



Trajectory Planning For UAVs in Presence of Winds

Michaël SOULIGNAC

Artificial Intelligence Laboratory
THALES Aerospace



Formulation du problème

Techniques existantes et limitations

Nouvelles de techniques de planification
en présence de courant

Conclusion et perspectives

Formulation du problème

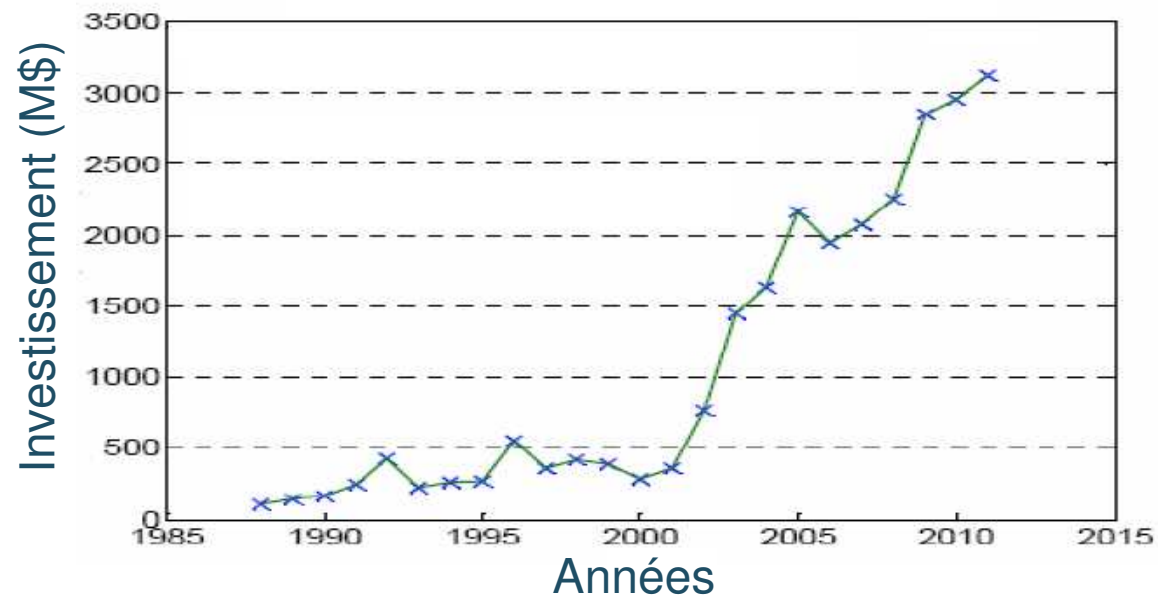
Techniques existantes et limitations

Nouvelles de techniques de planification
en présence de courant

Conclusion et perspectives

- Utilisation grandissante de drones

Ex: Budget de la défense américaine destiné au drones



Source: "Trends in the UAV Market 2006", AUVSI Unmanned Systems, pp. 26-29, Nov/Dec. 2006

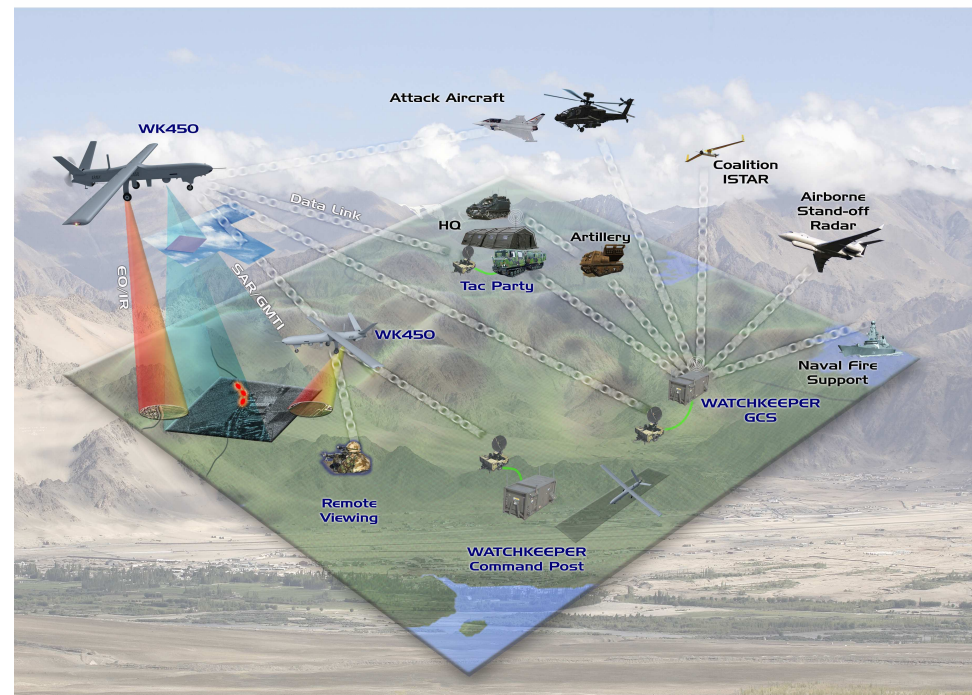
- Utilisation grandissante de drones
- Les missions réalisées

➤ Militaires

Reconnaissance/Surveillance

Protection de convois

Relais de communication



- Utilisation grandissante de drones

- Les missions à réaliser

- Civiles

Incendies/Côtes maritimes

Cartographie/météo

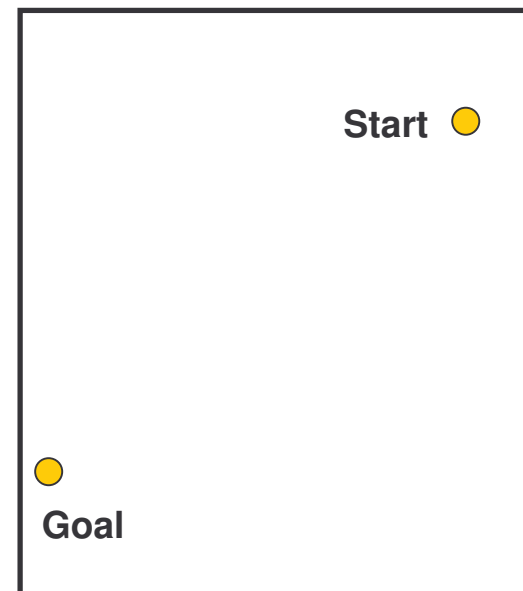
Inspection infrastructures

Contrôle du trafic...



- Utilisation grandissante de drones
- Les missions réalisées: civiles & militaires
- Besoin: préparation de mission
 - Outil d'aide à l'opérateur
 - Planification gros grain (plan de vol)

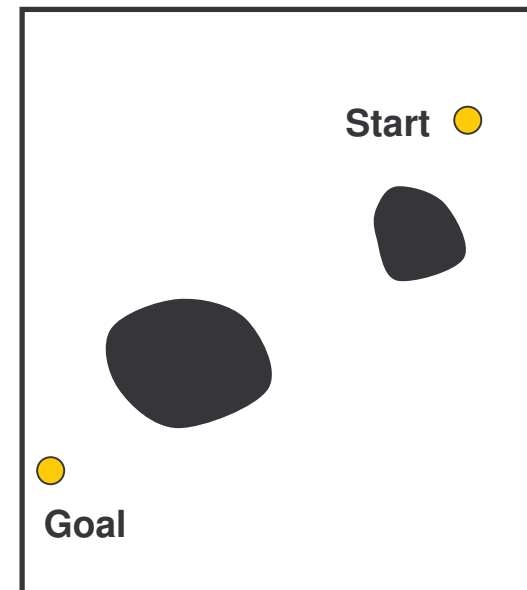
Planifier la trajectoire minimisant le temps de parcours entre deux points (*Start* et *Goal*), dans un environnement comprenant:



Planifier la trajectoire minimisant le temps de parcours entre deux points (*Start* et *Goal*), dans un environnement comprenant:

- **Des obstacles fixes:**

- Surfaces de forme quelconque
- Obstacles concrets ou abstraits



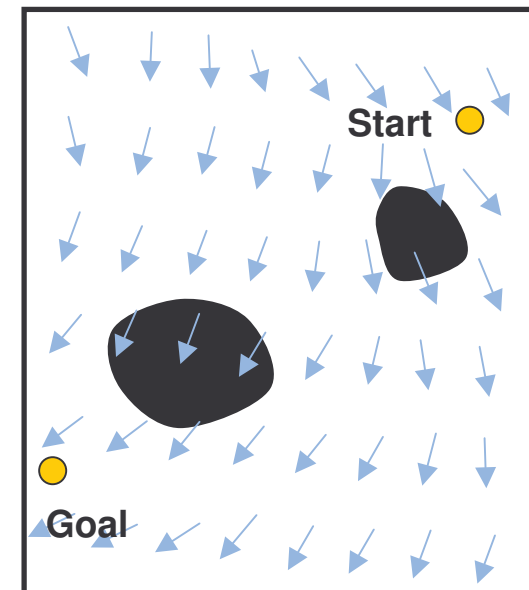
Planifier la trajectoire minimisant le temps de parcours entre deux points (*Start* et *Goal*), dans un environnement comprenant:

- **Des obstacles fixes:**

- Surfaces de forme quelconque
- Obstacles concrets ou abstraits

- **Des courants aériens:**

- Echantillons
- Prévisions météorologiques



Planifier la trajectoire minimisant le temps de parcours entre deux points (*Start* et *Goal*), dans un environnement comprenant:

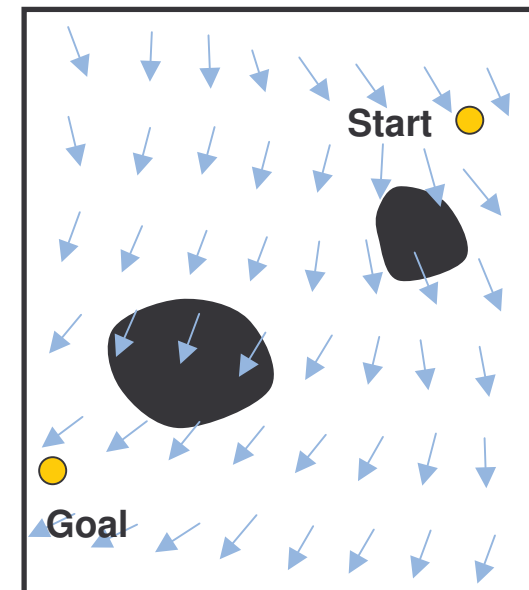
- **Des obstacles fixes:**

- Surfaces de forme quelconque
- Obstacles concrets ou abstraits

- **Des courants aériens:**

- Echantillons
- Prévisions météorologiques

(Environnement planaire)



