

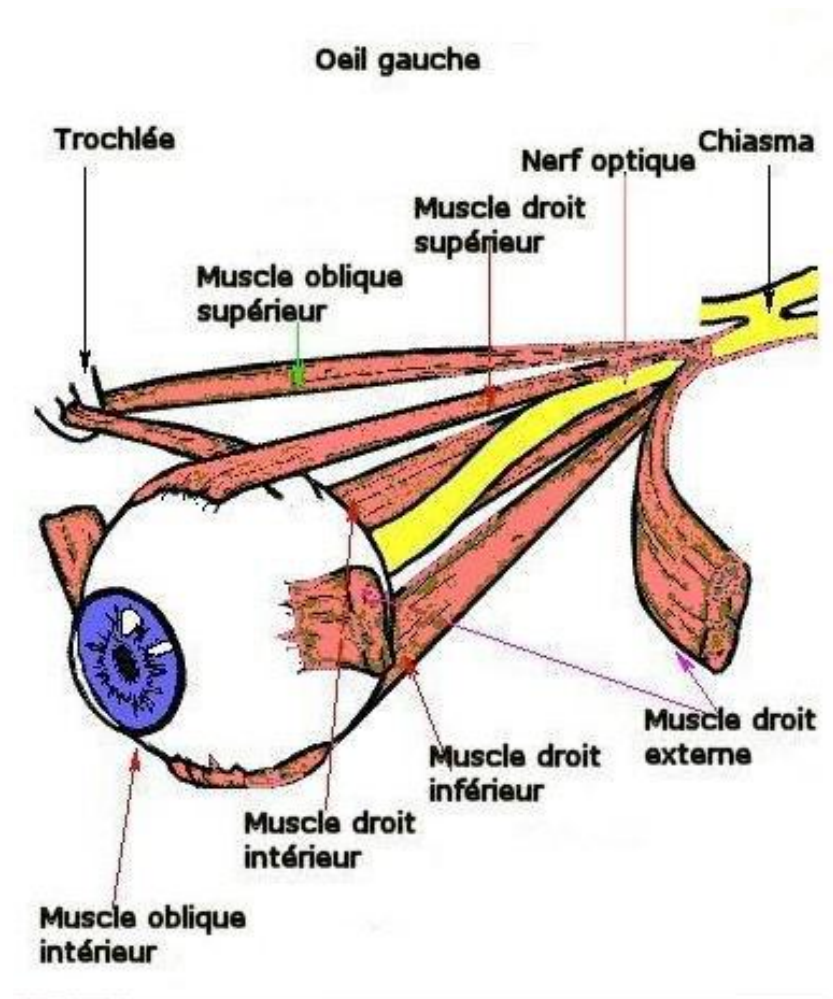


Mouvements de l'œil: une approche automatique

Paul Molin, Eric Ferret

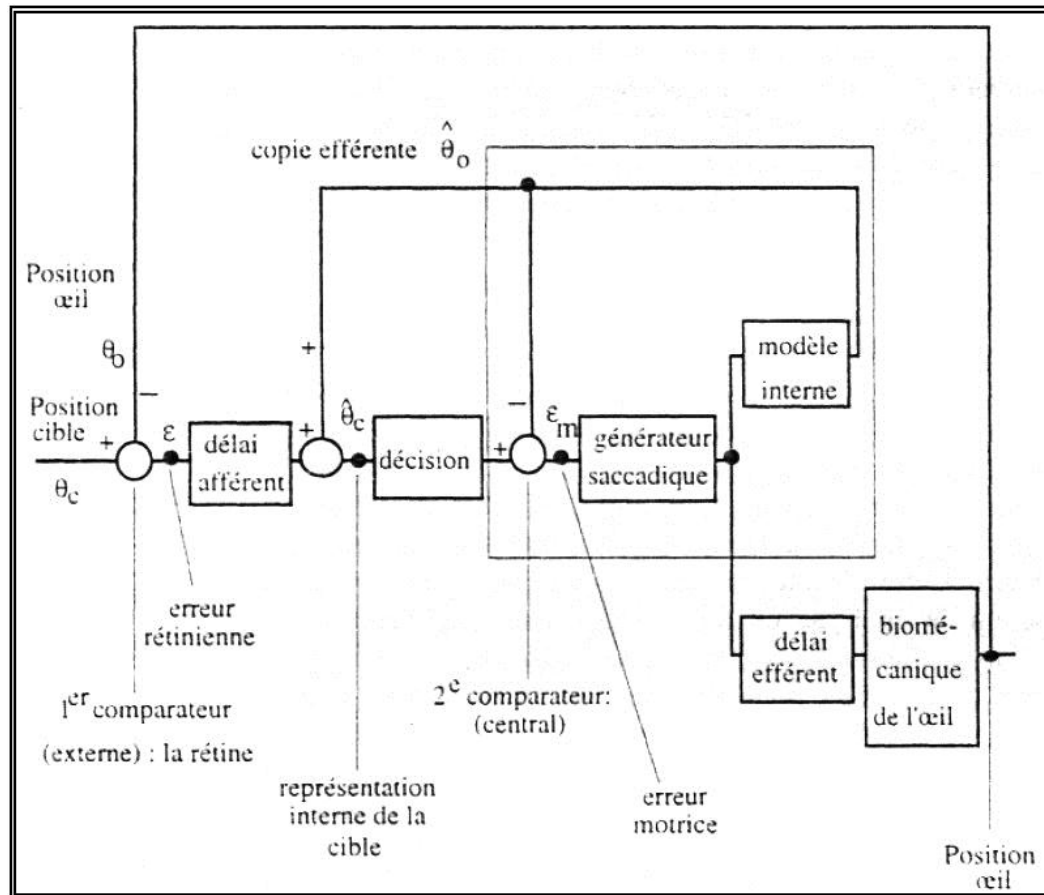


Les muscles de l'oeil

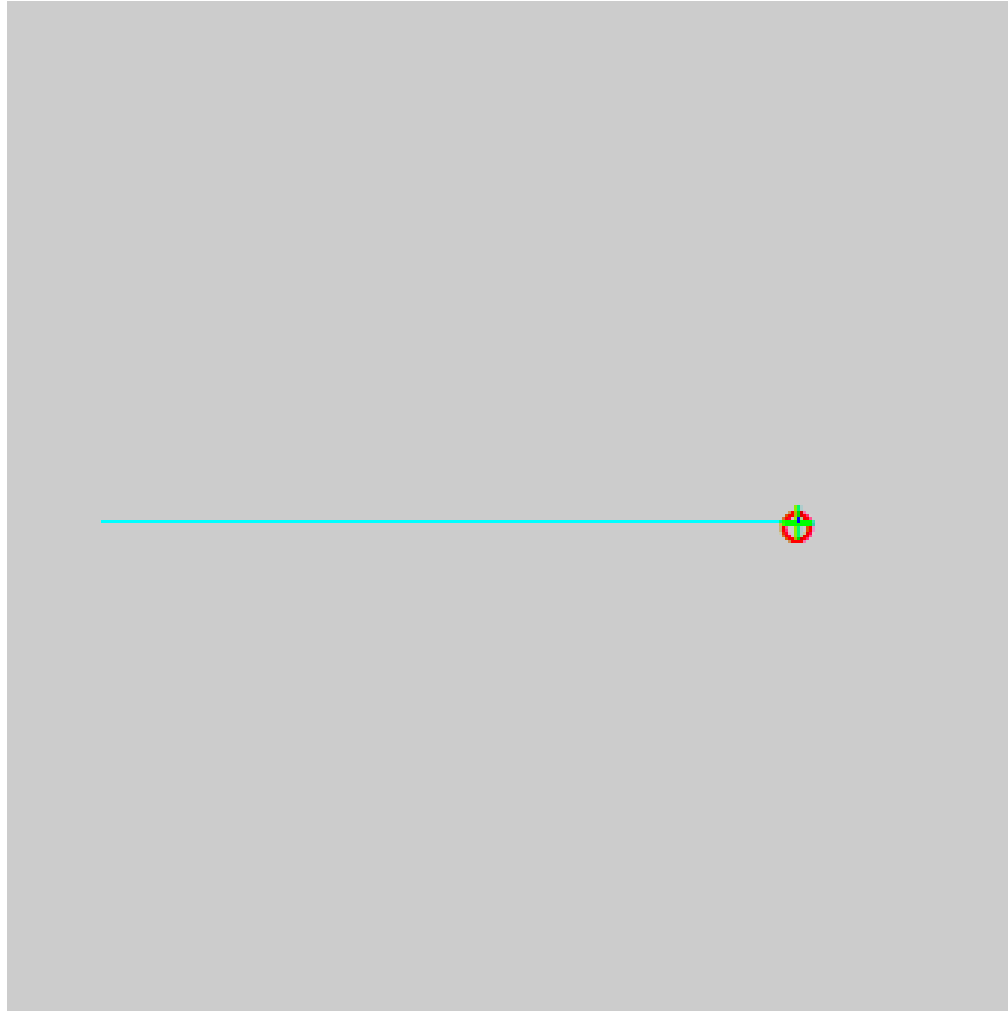


Littérature : peu sur ce point de vue

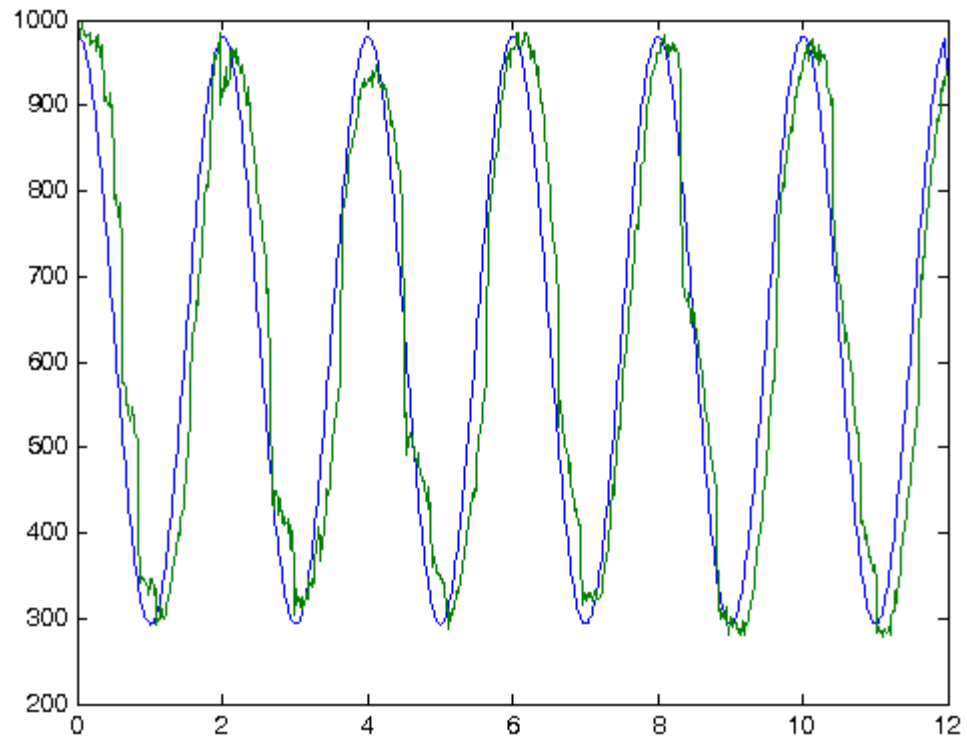
Robinson(1975), Volle et al (1982)



Expérience de suivi de cible



Tracé expérience



Hypothèse : comportement linéaire

- Modèle basé sur des équations différentielles linéaires à coefficients constants
- Utilisation de la transformée de Laplace, et des fonctions de transfert.
- Premiers ajustements (identification de l'ordre du système) sur la fonction de transfert

