

# Application : A class America's cup 2013 Retour

Le son est piloté depuis la barre en bas de l'écran.

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6



## Cours 6: Application: A class America's cup



Contrôle de tangage à l'aide des foils

Le tacking

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## *PLAN DU COURS 6*

Document pour le projet : **AC**

- 1 Le modèle dynamique du bateau**
  - Le principe du foil
  - Modèle utilisé
  - Vitesse apparente vue du safran
  - Vitesse apparente vue du foil
- 2 Linéarisation**
  - Modèle linéarisé en "croisière"
  - Etude de la stabilité
  - Stabilisation et contrôle
- 3 Lois de contrôle**
  - Loi de contrôle exacte
  - Contrôle en butées
  - Contrôle utilisé par l'équipe OTUSA
- 4 QCM 6**

# Le principe du foil [Retour](#)

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

### Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

### Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

### Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

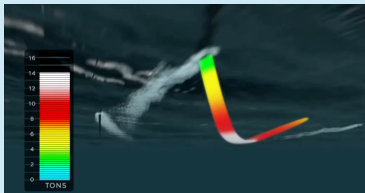
Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## Principe du *foil*

Le bateau est soumis à deux forces : la poussée vélique (propulsion) et celle de l'eau (antidérive et décollage).



Il faut éviter l'enfournement, tout en limitant la traînée. Il n'y a pas de gouverne arrière (flaperons). Le foil assure à la fois la portance et le contrôle.

## Pilotage du *foil*

Le pilotage est manuel (coefficients des verrins) comme sur les vieux avions.



# Le modèle en tangage-pilonnement Retour

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

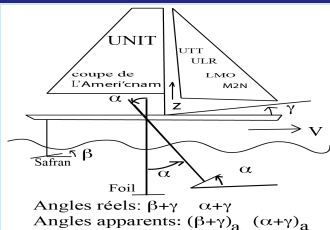
Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

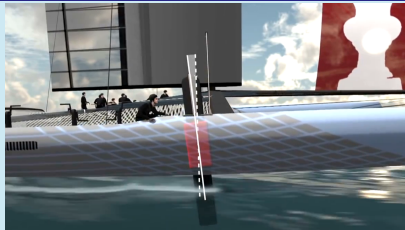
Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## Le schéma de principe Zoom ↓



## Le schéma de montage *in situ*



## 2DDL : tangage $\gamma$ , le pilonnement en $O$ est $z$ ; $\beta$ fixé, $\alpha$ le contrôle

( $G$  est en arrière du pont  $O$  si  $a > 0$  et en avant si  $a < 0$ ; les moments sont estimés en  $O$ .)

$$M\ddot{z} - aM \cos(\gamma)\ddot{\gamma} = -Mg + \frac{\rho S_s |V_{as}|^2}{2} C_{zs}((\beta + \gamma)_a) + \frac{\rho S_f |V_{af}|^2}{2} C_{zf}((\alpha + \gamma)_a),$$

$$-aM \cos(\gamma)\ddot{z} + J_0 \ddot{\gamma} = -M_0 + \frac{\rho S_s L |V_{as}|^2}{2} C_{ms}((\beta + \gamma)_a) + \frac{\rho S_f L |V_{af}|^2}{2} C_{mf}((\alpha + \gamma)_a) + \frac{g}{2}$$

$$[S_f d_f \sin(\alpha + \gamma) |V_{af}|^2 C_{zf}((\alpha + \gamma)_a) - S_s (h \cos(\gamma) - d_s \sin(\gamma)) |V_{as}|^2 C_{zs}((\beta + \gamma)_a)]$$

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

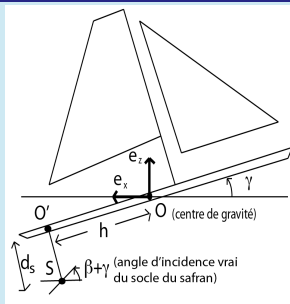
Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## Les angles $\beta$ et $\gamma$



Zoom ↑

## Vitesse du point S

(z est le pilonnement en O)

$$\mathbf{V}_S = (\dot{z} - \dot{\gamma}(h \cos(\gamma) - d_s \sin(\gamma)))\mathbf{e}_z - \dot{\gamma}(h \sin(\gamma) + d_s \cos(\gamma))\mathbf{e}_x$$