Formulation du problème

Techniques existantes et limitations

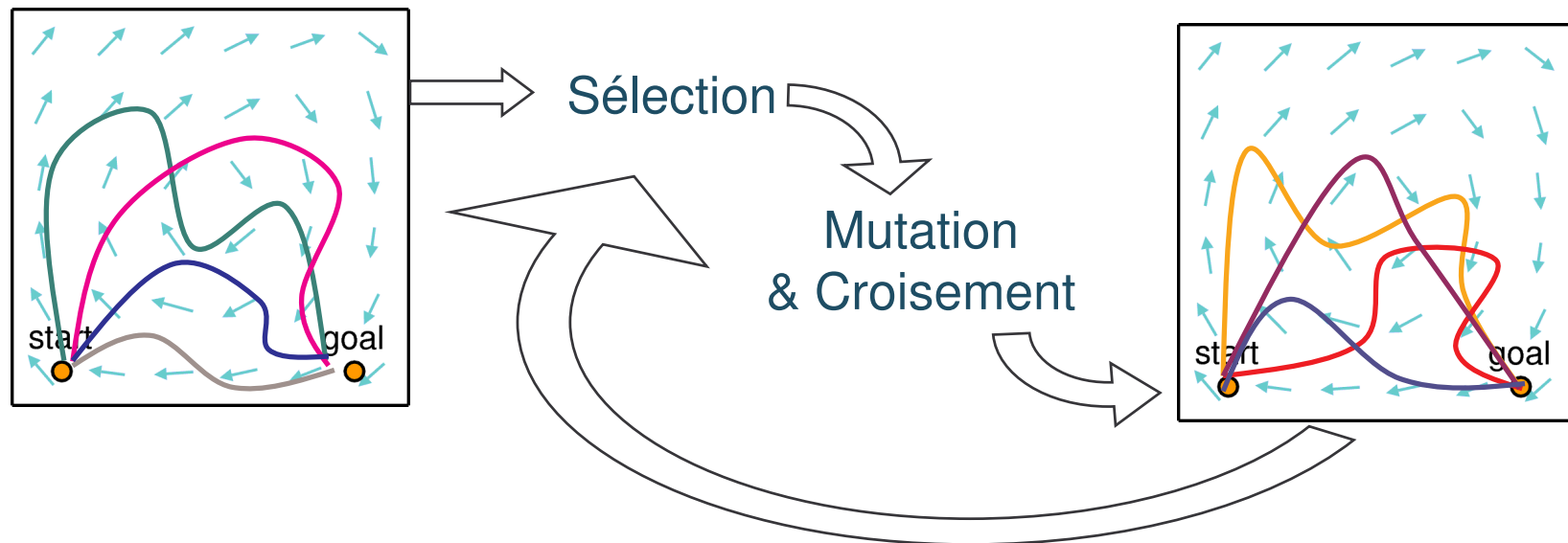
Nouvelles de techniques de planification
en présence de courant

Conclusion et perspectives

Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

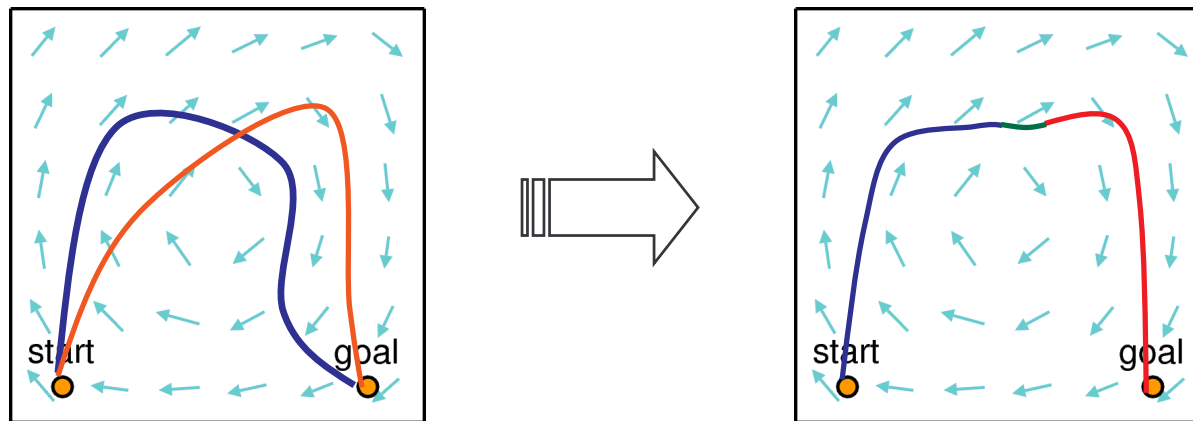
- Algorithmes génétiques
[Rubio03] [Avarez04]



Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

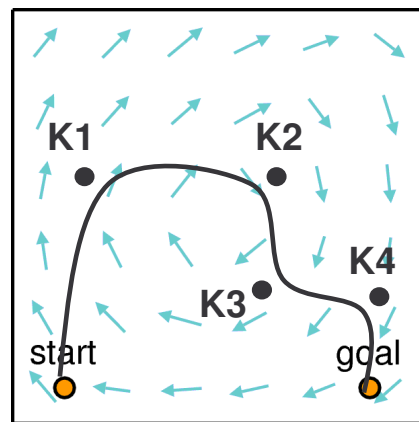
- Algorithmes génétiques
[Rubio03] [Avarez04]

➤ Exemple: croisement



Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

- Algorithmes génétiques
[Rubio03] [Avarez04]
- Techniques d'optimisation
[Inanc05] [Pannequin07]



$$\left\{ \begin{array}{l} \min t(K1, K2, \dots, Kn) \\ \text{s.c.} \\ A \leq f(K1, K2, \dots, Kn) \leq B \end{array} \right.$$

Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

- Algorithmes génétiques
[Rubio03] [Avarez04]
- Techniques d'optimisation
[Inanc05] [Pannequin07]
- Propagation d'ondes
[Garau05] [Petres07][SOULIGNAC07]

Techniques de planification de chemin prenant en compte les courants:

- Algorithmes génétiques

[Rubio03] [Avarez04]

- Techniques d'optimisation

[Inanc05] [Pannequin07]

- Propagation d'ondes

[Garau05] [Petres07][Soulignac07]

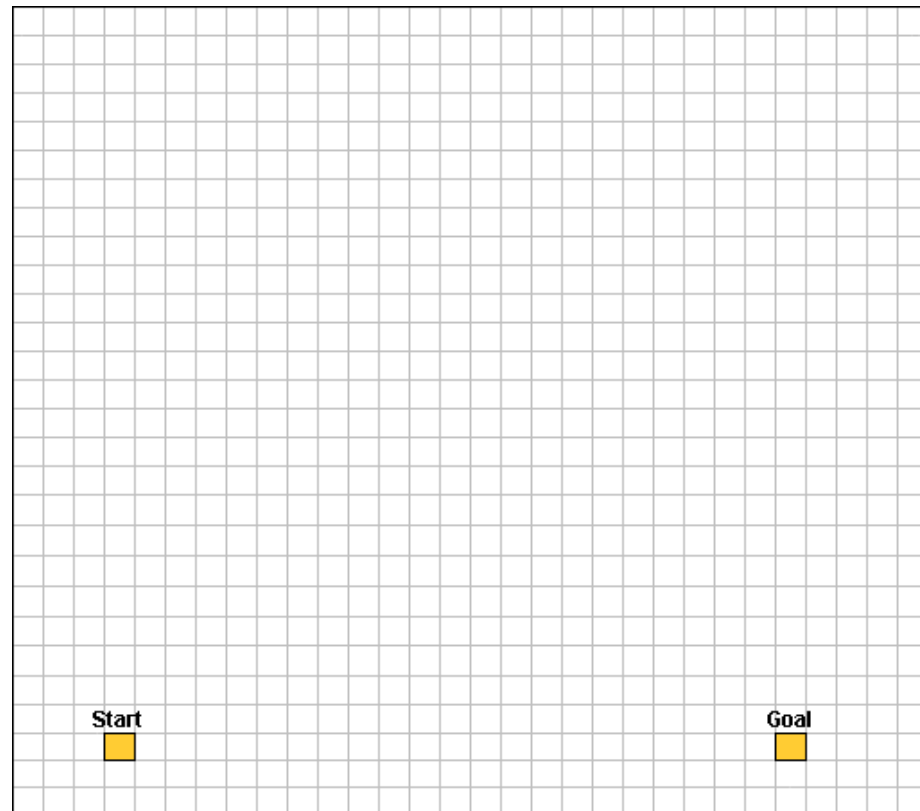
Optimisation non-convexe

- Minima locaux
- Convergence lente

- Solution globalement optimale
- Temps de calcul polynomial

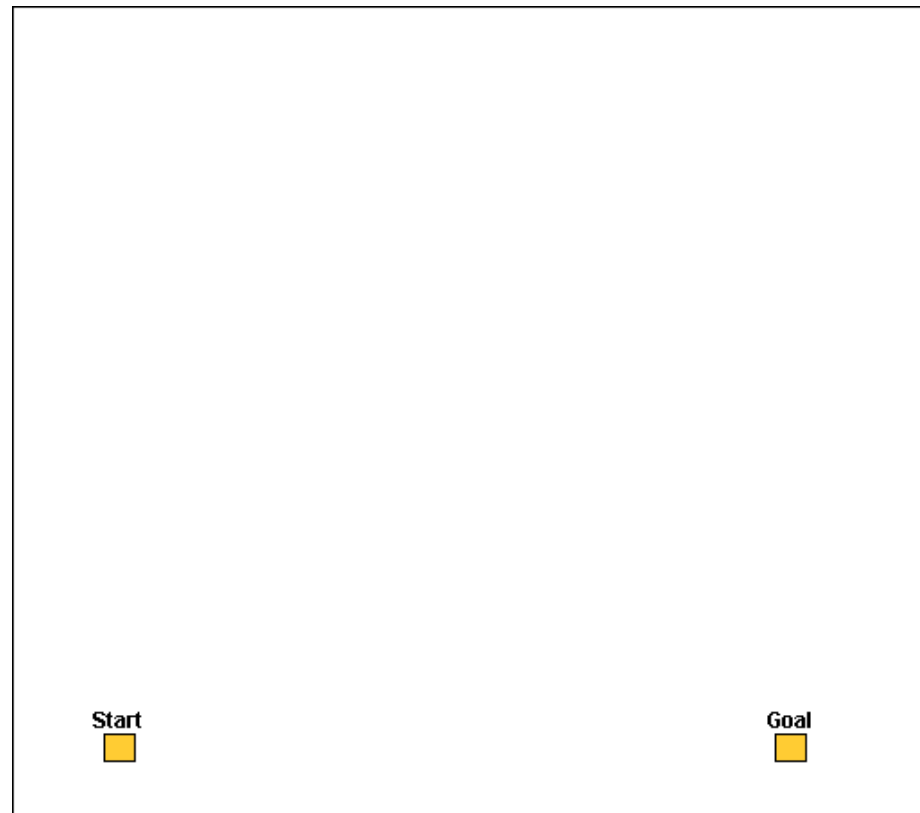


- Discrétisation de l'environnement = grille régulière



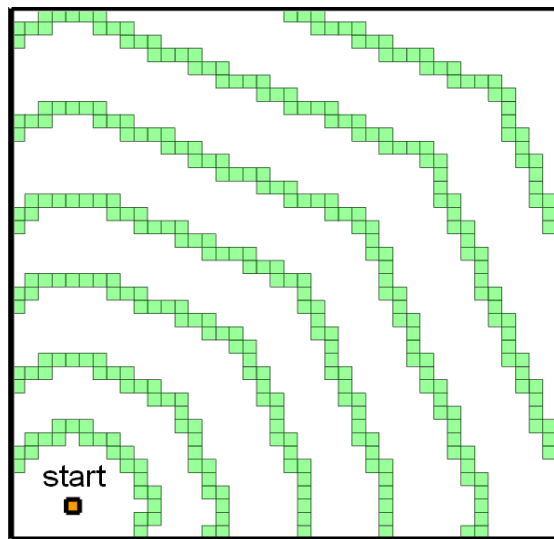


- Discrétisation de l'environnement = grille régulière
- Deux phases de calcul:

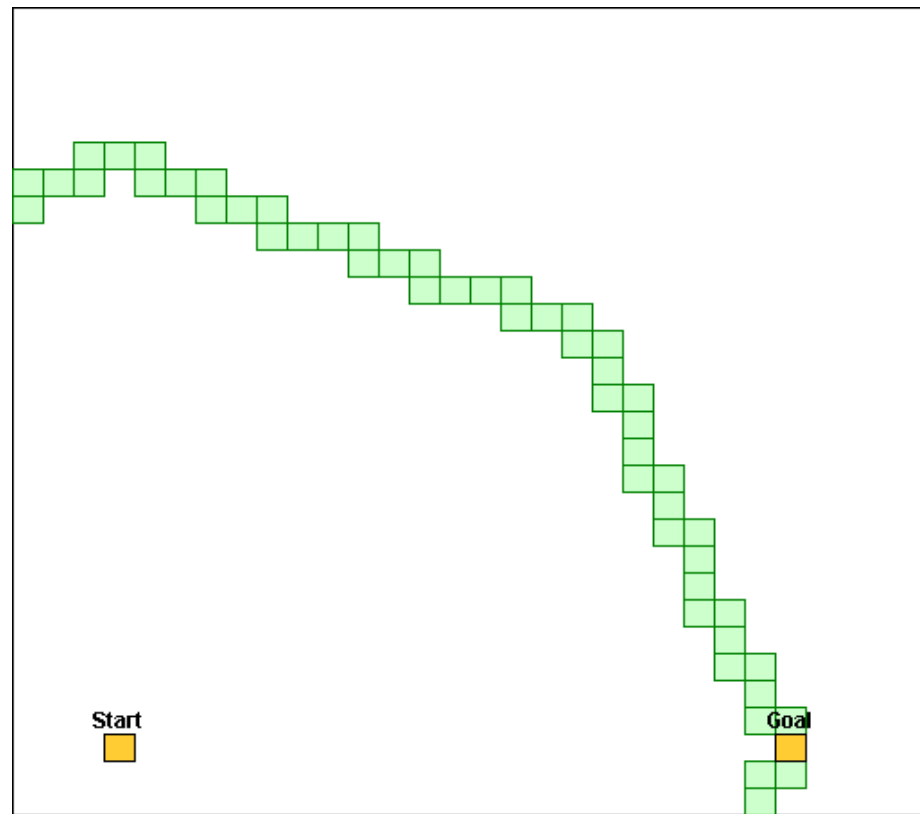




- Discrétisation de l'environnement = grille régulière
- Deux phases de calcul:
 1. Propagation des coûts

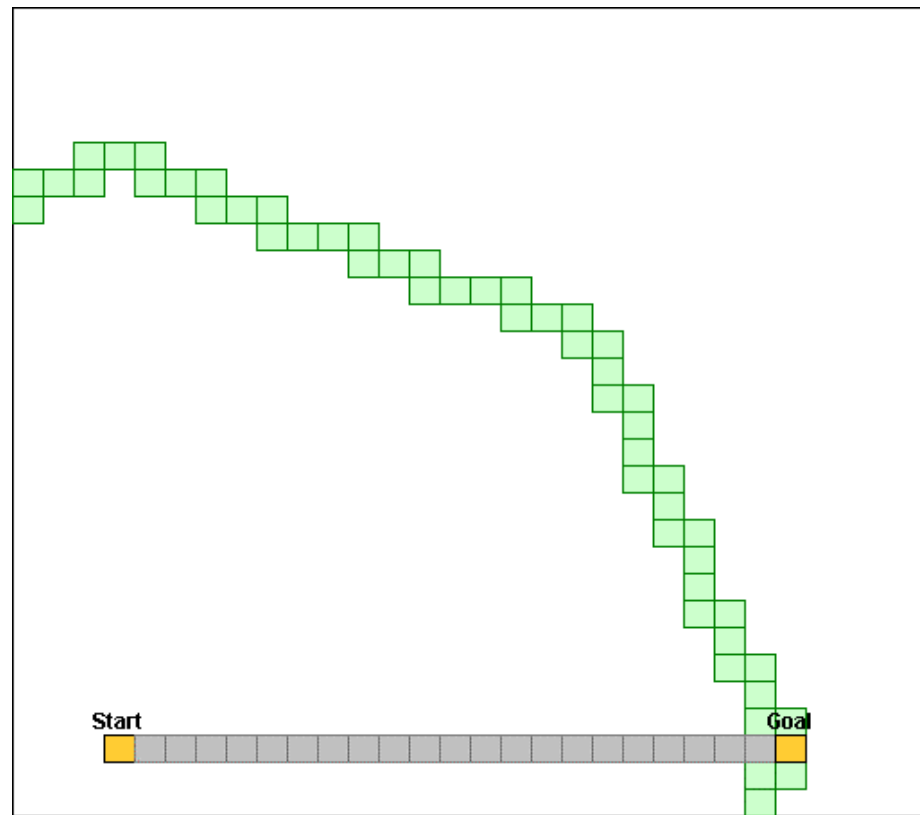


[Propagation isotrope]





- Discrétisation de l'environnement = grille régulière
- Deux phases de calcul:
 1. Propagation des coûts
 2. Descente du gradient [Hill Climbing]





- Discrétisation de l'environnement = grille régulière

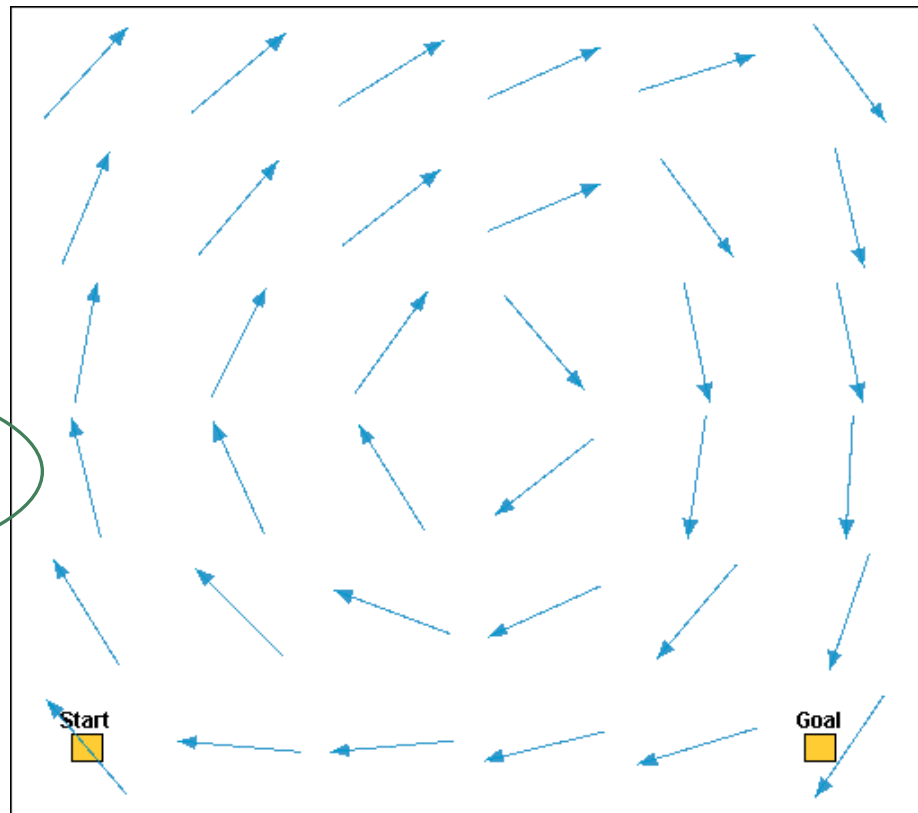
- Deux phases de calcul:

1. Propagation des coûts
2. Descente du gradient

- Extensions aux courants:

1. Petres [Petres05]
2. Garau [Garau05]
3. Soulignac [Soulignac07]

➤ Fonctions de coût adaptées



- **Courants forts** = courants plus rapides que le robot

- Problèmes d'incomplétude

Le planificateur ne trouve pas de solution, même s'il en existe une



- **Courants forts** = courants plus rapides que le robot
 - Problèmes d'incomplétude

Le planificateur ne trouve pas de solution, même s'il en existe une

- **Courants variables dans le temps**
 - Nouvelle problématique: quelle est la meilleure date de départ?
 - Pas de technique connue

