

Meilleures pratiques de surveillance de vos boucles PID – La clé pour optimiser les systèmes de contrôle et régulation

Rohit S. Patwardhan et Michel Ruel¹

Résumé- Les boucles PID (aussi appelées contrôles de régulation PID) forment la base de toute couche de contrôle d'usine. L'optimisation de ces milliers de boucles de contrôle a un impact direct sur la rentabilité d'usine : elle réduit la variabilité, améliore la qualité et la productivité, et abaisse les coûts d'énergie et de matière première. Ceci a été prouvé et démontré dans beaucoup d'articles. Durant la dernière décennie, la technologie a évolué : les ingénieurs de contrôle peuvent maintenant suivre la performance des boucles de contrôle et les relier aux causes premières de variabilité. Cependant, ils connaissent peu les meilleures pratiques industrielles et les critères pour juger si une performance est excellente, bonne, satisfaisante ou faible. Pour assurer une performance continue des boucles de contrôle PID et l'atteinte de leurs objectifs, les ingénieurs de contrôle ont besoin de combiner (a) une technologie de surveillance appropriée et (b) les meilleures pratiques d'entretien des contrôles des couches de base. Dans cet article, les auteurs proposent un ensemble de pratiques et directives pour mesurer et surveiller la performance des contrôles des couches de base. La plupart des usines ont des ressources limitées et fonctionnent avec un nombre de contraintes croissant. Donc, la méthodologie est la clé du succès. Différents aspects d'évaluation des boucles de contrôle sont considérés.

I. INTRODUCTION

Bien que les contrôleurs PID soient des outils fiables dans l'industrie des procédés, ils sont souvent mal utilisés. Depuis les années 1980, le contrôle informatique a évolué et les algorithmes de contrôle utilisés par les ingénieurs de contrôle sont devenus plus complexes. Cependant, les contrôleurs PID traitent encore plus de 80% des boucles de contrôle des usines. Le Tableau 1 montre les économies liées aux différentes catégories de contrôle de procédé (Brisk, 2004). Les économies sont données en pourcentage de coût de production.

Catégories de contrôle de procédé	Économies en coûts de production
Performance du dispositif de contrôle final et réglage de base des boucles	1,5%
Contrôle en supervision	0,8%
Contrôle avancé	1,4%
Optimisation en ligne	0,5%

Tableau 1. Économies en coûts de production liées aux différentes catégories de contrôle de procédé. (Brisk, 2004)

Selon l'expérience des auteurs, les principales sources de problèmes de boucles incluent :

1. Problèmes de performance de vannes
2. Paramètres de réglage inappropriés
3. Stratégies de contrôle inadéquates

4. Ressources insuffisantes
5. Aucun programme d'optimisation proactive des boucles de contrôle
6. Inaptitude à relier la rentabilité des contrôles PID à la performance du procédé
7. Connaissances insuffisantes du procédé
8. Technologie de surveillance insuffisante
9. Aptitudes insuffisantes pour implanter des boucles de contrôles PID haute performance
10. Dynamique de procédé variable ou usure d'équipement.

L'objectif de cet article est de donner un aperçu des problèmes les plus communs et des meilleures pratiques liées au maintien de performance des systèmes de contrôle PID. Des exemples viennent illustrer les notions présentées.

II. L'IMPORTANCE D'UTILISER UN CONTRÔLEUR PID

L'efficacité d'une usine et la qualité des produits dépendent de la performance des boucles PID, mais le réglage du contrôleur constitue seulement la dernière étape.

Bon réglage des boucles de contrôle

On peut gagner beaucoup à optimiser les boucles de contrôle. On estime que 80% des boucles de contrôle de procédé créent plus de variabilité si elles fonctionnent en mode automatique plutôt qu'en mode manuel. Environ 30% de toutes les boucles oscillent dû à des non-linéarités, tel l'hystérésis, le collage, la bande morte et le gain non linéaire d'un procédé. Un autre 30% des boucles oscillent en raison d'un réglage inadéquat des contrôleurs.

