

Instructions  
PID, PIDAT, SCL, SCL2,  
SCL3, APR

# La régulation PID Avec les API Omron

**CONDENSÉ**

**OMRON**

## Sommaire

<b>1. PRINCIPES DE REGULATION .....</b>	<b>3</b>
1.1. NOTION DE CORRECTEUR PID .....	3
1.2. L'ACTION PROPORTIONNELLE .....	4
1.3. L'ACTION INTEGRALE .....	6
1.4. L'ACTION DERIVEE .....	6
1.5. ASSOCIATION DES ACTIONS P, I ET D .....	7
<b>2. IDENTIFICATION DES PROCEDES .....</b>	<b>8</b>
2.1. PROCÉDÉ STABLE .....	8
2.2. PROCÉDÉ INSTABLE .....	8
<b>3. METHODE DE REGLAGE DES PARAMETRES P, I ET D.....</b>	<b>9</b>
3.1. LA METHODE DE ZIEGLER ET NICHOLS .....	9
3.2. LA METHODE PAR APPROCHE SUCCESSIVE .....	10
3.3. REGULATION TOR (TOUT OU RIEN) .....	11
3.4. REGULATION PID A SORTIE TOR .....	11
<b>4. LA REGULATION PID AVEC LES AUTOMATES OMRON.....</b>	<b>12</b>
4.1. L'INSTRUCTION PID .....	12
4.1.1. Paramètre du bloc de contrôle .....	12
4.1.2. Exemple de mise en œuvre .....	14
4.1.3. Précaution d'emploi .....	14
4.2. L'INSTRUCTION PIDAT (CS1-H/CJ1-H ET CJ1M UNIQUEMENT) .....	15
4.3. LES INSTRUCTIONS DE MISE A L'ECHELLE SCL .....	16
4.3.1. L'instruction SCL .....	16
4.3.2. L'instruction SCL2 .....	17
4.3.3. L'instruction SCL3 .....	18

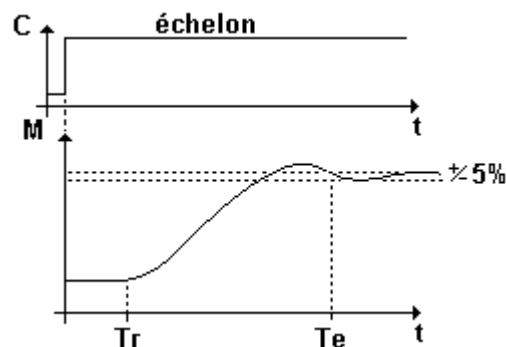
## 1. Principes de régulation

### 1.1. Notion de correcteur PID

P, I et D constituent des correcteurs dont l'association permet d'assurer une régulation optimale d'un procédé.

- L'action proportionnelle P permet d'accélérer la réponse du procédé proportionnellement à l'écart Mesure-Consigne. P donne la nervosité du régulateur PID
- L'action intégrale I complète l'action P en annulant l'erreur résiduelle sans modifier la réaction du régulateur PID.
- L'action dérivée D permet de compenser les effets du temps mort du procédé et améliore la stabilité de la boucle en amortissant rapidement les oscillations provoquées par une perturbation ou un changement brusque de la consigne.

Le temps mort  $\tau$  (ou retard **Tr**) désigne l'intervalle de temps entre la variation de la consigne et la variation de la mesure. Les longueurs de canalisations induisent des temps morts.



Le temps d'établissement **Te** correspond à l'intervalle de temps entre la variation de la consigne et l'instant où la mesure entre dans un intervalle de  $\pm 5\%$  sans en ressortir. Les réglages du correcteur P, I et D permettent d'optimiser ce temps d'établissement.

