



Planification d'une stratégie robuste de revisite d'un objet avec un robot sous-marin « low-cost » en se basant sur une carte

MOQESM 2018

Thibaut NICO

Directeur de thèse: Benoit ZERR

Encadrant académique: Luc JAULIN

Encadrants ECA: Sébastien TAUVRY et Hervé OTT

SOMMAIRE

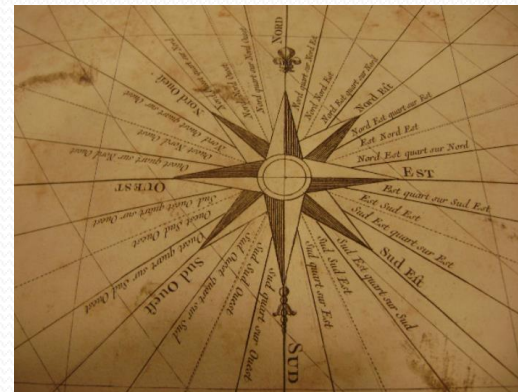
- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Introduction

- Histoire navigation
- Un peu d'histoire...



historic-marine-france.com

Marins chinois vers l'an 1000
En Europe vers XIV^{ème} siècle

Introduction

- MCM missions
- Remplacement progressif des tâches humaines
- Survey mission



archives.ecapad.fr



Autonomous



A9-E d'ECA Group

- Revisite d'un objet potentiellement dangereux



groupedci.com



Remotely operated



K-STER C d'ECA Group

Introduction

- Revisite

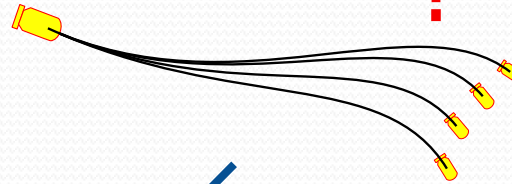
- Difficultés:

Environnement sous-marin

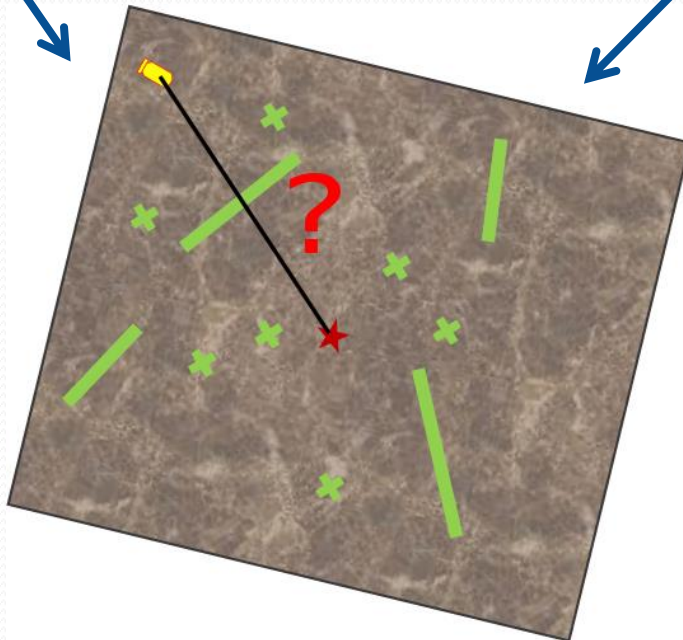


Dérive

?



archives.ecapad.fr



Solution



**Landmark
navigation**

SOMMAIRE

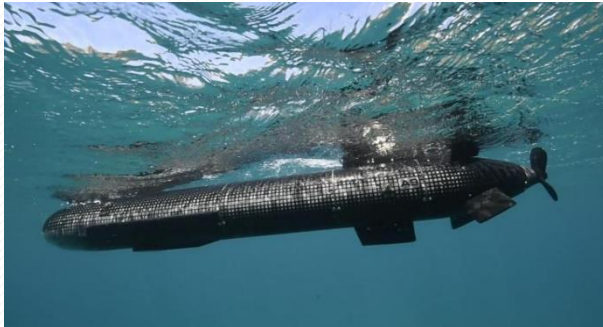
- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Description du système

- Véhicules sous-marins

- 2 véhicules sous-marins :

- Véhicule de survey performant



A9-M d'ECA Group

Navigation fiable (INS+DVL)

Sidescan sonar (SSS)

- Véhicule de reviste



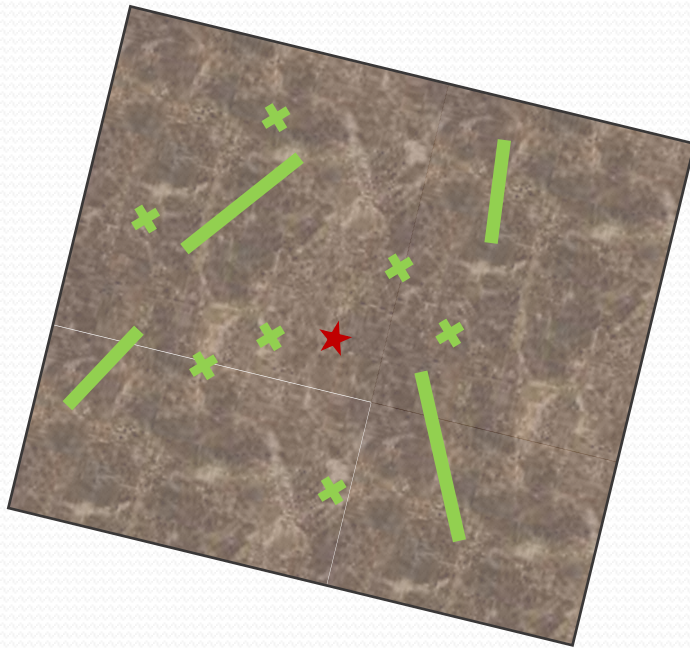
K-STER-I d'ECA Group

Faible navigation: compas

Forward looking sonar (FLS)

Description du système

- Environnement
- Environnement cartographié avec le robot performant

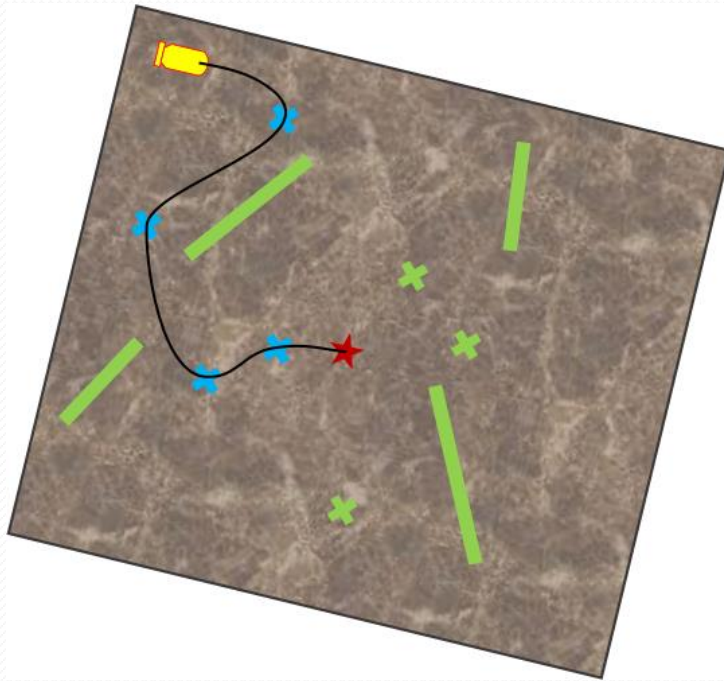


-  Amers (landmark)
- 
-  Objet à revisiter



Description du système

- Revisite
- Stratégie de revisite



- Stratégie
- × Landmark sélectionnés dans la séquence de la stratégie
- ★ Objet à revisiter



Créer une séquence de revisite d'amers intermédiaires afin de garantir la revisite de l'objet

SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Carte de recalage

- Travaux Préliminaires
- Navigation « cotière »



Planificateur
classique



Planificateur avec Sensory Uncertainty Field
(SUF)



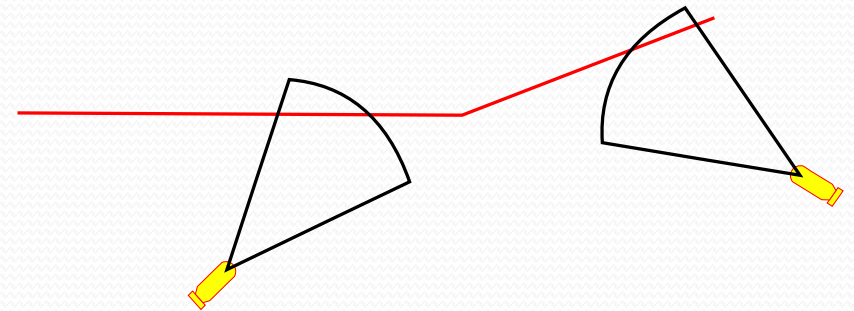
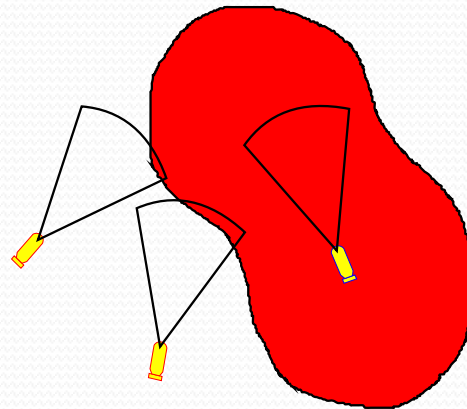
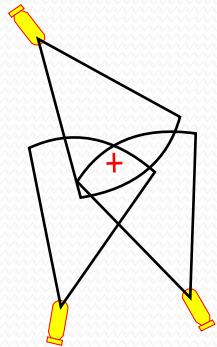
Takeda, H., Facchinetti, C., & Latombe, J. C. (1994). Planning the motions of a mobile robot in a sensory uncertainty field. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(10), 1002-1017.

