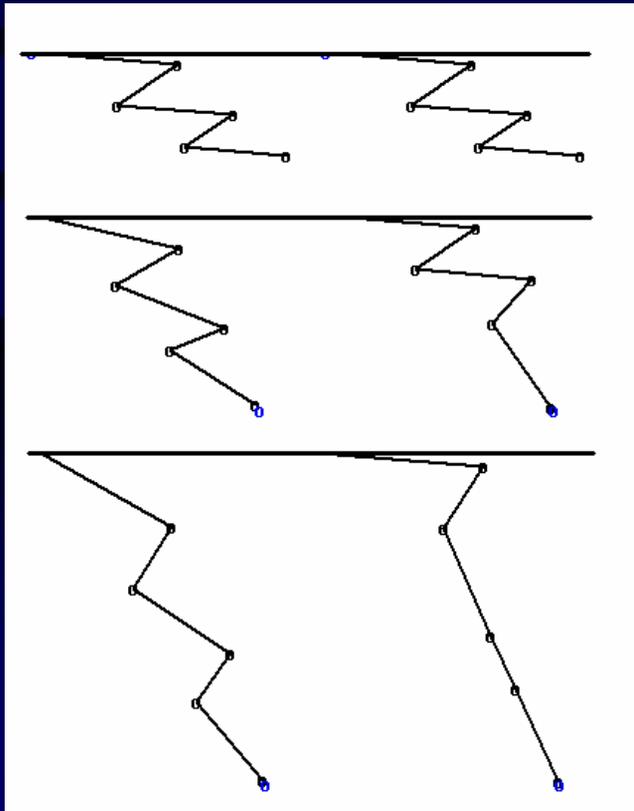
Inconvénient : Le premier segment a un poids plus important que les autres

Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Systemes multi-agents

Proposition Tous les segments bougent en même temps

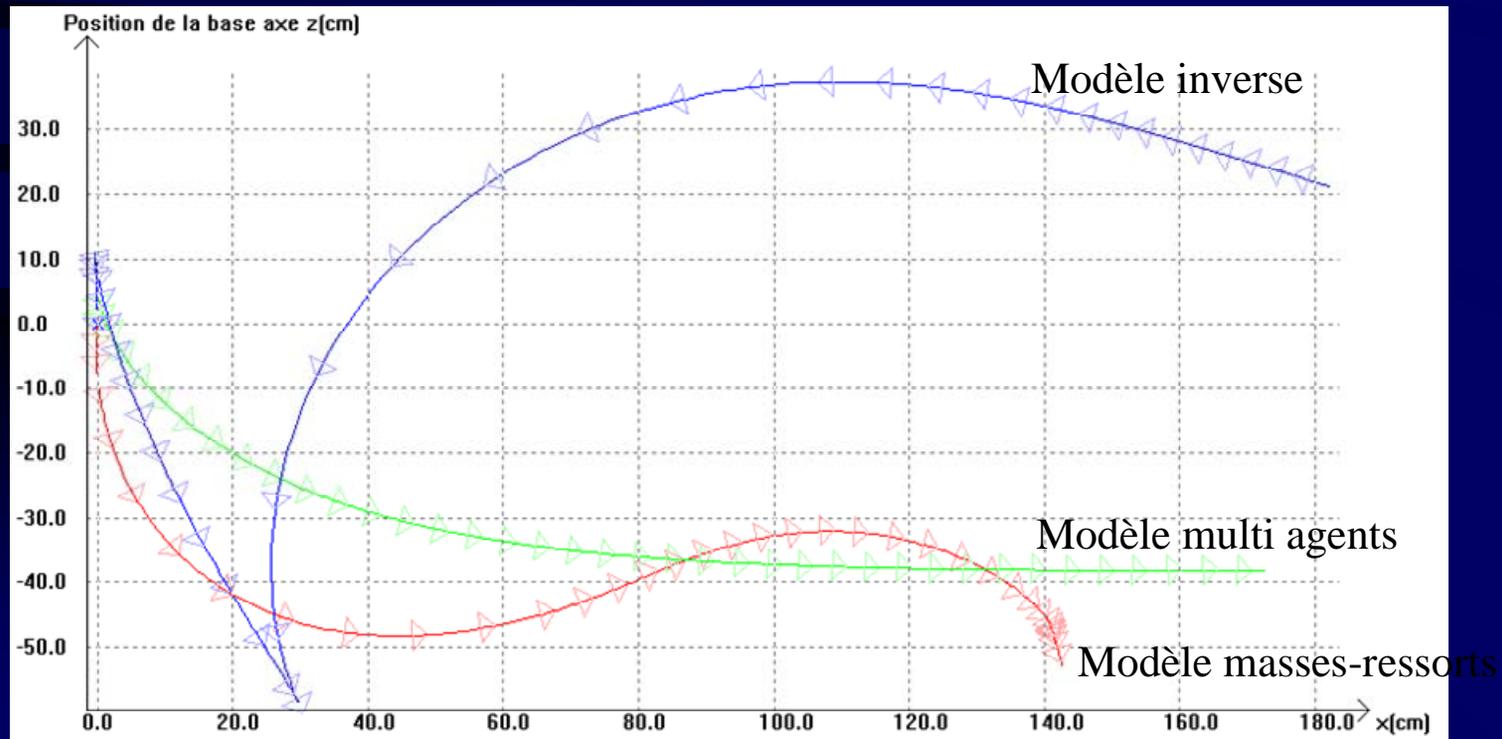


Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Systemes multi-agents

Proposition Tous les segments bougent en même temps

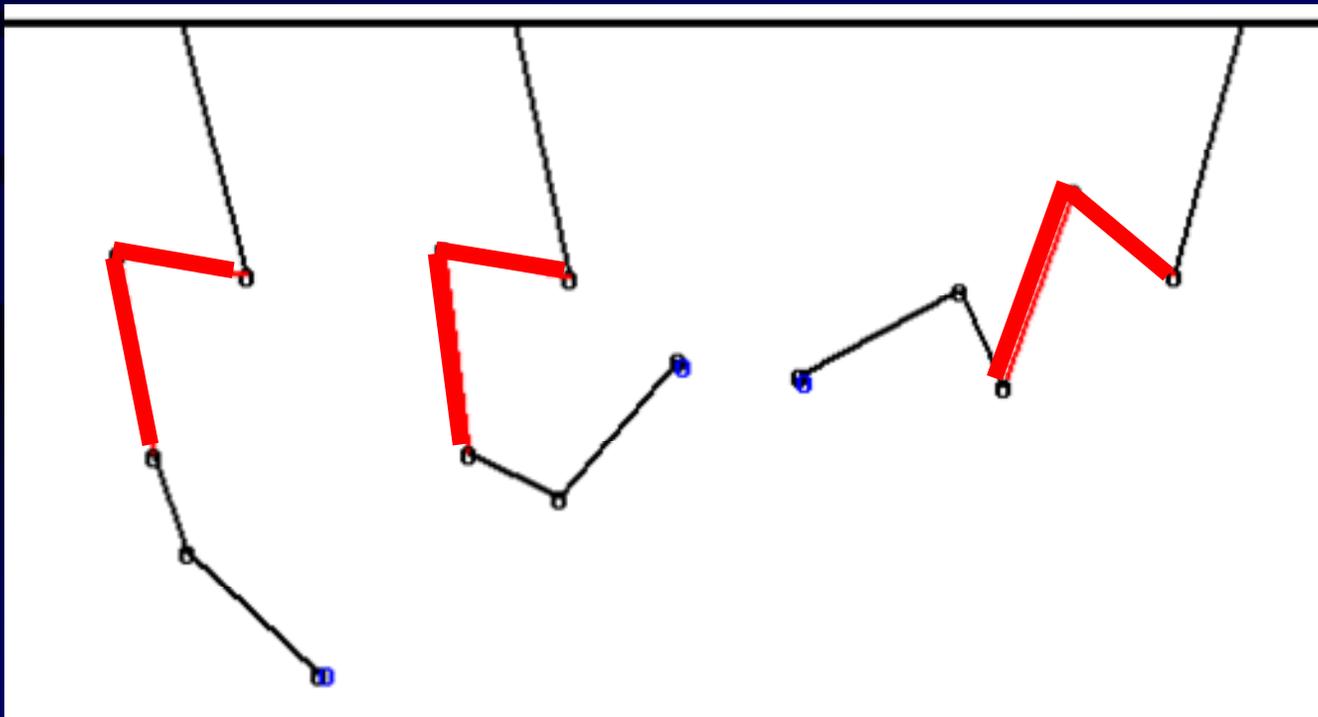


Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Systemes multi-agents

Tolérance aux pannes



Assistance Robotique aux Personnes Handicapées

Fonctions d'autonomie - Saisie d'objets

Systemes multi-agents

Application au bras mobile