## Vitesse apparente vue de S

$$\mathbf{V}_{as} = (V + \dot{\gamma}(h \sin(\gamma) + d_s \cos(\gamma)))\mathbf{e}_x - (\dot{z} - \dot{\gamma}(h \cos(\gamma) - d_s \sin(\gamma)))\mathbf{e}_z$$

## Module de la vitesse apparente en S

$$|\mathbf{V}_{as}|^2 = (V + \dot{\gamma}(h \sin(\gamma) + d_s \cos(\gamma)))^2 + (\dot{z} - \dot{\gamma}(h \cos(\gamma) - d_s \sin(\gamma)))^2$$

## Incidence apparente du pied du safran

$$(\beta + \gamma)_a = \arcsin\left(\frac{[\mathbf{V}_{as} \wedge (\cos(\beta + \gamma)\mathbf{e}_x - \sin(\beta + \gamma)\mathbf{e}_z)] \cdot \mathbf{e}_y}{|\mathbf{V}_{as}|}\right)$$

$$\mathbf{OS} = (h \cos(\gamma) - d_s \sin(\gamma))\mathbf{e}_x - (h \sin(\gamma) + d_s \cos(\gamma))\mathbf{e}_z$$

**NB : On suppose que la poussée hydrodynamique est en S.**

# Vitesse apparente vue du foil

Retour

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

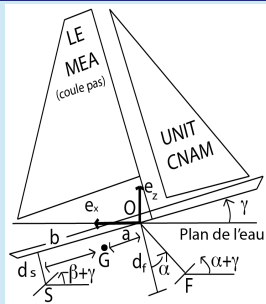
Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## Vitesse et angles du foil



Zoom ↑  $h = a + b = |O'O|$

## Vitesse du point F (z est le pilonnement en O)

$$V_f = (\dot{z} + \dot{\gamma} d_f \sin(\gamma + \alpha)) e_z - \dot{\gamma} d_f \cos(\gamma + \alpha) e_x$$

## Vitesse apparente vue de F

$$V_{af} = (V + \dot{\gamma} d_f \cos(\gamma + \alpha)) e_x - (\dot{z} + \dot{\gamma} (d_f \sin(\gamma + \alpha))) e_z$$

## Module de la vitesse apparente en F

$$|V_{af}|^2 = (V + \dot{\gamma} d_f \cos(\gamma + \alpha))^2 + (\dot{z} + \dot{\gamma} d_f \sin(\gamma + \alpha))^2$$

## Incidence apparente du socle du foil

$$(\alpha + \gamma)_a = \arcsin\left(\frac{[V_{af} \wedge (\cos(\alpha + \gamma) e_x - \sin(\alpha + \gamma) e_z)] \cdot e_y}{|V_{af}|}\right)$$

$$OF = -d_f \sin(\alpha + \gamma) e_x - d_f \cos(\alpha + \gamma) e_z$$

**NB : On suppose que la poussée hydrodynamique est en F.**

## Cours 6: Application: A class America's cup

En utilisant un simple calcul, on obtient autour de  $\gamma = 0$ ,  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha = \alpha_0$  ( $\delta = \alpha - \alpha_0$ ) est le contrôle (*the rake*) :

$$\begin{aligned} M\ddot{z} - aM\ddot{\gamma} &= F_1 + T_1\gamma + C_{11}\dot{z} + C_{12}\dot{\gamma} + B_1\delta + E_1\dot{\delta}, \\ -aM\ddot{z} + J_0\ddot{\gamma} &= F_2 + T_2\gamma + C_{21}\dot{z} + C_{22}\dot{\gamma} + B_2\delta + E_2\dot{\delta}. \end{aligned}$$

avec : Expressions des  $C_{ij}$  Expressions des  $B_j$  et  $E_j$  Expressions des  $R_j = T_j / (\rho V^2)$