Carte de recalage

- Définition

Concept : Pour un robot équipé d'un capteur extéroceptif (SSS, FLS...), la carte de recalage définit l'ensemble des configurations (position et orientation) du robot qui permettent de détecter l'amer considéré par une mesure extéroceptive

- Exemple : 2D FLS



Carte de recalage

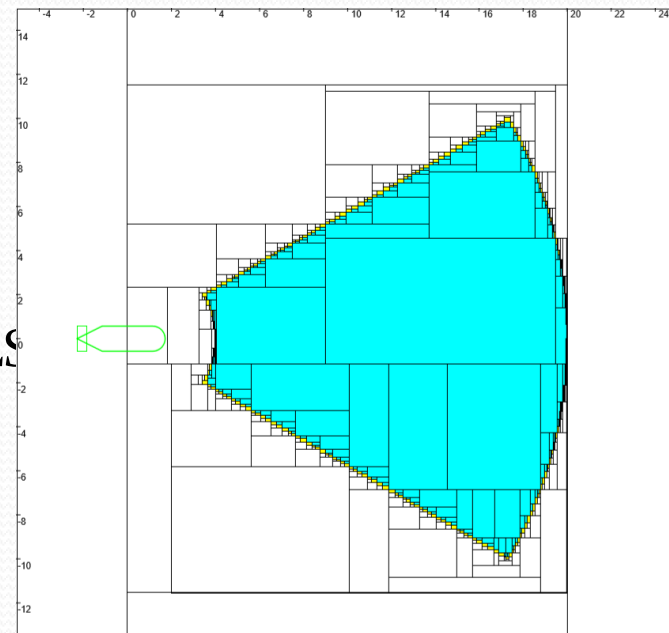
- Définition

Visibilité du capteur: (exploration type patch)

$$\mathbb{V}(\mathbf{x}) = \{\mathbf{z} \in \mathbb{R}^2 \mid \varphi(\mathbf{z}, \mathbf{x}) \leq 0\}$$

Avec $\mathbf{x} = (x, y, \theta)$ la configuration du robot et φ la fonction de visibilité du capteur extéroceptif.

En particulier pour $\mathbf{x} = (0, 0, 0^\circ)$ et un FLS



Carte de recalage

- Définition

Détermination de la carte de recalage:

$$\mathbb{P} = \{\mathbf{p} \in \mathbb{R}^p | f(\mathbb{A}, \mathbf{p}) \cap \mathbb{B} \neq \emptyset\}$$

Avec A la zone explorée par le capteur en (o,o,o), B le landmark et f définie par:

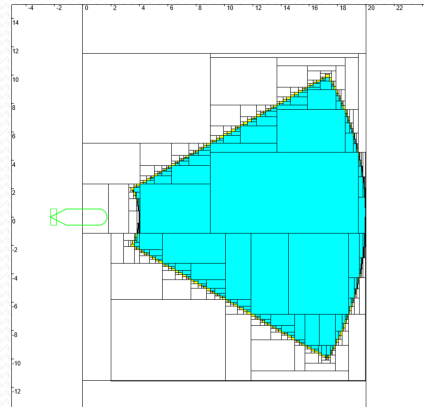
$$f : \begin{cases} \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^3 & \rightarrow \mathbb{R}^2 \\ (\mathbf{x}, p) & \rightarrow R(p_3) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} \end{cases}$$

