

1) Boucles de régulation

Table des matières

1	Schématisation des boucles de régulation	3
1.1	Le schéma TI	3
1.2	Le schéma fonctionnel ou schéma bloc	5
2	Rappels de première année	6
3	Régulation en chaîne ouverte (régulation de tendance)	7
4	Modélisation	7
4.1	Mise en œuvre	7
4.2	Procédé stable	7
4.3	Procédé instable	8
5	Régulation en chaîne fermée	8
5.1	Présentation	8
5.2	Programmation sur T2550	9
5.3	Structures des régulateurs PID	9
5.3.1	Composition	9
5.3.2	Correction proportionnelle P	9
5.3.3	Correction intégrale I	9
5.3.4	Correction dérivée D	9
5.4	Structures PID	9
5.5	Déterminer la structure interne d'un régulateur	10
5.6	Réglages avec modèle	11
5.7	Réglage en chaîne fermée	12
5.7.1	Ziegler & Nichols	12
5.7.2	Méthode du Régleur	13
6	Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte)	14
6.1	Présentation	14
6.2	Programmation sur T2550	14
6.3	Détermination théorique d'un correcteur statique	14
6.4	Détermination pratique d'un correcteur statique	15
6.5	Détermination d'un correcteur dynamique A/R	15
6.6	Exemple	15
7	Régulation cascade	16
7.1	Présentation	16
7.2	Programmation sur T2550	16
7.3	Cascade sur une grandeur intermédiaire	17
7.4	Cascade sur la grandeur réglante	17



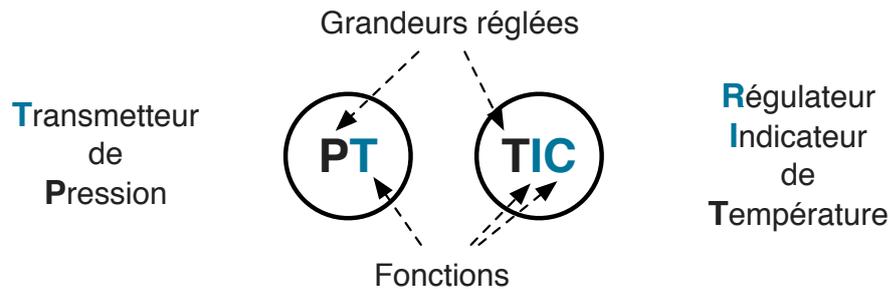
8	Régulation de rapport (ou de proportion)	18
8.1	Présentation	18
8.2	Programmation sur T2550	19
8.3	Exemple	19
9	Régulation parallèle (override ou de limitation)	20
9.1	Présentation	20
9.2	Programmation sur T2550	21
9.3	Exemple	21
10	Régulation à deux grandeurs réglantes (split range)	21
10.1	Présentation	21
10.2	Programmation sur T2550	22
10.3	Détermination du sens d'action du régulateur	23
10.4	Détermination des équations de sortie	23
11	Régulation adaptative	24



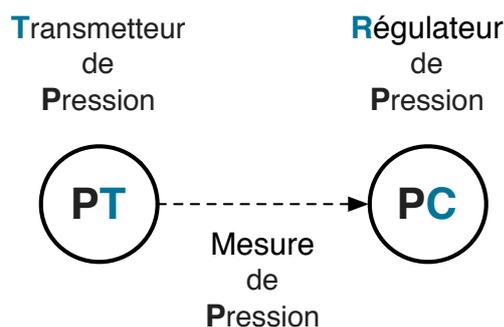
1 Schématisation des boucles de régulation

1.1 Le schéma TI

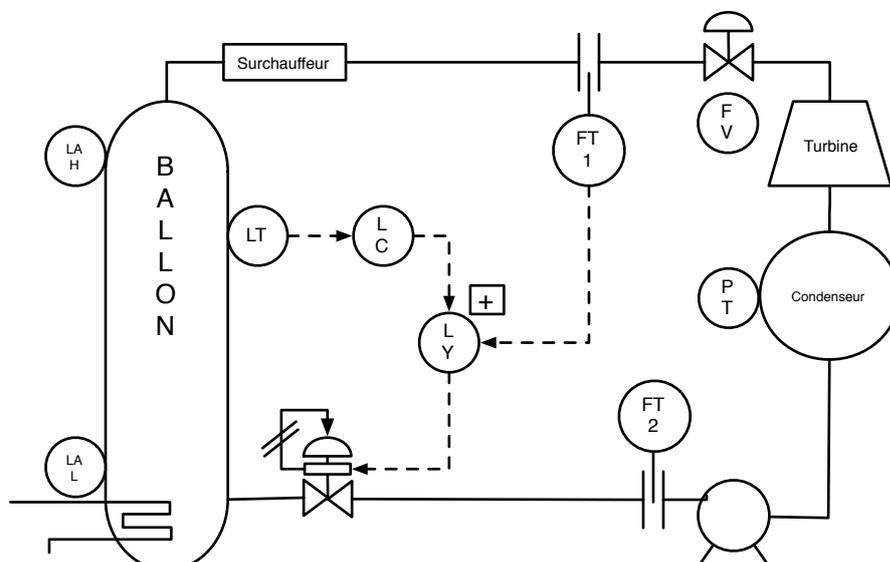
La norme NF E 04-203 définit la représentation symbolique des régulations, mesures et automatisme des processus industriels. Les instruments utilisés sont représentés par des cercles entourant des lettres définissant la grandeur physique réglée et leur (s) fonction (s). La première lettre définit la grandeur physique réglée, les suivantes la fonction des instruments.



Les parcours de l'information sont matérialisés par une flèche dont l'allure dépend du support de l'information.



Cette instrumentation est placée sur un schéma représentant la tuyauterie et les principaux éléments de l'installation. Ci-dessous une régulation de niveau dans le ballon avec correction de tendance.



Les principales lettres utilisées :

1 Variable mesurée			2 Premier élément				3 Fonction			4 Dispositif réglant			5 Signalisation	
1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2
Signification	Initiale	Modificateur	Élément primaire Capteur	Indicateur	Transmetteur	Enregistreur Imprimante	Régulation	Commutation Contacts	Relais divers et de calcul	Organe de réglage	Actionneur	Autonome	Lampe témoin	Alarme
	A à Z	D F Q	E	I	T	R	C	H(H) M L(L)	Y	V	Z	CV	H (H) L M L(L)	H(H) A M L(L)
Tension Electrique	E			E										
Débit	F	FF FQ	FE	FI FFI FQI	FT FIT FFT FQT FFIT..	FR FFR FQR	FC FIC FFC FRC FFC FFRC	FHH FSH FSM FSL FLL	FY FFY	FV FFV	FZ FFZ	FCV	FLHH FLLHH FQLHH FLH FFLH...	FAHH FFAHH FOAHH FAH FFAH..
Courant électrique	I			I										IAHH IAH..
Action humaine Niveau	H						HC,HIC							
	L		LE	LI	LT,LIT	LR	LC LIC LRC	LSHH LSH LSM..	LY	LV	LZ	LCV	LLHH LLH LLM..	LAHH LAH LAM..
Pression	P	PD	PE	PI PDI	PT PDT	PR PDR	PC PIC PDC PDC	PSHH PDSHH ...	PY PDY	PV PDV	PZ PDZ	PCV PDCV PSV	PLHH PDLHH PLH ...	PAHH PDAHH PAH ...
Température	T		TE	TI	TT TIT	TR	TC TIC	TSHH TSH...	TY	TV	TZ	TCV	TLHH TLH..	TAHH TAH..

Modificateur 1.3	D : différentiel	F : fraction (rapport)	Q : quantité (totalisateur, intégrateur, compteur)
Commutation 1.3 Lampe témoin 5.1 et Alarme 5.2	peuvent comporter un qualificatif.		
	HH : très haut	H : haut	M : milieu (intermédiaire)
	L : bas	LL : très bas	

Les principaux symboles utilisés :

N°	Dénomination	Symbole
1.4.1	Point de mesure	
1.4.2	Instrument	
1.4.4	Instrument de tableau	
1.4.5	Organe de réglage	
1.4.5.1	Actionneur manuel	
1.4.7	Dispositif réglant (Symbole général)	
1.6.1.2	Croisements sans raccordement	
	Croisements avec raccordement	

1.6.1.2	Sens de l'écoulement	
1.6.1.3	Sens de l'information	
2.3.1	Signal électrique	
	ou	
2.3.2	Signal pneumatique	
2.3.8	Interliaison logicielle ou bus	
2.5.1.1	Élément primaire de mesure de débit	
2.5.1.2	Diaphragme	
2.7.3.2.2	Régulateur autonome (régulation aval) avec prise interne. (Détendeur)	
2.10.3.3	Actionneur pneumatique à membrane avec positionneur	
3.4.2	Calculateur de processus (Système de contrôle-commande)	



3.4.3	Calculateur de supervision (superviseur)	
3.4.4	Automate	
3.5.2	<p>Convertisseur de signal: a vers b</p> <p>A : analogique B : binaire D : numérique E : tension H : hydraulique I : courant O : électromagnétique ou sonique P : Pneumatique R : Résistance</p>	 <p>Exemple : convertisseur courant vers tension sur une boucle de température :</p>
3.5.3.1	opérateur d'addition	
3.5.3.2	opérateur de différence	
3.5.3.4	opérateur de gain	
3.5.3.7	opérateur de multiplication	
3.5.3.8	opérateur de division	
3.5.3.9	opérateur d'extraction de racine carrée	

	Pompe	
	Pompe volumétrique	
	Electrovanne	

D'autres symboles peuvent être utilisés en fonction des besoins mais dans ce cas leur signification est explicitée.