Lorsqu'une boucle est mal optimisée, une perturbation peut causer des pertes de production. D'autre part, une charge élevée peut entraîner la production de produits hors normes. Une boucle de contrôle optimisée minimise la variabilité. Un meilleur réglage maintient le procédé en-deçà des spécifications et réduit les rejets coûteux.

Des réglages adaptés à chaque cas

Les objectifs de réglage varient pour différents types de procédés. Par exemple, dans un collecteur de vapeur, la pression doit être maintenue au maximum admissible sans trop d'erreur pour éviter de déclencher l'ouverture de soupapes de sûreté. Le contrôleur PID doit être réglé avec précision pour s'assurer que la vanne contrôlant le débit du collecteur principal réagisse rapidement pour éliminer les effets de perturbation. D'autre part, dans un procédé de mélangeage, les contrôleurs PID doivent réagir ensemble et à la même vitesse, pour s'assurer que les ratios restent constants.

Les caractéristiques d'un bon contrôle sont difficiles à obtenir. Le réglage des boucles exige un compromis entre

¹-Manuscrit reçu le 24 déc. 2008. Rohit S. Patwardhan travaille pour Matrikon Inc., Edmonton, AB T5T 5B7 Canada (Tél. : 780-439-7242; fax : 780-448-9191; courriel : rohit.patwardhan@matrikon.com).

Michel Ruel travaille pour Top Control Inc., Lévis, QC G6V 6K9 Canada (courriel : mrue@topcontrol.com).

robustesse et vitesse de réponse. La robustesse est la capacité d'une boucle de contrôle à rester stable lorsque le procédé (surtout le temps mort ou le gain du procédé) varie.

III. SURVEILLANCE DE VOS CONTRÔLEURS PID

Lorsqu'on analyse une boucle de contrôle, on doit tenir compte de quatre aspects :

- Utilisation : C'est le premier niveau de l'analyse. Si le contrôleur n'est pas utilisé, il y a probablement un problème fondamental.
- Performance : Un contrôleur peut présenter une faible performance, même s'il est utilisé.
- Diagnostic : Une performance insuffisante peut dépendre de plusieurs raisons : incohérence entre le modèle et l'usine, mauvais réglage, problèmes d'instrumentation, etc.
- Remédiation : Après avoir identifié les raisons d'une performance insuffisante, il est important de prioriser les actions correctives et de faire des modifications au contrôleur ou au procédé, pour améliorer la performance sans coûts ou efforts excessifs.

La Figure 1 montre comment on doit analyser une application PID typique. Le processus d'analyse inclut trois étapes : évaluation, diagnostic et remédiation.

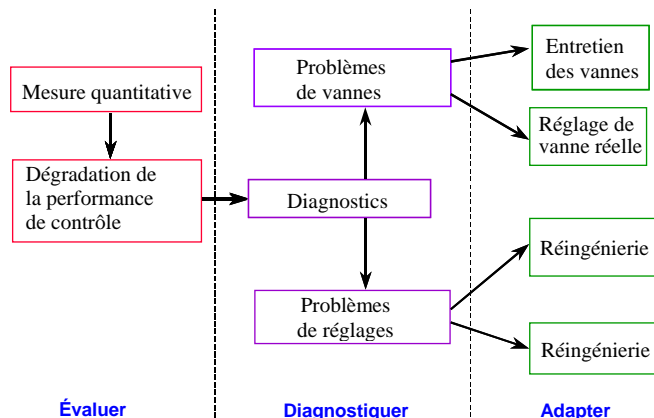


Figure 1. Évaluation, diagnostic et remédiation d'une application PID typique

L'évaluation de performance des boucles PID n'est pas un problème banal. La section suivante traite des paramètres spécifiques qui peuvent aider à évaluer si un contrôleur donne une performance satisfaisante.

