

3) Boucles complexes

1. Introduction	2
1.1. Une mesure supplémentaire	2
1.2. Une commande supplémentaire.....	2
2. Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte).....	2
2.1. Présentation	2
2.2. Programmation sur T2550	2
2.3. Détermination théorique d'un correcteur statique.....	3
2.4. Détermination pratique d'un correcteur statique	3
2.5. Détermination d'un correcteur dynamique A/R.....	3
2.6. Exemple de régulation mixte	3
3. Régulation cascade	4
3.1. Présentation	4
3.2. Programmation sur T2550	4
3.3. Cascade sur une grandeur intermédiaire	4
3.4. Cascade sur la grandeur réglante.....	5
4. Régulation de rapport (ou de proportion).....	6
4.1. Présentation	6
4.2. Programmation sur T2550	6
4.3. Exemple de boucle de proportion.....	6
4.4. Exemple de calcul du gain k.....	7
5. Régulation parallèle (override ou de limitation)	7
5.1. Présentation	7
5.2. Programmation sur T2550	7
5.3. Exemple de régulation parallèle.....	8
6. Régulation à deux grandeurs réglantes (split range).....	8
6.1. Présentation	8
6.2. Régulation à deux grandeurs à effets complémentaires.....	8
6.3. Régulation à deux grandeurs à effets antagonistes.....	9
6.4. Programmation sur T2550	9
6.5. Détermination du sens d'action du régulateur	9
6.6. Détermination des équations de sortie	10
7. Régulation adaptative	10



1. Introduction

On a vu dans le chapitre précédent que pour améliorer notre boucle de régulation on peut être amené à ajouter une mesure, ou un organe de réglage. Ce chapitre développera les différentes boucles complexes en séparant les différents types de mesure ajoutées et les différents organes de réglage.

1.1. Une mesure supplémentaire

On peut classer les mesures ajoutées à notre boucle simple en trois catégories :

- Les mesures de perturbations que l'on ne peut pas contrôler (boucle mixte) ;
- Les mesures intermédiaires que l'on peut contrôler à l'aide de l'organe de réglage (boucle cascade) ;
- Les mesures permettant d'obtenir une proportion (boucle de proportion) ;
- Les mesures nécessaires à la mise en place d'une boucle de sécurité (boucle parallèle).

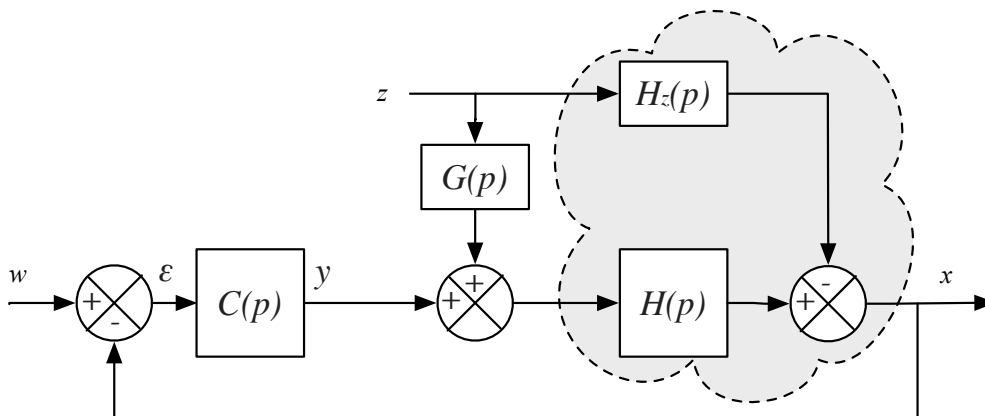
1.2. Une commande supplémentaire

On ne traitera qu'un cas qui utilise une commande supplémentaire ; la boucle à partage d'étendue.

2. Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte)

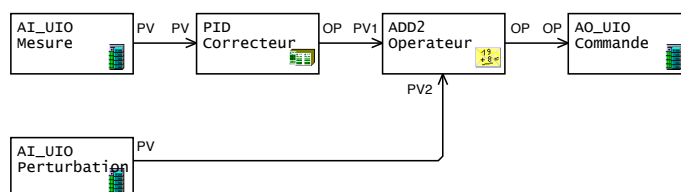
2.1. Présentation

Une telle boucle est utile lorsqu'une perturbation a un poids important et que la mesure ne varie pas rapidement suite à cette perturbation. Cette perturbation n'est pas contrôlable à l'aide de l'organe de réglage utilisée dans la boucle initiale. On utilise la mesure de cette perturbation pour compenser ses effets sur la grandeur réglée. Le système peut alors être représenté de la manière suivante :



Le correcteur de tendance $G(p)$ peut être un simple gain, un module avance/retard ou un opérateur plus complexe. Le régulateur utilisera deux mesures (x et z), deux correcteurs ($C(p)$ et $G(p)$). La mesure z est ajoutée à la boucle principale.

2.2. Programmation sur T2550



La boucle est composée de deux mesures (grandeur réglée et perturbation), d'un correcteur PID, d'un additionneur (ADD2) et d'une sortie.



2.3. Détermination théorique d'un correcteur statique

Le correcteur $G(p)=A_2$ doit permettre l'annulation de l'influence de la perturbation.

On cherche à avoir $\frac{dx}{dz} = 0$, or $x = -H_z(p) \times z + H(p)G(p) \times z + H(p)C(p) \times \varepsilon \Rightarrow H(p)G(p) - H_z(p) = 0$.

$$G(p) = A_2 = \frac{H_z(0)}{H(0)}$$

2.4. Détermination pratique d'un correcteur statique

- Choisir un point de fonctionnement et relever les valeurs de la mesure x_1 , la commande y_1 et de la perturbation z_1 .
- Faire varier la perturbation z .
- Faire revenir la mesure à la valeur x_1 .
- Relever les valeurs de la commande y_2 et la perturbation z_2 .
- Le gain du correcteur statique est : $A_2 = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$.