## 1.2. L'action proportionnelle

L'action proportionnelle détermine la nervosité du régulateur PID

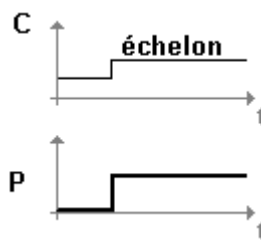
La sortie d'un régulateur en sens direct \* est donnée par la relation :

$$S = Gr.(M - C) + Sm$$

S : sortie  
Gr : gain régulateur  
M : mesure  
C : consigne  
Sm : sortie de maintien

La sortie d'un régulateur en sens inverse\* est donnée par la relation :

$$S = -Gr.(M - C) + Sm$$



La sortie de maintien **Sm** est généralement de 0 ou bien de 50% du signal de sortie. Dans le cas d'une régulation de température, on essaie de travailler autour de ce point de fonctionnement.

$$Sm = 50.$$

Dans le cas d'une régulation de position, le signal de sortie est directement proportionnel à l'écart Mesure - Consigne.

$$Sm = 0$$

\*Note : la régulation inverse agit en sens inverse de l'écart.  
Dans le cas de la régulation de température, lorsque l'écart M -C augmente (la température M augmente) la sortie de chauffe doit être diminuée.

### La notion de bande proportionnelle

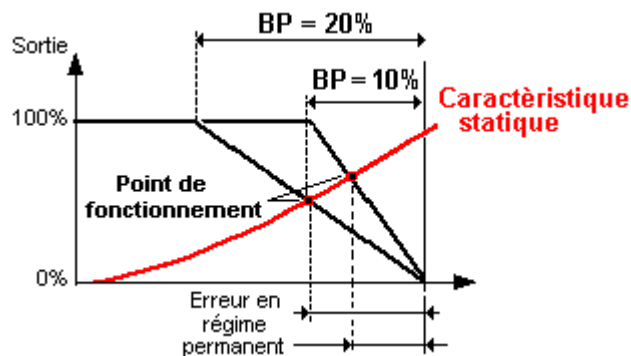
L'action d'un régulateur s'exprime soit par le gain **Gr** soit par la bande proportionnelle **BP**. La relation entre le gain et la bande proportionnelle est donnée par la relation :

$$BP = \frac{100}{Gr}$$

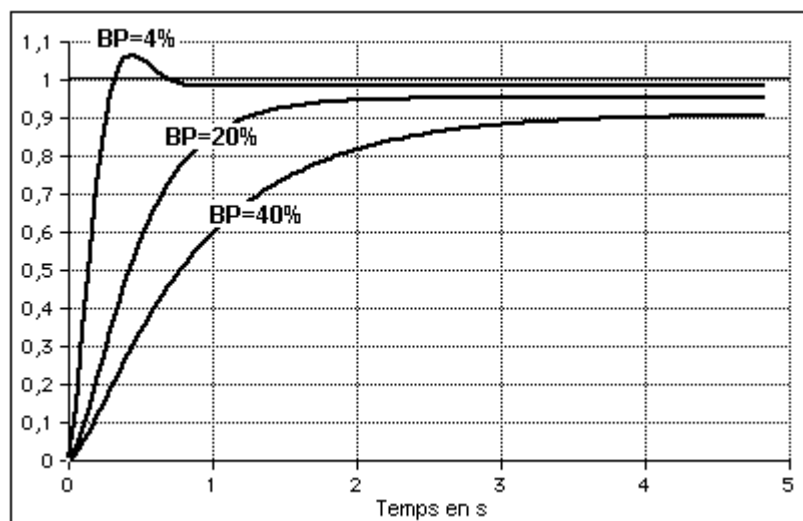
La bande proportionnelle correspond à une zone encadrant le point de fonctionnement dans laquelle la commande est actionnée proportionnellement à l'écart Mesure-Consigne.

La largeur de cette bande doit être la plus réduite possible pour permettre une régulation réactive mais suffisamment large pour ne pas provoquer d'instabilité. Plus la bande proportionnelle est étroite (gain élevé), plus la réponse du système est rapide. En effet, pour une même erreur (Mesure-Consigne), la puissance fournie est plus importante.

