



LES MATHÉMATIQUES TIENNENT LA BARRE

Benoîte de Saporta

CQFD
Unithé ou café
Inria Bordeaux Sud Ouest

Sommaire

Présentation de CQFD

Problème posé par DCNS

Solution proposée par CQFD

Résultats numériques

Perspectives



CQFD Contrôle de Qualité et Fiabilité Dynamique

Thèmes de recherche

- ▶ **Modélisation** de systèmes complexes avec comportement aléatoire
- ▶ **Estimation** des paramètres du modèle, des performances du système
- ▶ **Contrôle** optimisation des performances, de la maintenance, de trajectoires

Outils

Probabilités et statistique



CQFD Contrôle de Qualité et Fiabilité Dynamique

Domaines d'application

- ▶ **Fiabilité dynamique** modélisation du fonctionnement d'un **réservoir chauffé** (ANR), modélisation du circuit secondaire d'une **centrale nucléaire** (EDF), durée de service et optimisation de la maintenance d'un **missile** (Astrium), modélisation d'une **caméra optronique** (Thales optronique)
- ▶ **Optimisation** de **trajectoires** de sous-marins (DCNS)
- ▶ **Evaluation** de la **qualité** de l'air (Ademe) et de l'eau (Cemagref, ANR), du **trafic** fluvial (VNF)

CQFD Contrôle de Qualité et Fiabilité Dynamique

Membres permanent(e)s



François
Dufour
IPB



Marie
Chavent
U. Bx2



Benoîte de
Saporta
U. Bx4



Anne
Gégout-Petit
U. Bx2

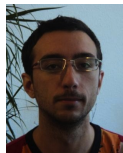


Jérôme
Saracco
IPB



Huilong
Zhang
U. Bx1

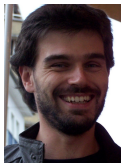
Doctorant(e)s



Romain
Azaïs
ANR



Camille
Baysse
Cifre Thales



Adrien
Brandejsky
Astrium



Raphaël
Coudret
MENRT



Laurent
Vézard
Aquitaine

Sommaire

Présentation de CQFD

Problème posé par DCNS

Solution proposée par CQFD

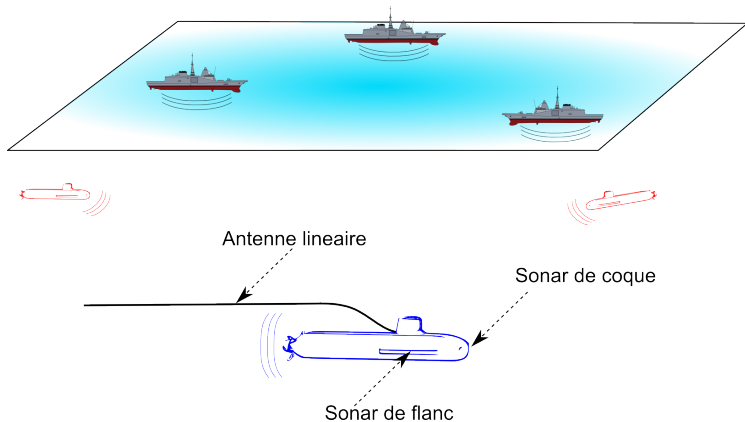
Résultats numériques

Perspectives



Problème posé par DCNS

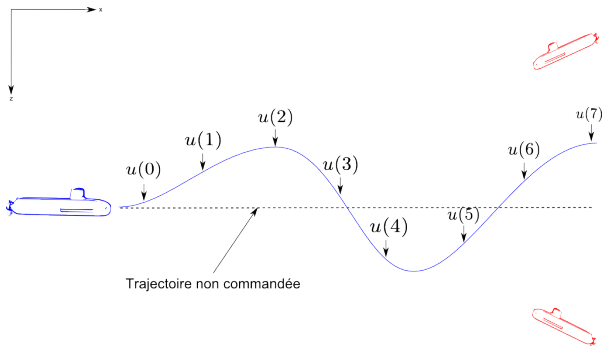
Un sous-marin avec des **senseurs** entourés de **cibles**



Mission du sous-marin

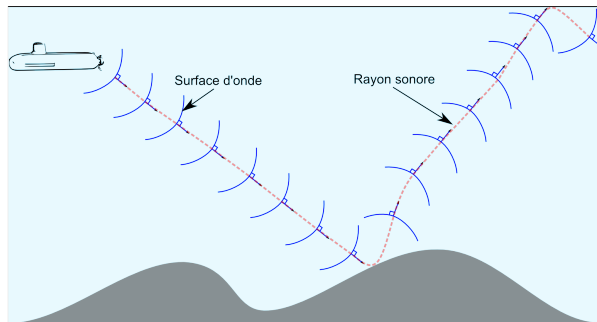
Objectif

Proposer une trajectoire optimale au sous-marin pour remplir sa mission route de chasse : écouter au mieux les cibles pour faire feu



