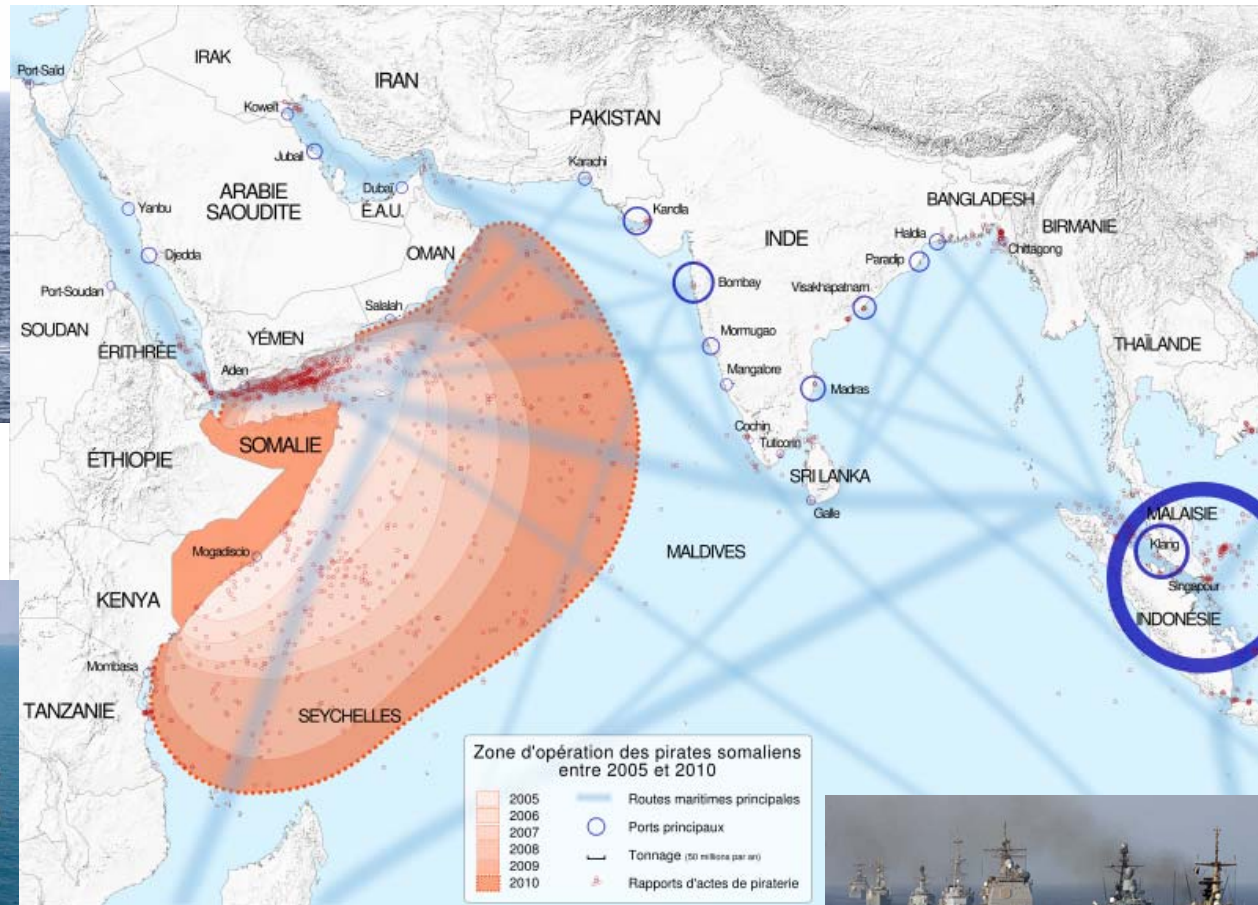


Coordination de robots pour l'aide à la protection de bâtiments de surface
Séminaire autonomie et sécurité
Journée du GDR Robotique
ONERA Toulouse

Stéphane Le Ménéec
MBDA-F / Le Plessis-Robinson
Lundi 4 juin 2012

Référence document : N° GED : 2012 SLM 215755-v1

Solutions robotiques pour la protection de bâtiments de surface au mouillage ou en convoi (actes de pirateries)



