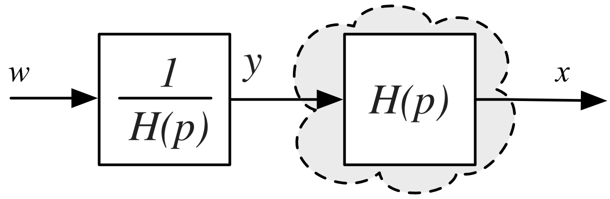
CHAP III. ENSEMBLES COMPLEXES

1. ‘Régulation’ en chaîne ouverte (régulation de tendance) 2
2. Régulation en chaîne fermée 2
  2.1. Présentation 2
  2.2. Réglabilité 2
3. Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte) 3
  3.1. Présentation 3
  3.2. Détermination d’un correcteur statique 3
  3.3. Détermination d’un correcteur dynamique A/R 4
  3.4. Exemple 4
4. Régulation cascade 5
  4.1. Présentation 5
  4.2. Cascade sur une grandeur intermédiaire 5
  4.3. Cascade sur la grandeur réglante 6
5. Régulation de rapport (ou de proportion) 7
  5.1. Présentation 7
  5.2. Exemple 7
6. Régulation parallèle (override ou de limitation) 8
  6.1. Présentation 8
  6.2. Exemple 8
7. Régulation à deux grandeurs réglantes (split range) 9
  7.1. Présentation 9
  7.2. Détermination du sens d’action du régulateur 10
  7.3. Détermination des équations de sortie 11
8. Régulation adaptative 12

1. 'Régulation' en chaîne ouverte (régulation de tendance)

Il ne s'agit pas à proprement parler de régulation car cette technique n'utilise pas la mesure pour déterminer la commande du régulateur. On suppose que l'on connaît parfaitement la fonction de transfert du système *H(p)* et qu'il n'y a pas de perturbations. Il suffit alors de prendre $C(p)=H^{-1}(p)$. Le système peut alors être représenté de la manière suivante :

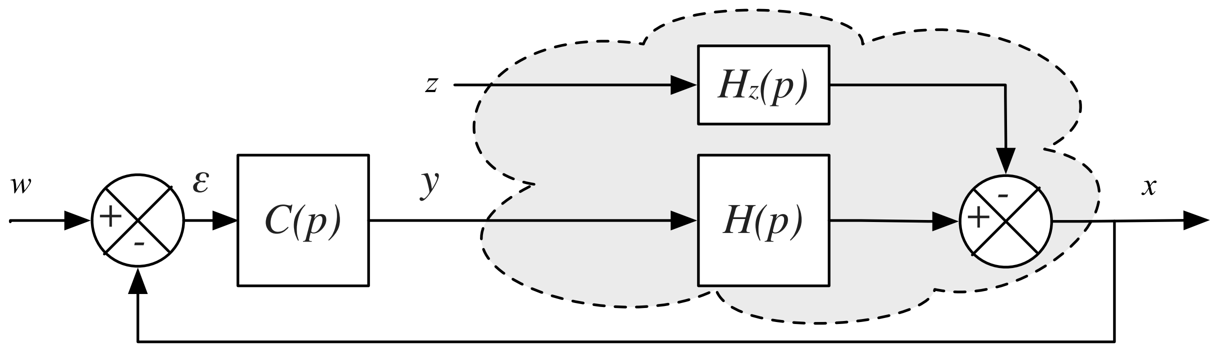


Mais la fonction de transfert réelle *H(p)* varie en fonction du point de fonctionnement et les systèmes réels sont soumis à des perturbations. De plus pour certaine fonction de transfert (retard), $H^{-1}(p)$ n'existe pas. On utilisera ce type de commande uniquement si la mesure de la grandeur réglée est 'difficile' et le système 'facilement' modélisable.

2. Régulation en chaîne fermée

2.1. Présentation

C'est la régulation que l'on a étudiée jusqu'à présent. La mesure est comparée à la consigne afin de calculer le signal de commande. Le système, avec une perturbation *z,* peut être représenté de la manière suivante :



2.2. Réglabilité

Le coefficient de réglabilité T/τ pour un modèle de Broïda, permet de connaître quel type de régulation utiliser :

$$H(p) = \frac{K.e^{-Tp}}{1+\tau.p}$$

TOR	0,05	P	0,1	PI	0,2	PID	0,5	Autre

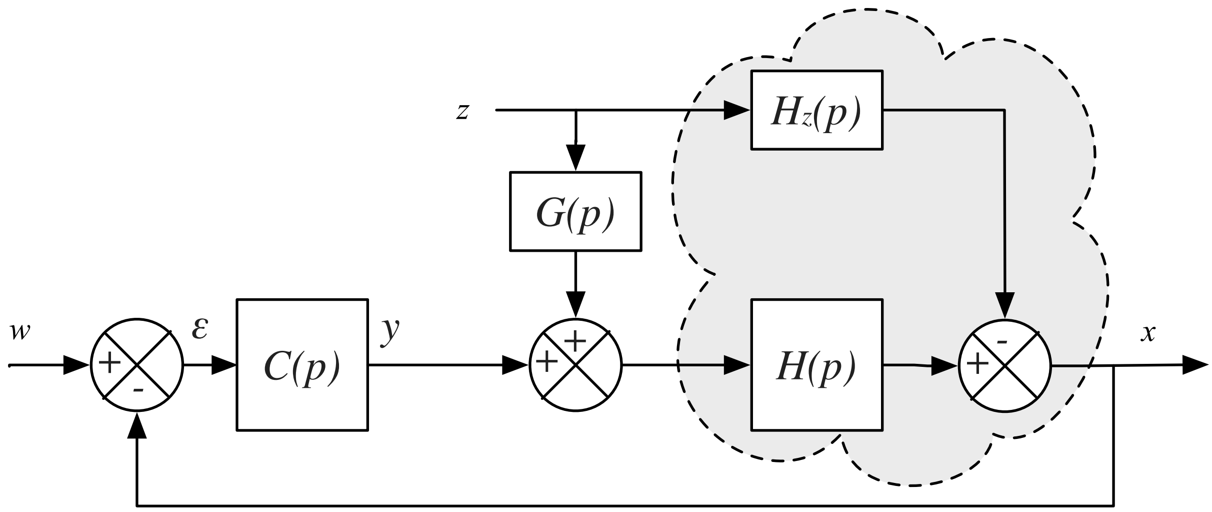
Ce type de régulation, avec un seul correcteur, est d'autant moins efficace que :