2.5. Détermination d'un correcteur dynamique A/R

Cette fois :

A_2 est déterminé de la même manière que précédemment.

- On note T (respectivement T_z) le retard de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).
- On note τ (respectivement τ_z) la constante de temps de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).
- On note n (respectivement n_z) l'ordre de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).

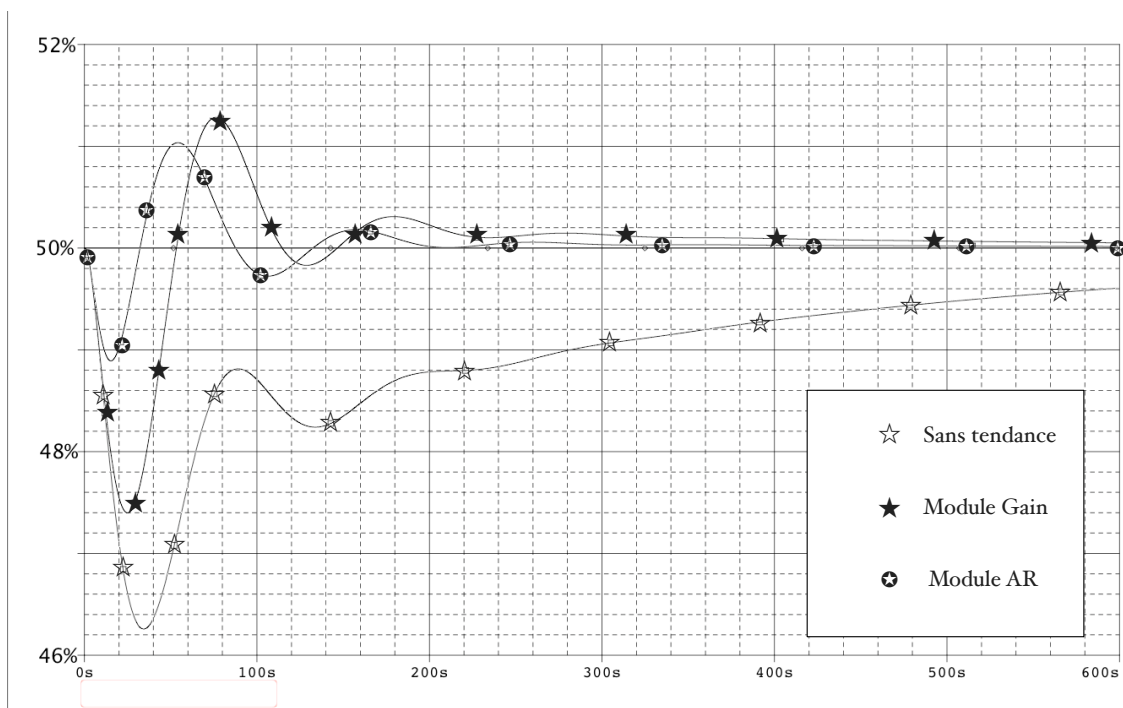
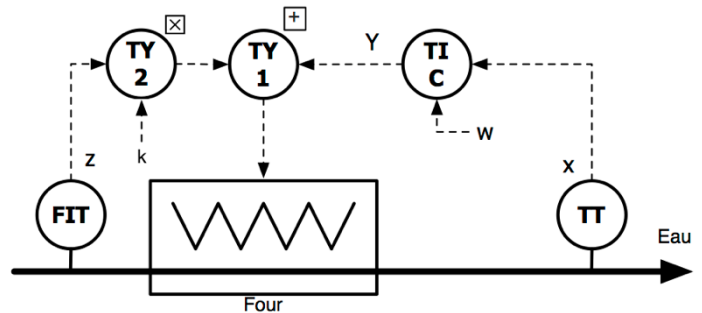
Si $n_z \times \tau_z + T_z < n\tau + T$: Prendre $\tau_a = n\tau + T - (n_z \times \tau_z + T_z)$ et $\tau_r \leq \tau_a / 20$

Sinon : Ne pas prendre de module A/R.

2.6. Exemple de régulation mixte

Dans la régulation de température ci-contre, la mesure du débit du liquide chauffé permet d'anticiper la baisse de température engendrée par son augmentation.

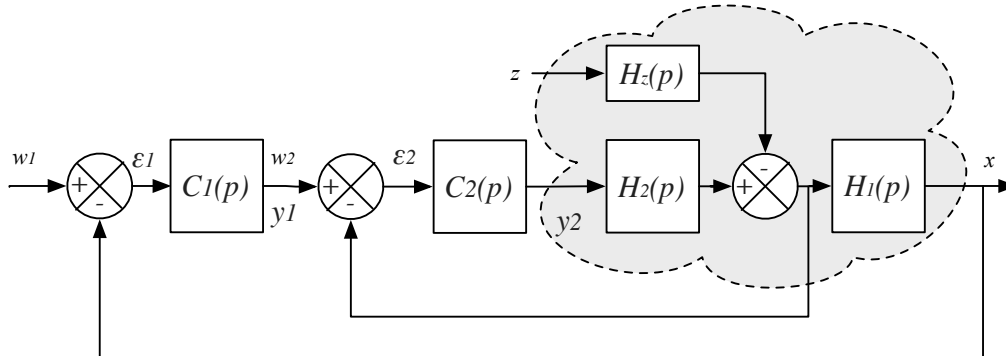
On observe l'évolution de la température pour la même augmentation du débit, avec différentes solutions pour TY2.



