

## Un régulateur/contrôleur innovant : le RELAXC

Notre collègue John Masse consacre depuis de nombreuses années ses efforts à l'innovation dans le domaine du contrôle commande et de la régulation des procédés. Fondateur de la société APPEDGE, [www.appedge.com](http://www.appedge.com), John a développé un système de contrôle des procédés extraordinairement performant, simple à mettre en œuvre et susceptible de remplacer avantageusement les régulateurs traditionnels.

Ce régulateur a été testé avec succès sur des installations industrielles complexes. Il nous en explique ici le principe et l'intérêt.



«Rien ne se passe dans le monde qui ne soit la signification d'un certain maximum ou d'un certain minimum.»

L. Euler

## Améliorer et garder le contrôle de ses procédés avec RELAXC

John Masse, Appedge

Le régulateur/contrôleur industriel **Relaxc** est une méthode innovante et unique de descente de gradient stochastique sur des systèmes évolutifs en temps.

Par sa performance, Relaxc est une alternative redoutable aux méthodes de contrôle avancé ou classique du type PFC<sup>1</sup>, MFC, IMC, LQG, LQR, PID, etc. qui peinent ou échouent dans le contrôle de systèmes complexes du type non linéaire, avec retard, à phase non minimale et à contraintes sur la commande.

En effet, avec sa structure algorithmique ad hoc, Relaxc s'affranchit de ces difficultés mathématiques ainsi que d'une modélisation fastidieuse et imprécise du procédé, pour garantir un contrôle robuste avec un réglage facile, c'est à dire sans aucun calcul au préalable.

Ainsi, Il permet à tout industriel de réduire ses coûts de conception, de mise en service et de maintenance, tout en gardant la maîtrise de ses procédés et en augmentant leur efficacité.

De plus, avec sa faible charge CPU (moins de 10 opérations arithmétiques), il fonctionne sur toutes plates-formes logicielles PLC<sup>2</sup>/SCADA comme Straton PLC, Unity pro, EAE, Zenon Copa-Data ou des outils de simulation d'ingénierie (Simulink®, Python, Ecosim®, Scicos, Langage R, etc) et est supporté par des nano ECU (PIC, Arduino, Raspberry, etc.).

### Description de Relaxc

$$\begin{cases} u_{n+1} = \mathfrak{R}(u_n, \tau_{re}) + k_s(\tau_g * \dot{e} + e) \\ k_s = \frac{1}{v * \tau_g * (\frac{t_d}{\tau_{re}} + 1)}, e = y_g - y_m \end{cases}$$

Relaxc est une équation de récurrence. La figure1 montre sa représentation fonctionnelle. Le modèle ou le procédé est représenté par le « plant » dont l'entrée  $u_m = U_{Relaxc} = u_{n+1}$  et sa sortie  $y_m = PV$  « Process variable ». La consigne à atteindre par le contrôleur est  $SP$  « Set Point ».

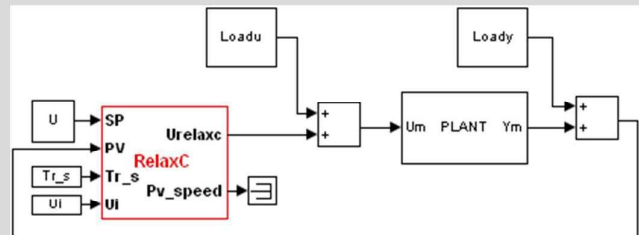


Figure 1

Relaxc construit, via une fonction génératrice<sup>3</sup> de trajectoire, une trajectoire dite de référence (Ici du premier ordre), nommée  $y_g$  et de constante de temps  $\tau_g$  qui amène simultanément et de manière sécurisée les trajectoires de  $y_m$  et  $y'_m$  vers  $y_g$  et  $y'_g$ .

Le fonctionnement de Relaxc revient à déterminer  $u_n$  à chaque itération pour trouver les extremums...

<sup>1</sup> PFC : Predictive Functional Control ( J Richalet), MPC : Model Predictive Control, IMC : Internal Model control.