Plus on augmente la bande proportionnelle, plus on augmente l'écart résiduel Mesure-Consigne en régime permanent (erreur statique).



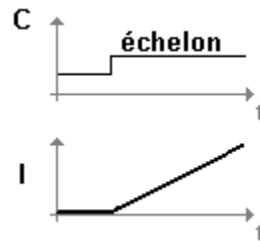
La bande proportionnelle optimale est celle qui permet de se rapprocher au plus vite de la consigne avec le dépassement le plus faible possible. Ci-dessous, la BP de 4% donne le meilleur résultat.



### 1.3. L'action intégrale

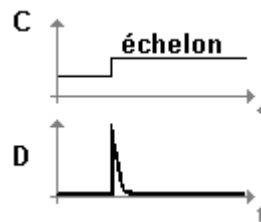
Le rôle de l'action intégrale est de se rapprocher au plus vite de la consigne sans modifier la réaction en annulant l'écart résiduel Mesure-Consigne.

$$S = \frac{1}{Ti} \int_0^t (M - C) dt$$



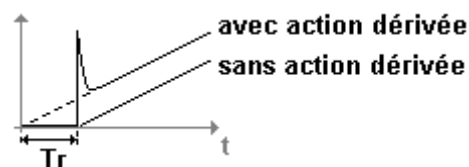
L'action intégrale est généralement associé à l'action proportionnelle.

$$S = Td \frac{d(M - C)}{dt}$$




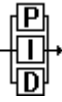

### 1.4. L'action dérivée

Le rôle de l'action dérivée est d'annuler le retard du procédé.  
L'action dérivée permet de « booster » la sortie de manière à compenser le temps de retard.

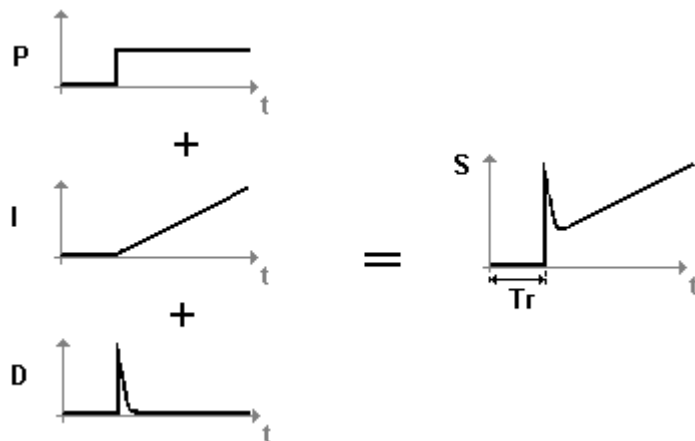


### 1.5. Association des actions P, I et D

Il existe plusieurs façons d'associer les modules P, I et D.

- P.I.D série 
- P.I.D parallèle (peu répandu) 
- P.I.D mixte 

La réponse à un échelon de mesure des régulateurs PID structures série et mixte est de la forme ci-dessous



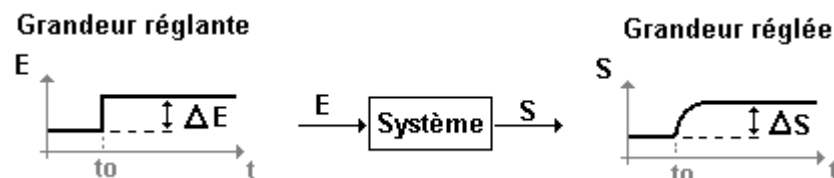
## 2. Identification des procédés

Un procédé peut être du type continu ou bien discontinu. Dans un procédé continu, le produit fini est élaboré d'une façon ininterrompue. Dans un procédé discontinu, le produit fini est obtenu en quantité déterminée lors d'une seule procédure de fabrication complète. Les procédés discontinus sont également appelés « batch » ou « par lot ».