$$\begin{aligned} F_1 &= -Mg + \frac{\rho V^2}{2} (S_S c_{zS}(\beta_0) + S_f c_{zf}(\alpha_0)), & B_1 &= \frac{\rho S_f}{2} \frac{\partial (|V_{af}|^2 c_{zf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \gamma} \\ F_2 &= -M_0 + \frac{\rho L V^2}{2} (S_S c_{ms}(\beta_0) + S_f c_{mf}(\alpha_0)), & B_2 &= \frac{\rho S_f L}{2} \frac{\partial (|V_{af}|^2 c_{mf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \gamma}, \\ C_{11} &= \frac{\rho}{2} \frac{\partial (S_S |V_{as}|^2 c_{zS}((\beta+\gamma)a) + S_f |V_{af}|^2 c_{zf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{z}}, & E_1 &= \frac{\rho S_f}{2} \frac{\partial (|V_{af}|^2 c_{zf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{\gamma}} \\ C_{12} &= \frac{\rho}{2} \frac{\partial (S_S |V_{as}|^2 c_{zS}((\beta+\gamma)a) + S_f |V_{af}|^2 c_{zf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{\gamma}}, & E_2 &= \frac{\rho S_f}{2} \frac{\partial (|V_{af}|^2 c_{mf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{\gamma}} \\ C_{21} &= \frac{\rho}{2} \frac{\partial (S_S L |V_{as}|^2 c_{ms}((\beta+\gamma)a) + S_f L |V_{af}|^2 c_{mf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{z}}, & T_1 & \text{comme } C_{12} \text{ mais dérivée } / \gamma, \\ C_{22} &= \frac{\rho}{2} \frac{\partial (S_S L |V_{as}|^2 c_{ms}((\beta+\gamma)a) + S_f L |V_{af}|^2 c_{mf}((\alpha+\gamma)a))}{\partial \dot{\gamma}}, & T_2 & \text{comme } C_{22} \text{ mais dérivée } / \gamma, \end{aligned}$$

ces dérivées sont estimées au point :  $z = \dot{z} = \gamma = \dot{\gamma} = 0$ ,  $\alpha = \alpha_0$ ;  $\beta = \beta_0$ , étant fixés.

Le modèle dynamique du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du safran

Vitesse apparente vue du foil

### Linéarisation

Modèle linéarisé en "croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

### Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe OTUSA

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

Tout d'abord on définit le couple  $(\beta_0, \alpha_0)$  qui équilibre le bateau ( $\gamma_0 = z_0 = 0$ ) pour une vitesse  $V$  par : ( $M_0$  est le moment des forces externes en  $O$ ) :

$$S_s c_{zs}(\beta_0) + S_f c_{zf}(\alpha_0) = \frac{2Mg}{\rho V^2},$$

$$-\frac{S_s h}{L} c_{zs}(\beta_0) + \frac{S_f d_f \sin(\alpha_0)}{L} c_{zf}(\alpha_0) + S_s c_{ms}(\beta_0) + S_f c_{mf}(\alpha_0) = \frac{2M_0}{\rho L V^2}.$$

Ensuite, on linéarise autour de  $\alpha = \alpha_0$ ,  $\gamma = 0$  et  $\dot{\gamma} = \dot{z} = 0$ . Nous introduisons :  $\delta = \alpha - \alpha_0$  qui est la variable de contrôle. On notera que le contrôle  $\delta$  est supposé imposé une fois calculé, ce qui n'est pas un problème technologique simple (voir [AC p.33](#)).

S'il n'y a pas d'équipier sous le vent en navigation de croisière, le contrôle pendant cette phase de course, pourrait se faire par ramifications hydrauliques depuis l'autre flotteur où comme pour les AC72 depuis la barre, via des conduits hydrauliques.



## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

On néglige sur cette écran, l'effet de l'incidence apparente. La discussion sur la stabilité conduit à étudier les parties réelles des pulsations propres  $\mu = \sqrt{\lambda}$  solutions de :

$$\det \begin{vmatrix} -\mu^2 M, & \mu^2 aM - \rho V^2 R_1 \\ \mu^2 aM, & -\mu^2 J_0 - \rho V^2 R_2 \end{vmatrix} = \lambda(\lambda J_G + \rho V^2 M(R_2 + aR_1)) = 0.$$

La valeur propre  $\lambda = 0$  correspond au mouvement de pilonnement (on calcule aisément le vecteur propre associé) qui est contrôlé en navigation, par un pilotage de la poussée vélique et donc de la vitesse du bateau  $V$ .

L'autre valeur propre  $\lambda = -V\sqrt{\rho M} \sqrt{\frac{R_2 + aR_1}{J_G}} \Rightarrow \mu = \pm i\sqrt{-\lambda}$  conduit à un mouvement stable si  $R_2 + aR_1 > 0$ . Sinon, il y a une instabilité de tangage. Comme  $a$  est petit,  $R_2$  a le signe de  $\frac{\partial c_{mf}}{\partial \alpha}(\alpha_0) - \frac{\partial c_{ms}}{\partial \alpha}(\beta_0)$ .