3. Régulation cascade

3.1. Présentation

Une régulation cascade est composée de deux boucles imbriquées. Une mesure supplémentaire est contrôlée par la boucle esclave qui utilise l'organe de réglage de la boucle initiale. La boucle maître contrôle la grandeur réglée de la régulation, sa commande est la consigne de la régulation esclave.

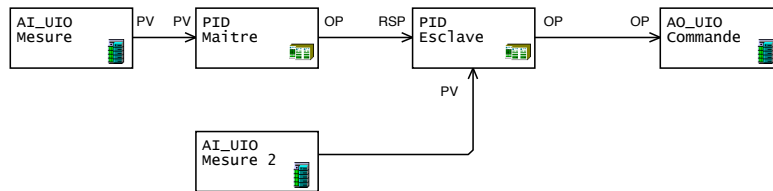


Si la grandeur supplémentaire est la grandeur réglante de $H_1(p)$, on parle de «cascade sur la grandeur réglante». Sinon, on parle de «cascade sur une grandeur intermédiaire».

Ce type de régulation se justifie quand on a une grande inertie du système vis-à-vis d'une perturbation sur la grandeur réglante, ou sur une grandeur intermédiaire.

Il faut d'abord régler la boucle interne, puis la boucle externe avec le régulateur esclave fermée.

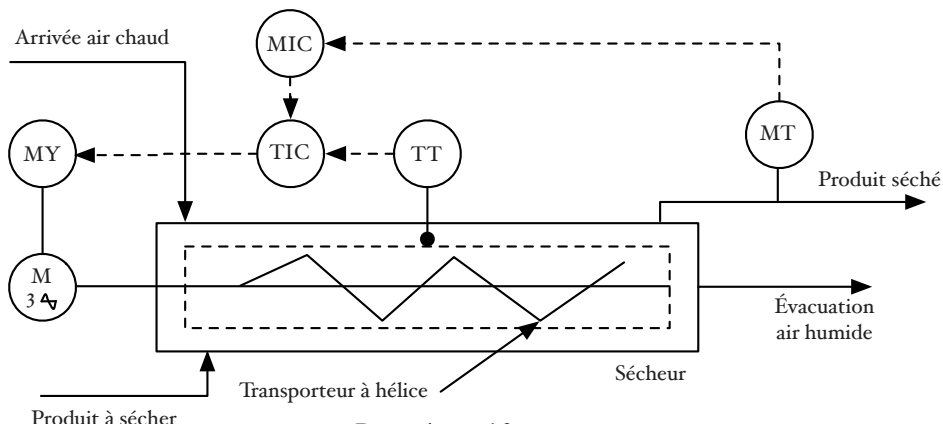
3.2. Programmation sur T2550



La boucle est composée de deux mesures (grandeur réglée de la boucle esclave et maître), de deux correcteurs PID et d'une sortie. Ne pas oublier d'activer la consigne à distance (EnaRem) et de la sélectionner (SelRem) dans SelMode de la boucle esclave.

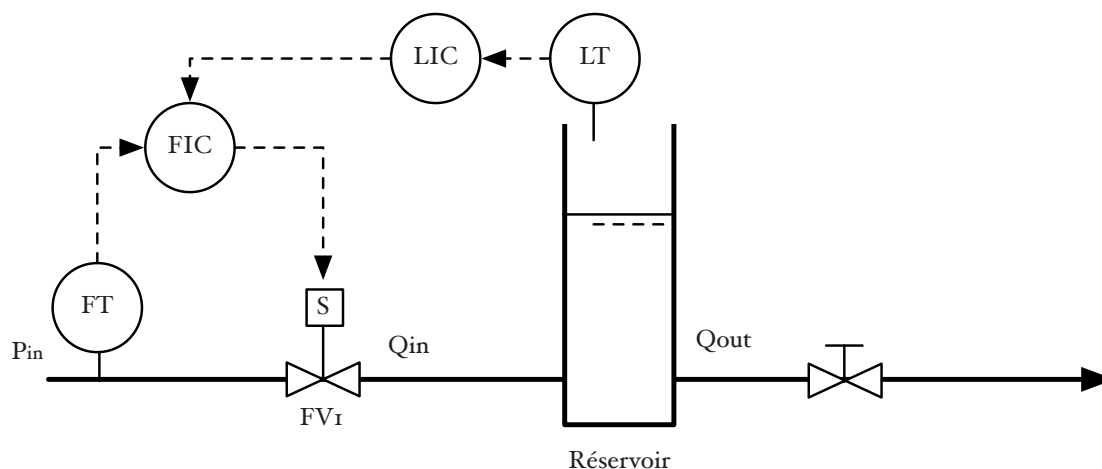
3.3. Cascade sur une grandeur intermédiaire

Un produit à sécher est soumis à un de l'air chaud pour faire baisser son taux d'humidité. Plus le temps passé dans le sécheur par le produit à sécher sera grand, plus le taux d'humidité relative du produit séché sera bas. On contrôle ce taux d'humidité en agissant sur la vitesse de la vis d'Archimède. La température du produit est la grandeur réglée par la boucle esclave.