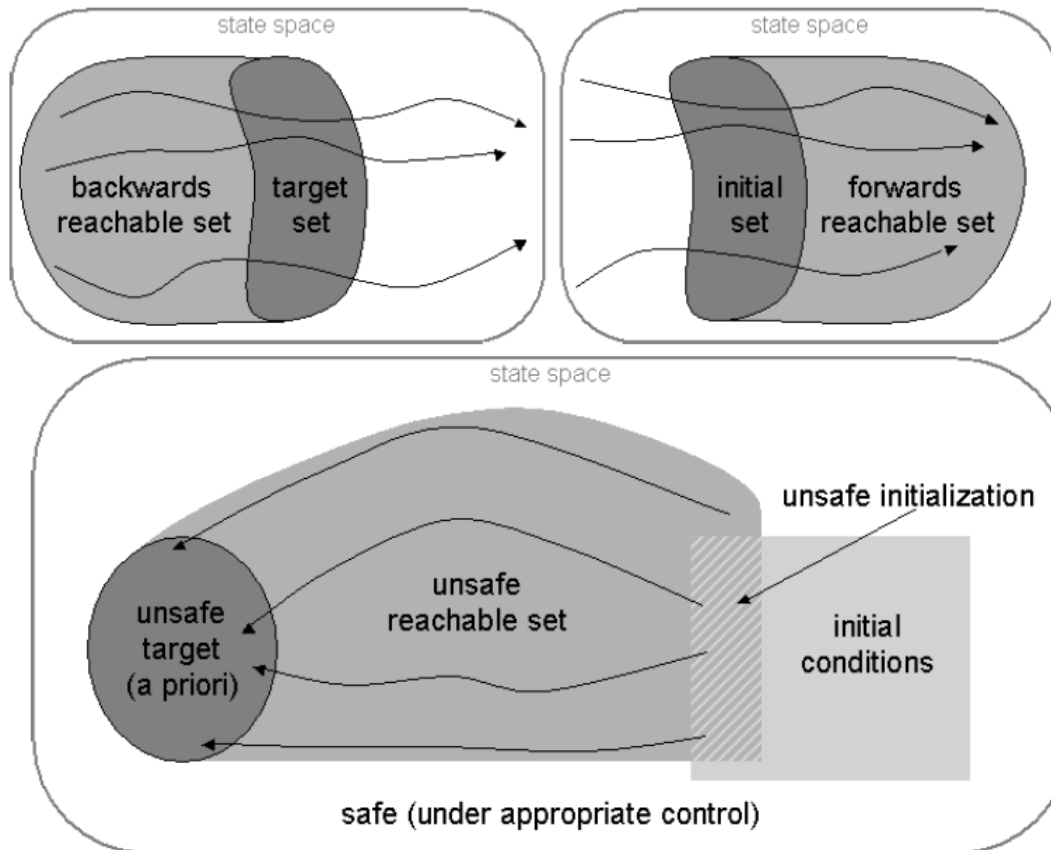
Photos Wikipédia (« USS Cole bombing »)



- Coordination of bateaux semi-rigides autonomes pour la détection et l'interception (dissuader, bloquer) des menaces du type vedettes rapides avant l'arrivée si nécessaire d'une équipe d'intervention (commando)
- La flotte est composée de bateaux amis à protéger / escorter entourés par des bateaux aux intentions incertaines
- L'objectif premier est de garantir qu'aucune menace (à caractéristiques et nombre maximum supposés) ne peut pénétrer un paramètre de sécurité sans être détectée et bloquée par un bateau robot
- Il s'agit de définir et valider (aspect « safety ») un schéma de guidage (de coordination)
- Il faut notamment évaluer le nombre minimum de robots à utiliser
- Minimiser le nombre de robots nécessaires peut être également important

- Aspects sécurité des applications robotiques autonomes:
 - Sécurité des communications et des accès (pas abordée)
 - Pas de dommage à l'humain, à l'environnement, à la plateforme (aspect « safety »)
 - Nécessité de Validation et Vérification (V&V) des systèmes
- Besoin de définir des standards et de réaliser un travail de certification
- Rôle également des architectures matériel et réseau
- Nombreuses capacités à valider:
 - Par exemple, nécessité d'avoir une fonction « Situation Awareness » (fonction de l'autonomie des véhicules)
 - Une fonction état du système
 - La capacité voir et éviter pour les drones aériens (insertion dans le trafic aérien)
 - Une capacité de réaction en cas de panne du véhicule ...