- le rapport T/τ est supérieur à 0,5 ;
- les perturbations *z1* ou *z2* sont trop importantes.

3. Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte)

3.1. Présentation

Une telle boucle est utile lorsque qu'une perturbation a un poids important et que la mesure ne varie pas rapidement suite à cette perturbation. On utilise la mesure d'une 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 (*w* et *z*), deux correcteurs (*C(p)* et *G(p)*).

3.2. Détermination d'un correcteur statique

Le module G(p) doit permettre l'annulation de l'influence de la perturbation.

On cherche à avoir : $\frac{dx}{dz} = 0$

$$x = (H \times G - H_z)z + H \times C \times \epsilon$$

$$H \times G - H_z = 0$$

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

Dans notre cas on veut : $G(p) = K_g$

Donc : $K_g = \frac{H_z(p=0)}{H(p=0)}$

3.3. Détermination d'un correcteur dynamique A/R

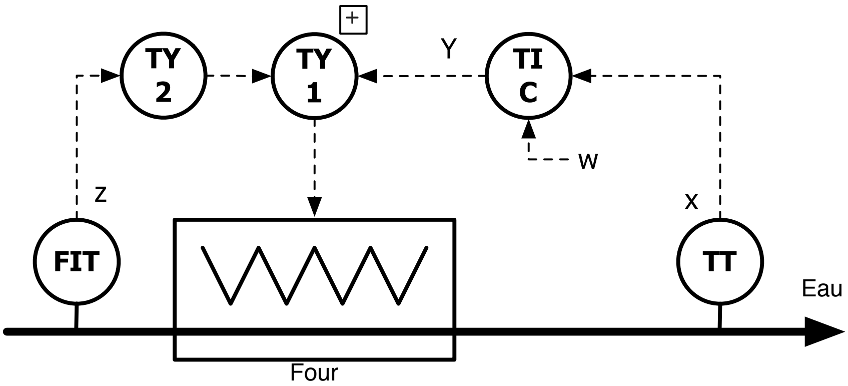
Cette fois : $G(p) = K_g \dfrac{1+\tau_a}{1+\tau_r}$

K_g est déterminé de la même manière que précédemment.

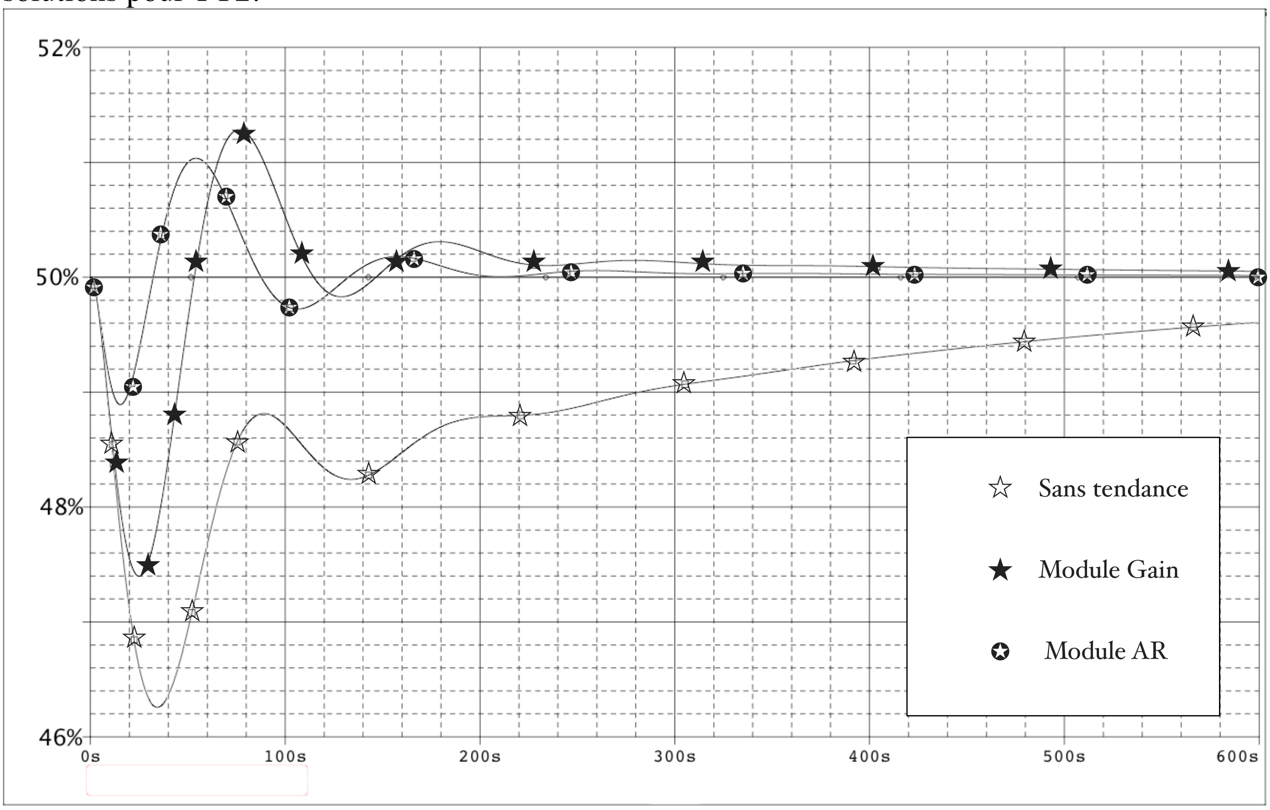
- On note T (respectivement T_z) le retard de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).
- On note τ (respectivement τ_z) la constante de temps de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).
- On note n (respectivement n_z) l'ordre de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$).

