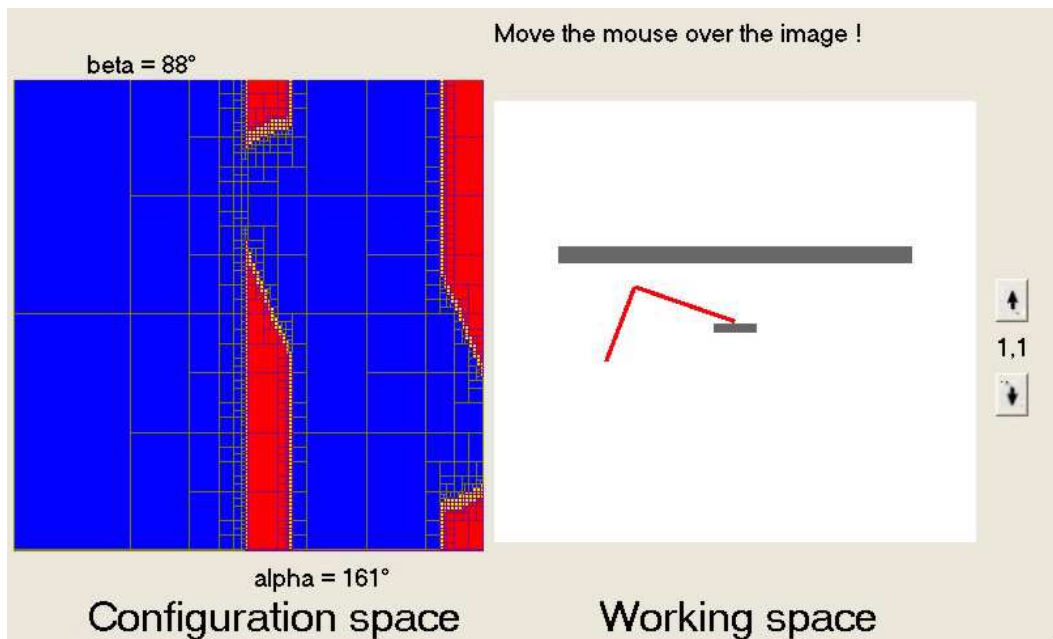


Anticollision : difficultés et méthodes

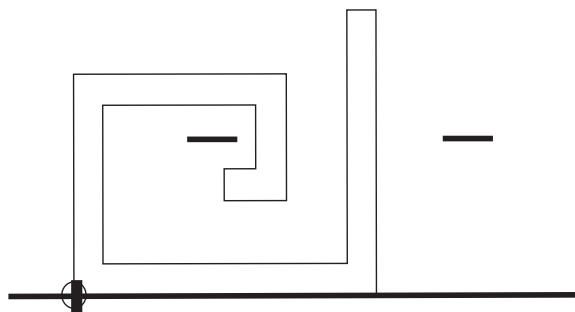
Journée sur les nouvelles technologies de la sécurité en
mer