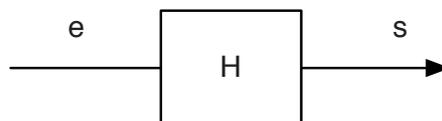
1.2 Le schéma fonctionnel ou schéma bloc

Le schéma fonctionnel tente de représenter les relations entre les différentes grandeurs physiques des boucles de régulation. Il sera composé uniquement des éléments suivants :

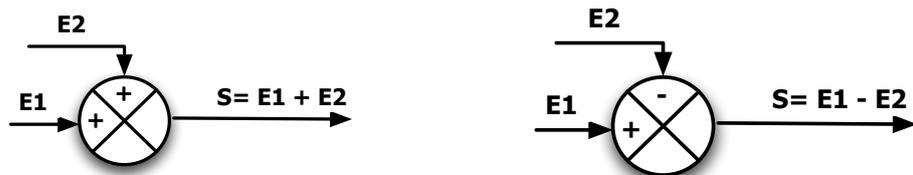
- Des lignes de parcours d'une grandeur physique. Ces lignes représentent le parcours d'une grandeur physique de la boucle de régulation :



- Des blocs qui représentent un ou plusieurs éléments de la chaîne de régulation qui assure la relation entre deux grandeurs physiques, relation caractérisée par la fonction de transfert. La fonction de transfert permet pour tous types de signaux d'avoir la relation $s = H \times e$:



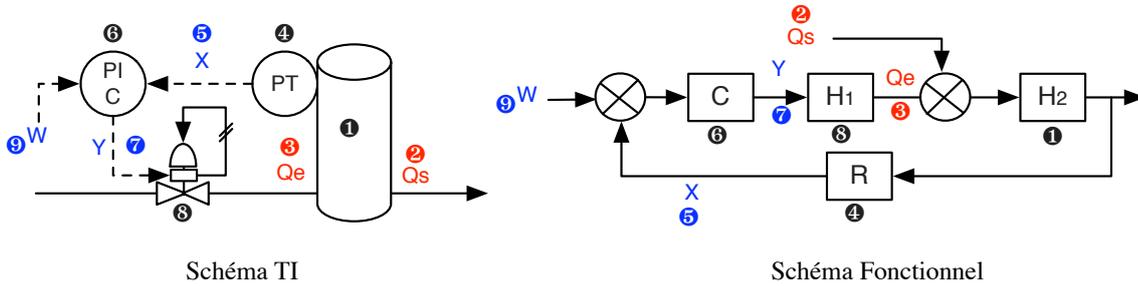
- Les sommateurs ou comparateurs, qui permettent l'addition ou la soustraction de grandeurs physiques :



1) Boucles de régulation

À partir d'un schéma TI, on peut construire le schéma fonctionnel correspondant.

Exemple : une régulation de pression :



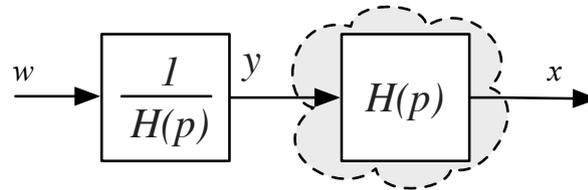
2 Rappels de première année

<p>Régulation de pression</p> <p>GRANDEURS Réglée = Pression P1 Réglante = Débit Qe Perturbatrice = Débit Qs</p>	<p>Régulation de débit</p> <p>GRANDEURS Réglée = Débit Qe Réglante = Section ouverture vanne Perturbatrice = Pression P1</p>
<p>Régulation de niveau</p> <p>GRANDEURS Réglée = Niveau L Réglante = Débit Qe Perturbatrice = Débit Qs</p>	<p>Régulation de température</p> <p>GRANDEURS Réglée = Température de l'eau Réglante = Puissance du four Perturbatrice = Débit Qe</p>
<p>Vanne de régulation</p> <p>$Cv = 1,16 \times \frac{\sqrt{d} \times Q}{\sqrt{\Delta P}}$</p> <p>Unités: d (m), Q (m³/h), ΔP (bar)</p>	<p>Capteur de débit</p> <p>$Qv = k \times \sqrt{\Delta P}$</p>
<p>Capteur de niveau</p> <p>$\Delta P = \rho \times g \times h$</p> <p>mesure de niveau</p>	<p>Capteur de température</p> <p>TT, T C, V, Alimentation</p> <p>montage 3 fils</p>

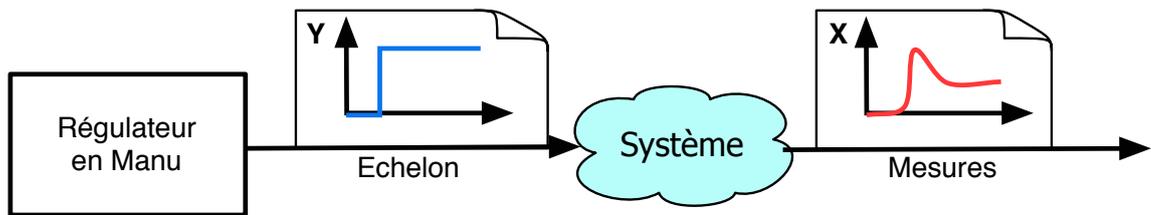


3 Régulation en chaîne ouverte (régulation de tendance)

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 perturbation. 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'.



4 Modélisation

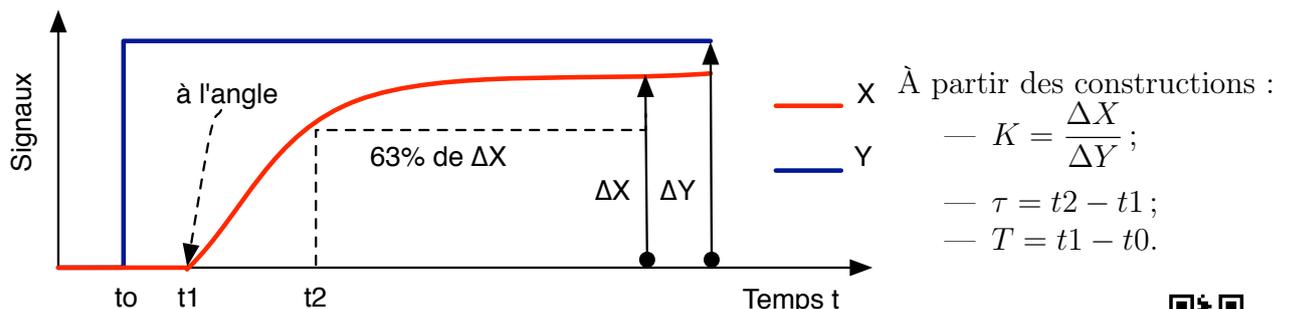
4.1 Mise en œuvre

Autour du point du fonctionnement, on relève la réponse du système, à un petit échelon du signal de sortie Y du régulateur. Attention à ne pas saturer la mesure X.

4.2 Procédé stable

Un modèle de Laplace d'un procédé stable est : $H(p) = \frac{K e^{-Tp}}{1 + \tau p}$ avec ;

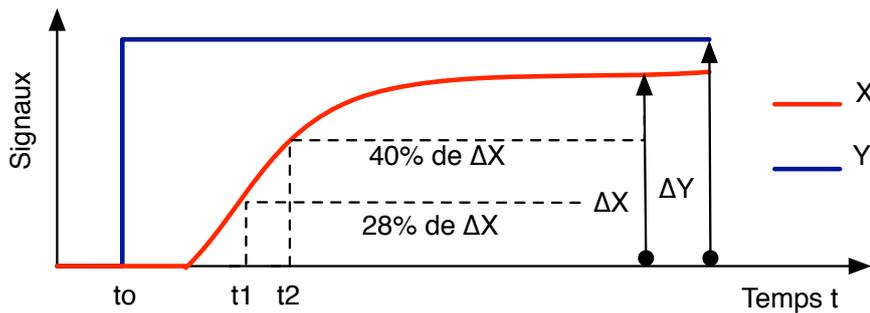
- K ; le gain statique ;
- T ; le retard ;
- τ : la constante de temps.



On privilégiera cette méthode si le retard T est proche de 0.



On peut utiliser une autre méthode, dite méthode de Broïda :



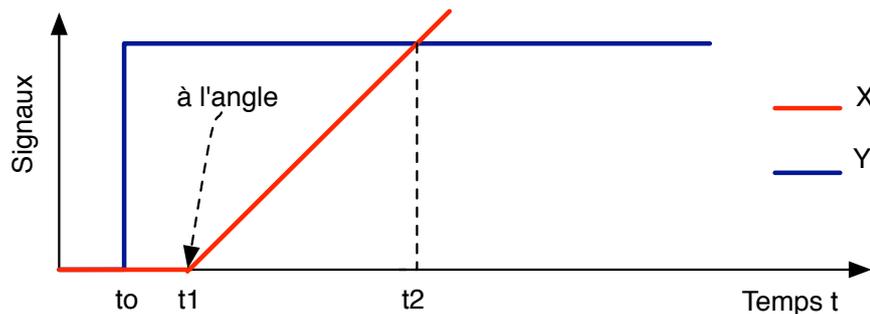
À partir des constructions :

- $K = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$;
- $\tau = 5,5(t_2 - t_1)$;
- $T = 2,8(t_1 - t_0) - 1,8(t_2 - t_0)$.