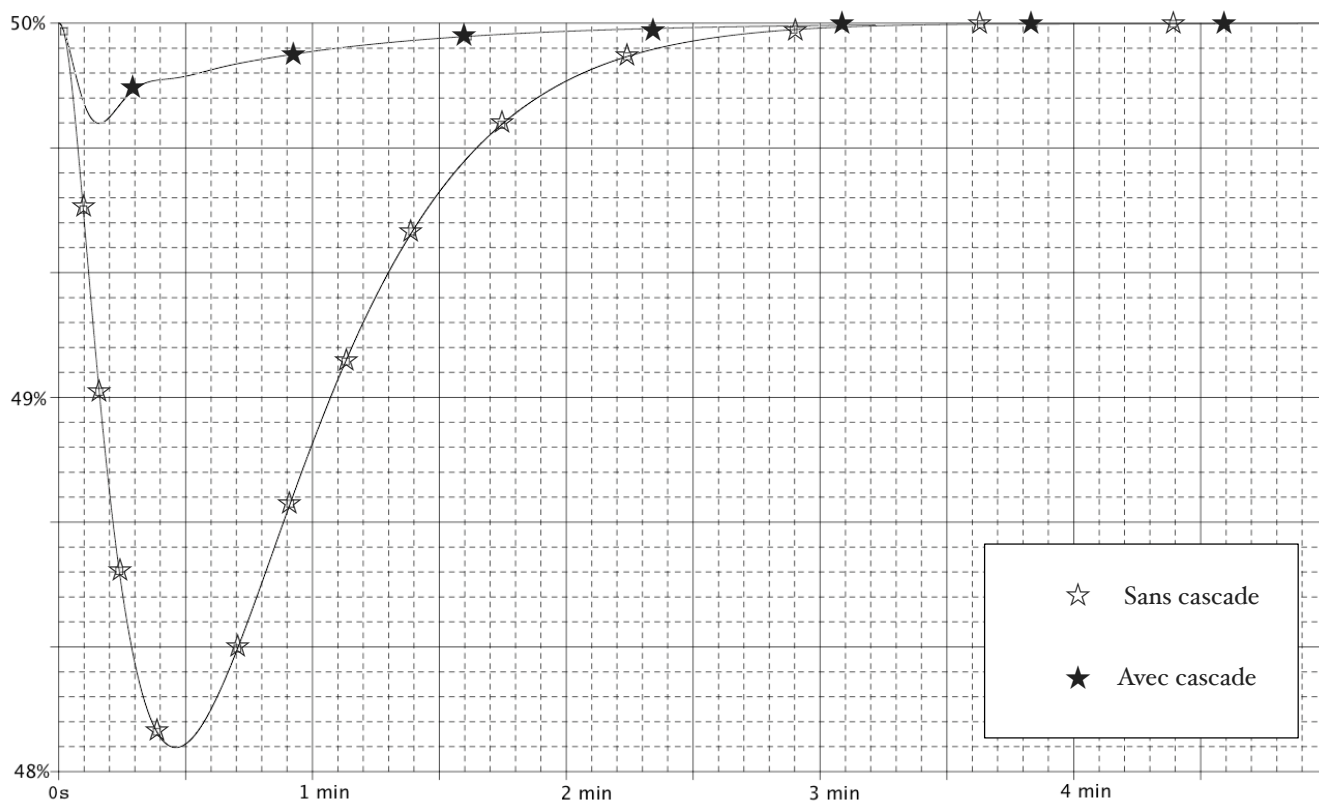


3.4. Cascade sur la grandeur réglante

On peut utiliser une régulation cascade dans une régulation de niveau. Le niveau dans le réservoir est la grandeur réglée par la boucle maître. Le débit d'alimentation est la grandeur réglante de la boucle maître et la grandeur réglée de la boucle esclave. La pression P_{in} est la principale perturbation de la boucle esclave. Q_{out} est la principale perturbation de la boucle maître.



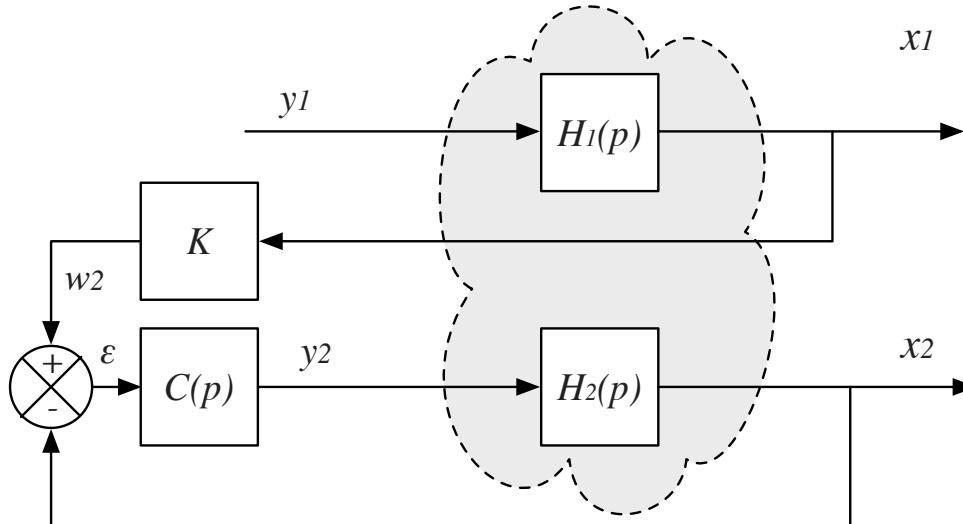
On observe ci-après l'évolution du niveau en réponse à une variation de la pression P_{in} . L'influence de cette même perturbation a été observée pour une boucle simple et une boucle cascade. L'apport de la cascade est sans équivoque.