-> La présentation proposée est orientée sur les algorithmes de calcul des états surs et non surs d'un système complexe



[1] : PhD Thesis Ian M. Michell (2002):
"Application of Level Set Methods
to Control and Reachability Problems
in Continuous and Hybrid Systems"

- Dynamique continue, discrète, système hybride
- Extrapolation, commande optimale, jeu (système multi-agents), agents coopératifs ?
- Jeu contre la nature (robustesse)
- Bruit du système, évolution probabiliste, traitement de l'incertain

Systeme hybride (dynamique continue; décisions discrètes)

Calcul des conditions initiales sûres et non sûres

« Backward Reachable Sets »

Résolution d'équations aux dérivées partielles d'Hamilton-Jacobi Bellman Isaacs (HJBI)

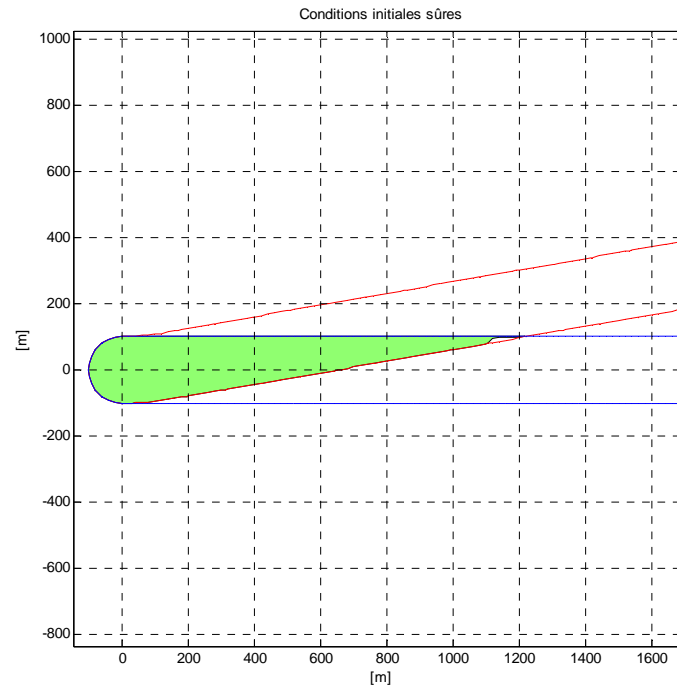
Basé sur la résolution d'équations de viscosité par méthode des « Level Set »