-> détermination de l'angle de rotation et de la translation

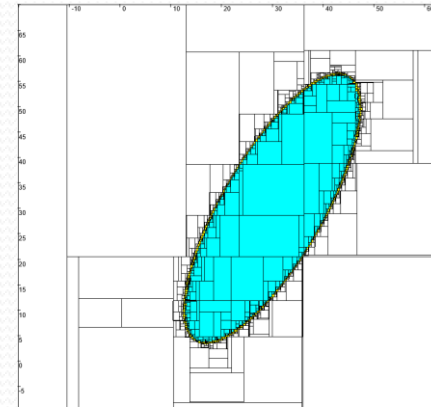
Carte de recalage

- Exemple

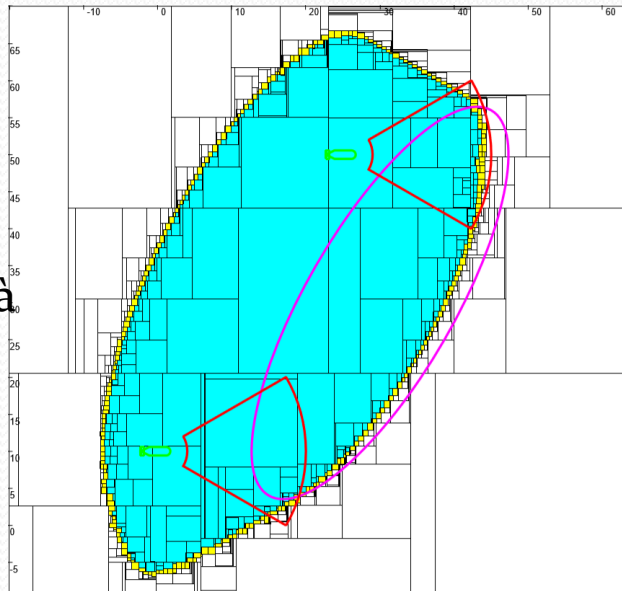
A



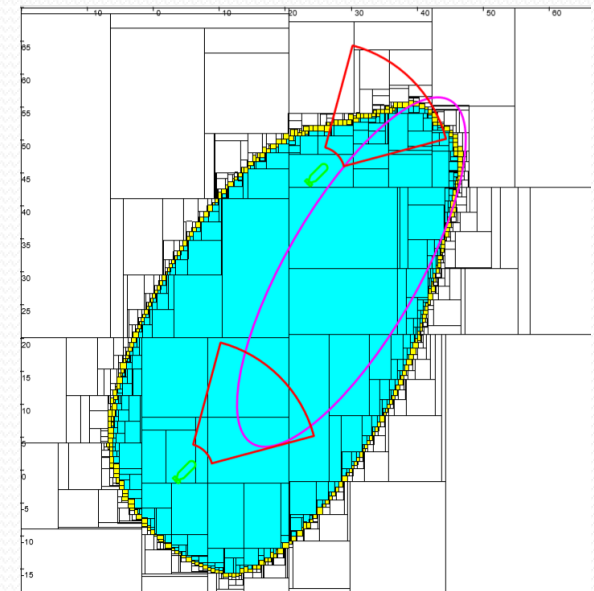
B



- Tranche à 0°



Tranche à 45°

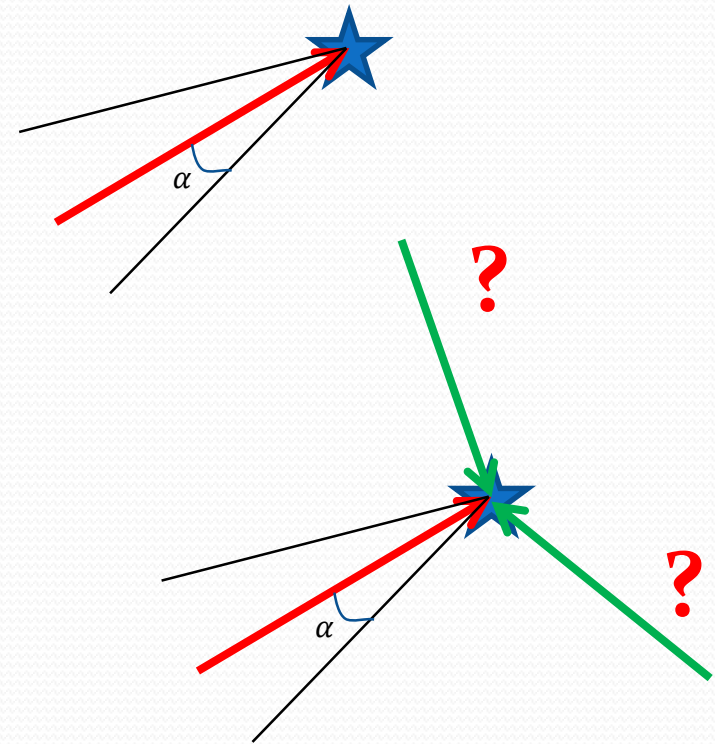
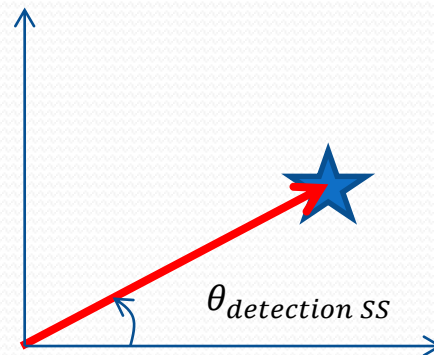
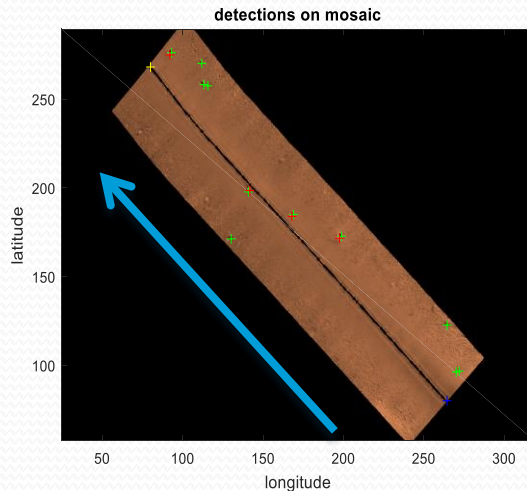


Carte de recalage

- Point de vue et flexibilité angulaire

- Flexibilité angulaire: une légère flexibilité ne change pas la classification, difficulté de revoir au même point de vue

$$\theta_{detection} = [\theta_{SS} - \alpha, \theta_{SS} + \alpha]$$

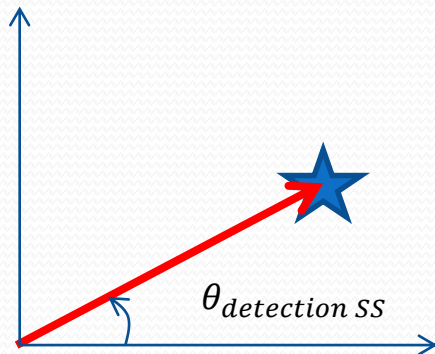


M. Couillard, J. Fawcett, and M. Davison, "Optimizing constrained search patterns for remote mine-hunting vehicles," IEEE J. Ocean. Eng., vol. 37, no. 1, pp. 75–84, Jan. 2012.

Carte de recalage

- Exemple

- Exemple avec un amer « ponctuel » en (25,25)

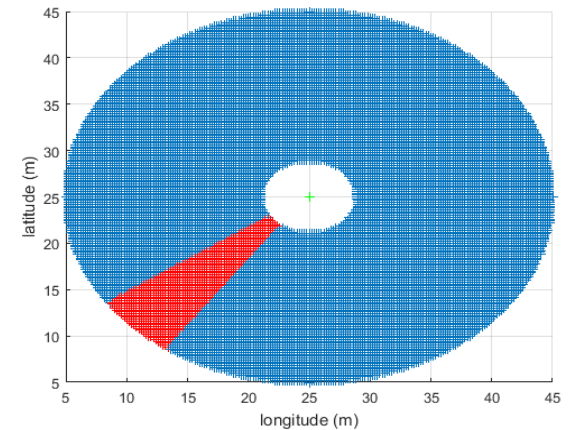
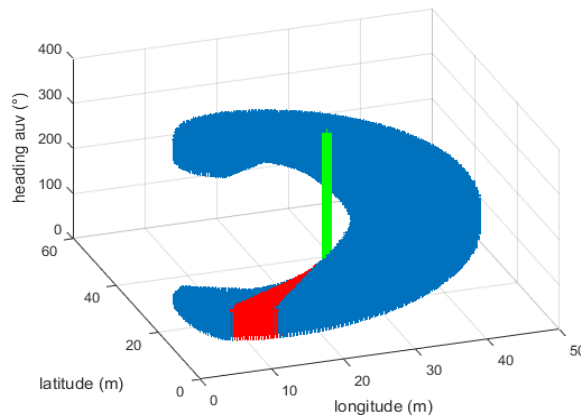
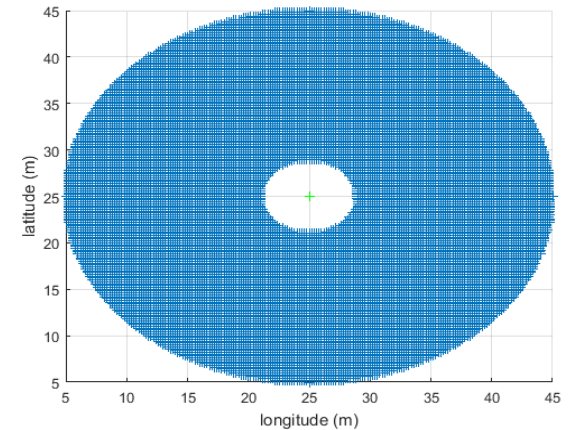
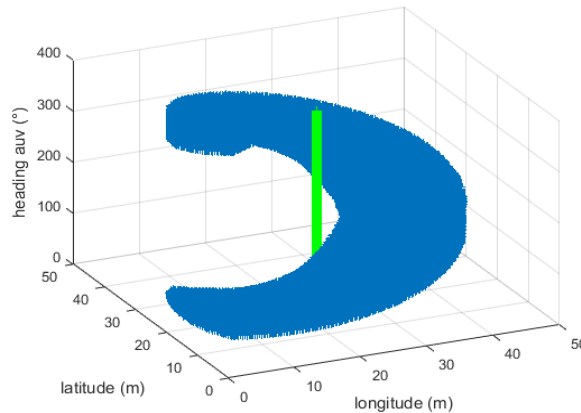


Flexibilité angulaire: $\alpha = 10^\circ$

$\theta_{detection\ SS} = 45^\circ$

Capteur extéroceptif: FLS

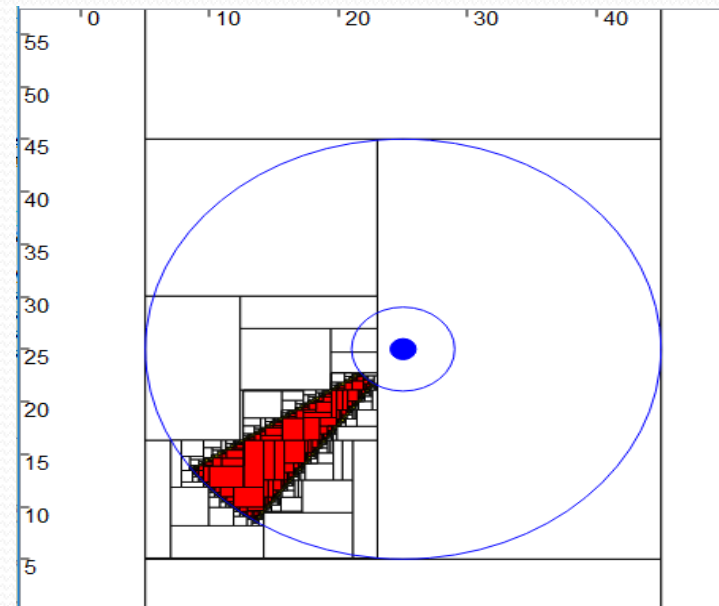
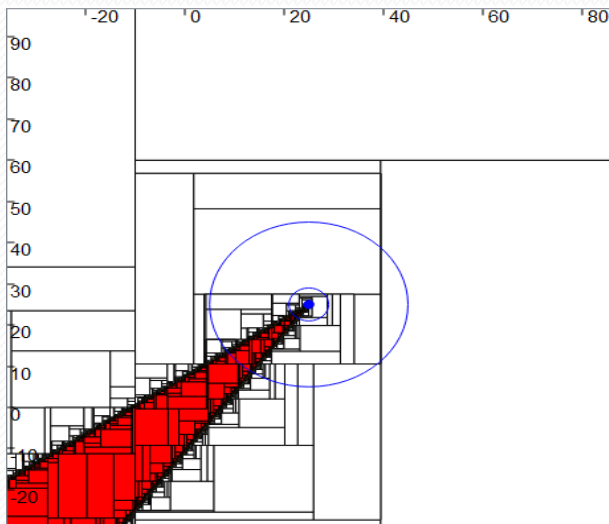
- Range minimum: 4 m
- Range maximum: 20 m
- Aperture angle: 60°



Carte de recalage

- Exemple

- Exemple avec un amer « ponctuel » en (25,25) (projection sur le fond)

