

# IMPACTS DES CARACTÉRISTIQUES DES VANNES DE RÉGULATION SUR LES PERFORMANCES DES BOUCLES DE CONTRÔLE

Michel Ruel ing. Réglages MIRE Inc./TOP Control Inc.  
1635, Rive-Sud, St-Romuald, Qc G6W 5M6, Canada

## RÉSUMÉ

Notre expérience des procédés industriels nous a démontré que les paramètres des régulateurs ont souvent un impact plus grand sur les performances des boucles de régulation que la qualité des équipements. Nous voulons démontrer qu'une vanne en mauvais état a moins d'impact sur les performances si les réglages du régulateur sont inappropriés. Toutefois, si les paramètres du régulateur sont choisis afin d'obtenir des performances, les caractéristiques de la vanne influencent substantiellement ces performances.

## ABSTRACT

Our field experience shows us the impact of good tuning is more important than equipment performance. We will demonstrate how a poorly performing valve will have a minimal effect on control loop performance if the tuning parameters are not optimal. At the opposite, if a control loop is tuned to achieve performance, the control valve behavior has a major impact on performance.

## INTRODUCTION

En Amérique du Nord, la majorité des boucles de régulation n'ont pas été réglées pour des performances optimales. Souvent, lors des démarrages, les valeurs par défaut du fabricant sont conservées comme paramètres de réglage. Aussi, par manque de temps, lors de problèmes avec une boucle de régulation, il est d'usage courant de diminuer les réglages pour corriger l'instabilité.

Si par exemple une vanne a du jeu mécanique (usure), la boucle aura tendance à osciller et le technicien en diminuant les réglages, cache un problème qui ne fera que s'aggraver avec le temps. Les performances de la boucle en seront considérablement réduites.

Les réglages devraient être considérés comme partie intégrante de la boucle de régulation. À quoi servent des équipements performants et qui ont requis des investissements importants s'ils ne sont qu'utilisés qu'à une fraction de leur potentiel?

Il est très discutable de spécifier une vanne performante si les réglages du régulateur sont mal choisis. Nous présenterons dans cet article deux exemples de procédé utilisant divers réglages et diverses valves. Nous montrerons que le choix des réglages du régulateur a une grande importance sur l'impact de la vanne sur les performances de la boucle de régulation.

Les performances des boucles de régulation peuvent être évaluées selon plusieurs critères : stabilité, dépassement, élimination des perturbations, etc.

## VANNE, ÉLÉMENT NON LINÉAIRE

Lorsqu'une commande est donnée à une vanne de régulation pour un changement d'ouverture, le comportement de la

vanne varie selon la position, la polarité et selon l'amplitude du signal.

Exemples :

1. Pour de très petits changements, le temps de délai de la vanne est généralement plus long que pour des changements plus importants ; en effet, le positionneur doit fournir suffisamment d'air pour bâtir la force nécessaire pour lutter contre le collage.
2. Quand les changements sont plus importants, le comportement de la vanne se rapproche d'un système linéaire.
3. Quand le signal est très grand, des phénomènes de saturation et de limite en vitesse empêchent la vanne de se déplacer au-delà d'une certaine vitesse.
4. Certaines vannes n'ont pas la même dynamique lors de la fermeture et lors de l'ouverture.
5. Puisque le couple nécessaire au déplacement de la vanne varie en fonction de l'ouverture et des conditions de procédé, le comportement dynamique de la vanne n'est pas identique sur toute sa plage de travail.
6. Le jeu mécanique des pièces provoque de l'hystérésis.
7. Les joints d'étanchéité et les sièges provoquent du collage.
8. Le positionneur provoque des dépassements.
9. La courbe caractéristique de la vanne, est souvent négligée lors de la sélection. Au lieu d'aider à réduire les variations de gain en fonction de la charge elle les augmente.

## LES EFFETS DE LA VANNE DE RÉGULATION

### Temps de délai

Le temps de délai d'une vanne est généralement long quand un très faible changement de position est demandé. En effet, dans un tel cas, le positionneur fournit un faible débit d'air et la pression se bâtit lentement. Si un positionneur est réglé peu sensible, le temps de délai sera allongé.