Equations d'HJBI particulières dépendant du temps

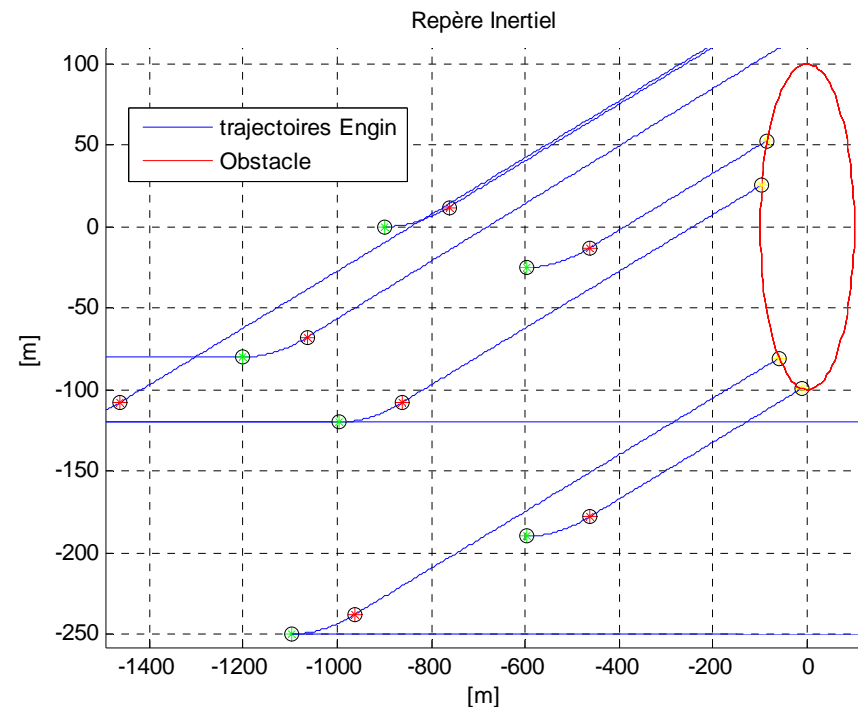
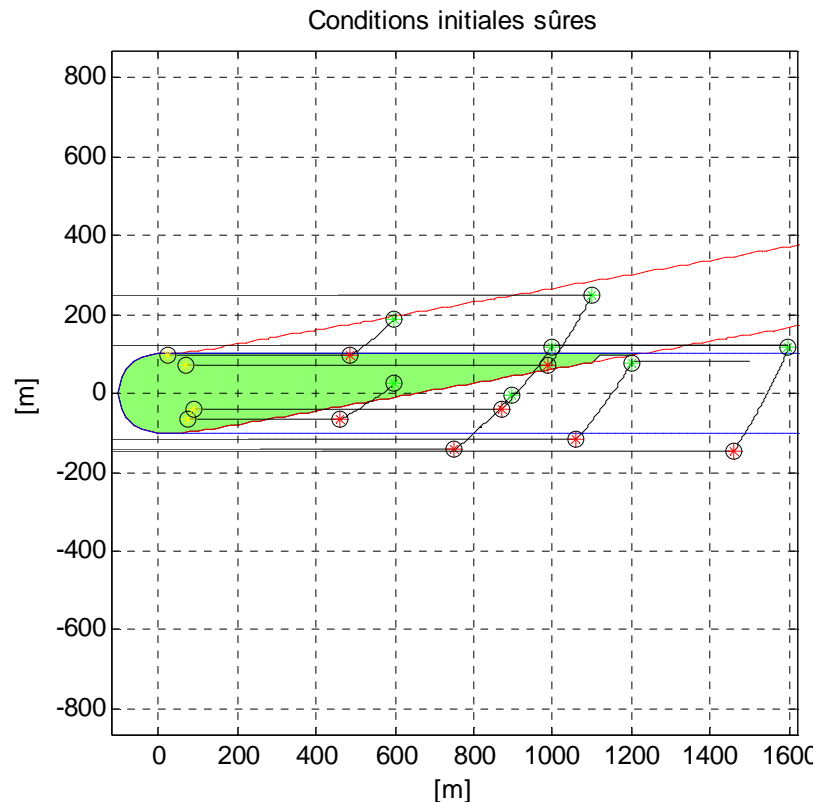
Evaluation d'un protocole d'évasion à 3 modes :

- Ligne droite
- Virage à gauche puis ligne droite après « tMaxCurved »
- Ligne droite puis virage à gauche pendant « tMaxCurved » puis ligne droite

[2] "A Toolbox of Level Set Methods" (Version 1.1) UBC CS TR-2007-11; Ian M. Mitchell;
Department of Computer Science; University of British Columbia