4. Régulation de rapport (ou de proportion)

4.1. Présentation

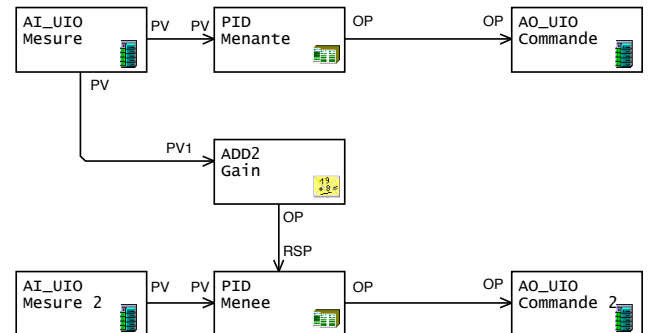
On utilise une régulation de rapport quand on veut un rapport constant entre deux grandeurs x_1 et x_2 (avec $x_2/x_1 = \text{constante}$). Dans l'exemple ci-dessous, la grandeur pilote x_1 est utilisée pour calculer la consigne de la boucle de régulation de la grandeur x_2 .



4.2. Programmation sur T2550

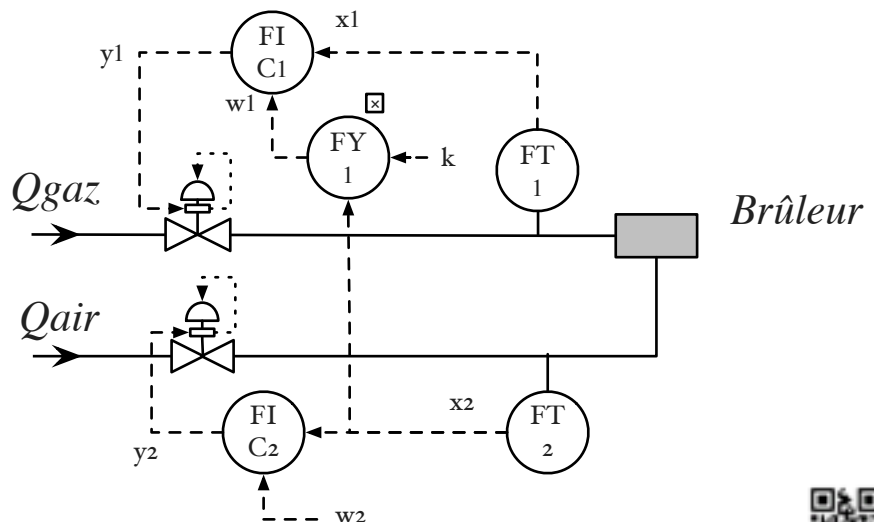
La régulation est composée de deux boucles (une boucle menante et une menée).

La mesure de la menante sert au calcul de la consigne de la boucle menée. Il ne faut pas oublier d'activer la consigne à distance (EnaRem) et de la sélectionner (SelRem) dans SelMode de la boucle menée.



4.3. Exemple de boucle de proportion

On peut utiliser une régulation de rapport pour établir le rapport air/combustible d'une régulation de combustion.



4.4. Exemple de calcul du gain k

Dans l'exemple ci-avant, on suppose que pour avoir une combustion complète, on doit avoir un débit d'air cinq fois supérieur au débit de gaz soit : $Q_{air} = 5 \times Q_{gaz}$.

L'étendue de mesure du transmetteur de débit d'air est réglée sur 0-10 kg/h. Celui du débit de gaz sur 0-3 kg/h.

La méthode la plus rapide pour calculer k est de prendre un exemple, sans saturer les transmetteurs.

Ainsi, si $Q_{gaz} = 1,5$ kg/h (50%), $Q_{air} = 7,5$ kg/h (75%). Or $k = Q_{gaz}(\%)/Q_{air}(\%) = 50/75 = 0,667$.

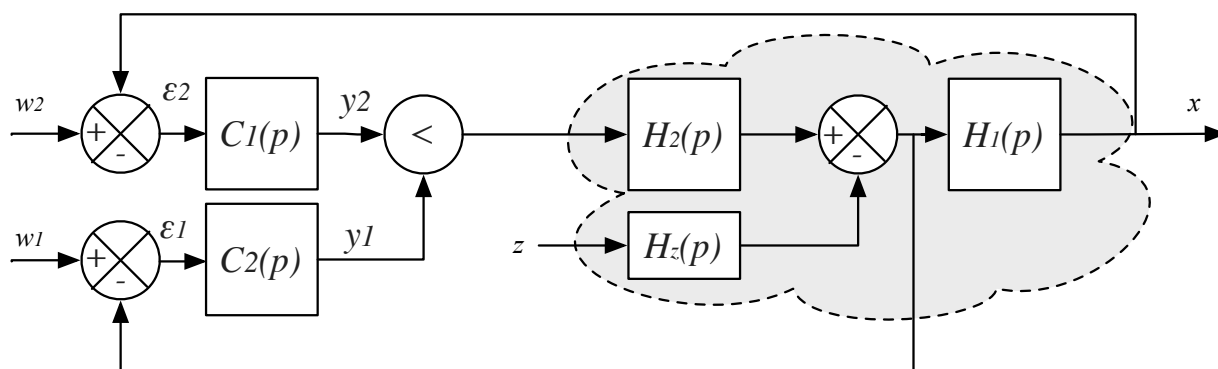
Remarque 1 : Le choix de l'étendue de mesure de chaque transmetteur n'est pas très judicieux dans cet exemple (c'est fait exprès...). On s'attachera dans la pratique à choisir un réglage des transmetteurs entraînant la suppression de l'opérateur FY1 ($\times 1$).

Remarque 2 : Ne plus se prendre la tête avec le calcul de k, travailler en unités physiques.