Exemple de calcul de fonction de transfert

$$f'' + af' + bf = g' + cg$$

$$p^2 F + apF + bF = pG + cG$$

$$H = \frac{F}{G} = \frac{p + c}{p^2 + ap + b} = \text{Fonction de transfert}$$

f : sortie

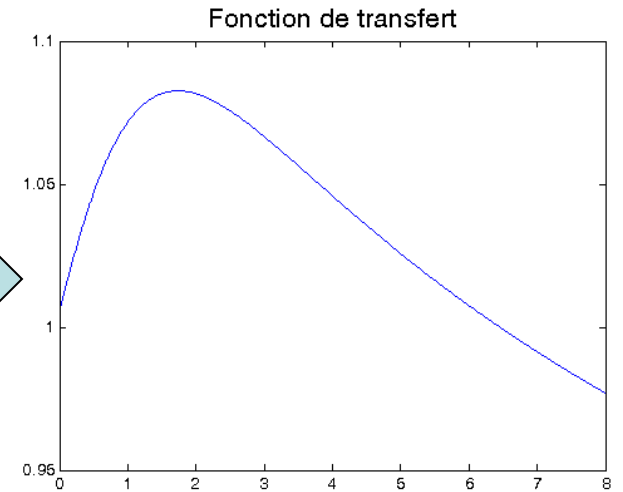
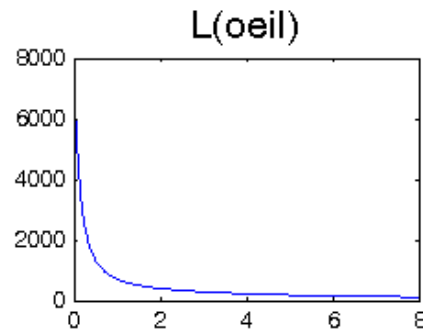
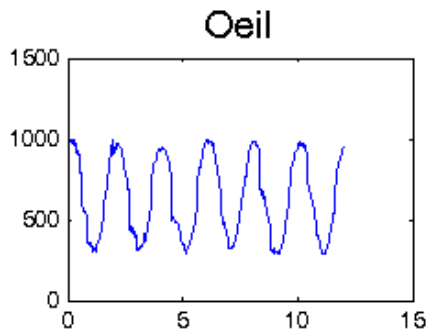
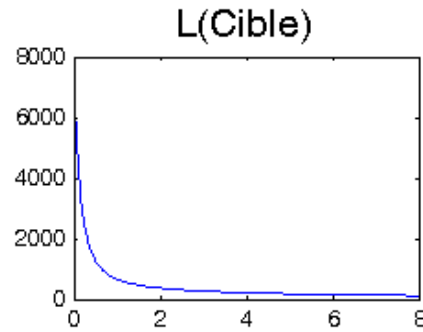
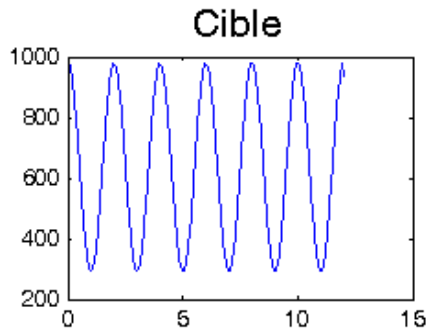
g : entrée

Calcul numérique de la transformée de Laplace

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt = (\text{numériquement}) \int_0^{T_{\text{étude}}} f(t)e^{-pt} dt$$

- $F(0) = T_{\text{étude}} * \text{Moyenne de } f$
- $F(p \rightarrow \infty) \rightarrow f(0)$
- Plus p est grand, plus on regarde ce qui se passe au début de la manip.... \rightarrow l'asymptote n'est pas sûre