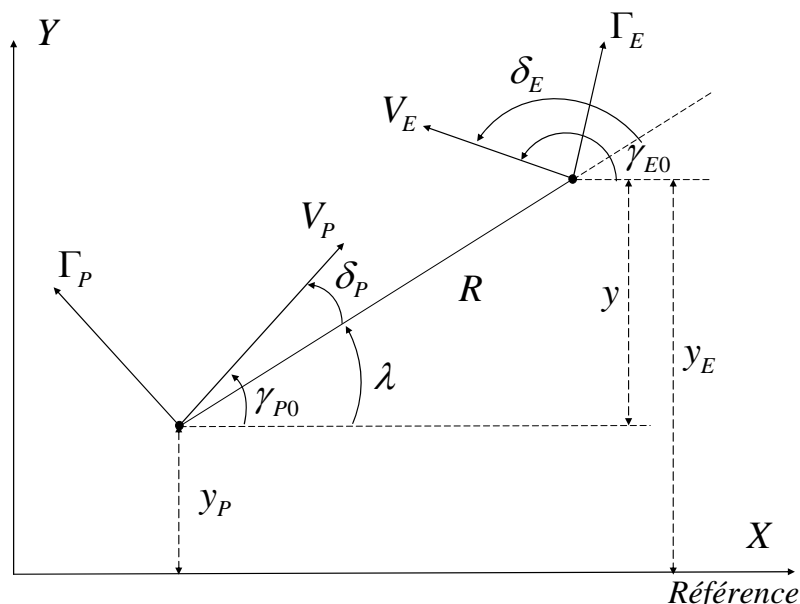


- Représentation centrée sur le véhicule avec axe horizontal porté par le vecteur vitesse
- Conditions initiales sûres (au dessus des lignes bleues ; pas de collision en ligne droite)
- Conditions initiales où l'évitement de collision est possible à condition d'appliquer le protocole d'évitement (zone non verte entre les lignes bleues)
- Conditions non sûres conduisant nécessairement à la collision avec ce protocole d'évitement (zone verte qui contient notamment l'obstacle)



- Figure de gauche : "Reachable Set" avec trajectoires représentées en repère inertiel sur la Figure de droite
- Point vert : début de protocole d'évitement
- Point rouge : fin du virage (après « $t_{MaxCurved}$ » secondes)
- Point jaune : collision

Jeu différentiel linéaire de poursuite évasion à temps final fixe et à commandes bornées



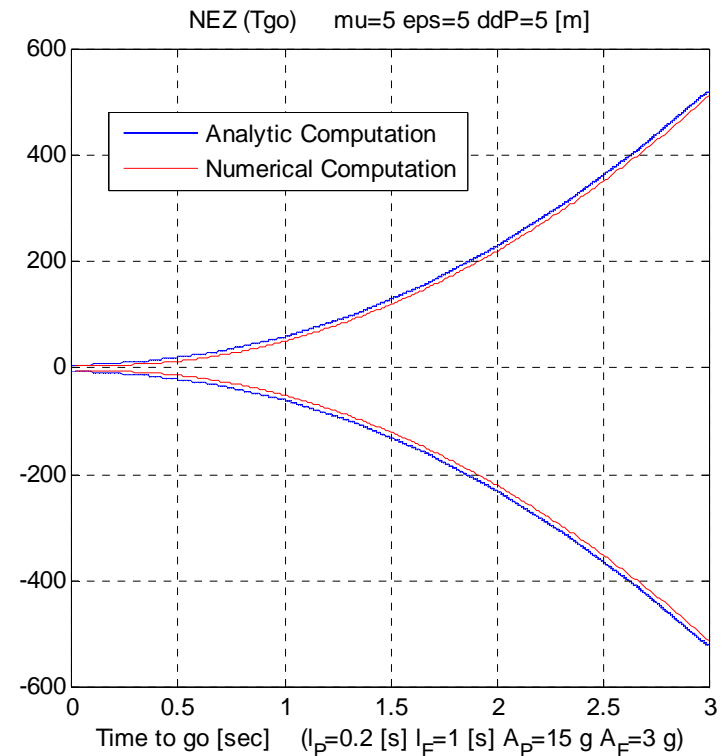
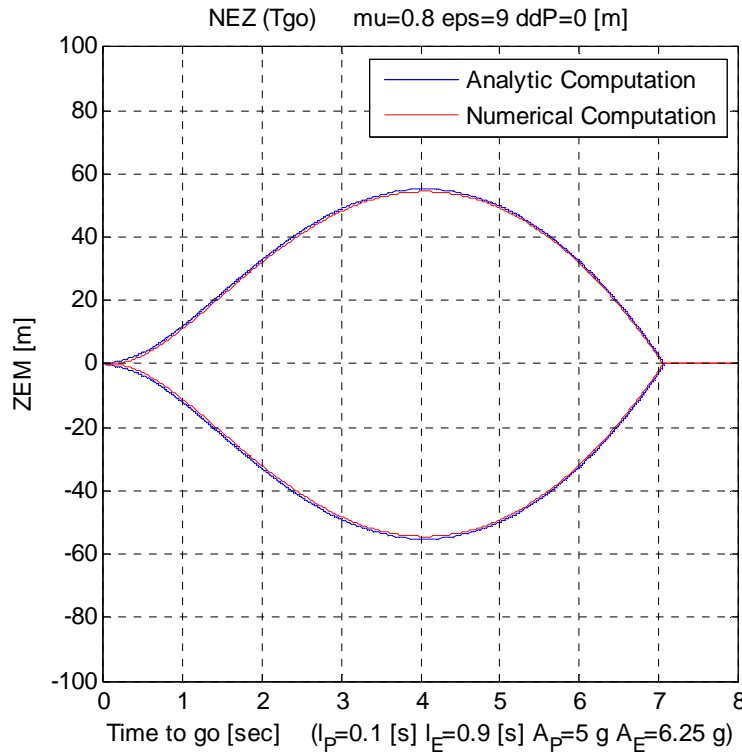
$$\begin{aligned}\ddot{y}_1 &= -a_{P1} + a_E, \\ \dot{a}_{P1} &= (A_{P1}u_1 - a_{P1})/l_{P1} \\ \dot{a}_E &= (A_E v - a_E)/l_E\end{aligned}$$