5. Régulation parallèle (override ou de limitation)

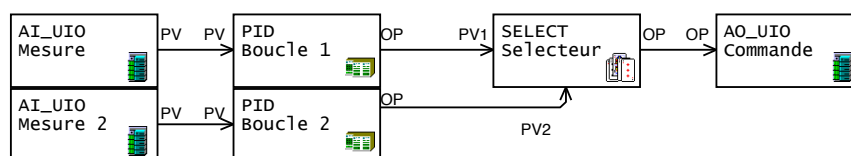
5.1. Présentation

Dans certain procédé, il apparaît nécessaire quelquefois de surveiller deux grandeurs, pour des raisons de sécurité ou pour assurer le fonctionnement du procédé. Dans ce cas, on utilise une régulation dite parallèle. Elle utilise deux grandeurs réglées, deux correcteurs différents et un seul organe de réglage. Un sélecteur choisi la commande la plus adaptée.



On règle les deux boucles indépendamment. On s'assurera de la mise hors service du sélecteur lors du réglage de chacune des boucles.

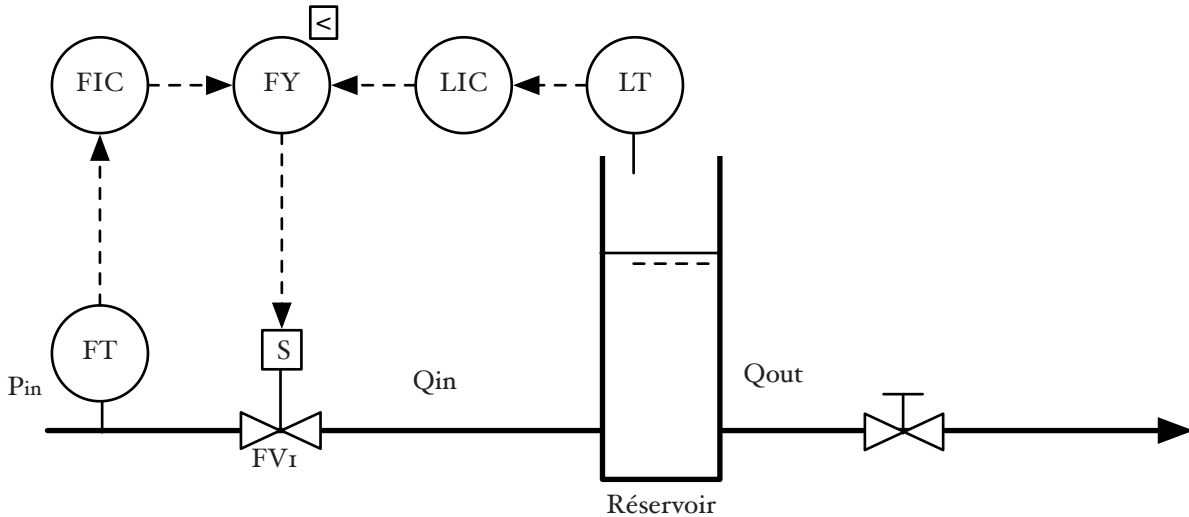
5.2. Programmation sur T2550



La régulation est composée de deux boucles. Le sélecteur sélectionne la commande la plus petite (ou la plus grande) pour l'envoyer vers la sortie commande.



5.3. Exemple de régulation parallèle

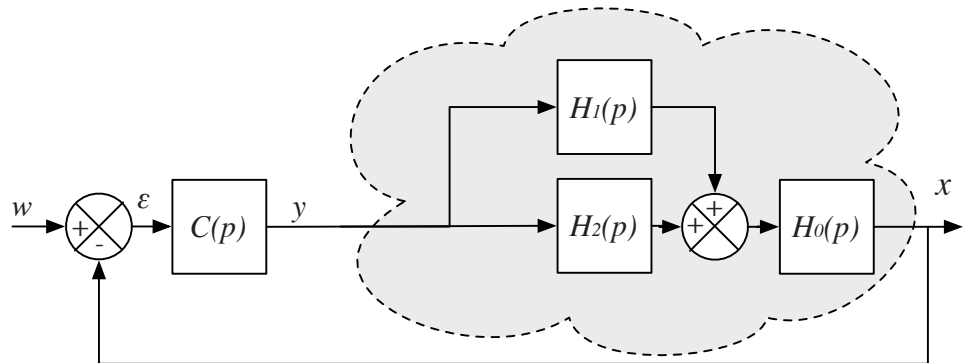


Dans la régulation de débit ci-dessus, il est nécessaire de surveiller le niveau, pour éviter le débordement du liquide. Un sélecteur minimum assure le fonctionnement de la régulation de débit sans débordement de liquide.

6. Régulation à deux grandeurs réglantes (split range)

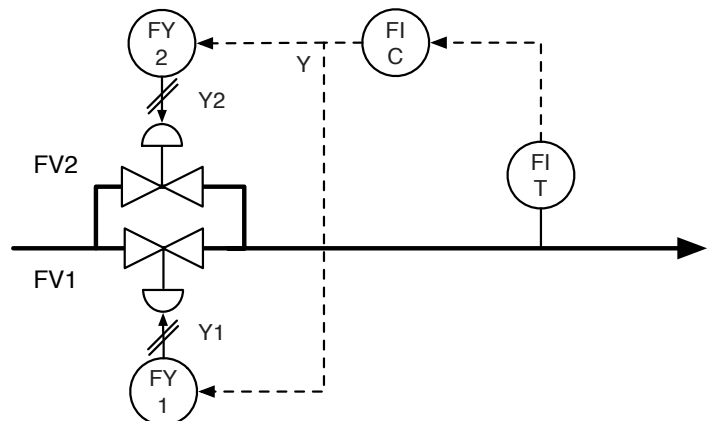
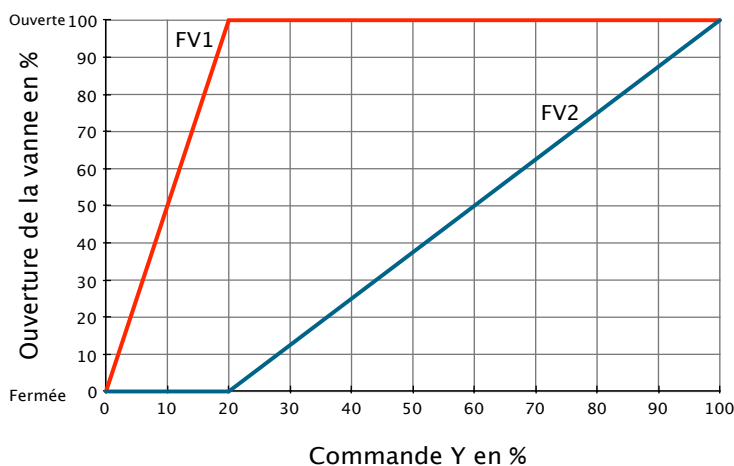
6.1. Présentation