On voit donc qu'il ne faut pas trop diminuer l'angle de calage du foil  $\alpha_0$  sous peine de faire enfourner le bateau, ce qui est à la fois dangereux et pénalisant pour la performance en régate (voir film p. 14). Mais le contrôle actif bien ajusté sur  $\alpha - \alpha_0$  va permettre de maîtriser cet effet négatif. On notera que l'existence de l'instabilité ne dépend pas de  $V$ .

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

On prend en compte sur cet écran, la matrice d'amortissement  $-C$  (ou désamortissement en cas de *stall flutter*). L'équation, dont il faut étudier les racines, est cette fois :

$$\det \begin{vmatrix} -\mu^2 M - i\mu C_{11} & \mu^2 aM - i\mu C_{12} - eV^2 R_1 \\ \mu^2 aM - i\mu C_{21} & -\mu^2 J_0 - i\mu C_{22} - eV^2 R_2 \end{vmatrix} =$$

$$\mu^4 J_G + i\mu^3 \left( \frac{J_0}{M} C_{11} + C_{22} + a(C_{12} + C_{21}) \right) + \mu^2 (eV^2 (R_2 + aR_1) - \frac{C_{11}C_{22} - C_{12}C_{21}}{M})$$

$$+ i\mu \frac{eV^2}{M} (R_2 C_{11} - R_1 C_{21}) = 0$$

Outre  $\mu = 0$ , il y a en général trois solutions. Leur étude se fait de façon numérique, mais on peut aussi utiliser une méthode de perturbation des solutions de l'écran précédent en se basant sur le fait que les coefficients  $C_{ij}$  sont en général petits.

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

$\forall \varepsilon > 0$ , on introduit un critère de contrôle (voir cours 9) :

$$J^\varepsilon(\delta) = \frac{1}{2} \|X(T)\|^2 + \frac{1}{2} \|\dot{X}(T)\|^2 + \frac{\varepsilon}{2} \int_0^T [a_0 \delta^2(s) + b_0 \dot{\delta}^2(s)] ds,$$

où :

$$X = \begin{pmatrix} z \\ \gamma \end{pmatrix}, X_0 = \begin{pmatrix} \delta z_0 \\ \delta \gamma_0 \end{pmatrix}, X_1 = \begin{pmatrix} \delta z_1 \\ \delta \gamma_1 \end{pmatrix}$$

et  $X$  est solution de ( $X_0$  et  $X_1$  sont des perturbations initiales dues par exemple à la houle et les matrices  $\mathcal{M}, \mathcal{K}, \mathcal{C}$  et les vecteurs  $\mathcal{B}, \mathcal{E}$  sont *self explanatory* :

$$\mathcal{M}\ddot{X} - \mathcal{C}\dot{X} + \mathcal{K}X = \mathcal{B}\delta + \mathcal{E}\dot{\delta}, X(0) = X_0, \dot{X}(0) = X_1.$$

Le problème de contrôle consiste alors à trouver  $\delta \in H_0^1(]0, T[)$  qui minimise  $J^\varepsilon$  pour une perturbation initiale donnée. La discussion sur la contrôlabilité est celle du cours 9. Mais les détails sont dans le document [AC](#)

# Loi de contrôle exacte Retour

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

Nous définissons le contrôle  $\delta^0 \in H_0^1(]0, T[)$  par (cours 9 et AC p.16) :

$$\begin{aligned} a_0 \delta^0 - b_0 \ddot{\delta}^0 &= (\mathcal{E}, \dot{P}^1)_2 - (\mathcal{B}, P^1)_2, \quad \mathcal{M} \ddot{P}^1 + {}^t C \dot{P}^1 + {}^t \mathcal{K} P^1 = 0, \\ P^1(0) &= \Phi_0, \quad \dot{P}^1(0) = \Phi_1, \quad \Phi = (\Phi_0, \Phi_1) \in \mathbb{R}^2, \end{aligned}$$

où :

$$\forall \delta \Phi = (\delta \Phi_0, \delta \Phi_1) \in \mathbb{R}^2, \quad \Lambda(\Phi, \delta \Phi) = L(\delta \Phi).$$

et les formes bilinéaire  $\Lambda$  et linéaire  $L$  sont définies par :