Changement de repère :

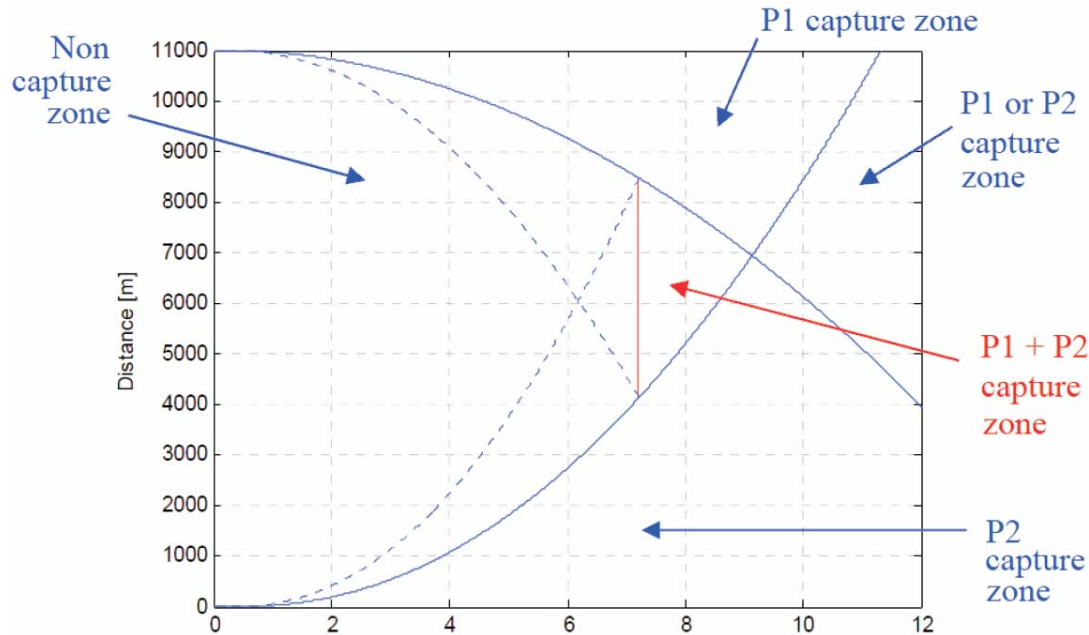
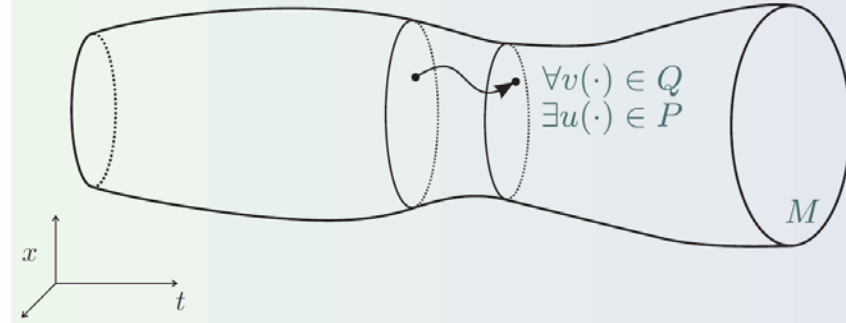
- *ZEM* : distance de passage perpendiculaire y au temps final à commandes u et v nulles
- *Time to Go* : temps restant avant distance horizontale x nulle