Formulation du problème

Techniques existantes et limitations

**Nouvelles de techniques de planification
en présence de courant**

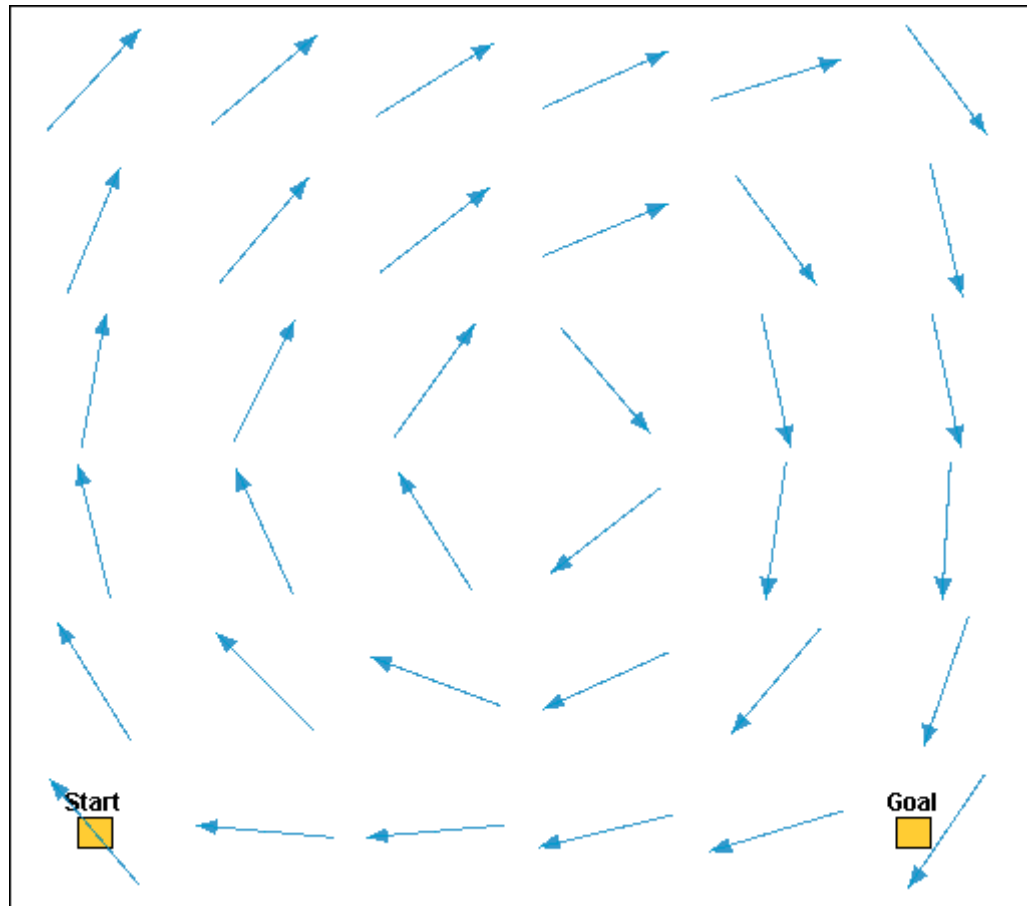
Gestion des courants forts

Gestion des courants variables


Conclusion et perspectives


coût $\rightarrow +\infty$

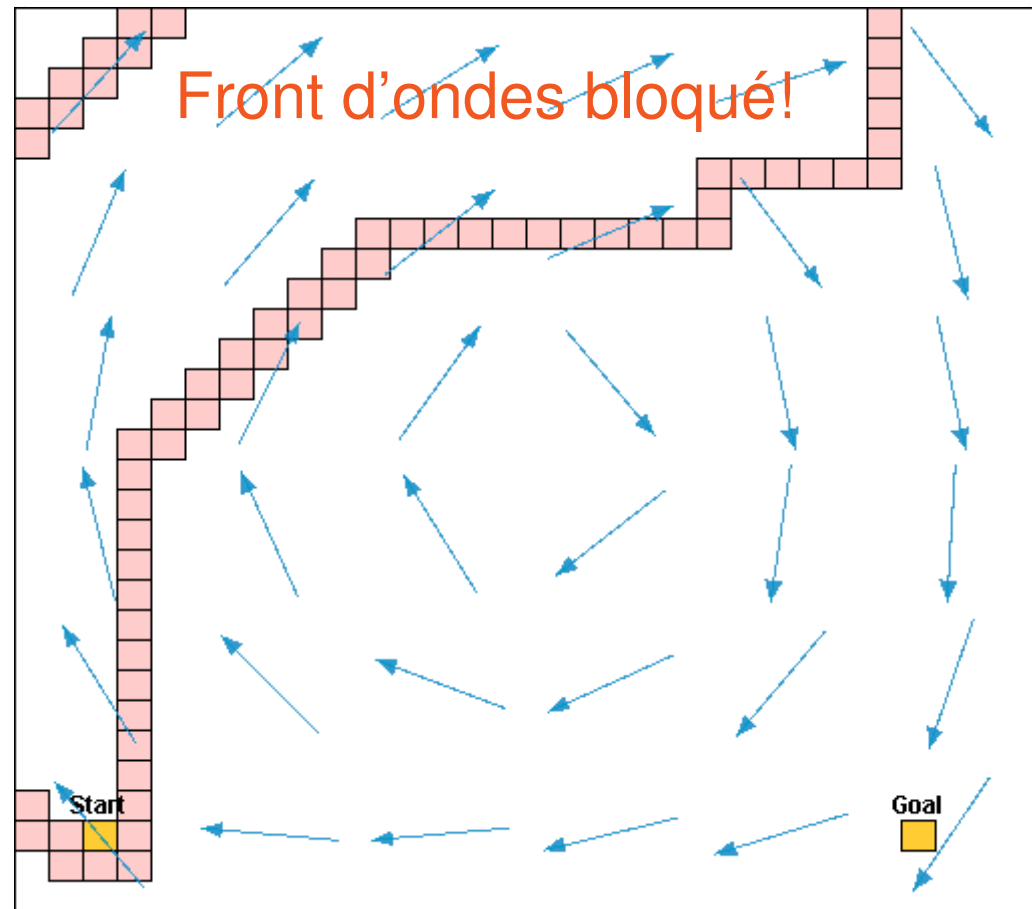
pour les mouvements
impossibles



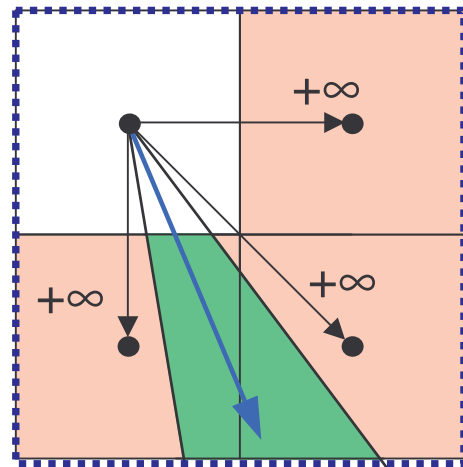
1. Propagation d'ondes

 = accessible

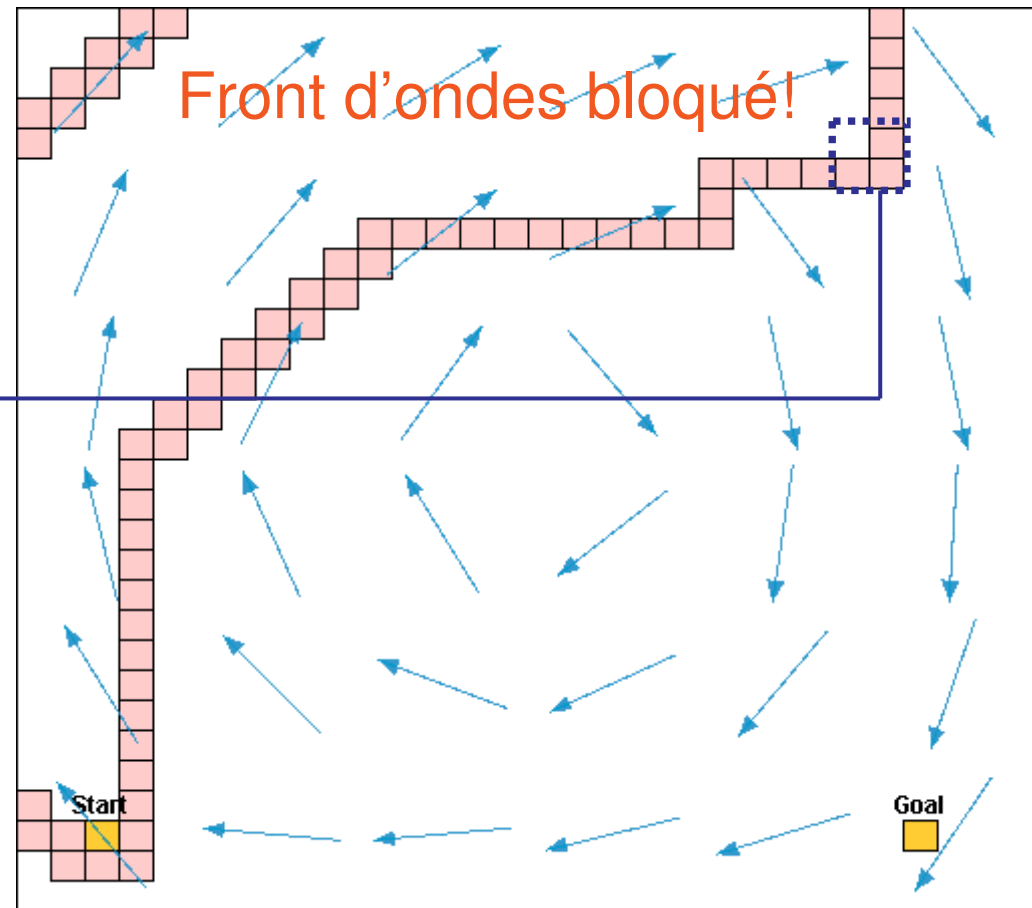
 = inaccessible
(coût infini)



Cause:
discrétisation



région
accessible

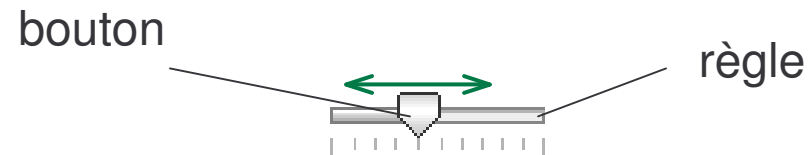


Cause des problèmes d'incomplétude:

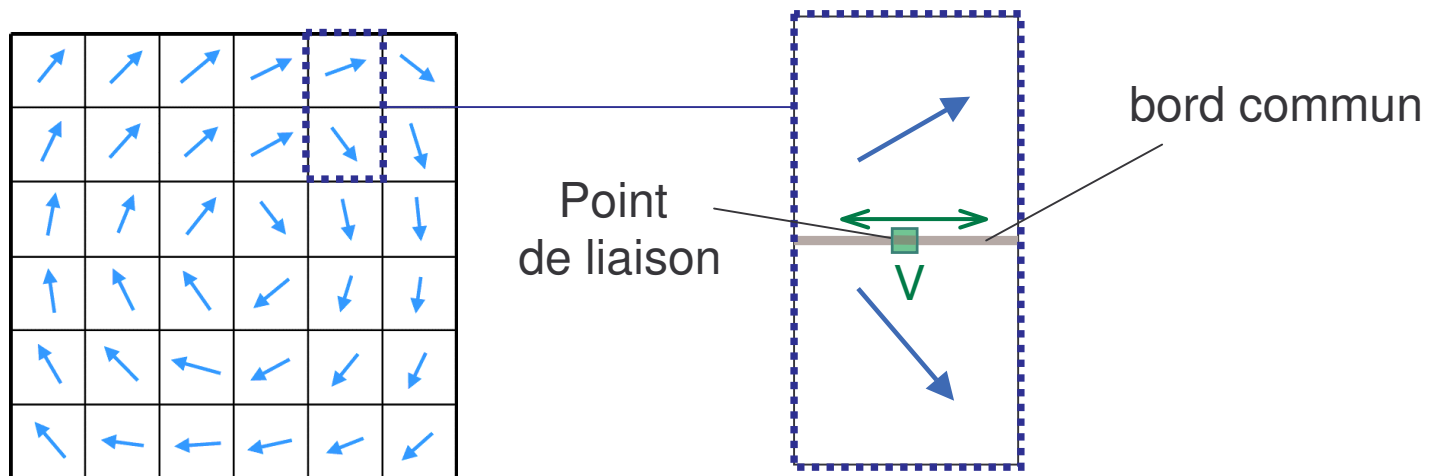
Modèle discret de déplacement

➤ Notre proposition: la *propagation d'ondes coulissante*

Modèle de déplacement continu (basé sur les curseurs)