Calcul numérique de la fonction de transfert

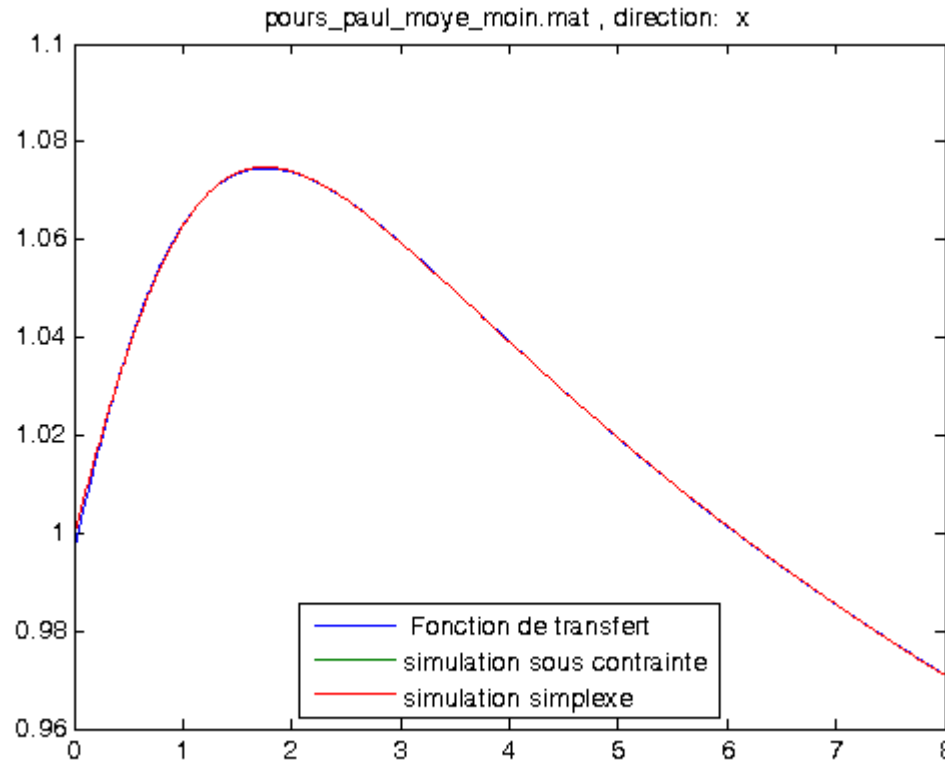


Essai de degrés au numérateur et dénominateur

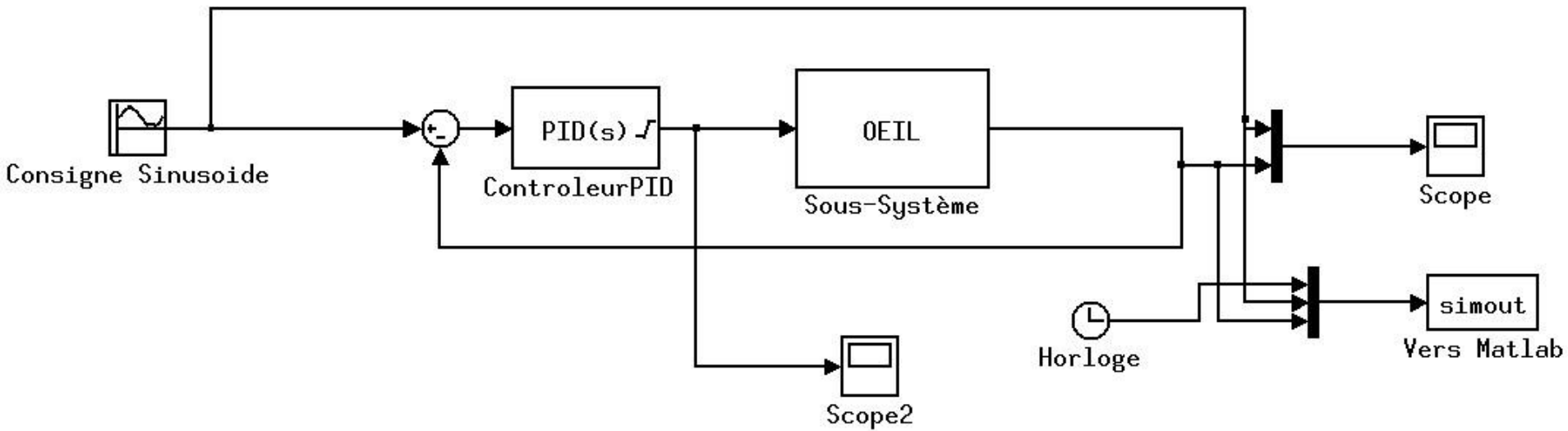
- Identification du système, par ajustement de fractions de degrés croissants au numérateur et au dénominateur sur la fonction de transfert
- Optimum atteint pour $d^{\circ}N=2$ $d^{\circ}D=3$: en deçà , on n'arrive pas à ajuster, au-delà, les termes supplémentaires n'apportent plus de réduction de la somme des carrés des écarts.

Ajustement de la fonction de transfert par des fractions rationnelles

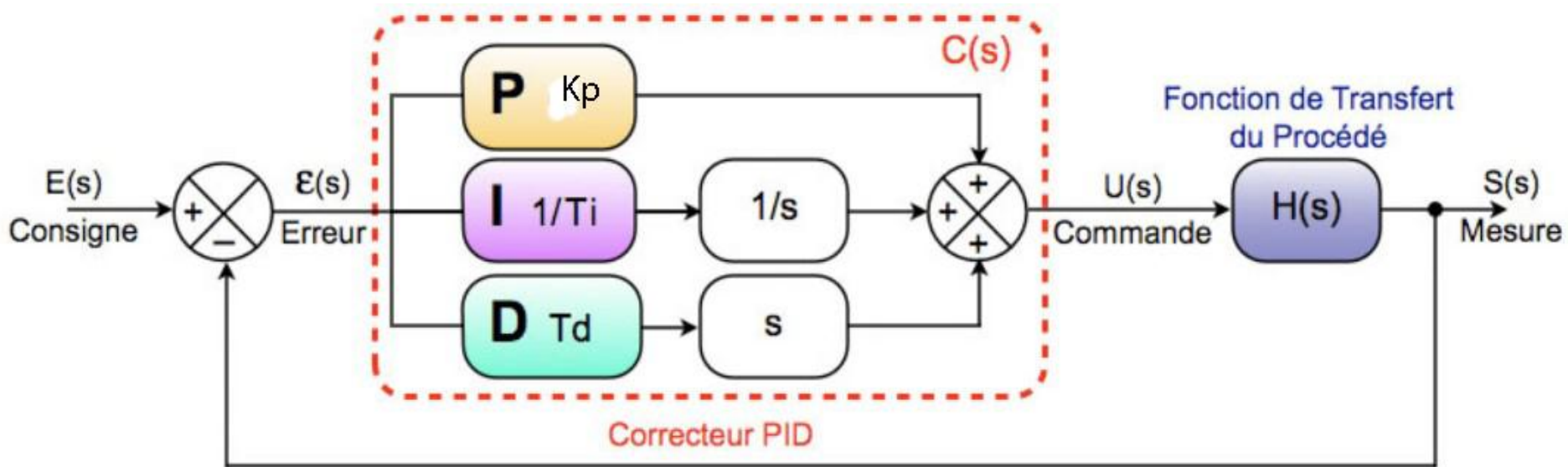
Pas mal, hein ?



Interprétation: Régulation PID



Fonction de transfert du PID



$$C(p) = K_p + \frac{1}{T_i} \frac{1}{p} + T_d p = \frac{K_p T_i p + 1 + T_d T_i p^2}{T_i p}$$

Fonction de transfert de l'oeil

$$PID = C(p) = \frac{d^{\circ 2}}{d^{\circ 1}} \quad \text{donc complément :} \quad H(p) = \frac{d^{\circ 0}}{d^{\circ 2}} = \frac{A}{p^2 + \alpha p + \beta}$$

Soit, en boucle fermée,

$$\frac{CH}{1+CH} = \frac{AT_d T_i p^2 + AK_p T_i p + A}{T_i p^3 + (AT_d T_i + \alpha T_i) p^2 + (AK_p T_i + \beta T_i) p + A}$$