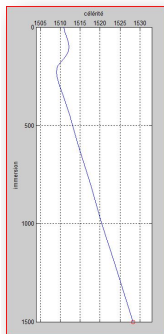
Propagation du son dans l'eau

- ▶ milieu sous-marin complexe, non homogène, fluctuant
- ▶ température, salinité, vitesse du son dans l'eau
- ▶ réflexions sur les fonds marins, la surface

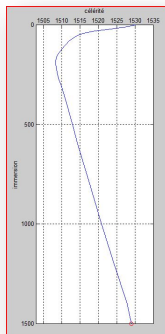


Profils de vitesse du son dans l'eau

Méditerranée

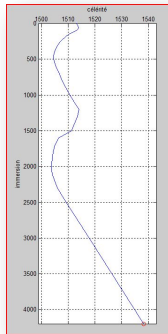


Été

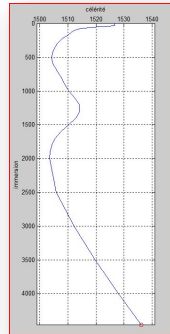


Hiver

Atlantique

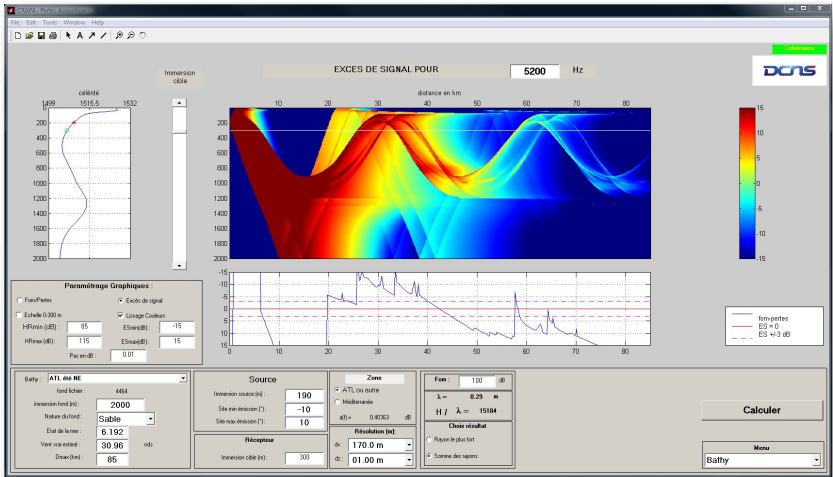


Été



Hiver

Code DCNS



Sommaire

Présentation de CQFD

Problème posé par DCNS

Solution proposée par CQFD

Résultats numériques

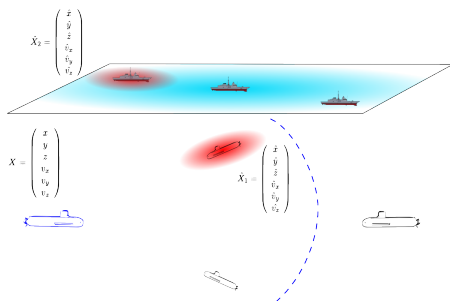
Perspectives



Solution proposée par CQFD

Première étape : Modélisation

- ▶ position et vitesse du sous-marin **connues**
- ▶ position et vitesse des cibles **aléatoires** : mouvement rectiligne à vitesse constante + **bruit**



Deuxième étape : discrétisation

Objectif

Transformer un problème **continu** en temps et en espace en un problème **discret** en temps et en espace

Discrétisation du temps

Pas de temps $\Delta t = 1$ minute

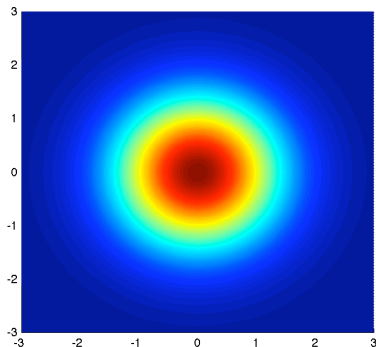
Discrétisation du mouvement du sous-marin

Grille d'immersion $\Delta z = 6$ mètres, variation maximale de l'immersion sur un pas de temps $\pm 4\Delta z$



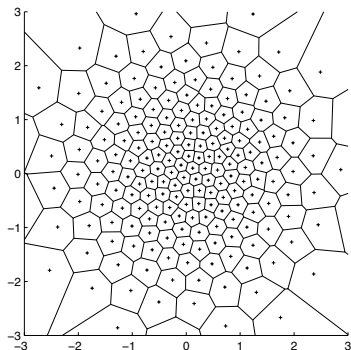
Discrétisation des cibles

Transformer des variables aléatoires **continues** (position et vitesse des cibles) en variables **discrètes** de façon **intelligente**