<sup>2</sup> PLC : Programing logic controller, SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, ECU : Electronic Control Unit, EAE: EcoStruxure Automation Expert (Schneider Electric).

<sup>3</sup> Concept mathématique introduit par la méthodologie Relaxc.

$e = y_g - y_m = 0$  et  $e' = \dot{y}_g - \dot{y}_m = 0$  dont la vitesse de convergence des erreurs est pilotée par le gain  $k_s = \frac{1}{v * \tau_g * (\frac{t_d}{\tau_{re}} + 1)}$ . Ce gain dépend des **caractéristiques physiques** du procédé qui sont le retard pur  $t_d$ , la valeur absolue de sa vitesse maximale  $v = v_m$  et enfin, la constante de temps  $\tau_{re}$  de la fonction  $\mathfrak{R}(s)$  qui caractérise le temps de réactivité ou de relaxation du procédé pour atteindre sa vitesse maximale.

### Réglage de Relaxc

Sur un système réel, l'identification se fait ONLINE et graphiquement quel que soit le procédé (stable, intégrateur, instable), en utilisant une réponse à un échelon ou toute autre méthode. Pour la famille des systèmes stables représentés par  $H_m = \frac{k_{mp} e^{-t_d s} (a_0 + a_1 s + \dots + s^q)}{(1 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + s^p)}$ ,  $p \geq q$ . On mesure (figure 2),  $v = v_m, t_{lag}, t_m$  pour calculer les trois coefficients de normalisation de Relaxc avec les relations suivantes :  $\tau_{re} = \frac{t_d}{3} + t_{lag}$ ,  $\tau_g = \min(t_m, 3 * \tau_{re})$  et  $k_s$ . La réalisation d'un autotuning est directe.

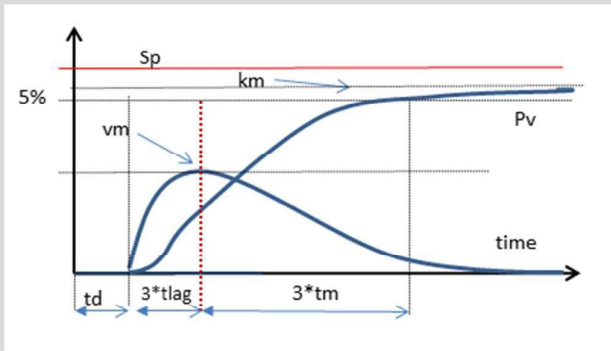


Figure 2

### Relaxc : un « Green Controller »

On souhaite piloter le modèle  $\frac{Y_m}{U_m} = H_m = \frac{2 * e^{-0.8s}}{(s+1)(s+0.1)}$  avec les contraintes suivantes : une poursuite rapide de la consigne sans dépassement avec un rejet actif des perturbations intervenantes sur l'entrée (**Load U**) et la sortie (**Load Y**) (voir figure 1).

Les **coefficients physiques** de Relaxc sont déterminés à partir de la réponse en boucle ouverte (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. 3**) :  $t_d = 0.8$ ,  $v_m = 1.55$ ,  $t_m = (33 - 3.5)/3 = 9.33$  et  $t_{lag} = \frac{(3.5 - t_d)}{3} = 0.9$ . On prendra  $t_{lag} = 1.4$  pour ralentir Relaxc et tendre vers un temps de réponse identique réglage du PID. On obtient :  $k_s = 0.09$  avec  $\tau_{re} = \frac{t_d}{3} + t_{lag} = 1.7$  et  $\tau_g = \min(t_m, 3 * \tau_{re}) = 5.2$ . On note que le réglage est quasiment instantané.