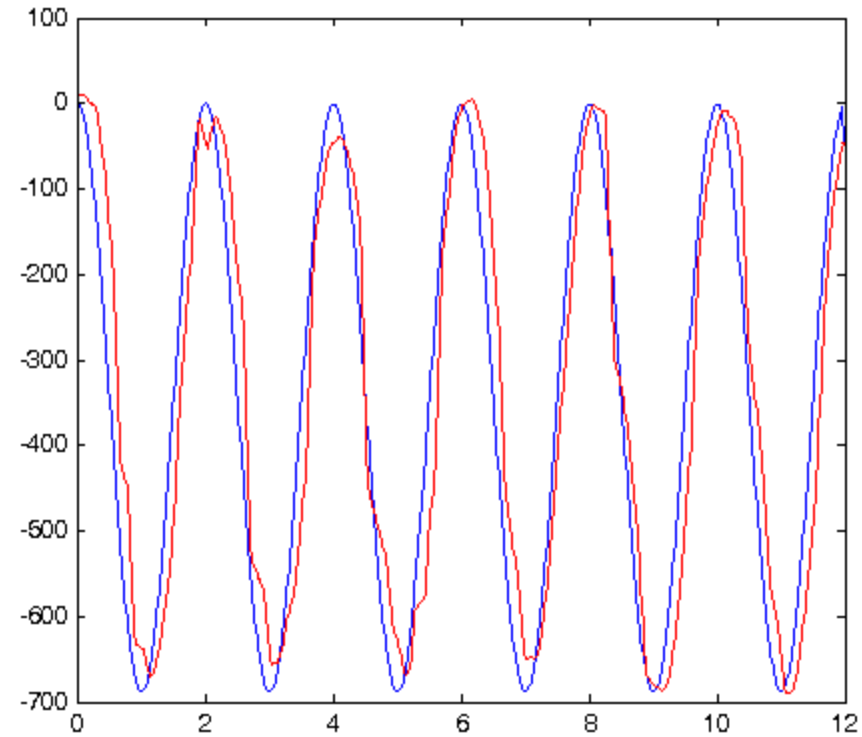
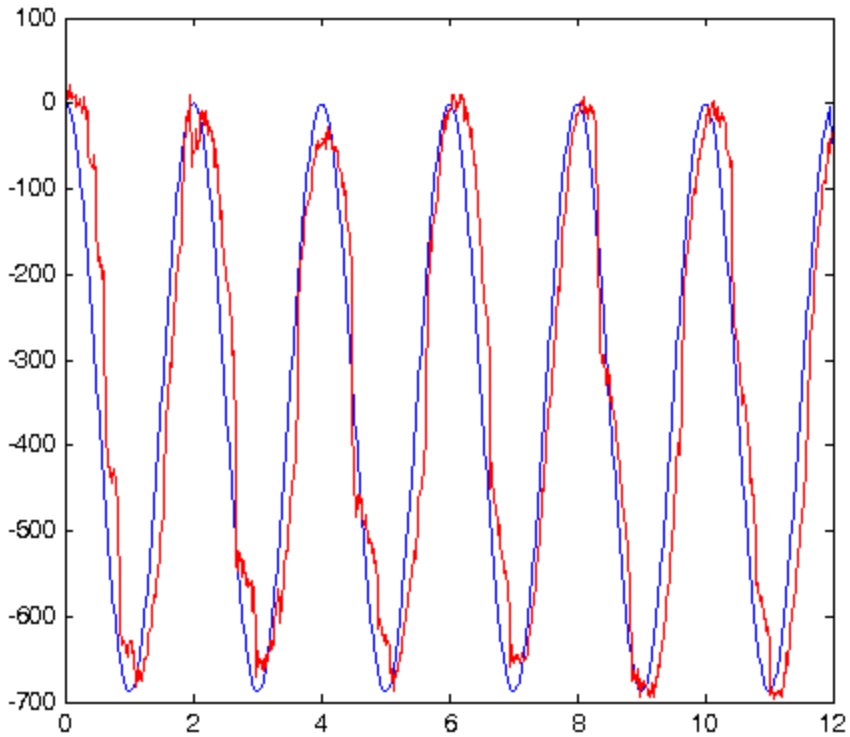
Soit un modèle à 6 paramètres:

$$K_p, T_i, T_d, A, \alpha, \beta$$

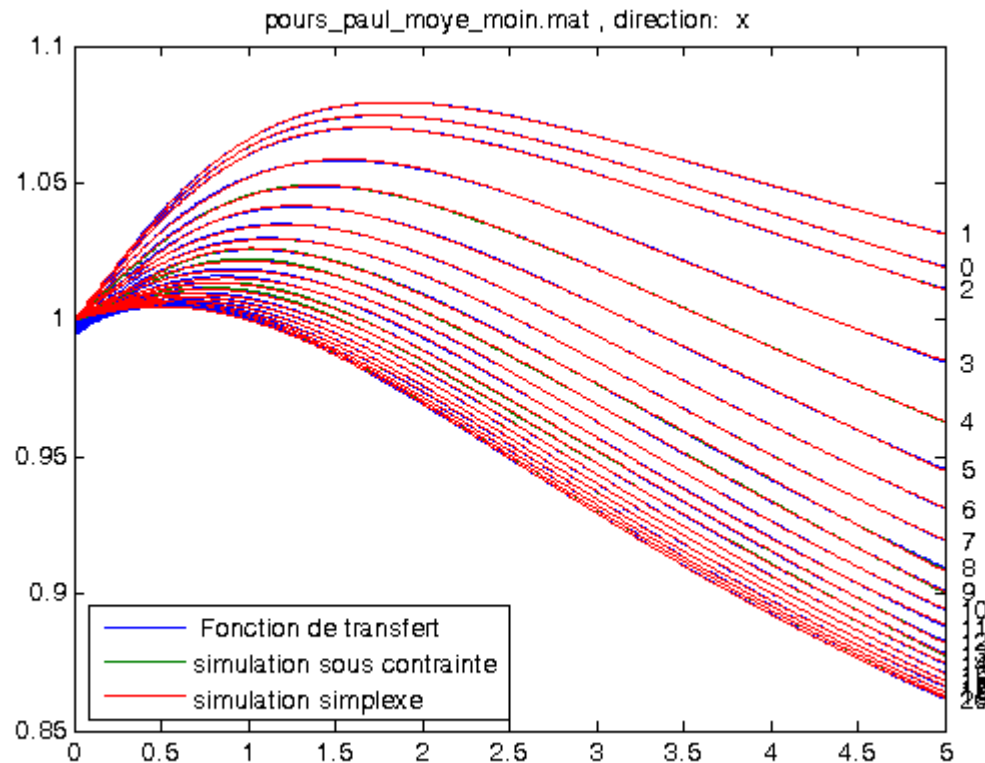
Ajustement du modèle

- $A = 177.7$
 - $A = 0.7765$
 - $B = -41.87$
- } Réponse du système musculaire à la demande d'action du PID
- $K_p = 0.4003$ Gain proportionnel
 - $T_i = 0.3514$ Temps d'intégration
 - $T_d = 0.5710$ Temps de différentiation
- } Paramètres PID