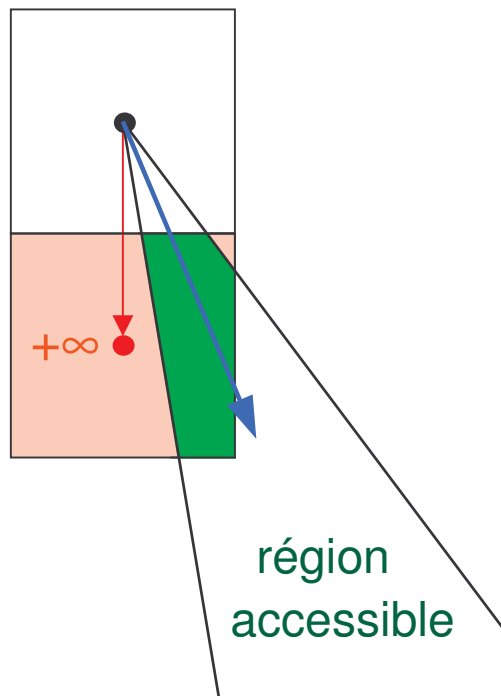
Composant graphique



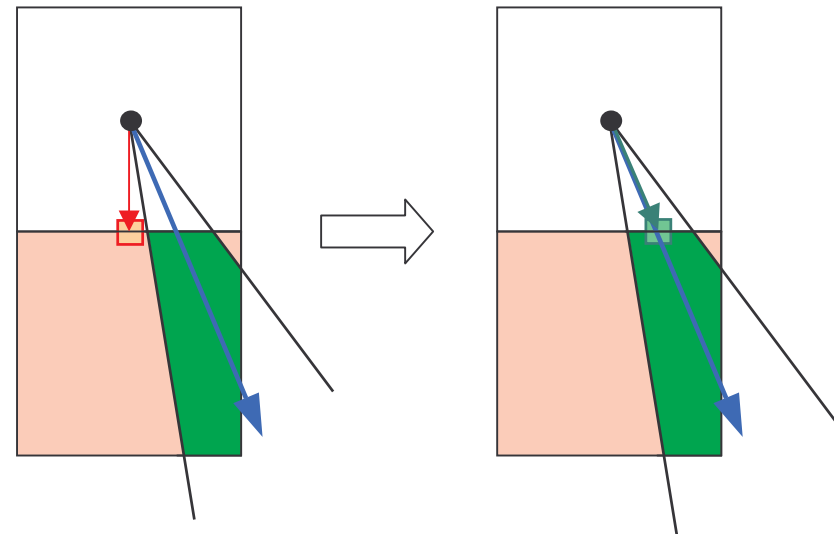
Point de passage mobile

➤ Une réponse aux problèmes d'incomplétude

Sans curseur



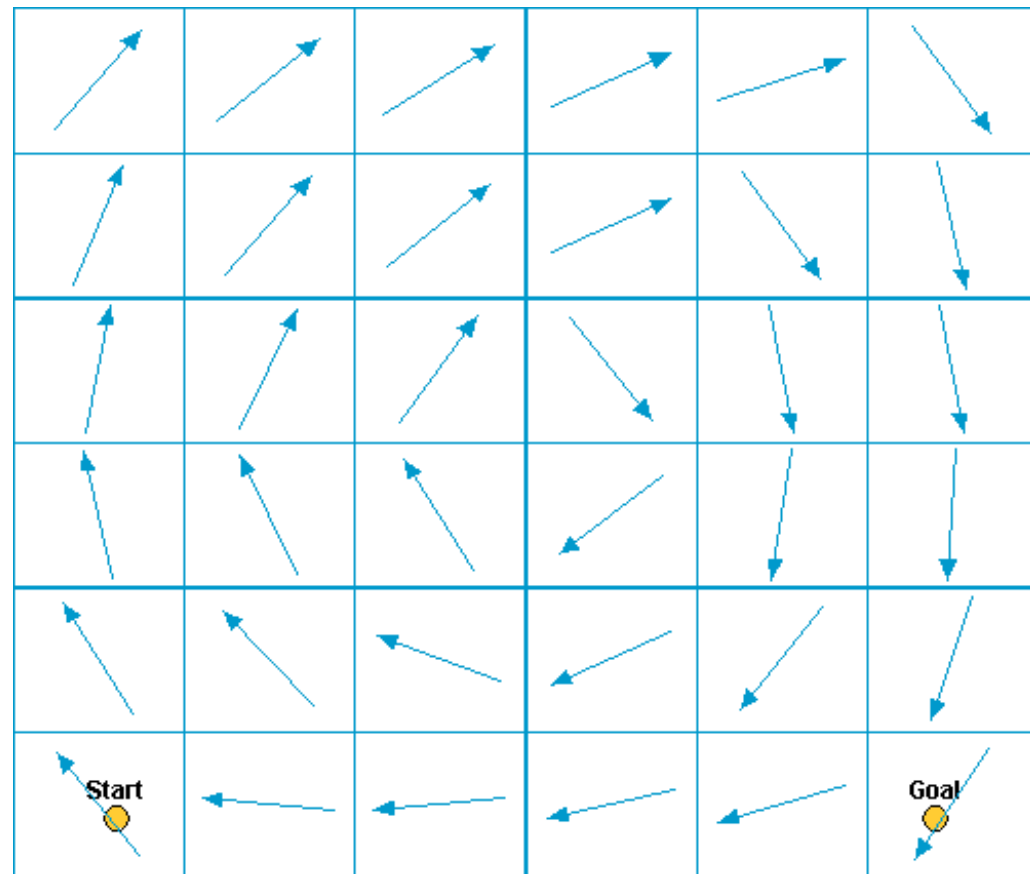
Avec curseur



Nouveau processus de propagation

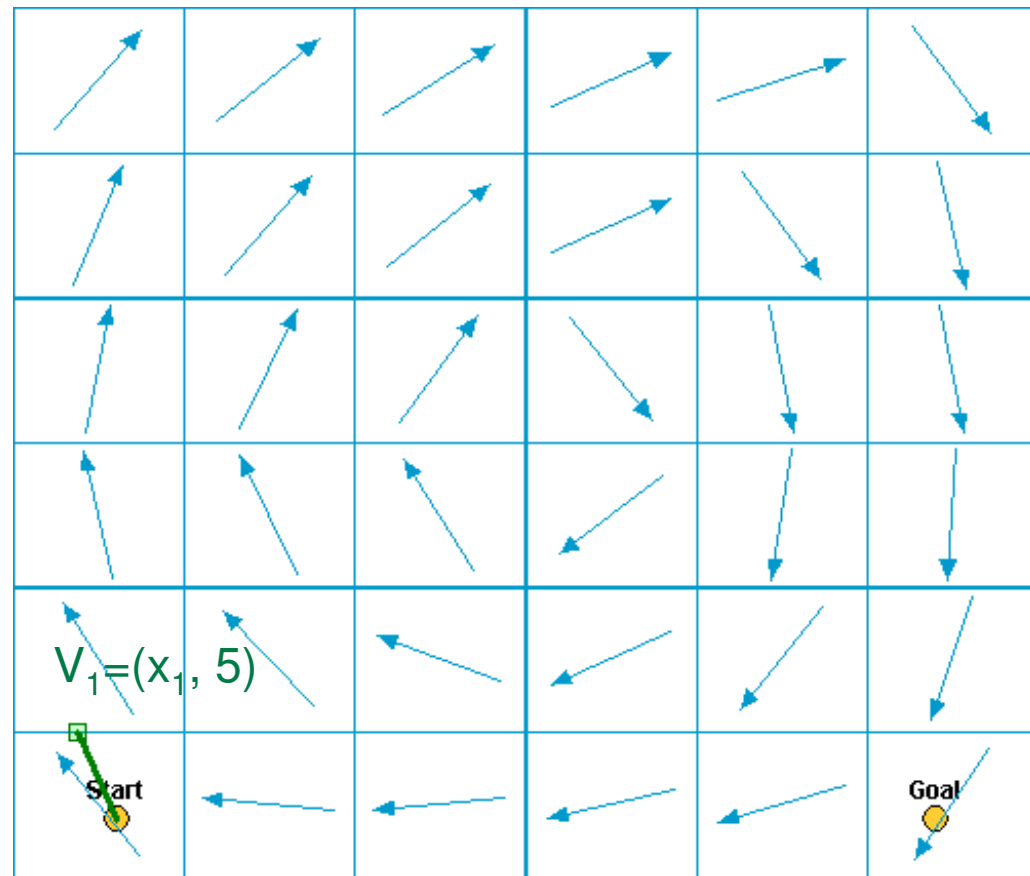
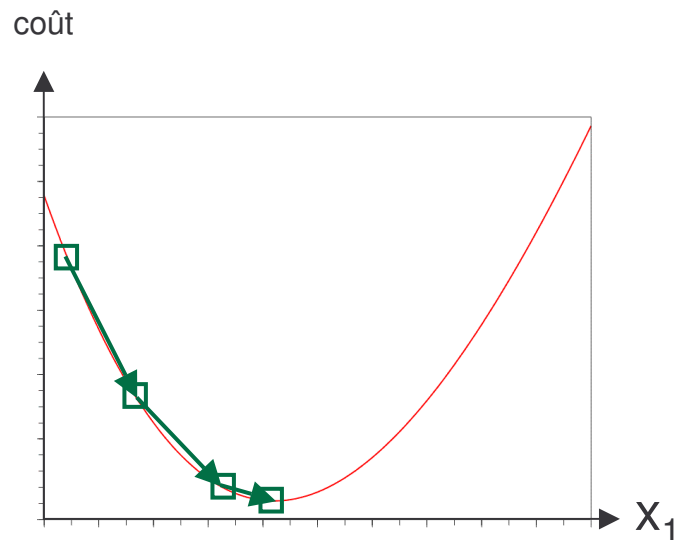
- Les cellules sont remplacées par les curseurs
- La position des curseurs est optimisée à chaque pas de la propagation

- 



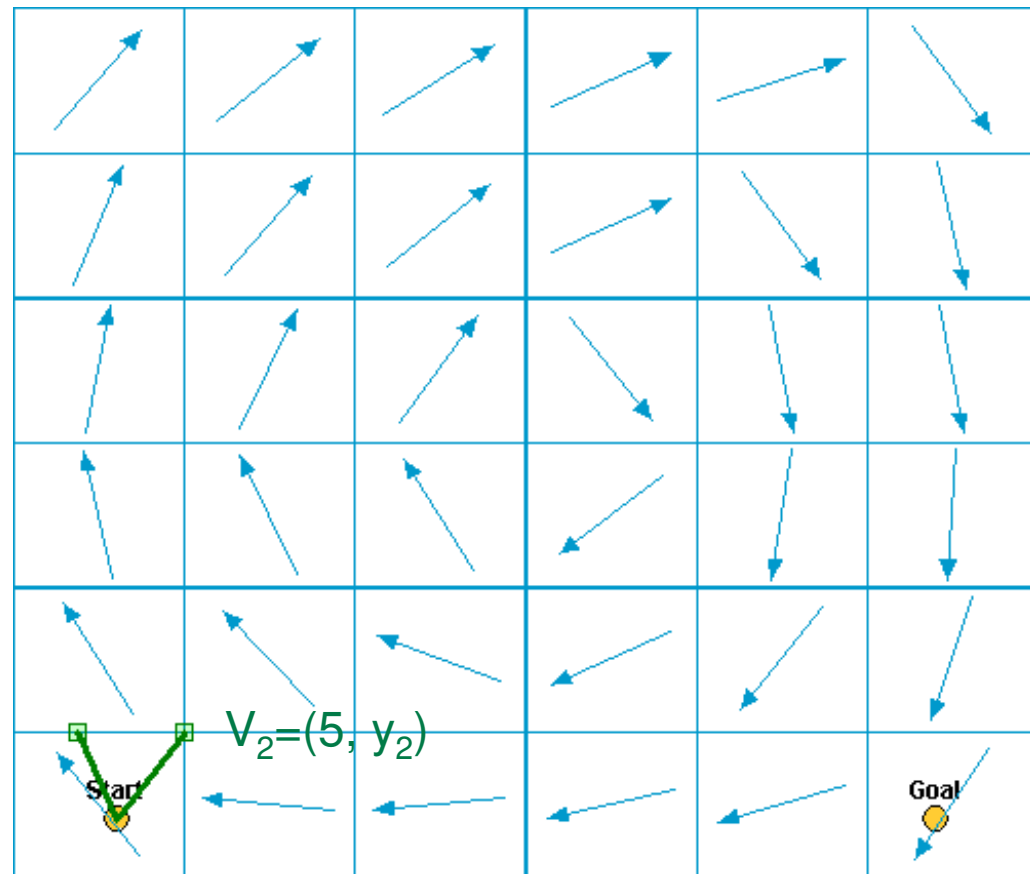
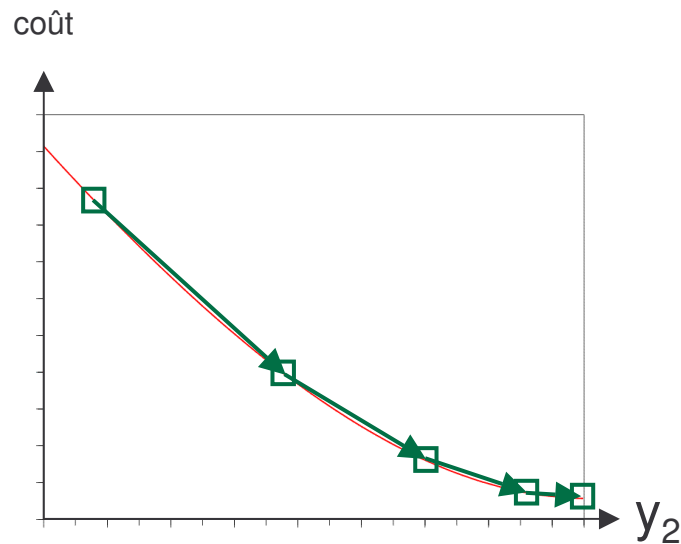
Nouveau processus de propagation

- Les cellules sont remplacées par les curseurs
- La position des curseurs est optimisée à chaque pas de la propagation