<sup>4</sup> IAE : Integral of the Absolute Error

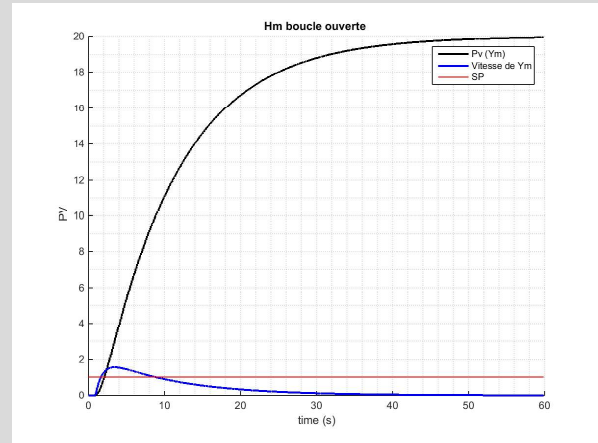


Figure 3

Pour déterminer les **coefficients mathématiques** du PID(z), on utilise l'outil « Tuner Simulink ® » ( un modèle est nécessaire) qui trouve :  $K_p = 0.095$ ,  $K_i = 0.0082$ ,  $K_d = 0.1$  N=10 pour une période d'échantillonnage  $T_e = 100$  ms.

Le réglage de Relaxc prédit le temps de réponse en boucle fermé :  $(\tau_{re} + \tau_g) * 3 = 20$  s , et que pour l'atteindre, la commande initiale de Relaxc  $u_m(1) = k_s * SP = 0.09$  est énergétiquement 13 fois inférieure que celle du PID  $u_{pid} = 1.2$  . (figure 4).

Pour comparer les deux contrôleurs, nous utilisons le critère<sup>4</sup>  $IAE = \int |e|$ . La couleur jaune représente la différence de régulation entre Relaxc et le PID. Soit une perte de contrôle de plus de 80 % du PID pour rester collé à la consigne en présence de perturbations.

Sachant qu'au moins 90 % des procédés industriels sont contrôlés par des PID, souvent mal réglés, et que tout écart par rapport à la consigne augmente les déchets de production ou la consommation d'énergie ainsi que l'usure prématurée des outils de production, Relaxc est la solution pour réaliser des économies substantielles: C'est un « Green Controller » comme l'a constaté Schneider Electric sur la régulation d'un haut fourneau dans l'Isère.

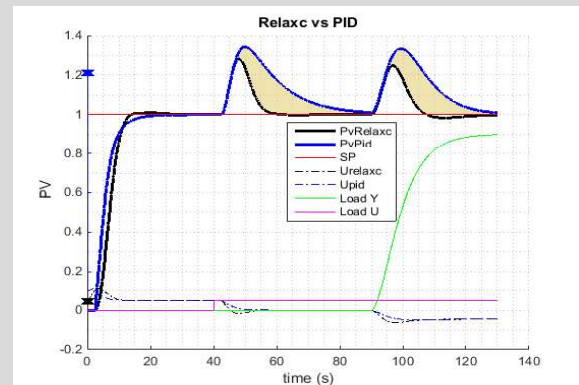


Figure 4

## Relaxc : un contrôleur optimal

En robotique, en pilotage ou bien pour résoudre un problème de « rendez-vous », il est nécessaire, pour relier deux points, de trouver une trajectoire réalisable en un temps minimum avec un accostage en douceur.

La théorie du contrôle optimal démontre que la solution est une commande Bang Bang où l'on cherche les instants de commutation. Appliquons Relaxc à un triple intégrateur  $Y_m = \frac{1}{s^3} U_m$  sous contrainte avec  $U_m \in [-1, 1]$ . Utilisé en structure cascade (figure 5) : Boucle sur la vitesse et sur la position), Relaxc (figure 6) trouve Online une commande Bang Bang (bleu) pour rejoindre sans dépassement la consigne ( $S_p = 1$ ). La perturbation est aussi activement rejetée. Les changements de signe de la consigne indiquent les instants de commutation recherchés.