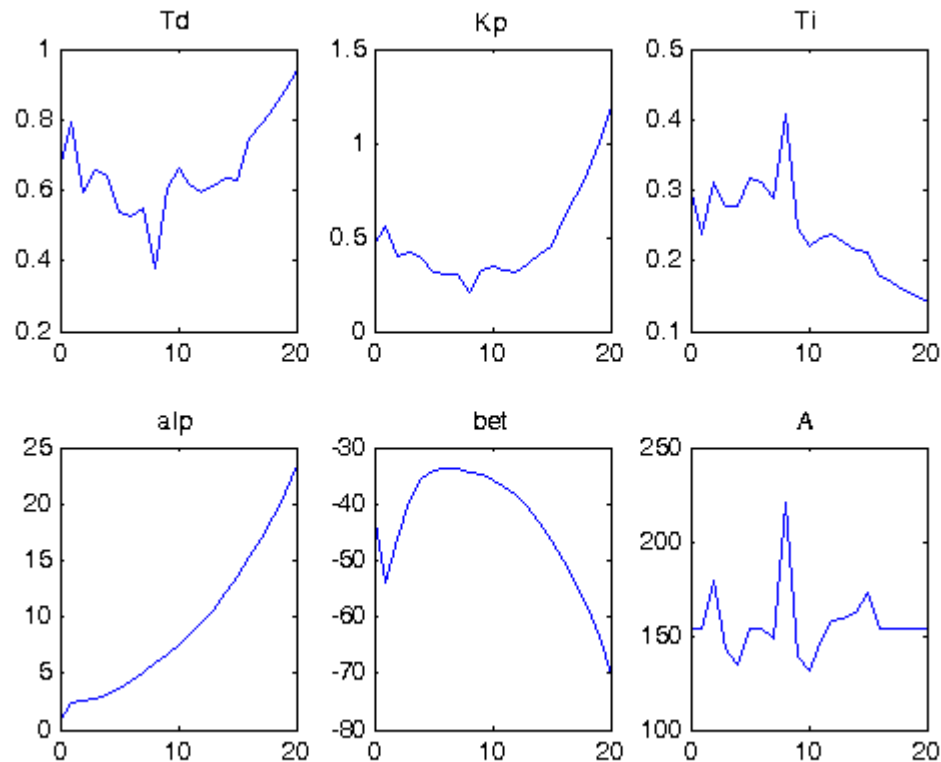
Problème avec le lissage



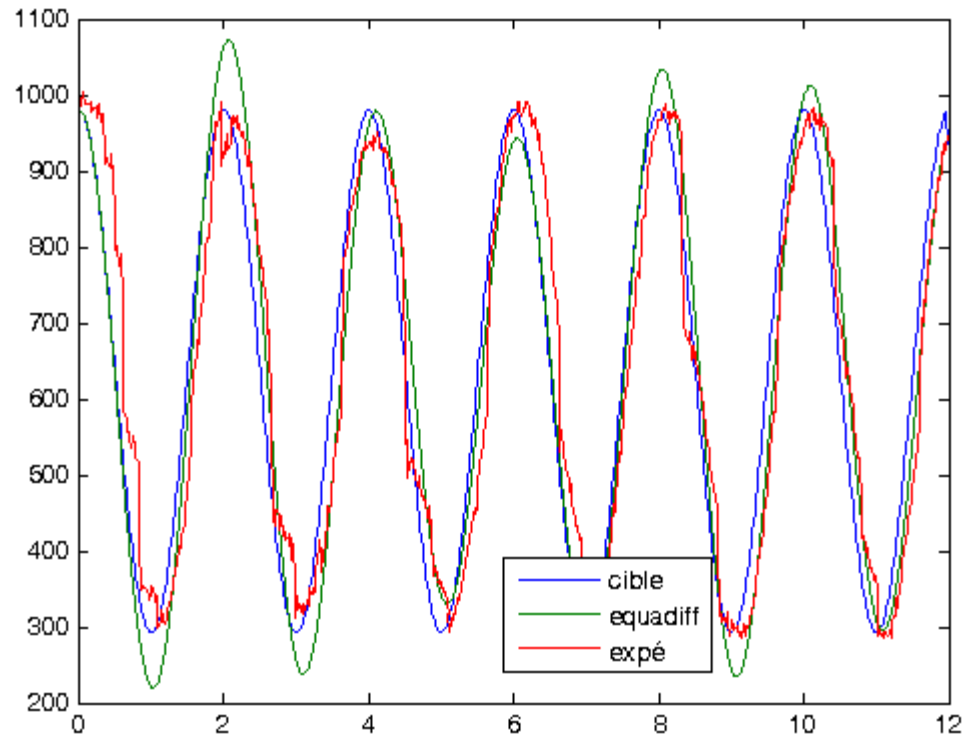
Fonction de transfert avec différents lissages \rightarrow sensibilité



Evolution des coefficients du modèle lors des lissages



Simulation à partir du modèle ci dessus



Ajouts de paramètres non linéaires

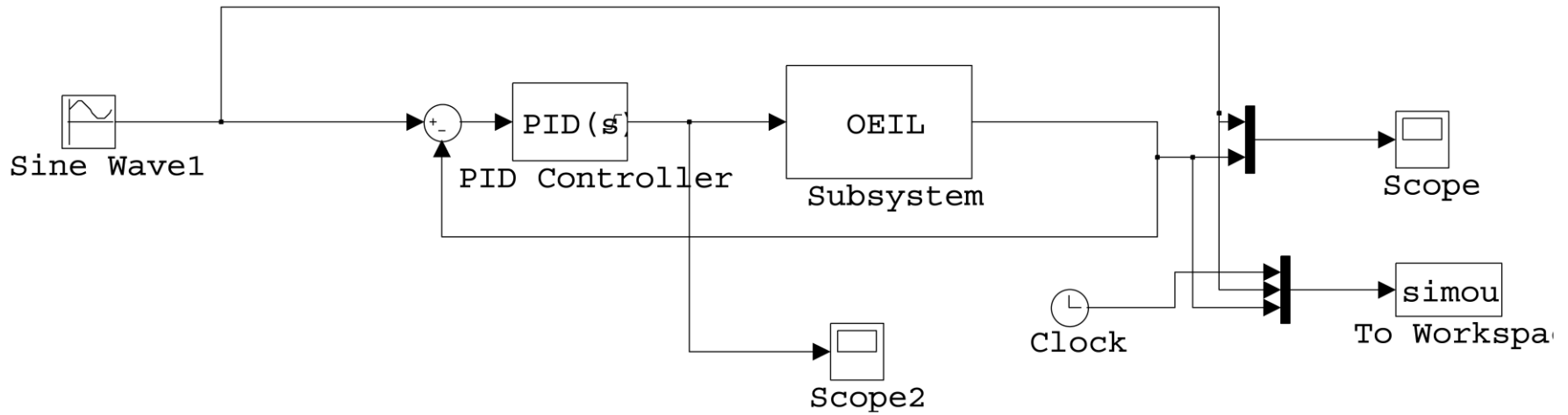
- Retard: ne peut pas être décrit directement avec une équation différentielle (problème bien connu des microbiologistes pour la description de la phase de latence...): τ
- Limitations de la commande du PID: U_{\max} et U_{\min}
- Saturation de la commande différentielle: N