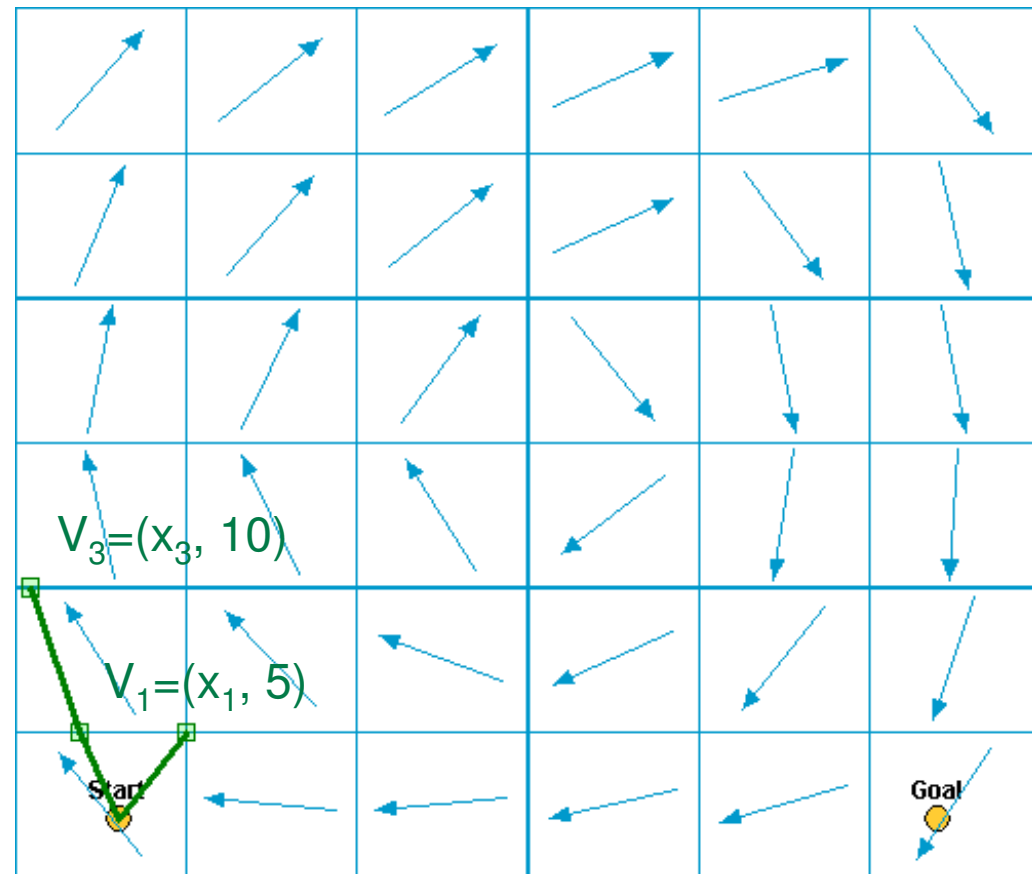
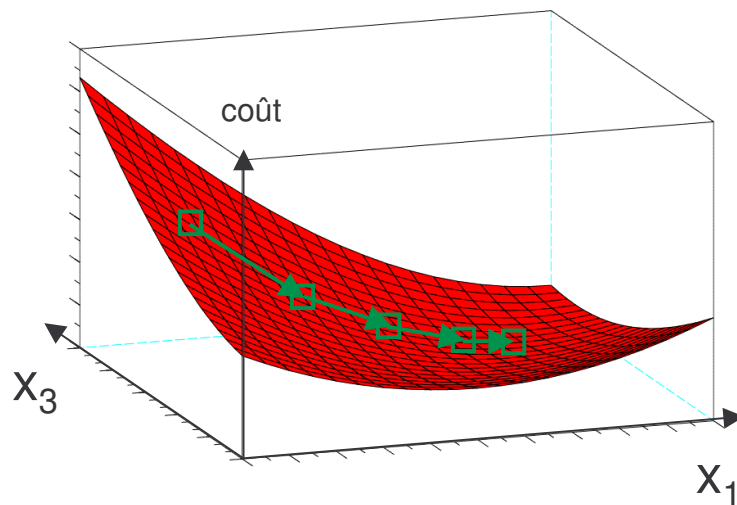
Nouveau processus de propagation

- Les cellules sont remplacées par les curseurs
- La position des curseurs est optimisée à chaque pas de la propagation

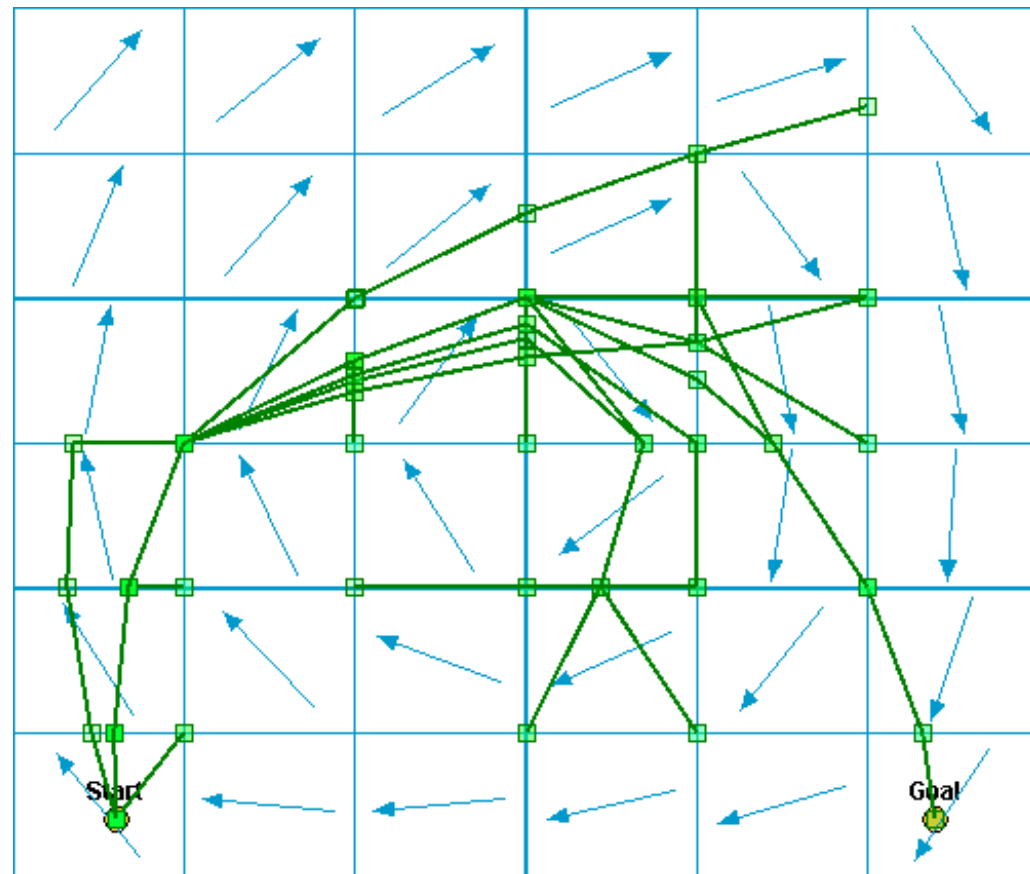


Nouveau processus de propagation

- Les cellules sont remplacées par les curseurs
- La position des curseurs est optimisée à chaque pas de la propagation



- 



- [illegible]

Protocole expérimental

- Cartes des vents (météo france)
- Intensité des courants

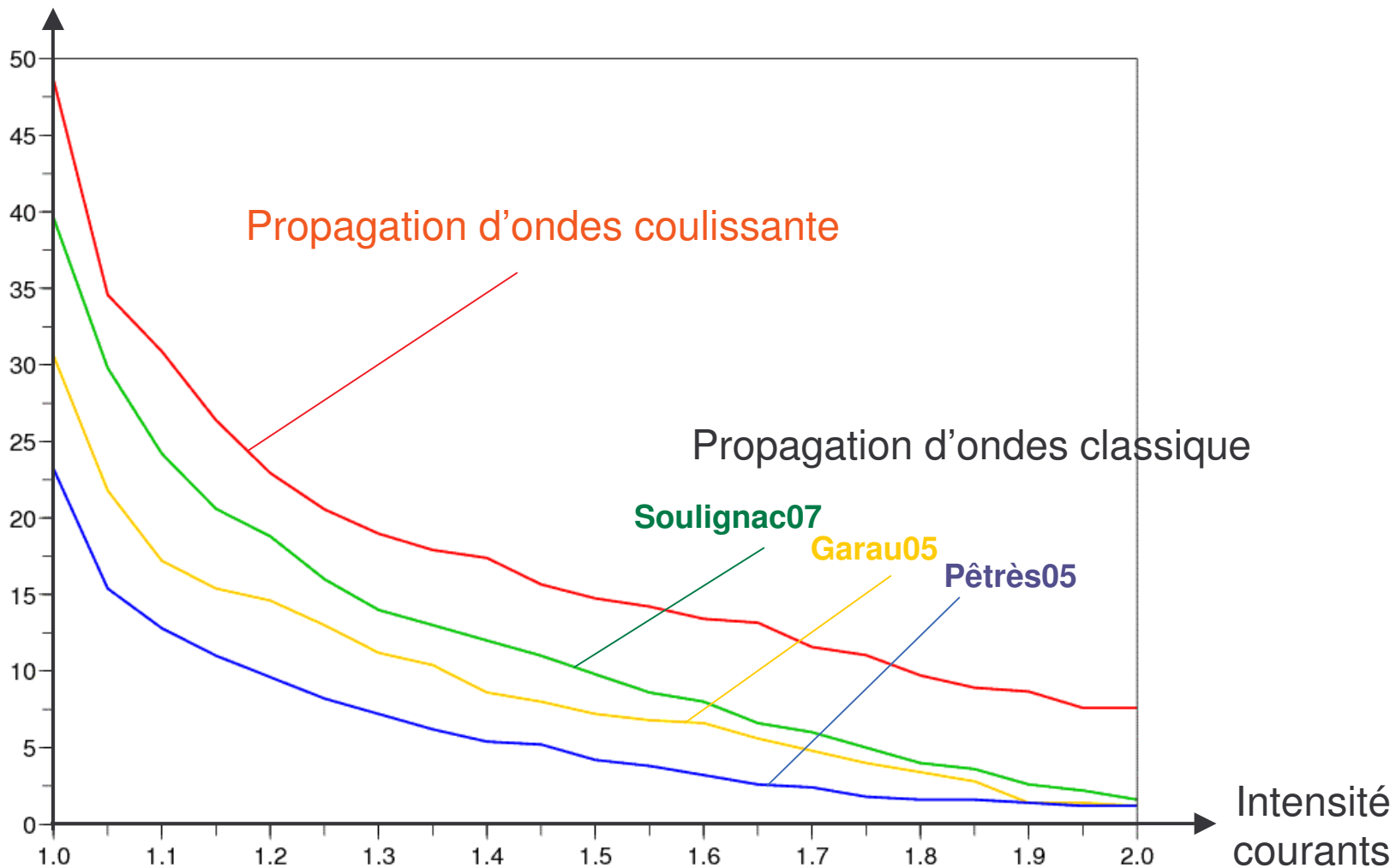
$$I = \max\{c\} / v$$

vitesse max
du courant

vitesse du robot
(fixée)



Taux succès (%)