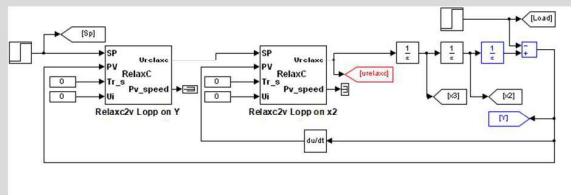


Figure 5

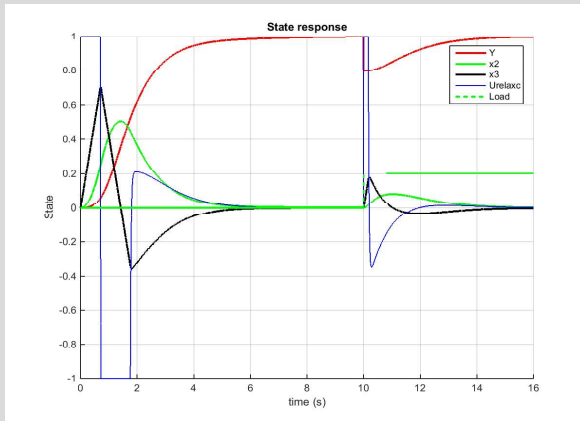


Figure 6

## Vers un SCADA intelligent

Maximiser l'efficacité énergétique et accroître la rentabilité des procédés reposent essentiellement sur deux facteurs : une loi de commande performante, en termes de supervision et d'aide à la décision en temps réel, l'utilisation d'algorithmes rapides et efficaces sur des signaux bruités. Rares sont les algorithmes qui répondent à ces exigences et encore moins avec un temps de convergence prédictible. Relaxc est le bon candidat !

La réalisation d'un SCADA intelligent devient possible en embarquant Relaxc comme outil de Data Mining pour la

recherche d'extremums ou la reconstruction de signaux et d'indicateurs.

En effet, Relaxc peut être utilisé de différentes manières pour résoudre des problèmes complexes et souvent inaccessibles par leur complexité calculatoire sans une expertise algorithmique poussée.

Par exemple, la configuration (figure 7) est un observateur/reconstructeur d'état construit à partir d'une seule mesure (le cas MIMO est possible). Relaxc devient un sérieux concurrent à la lourdeur et complexité du filtre de Kalman étendu. En effet, contrairement à ce dernier, il n'est pas nécessaire de calculer de jacobien ou d'inverser de matrice et son réglage facilement accessible à tous pour des performances similaires ou meilleures.

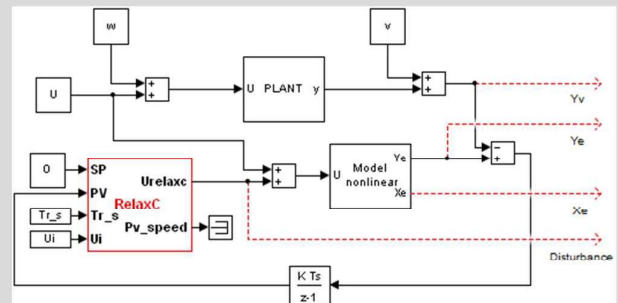


Figure 7

La figure 8 transforme Relaxc en filtre du signal  $\mathcal{F}_{filtre}(Y(t)) = \int Urelaxc dt$  et simultanément en opérateur de dérivation temporelle où  $\frac{dY(t)}{dt} = Urelaxc$ . On note que l'action de dérivation est réalisée par intégration de l'erreur! Un enchaînement en cascade de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet d'obtenir les dérivées d'ordre supérieur.

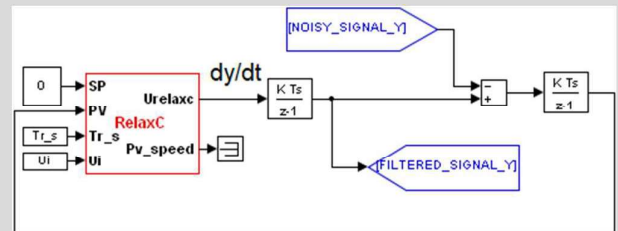


Figure 8

Appliquons-le à un signal bruité du type Radar, GPS, accéléromètre, acoustique, cours boursier. Soit  $y(t) = b(t) - 0.75$  if  $t < 0.5$  avec  $y(t) = \tanh(t - 1) + e^{-\frac{t}{1.2}} \sin(6t + \pi) + b(t)$   $b(t)$  une puissance de bruit de  $10^{-9}$  et  $Te = 10^{-5}s$ . Les résultats sont excellents malgré la difficulté liée à la discontinuité de la dérivée à  $t=0.5$  s. Le signal filtré se superpose exactement sans retard au signal de référence (figure 9) ainsi que la dérivée (figure 10).