Luc Jaulin
ENSIETA, Brest

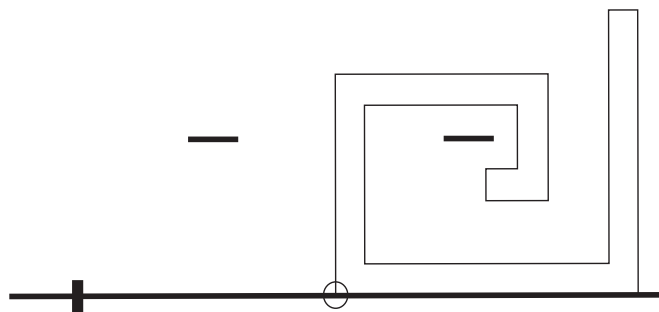
1 Espace de configuration



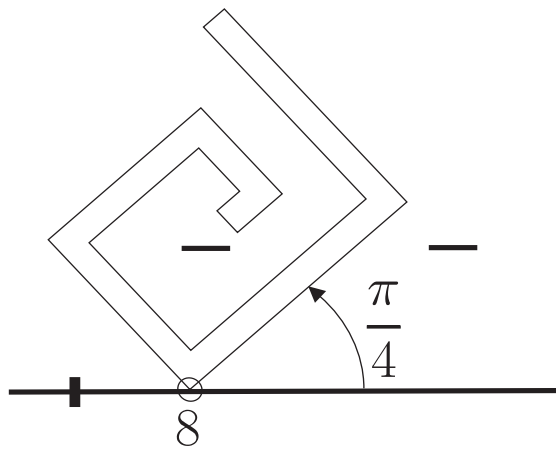
2 Planification de chemin



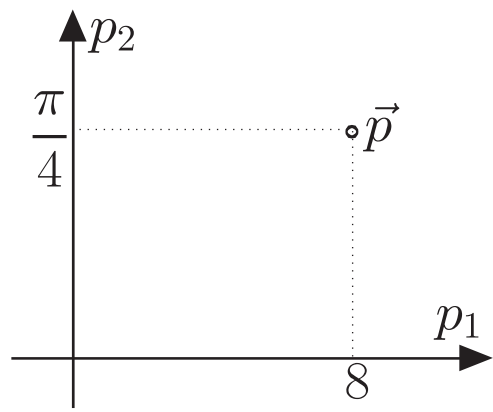
Initial configuration: $\vec{p} = (0 \ 0)^T$



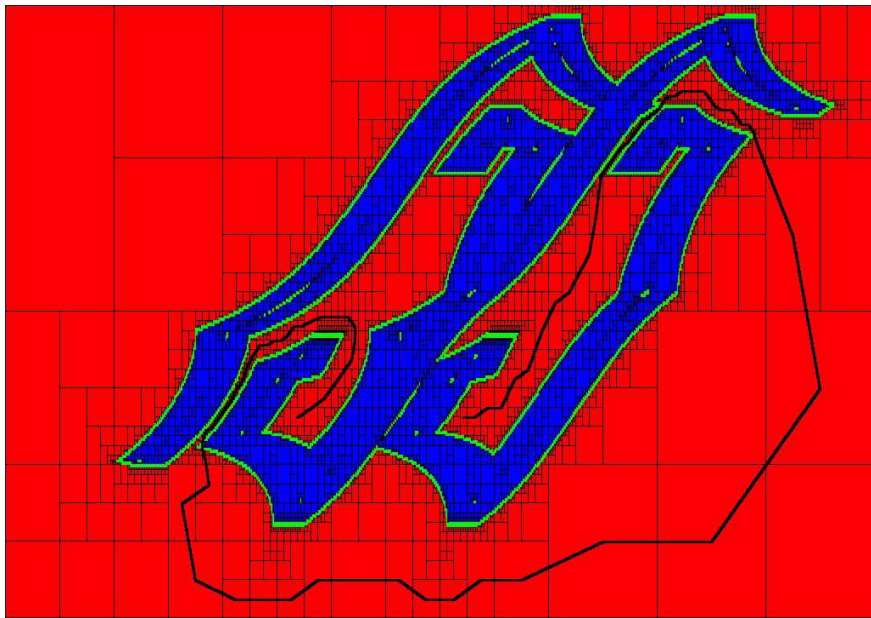
Goal configuration: $\vec{p} = (17 \ 0)^T$

