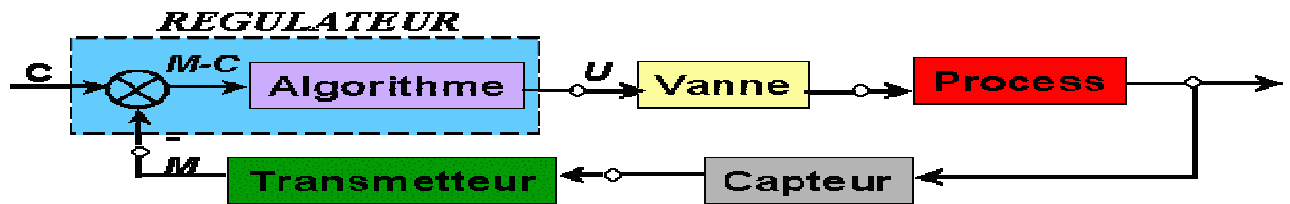


Technologie et réglage des régulateurs

1. Technologie des régulateurs

1.1 Définition

Un régulateur est un mécanisme automatique qui élabore un signal de commande U en fonction de l'écart de réglage $M-C$ selon un algorithme donné $f : U=f((M-C))$



1.2 Les différentes parties d'un régulateur

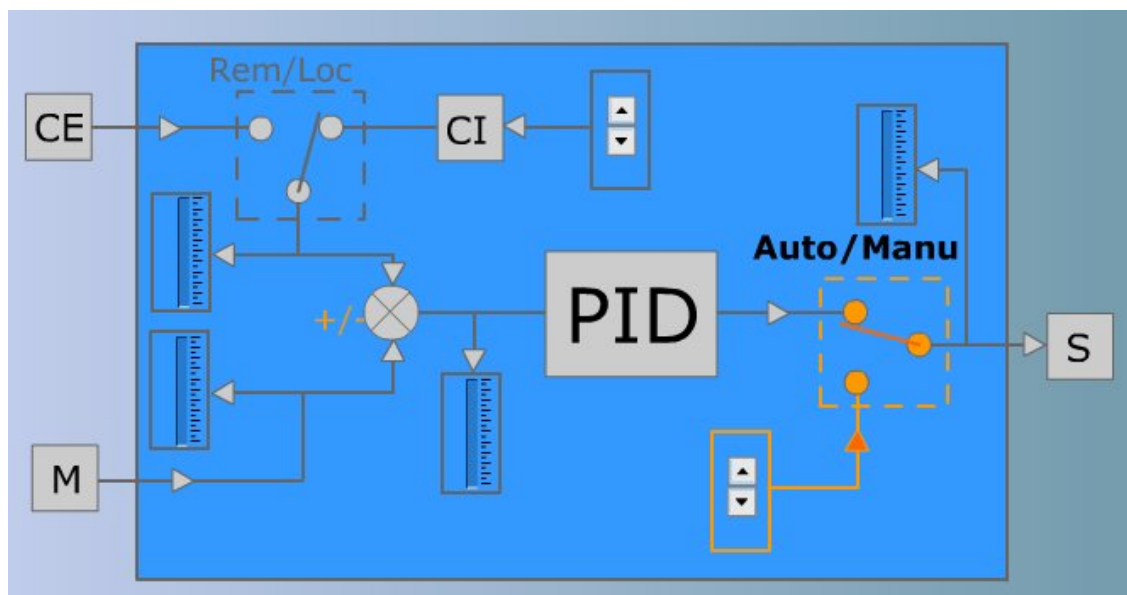
● Les signaux:

M : mesure, elle provient du transmetteur (grandeur à régler), elle est normalisée (4 - 20 mA, 0,2 - 1 bar)

C : Consigne externe (elle provient d'un instrument extérieur) ou interne.

U : Sortie du régulateur, signal de commande, qui actionne l'organe de réglage (vanne) (4 - 20 mA, 0,2 - 1 bar)

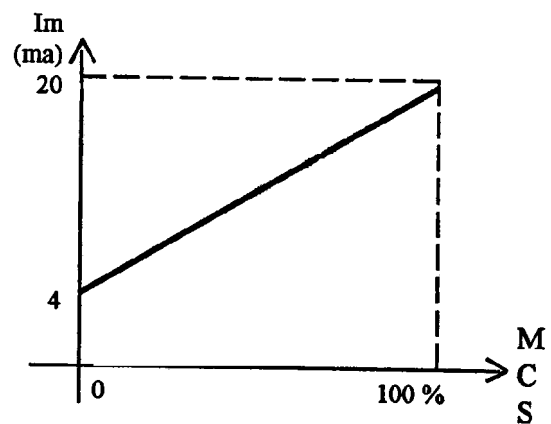
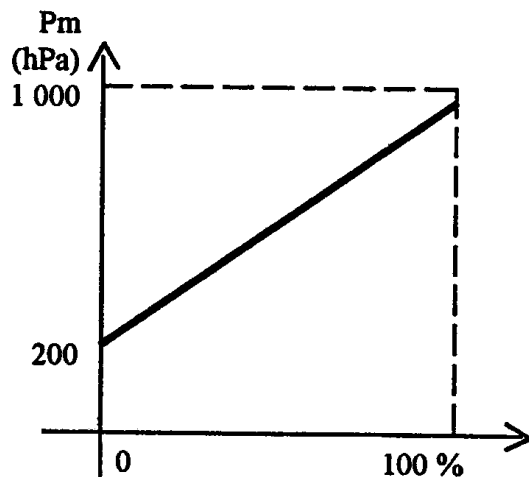
● Les blocs



1.3 Signaux reçus et transmis par un régulateur :

Ce sont des signaux analogiques continus dont les plus courants sont :

- pneumatiques → Pm de 200 à 1 000 hPa ou (mbar)
ou bien Pm de 3 à 15 PSI
- électriques → Im de 4 à 20 mA
ou bien Im de 10 à 50 mA
etc...



1.4 Les différentes parties d'un régulateur et Quelques indications sur les régulateurs industriels

● Les réglages

Réglage de la consigne

Réglage des actions P, I et D

Réglages des limites de la sortie du régulateur pour ne pas endommager la vanne

Réglage de la sortie en position manuelle

● Les sélecteurs

Consigne interne et externe

Sens d'action du régulateur

Passage du mode automatique à manuel

● Les indicateurs

Indicateur de consigne

Indicateur de mesure

Indicateur de l'erreur de réglage

Indicateur de la sortie du régulateur

● Quelques indications sur les régulateurs industriels

Mesure : PV (process variable) **Consigne interne** : L ou Local

Sortie : OUT (output) **Consigne externe** D ou R (Distance ou Remote)

Consigne : SP (set point) **Consigne suiveuse** PVT : Process Variable Tracking

Direct : Direct ou Decrease **I** : Inverse ou Increase

(+) : Directe (-) : Inverse

Manuel : M, MAN ou Manual **Auto** : A, Aut. Auto

Limites hautes : O.H. ou L.H. **Limites basses** : O.L. ou L.B

1.5 Classification des régulateurs

Les régulateurs sont classés comme suit :

● Selon la nature de l'énergie qu'ils utilisent

Pneumatique : sortie 0.2 à 1 bar. Ils sont utilisés dans l'industrie chimique du gaz, ne présentent pas de danger d'explosion, de moins au moins utilisés car lents et encombrants.

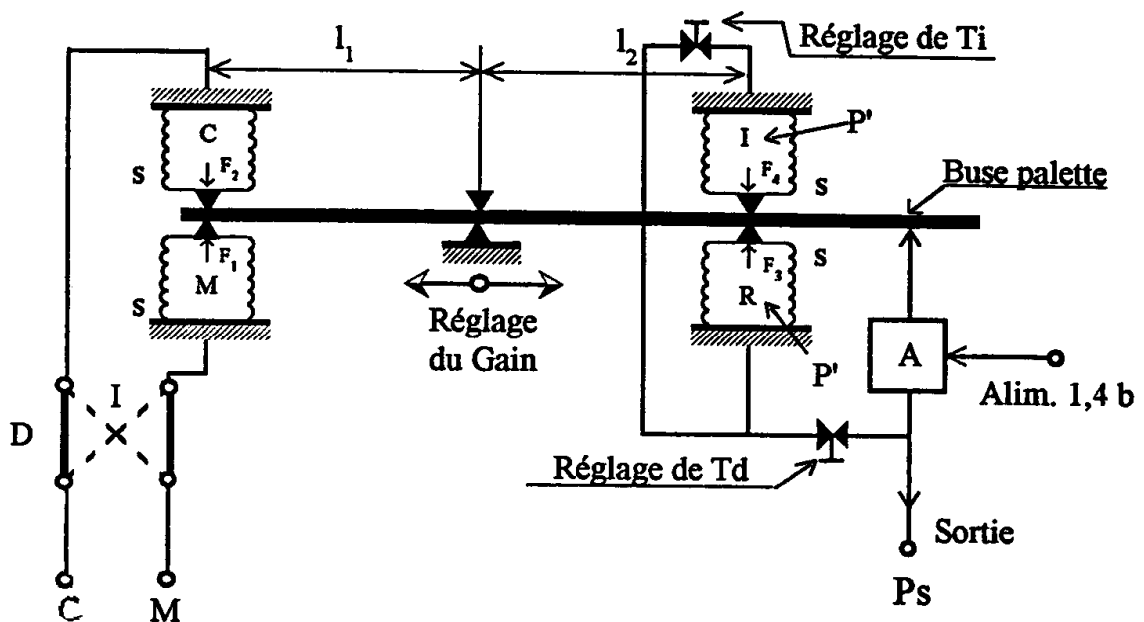
Les régulateurs pneumatique, toujours présents sur le marché, ont un aspect similaire et avec des possibilités identiques à celles des régulateurs électroniques.