### 2.1. Procédé stable

□

Un procédé est dit naturellement stable si à une variation finie de la grandeur réglante E correspond une variation finie de la grandeur réglée S.

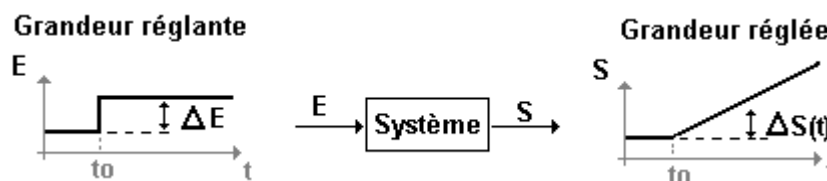


Exemple : régulation de température

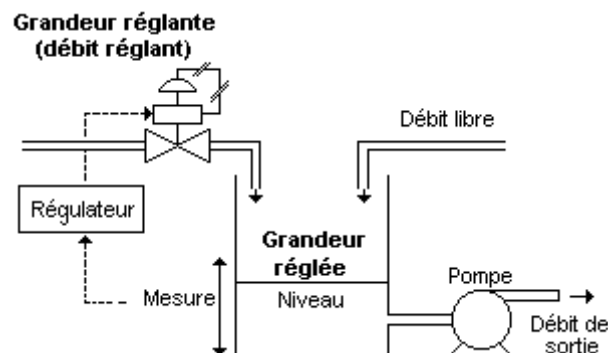
### 2.2. Procédé instable

□

Un procédé est dit naturellement instable si à une variation finie de la grandeur réglante E correspond une variation continue de la grandeur réglée S.



Exemple : régulation de niveau d'une cuve





### 3. Méthode de réglage des paramètres P, I et D

Il existe plusieurs méthodes pour régler une boucle de régulation dont les plus courantes :

- la méthode par identification de procédé  
L'identification du procédé permet d'établir les caractéristiques du procédé (gain statique, constante de temps, temps mort). Les actions P, I et D sont calculées en fonction de ces caractéristiques. Cette méthode convient aux procédés à grande inertie.
- la méthode de Ziegler et Nichols  
L'observation de la réponse du procédé permet de déduire les caractéristiques du procédé (gain statique, constante de temps, temps mort) et d'en déduire en fonction des règles de calcul définies par Ziegler et Nichols les paramètres P, I et D.
- la méthode par approches successives  
Elle consiste à modifier progressivement les paramètres et observer la réaction de manière à s'approcher de la réponse optimale. Cette méthode est simple et adaptée aux procédés rapides ou le temps mort est négligeable.

#### 3.1. La méthode de Ziegler et Nichols

Le procédé doit être stabilisé au point de fonctionnement.

Avec  $D=0$  et I au max (inopérant) et P à 100% au départ, en faisant varier P on applique une variation de consigne d'un échelon jusqu'à provoquer une oscillation entretenue (pompage). La période T de cette oscillation ainsi que le Gain Grc permettent de calculer P, I et D suivant le tableau de Zieglers et Nichols.

	PID série	PID parallèle	PID mixte 1	PID mixte 2
P	330/Grc	170/Grc	170/Grc	170/Grc
I	T / 4	(0,85 x T)/Grc	T / 2	T / 2
D	T / 4	(T x Grc)/13,3	T / 8	(T x Grc)/13,3

### 3.2. La méthode par approche successive

Le procédé doit être stabilisé au point de fonctionnement.

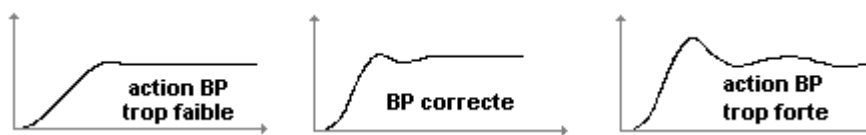
- Réglage de P

P faible

D = 0

I = 9999 (au maxi pour être inopérant)

En appliquant un échelon de 5 à 10% sur la consigne, la réaction doit se rapprocher de la forme du milieu.