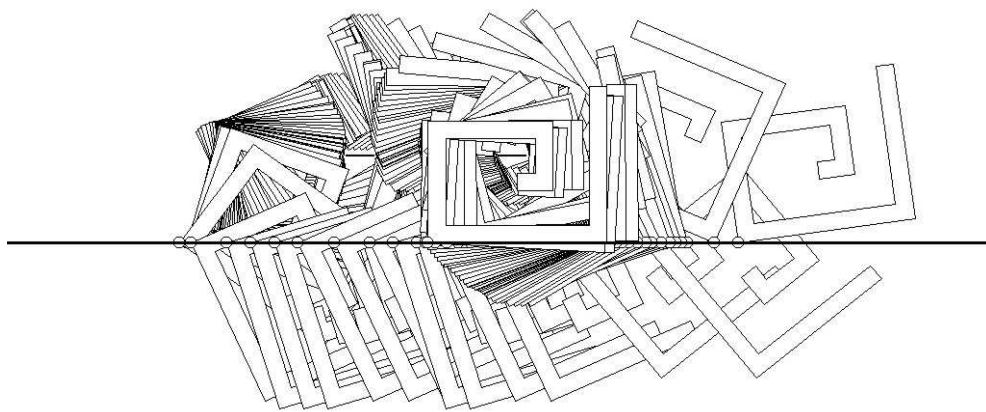


Room



Configuration space





3 Cas des systèmes dynamiques

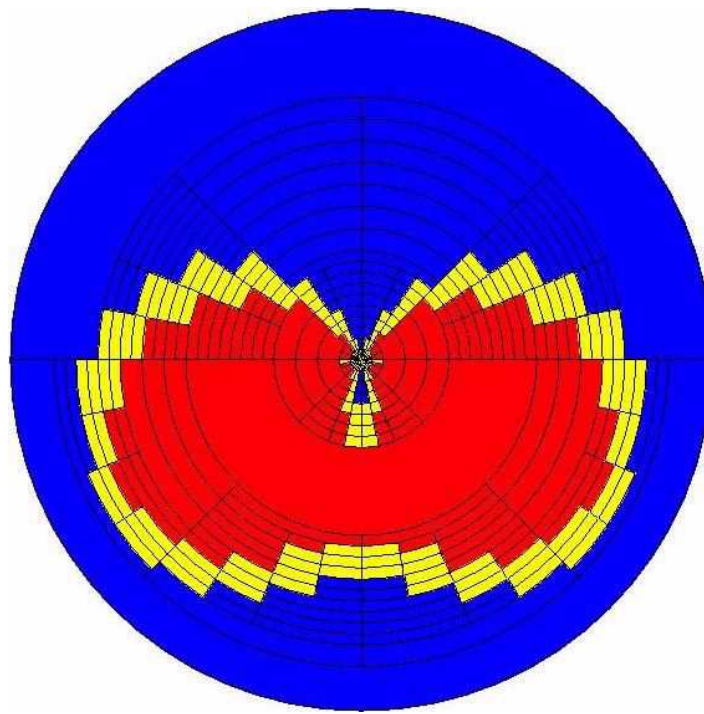
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{p}) & (\text{équation d'état}) \\ \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0} & (\text{obstacles}) \\ \mathbf{x}(\infty) \in C. & (\text{cible}) \end{cases}$$