IV. PARAMÈTRES DE SURVEILLANCE DE PERFORMANCE

Les outils de surveillance de performance des systèmes de contrôle permettent d'évaluer les indicateurs clés, tels que :

- % de temps en service
- % de temps en saturation
- Indice d'oscillation
- Variabilité
- Intégrale de l'erreur absolue
- Collage
- Temps de stabilisation
- Activité de l'opérateur

Trois aspects clés de la performance des boucles PID sont examinés ci-après : variabilité, performance des actionneurs et oscillations. La variabilité est une mesure importante car c'est sur cette base que les applications PID sont implantées. Il est important de s'assurer que tout ceci est géré conformément aux objectifs.

Variabilité

La variabilité est souvent mesurée d'après un historique de données de référence. Avant la mise en service, on choisit un historique de données de référence. Puis la variabilité (c.-à-d. la déviation standard des variables clés contrôlées) est comparée aux données de référence et l'on note les améliorations.

Un défaut du fait d'utiliser la variabilité absolue comme point de référence est sa dépendance aux perturbations de procédé sous-jacentes. Avec les applications PID, on peut comparer la variabilité à deux points temporels de façon raisonnable en supposant que rien d'autre n'a changé (c.-à-d. que l'ampleur des perturbations et la dynamique demeurent les mêmes). Ceci peut mener à des faux positifs aussi bien qu'à des faux négatifs. La variabilité peut baisser parce que l'ensemble du procédé est plus stable, et elle peut augmenter parce que des changements sont faits ailleurs dans le procédé.

Une représentation plus exacte de la performance des boucles de contrôle peut être faite d'après les critères de performance en boucle fermée (temps de stabilisation, temps de montée, dépassements, IAE [intégrale de la valeur absolue de l'erreur], ISE [intégrale de l'erreur au carré], etc.). Ces mesures sont indépendantes de l'échelle des perturbations et sont donc normalisées. Certaines technologies PID commercialement disponibles incorporent directement ces mesures à l'étape de réglage des contrôleurs.

$$\text{Variabilité relative} = 100 * \frac{\sigma_{CV_{des}}^2}{\sigma_{CV_{ach}}^2}$$

La variabilité désirée peut être établie d'après les points de référence historiques (après la mise en service) ou des considérations de conception (critères de réponse en boucle fermée), comme on l'a déjà mentionné. La variabilité relative peut être calculée au niveau des coefficients de variation (CV) individuels, et intégrée au niveau du contrôleur.

Performance des vannes

La vanne est un élément important de la boucle de contrôle. Les problèmes de vanne les plus communs incluent le collage, le jeu mécanique, le sous-dimensionnement et le surdimensionnement. Les vannes sous-dimensionnées ou surdimensionnées sont détectées en surveillant l'ouverture de la vanne. Le collage est le pire ennemi du contrôle de procédé. Heureusement, on peut le mesurer en utilisant un flux de données continu.

Stabilité

Les oscillations sont aussi détectées en utilisant un flux de données continu. Généralement, la boucle qui oscille le plus est la cause des oscillations d'un équipement.

Le Tableau 2 propose des directives concernant les paramètres de mesure clés pour toute application de contrôle PID. Ces paramètres de mesure sont utilisés au niveau de l'ensemble de l'application mais ils sont reliés au niveau individuel. La variabilité est calculée d'après la performance de conception ou la variabilité désirée. La performance du modèle est calculée d'après la performance du modèle de référence.