$$\begin{aligned} \Lambda(\Phi, \delta \Phi) &= \frac{2}{T} \sum_{n \geq 1} \frac{\int_0^T \xi(s) \sin\left(\frac{n\pi s}{T}\right) ds \int_0^T v(s) \sin\left(\frac{n\pi s}{T}\right) ds}{a_0 + b_0 \frac{n^2 \pi^2}{T^2}} \\ L(\delta \Phi) &= (\mathcal{M} \dot{X}(0) - \mathcal{C} X(0), \delta \Phi_0)_2 - (\mathcal{M} X(0), \delta \Phi_1)_2 \end{aligned}$$

avec les notations (la contrôlabilité, id  $P^0 = 0$ , est détaillée dans le pdf associé) :

$$\begin{cases} \mathcal{M} \ddot{Q} + {}^t C \dot{Q} + {}^t \mathcal{K} Q = 0, & Q(0) = \delta \Phi_0, \quad \dot{Q}(0) = \delta \Phi_1, \\ \xi(s) = (\mathcal{B}, P^1)_2(s) - (\mathcal{E}, \dot{P}^1)_2(s), & v(s) = (\mathcal{B}, Q)_2(s) - (\mathcal{E}, \dot{Q})_2(s), \end{cases}$$

# Remarque sur la contrôlabilité Retour

## Cours 6: Application: A class America's cup

Il est tentant de se limiter à un contrôle avec uniquement  $\mathcal{B}\delta$  si  $\mathcal{E}$  est négligeable, car plus simple. Or  $-\mathcal{B}$  est une partie de la seconde colonne de  $\mathcal{K}$  (la première est nulle). Notons la :  $\mathcal{K}_2 = -\mathcal{B} - \mathcal{G}$ .

La contrôlabilité en général n'est pas évidente Preuve dans le cas général. Prenons le cas où  $-\mathcal{C}$  (matrice d'amortissement) est négligeable (*l'eau apparente*). Le critère de contrôle conduit à : Preuve si  $\mathcal{C} = 0$

$$(\mathcal{M}^{-1} {}^t\mathcal{K}\mathcal{D}, \mathcal{B})_2 = -(\mathcal{M}^{-1} \begin{pmatrix} (\mathcal{G}, \mathcal{D}) \\ 0 \end{pmatrix}, \mathcal{B})_2 \neq 0 \text{ où } (\mathcal{D}, \mathcal{B})_2 = 0.$$

$$\text{ou encore : } (\mathcal{G}, \mathcal{D})_2 \neq 0 \text{ et } \left( \begin{pmatrix} \mathcal{J}_0 \\ a\mathcal{M} \end{pmatrix}, \mathcal{B} \right)_2 \neq 0.$$

Il semble donc plus sécurisant de contrôler avec  $\mathcal{E}\delta$ , d'autant plus que la *foiling* se fait sur des allures allant du *près au vent de travers* et même au *petit largue* pour lesquelles ce terme est important.

Le modèle dynamique du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du safran

Vitesse apparente vue du foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en "croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

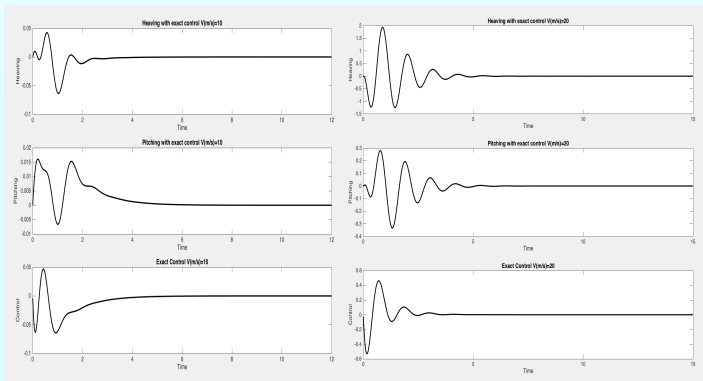
Contrôle utilisé par l'équipe OTUSA

QCM 6

# Exemple numérique [Retour](#)

## Cours 6: Application: A class America's cup

Nous donnons ci-après des résultats qui utilisent des données approximatives. Sur cet écran nous utilisons un contrôle exact. Le bateau avance à la vitesse  $V(10m/s \text{ et } 20m/s)$ . On applique le contrôle exact suite à une perturbation initiale.