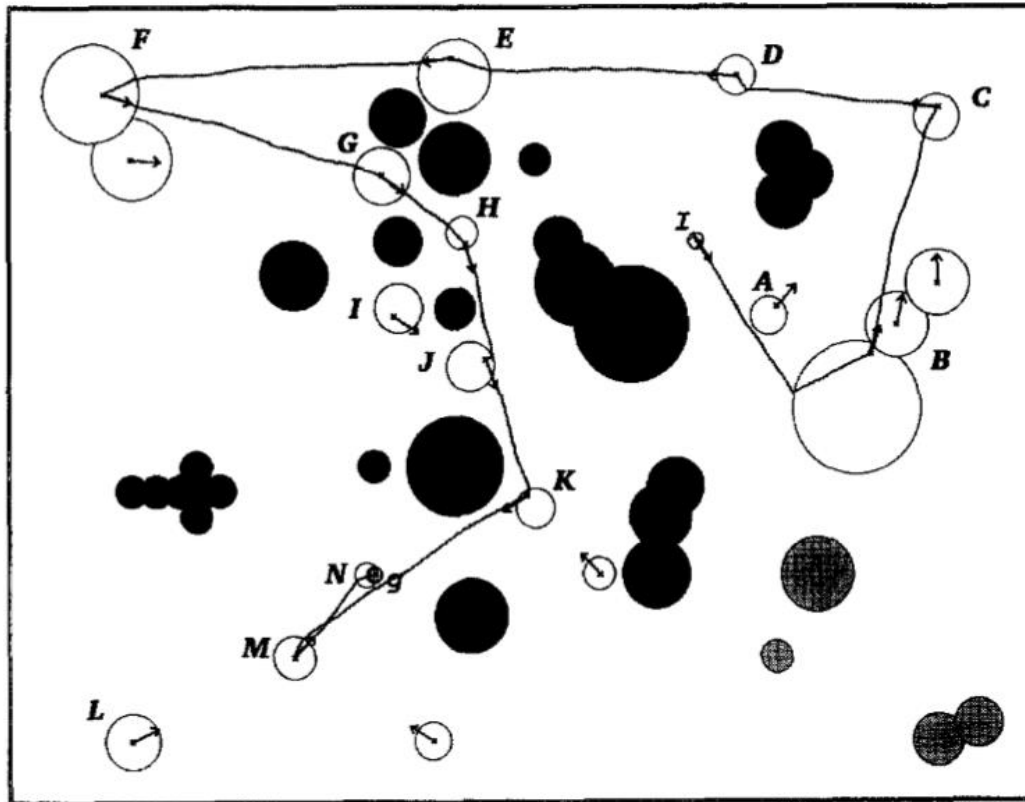


SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- **Planification sous incertitude**
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Planification sous incertitude

- Travaux préliminaires
- Concept de « back projection » et « preimage backchaining »



Lazanas, A., & Latombe, J. C. (1995). Landmark-based robot navigation. *Algorithmica*, 13(5), 472-501.

Planification sous incertitude

- Modèle de déplacement
- Modèle du robot

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \\ \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{u}(t) \in [\mathbf{u}](t) \end{cases}$$

Avec f la fonction d'évolution du robot, $\mathbf{x}_0$ l'état initial et $\mathbf{u}$ la commande du robot.

Modèle dynamique de Dubins

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = w \end{cases}$$

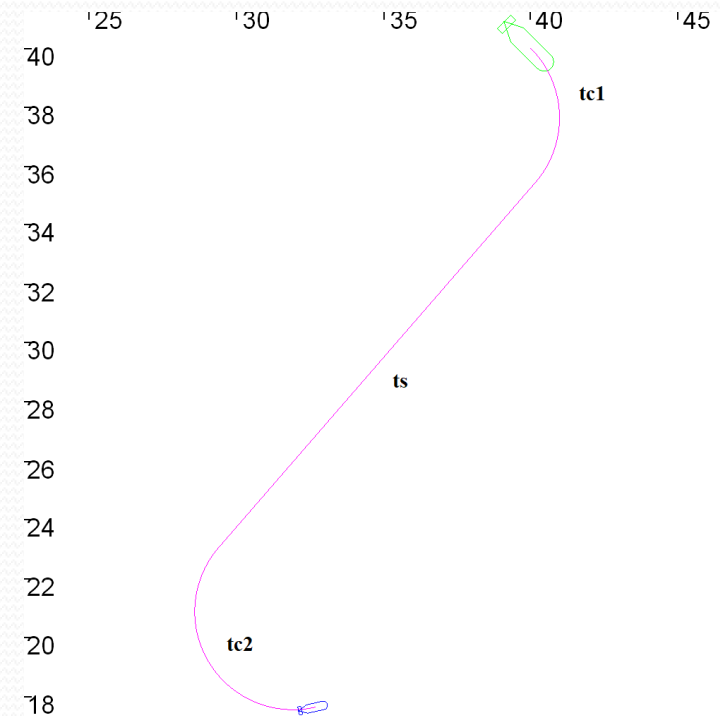
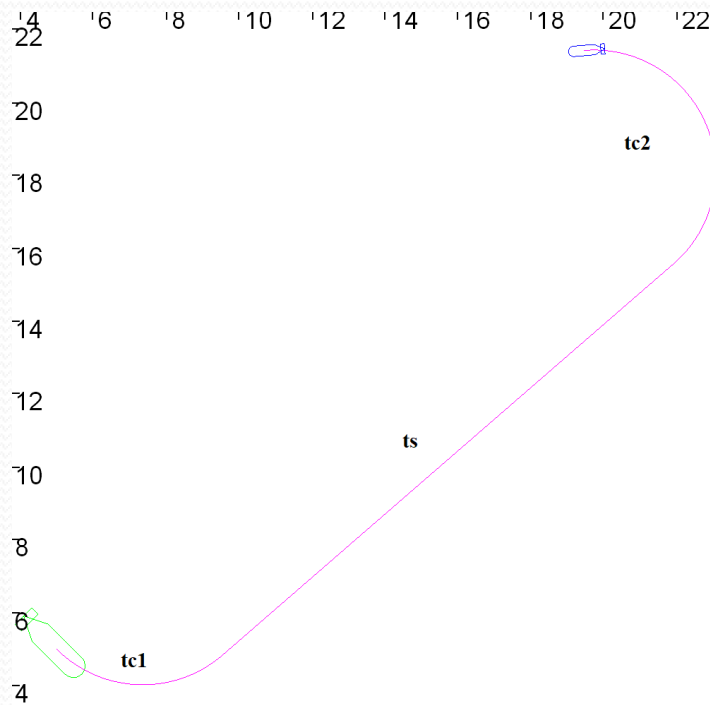
Avec $\mathbf{u}=(v,w)$ la commande

Hypothèse: véhicule équipé d'un compas

Planification sous incertitude

- Chemin de Dubins

Chemin de Dubins pour la non-holonomie



Planification sous incertitude

- Chemin de Dubins incertain

Trajectoire incertaine pour modéliser la dérive

$$\mathbf{X}(t) = f_{traj}(\mathbf{X}_0, \mathbf{p}, \mathbf{u}, t)$$

Robot holonome

Portion rectiligne ($tc_1=tc_2=0$)

X_0 : l'état initial (x_0, y_0, θ_0)

u : les paramètres incertains (v et Erreur_compas)

p : pas utilisé ici

t : le temps

Robot non holonome

Chemins de Dubins

X_0 : l'état initial (x_0, y_0, θ_0)

u : les paramètres incertains (v et Erreur_compas)

p : les temps $\{tc_1, ts\}$

t : le temps tc_2

Planification sous incertitude

- Goal reachability

Goal Reachability :

Définition : définit l'ensemble des configurations du robot X_0 qui permettent sous une commande particulière d'atteindre malgré les incertitudes à un certain temps t l'ensemble d'arrivée Y .

Robot holonome

$$X_0 = \{X_0 \in \mathbb{R}^3 | \forall u \in U, \exists t \geq 0 | f_{traj}(X_0, u, t) \in Y\}$$

Robot non holonome

$$X_0 = \{X_0 \in \mathbb{R}^3 | \exists p \in P, \forall u \in U, \exists t \geq 0 | f_{traj}(X_0, p, u, t) \in Y\}$$