### Constante de temps

La constante de temps de la vanne est provoquée par le temps de remplissage du volume de l'actuateur par l'air fourni. Si un positionneur est réglé trop relâché, la constante de temps sera allongée. Aussi, si le débit d'air du positionneur est trop faible, la constante de temps sera allongée. Plusieurs fabricants offrent des positionneurs de différentes capacités selon la dimension de l'actuateur.

Lors de changements de grande amplitude, la vitesse est limitée et la constante de temps apparaît plus grande.

### Hystérésis

L'hystérésis origine principalement de jeu mécanique mais peut aussi être causée par des non linéarités, par exemple des joints d'étanchéité ou de la friction. La position d'une vanne avec hystérésis est différente selon que le signal augmente ou

diminue. L'hystérésis introduira des oscillations et les performances seront réduites. Lors d'un changement, l'hystérésis ajoute un temps de délai.

### Collage (« stiction=stick + friction »)

Toutes les pièces en contact avec les pièces mobiles de la vanne ajoutent à la friction; les sièges, coussinets, presse-étoupe, etc. Une vanne avec collage ne bougera pas à moins que la commande soit suffisamment importante pour briser la force de friction. Si un actuateur est trop faible, le problème est plus visible. Lors du collage, le temps de délai avant que la vanne ne bouge est augmenté, le temps de briser les forces de friction.

### Dépassement du positionneur

Quand un dépassement provoqué par un positionneur mal ajusté survient, la vanne se déplace trop loin et retourne plus tard à la valeur finale. Ce dépassement peut déstabiliser la boucle de régulation, particulièrement si la boucle est rapide.

### Coefficient volumétrique (Cv)

Le Cv de la vanne doit être choisi pour que le gain de procédé soit près de un. Si le Cv est trop faible, la mesure n'atteindra pas une valeur suffisante alors que si le Cv est trop grand, les défauts de la vanne seront amplifiés.

### Courbe caractéristique

Si la courbe caractéristique est mal choisie, les variations de gain de procédé seront amplifiées plutôt que réduites en fonction de l'ouverture.

## IMPACT DE LA VANNE SUR LE MODÈLE DU PROCÉDÉ

Si un procédé est rapide (débit, pression, ...) le comportement dynamique (délai, constante de temps, dépassement du positionneur, ...) de la vanne est significatif.

L'hystérésis, le collage, le CV et la courbe caractéristique inhérente influencent toujours les performances et le comportement de la boucle.

## RÉGLAGE DES PARAMÈTRES D'UN RÉGULATEUR

Le but est d'obtenir un compromis entre les performances et la stabilité.

Pour obtenir des performances, il faut tenter d'utiliser la sensibilité maximale des paramètres (P, I, D).

Pour obtenir la stabilité, il faut utiliser la sensibilité minimale des paramètres (P,I,D).

Une boucle est dite robuste si la stabilité est maintenue quand les caractéristiques du procédé changent. Noter toutefois qu'il est fréquent de pouvoir quand même améliorer la robustesse et la performance d'une boucle de contrôle.

## CRITÈRES DE BON FONCTIONNEMENT

Avant de régler les paramètres d'un régulateur, il faut déterminer si les caractéristiques de la boucle de régulation permettaient d'obtenir des performances suffisantes.

### Règle des quatre 3

Pratique

Idéal

<b>Gain de procédé</b>	$Gp < 3$	1
<b>Linéarité</b>	$Gp_{max} / Gp_{min} < 3$	1
<b>Hystérésis</b>	$Hyst < 3\%$	0
<b>Bande de bruit</b>	$B.b. < 3\%$	0

### Gain de procédé

Si le gain de procédé est trop grand, les problèmes de la vanne sont amplifiés et le régulateur doit être ajusté moins sensible; les performances sont grandement réduites.