On utilise une régulation à partage d'étendue lorsque l'on désire contrôler le système à l'aide de deux organes de réglage différents. Ces deux organes de réglage peuvent avoir des effets alliés ou antagonistes de type chaud-froid.



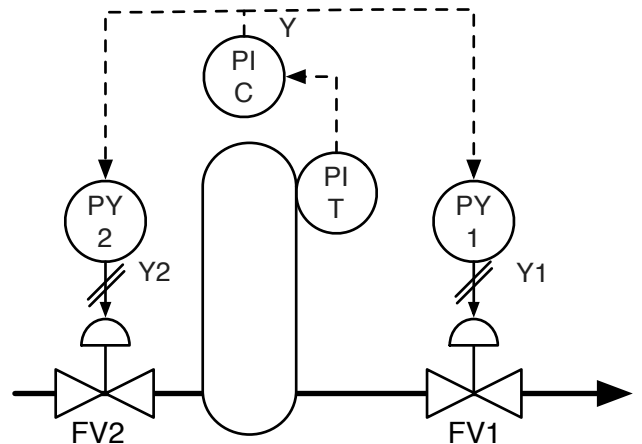
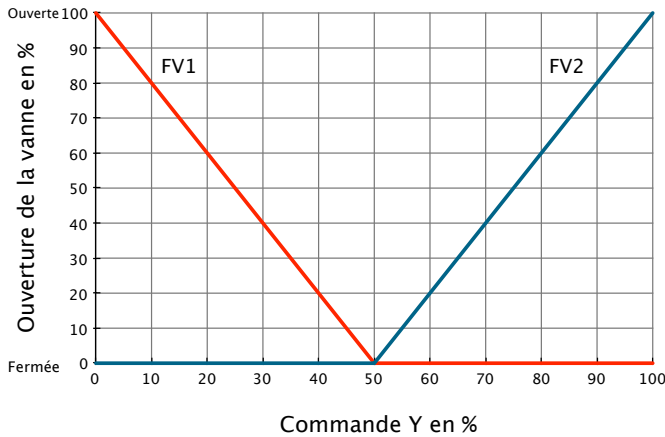
6.2. Régulation à deux grandeurs à effets complémentaires

Pour éviter les problèmes de cavitation, on utilise deux vannes de régulation avec des capacités de débit différentes (C_v). Une vanne sera utilisée pour contrôler les débits importants, l'autre pour les débits faibles.

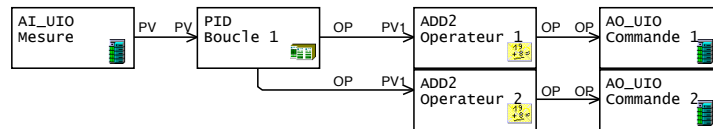


6.3. Régulation à deux grandeurs à effets antagonistes

Pour remplir ou vider un réservoir, on utilise deux vannes de régulation. Une vanne alimente le réservoir, une autre vanne vide le réservoir. On parle aussi de régulation chaud-froid.



6.4. Programmation sur T2550



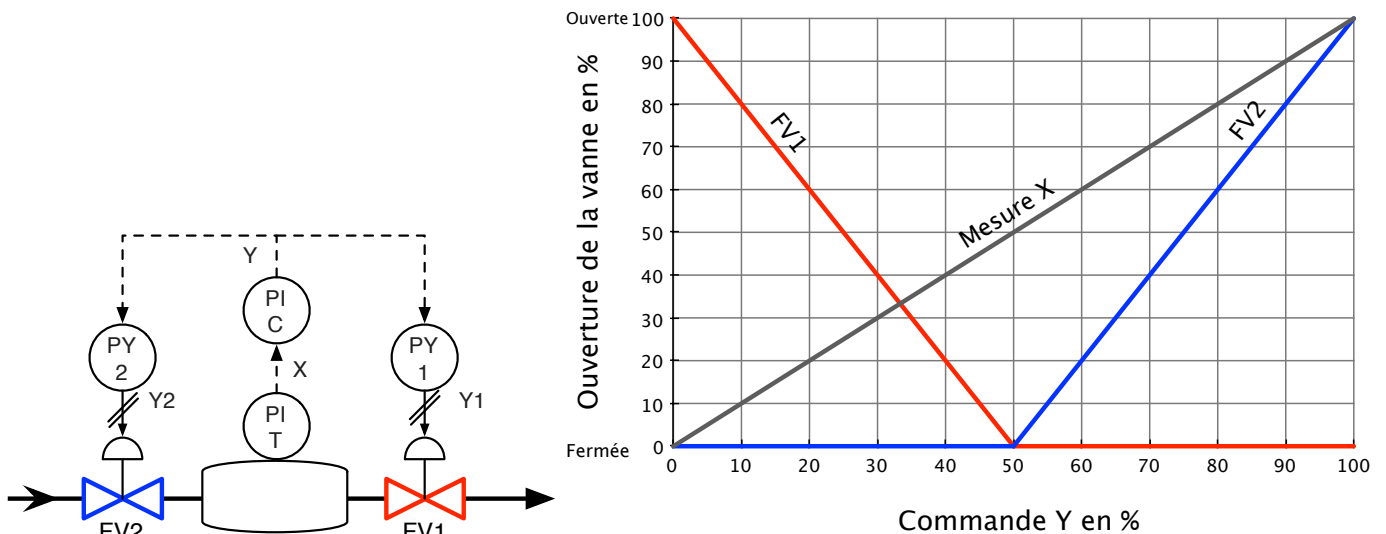
La régulation est composée d'une boucle, deux opérateurs calculent deux commandes différentes.