Planification sous incertitude

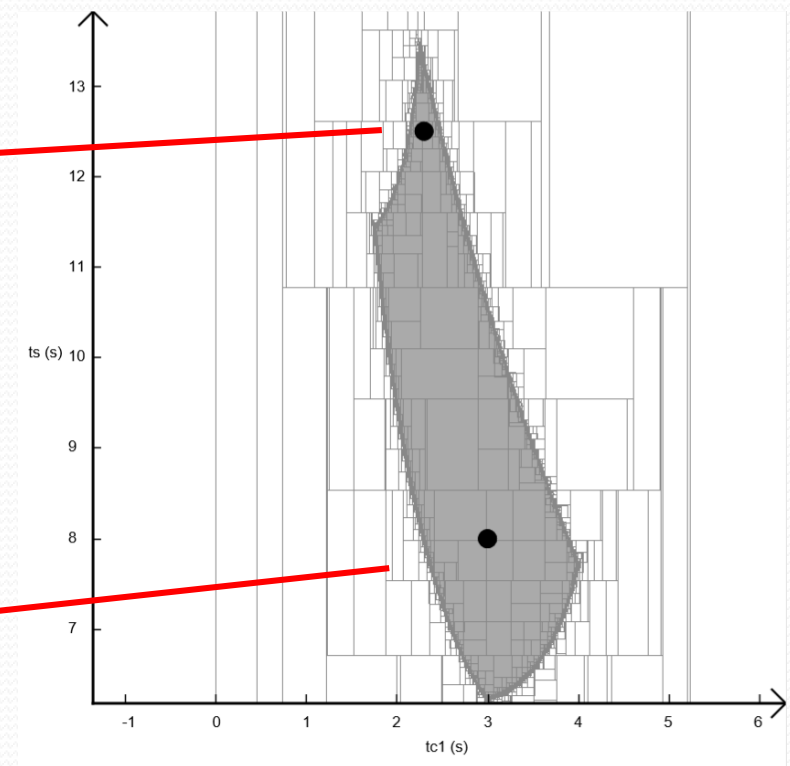
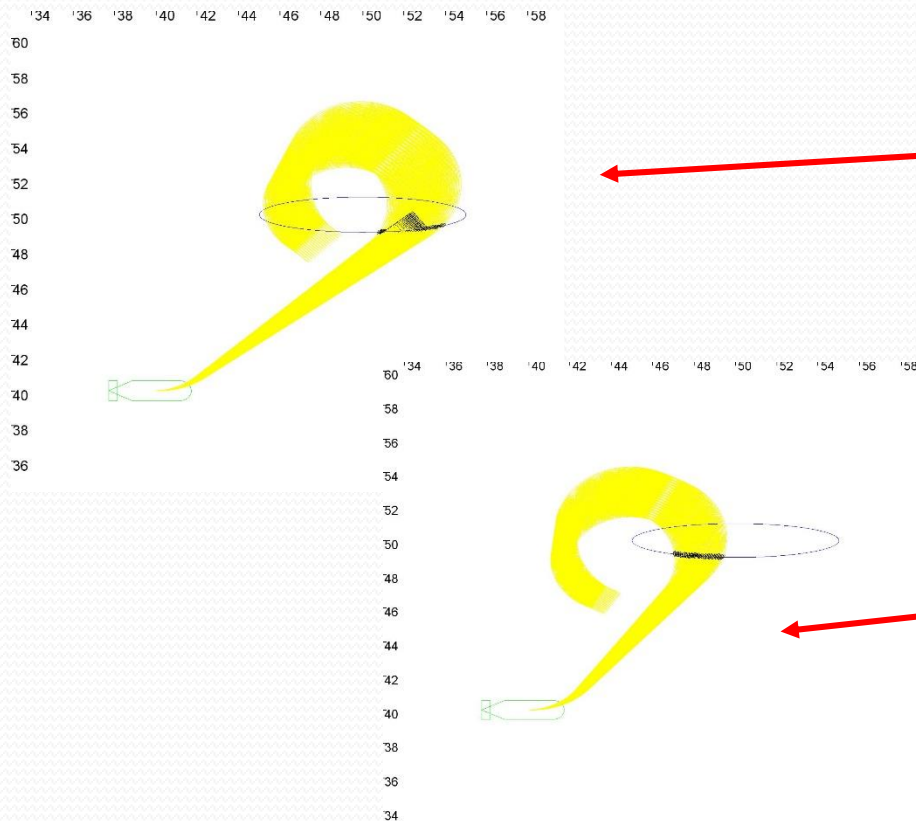
- Goal reachability : exemple

Position initiale (40,40,0°)

Erreur_compas : 3°

Vitesse v : [0.9,1.1] m/s

$$\mathcal{T}_{reach} = \{(t_{c1}, t_s) | \forall v \in [v], \forall er \in [er_{compass}] \exists t_{c2} | f_{DubinsLSL}(\mathbf{X}_0, w_{c1}, w_{c2}, v, t_{c1}, t_s, t_{c2}, er) \in \mathbb{Y}\}$$



Planification sous incertitude

- Goal Recognizability

Goal Recognizability :

Définition : Capacité du robot à terminer dans la zone d'arrivée
-> Condition de fin

Capteur extéroceptif :

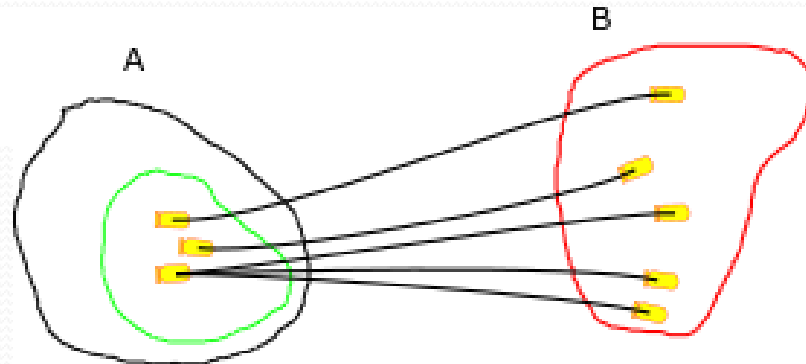
Détection de l'amer -> condition d'arrêt

Planification sous incertitude

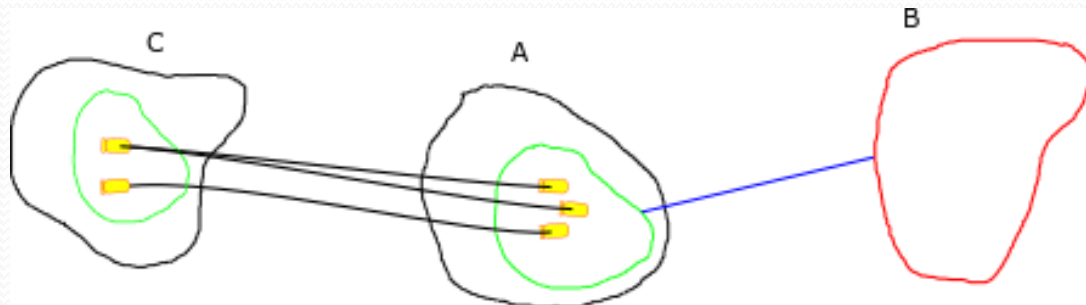
- Preimage backchaining

Définition du preimage backchaining :

$$\mathbb{X}_{A \rightarrow B} = \{X_0 \in A \mid \exists p \in \mathbb{P}, \forall u \in \mathbb{U}, \exists t \geq 0 \mid \\ f_{traj}(X_0, p, u, t) \in B\}$$



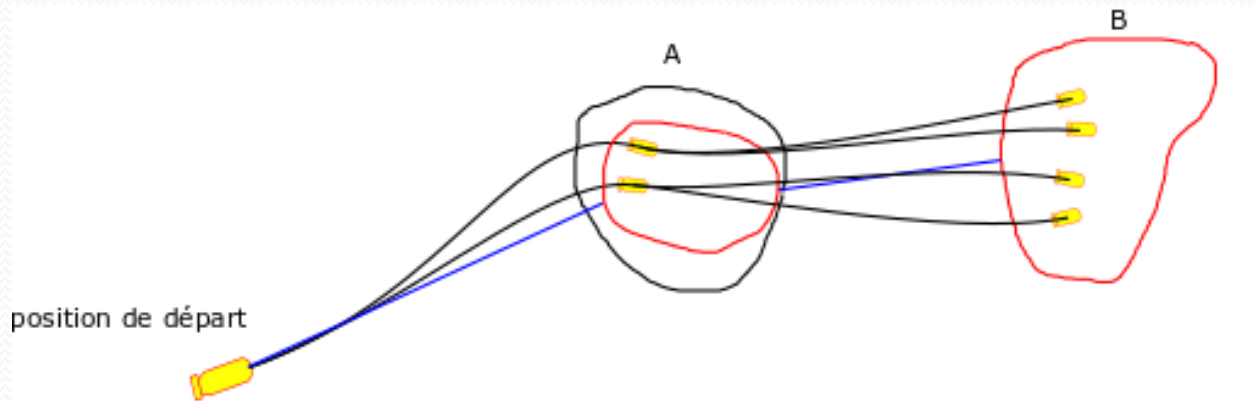
$$\mathbb{X}_{C \rightarrow (A \rightarrow B)} = \{X_0 \in C \mid \exists p \in \mathbb{P}, \forall u \in \mathbb{U}, \exists t \geq 0 \mid \\ f_{traj}(X_0, p, u, t) \in \mathbb{X}_{A \rightarrow B}\}$$



Planification sous incertitude

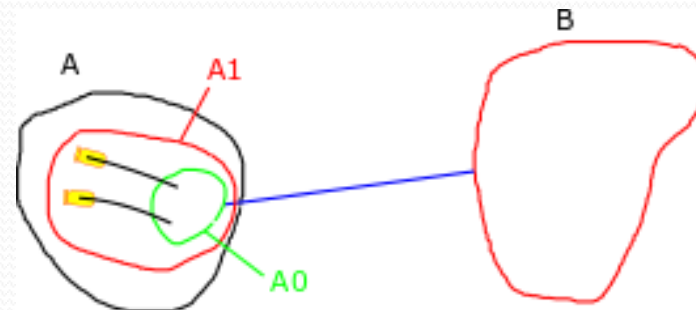
- Preimage backchaining

Résultat du « backchaining »