[Zoom1](#)[Zoom2](#)[Logiciel matlab](#)[Logiciel python](#)

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

# Contrôle en butées

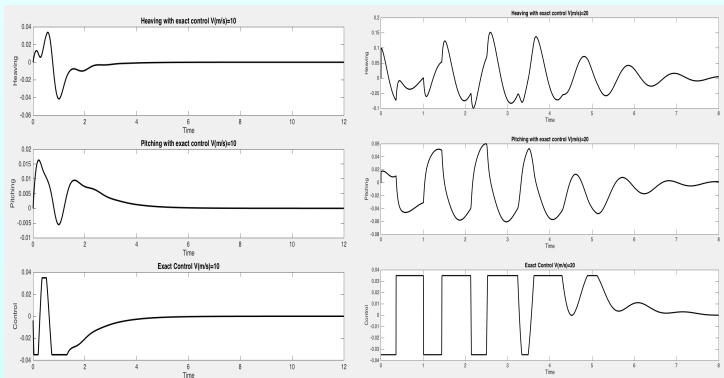
Retour

## Cours 6: Application: A class America's cup

Dans cette simulation nous avons utilisé une butée sur l'amplitude du contrôle. Comme le temps minimum de contrôle est inférieur à la période  $T$  choisie, on voit qu'il faut plus de temps pour obtenir le contrôle exact. Cependant cete situation est plus réaliste.

Zoom1

Zoom2



Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

Lois de contrôle

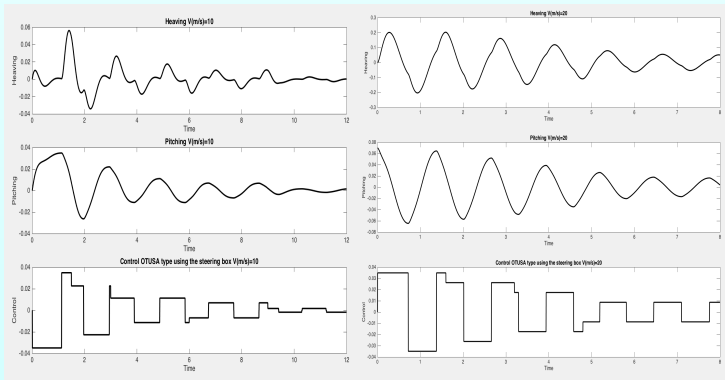
Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6

Dans ce cas que nous reportons ici pour comparer (voir [AC](#)) le contrôle est du type  $\delta = -\text{sign}(\dot{\gamma})\delta_{max}$ . Les résultats sont bons mais moins précis qu'avec le contrôle exact en butée de l'écran précédent. Le bateau est le même et les vitesses aussi, ainsi que l'amplitude  $\delta_{max}$  de la butée. [Zoom1](#) [Zoom2](#)





# Questionnaire d'assimilation [Retour](#)

## Cours 6: Application: A class America's cup

Le modèle dynamique  
du bateau

Le principe du foil

Modèle utilisé

Vitesse apparente vue du  
safran

Vitesse apparente vue du  
foil

Linéarisation

Modèle linéarisé en  
"croisière"

Etude de la stabilité

Stabilisation et contrôle

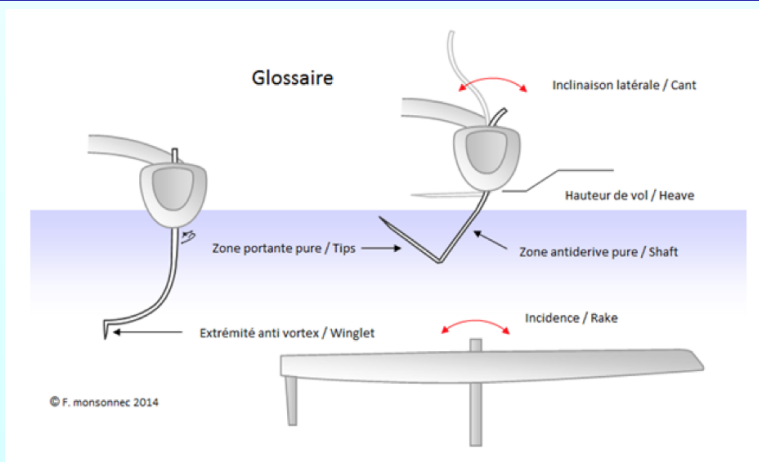
Lois de contrôle

Loi de contrôle exacte

Contrôle en butées

Contrôle utilisé par l'équipe  
OTUSA

QCM 6



Petit vocabulaire des foils et ces vidéos pour vous détendre (et deviner qui va gagner...) : [Groupama-AC45-2017](#) [USA-Team-AC45-2017](#)

Répondez aux questions et vérifiez votre score. [Lancer le qcm](#)