Si $n_z\tau_z+T_z < n\tau+T$: Prendre $\tau_a = n\tau+T - (n_z\tau_z+T_z)$ et $\tau_r \leq \tau_a/20$
Sinon : Ne pas prendre de module A/R.

3.4. Exemple



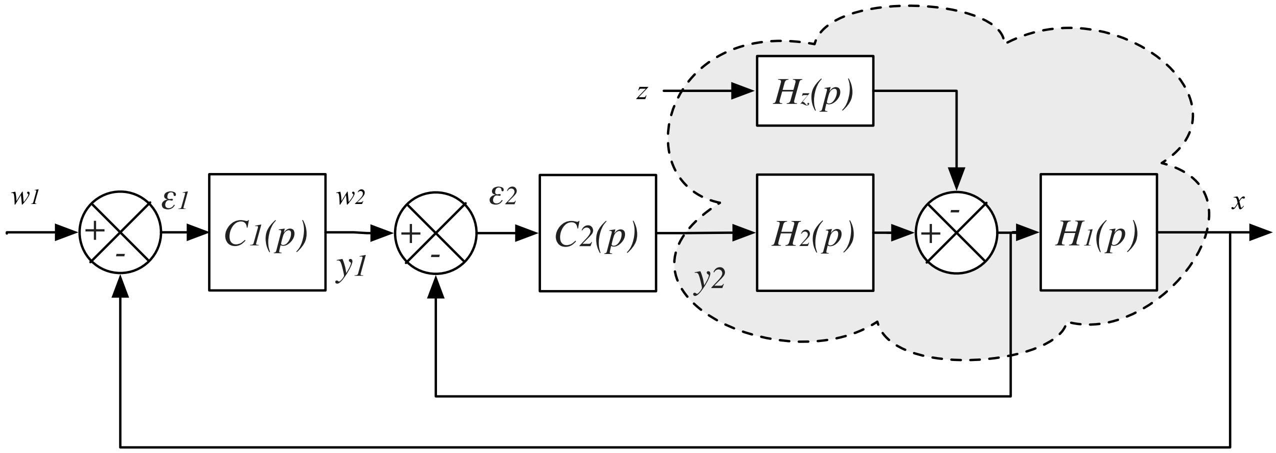
Dans la régulation de température ci-dessus, la mesure du débit du liquide chauffé permet d'anticiper la baisse de température engendrée par son augmentation.
On observe l'évolution de la température pour la même augmentation du débit, avec différentes solutions pour TY2.



4. Régulation cascade

4.1. Présentation

Une régulation cascade est composée de deux boucles imbriquées. Une mesure intermédiaire est contrôlée par la boucle esclave. La boucle maître contrôle la grandeur réglée de la régulation, sa commande est la consigne de la régulation esclave.



Si la grandeur intermédiaire 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».

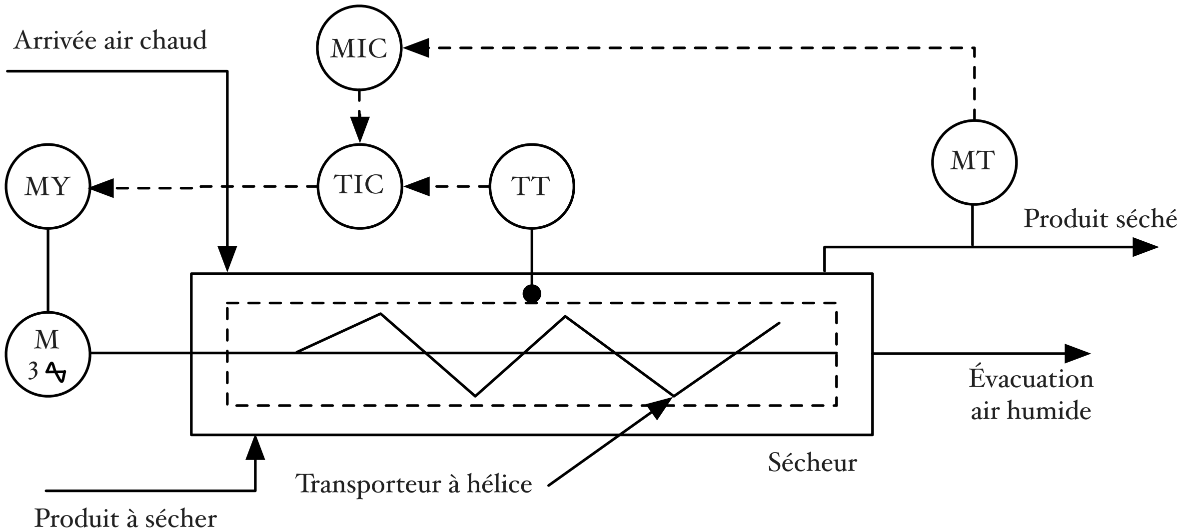
Ce type de régulation se justifie quand on a une grande inertie du système vis à vis d'une perturbation sur la grandeur réglante, ou sur une grandeur intermédiaire.