Principe d'ancrage

$$\mathbb{X}_{A_1 \rightarrow A_0} = \{X_0 \in A \mid \exists p \in \mathbb{P}, \forall u \in U, \exists t \geq 0 \mid f_{traj}(X_0, p, u, t) \in A_0\}$$

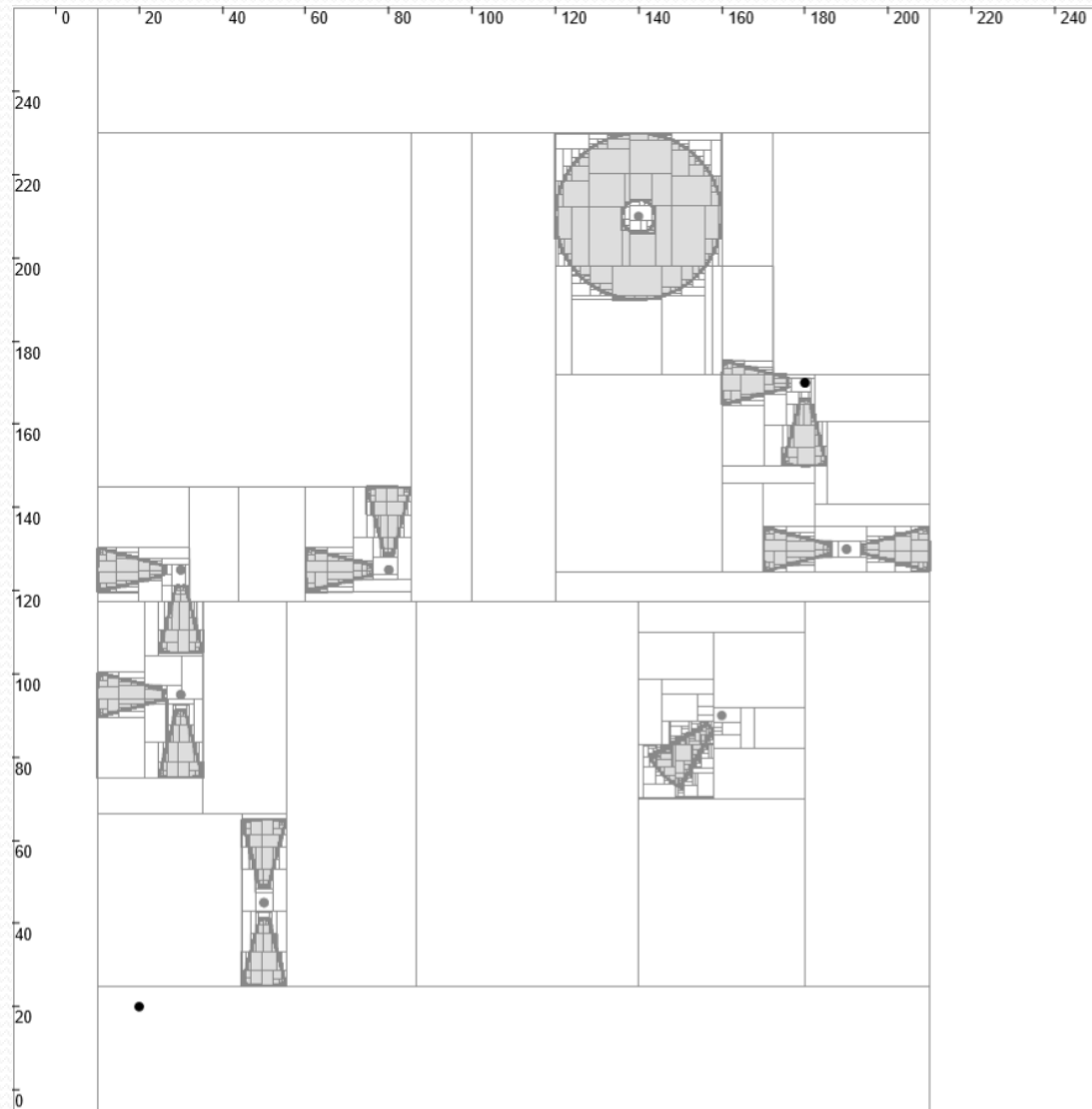


SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Simulation

- Environnement



Simulation

- Modèle de robot

Robot holonome

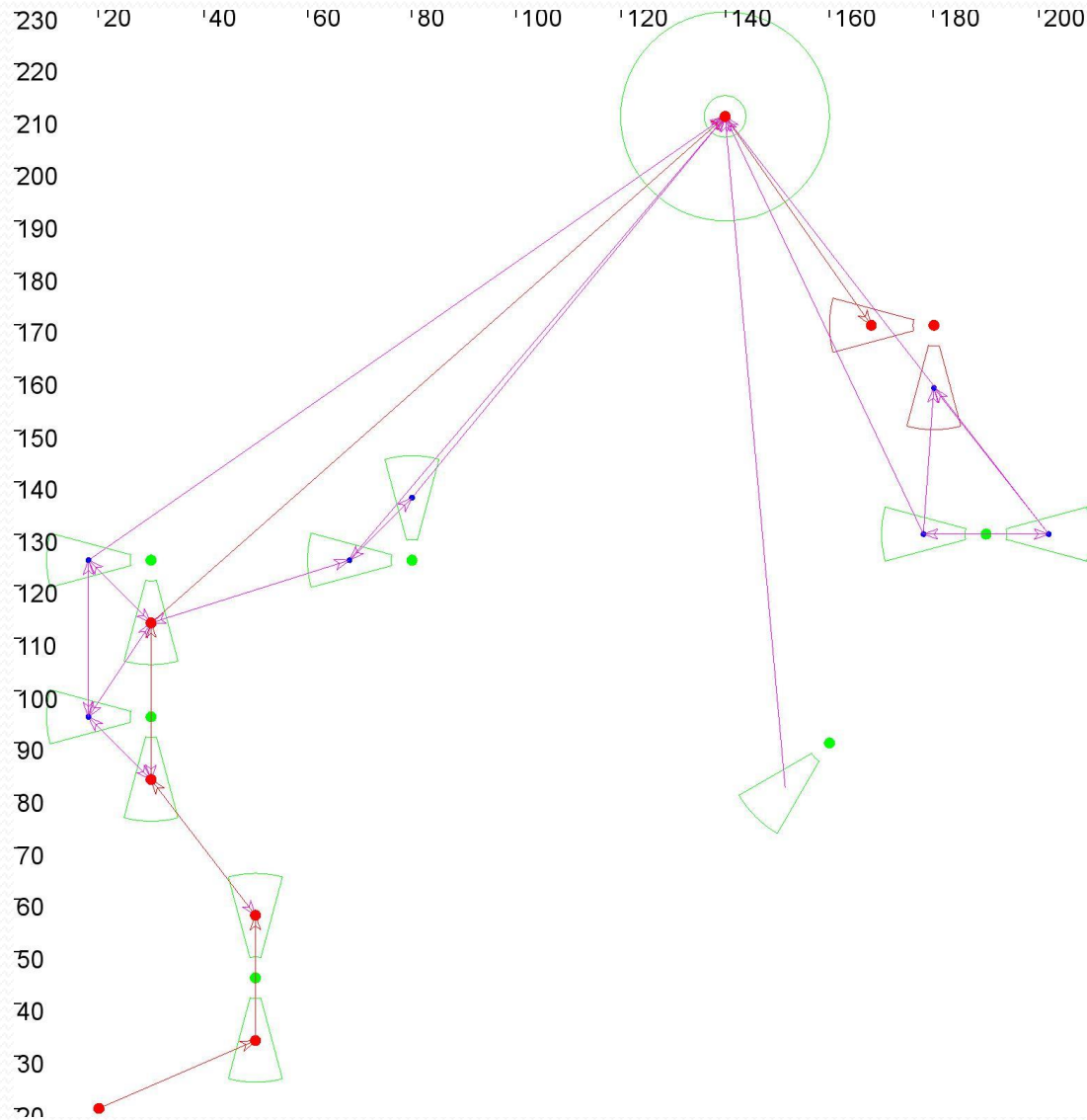
- Erreur compas : 5°
- Erreur vitesse linéaire : 10%
- Vitesse v : 1m/s
- Vitesse angulaire w : 0.3 rad/s

« Goal reachability » et « goal recognizability »

$$\mathbb{X}_{\mathbb{A} \rightarrow \mathbb{B}} = \{(x_0, y_0) \in \mathbb{A} \mid \exists \theta_0, \exists t \geq 0, \forall \mathbf{u} \in \mathbb{U} \mid f_{traj}(\mathbf{X}_0, \mathbf{u}, t) \in \mathbb{B}\}$$