4.3 Procédé instable

Un modèle de Laplace d'un procédé instable est : $H(p) = \frac{e^{-Tp}}{\tau p} = \frac{k}{p} e^{-Tp}$ avec ;

- T ; le retard ;
- τ : le temps d'intégration ;
- k : constante d'intégration.



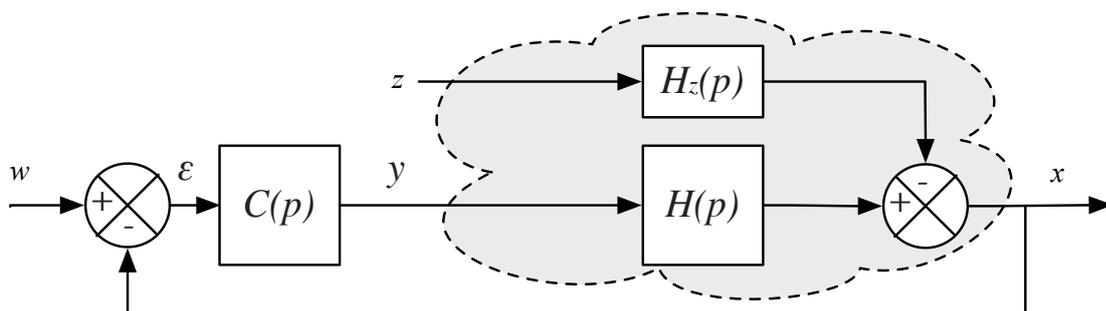
À partir des constructions :

- $\tau = t_2 - t_1$;
- $T = t_1 - t_0$;
- $k = \frac{1}{\tau}$.

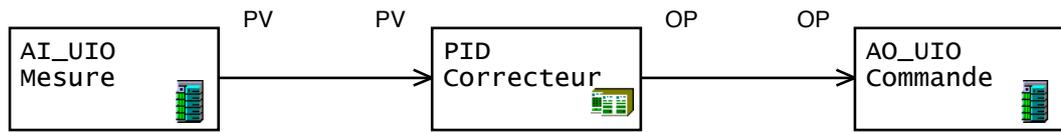
5 Régulation en chaîne fermée

5.1 Présentation

C'est la régulation que vous avez 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 :



5.2 Programmation sur T2550



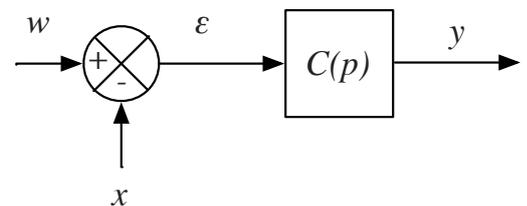
Le schéma est simple. La boucle est composée d'une mesure (AI_UIO), de correcteur PID (PID) et d'une sortie (AO_UIO).

5.3 Structures des régulateurs PID

5.3.1 Composition

Tout régulateur PID est constitué de deux éléments principaux :

- Le comparateur ;
- Le correcteur $C(p)$.



5.3.2 Correction proportionnelle P

C'est un simple amplificateur : $C(p) = A$.

5.3.3 Correction intégrale I

Le correcteur s'écrit : $C(p) = \frac{1}{Ti \times p}$

Ti est la constante de temps d'action intégrale et s'exprime en unité de temps.

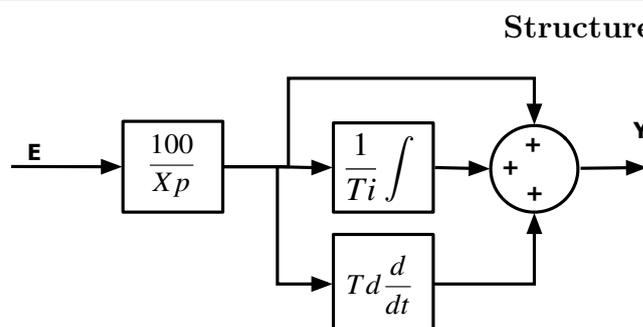
5.3.4 Correction dérivée D

Le correcteur s'écrit : $C(p) = Td \times p$

Td est la constante de temps d'action dérivée et s'exprime en unité de temps.

5.4 Structures PID

Le triplet, gain proportionnel A, temps intégral Ti et temps dérivé Td, définit trois structures qui sont représentées sur les figures suivantes.



$$A = \frac{100}{Xp}$$

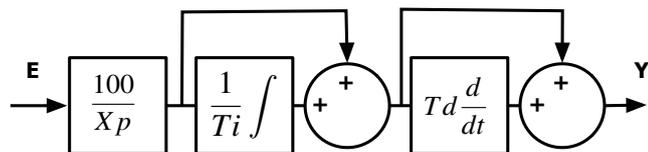
$$C(p) = A \left(1 + \frac{1}{Ti \times p} + Td \times p \right)$$

$$C(p) = A \frac{1 + Ti \times p + TiTd \times p^2}{Ti \times p}$$

Remarque : Les régulateurs électroniques (tous ceux de la salle de travaux pratiques) ont une structure mixte.



Structure série

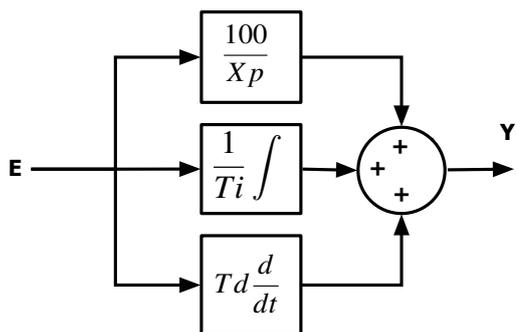


$$A = \frac{100}{Xp}$$

$$C(p) = A(1 + \frac{1}{Ti \times p})(1 + Td \times p)$$

$$C(p) = A \frac{1 + (Ti + Td) \times p + TiTd \times p^2}{Ti \times p}$$

Structure parallèle



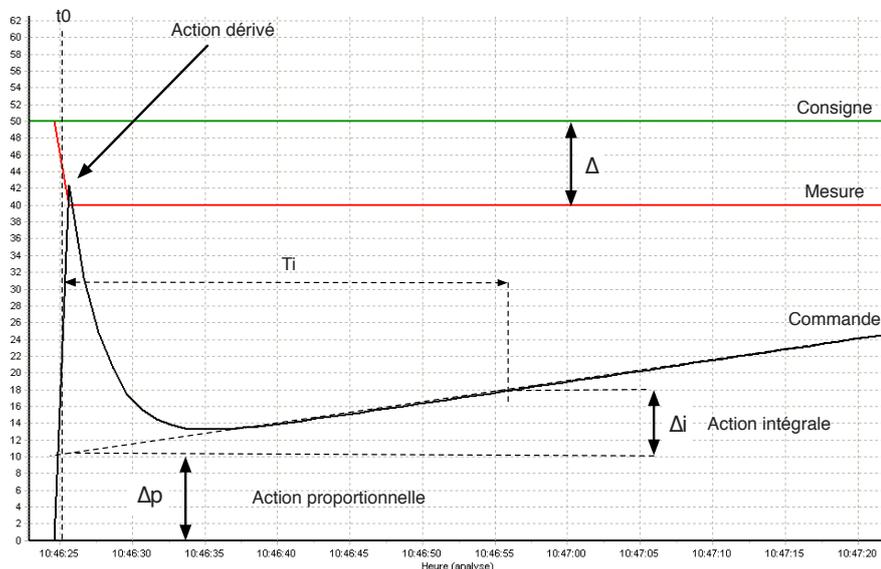
$$A = \frac{100}{Xp}$$

$$C(p) = A + \frac{1}{Ti \times p} + Td \times p$$

$$C(p) = \frac{1 + A \times Ti \times p + TiTd \times p^2}{Ti \times p}$$

5.5 Déterminer la structure interne d'un régulateur

On observe la commande d'un régulateur en réponse à un échelon Δ d'erreur. La réponse Y est alors composée de trois parties distincts :



- Un pic résultant de l'action dérivée ;
- Un échelon résultant de l'action proportionnelle ;
- Une rampe résultant de l'action intégrale.

La figure ci-avant montre les constructions nécessaires à la détermination de Δp et Δi , permettant de déterminer la structure du régulateur. Le tableau suivant permet de connaître la valeur de ces deux Δ en fonction de la structure du régulateur.