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

4.2. Cascade sur une grandeur intermédiaire

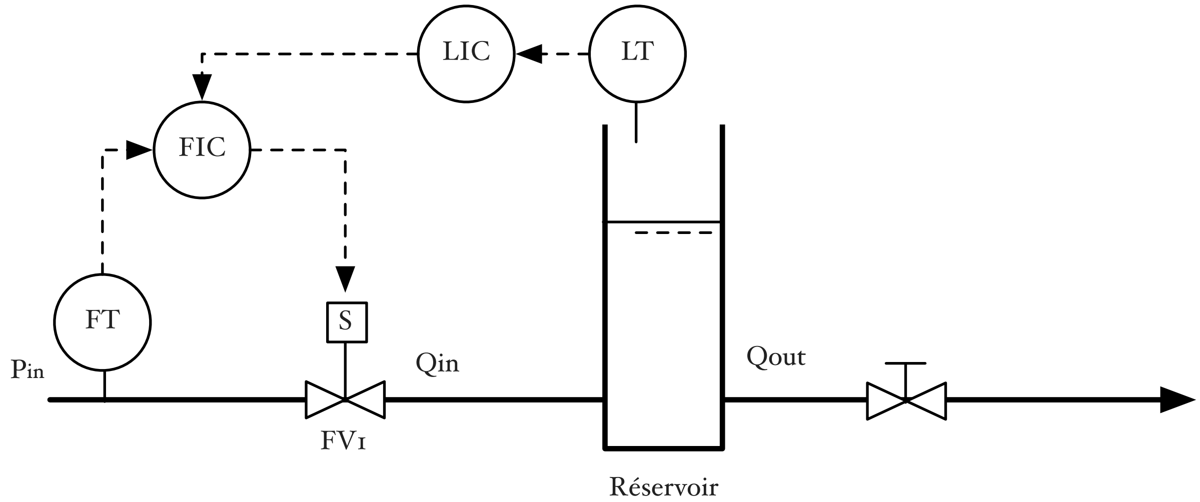
Le produit à sécher est soumis à un de l’air chaud pour faire baisser son taux d’humidité. Plus le temps passé dans le sécheur par le produit à sécher sera grand, plus le taux d’humidité relative du produit séché sera bas.

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.

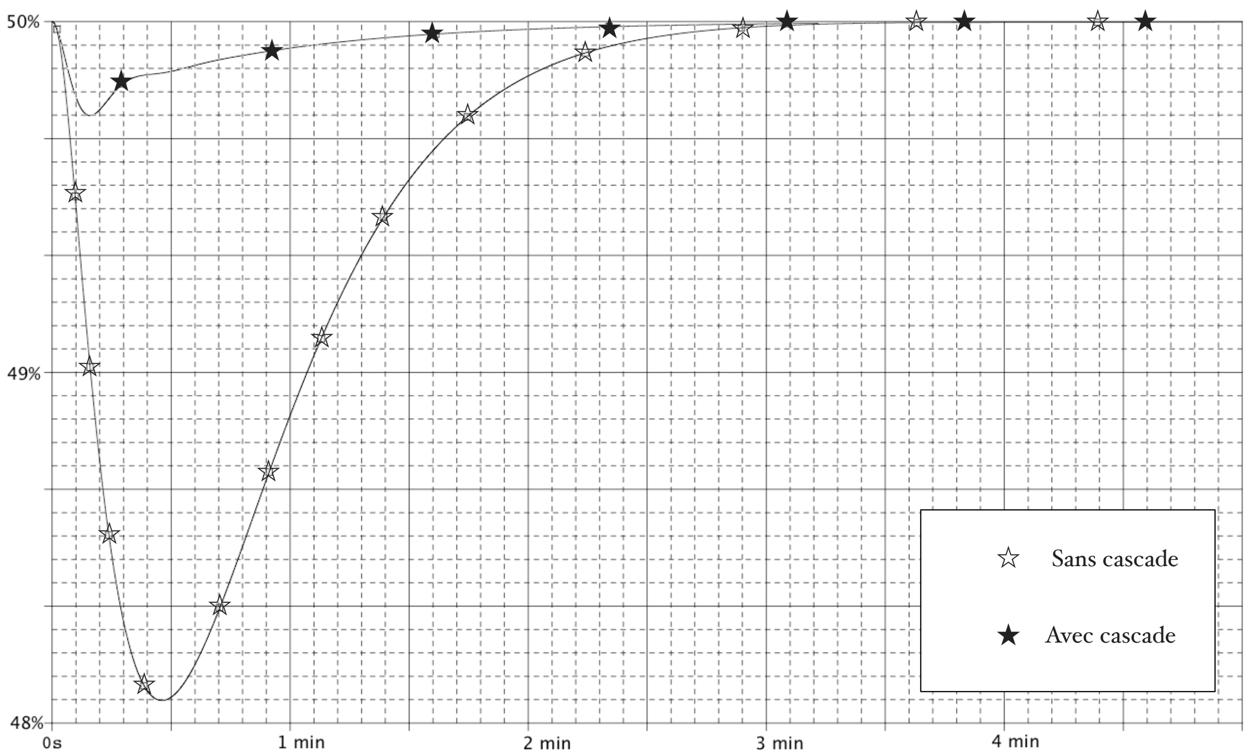


4.3. Cascade sur la grandeur réglante

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. Qout est la principale perturbation de la boucle maître.