Les signaux d'entrée et de sortie, sont des pressions d'air modulées, dont l'échelle est généralement 0.2 à 1 bar. La consigne externe est souvent en option.

Un moteur pas à pas, permet de piloter le point de consigne dans le cas d'une commande par ordinateur.



Régulateur pneumatique à équilibre de moments de forces



Electronique : sortie 4-20 mA utilisent des signaux analogiques à base d'amplificateurs opérationnels.

Ces régulateurs utilisent une électronique analogique, à base d'amplificateurs opérationnels, ils cèdent le pas à la technologie numérique, mais sont encore nombreux dans l'industrie.

Numérique : Sortie sous forme numérique. La technologie numérique permet d'avoir une grande souplesse : opération arithmétique, auto ajustage des coefficients, possibilité d'émettre ou de recevoir des données.

La différence fondamentale dans la présentation de ces régulateurs est un clavier opérateur, intégré ou indépendant (micro console), permettant d'émettre ou de recevoir des données.

La technologie numérique permet avec une grande souplesse, une extension des possibilités du régulateur :

- Possibilité d'avoir plusieurs entrées,
- Choix du signal d'entrée (courant, tension, fréquence, couple thermoélectrique, sonde platine,...)
- Traitement du signal d'entrée (extraction de racine carré, filtrage, linéarisation,...)
- Mise à l'échelle (valeur et format) des indicateurs.
- Choix du type d'alarme, soit sur la mesure, soit sur l'écart,
- Affichage précis des données telles qu'actions, limites, ...
- Equilibrages automatiques
- Choix du mode de dérivée, soit sur la mesure soit sur l'écart,
- Consigne suiveuse (tracking), en position manuelle, la consigne suit la mesure.

La technologie numérique permet, dans certains cas, au régulateur de calculer lui-même, les actions à afficher, on distingue :

- Les régulateurs auto réglant qui calculent les actions PID à un point de fonctionnement donné, et ce à partir d'une intervention humaine.
- Les régulateurs auto-adaptatifs qui calculent et ajustent en permanence les paramètres de leur algorithme (PID ou autre) en fonction de l'évolution du procédé.

Une liaison numérique est prévue, permettant de relier et de faire communiquer le régulateur avec d'autres instruments tels que : superviseur, calculateur ou autres régulateurs.

● Selon le type d'action

Régulateur P

Régulateur PI

Régulateur PD

Régulateur PID

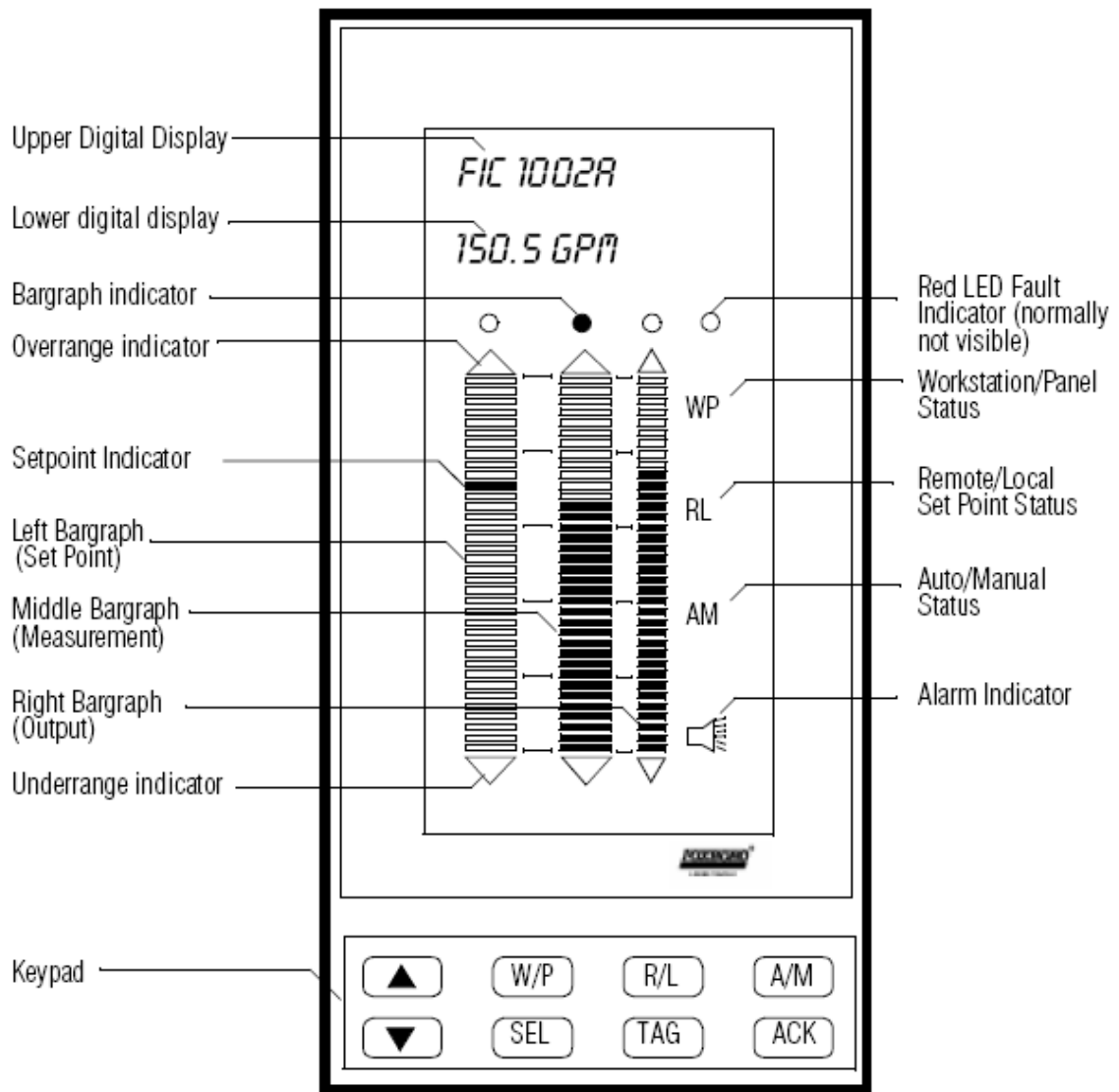
Tout ou rien


● **Selon le sens d'action** : le sens d'action est inversible et est choisi en fonction de celui de la vanne. Le sens de celle ci est fixé en fonction des conditions de sécurité. Ainsi par exemple, une vanne de réglage d'un gaz combustible doit être fermée par manque d'air.

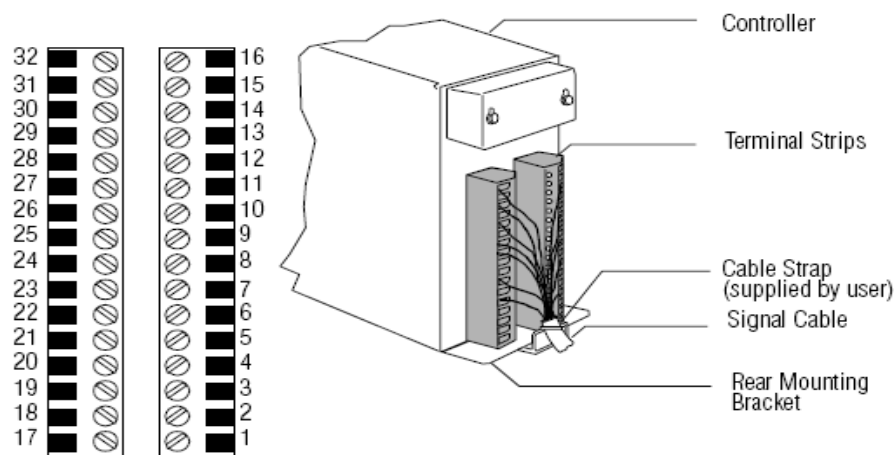
Direct - l'augmentation de la mesure provoque l'augmentation de la commande.

Inverse - l'augmentation de la mesure provoque la diminution de la commande.

Description du régulateur numérique Foxboro 762



Key	Function
	Pressing these keys moves you forward and backward through menu items and functions, and permits you to adjust parameter values. Also use these keys to increase and decrease set point and manual output values.
W/P	When W/P is configured, pressing this key toggles between Workstation and Panel mode. In Workstation mode, the controller is supervised from a remote workstation via the serial communication port. In the Panel mode, the controller is locally supervised. This key is disabled when the unit is configured for workstation priority and when W/P is routed to any selection from the Gate Input List.
R/L	When R/L is configured, pressing this switch toggles between Remote (R) and Local (L) set point operation. This key is disabled when the controller is in the W mode and when R/L is routed to any selection from the Gate Input List.
A/M	Pressing this key toggles between Auto (A) and Manual (M) operation. When transferring from A to M, the bargraph indicator light automatically selects the Output Bargraph for alphanumeric display. When transferring from M to A, it selects the Measurement Bargraph. This key is disabled when the controller is in the W mode and when A/M is routed to any selection from the Gate Input List.
SEL (Short press)	A short press (200 to 300 ms) selects the next variable for display on the Lower Digital Display (alphanumeric). Also provides access to remote set point, ratio, and totalized count, when so configured.
SEL (Long Press)	A long press (≥ 300 ms) toggles between Faceplates 1 and 2, provided they are configured and active. If only one faceplate is configured, the key performs the same functions as a short press.
TAG	Pressing this key causes the controller to exit from the faceplate display and enter the User Interface. If the controller is in W mode, this key is disabled.
ACK	In NORMAL mode, pressing this key acknowledges an alarm condition, causing the indicator to change from flashing to steady. This key is functional in both W and P modes.