[3] Automatica 2003, "Missile guidance laws based on pursuit-evasion game formulations", Vladimir Turetsky, Josef Shinar; N° 39; pages 607 - 618

- Résolution analytique des équations d'HJBI (courbes bleues), construction en marche arrière des frontières entre la zone sûre et non sûre
- Représentation centrée sur le poursuivant à gauche
- Construction numérique en utilisant la « Level Set Toolbox » (courbes rouges)



Algorithme par calcul de « Stable Bridges »



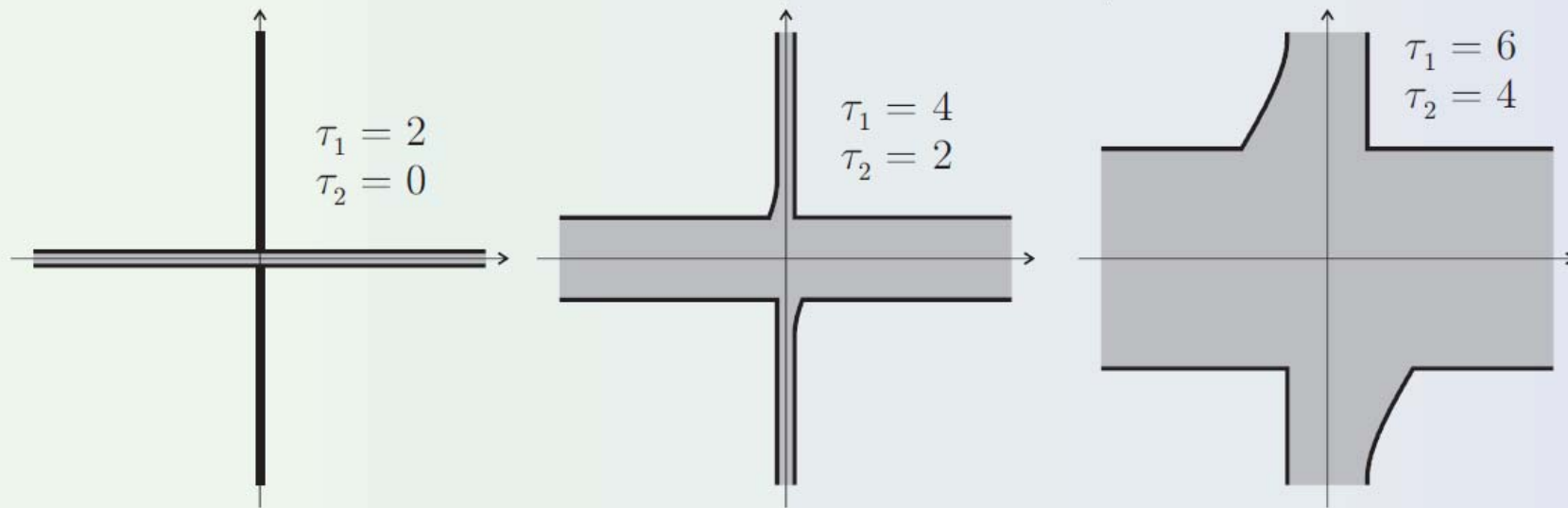
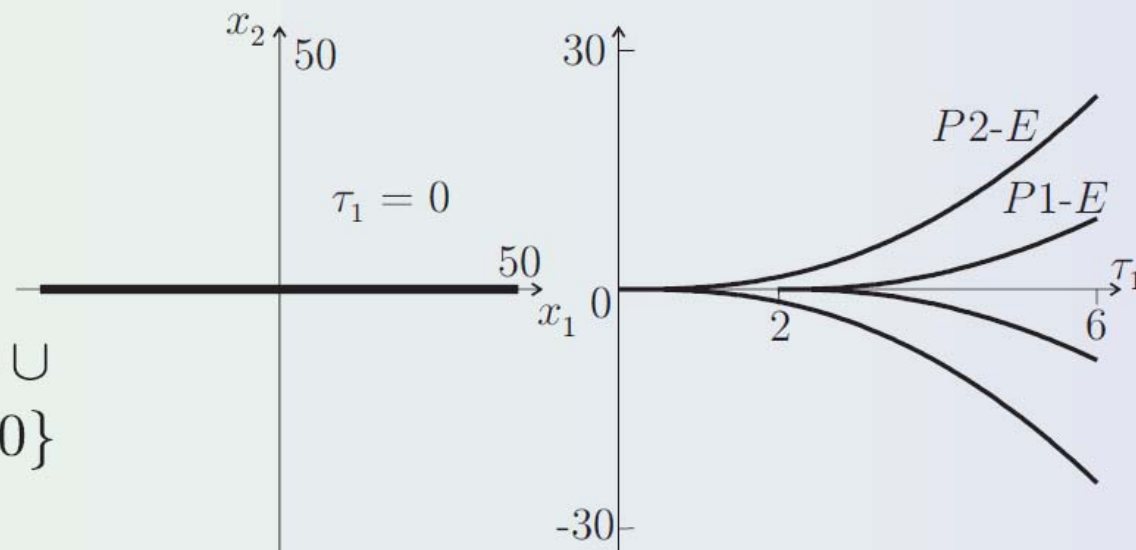
[4] ISDG 2010 (International Symposium on Dynamic Games and Applications), Banff, Alberta, Canada, “Study of a Game with Two Pursuers and One Evader”, S. Ganebny, S. Kumkov, S. Le Ménéec, V. Patsko