Structure	Δp	Δi
Mixte	$Kp \times \Delta$	$Kp \times \Delta$
Série	$Kp(1 + Td/ti) \times \Delta$	$Kp \times \Delta$
Parallèle	$Kp \times \Delta$	Δ



5.6 Réglages avec modèle

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

Le facteur de réglabilité $kr = \frac{T}{\tau}$, permet de connaître quel type de régulation PID utiliser :

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

La régulation PID, avec un seul correcteur, est d'autant moins efficace que :

- le rapport $kr = \frac{T}{\tau}$ est supérieur à 0,5 ;
- le système a une perturbation z est trop importante.

À partir des tableaux suivants, on détermine les réglages du correcteur PID :

Modèle stable

	P	PI série	PI //	PID série	PID //	PID mixte
$A = \frac{100}{Xp}$		$\frac{0,8}{K \times kr}$		$\frac{0,85}{K \times kr}$	$\frac{0,4 + \frac{1}{kr}}{1,2K}$	
Ti	∞	τ	$\frac{K \times T}{0,8}$	τ	$\frac{K \times T}{0,75}$	$\tau + 0,4T$
Td		0		$0,4T$	$\frac{0,35\tau}{K}$	$\frac{T}{kr + 2,5}$

Modèle instable

	P	PI série	PI //	PID série	PID //	PID mixte
$A = \frac{100}{Xp}$		$\frac{0,8}{kr}$		$\frac{0,85}{kr}$	$\frac{0,9}{kr}$	
Ti	∞	$5T$	$\frac{kr \times T}{0,15}$	$4,8T$	$\frac{kr \times T}{0,15}$	$5,2T$
Td		0		$0,4T$	$\frac{0,35}{kr}$	$0,4T$

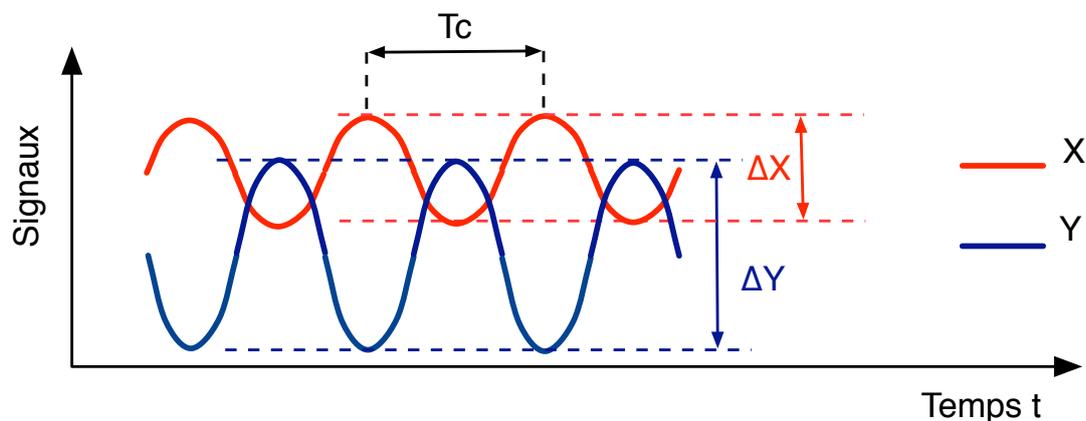
Note : On rappelle que le correcteur PI série est un correcteur PID mixte avec Td = 0.



5.7 Réglage en chaîne fermée

5.7.1 Ziegler & Nichols

La méthode de Ziegler–Nichols est une méthode heuristique de réglage d'un régulateur PID. Elle utilise une identification du système en boucle fermée. Elle ne nous donne pas à proprement parlé un modèle, mais nous permet de relever deux caractéristiques du procédé qui nous permettront de déterminer un réglage satisfaisant. Le système est en régulation proportionnelle (actions intégrale et dérivée annulées). On diminue la bande proportionnelle X_p jusqu'à obtenir un système en début d'instabilité, le signal de mesure X et la sortie du régulateur Y sont périodiques, sans saturation.



On relève alors la valeur du gain critique Ac réglé, ainsi que la période des oscillations Tc . Les valeurs de Tc et de Ac permettent de calculer les actions PID du régulateur à l'aide du tableau fourni ci-après.

	P	PI série	PI //	PID série	PID //	PID mixte
$A = \frac{100}{X_p}$	$\frac{Ac}{2}$	$\frac{Ac}{2,2}$		$\frac{Ac}{3,3}$	$\frac{Ac}{1,7}$	
Ti	∞	$\frac{Tc}{1,2}$	$\frac{2Tc}{Ac}$	$\frac{Tc}{4}$	$\frac{0,85Tc}{Ac}$	$\frac{Tc}{2}$
Td	0			$\frac{Tc}{8}$	$\frac{TcAc}{13,3}$	$\frac{Tc}{8}$

Remarques :

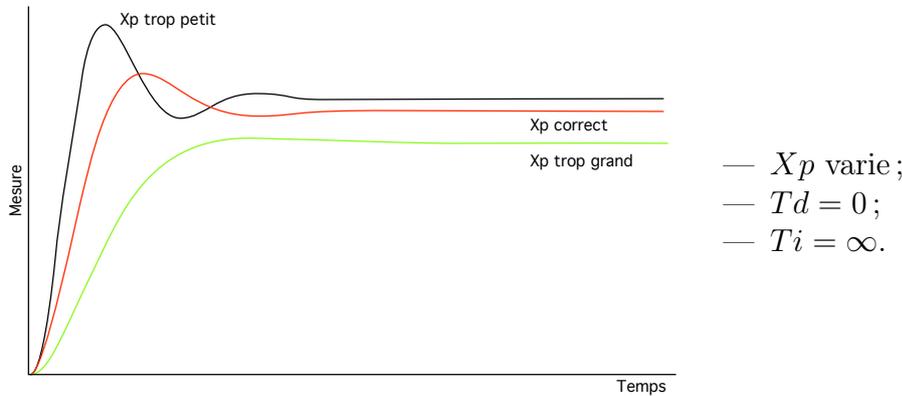
- La méthode de Ziegler-Nichols donne un gain agressif et favorise les dépassements ;
- Pour les applications qui ont besoin de dépassements minimaux voire nuls, la méthode de Ziegler-Nichols est inappropriée ;
- Le principal intérêt de cette méthode est sa grande simplicité : il n'est pas nécessaire de déterminer la fonction de transfert $H(p)$ du système pour en réaliser la correction.



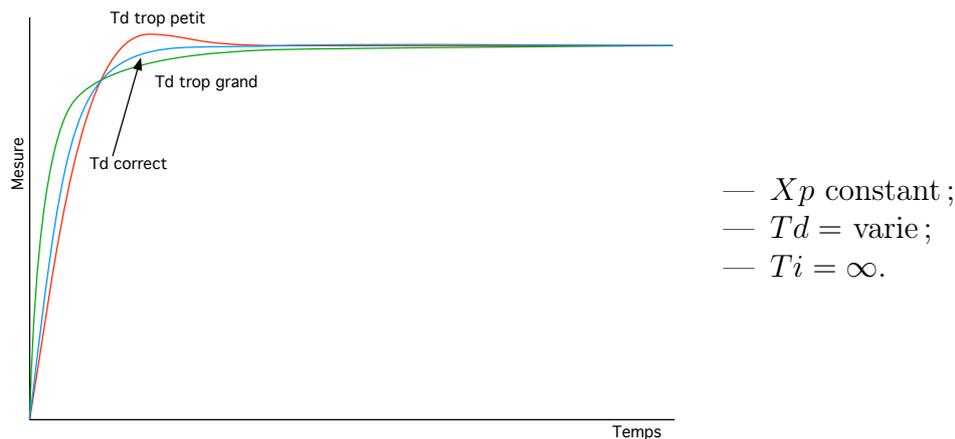
5.7.2 Méthode du Régleur

Le réglage du régulateur se fait par petit pas. Le système fonctionnant en boucle fermée, autour du point de consigne, on observe la réponse de la mesure à un échelon de consigne.

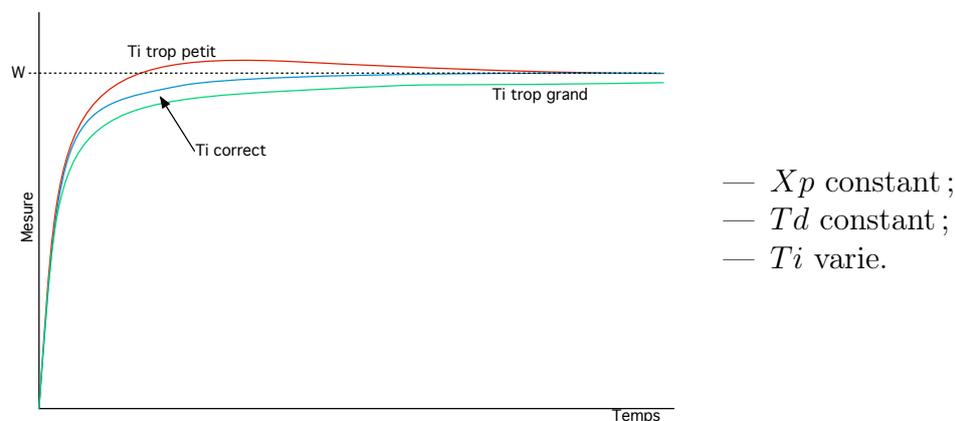
- 1) En régulation proportionnelle, on cherche la bande proportionnelle correcte en observant la réponse du système à un échelon de consigne.