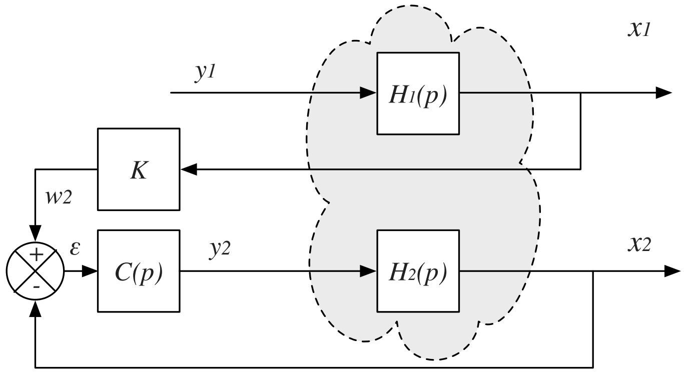
On observe ci-après l'évolution du niveau en réponse à une variation de la pression P_{in}. L'influence de cette même perturbation a été observée pour une boucle simple et une boucle cascade. L'apport de la cascade est sans équivoque.



5. Régulation de rapport (ou de proportion)

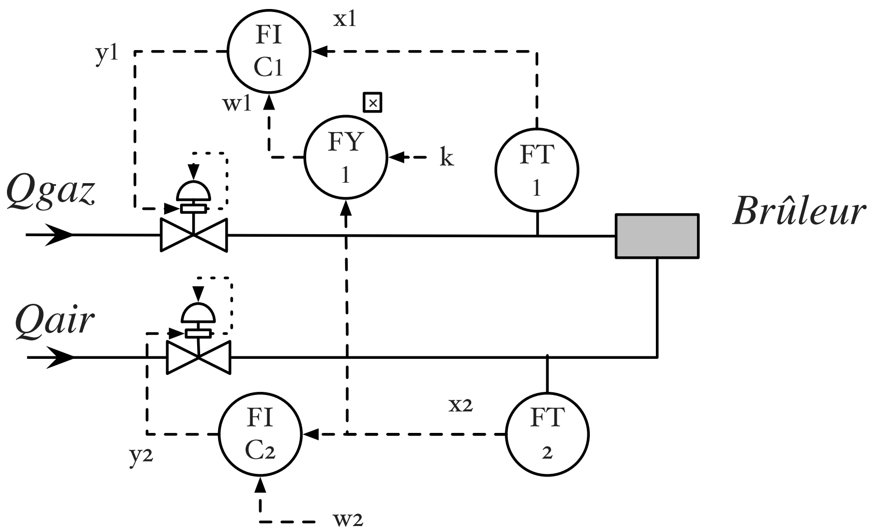
5.1. Présentation

On utilise une régulation de rapport quand on veut un rapport constant entre deux grandeurs réglée *x1* et *x2* (*x2*/*x1* = constante). Dans l'exemple ci-dessus, la grandeur pilote *x1* est utilisée pour calculer la consigne de la boucle de régulation de la grandeur *x2*.



5.2. Exemple

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



Exemple de calcul de l'opérateur FY1 :

Dans l'exemple ci-dessus, on suppose que pour avoir une combustion complète, on doit avoir un débit d'air cinq fois supérieur au débit de gaz : Qair = 5 × Qgaz.

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. On a donc les relations suivantes entre les signaux des transmetteurs et les débits :

0	Qair	10 kg/h	0	Qgaz	3 kg/h
0	x2	100 %	0	x1	100 %

Calculs :

$$Qair = 10 \times \frac{x2}{100} \ et \ Qgaz = 3 \times \frac{x1}{100}$$

$$Qair = 5 \times Qgaz => x2 \times \frac{10}{100} = 5 \times x1 \times \frac{3}{100} => x1 = x2 \times 0,3 \ => \ k = 0,3$$

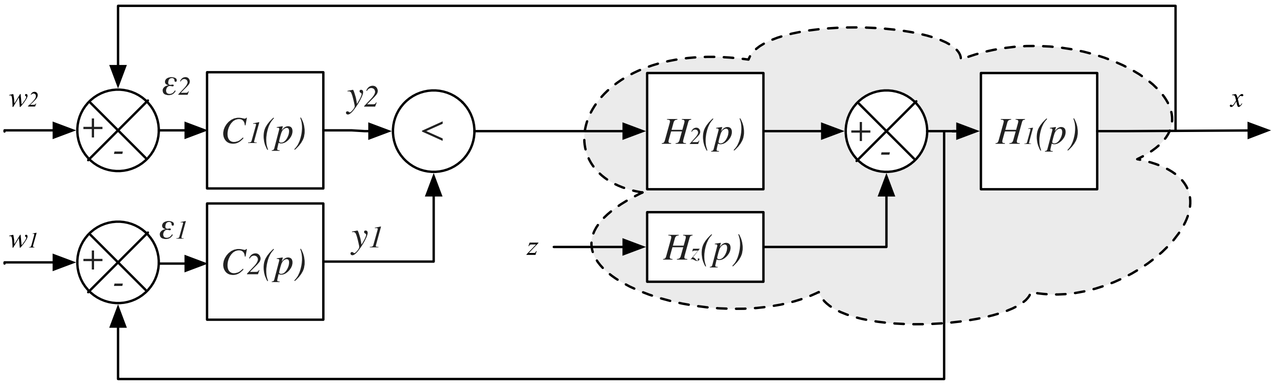
Ainsi, si l'on considère l'erreur statique de la boucle 1 est nulle, l'opérateur FY multiplie la mesure de débit d'air par 0,3 pour déterminer la consigne de débit de gaz.