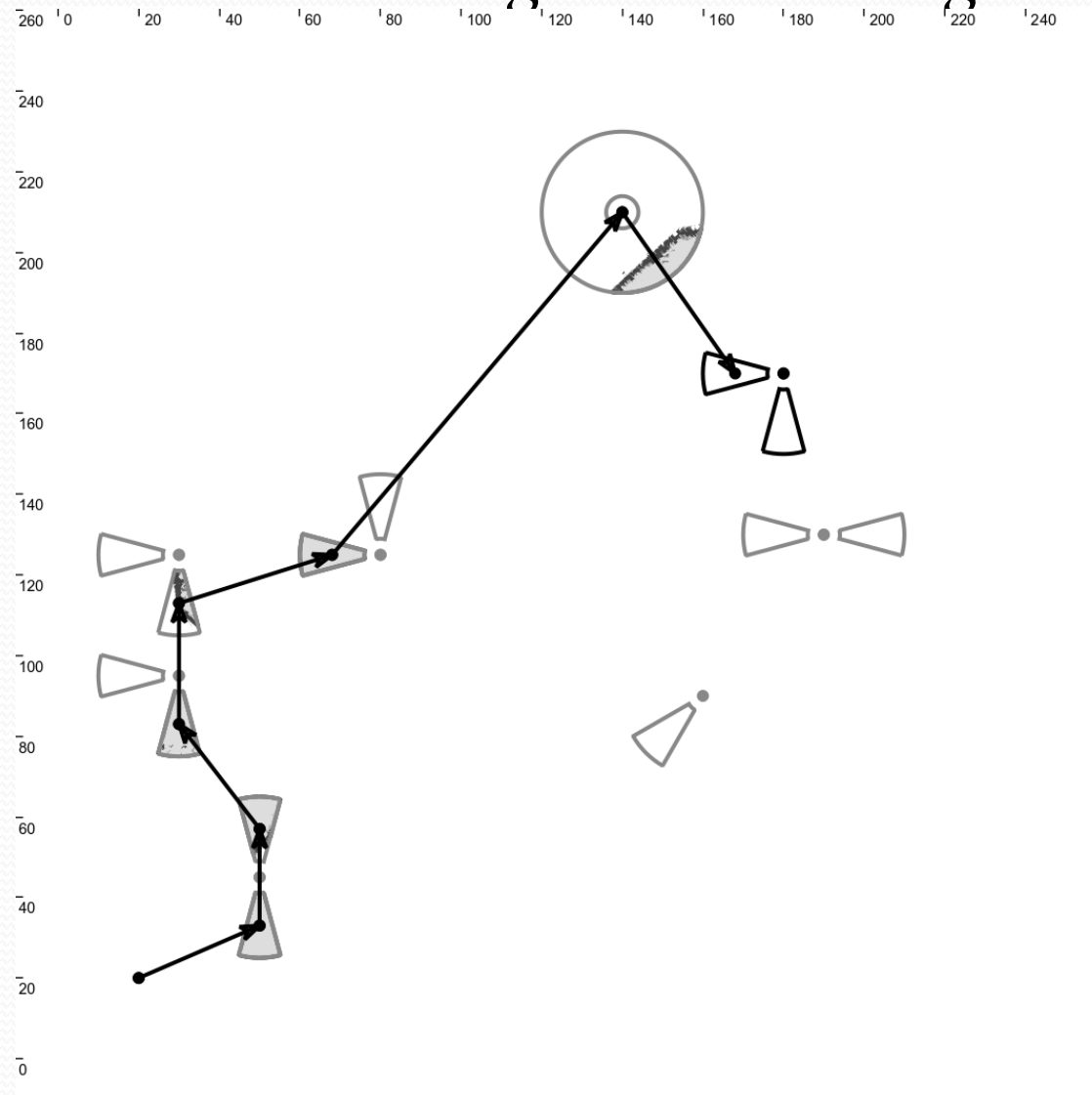
Simulation

- Preimage backchaining



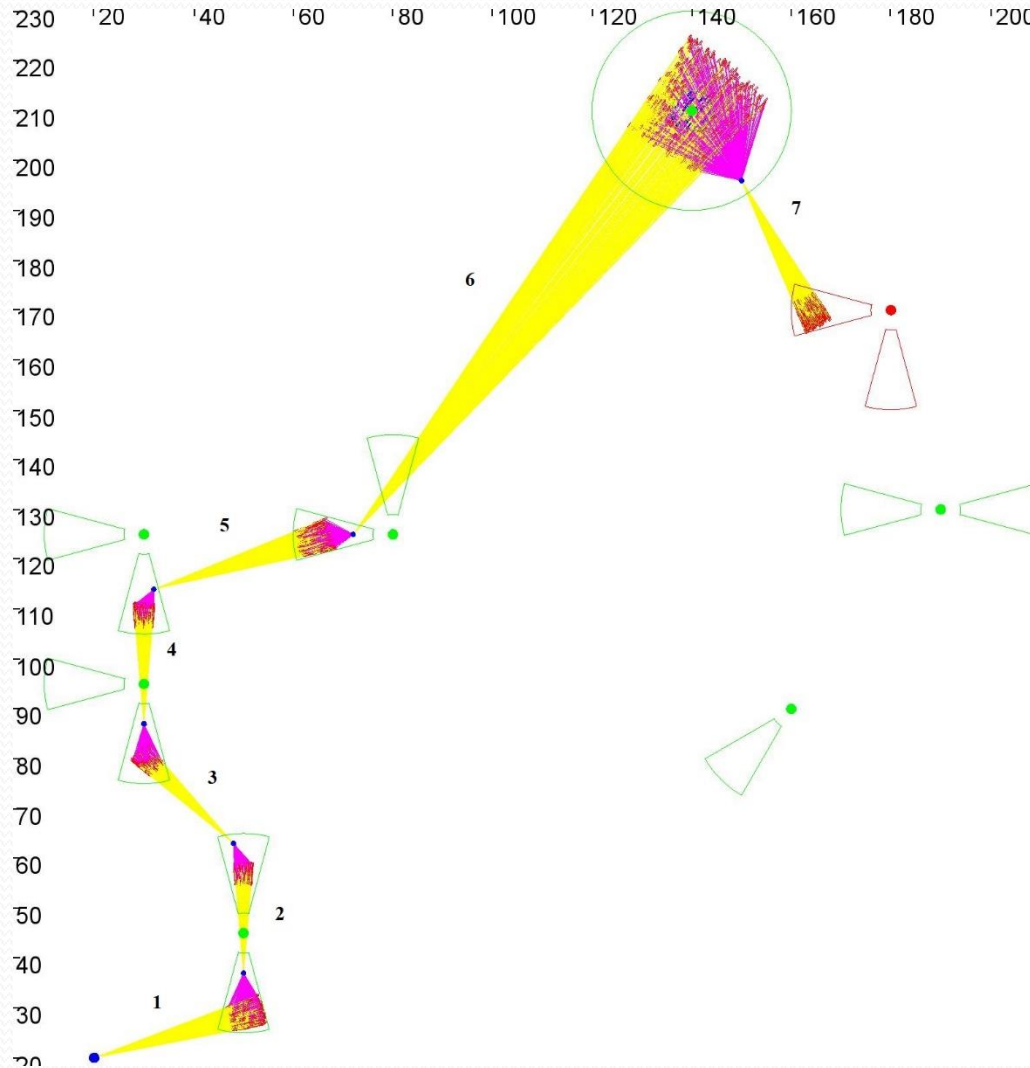
Simulation

- Preimage backchaining

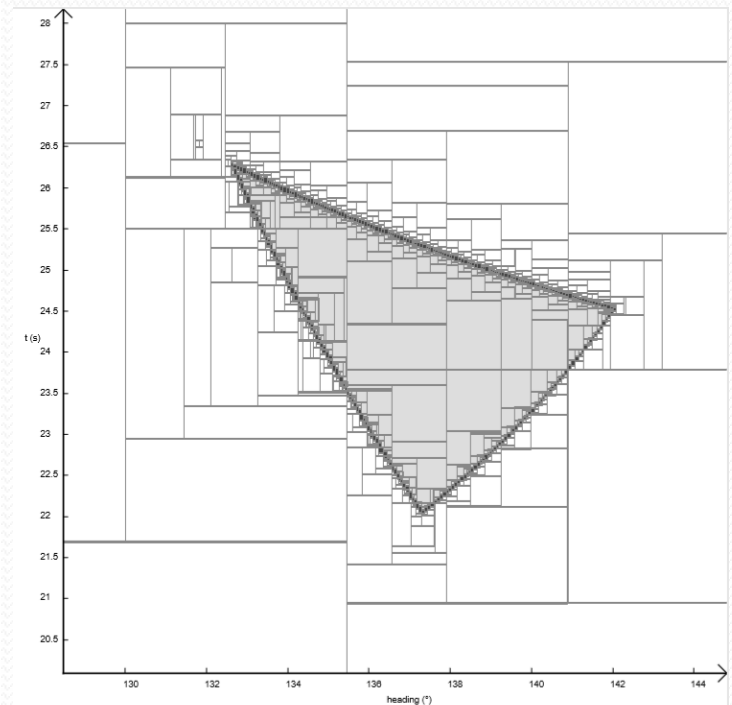


Simulation

• MONTE CARLO Simulation



Solution chemin 3



$$\text{TC} = \{(t, \theta_0) | \forall (x_0, y_0) \in \mathbb{X}_0, \forall \mathbf{u} \in \mathbb{U} \\ f_{\text{traj}}(\mathbf{X}_0, \mathbf{u}, t) \in \mathbb{Y}\}$$

SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- **Projet Guerlédan avec robot voilier**
- Conclusion

Projet guerlédan

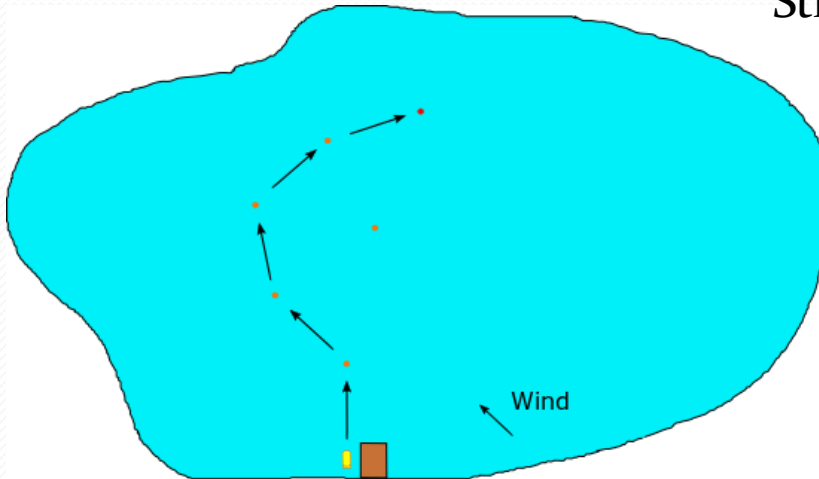
- Présentation



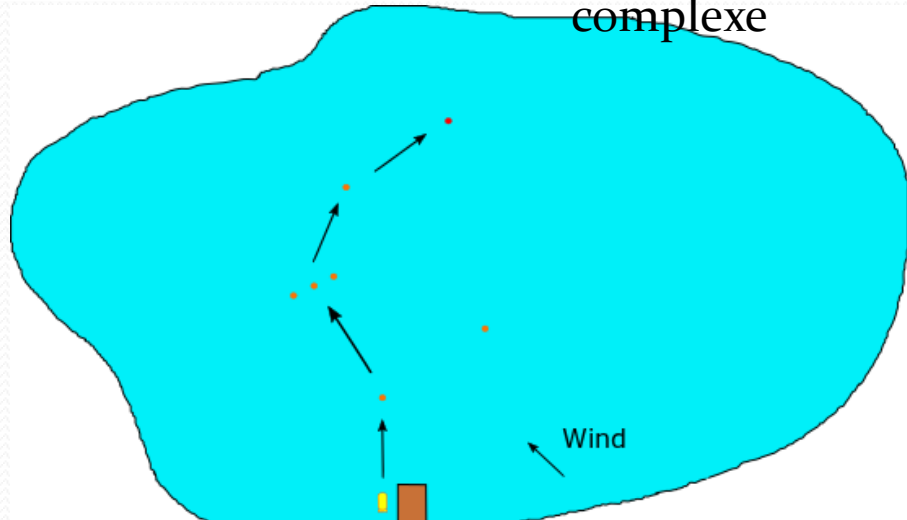
Projet guerlédan

- Concept

Stratégie simple

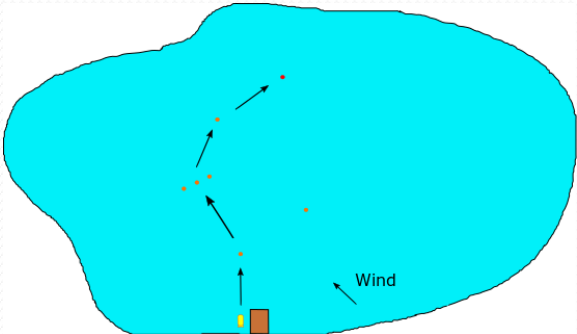


Stratégie complexe

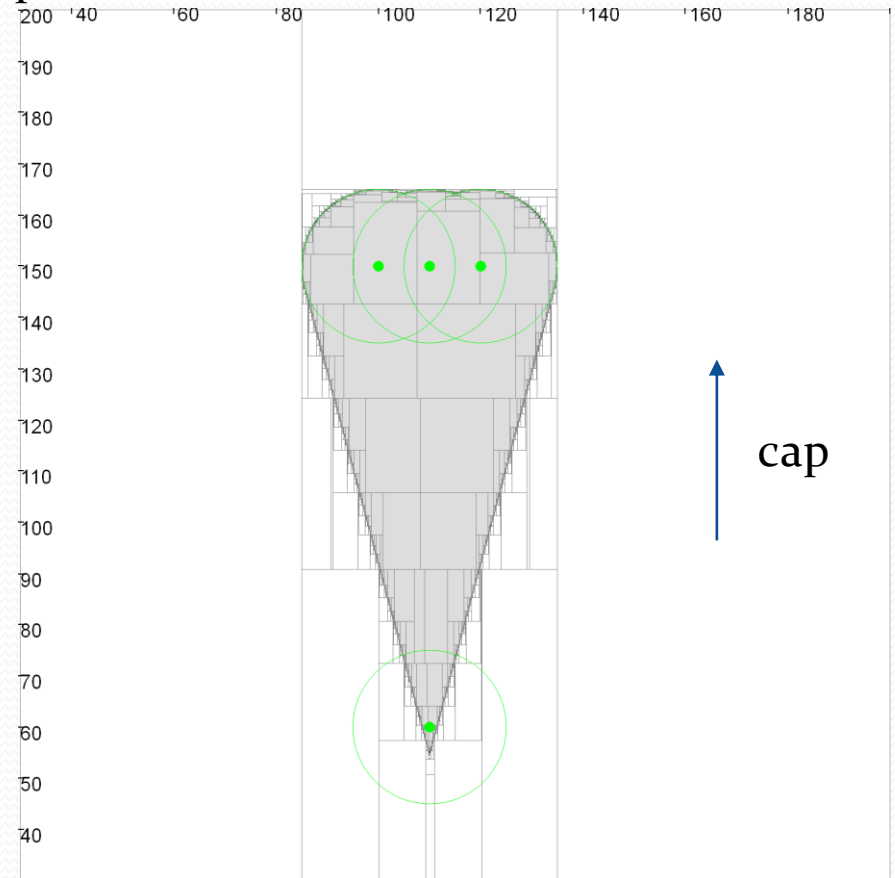
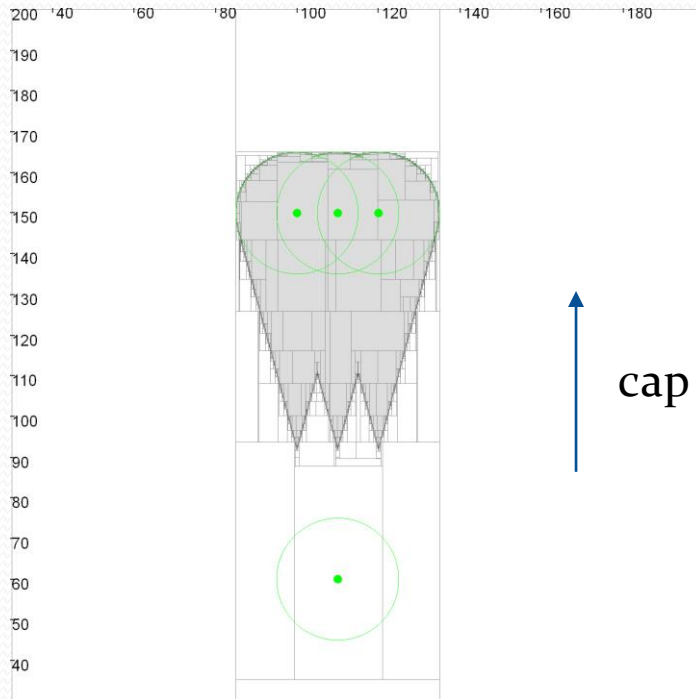


Projet guerlédan

- Concept



Stratégie
complexe



SOMMAIRE

- Introduction
- Description du système
- Carte de recalage
- Planification sous incertitude
- Résultats de simulation
- Projet Guerlédan avec robot voilier
- Conclusion

Conclusion

- Carte de recalage dépend des landmarks et du capteur extéroceptif
- -> définit les configurations qui permettent de se recaler
- Planification sous incertitude : prise en compte d'une dérive avec un compas
- -> Concept de « preimage backchaining » résolu par une technique ensembliste avec analyse par intervalle
- -> Stratégie de revisite garantie (sur les intervalles d'incertitude)

Perspectives

Fonction de coût avec probabilité de détection

Solution si le landmark n'est pas détecté



Merci pour votre attention !