- 2) En régulation proportionnelle dérivée, on cherche le temps dérivé correct en observant la réponse du système à un échelon de consigne.



- 3) En régulation proportionnelle intégrale dérivée, on cherche le temps intégral correct en observant la réponse du système à un échelon de consigne :



Remarques :

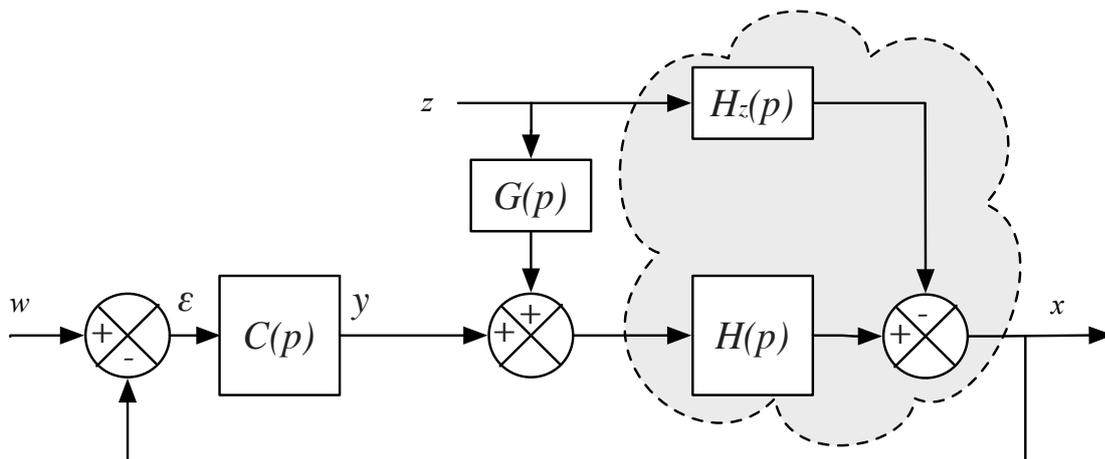
- Si T_d amène des instabilités pour de petites valeurs, on préférera prendre $T_d = 0$;
- L'ordre PDI permet un réglage plus fin de l'action D que l'ordre PID.



6 Régulation mixte (chaîne fermée et chaîne ouverte)

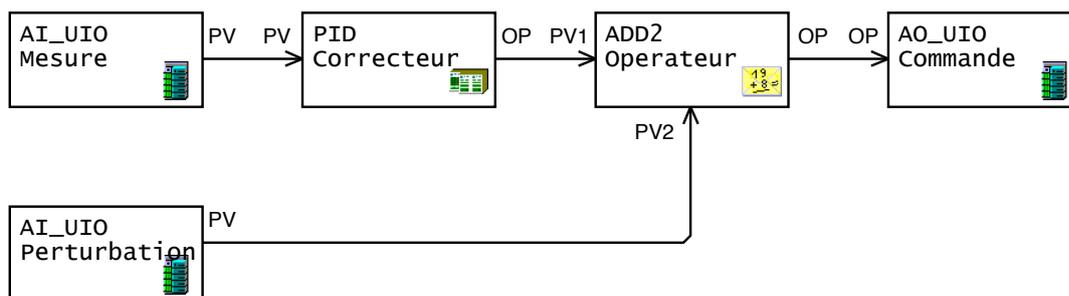
6.1 Présentation

Une telle boucle est utile lorsqu'une perturbation a un poids important et que la mesure ne varie pas rapidement suite à cette perturbation. 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 (x et z), deux correcteurs ($C(p)$ et $G(p)$).

6.2 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.

6.3 Détermination théorique d'un correcteur statique

Le module $G(p)$ doit permettre l'annulation de l'influence de la perturbation. On cherche à avoir $\frac{dx}{dz} = 0$.

$$\text{Or : } x = (HG - H_z)Z + HC\epsilon \Rightarrow HG - H_z = 0 \Rightarrow G(p) = K_g = \frac{H_z(0)}{H(0)}$$



6.4 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 : $K_g = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$

6.5 Détermination d'un correcteur dynamique A/R

Cette fois $G(p) = K_g \times \frac{1 + \tau_a p}{1 + \tau_r p}$ est déterminé de la manière suivante :

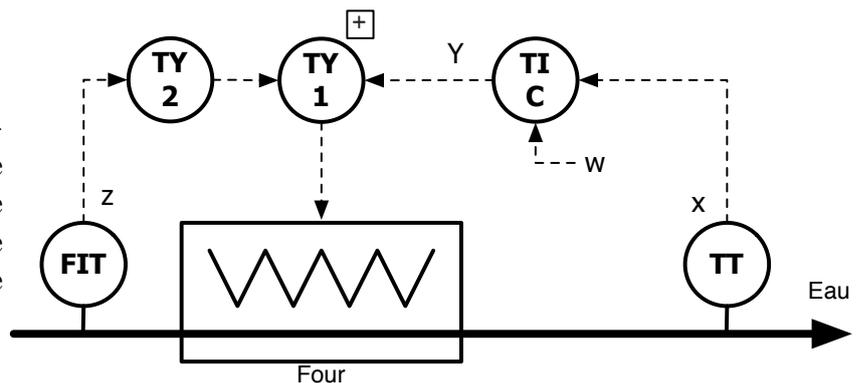
- K_g est calculé comme précédemment ;
- On note T (respectivement T_z) le retard de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$) ;
- On note τ (respectivement τ_z) la constante de temps de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$) ;
- On note n (respectivement n_z) l'ordre de $H(p)$ (respectivement $H_z(p)$) ;

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

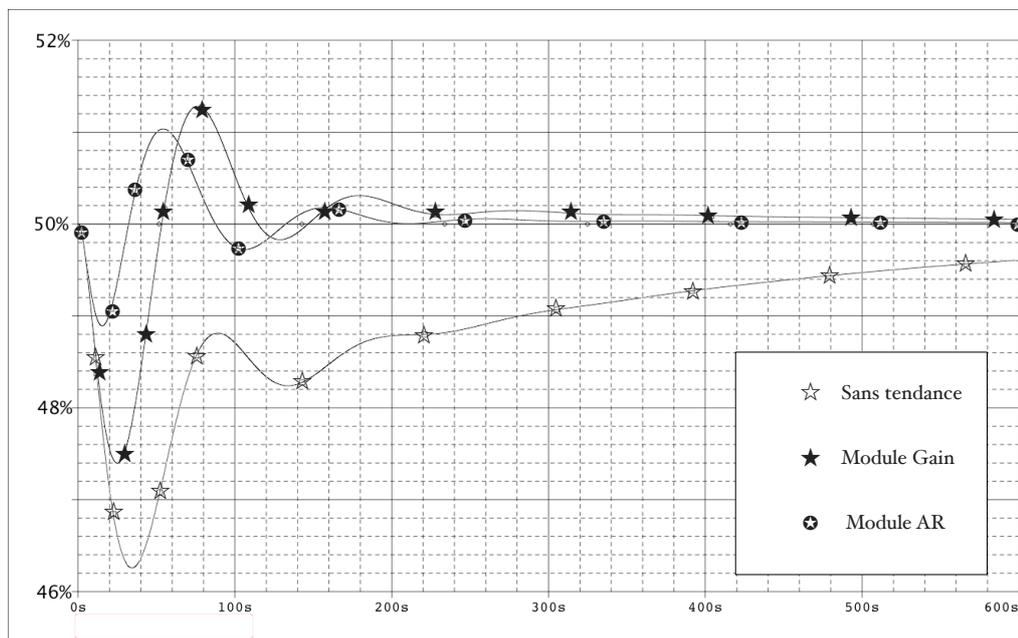
Sinon : Ne pas prendre de module A/R.

6.6 Exemple

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.



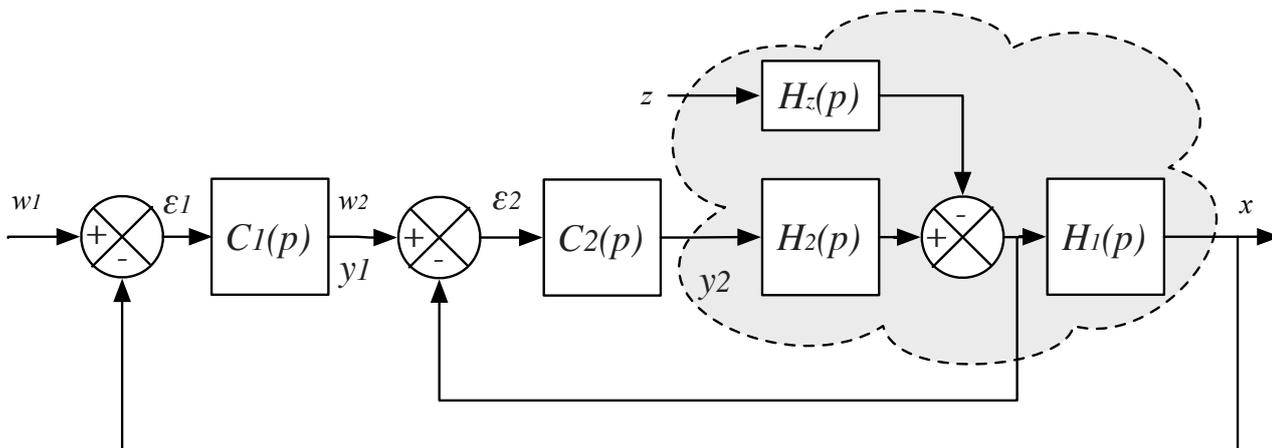
On observe l'évolution de la température pour la même augmentation du débit, avec différentes solutions pour TY2.