Function	Terminal Number
Internal dc Power for 4-20 mA Transmitter ^a (+):	1
Internal dc Power for 4-20 mA Transmitter ^a (+):	17
Common for Internal dc Power:	3, 6 and 19
Analog ^b Input 1(+):	2
Analog ^b Input 1 (-):	4
Analog ^b Input 2 (+):	5
Analog ^b Input 2 (-):	7
Analog ^b Input 3 (+):	21
Analog ^b Input 3 (-):	23
Analog ^b Input 4(+):	18
Analog ^b Input 4(-):	20
Frequency Input 1 from Flowmeter; or Pulse-Up Input from Computer for Set Point	15
Frequency Input 2 from Flowmeter; or Pulse-Down Input from Computer for Set Point	13
Common for Frequency or Pulse Inputs:	14
Frequency Input 1 (+) for Controller-Powered Flowmeter:	16
Frequency Input 2 (+) for Controller-Powered Flowmeter:	12
RTD; Temperature Measurement	
Blk Wire:	9
Grn Wire:	10
Wht Wire:	11
RTD; Temperature Difference Measurement	
Wht Wire (Reference Sensor):	9
Grn and Blk Wires (Act. & Ref. Sensors):	10
Wht Wire (Active Sensor):	11
Contact Input 1:	29(+)
Contact Input 2:	28(+)
Contact Input Common:	30

a. Unit can supply power for up to two 4 to 20 mA transmitters.

b. 4-20 mA, field convertible to 1-5 V dc.

Table 3-3. Output Signal Terminal and Wire Designations

Function	Terminal Number
Control Output Signal #1; 4-20 mA (+):	26
Control Output Signal #1; 4-20 mA (-):	27
Control Output Signal #2; 4-20 mA(+) or 1-5 V dc (+):	8
Control Output Signal #2; 4-20 mA(-) or 1-5 V dc (-):	6
Contact Outputs: Open collector switch (NPN) output. Contact Outputs 1 and 2 can be configured by user for the following: Remote Status Indication of A/M, R/L, W/P, Alarms, EXACT Algorithm, Contact Inputs, Gate Outputs, Auto Selector Status, Totalizer Status.	
Contact Output 1:	32 (+)
Contact Output 2:	31 (+)
Common for Contact Outputs:	30 (-)

Table 4-6. Control Parameter Limits

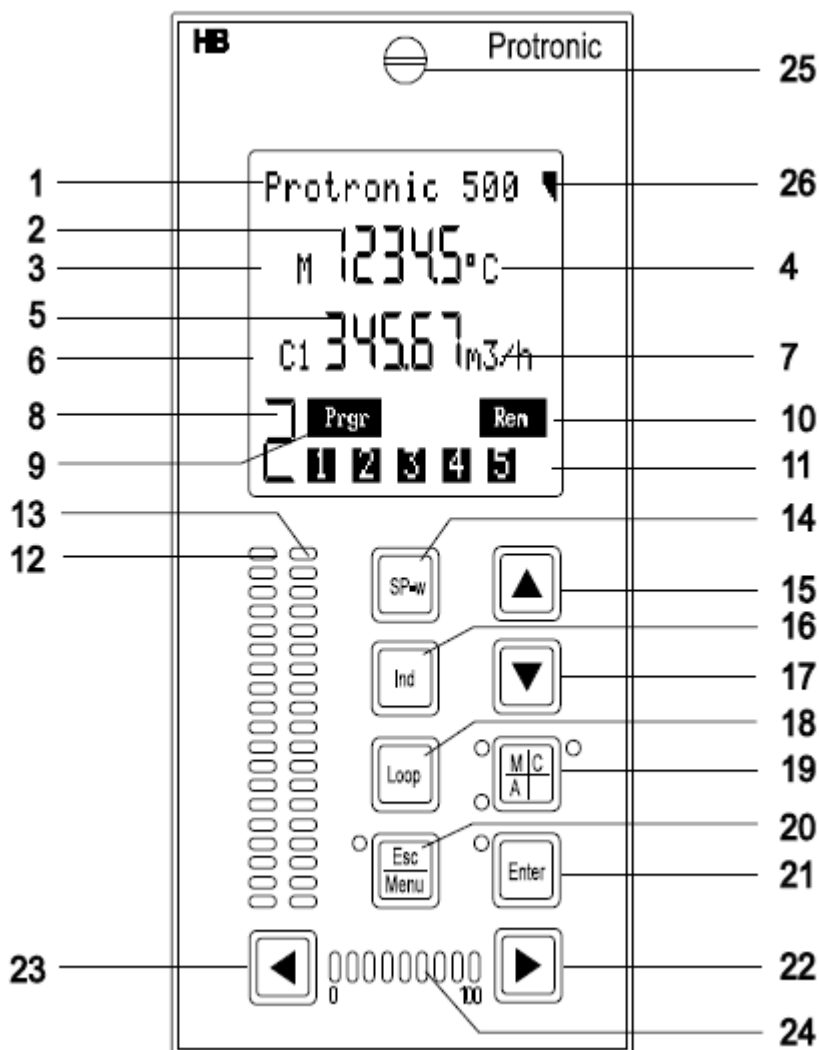
Parameter	Limits	Default
PF	1 and 8000%	200
IF	0.01 and 200 minutes/repeat	2.0
DF	0 and 100 minutes	0.0

Table 3-4. Serial Communications Terminal/Wire Designations

Function	Terminal No.
RS-485-A Serial Connection:	24 (+)
RS-485-B Serial Connection:	25 (-)
Potential Equalization Terminal:	22

RS-485 is used for serial communication of measurement, set point, output, alarm, and status signals. Maximum number of controllers that can be connected in a single loop is 30. Maximum accumulated cable length is 1.5 km (5000 ft).