**Solution:** étalonner le transmetteur ou réduire le Cv de la vanne (les vannes sont souvent surdimensionnées).

### Linéarité

La boucle doit être ajustée dans la plage où le gain de procédé  $Gp$  est maximum. Cependant, là où le gain de procédé  $Gp$  est minimum, les performances seront réduites.

**Solution:** changer la courbe caractéristique inhérente de la vanne ou caractériser la sortie du régulateur.

### Hystérésis (inclus le collage)

Si l'hystérésis est trop grande, le temps de délai est augmenté quand l'amplitude du signal de sortie est faible. Cette augmentation du temps de délai, augmente la période; en effet, comme la mesure retourne près de la consigne, la période (de l'oscillation amortie) augmente. Ceci déstabilise la boucle.

**Solution:** réparer la vanne/positionneur (noter que les actuateurs sont régulièrement sous-dimensionnés).

Si la vanne colle, la sortie du régulateur augmentera graduellement jusqu'à ce que la vanne se déplace. Si le collage est important, la vanne se déplace trop et la sortie du régulateur diminue graduellement et le même phénomène se répète. La sortie du régulateur est une onde triangulaire et cette onde triangulaire est un bon indicateur de collage.

### Bruit

Si le bruit est trop grand les réglages de la boucle doivent être ajustés moins agressivement. Le régulateur amplifie ce bruit et la sortie du régulateur déplace la vanne. La durée de vie de la vanne est grandement réduite.

**Solution:** éliminer ou réduire la source de bruit; ceci est souvent accompli par la simple utilisation d'un filtre adéquatement sélectionné.

Si l'actuateur de la vanne n'est pas assez puissant, le bruit de procédé déplace la vanne et ce mouvement augmente à son tour le bruit.

## CARACTÉRISTIQUES DES VANNES

### Vitesse

Une vanne rapide est nécessaire si :

- la boucle est rapide,
- les réglages du régulateur sont choisis pour obtenir des performances (réglages agressifs ou modérés).

### Précision

Une vanne précise est nécessaire si :

- les performances sont importantes,
- la boucle est stable (les paramètres de la boucle sont correctement ajustés).

### RÉGLAGE DES PARAMÈTRES

Le mode dérivé n'est pas utilisé dans la simulation puisque les réglages selon la méthode Lambda ne l'utilisent jamais. Avec des réglages modérément agressifs, l'utilisation du mode dérivé peut augmenter les performances de plus de 50% dans un grand nombre de procédés. De plus, l'utilisation du mode dérivé réduit l'impact des problèmes causés par la vanne de régulation.

Réglages	Objectif	Avantages	Désavantages
Agressif	Réduire l'impact d'une perturbation	Performance	Peu robuste
Modérément agressifs	Bon compromis entre performance et stabilité	Performance et robustesse.	
Lambda (réglages mous, relâchés)	Lors d'un changement de consigne, pas de dépassement	Simple Stabilité excellente	Réglages très relâchés, Performances variables selon les procédés

### EFFETS DES CARACTÉRISTIQUES D'UNE VANNE SUR LES PERFORMANCES D'UN PROCÉDÉ

Deux procédés sont étudiés : une boucle de débit et une boucle de température. Chaque procédé est analysé pour un changement de charge de 20%.

Un procédé de débit réagit rapidement; les caractéristiques dynamiques de la vanne sont importantes et ce type de procédé a un temps de délai dominant ( $t_d > \tau$ ).

Les boucles de température ont généralement une grande constante de temps et réagissent lentement ; les caractéristiques dynamiques de la vanne ont peu d'importance.

Caractéristiques des procédés utilisés :	Boucle de débit	Boucle de température
Gain de procédé ( $G_p$ )	1,	1,
Temps de délai équivalent ( $t_d$ )	3 s,	100 s,
Constante de temps ( $\tau$ ou $\tau$ )	1 s,	500 s.

Trois situations sont étudiées :

- ➔ réglages agressifs,
- ➔ réglages modérément agressifs,
- ➔ réglages relâchés (Lambda).