3.1 Exemple du bateau à voile

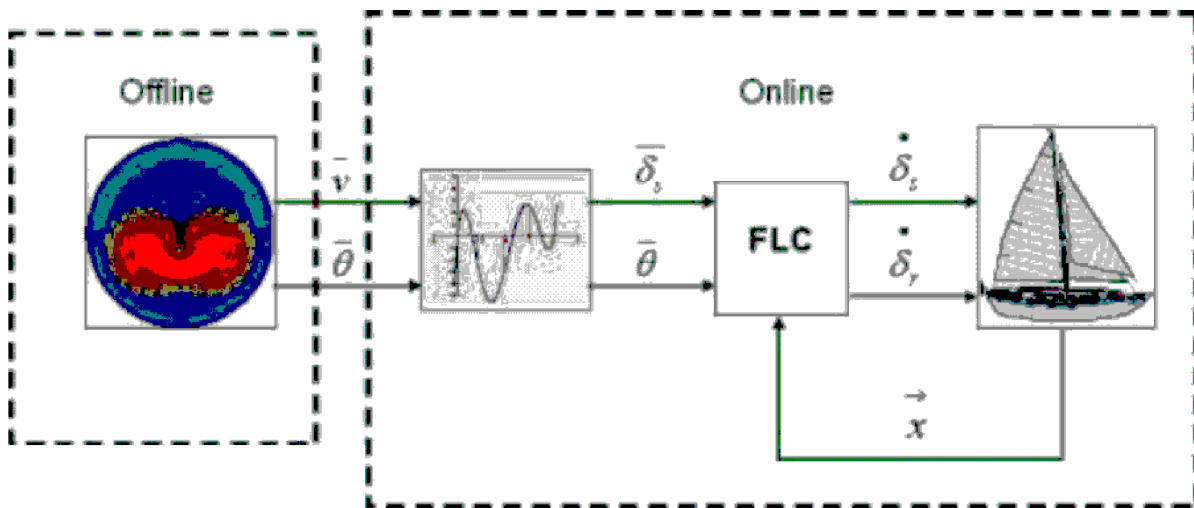
$$\left\{ \begin{array}{lcl} \dot{x} & = & v \cos \theta \\ \dot{y} & = & v \sin \theta - \beta V \\ \dot{\theta} & = & \omega \\ \dot{\delta}_s & = & u_1 \\ \dot{\delta}_r & = & u_2 \\ \dot{v} & = & \frac{f_s \sin \delta_s - f_r \sin \delta_r - \alpha_f v}{m} \\ \dot{\omega} & = & \frac{(\ell - r_s \cos \delta_s) f_s - r_r \cos \delta_r f_r - \alpha_\theta \omega}{J} \\ f_s & = & \alpha_s (V \cos (\theta + \delta_s) - v \sin \delta_s) \\ f_r & = & \alpha_r v \sin \delta_r. \end{array} \right.$$