Description du régulateur numérique Protronic 100

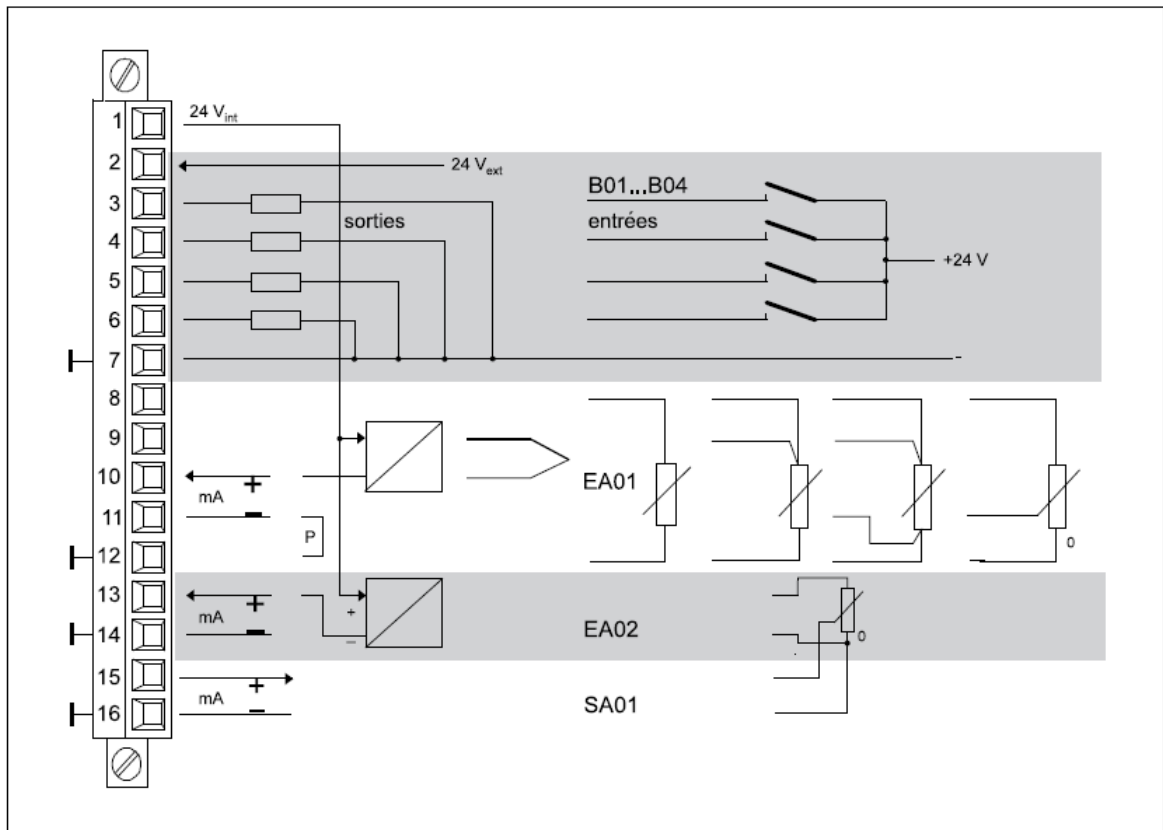


Panneau avant du Protronic

- | | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | Ligne de texte | 15 | Réglage «plus» de la valeur affichée dans 5, 6 et 7 |
| 2 | Affichage numérique de la grandeur réglante M | 16 | Commutation pour les affichages 5, 6 et 7 |
| 3 | Désignation de la grandeur réglante | 17 | Réglage «moins» de la valeur affichée dans 5, 6 et 7 |
| 4 | Dimension de la grandeur réglante | 18 | Commutation des voies (boucles) |
| 5 | Affichage numérique: en mode de fonctionnement automatique consigne C, en mode de fonctionnement manuel valeur de réglage Y | 19 | Commutateur des mode de fonctionnement manuel-automatique-cascade avec signaux DEL afférents |
| 6 | Désignation de la valeur affichée | 20 | Accès à la configuration et au paramétrage. La DEL afférente s'éclaire aussitôt que l'on quitte le niveau de commande, le symbole du menu est visualisé simultanément dans la ligne de texte |
| 7 | Dimension de la valeur affichée | 21 | Acquittement des données d'alarmes, de paramétrage et de configuration |
| 8 | Numéro du circuit de régulation affiché, alterne en cas d'alarme avec l'indication «A» | 22 | En mode de fonctionnement manuel «plus» |
| 9 | Indication pour générateur de programme actif | 23 | En mode de fonctionnement manuel «moins» |
| 10 | Indication pour télécommande activée | 24 | Sortie de réglage |
| 11 | Messages binaires avec possibilité de configuration libre | 25 | Vis d'obturation |
| 12 | Indication analogique de la grandeur réglante M | 26 | Le symbole du menu à droite affiche le niveau du menu actuel |
| 13 | Indication analogique de consigne C | | |
| 14 | Commutation d'affichage pour affichages (cf. paragraphe «Consignes») | | |

Connexion de signaux sur l'appareil de base

Connexion par des bornes à vis enfichables pour fils et toron.
Section de ligne jusqu'à 1,5 mm².



- | | | | | | |
|---|--|----|---------------------|---------------------|--|
| 1 | 24 V _{int} | 8 | Entrée analogique 1 | AA01 | Sortie analogique 1 (20 mA) |
| 2 | Entrée alimentation tension pour sorties binaires | 9 | Entrée analogique 1 | AE01 | Entrée universelle |
| 3 | Port binaire 1 (un port binaire peut être utilisé en tant qu'entrée ou sortie binaire) | 10 | Entrée analogique 1 | AE02 | Entrée courant additionnelle |
| 4 | Port binaire 2 | 11 | Entrée analogique 1 | B | Pont pour alimentation transmetteur via borne 1 |
| 5 | Port binaire 3 | 12 | Entrée analogique 1 | B01.. | Entrées ou sorties binaires |
| 6 | Port binaire 4 | 13 | Entrée analogique 2 | ..B04 | |
| 7 | Potentiel zéro | 14 | Entrée analogique 2 | FG1 | Connexion télétransmetteur (par ex. copie de position) |
| | | 15 | Sortie analogique 1 | 24-V _{int} | Alimentation pour transmetteur 2 fils et/ou entrées/sorties binaires |
| | | 16 | Sortie analogique 1 | 24-V _{ext} | Alimentation en tension externe |

Paramètre PID (monovoie, régulateur en cascade, régulateur principale)								
1	GAIN	Gain de régulateur Gp (efficace)	0,001	1000	sans	0,0001	1	1
2	ACTION INTEGRALE	Action intégrale Ti (efficace)	0 min	600 min	min	0.0001 min	0.5 min	1, 8
3	ACTION DERIVEE	Action dérivée Td (efficace)	0 min	600 min	min	0.0001 min	0.1 min	1, 8
4	GAIN DERIVEE	Gain dérivée Vv	1	10	sans	0,0001	5	
5	POINT FONCTIONNEMENT	Point de fonctionnement Y0 (efficace)	-100	+100	%	0,1	50	1

2. Actions des Régulateurs PID

2.1 Action proportionnelle

2.1.1 Rappel

Pleine échelle : C'est l'ensemble des valeurs que peut prendre l'entrée mesure du régulateur ; X de 0 à 100. Elle est généralement réglée au niveau du régulateur par deux paramètres, X_{\min} et X_{\max} .

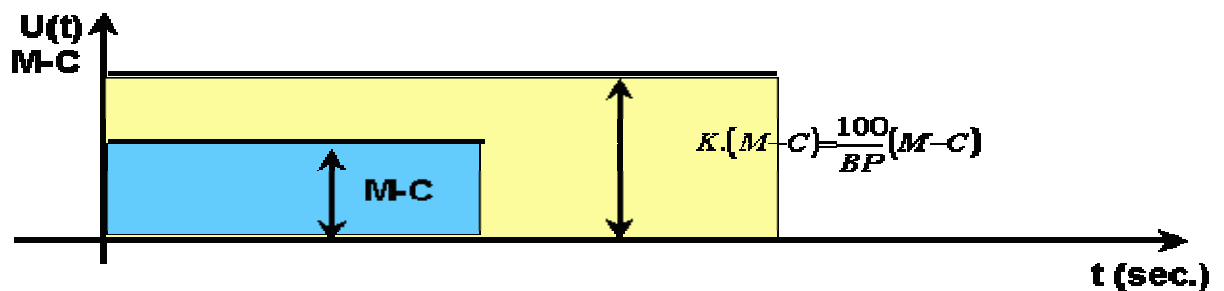
2.1.2 Présentation

● BANDE PROPORTIONNELLE : BP

C'est la variation en % de l'entrée du régulateur nécessaire pour que la sortie varie de 100%. Elle est d'autant plus faible que le gain est élevé donc que le régulateur est sensible : $BP\% = 100/K$.

BP est de l'ordre de 3 à 400% dans les régulateurs électroniques

● Réponse indicielle de P-régulateur



2.1.3 Représentation fonctionnelle d'une régulation proportionnelle

Dans le cas d'une régulation à action inverse, le schéma fonctionnel d'un régulateur à action proportionnelle est donné par la figure suivante :

- K_p = gain de correcteur : $K_p = \frac{100}{X_p}$

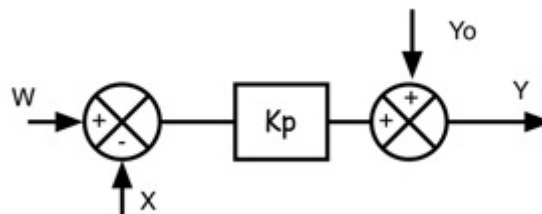


Schéma fonctionnel d'une régulation proportionnelle

2.2 Action intégrale

2.2.1 Qu'est-ce qu'une action intégrale ?

On veut :

- Une action qui évolue dans le temps ;
- Une action qui tend à annuler l'erreur statique.

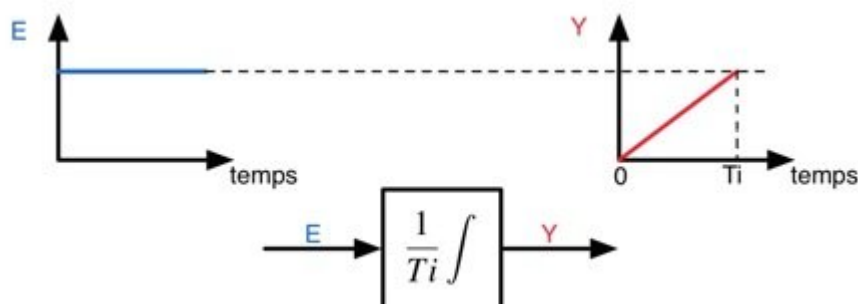
Cette fonction est remplie par l'opérateur mathématique : '**intégral par rapport au temps**'. Ainsi, dans un régulateur, on définit l'action intégrale à partir d'un des deux paramètres **Ti** ou **Ki** avec :

$$Y(t) = K_i \int_{t_0}^t (W(t) - X(t))dt = \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t (W(t) - X(t))dt$$

Ti est le temps intégral, définie en unité de temps. **Ki** le gain intégral, définie en coup par unité de temps.

2.2.2 Fonctionnement

Pour étudier l'influence de l'action intégrale, on s'intéressera à la réponse du module intégral à un échelon. Plus **Ki** est grand (**Ti** petit), plus la valeur de la sortie **Y** augmente rapidement. Le temps **Ti** est le temps pour que la commande **Y** augmente de la valeur de l'entrée **E=W-X**.



Influence de Ti sur la commande

2.2.3 Supprimer l'action intégrale

Pour annuler l'action intégrale, il existe plusieurs solutions, fonction du régulateur. Si, on règle l'action intégrale à l'aide du gain **Ki**, il suffit de mettre **Ki** à zéro. Dans le cas où le réglage du gain intégral se fait à l'aide du temps **Ti**, il y a deux solutions :

- Mettre **Ti** à zéro, si c'est possible ;
- Sinon mettre **Ti** à sa valeur maximale. Si le correcteur est coopératif, il indiquera supp.