Les six vannes suivantes sont utilisées :

➔Vanne parfaite

➔Caractéristiques variant avec le temps :

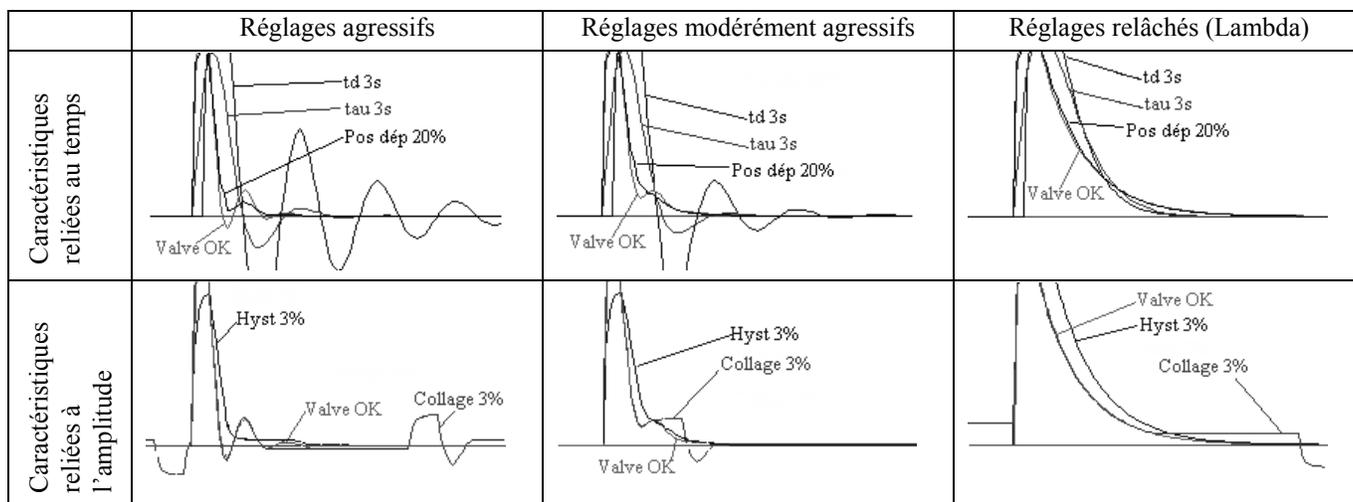
- avec un temps de délai de 3 s,
- avec une constante de temps de 3 s,
- avec un dépassement du positionneur de 20 %;

➔Caractéristiques variant avec l'amplitude :

- Avec une hystérésis de 3 %,
- Avec un collage de 3 %.

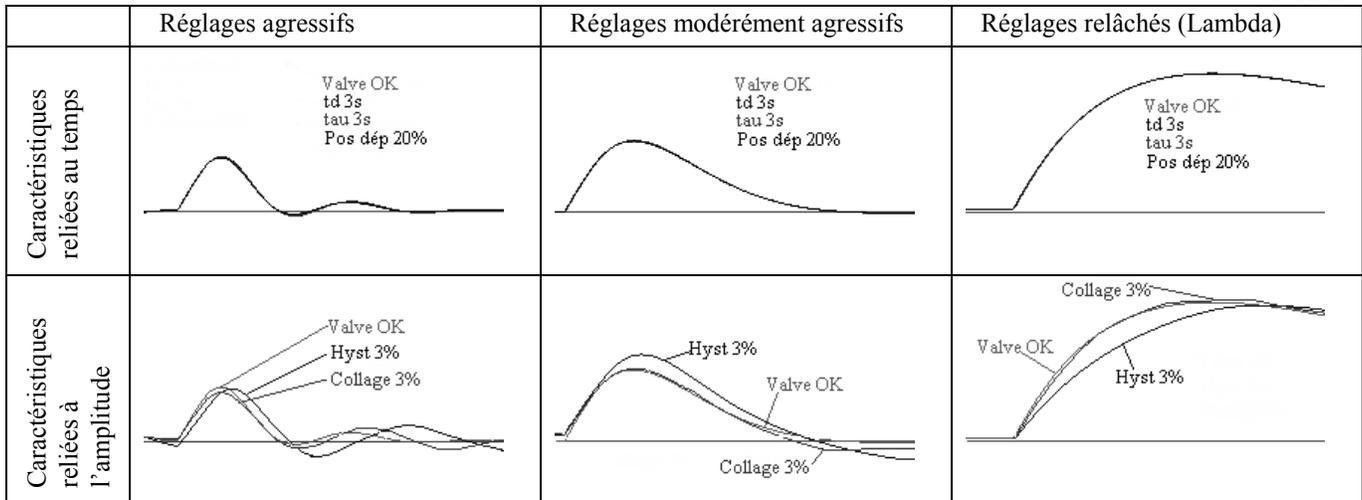
Figure 1. Réponse de la boucle de débit à un changement de charge