$$T_{f1} = 4$$

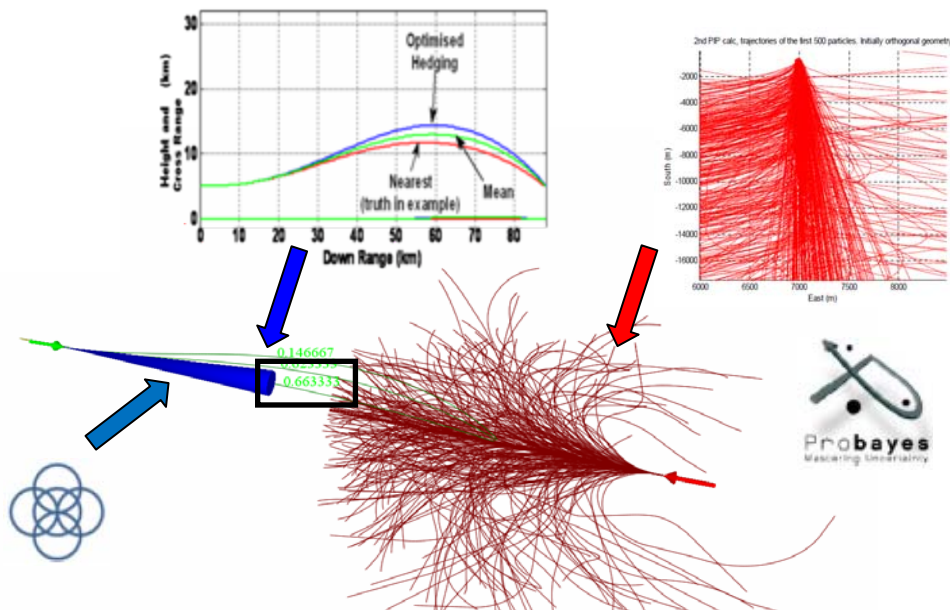
$$T_{f2} = 6$$

Guiding to the set

$$\{t = T_{f1}, x_1 = 0\} \cup \{t = T_{f2}, x_2 = 0\}$$



- Les calcul d'atteignabilité en marche arrière précédemment présentés sont réalisés hors ligne; cependant la dimension du vecteur d'état du système est limitée
- Les calculs d'atteignabilité par simulation en marche avant permettent de considérer des modèles d'engins et de capteurs réalistes
- Calcul de collision de trajectoires; besoin d'évaluer en ligne des milliers de trajectoires



Vidéo

[5] Résultats issus du contrat entre la PME Probayes et MBDA sur le guidage en environnement incertain – Travail financé par le “French - UK Materials and Components for Missiles - Innovation and Technology Partnership (MCM ITP) research programme”

- Il existe d'autres méthodes pour calculer des ensembles d'atteignabilité comme
 - Les méthodes d'estimation à erreurs bornées
 - Les techniques de la viabilité
 - Des techniques à base de Programmation Par Contraintes (PPC) ...
- L'objectif est d'utiliser ces techniques pour valider des schémas de guidage complexes faisant intervenir plusieurs plateformes (robotiques)

Vidéo