7 Régulation cascade

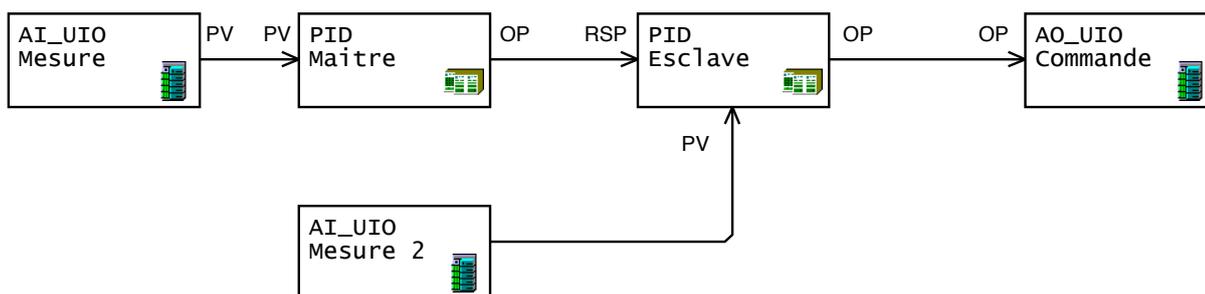
7.1 Présentation

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.

7.2 Programmation sur T2550

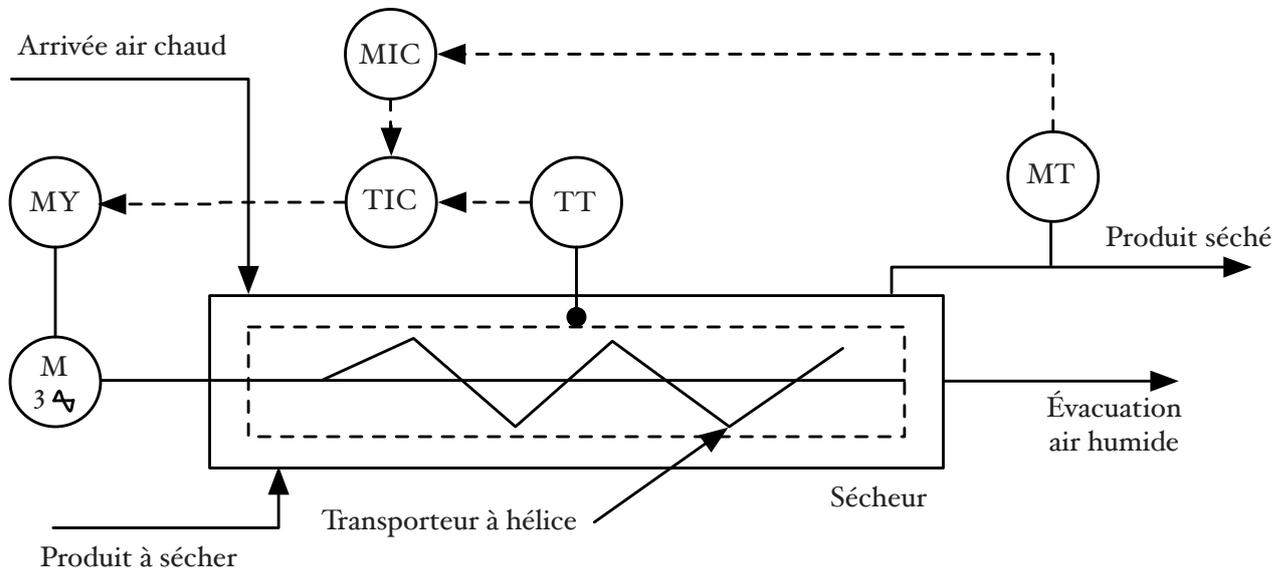


La boucle est composée de deux mesures (grandeur réglée de la boucle esclave et maître), de deux correcteurs PID et d'une sortie. Ne pas oublier d'activer la consigne à distance (EnaRem) et de la sélectionner (SelRem) dans SelMode de la boucle esclave.



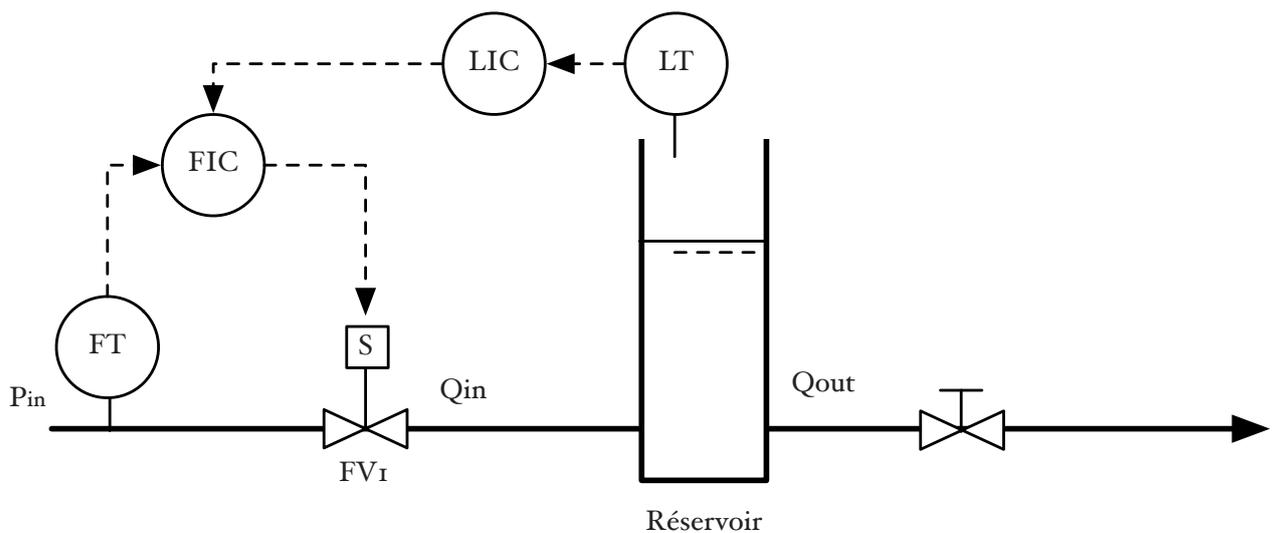
7.3 Cascade sur une grandeur intermédiaire

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.



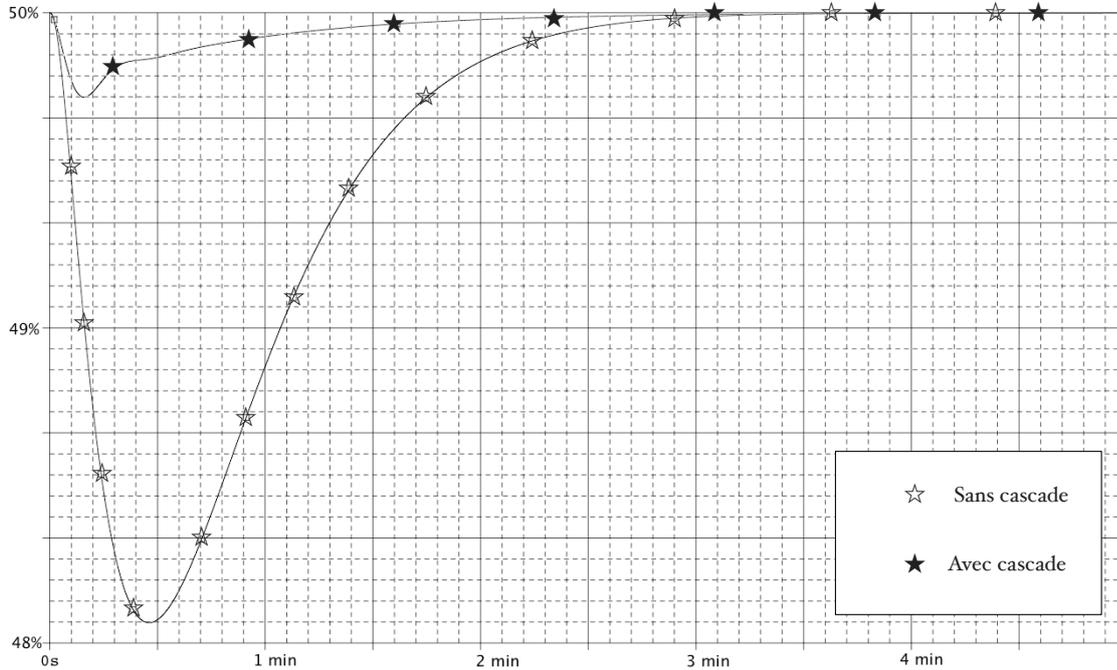
7.4 Cascade sur la grandeur réglante

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. Qout est la principale perturbation de la boucle maître.