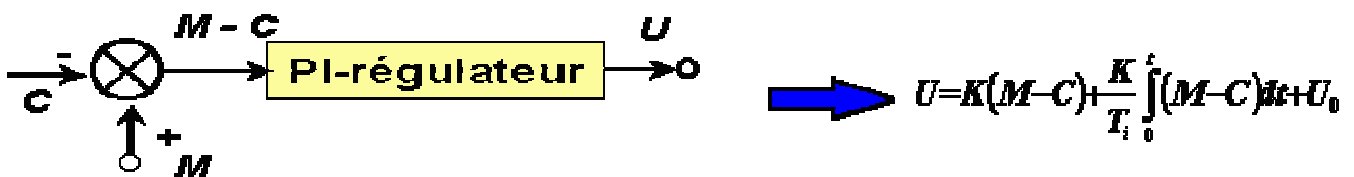
2.2.4 Rôle et domaine d'utilisation de l'action intégrale

Dans les régulateurs industriels on affiche $1/T_i$, alors **Ti** est d'autant plus grand que l'action intégrale est faible. Le rôle principal de l'action intégrale est d'éliminer

l'erreur statique. Toutefois l'action intégrale est un élément à retard de phase, donc l'augmentation de l'action intégrale (c.à.d. diminuer T_i) produit une instabilité. La valeur optimale est choisie pour satisfaire un compromis stabilité- rapidité. Si le système possède lui même un intégrateur (exemple niveau), l'action I est quand même nécessaire pour annuler l'écart de perturbation car, suite aux variations de la consigne l'intérêt de I est moindre car l'écart s'annule naturellement. Dans l'industrie, on utilisera l'action I chaque fois que nous avons besoin, pour des raisons technologiques, d'avoir une précision parfaite - exemple : la régulation de la pression ou température dans un réacteur nucléaire. De plus, il faut souligner que l'action I est un filtre donc il est intéressant de l'utiliser pour le réglage des paramètres très dynamiques tels que la pression.

2.2.5 Action conjuguée PI

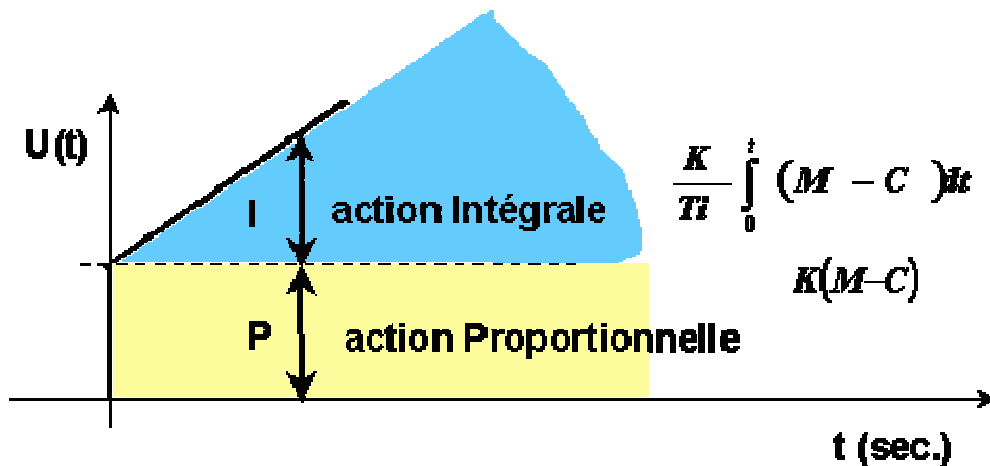
● **Définition**



● **Fonction de transfert:**

$$W(p) = K \left(\frac{T_i p + 1}{T_i p} \right)$$

● **Réponse indicielle**



● **La Bande Proportionnelle BP**

$$BP\% = 100/K$$

● **Le temps d'intégration Ti** [sec.] ou en nombre de répétition par minute

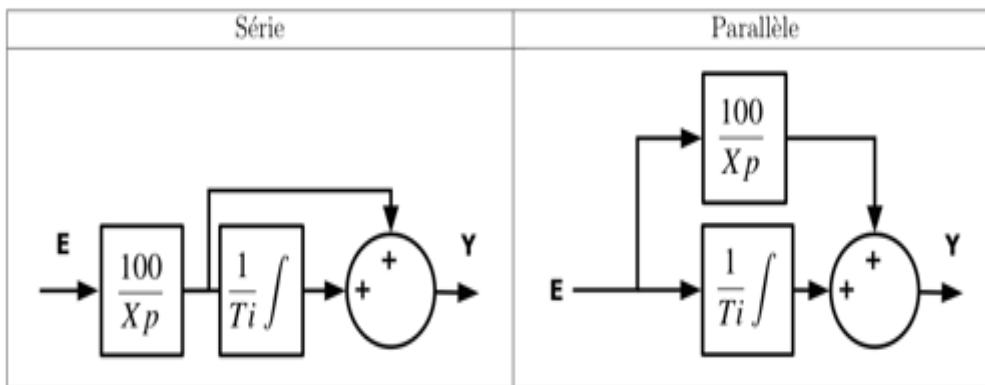
Sens physique de Ti, intégrons U(t) de 0 à Ti :

$$U = K(M-C) + \frac{K}{T_i} \int_0^{T_i} (M-C) dt + U_0$$

$$U = 2K(M-C) + U_0 = 2 \text{ fois l'action de P}$$

En général, le régulateur ne fonctionne pas en action intégrale pure (trop instable). Il fonctionne en correcteur Proportionnel Intégral (PI). Le couple, Bande Proportionnelle - Temps Intégral, définit deux types de fonctionnement qui sont représentés dans le tableau suivant :

Structures d'un régulateur PI



Conséquences : Dans un régulateur série, la modification de la bande proportionnelle, entraîne la modification de l'influence de l'action intégrale. Avant de procéder au réglage du régulateur, il est nécessaire de connaître sa structure interne.

2.3 Action dérivée

2.3.1 Qu'est-ce qu'une action dérivée ?

C'est une action qui amplifie les variations brusques de la consigne. Elle a une action opposée à l'action intégrale. Cette fonction est remplie par l'opérateur mathématique : **'dériver par rapport au temps'**. Ainsi, dans un régulateur, on définit l'action dérivée à partir du temps dérivé **Td** avec :

$$Y(t) = T_d \cdot \frac{d}{dt}$$

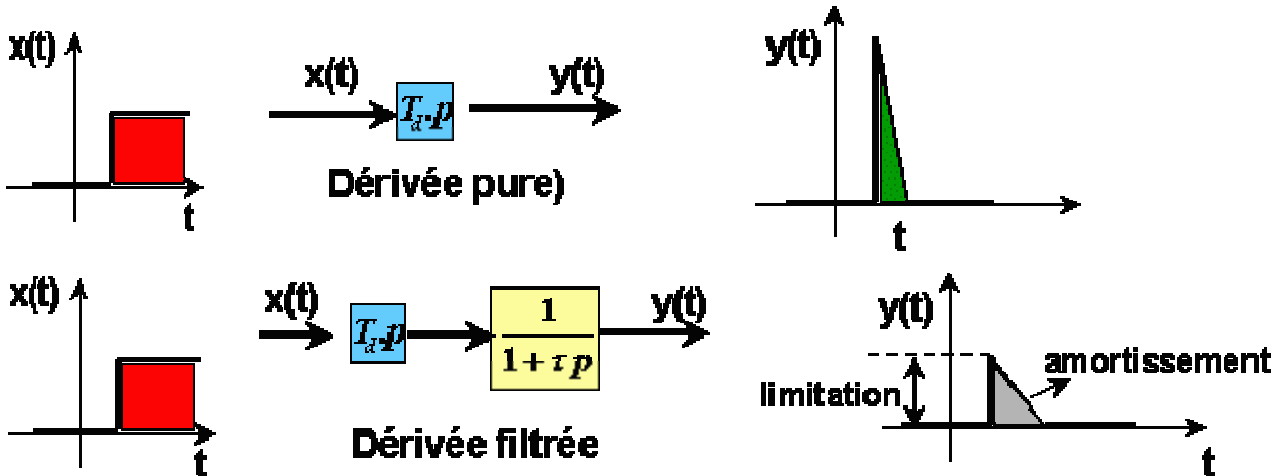
Le temps dérivé **Td** s'exprime en unité de temps.

T_d représente l'écart, en temps entre les réponses proportionnelles seules (P), et proportionnelles dérivées (PD).

T_d est donc le temps d'avance d'une réponse PD par rapport à une réponse en P seule.

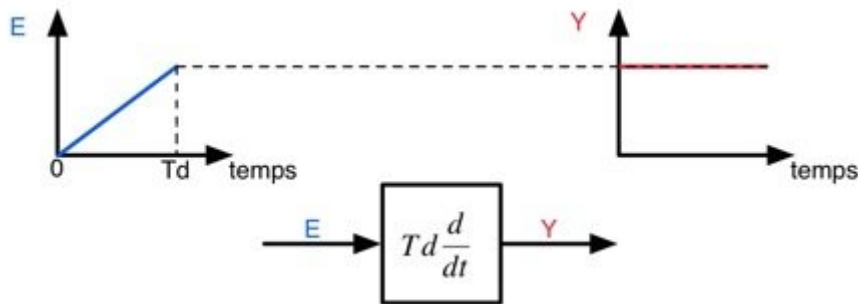
Afin de limiter la sortie d'un régulateur ayant une action dérivée, en pratique l'action dérivée est filtrée en ajoutant un élément de premier ordre. L'action dérivée pure $T_d.p$

devient alors :
$$W(p) = \frac{T_d.p}{1 + \tau p}$$



2.3.2 Fonctionnement

Pour étudier l'influence de l'action dérivée, on s'intéressera à la réponse du module dérivé à une rampe. Plus T_d est grand, plus la valeur de la sortie Y sera importante. Le temps T_d est le temps pour que l'entrée E augmente de la valeur de la sortie Y .