L'utilisation effective est basée sur (pire cas) :

- % de temps en service
- % de temps en saturation
- Activité de l'opérateur

La variabilité est basée sur (un choix) :

- Variabilité
- Intégrale de l'erreur absolue

La stabilité est basée sur (pire cas) :

- Indice d'oscillation
- Collage
- Temps de stabilisation (ne devrait pas changer, sauf si le modèle du procédé change)

Valeurs cibles	Utilisation effective	Variabilité	Stabilité
Quotidiennes	>50%	<150%	<40%
Hebdomadaires	>80%	<125%	<30%
Mensuelles	>90%	<125%	<20%
Trimestrielles	>90%	<110%	<20%
Annuelles	>95%	<110%	<10%

Tableau 2. Valeurs cibles recommandées pour mesurer les paramètres de performance en fonction du temps (les valeurs cibles sont exprimées en termes de valeurs normalisées)

Ces valeurs cibles tiennent compte du fait qu'il y aura des variations à court terme des différents paramètres de performance, en raison des variations du point de fonctionnement ou des perturbations. Il est essentiel que les membres de l'équipe responsable de l'application de contrôle PID s'accordent sur le choix de ces valeurs cibles.

À chaque fois qu'une des trois caractéristiques de ce tableau est en dehors des limites prévues, un indicateur doit être inscrit dans un rapport et le personnel doit en être avisé. Ainsi, la séquence de travail est automatisée, et les actions et décisions sont prises selon les mesures rationnelles de performance.

V. SUIVI DE PERFORMANCE - RÔLES ET RESPONSABILITÉS

Dans la plupart des usines, les contrôles de la couche de base sont supportés par un groupe de personnes incluant les ingénieurs de contrôle de procédé, les opérateurs et les directeurs. Le technicien en instrumentation ou l'ingénieur de contrôle de procédé qui a reçu la formation appropriée en contrôle PID est le responsable principal de la boucle de contrôle; il doit assurer l'entretien et le dépannage du contrôleur. Il travaille aussi avec les boucles PID sur une base quotidienne, pour résoudre les problèmes soulevés par les opérateurs, et pour s'assurer que le contrôleur est utilisé correctement par les opérateurs. Les rôles et responsabilités des membres d'équipe responsables sont décrits ci-après. Notez que ces rôles et responsabilités peuvent varier d'une entreprise à l'autre, selon la structure organisationnelle et la disponibilité des ressources.

Directeur d'usine

Le directeur d'usine doit être impliqué si (1) les temps de bon fonctionnement du contrôleur de la couche de base sont insuffisants et que (2) le contrôleur ne permet pas d'atteindre la stabilité de procédé exigée.

Chef d'équipe

Le chef d'équipe doit veiller à ce que l'attention des opérateurs ne soit pas monopolisée par un ou plusieurs contrôleurs au point d'avoir à désactiver ces contrôleurs. Autrement dit, le chef d'équipe n'a pas à se préoccuper du niveau d'interaction des opérateurs, de la stabilité du procédé ni du temps de bon fonctionnement des contrôleurs.

Opérateur

L'opérateur doit surveiller, par interface en temps réel, ce que le contrôleur fait à tout instant, et pourquoi il le fait. En termes techniques, l'opérateur est responsable de (1) la performance des contrôleurs et (2) des diagnostics de contrôleurs.

Ingénieur de production

L'ingénieur de production doit atteindre les objectifs de production établis par l'équipe de planification et par le directeur d'usine. De plus, la sécurité est une priorité clé pour l'ingénieur de production. Il doit être attentif à tout contrôleur PID causant (1) des oscillations à l'échelle de l'usine (c.-à-d. instabilité) ou (2) des incidents hors normes entraînant la production de produits hors normes. Ces informations sont généralement fournies par l'opérateur ou le chef d'équipe.

Ingénieur de procédé

L'ingénieur de procédé participe à la phase de conception de l'application. Il s'assure que les variables clés sont incluses et que le contrôleur cible les contraintes optimales. Il peut aussi participer à la résolution de problèmes si le comportement du procédé sous-jacent cause un problème aux contrôleurs.

Directeur technique (ou du contrôle de procédé)

Le directeur technique (ou du contrôle de procédé) doit veiller (1) au temps de bon fonctionnement de l'application et (2) à la rentabilité. Les problèmes exigeant des ressources additionnelles doivent lui être signalés, au besoin. Par exemple, si le procédé a subi des changements récemment et qu'un test par étape complet est exigé pour la mise à jour des modèles d'usine, le directeur technique (ou du contrôle de procédé) doit en être avisé.