Chaque graphique, 100 secondes.



**Figure 2. Réponse de la boucle de température à un changement de charge**

Chaque graphique, 1500 secondes.



### CONCLUSIONS TIRÉES DES EXEMPLES PRÉCÉDENTS

Une méthode simple pour évaluer les performances d'une boucle de régulation est de calculer l'erreur absolue accumulée à la suite d'un changement de charge, ici de 20 %. Cette erreur cumulée (intégrale de l'erreur absolue) est faible si la boucle est performante et grande si la boucle n'est pas performante. Les graphiques ci-dessous donnent cette mesure de performance pour une vanne parfaite, une vanne avec hystérésis et une vanne avec un temps de délai. Trois types de réglages sont comparés : agressifs, modérés et Lambda (relâchés).

Les caractéristiques reliées à l'amplitude affectent toujours les performances surtout si les réglages sont choisis afin d'obtenir des performances en utilisant des réglages agressifs ou moyennement agressifs.

#### Boucle de débit

Les caractéristiques de la vanne sont importantes pour les réglages agressifs et modérément agressifs : temps de délai, collage, hystérésis.

#### Boucle de température

Les caractéristiques de la vanne sont importantes pour les réglages agressifs et modérés : hystérésis, collage.

### CONCLUSIONS

#### RAPPEL

1. Le fait de régler les paramètres d'un régulateur a plus d'impact sur les performances d'une boucle de régulation que les caractéristiques de la vanne.
2. Si la performance est importante, la vanne doit être soigneusement choisie **et** les paramètres du régulateur doivent être correctement ajustés.
3. La connaissance des conditions du procédé (normales et extrêmes) est essentielle pour choisir la vanne appropriée: fluide, pressions, pressions selon la charge,

pertes de pression dans les conduites, caractéristiques de la pompe, etc.

4. Avec des boucles rapides, les caractéristiques dynamiques (reliées au temps) de la vanne sont importantes.
5. Les caractéristiques reliées à l'amplitude affectent toujours la boucle de régulation si les paramètres de la boucle sont correctement ajustés.

Le bon réglage des paramètres F-PID est critique pour obtenir des performances et est une excellente façon de maximiser l'utilisation de l'équipement.

L'optimisation des performances de votre procédé demande des équipements en bon état et de 15 minutes à 2 heures par boucle.

Suite à ces interventions, les gains sont impressionnants et ce, à plusieurs niveaux. La performance pure est certainement l'un des aspects les plus notables et le plus rapide. La réduction des mouvements inutiles des éléments terminaux prolongeant de façon importante leur durée de vie, la détection préventive de problème ne sont que d'autres aspects positifs d'une vision plus globale de l'entretien des boucles de régulation.

Il ne faut pas limiter aux équipements les exigences de performances mais bien considérer la boucle de régulation avec les paramètres directeurs F-PID comme un ensemble non dissociable.

La vanne est le seul élément de la boucle qui fait un réel travail mécanique, elles s'useront plus ou moins rapidement selon les conditions de services, selon leurs caractéristiques et selon les réglages. Les vannes sont le talon d'Achille des boucles de régulation et doivent donc être vérifiées périodiquement.