Intensité
courants

Motivation: la planification de mission

Le planificateur existant: Airplan

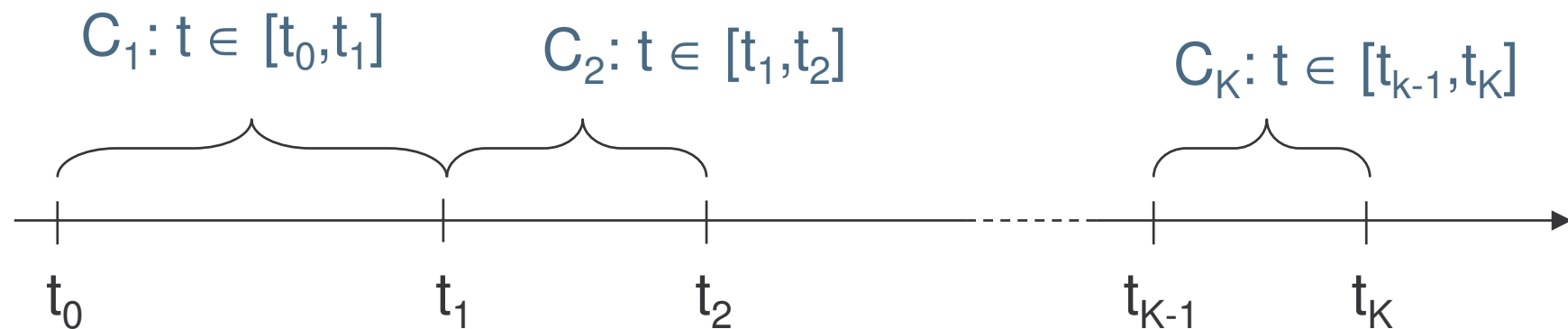
Nouvelles de techniques de planification en présence de courant

Gestion des courants forts

Gestion des courants variables dans le temps

Conclusion et perspectives

- K cartes des courants C_1, C_2, \dots, C_K



- K cartes des courants C_1, C_2, \dots, C_K
- But:

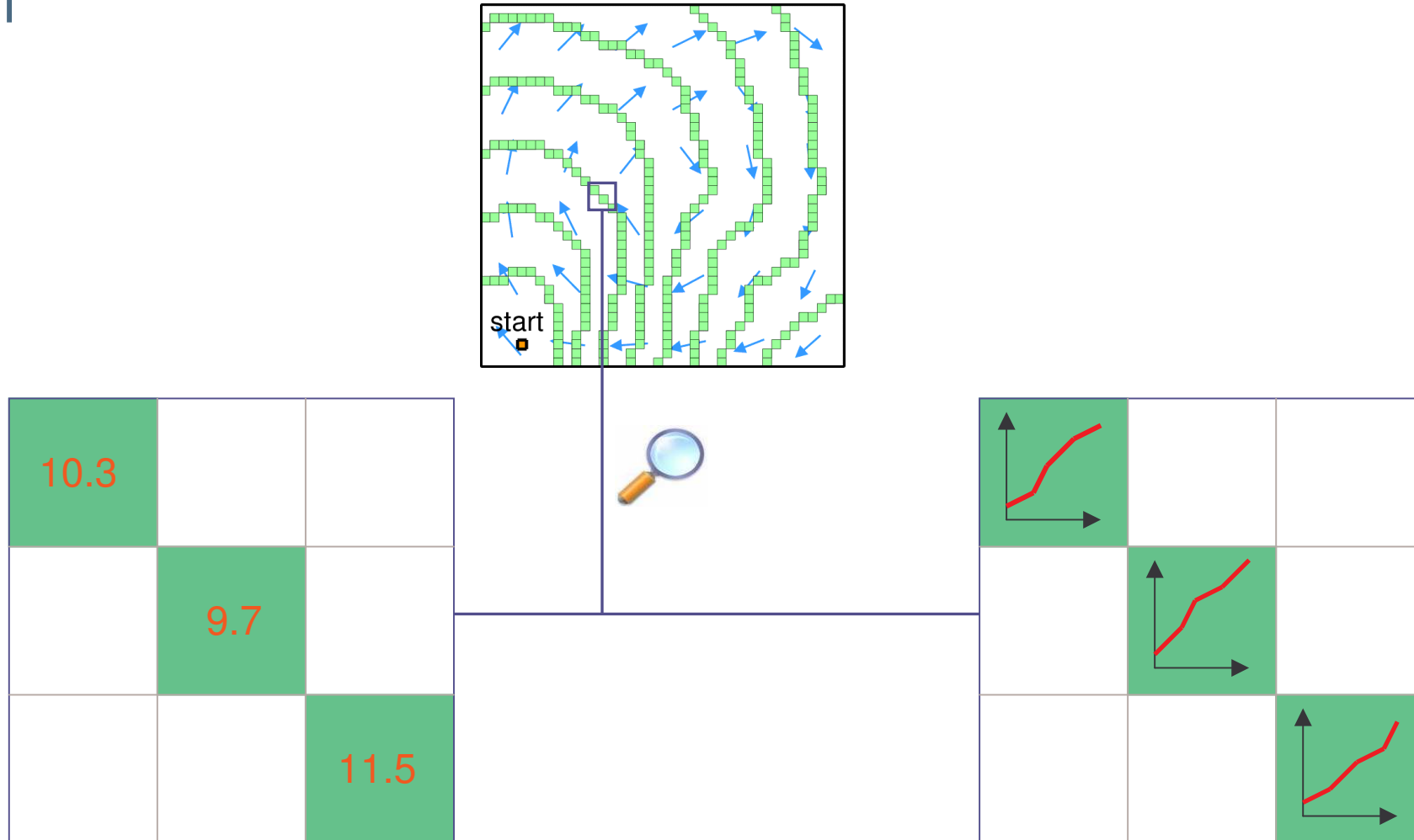
Trouver la date de départ d^* minimisant le temps de parcours entre deux points Start et Goal

- K cartes des courants C_1, C_2, \dots, C_K
- But:

Trouver la date de départ d^* minimisant le temps de parcours entre deux points Start et Goal

- Aucune technique connue à ce jour
- Proposition: la propagation d'ondes symbolique

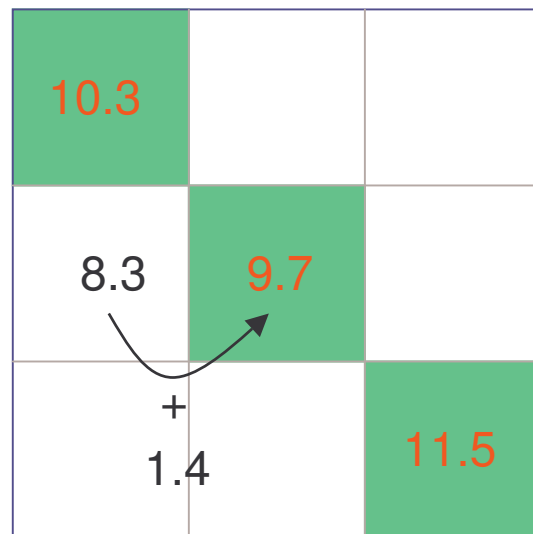
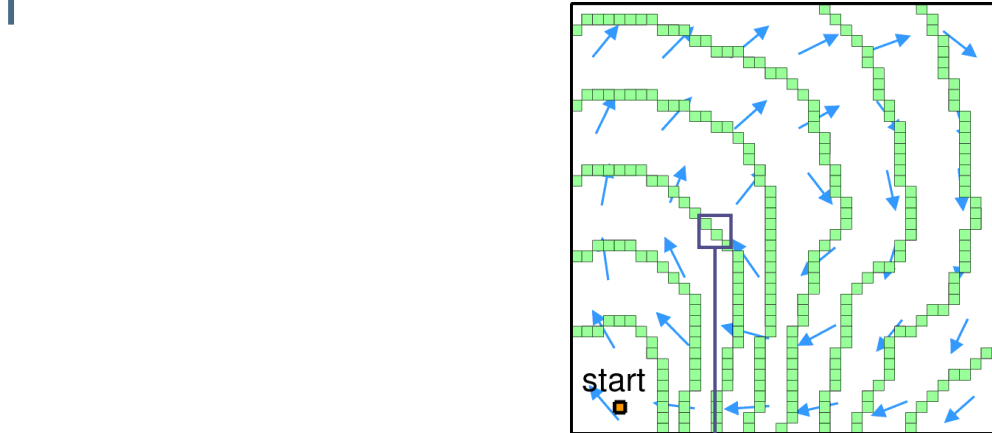
Principe de la propagation d'ondes symbolique



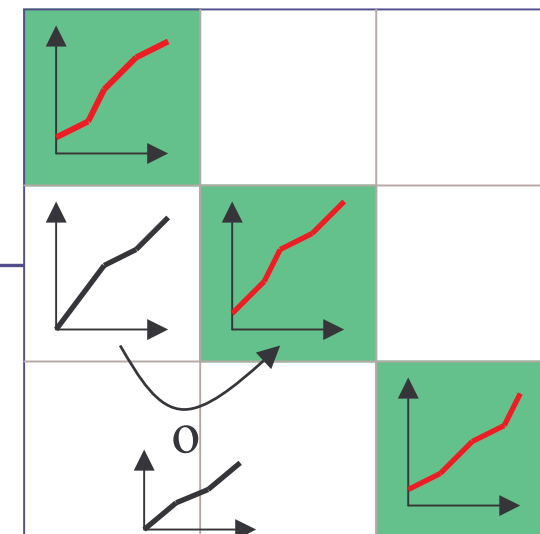
Propagation « classique »
coût = scalaire

Propagation « symbolique »
coût = fonction

Principe de la propagation d'ondes symbolique



Opération de propagation:
addition

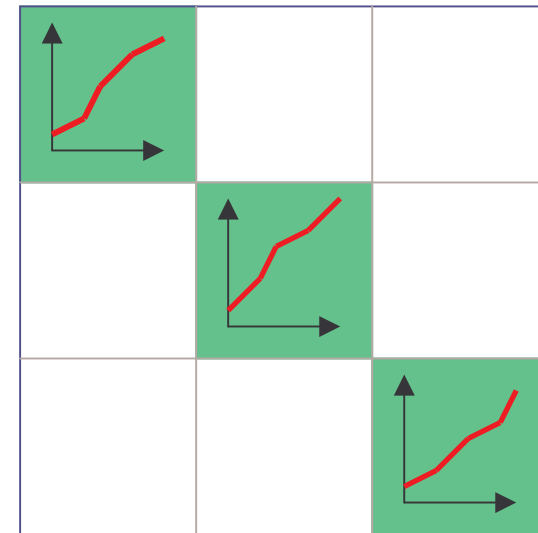
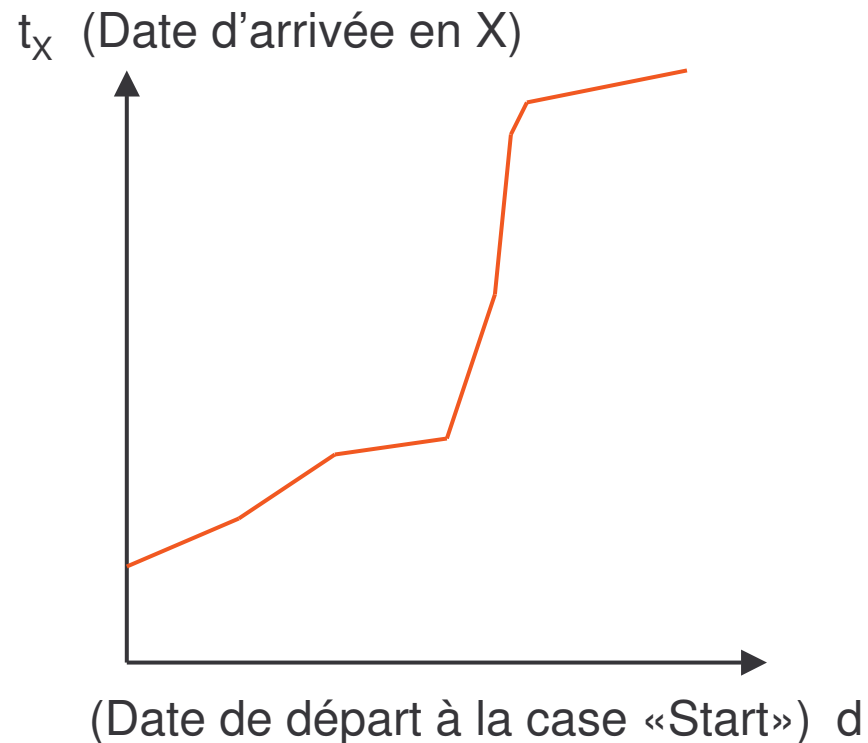