Remarque : 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 FY (×1).

6. Régulation parallèle (override ou de limitation)

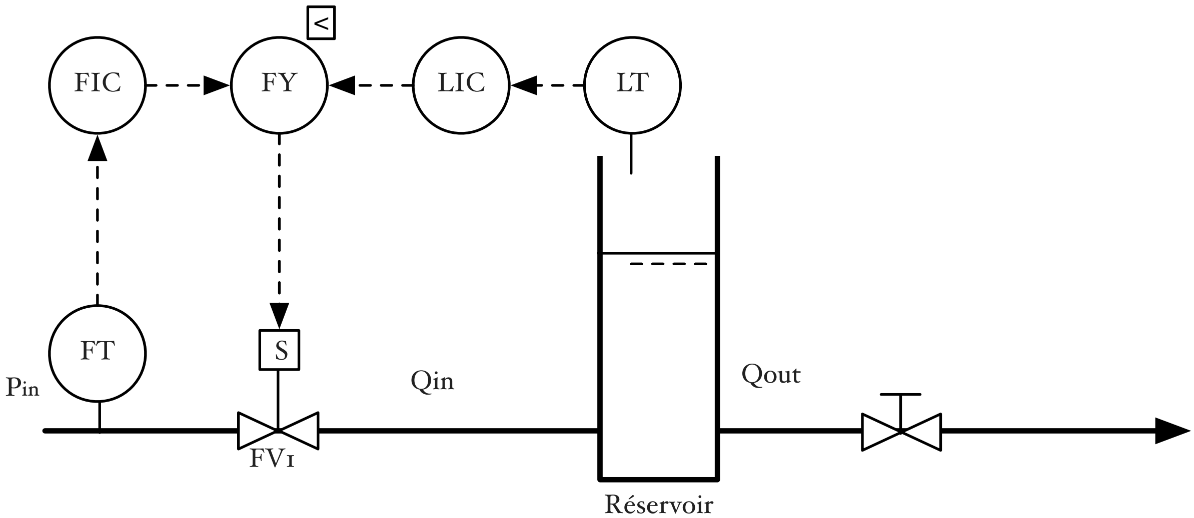
6.1. Présentation

Dans certain procédé, il apparaît nécessaire quelque fois 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 réglée, 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.

6.2. Exemple

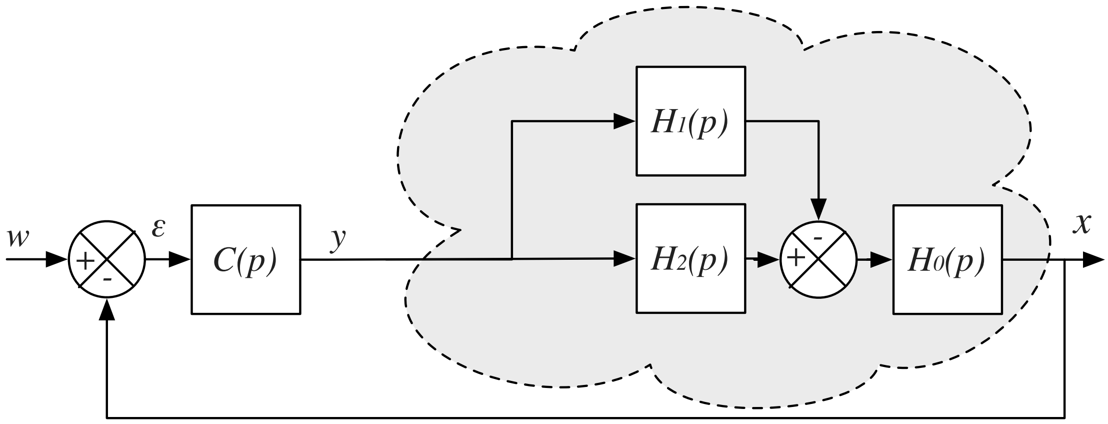


Dans la régulation de débit ci-dessus, il est nécessaire de surveiller le niveau, pour éviter le débordement du liquide. Un sélecteur minimum assure le fonctionnement de la régulation de débit sans débordement de liquide.

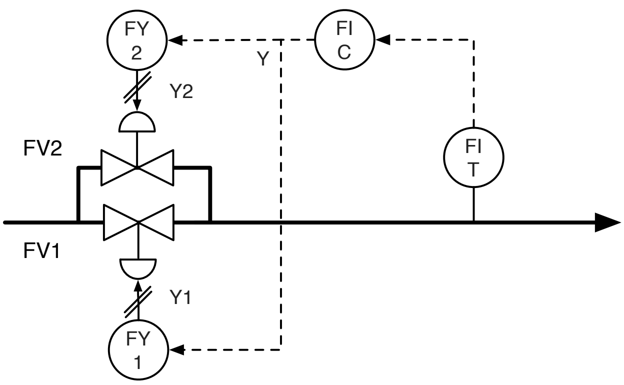
7. Régulation à deux grandeurs réglantes (split range)

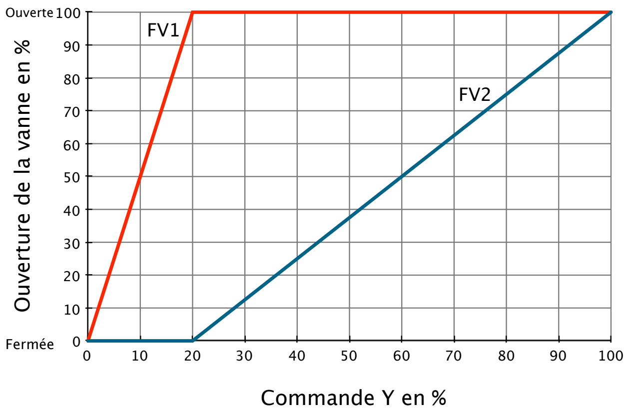
7.1. Présentation

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.