1) Boucles de régulation

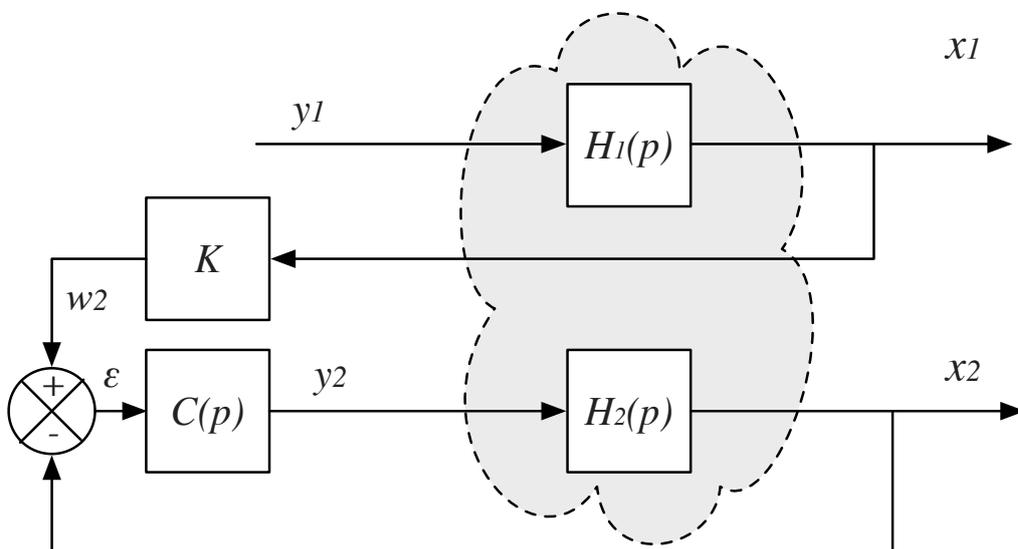
On observe ci-après l'évolution du niveau en réponse à une variation de la pression P_{in} . L'influence de cette même perturbation a été observée pour une boucle simple et une boucle cascade. L'apport de la cascade est sans équivoque.



8 Régulation de rapport (ou de proportion)

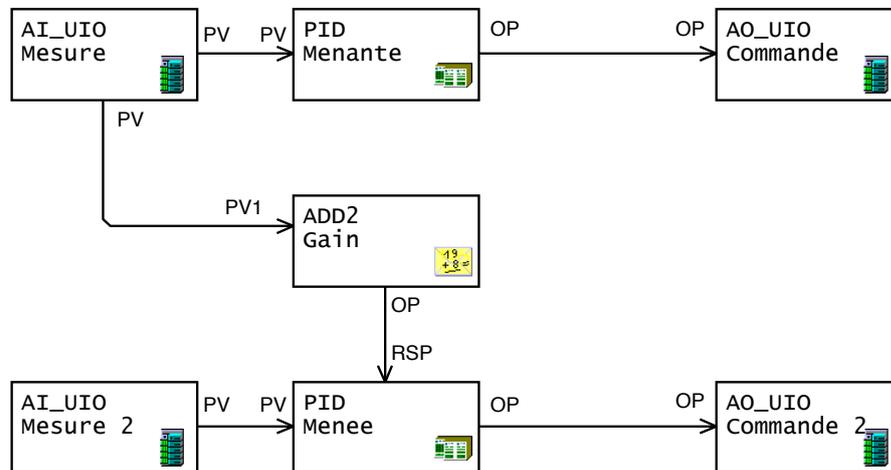
8.1 Présentation

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



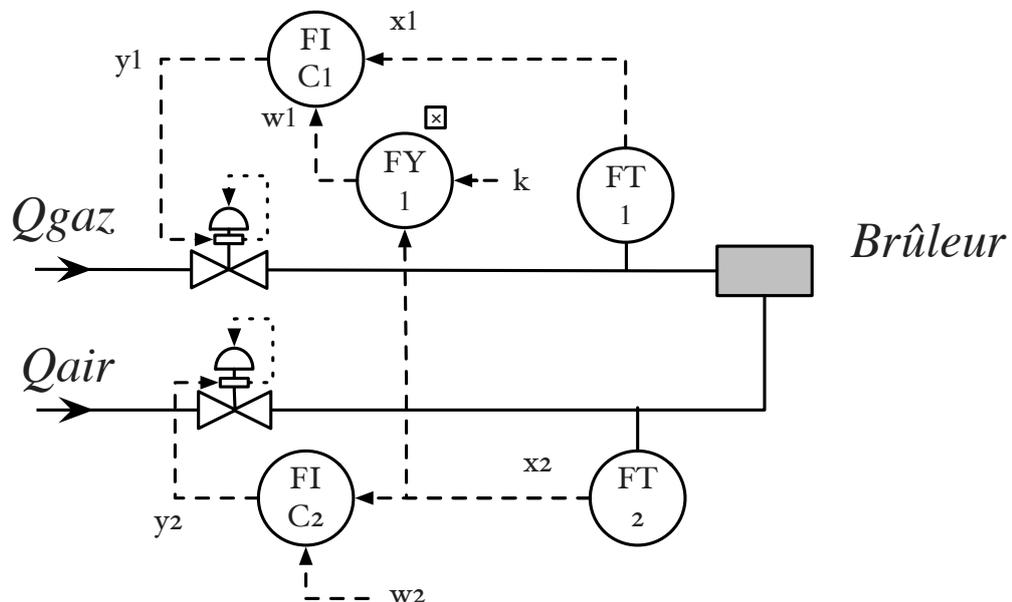
8.2 Programmation sur T2550

La régulation est composée de deux boucles (boucle menante et menée), la mesure de la menante servant au calcul de la consigne de la boucle menée. Ne pas oublier d'activer la consigne à distance (EnaRem) et de la sélectionner (SelRem) dans SelMode de la boucle menée.



8.3 Exemple

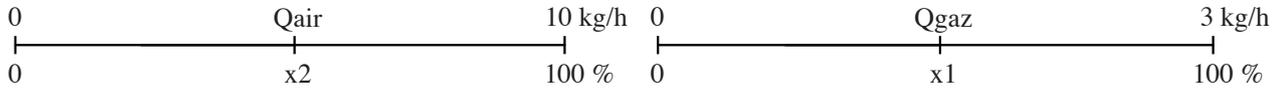
On peut utiliser une régulation de rapport pour établir le rapport air/combustible d'une régulation de combustion.



1) Boucles de régulation

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 : $Q_{air} = 5 \times Q_{gaz}$. 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. On a donc les relations suivantes entre les signaux des transmetteurs et les débits :



Calculs :

$$Q_{air} = 10 \times \frac{x_2}{100} \text{ et } Q_{gaz} = 3 \times \frac{x_1}{100}$$

$$Q_{air} = 5 \times Q_{gaz} \Rightarrow 10 \times \frac{x_2}{100} = 5 \times 3 \times \frac{x_1}{100} \Rightarrow x_1 = x_2 \times \frac{10}{15} \Rightarrow k = 0,67$$

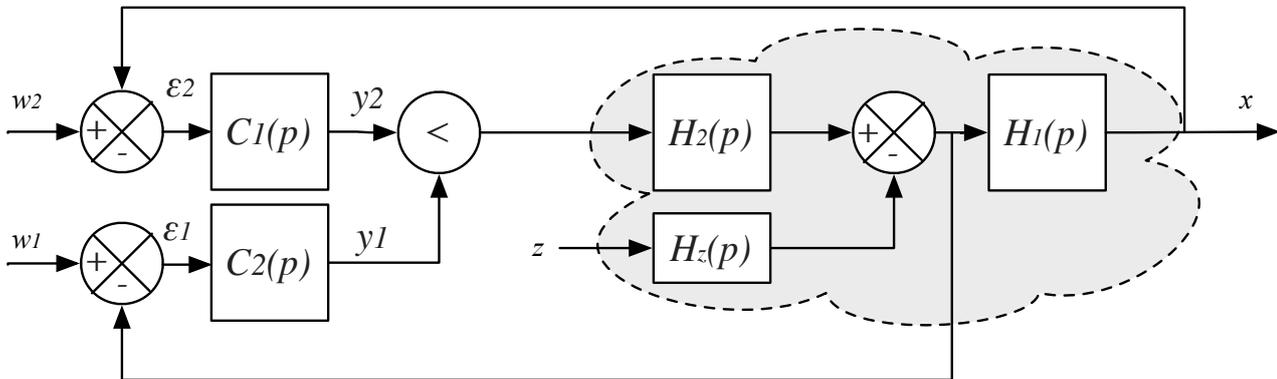
Ainsi, si l'on considère l'erreur statique de la boucle 1 est nulle, l'opérateur FY1 multiplie la mesure de débit d'air par 0,67 pour déterminer la consigne de débit de gaz.

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 FY1 ($\times 1$).