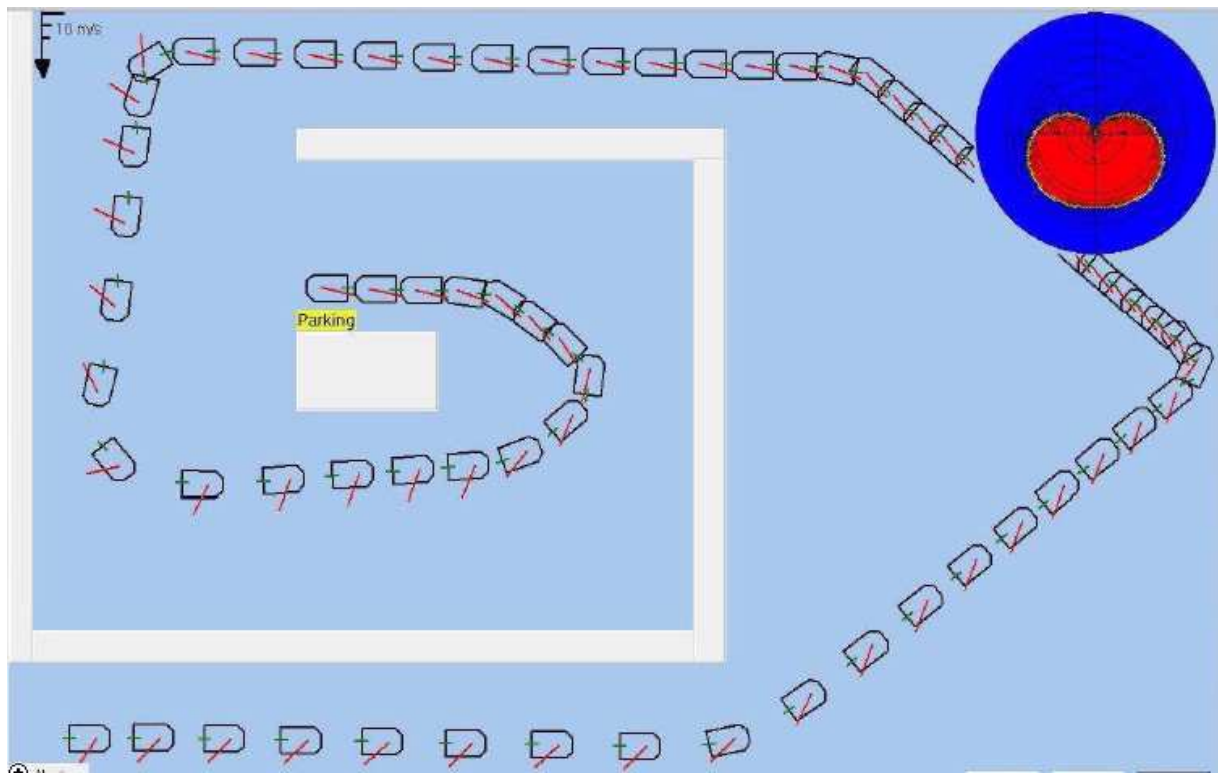
3.2 Polaire des vitesses

$$\mathbb{W} = \{ (\theta, v) \mid \begin{array}{l} \exists(\omega, u_1, u_2, f_s, f_r, \delta_r, \delta_s) \\ \omega = 0, u_1 = 0, u_2 = 0 \\ f_s \sin \delta_s - f_r \sin \delta_r - \alpha_f v = 0 \\ (\ell - r_s \cos \delta_s) f_s - r_r \cos \delta_r f_r = 0 \\ f_s = \alpha_s (V \cos (\theta + \delta_s) - v \sin \delta_s) \\ f_r = \alpha_r v \sin \delta_r \end{array} \}.$$



3.3 Controle





4 Eviter la collision

4.1 Fenêtre d'arrêt

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{p}), \quad \mathbf{p} \in [\mathbf{p}] \quad (\text{équation d'état})$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}, \mathbf{q}), \quad \mathbf{q} \in [\mathbf{q}] \quad (\text{stratégie d'arrêt de paramètre } \mathbf{q})$$

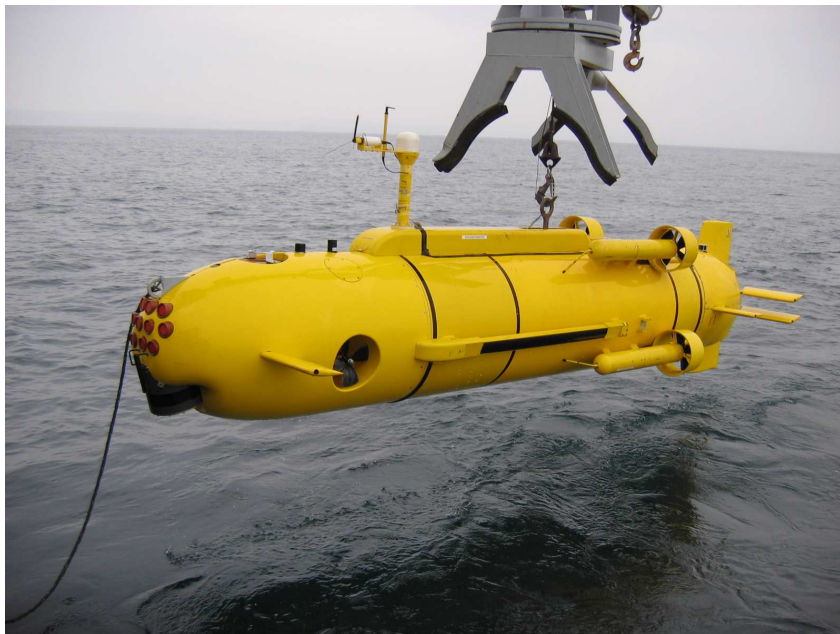
On définit

$$\mathbb{X}_{\mathbf{q}}(\mathbf{x}) = \{\mathbf{x}_1, \exists t \geq 0, \exists \mathbf{p} \in [\mathbf{p}], \mathbf{x}_1 = \varphi_t(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{q})\}$$