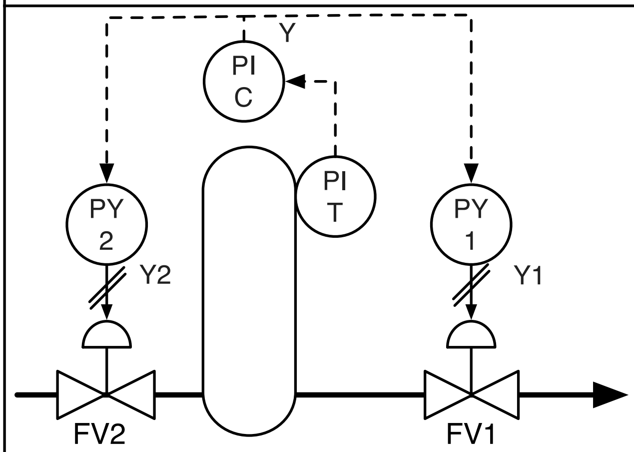


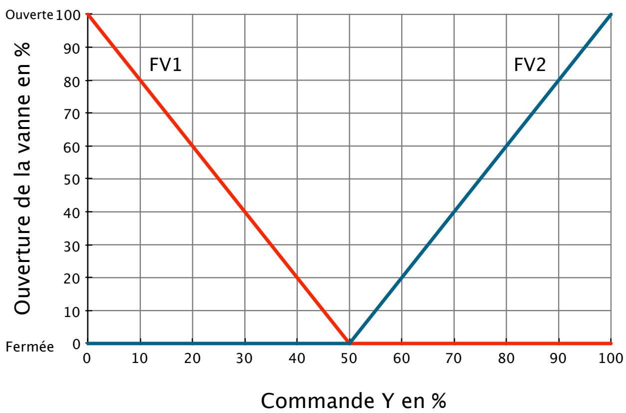
Effets complémentaires : Pour éviter les problèmes de cavitation, on utilise deux vannes de régulation avec des capacités de débit différents (Cv). Une vanne sera utilisée pour contrôler les débits importants, l'autre pour les débits faibles.





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.



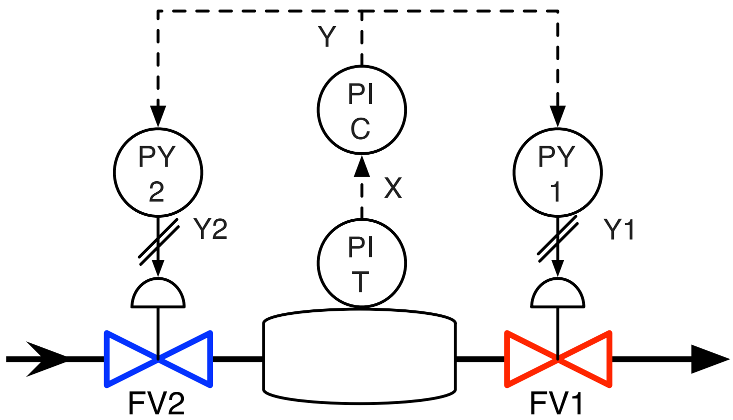


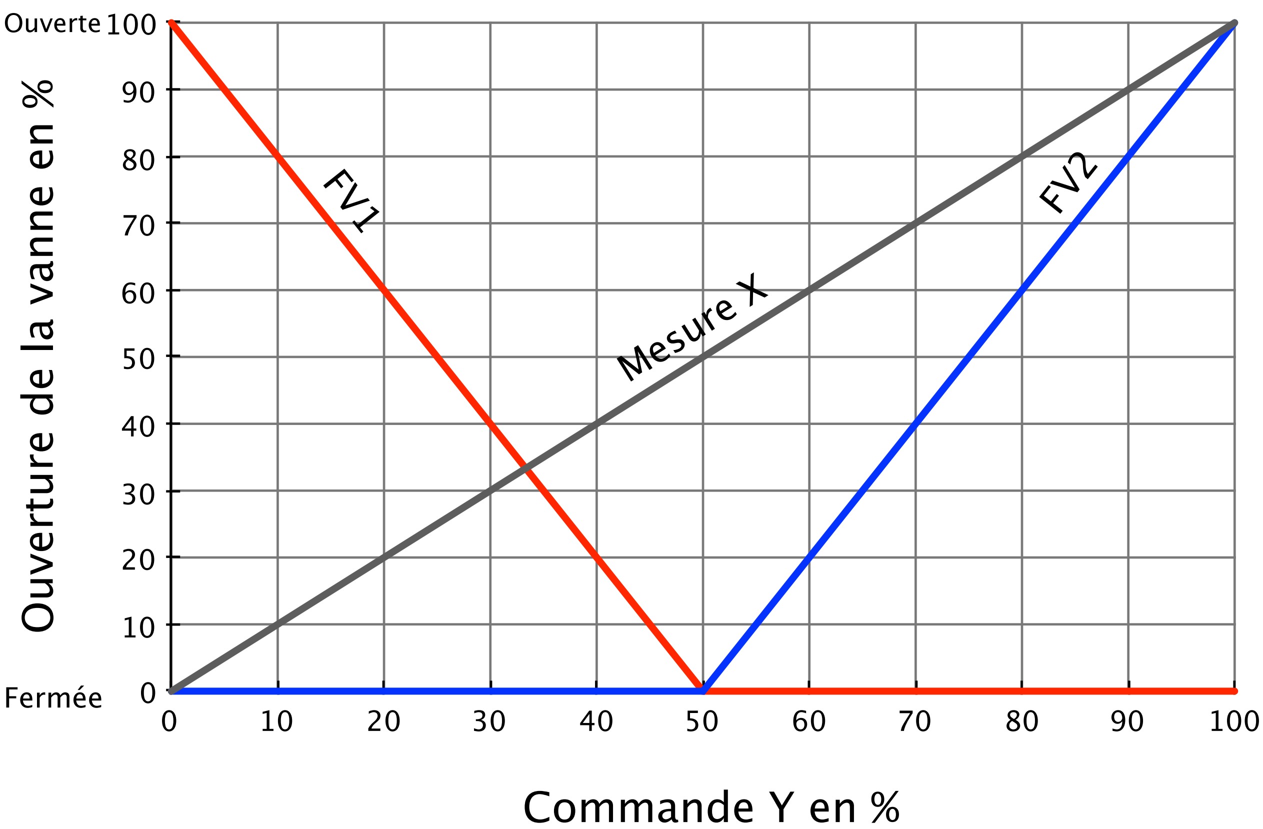
7.2. Détermination du sens d'action du régulateur