9 Régulation parallèle (override ou de limitation)

9.1 Présentation

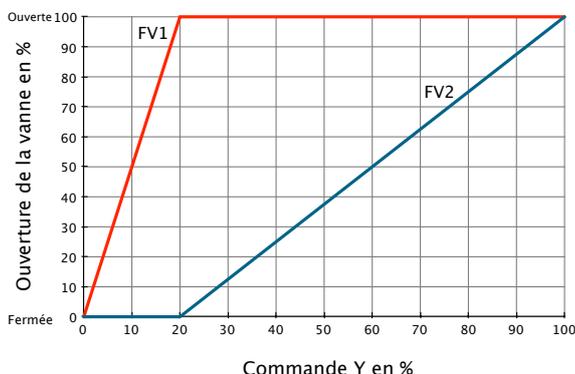
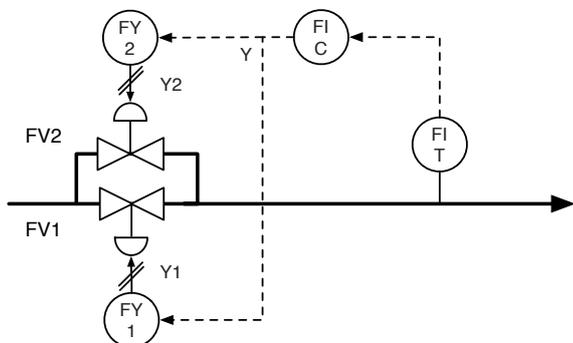
Dans certain procédé, il apparaît nécessaire quelquefois de surveiller deux grandeurs, pour des raisons de sécurité ou pour assurer le fonctionnement du procédé. Dans ce cas, on utilise une régulation dite parallèle. Elle utilise deux grandeurs réglées, deux correcteurs différents et un seul organe de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



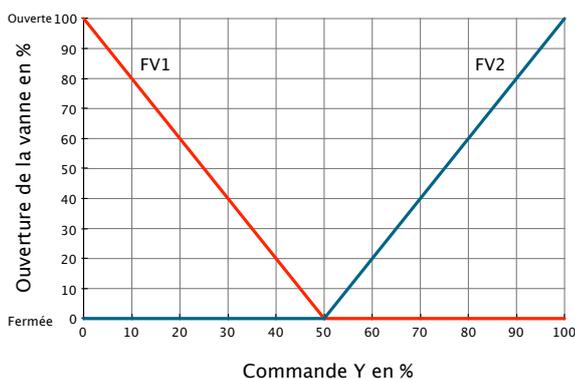
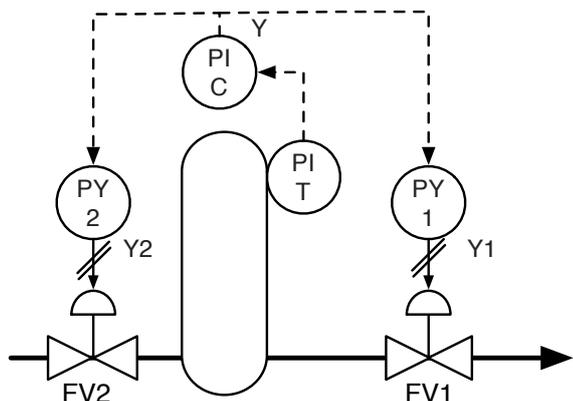
On règle les deux boucles indépendamment. On s'assurera de la mise hors service du sélecteur lors du réglage de chacune des boucles.



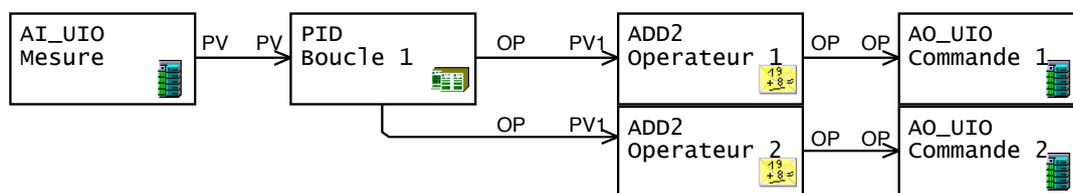
Effets complémentaires : Pour éviter les problèmes de cavitation, on utilise deux vannes de régulation avec des capacités de débit différents (C_v). Une vanne sera utilisée pour contrôler les débits importants, l'autre pour les débits faibles.



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.



10.2 Programmation sur T2550



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

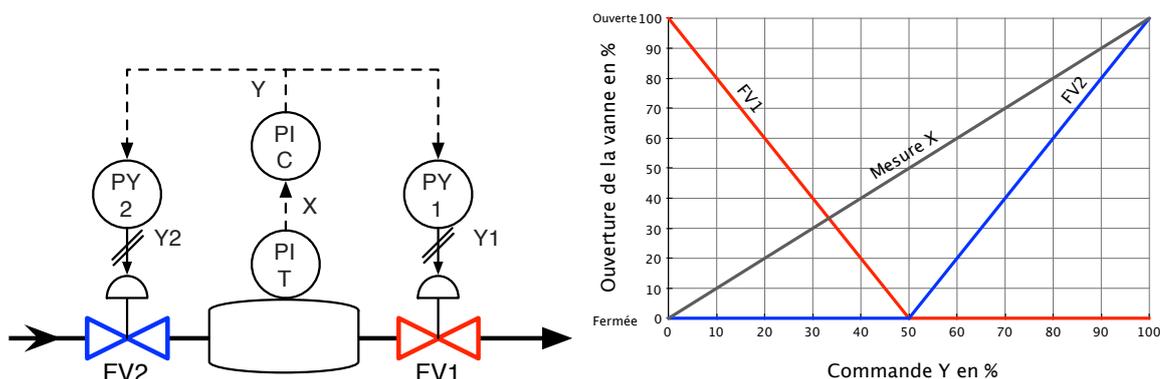


10.3 Détermination du sens d'action du régulateur

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 ;

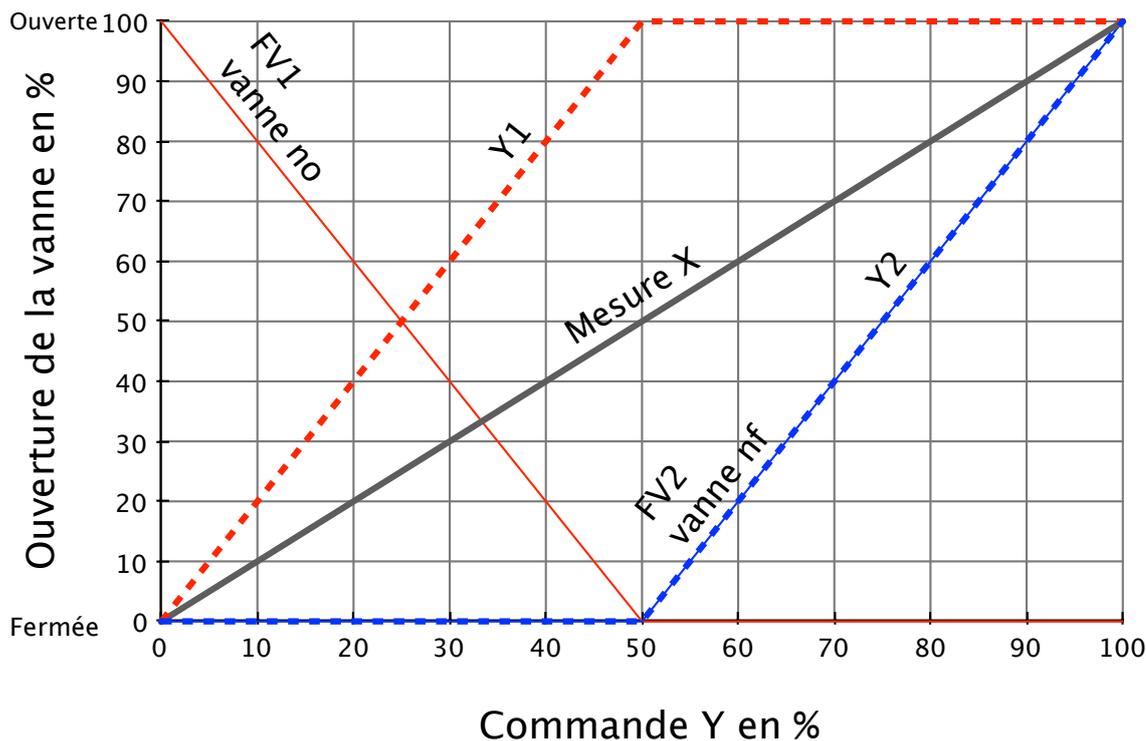
- À partir du plan de partage et du schéma TI, déduire le sens d'action du procédé.
- Si la commande Y et la mesure X varie dans le même sens, le procédé est direct, donc on doit régler le régulateur avec une action inverse. Si la commande Y et la mesure X varie dans deux sens différents, le procédé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

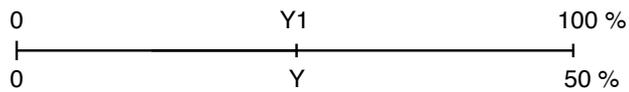


10.4 Détermination des équations de sortie

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 %.

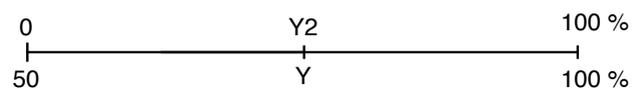


1) Boucles de régulation



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

$$Y1 = 2Y$$



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

$$Y2 = 2Y - 100$$

11 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.