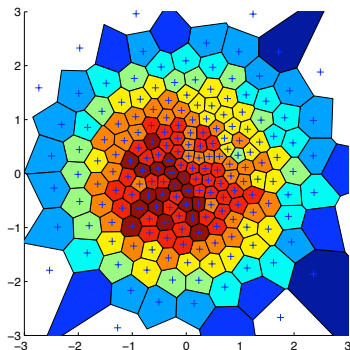
Discrétisation des cibles

Transformer des variables aléatoires **continues** (position et vitesse des cibles) en variables **discrètes** de façon **intelligente**



Discrétisation des cibles

Transformer des variables aléatoires **continues** (position et vitesse des cibles) en variables **discrètes** de façon **intelligente**



Troisième étape : formulation du problème mathématique

Processus de Décision Markoviens (MDP)

$$(X, A, \{A(x), x \in X\}, Q, c)$$

- ▶ X espace d'état, **positions** possibles du sous-marin et des cibles
- ▶ A espace des actions, **changements possibles de l'immersion** du sous-marin
- ▶ $A(x)$ actions possibles sachant qu'on est en configuration x
- ▶ Q noyau Markovien, donne les **nouvelles positions aléatoires** des cibles à chaque pas de temps
- ▶ c fonction de performance qui détermine la récompense associée à chaque action, **acoustique**

Exemples d'utilisation des MDP

- ▶ sous-marins
- ▶ **logistique** gestion d'un entrepôt, choix des dates et seuils de restockage (minimiser les coûts de stockage)
- ▶ **finance** exercice d'une option américaine (maximiser le gain)
- ▶ **fiabilité** maintenance de systèmes complexes, choix des dates d'intervention et des types de réparation (minimiser le coût de la maintenance, maximiser la productivité)
- ▶ **médecine** choix des dates de changement de médicaments dans les tri-thérapies (minimiser les effets secondaires)
- ▶ ...

Programmation dynamique

Problème de contrôle optimal

Trouver la stratégie $(a_0, a_2, \dots, a_{N-1})$ qui maximise la performance

$$J^*(x_0) = \max_{(a_0, a_2, \dots, a_{N-1})} \mathbb{E} \left[\sum_{n=0}^{N-1} c(x_n, a_n) + c(x_N) \right]$$

Résolution par programmation dynamique

- ▶ $J_N(x) = c(x)$
- ▶ $J_n(x) = \max_{a \in A(x)} \mathbb{E} \left[c(x, a) + \int J_{n+1}(y) Q(x, a; dy) \right]$

Sommaire

Présentation de CQFD

Problème posé par DCNS

Solution proposée par CQFD

Résultats numériques

Perspectives



Résultats numériques

Deux cibles

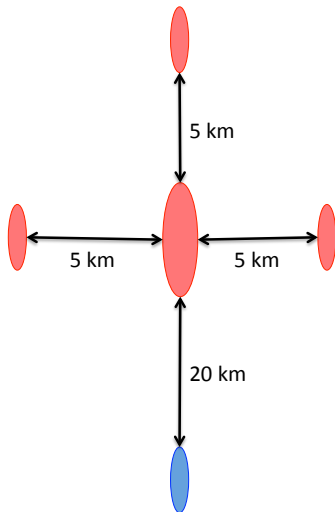
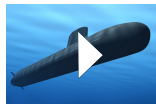
- ▶ immersion des cibles : 500*m* et 100*m*, du sous-marin : 300*m*
- ▶ distance initiale des cibles et du sous-marin : 50*km*
- ▶ vitesse initiale relatives des cibles par rapport au sous-marin : -12ms^{-1}
- ▶ horizon de calcul : 45*min*



Résultats numériques

Quatre cibles

- ▶ immersion des cibles : 600m, 300m, 100m et 400m, du sous-marin : 300m
- ▶ vitesses initiales des cibles : 20 noeuds, du sous-marin : 25 noeuds
- ▶ horizon de calcul : 45 minutes



Sommaire

Présentation de CQFD

Problème posé par DCNS

Solution proposée par CQFD

Résultats numériques

Perspectives



Perspectives

- ▶ pilotage 3D du sous-marin → algorithmes plus performants
- ▶ autre type de mission : route de dérobement (s'échapper sans être détecté) avec position finale imposée → contraintes
- ▶ prise en compte des fonds marins
- ▶ ...
- ▶ stage de master 2 recherche et thèse DCNS

MERCI

Inria

Capitaine Matheux,
seul maître à bord
après Dieu...