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.

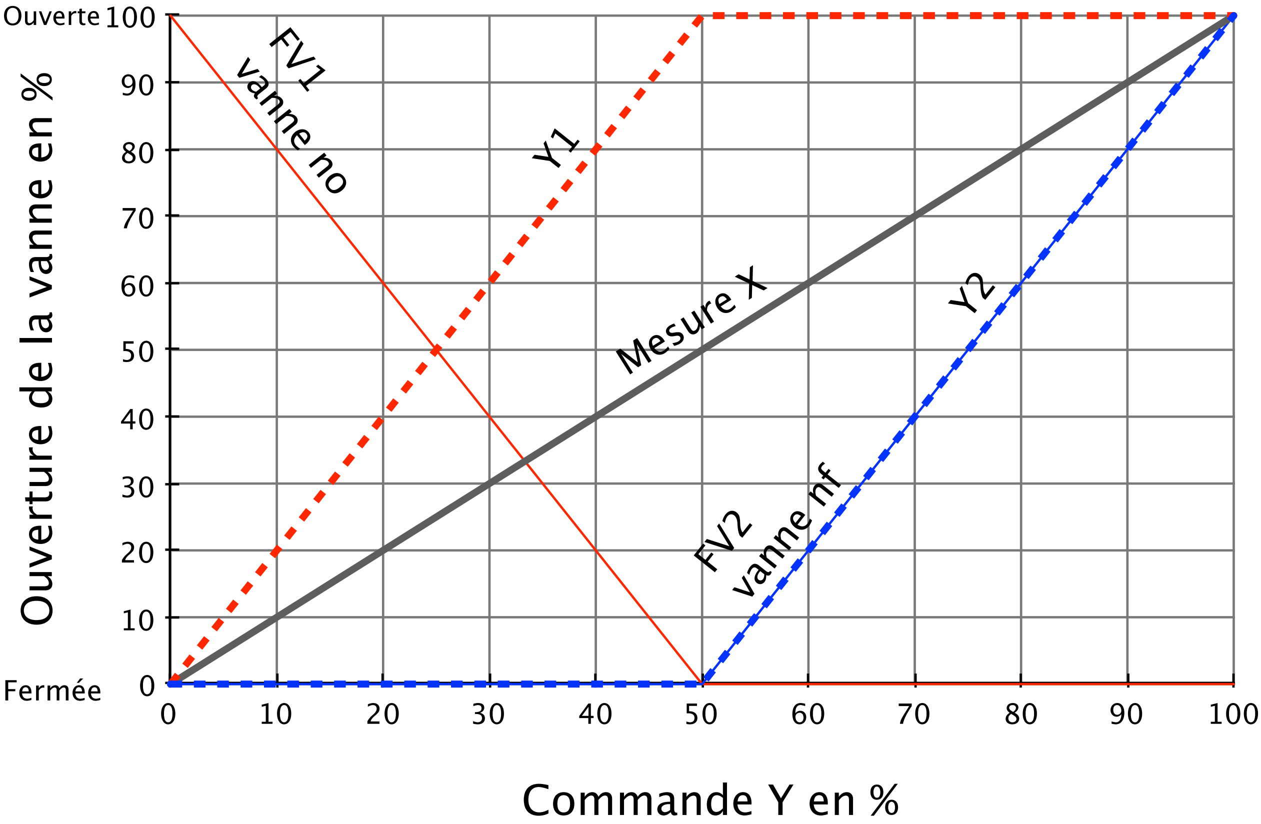
Dans le cas ci-dessous, le procédé est direct, donc on doit régler le régulateur avec une action inverse :





7.3. 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 liants 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%.



0 — Y1 — 100 % 0 — Y — 50 %	0 — Y2 — 100 % 50 — Y — 100 %
$\frac{Y1-0}{Y-0}=\frac{100-0}{50-0}$ $\frac{Y1}{Y}=\frac{100}{50}$ $Y1=2\times Y$	$\frac{Y2-0}{Y-50}=\frac{100-0}{100-50}$ $\frac{Y2}{Y-50}=\frac{100}{50}$ $Y2=2\times(Y-50)$ $Y2=2\times Y-100$

8. 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-adptatif.