6.5. Détermination du sens d'action du régulateur

Pour déterminer le sens d'action du régulateur, on cherche le sens d'action du procédé. Pour cela, on reprend le graphe de partage, puis ;

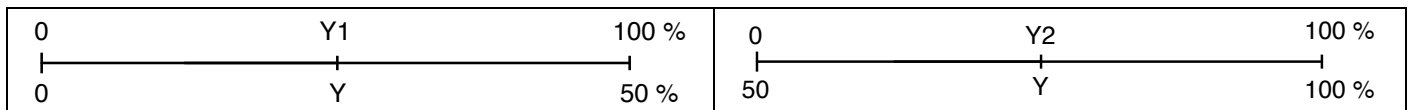
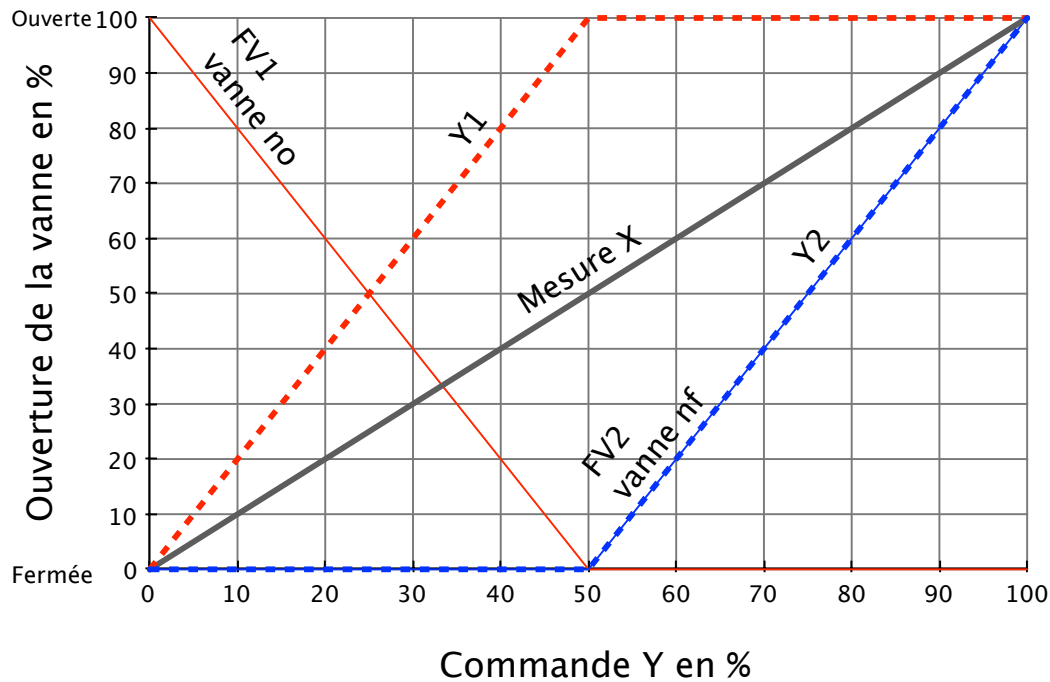
- À partir du plan de partage et du schéma TI, déduire le sens d'action du procédé.
- Si la commande Y et la mesure X varie dans le même sens, le procédé est direct, donc on doit régler le régulateur avec une action inverse. Si la commande Y et la mesure X varie dans deux sens différents, le procédé est inverse, donc on doit régler le régulateur avec une action directe.

Dans le cas ci-dessous, le procédé est direct, donc on doit régler le régulateur avec une action inverse :



6.6. Détermination des équations de sortie

Sur le graphe de partage, on trace l'évolution de Y1 et Y2 en fonction du sens d'action des vannes (NO ou NF). Pour déterminer les équations liant les commandes Y1 et Y2 à la commande Y, il suffit de représenter les relations entre ces grandeurs, puis d'appliquer la formule de proportionnalité. Ne pas oublier de limiter les signaux Y1 et Y2 entre 0 et 100 %.



$$\frac{0 - Y1}{0 - Y} = \frac{0 - 100}{0 - 50} = \frac{Y1}{Y} = \frac{100}{50} = 2$$

$$Y1 = 2 \times Y$$

$$\frac{0 - Y2}{50 - Y} = \frac{0 - 100}{50 - 100} = \frac{-Y2}{50 - Y} = \frac{100}{50} = 2$$

$$Y2 = -2 \times (50 - Y) = 2 \times Y - 100$$

7. Régulation adaptative

Les critères de choix des correcteurs que nous avons utilisés jusqu'à présent s'appliquent à des systèmes linéaires. Pour prendre en compte les non-linéarités d'un système industriel, il est nécessaire d'adapter ces réglages au point de fonctionnement et aux variations du procédé.

Il existe de nombreuses méthodes différentes qui permettent de répondre à cette problématique. Elles sont implémentées indifféremment dans les régulateurs par les constructeurs sous le qualificatif auto-adaptatif.