Ingénieur de contrôle de procédé

L'ingénieur de contrôle de procédé est responsable de tous problèmes observés par le reste de l'équipe. Il doit non seulement veiller (1) au temps de bon fonctionnement, (2) à la performance des contrôleurs et (3) à la stabilité du procédé, mais il est aussi responsable d'en comprendre le «pourquoi». Enfin il doit surveiller la variabilité du procédé relativement aux points de référence, du cycle opératoire des contrôleurs, de la performance des contrôleurs, de l'interaction des opérateurs, des problèmes de réglage et des changements du procédé qui influencent le comportement de l'application.

Technicien en instrumentation et électricité

Le technicien en instrumentation et électricité participe seulement si un problème (ex. vanne collante ou mauvais fonctionnement d'un détecteur ou analyseur) signalé par l'un des autres membres de l'équipe doit être traité pour restaurer la performance de contrôle PID. Donc, il a besoin d'information sur les diagnostics liés aux instruments ou vannes identifiés (et signalés dans un rapport).

Le Tableau 3 montre une matrice de responsabilité pour différents aspects d'une application PID.

Rôle	Utilisation	Profits	Performance	Diagnostics
Opérateur	A	R	R	C
Chef d'équipe	R	R	C	C
Directeur d'usine	I	A	I	I
Ingénieur de production	I	R	C	C
Ingénieur de procédé	I	C	I	C
Directeur technique	R	R	I	I
Ingénieur de contrôle de procédé	R	R	A	A
Technicien en instrumentation et électricité		I	C	R

Tableau 4. Matrice de responsabilité pour le maintien des boucles PID (R = est responsable, A = autorise, I = est informé, et C = est consulté)

Rôle	Utilisation	Profits	Performance	Diagnostics
Directeur d'usine	Mensuel	Trimestriel	Trimestriel	Trimestriel
Chef d'équipe	Quotidien	Mensuel	Quotidien	Hebdomad.
Opérateur	Minutes	Quotidien	Minutes	Quotidien
Ingénieur de production	Quotidien	Hebdomad.	Quotidien	Hebdomad.
Ingénieur de procédé	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Mensuel
Directeur technique	Mensuel	Trimestriel	Mensuel	Hebdomad.
Ingénieur du contrôle de procédé	Quotidien	Quotidien	Quotidien	Quotidien
Technicien en instrumentation et électricité	Mensuel	Mensuel	Mensuel	Hebdomad.

Tableau 4. Intervalles de suivi des paramètres de mesure de performance des contrôles PID

VI. CONCLUSIONS

Le maintien et l'optimisation de la performance des contrôleurs PID est un défi qui implique différents groupes de personnes et processus de travail. Cet article avait pour objectif de décrire le problème dans un contexte industriel, et de présenter les meilleures pratiques pour surveiller les contrôleurs PID (ou de la couche de base). Les contrôleurs PID ont eu un impact important dans l'industrie des procédés. Ils peuvent générer des profits substantiels (de l'ordre de 1,5% des coûts d'exploitation), incluant : amélioration de la capacité d'exploitation des équipements de procédé individuels, réduction de la consommation d'énergie, augmentation de la productivité et amélioration de la qualité. Les actions appropriées doivent être prises pour surveiller et adapter continuellement la performance des contrôles PID aux conditions changeantes. En particulier, on doit utiliser les paramètres de mesure et processus de travail adéquats pour que toute baisse de performance significative des boucles de contrôle de la couche de base puisse être détectée, diagnostiquée et corrigée, en temps réel.

RÉFÉRENCES

- [1] M. L. Brisk, "Process Control: Potential Benefits and Wasted Opportunities", in 5th Asian Control Conference, vol. 1, 2004, pp.20-23
- [2] Michel Ruel, "Loop Optimization: Before You Tune - Troubleshooting - How to Tune a Loop", *Control Magazine*, March/April/May 1999