Influence de T_d sur la commande

2.3.3 Supprimer l'action dérivée

Pour annuler l'action dérivée, il suffit de mettre T_d à 0.

2.3.4 Rôle et domaine d'utilisation de l'action dérivée

L'action dérivée compense les effets du temps mort du process. Elle a un effet stabilisateur mais une valeur excessive peut entraîner une instabilité. La présence de l'action dérivée permet donc **d'augmenter la rapidité du système** en augmentant le gain sans être inquiet par la stabilité. Dans l'industrie, l'action D n'est jamais utilisée seule mais en général avec l'action intégrale. On recommande de l'utiliser pour le réglage des paramètres lents tels que la température. Par contre en présence des paramètres bruités, l'action dérivée est déconseillée. En effet un signal bruité ayant par exemple la fréquence du réseau (50 hz) sera amplifiée en le dérivant.

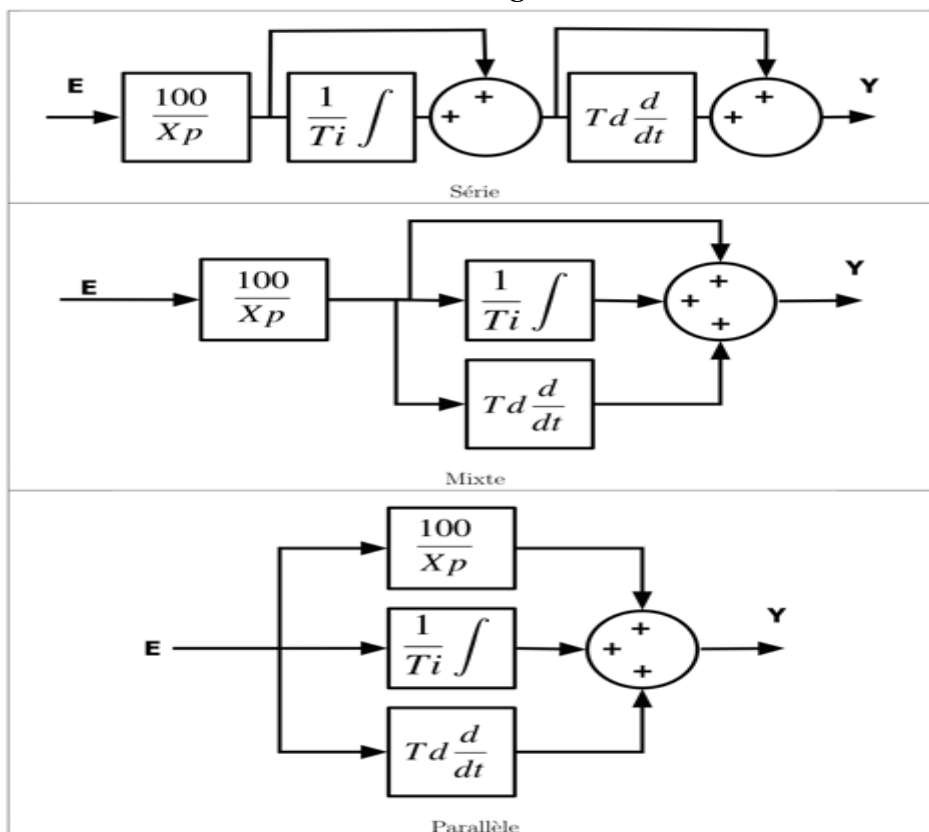
$$x(t) = 0,1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50t) \Rightarrow x(t)' = 10 \cdot \pi \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 50t)$$

2.3.5 Action conjuguée PID

En général, le régulateur ne fonctionne pas en action dérivée pure (trop instable). Il fonctionne en correcteur Proportionnel Intégral Dérivé (PID). Le triplet, Bande Proportionnelle - Temps Intégral - Temps dérivé, définit trois types de fonctionnement qui sont représentés dans le tableau suivant.

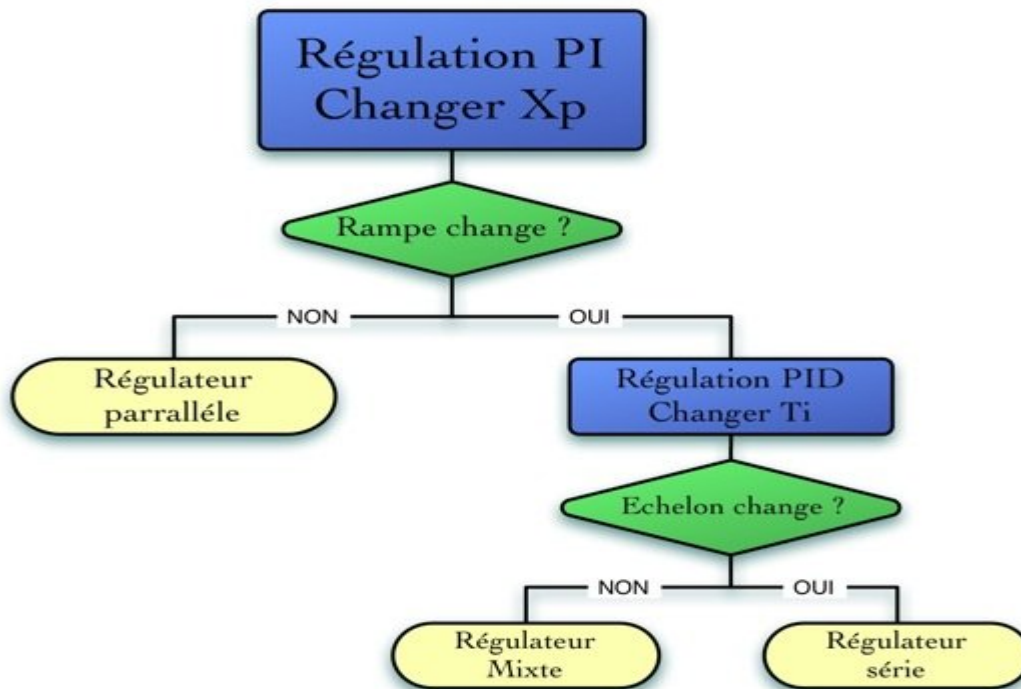
Remarque : Les régulateurs électroniques (tous ceux de la salle de travaux pratiques) ont une structure mixte.

Structures d'un régulateur PID



2.3.6 Déterminer la structure interne d'un régulateur

Pour déterminer la structure d'un régulateur, il faut l'isoler du système (faire en sorte qu'il n'agisse plus sur la mesure) et le mettre en fonctionnement automatique. Il suffit alors de suivre le logigramme suivant (on observe la commande Y du régulateur en réponse à un échelon de la mesure X ou de consigne W). Pour avoir des mesures aisées, on prendra les valeurs suivantes :



*Détermination de la structure d'un régulateur
Influence du temps dérivé*

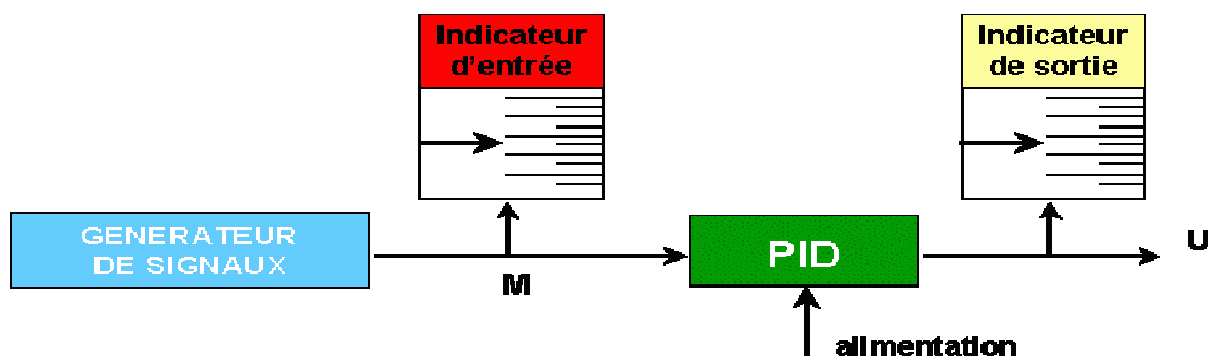
2.4 Résumé des actions des corrections P, I et D

Action	Rôle et domaine d'utilisation
P	L'action Proportionnelle corrige de manière instantanée, donc rapide, tout écart de la grandeur à régler, elle permet de vaincre les grandes inerties du système. Afin de diminuer l'écart de réglage et rendre le système plus rapide, on augmente le gain (on diminue la bande proportionnelle) mais, on est limité par la stabilité du système. Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas importante, exemple : régler le niveau dans un bac de stockage.
I	L'action intégrale complète l'action proportionnelle. Elle permet d'éliminer l'erreur résiduelle en régime permanent. Afin de rendre le système plus dynamique (diminuer le temps de réponse), on diminue l'action intégrale

	<p>mais, ceci peut provoquer l'instabilité en état fermé.</p> <p>L'action intégrale est utilisée lorsqu'on désire avoir en régime permanent, une précision parfaite, en outre, elle permet de filtrer la variable à régler d'où l'utilité pour le réglage des variables bruitées telles que la pression.</p>
D	<p>L'action Dérivée, en compensant les inerties dues au temps mort, accélère la réponse du système et améliore la stabilité de la boucle, en permettant notamment un amortissement rapide des oscillations dues à l'apparition d'une perturbation ou à une variation subite de la consigne.</p> <p>Dans la pratique, l'action dérivée est appliquée aux variations de la grandeur à régler seule et non de l'écart mesure-consigne afin d'éviter les à-coups dus à une variation subite de la consigne.</p> <p>L'action D est utilisée dans l'industrie pour le réglage des variables lentes telles que la température, elle n'est pas recommandée pour le réglage d'une variable bruitée ou trop dynamique (la pression). En dérivant un bruit, son amplitude risque de devenir plus importante que celle du signal utile.</p>

3. Vérification des actions des régulateurs

3.1 Schéma du stand de vérification



3.2 Vérification de l'action proportionnelle

1. Mettre la sortie U à $U_0 = 50\%$.
2. Afficher un gain K quelconque (exemple $K=1$ donc $BP=100\%$).

3. Mettre l'action intégrale maximale (pour éliminer l'action intégrale).
4. Afficher $T_d=0$ (pour éliminer l'action dérivée).
5. Varier à l'aide du générateur de signaux la grandeur M et mesurer U

Calculer alors : $K = \frac{\Delta U}{\Delta M} \Rightarrow BP = \frac{100}{K}$ et comparer avec la valeur affichée.