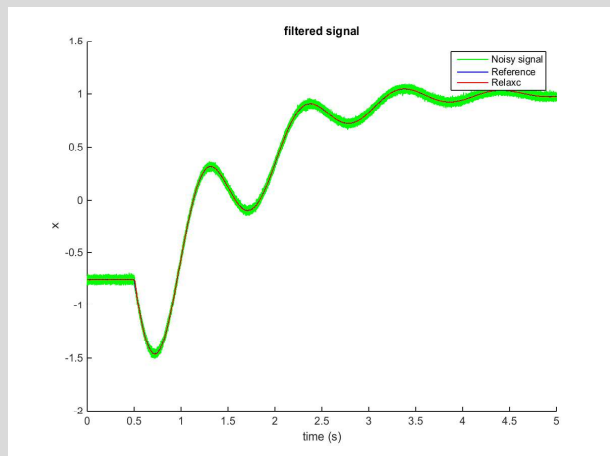


Figure 9

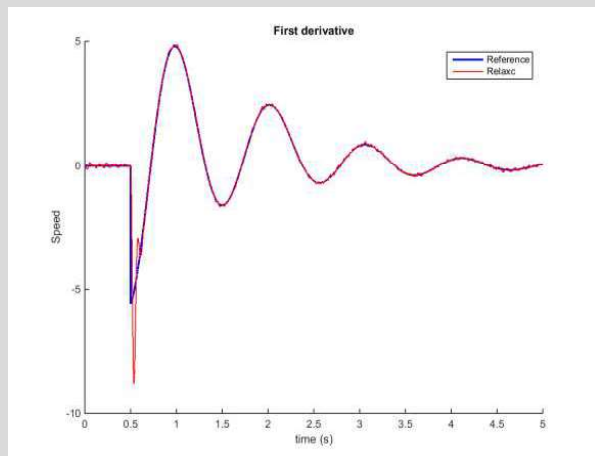


Figure 10

### Conclusion

Relaxc est le couteau suisse de tous décideurs, ingénieurs, techniciens, étudiants qui souhaitent accélérer leurs projets en obtenant instantanément le maximum de performance pour leurs procédés et ce quel que soit leur secteur d'activité : drones, avionique, marine, traitement de l'eau, biologie, gestion et production d'énergie (bâtiment, fours), machines-outils, moteurs, engins etc.

Relaxc libère l'innovation industrielle des contraintes mathématiques tout en simplifiant sa mise œuvre. Le meilleur moyen de s'en convaincre est de l'essayer : [Relaxc@appedge.com](mailto:Relaxc@appedge.com) ou de participer à des sessions découverte et de formation de « Relaxc : Plug and control » organisé par l'ISA France.

Référence : <http://www.appedge.com/Relaxc.html> et Relax expliqué en vidéo <https://youtu.be/wePez3n0h-E>

Sommaire	Evénements	Standards	Technologie	Formation
----------	------------	-----------	-------------	-----------

Après une longue interruption due à la crise de la Covid, ISA-France reprend ses activités de formation dans son nouveau centre ultra-moderne. N'hésitez pas à vous inscrire ou à nous contacter.

Code	Formation	Calendrier		
<a href="#">JPH1</a>	Les solutions nouvelles de radiocommunication dans l'industrie - L'IEC 62734 (ISA-100) - Deux jours		27-28 septembre	
<a href="#">JPH3</a>	La norme ISA/IEC 62443 (ISA-99) et la cybersécurité des systèmes de contrôle - Deux jours	8-9 juin	5-6 octobre	7-8 décembre
<a href="#">JPH4</a>	L'Internet industriel des objets - Les futures architectures de systèmes d'automatisme et de contrôle - Deux jours			15-16 novembre
<a href="#">JVI1</a>	ISA-88 : Conception fonctionnelle des automatismes des systèmes cyber-physiques de l'Industrie 4.0- Un jour		14 septembre	9 novembre
<a href="#">JVI2</a>	ISA-95 : Conception fonctionnelle et interopérabilité MES/MOM - Un jour		15 septembre	10 novembre