La *fenêtre d'arrêt* associée est

$$\mathbb{A}_{\mathbf{q}}(\mathbf{x}) = \text{proj}_{x,y,z} \mathbb{X}_{\mathbf{q}}(\mathbf{x}).$$

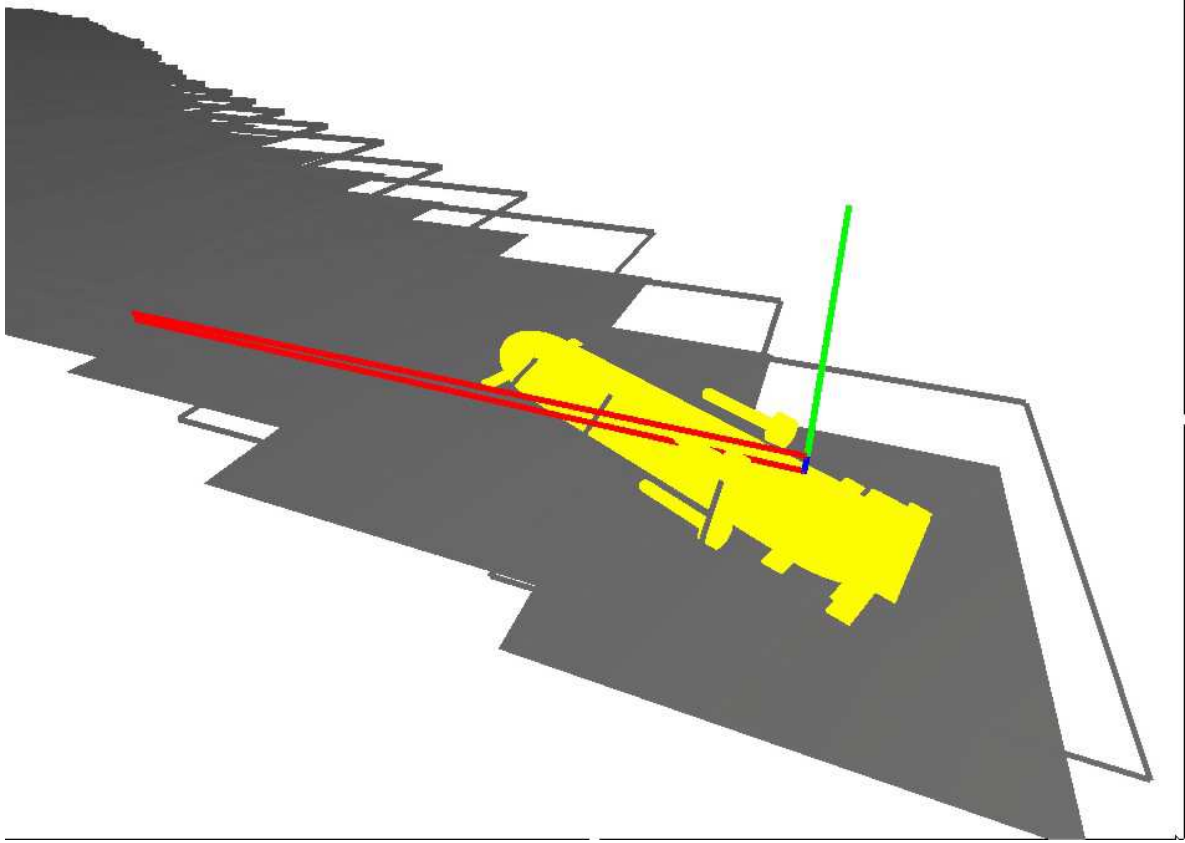
Si, pour un $\mathbf{q}$ donné, la fenêtre d'arrêt est sans obstacle, le système est dit *en sécurité*.