6. Répéter pour plusieurs valeurs sur toute la gamme de la BP.

3.3 Vérification de l'action intégrale

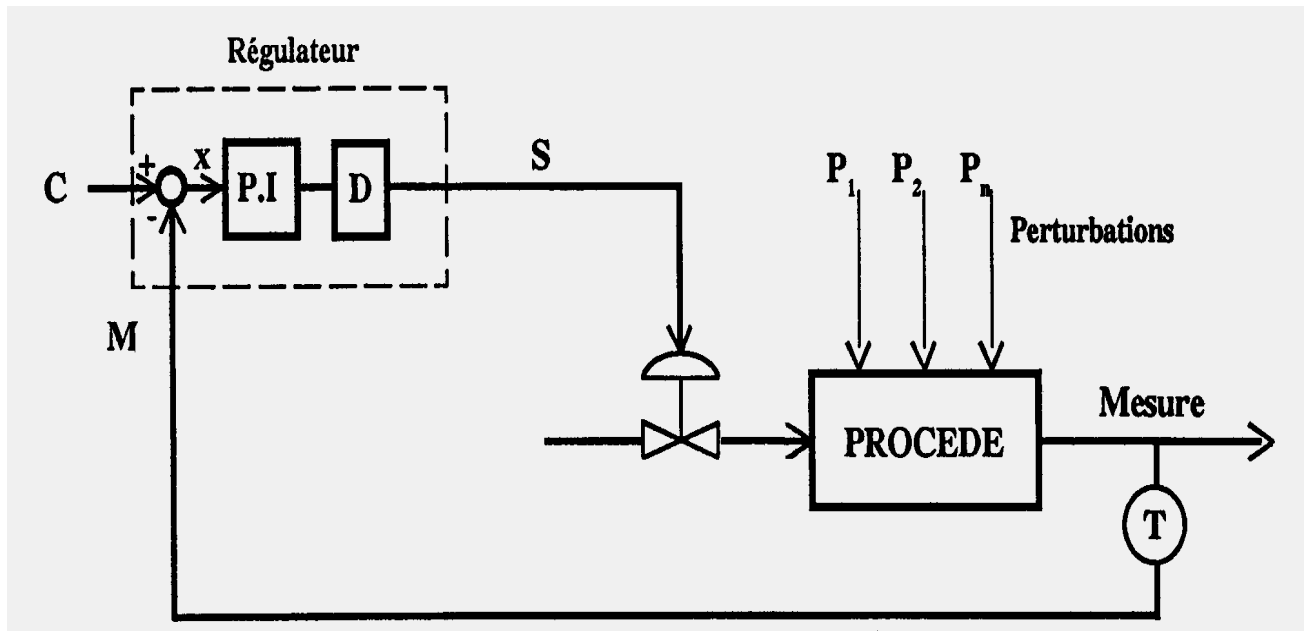
1. Mettre la sortie U à $U_0 = 50\%$.
2. Afficher un gain K quelconque (exemple $K=1$ donc $BP=100\%$).
3. Afficher $T_d=0$ (pour éliminer l'action dérivée).
4. Fixer à l'aide du générateur de signaux la grandeur M .
5. Mettre l'action intégrale égale à 1seconde $T_i = 1$ seconde par exemple,
6. alors à $t = 1$ seconde, vous devez avoir $U(t=1\text{sec.}) = 2M.K + U_0 = 2.M.1 + U_0$ (2 fois l'action P).
7. Répéter l'opération pour plusieurs valeurs de T_i sur toute sa gamme et comparer avec la valeur affichée.

3.4 Vérification de l'action dérivée

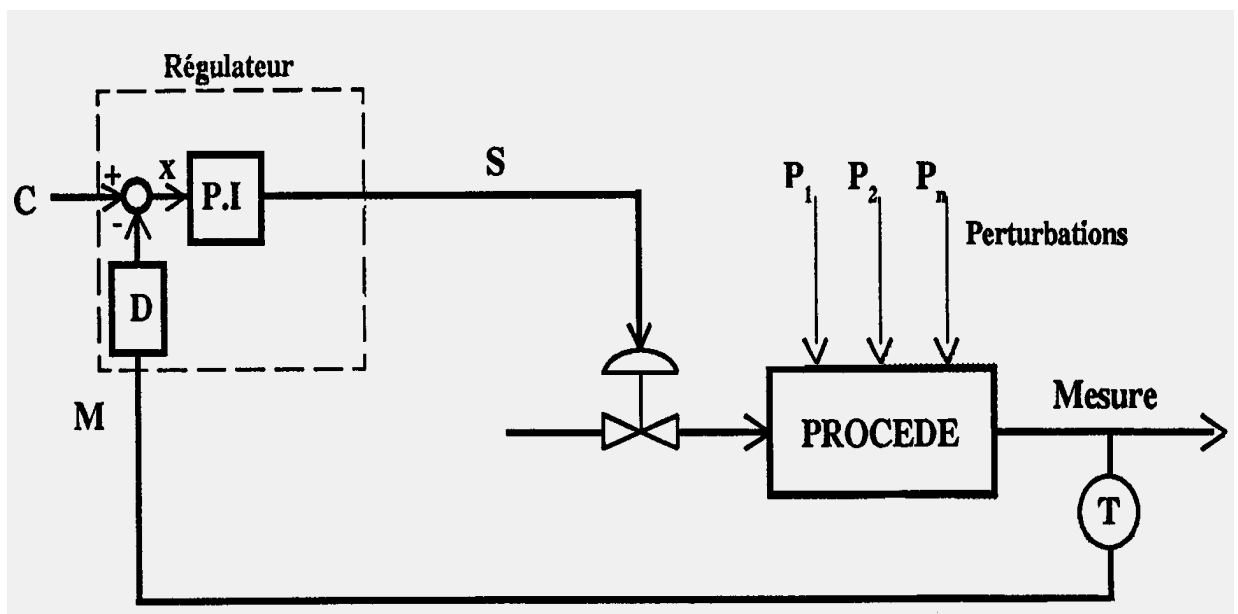
1. Mettre la sortie U à $U_0 = 50\%$.
2. Afficher un gain K quelconque (exemple $K=1$ donc $BP=100\%$).
3. Afficher T_i infini (pour éliminer l'action intégrale).
4. Afficher un temps dérivé T_d .
4. Introduire à l'aide du générateur de signaux une rampe $M = at$,
5. alors à $t = 1$ seconde, vous devez avoir $U(t=1\text{sec.}) = 2M.K.T_d + U_0 = 2.M.1. T_d + U_0$ (2 fois l'action P).
7. Répéter l'opération pour plusieurs valeurs de T_d sur toute sa gamme et comparer avec la valeur affichée

4 Régulateur dans la boucle avec dérivée sur X ou sur M

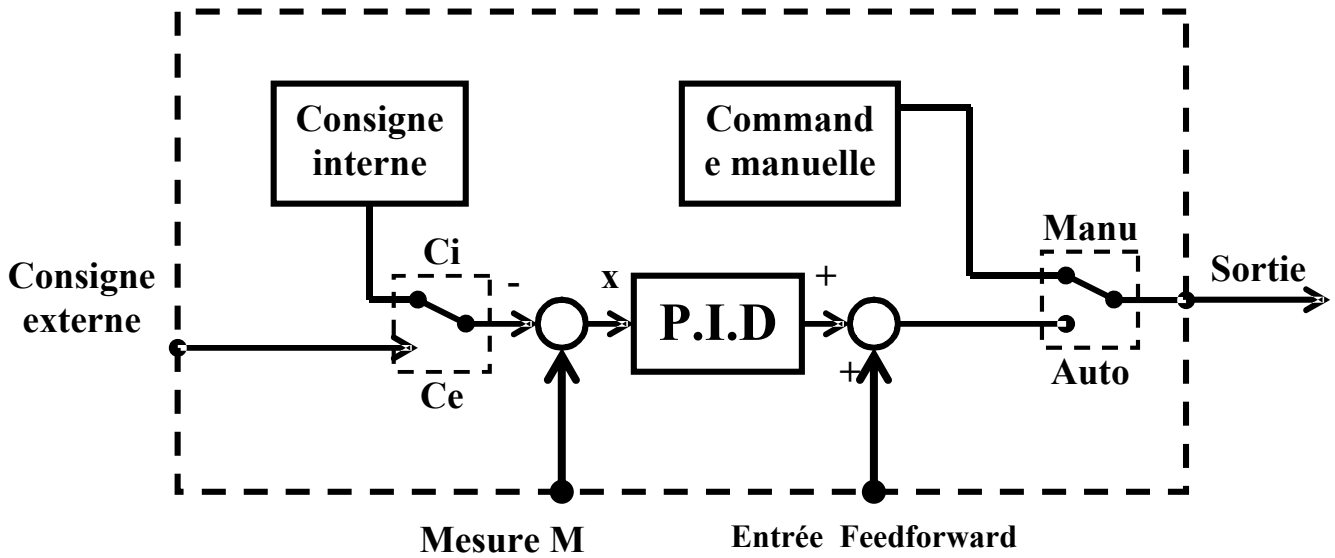
4.1 Régulateur avec dérivée sur x :