$$T_d p \rightarrow \frac{T_d p}{1 + \frac{T_d p}{N}}$$

Soit un modèle à 10 paramètres:

$$K_p, T_i, T_d, A, \alpha, \beta, \tau, U_{\min}, U_{\max}, N$$

DIAGRAMME SIMULINK



Régulateur PID

Function Block Parameters: ControleurPID

automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PID Form: Parallel

Time domain:

Continuous-time
 Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): 0.36109 [Compensator formula](#)

Integral (I): 1.3563

Derivative (D): 1.0078

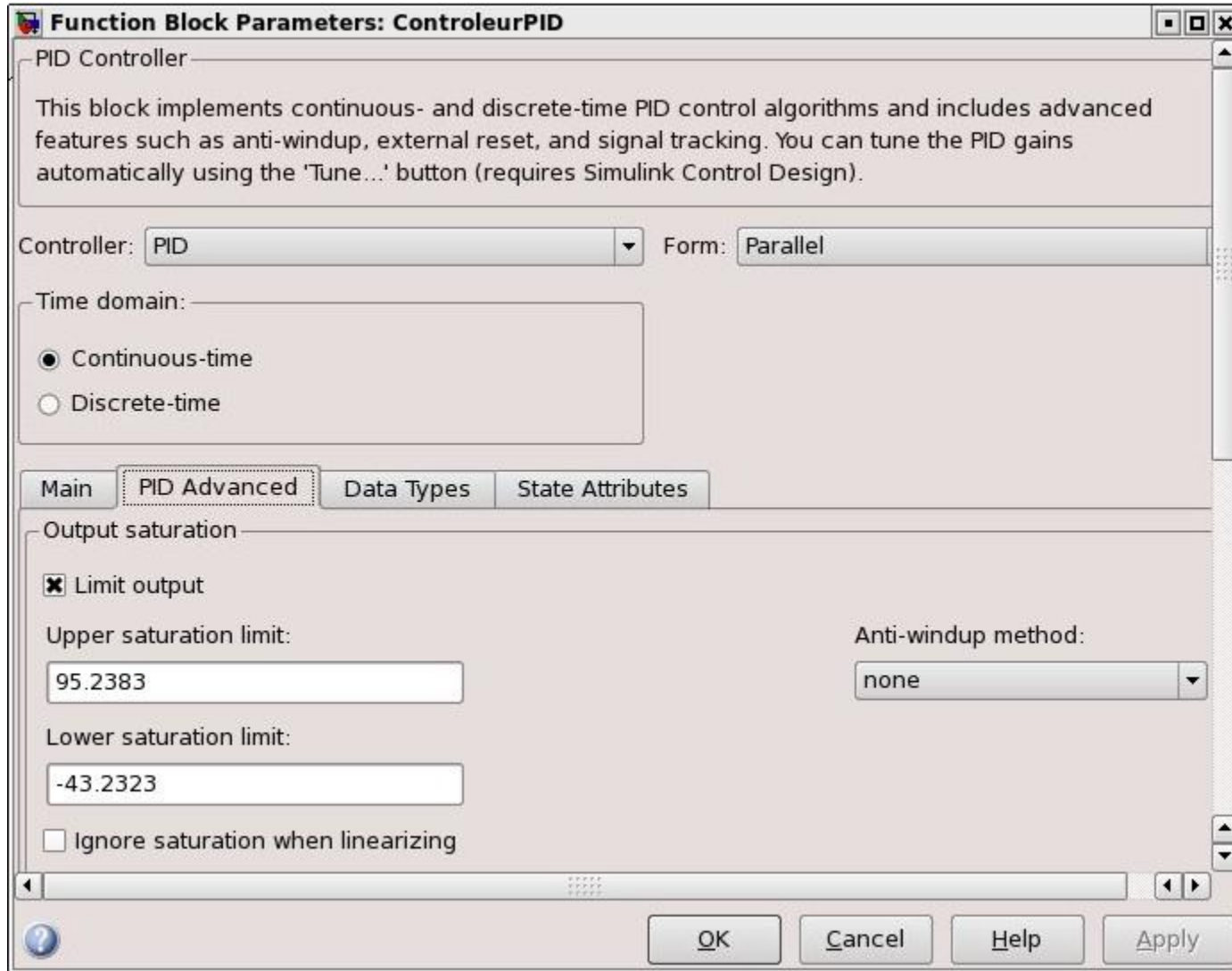
Filter coefficient (N): 201.8055

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Tune...