Opération de propagation:
composition

Principe de la propagation d'ondes symbolique



Fonctions propagées:
date d'arrivée à chaque
cellule X

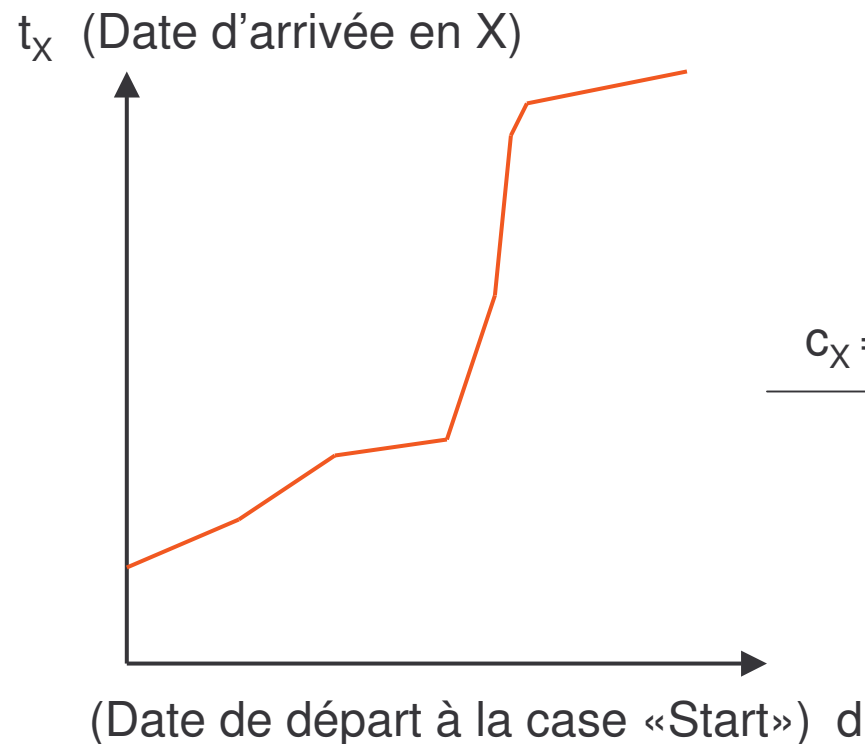


Principe de la propagation d'ondes symbolique

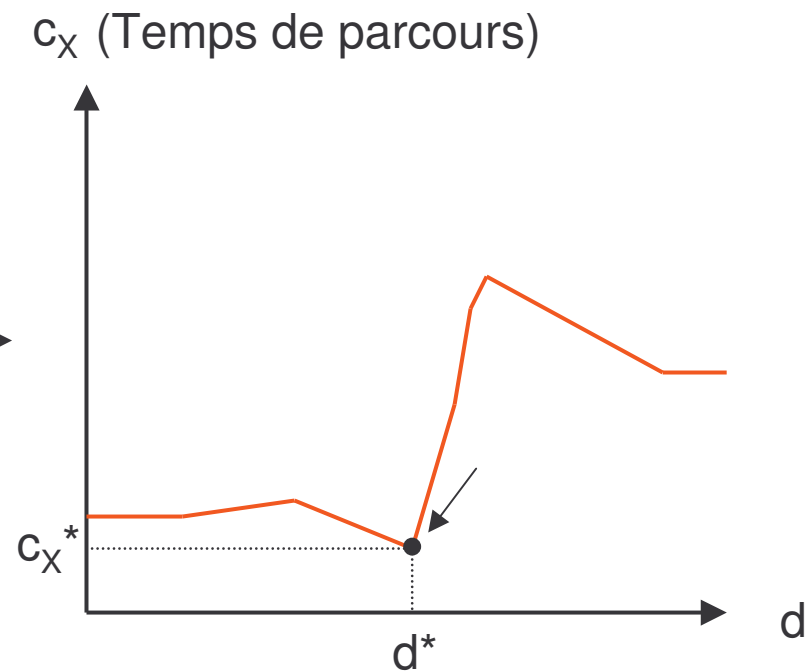


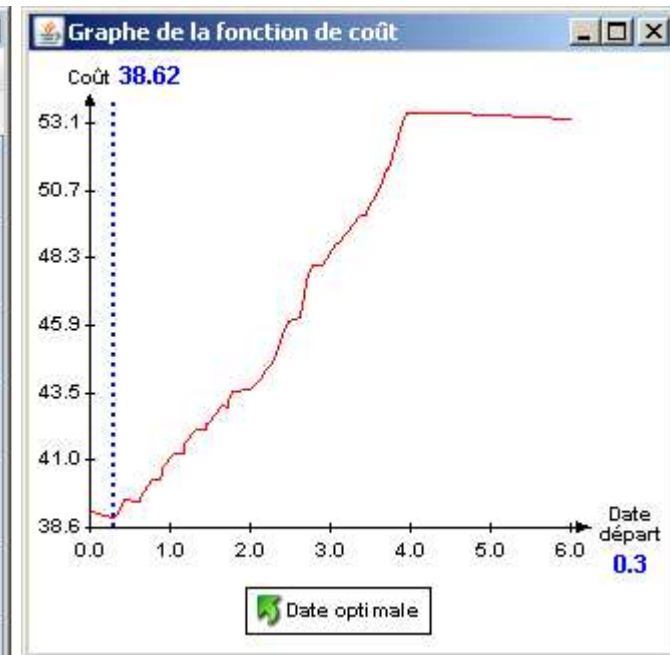
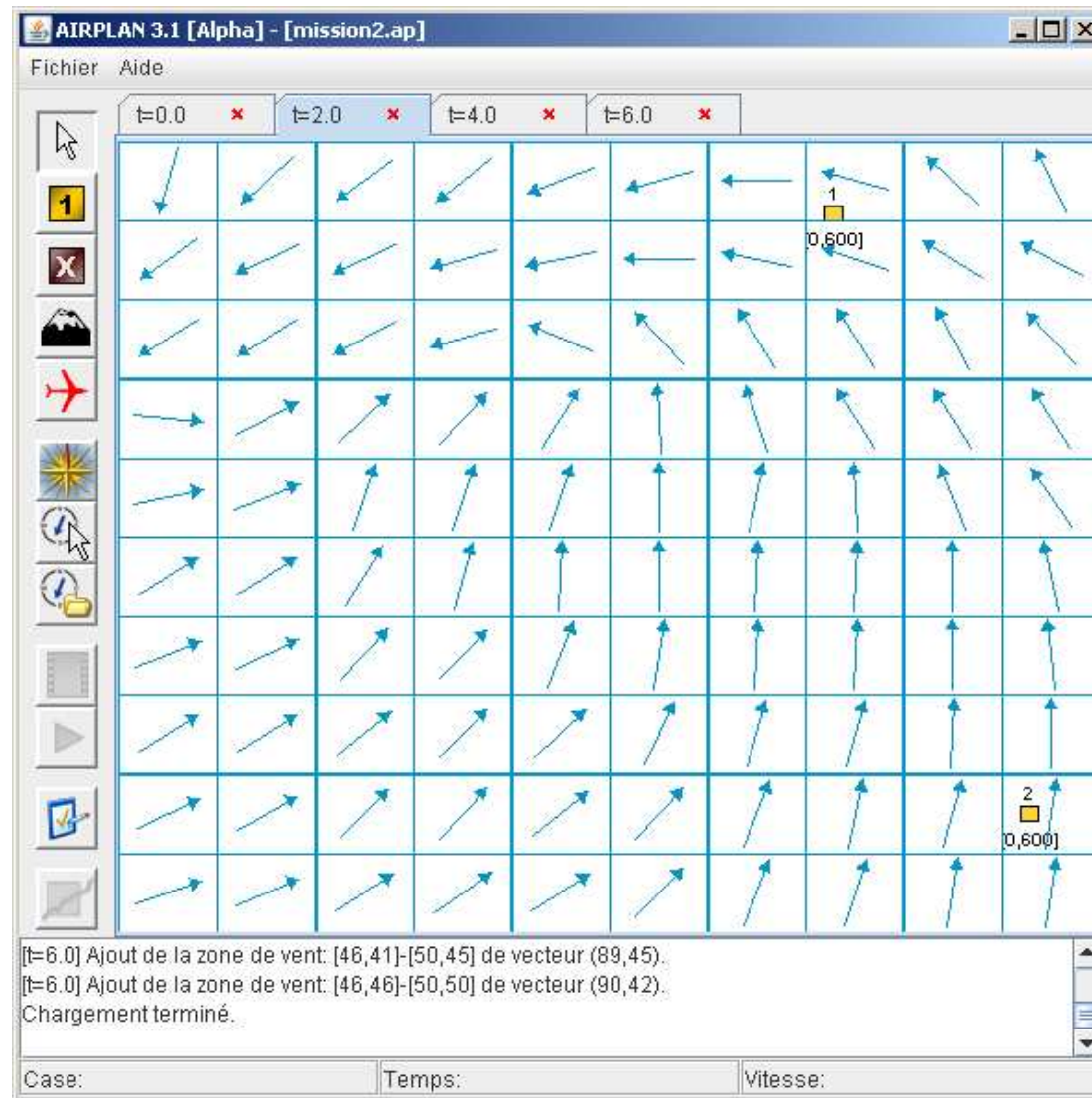
Fonctions propagées:
date d'arrivée à chaque
cellule X

Le temps de parcours est
déduit par simple soustraction
(et le minimum localisé)



$$c_x = t_x - d$$





Motivation: la planification de mission

Le planificateur existant : Airplan

Nouvelles de techniques de planification
en présence de courant

Conclusions et perspectives

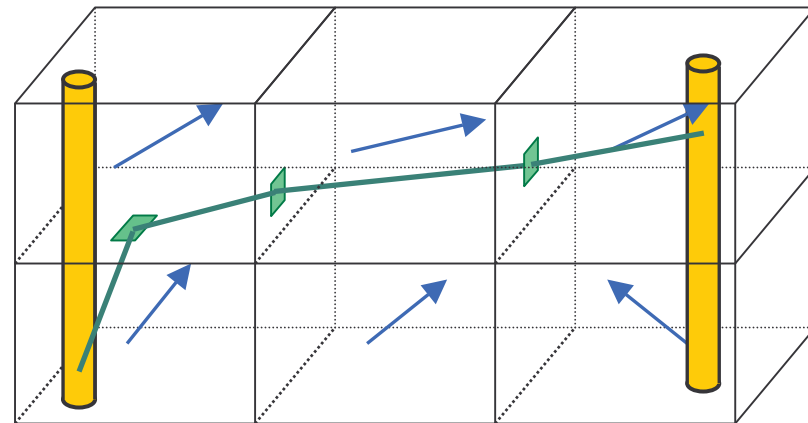
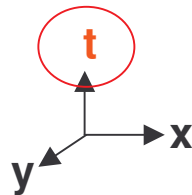
Contributions: techniques avancées de planification de trajectoire
en présence de courants

- Gestion des courants forts
- Gestion des courants variables dans le temps

Contributions: techniques avancées de planification de trajectoire en présence de courants

- Gestion des courants forts
- Gestion des courants variables dans le temps

Continuité des travaux:
Fusion les deux approches





Trajectory Planning For UAVs in Presence of Winds

Michaël SOULIGNAC

Artificial Intelligence Laboratory
THALES Aerospace