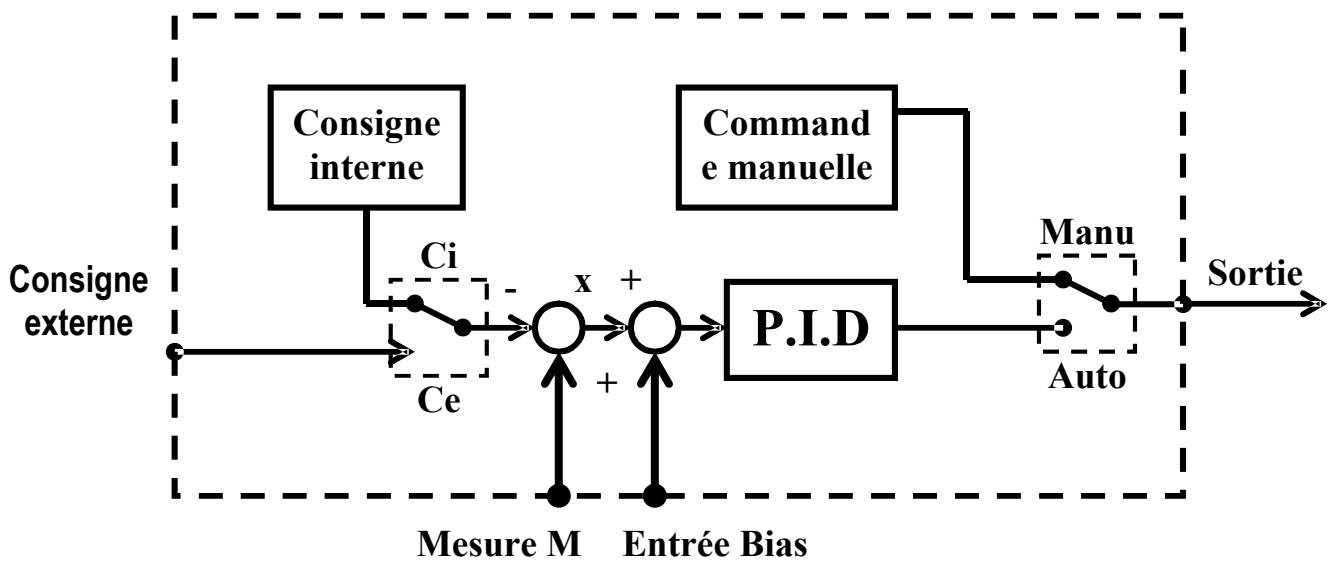
4.2 Régulateur avec dérivée sur M



5 Régulateur avec entrée FeedForward :



6 Régulateur avec entrée bias :



7. Réglage des paramètres des régulateurs

8.1 Problématique

Afin d'augmenter les performances d'un système, on peut agir sur les paramètres du régulateur afin de les régler à leur valeurs optimums selon un critère choisi. Mais, quelquefois l'algorithme de régulation utilisé (exemple PID) ne peut plus assurer la stabilité ou de bonnes performances car le système à commander présente par exemple un temps de retard important, alors on est contraint d'agir sur la structure de la boucle de régulation (cascade, compensation etc...) ou utiliser des algorithmes plus performants (retour d'état, optimal, découplage etc...)

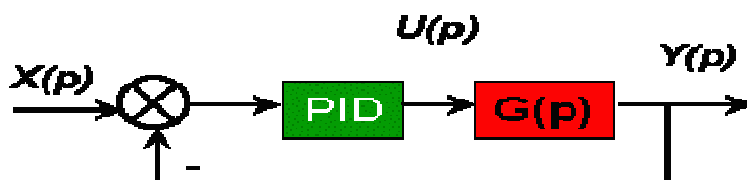
8.2 Méthode théorique des réglages

● Remarque

La méthode théorique de calcul des paramètres nécessite la connaissance du modèle du système à commander. Leur efficacité dépend de la précision et de la robustesse du modèle. C'est pourquoi, dans l'industrie elles sont rarement utilisées, surtout pour la commande des processus complexes (chimiques..)

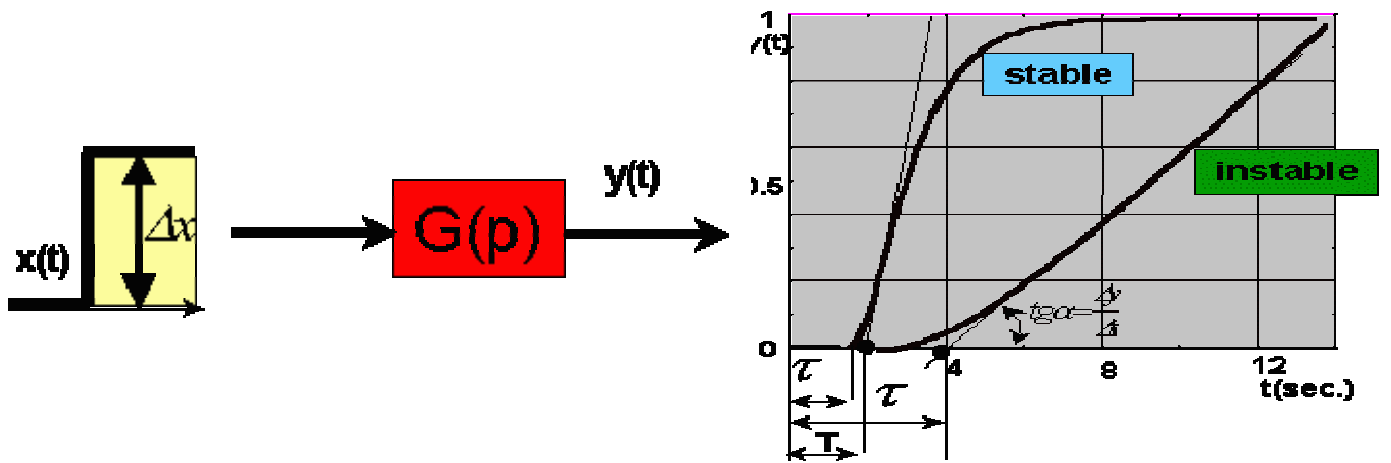
8.3 Méthodes pratiques de réglages

● Problématique



Quelles valeurs de K, Ti et Td pour avoir les meilleures performances du système?

● En boucle Ouverte



$$K_s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ Gain Statique du Système stable ouverte}$$

$$K_i = \frac{tg \alpha}{\Delta x} = \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x} \text{ Gain Statique du Système instable ouverte}$$

Choix du type de régulateur en fonction de la réglabilité

Réglabilité T/τ	10 à 20	5 à 10	2 à 5	>20	<2
Régulateur	P	PI	PID	Tout ou rien	mutiboucles

Calcul des actions P,I, et D pour les systèmes stables

Modes Action	P	PI série	PID série	P parallèle	PI parallèle	PID mixte
K	$0.8T/K_s \cdot \tau$	$0.8T/K_s \cdot \tau$	$0.8T/K_s \cdot \tau$	$0.85T/K_s \cdot \tau$	$(T/\tau)+0.4)/1.2K_s$	$(T/\tau)+0.4)/1.2K_s$
Ti	Maxi	T	$(K_s \cdot \tau)/0.80$	T	$(K_s \cdot \tau)/0.75$	$T+0.4\tau$
Td	0	0	0	0.4τ	$0.35T/K_s$	$(T \cdot \tau)/(\tau+2.5T)$

Calcul des actions P,I,etD pour les systèmes instables

Modes Action	P	PI série	PID série	P parallèle	PI parallèle	PID mixte
K	$0.8/K_i \cdot \tau$	$0.8/K_i \cdot \tau$	$0.8/K_i \cdot \tau$	$0.85/K_i \cdot \tau$	$0.9/K_i \cdot \tau$	$0.9/K_i \cdot \tau$
Ti	Maxi	5τ	$(K_i \cdot \tau \cdot \tau)/0.15$	4.8τ	$(K_i \cdot \tau \cdot \tau)/0.15$	5.2τ
Td	0	0	0	0	$0.35T/K_i$	0.4τ

● Choix du mode de réglage dans le cas d'un système instable

1. $0.05 < K_i \tau < 0.1$ alors P
2. $0.1 < K_i \tau < 0.2$ alors PI
3. $0.2 < K_i \tau < 0.5$ alors PID
4. $0.05 < K_i \tau$ alors Tout ou rien
5. $K_i \tau > 0.5$ multiboucles

● Remarque

- **Ks.** τ doit être sans unité
- Si on est limite de PID, on doit utiliser des boucles multiples cascade, ou régulateurs numériques.