OK Cancel Help Apply

PID → Saturations



Sous système

Function Block Parameters: SousSysteme

Subsystem (mask)

Parameters

A ?
155.1425

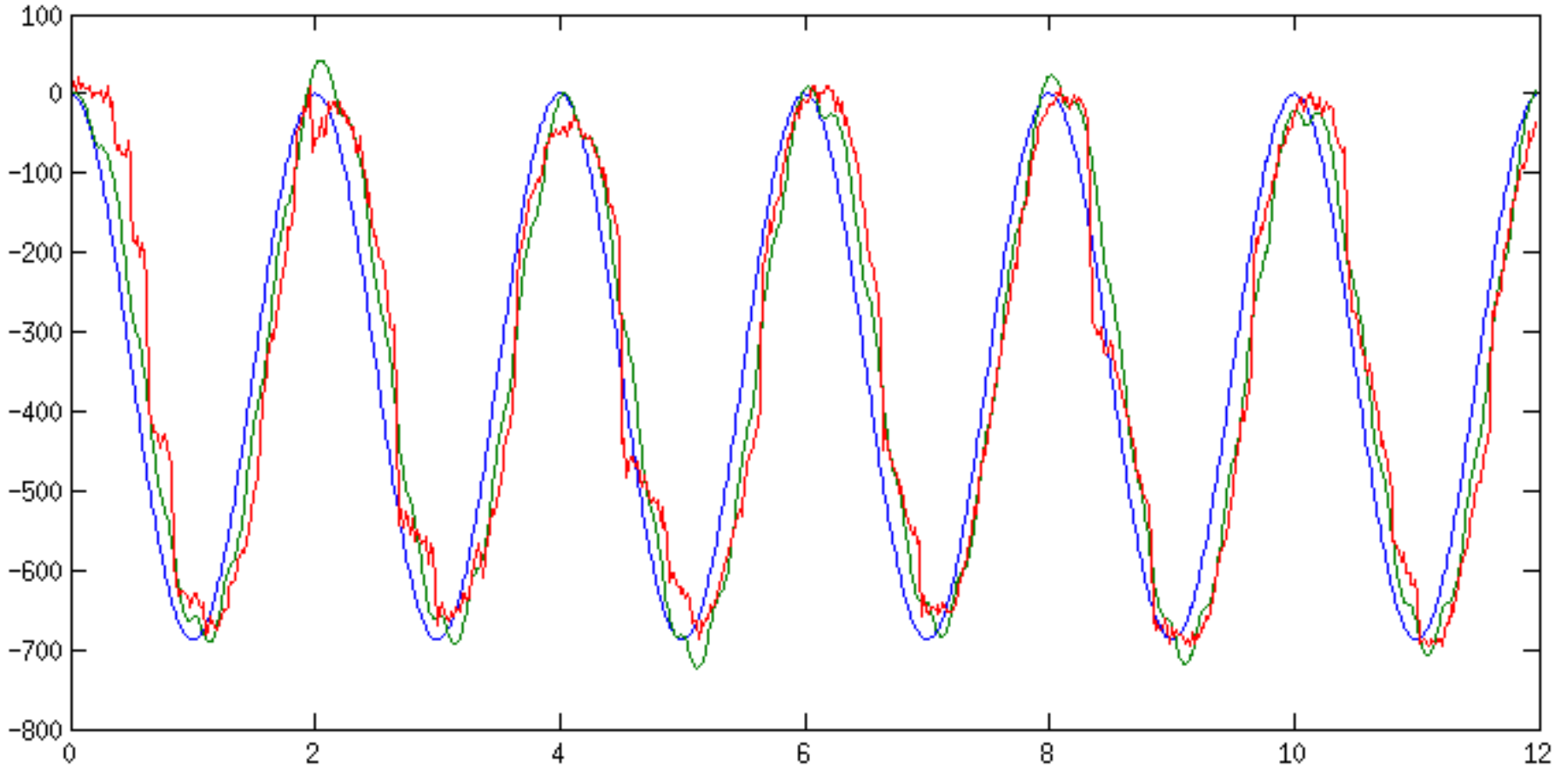
alpha ?
0.48676

beta ?
-6.5003

tau ?
0.047248

OK Cancel Help Apply

Simulation et optimisation avec simulink



Nouveaux paramètres

Paramètres initiaux

- $A = 177.7$
- $\alpha = 0.7765$
- $\beta = -41.87$
- $K_p = 0.4003$
- $T_i = 0.3514$
- $T_d = 0.5710$
- $\text{Tau} = 0.20$
- $U_{\min} = -100$
- $U_{\max} = 100$
- $N = 100$

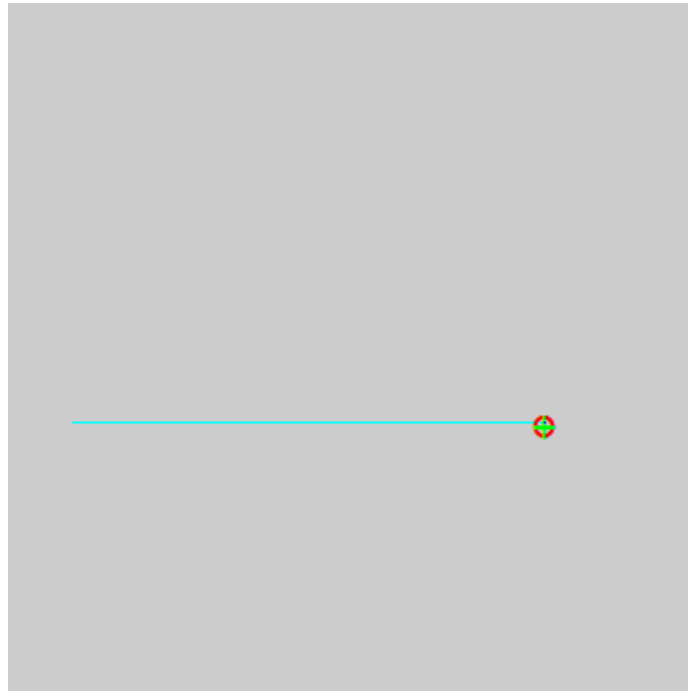
Issus de
l'optimisation
précédente

... à vue ...

Paramètres optimisés directement sur $f_{\text{out}}(t)$

- $A = 155.14$
- $\alpha = 0.4868$
- $\beta = -6.5003$
- $K_p = 0.3611$
- $T_i = 0.7373$
- $T_d = 1.0078$
- $\text{Tau} = 0.0472$
- $U_{\min} = -43.23$
- $U_{\max} = 95.24$
- $N = 201.8$

Video simulation



Conclusions

- Travail en cours, plusieurs géométries ont été testées mais non encore calculées et optimisées.



- Plusieurs sujets : étude de la variabilité inter sujets. Pertinence d'une moyennisation inter-sujets ?
- Interprétation des différents paramètres en termes physiologiques et cognitifs →
- Détection de dysfonctionnements. Exemple ci-dessus: dissymétrie de la commande U_{\min} U_{\max} -- → Commande plus faible à gauche.