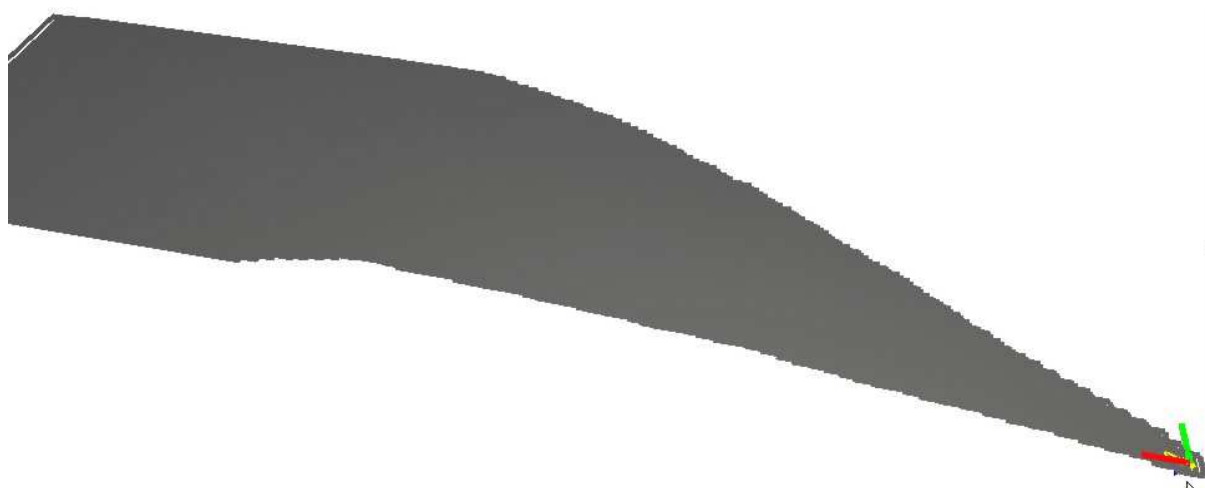


Le *Redermor* (GESMA)

Equations d'état du sous marin

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \dot{x} & = & v \cos \theta \\ \dot{y} & = & v \sin \theta \\ \dot{z} & = & \alpha_z u_3 \\ \dot{\theta} & = & \alpha_e (u_2 - u_1) \\ \dot{v} & = & \alpha_p (u_1 + u_2) \end{array} \right.$$





4.2 Stratégie de contrôle

On choisit une trajectoire $\mathbf{x}(t)$ qui nous garantisse que, pour tout t , le système soit toujours en sécurité.

4.3 Plusieurs véhicules

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}_i &= \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{u}_i, \mathbf{p}_i), \quad \mathbf{p}_i \in [\mathbf{p}_i] && (i\text{ème véhicule}) \\ \mathbf{u}_i &= \mathbf{u}_i(\mathbf{x}_i) && (i\text{ème contrôle})\end{aligned}$$

Condition de collision :

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n) \leq \mathbf{0}$$

En posant

$$\mathbf{x} = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n), \quad \mathbf{u} = (\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n),$$

$$\mathbf{p} = (\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n) \text{ et } \mathbf{f} = (\mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_n),$$

la condition de collision s'écrit

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}(\mathbf{x}), \mathbf{p}), \quad \mathbf{p} \in [\mathbf{p}]$$

$$\exists t, \mathbf{g}(\mathbf{x}(t)) \leq \mathbf{0}$$

Si le système différentiel

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}(\mathbf{x}), \mathbf{p}), \quad \mathbf{p} \in [\mathbf{p}] \\ \exists t, \mathbf{g}(\mathbf{x}(t)) &\leq \mathbf{0}\end{aligned}$$

n'a pas de solution, alors, il ne peut y avoir collision.

5 Méthodes de résolution

Le calcul des espaces de configuration, des fenêtres d'arrêt, les preuves de non-collision, . . . peuvent être obtenues avec les techniques de calcul ensembliste utilisant le calcul par intervalles.