Si l'action proportionnelle est trop faible, augmenter le gain (= diminuer BP%) et inversement si l'action proportionnelle est trop forte.

- Réglage de D

D n'est utile que si le procédé induit un temps mort.

$D = Tr/3$  environ (Tr : temps mort)

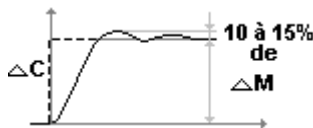
L'action de D doit permettre de se rapprocher au mieux de la figure du milieu.

Il faut choisir un réglage de l'action dérivée qui minimise (ou élimine) le premier dépassement.

- Réglage de I

L'intégrale n'est utile que s'il existe un écart résiduel entre Mesure/Consigne.

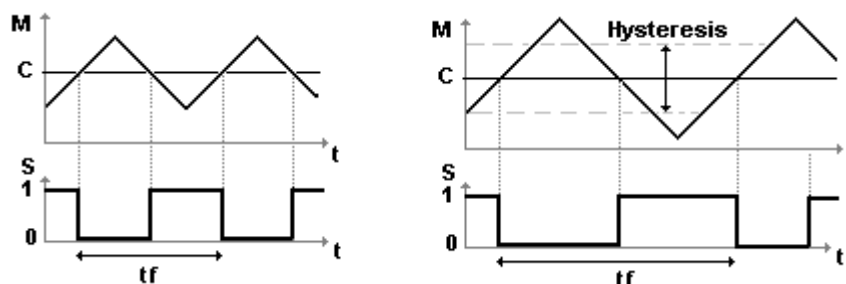
Il faut choisir un réglage de l'action Intégral qui donne une réponse de la Mesure avec un premier dépassement, par rapport à la consigne, d'environ 10 à 15 % de la variation de la Mesure.



### 3.3. Régulation TOR (Tout ou Rien)

Les régulateurs TOR sont utilisés pour la commande des systèmes ayant une grande inertie ou la précision de régulation n'est pas importante.

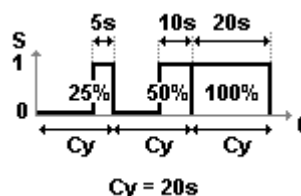
La régulation TOR génère une oscillation permanente de la grandeur réglée autour du point de consigne. L'hystérésis permet d'augmenter la stabilité. L'hystérésis augmente la période de commutation  $t_f$  au détriment de l'amplitude des oscillations et permet ainsi d'allonger la durée de vie de l'étage de sortie du régulateur.



La régulation Tout-Ou-Rien est tout à fait adaptée aux procédés à grande inertie et à faible temps mort tel que la régulation de température de four électrique. L'amplitude des oscillations ne doit pas être trop importante et la période de fonctionnement ne doit pas être trop faible (20s pour une sortie relais électromécanique et d'1s pour un relais statique).

### 3.4. Régulation PID à sortie TOR

La sortie du régulateur est actionnée par impulsion durant un cycle ( $Cy$ ). La durée de ce temps de commutation ( $t_c$ ) correspond à un pourcentage de la durée du cycle.



Le temps de commutation de la sortie pour que  $M = C$  est appelé  $t_{c0}$  (sortie préfixée). Les temps de commutations de P, I et D sont

Pour I et D = 0 on obtient l'action de P par le calcul suivant :

$$t_c = Gr \cdot \frac{e\%}{100} \cdot Cy$$

$t_c$  : temps de commutation  
 $e\%$  : écart (M-C) en %  
 $Gr$  : gain du régulateur  
 $Cy$  : durée du cycle en seconde

## 4. La régulation PID avec les automates Omron

### 4.1. L'instruction PID

PID	
S	Entrée de mesure (Source)
C	Adresse du bloc de contrôle (39 mots)
D	Sortie de commande (Destination)

Le drapeau ERreur signal toute erreur lors de l'exécution de l'instruction PID.

#### 4.1.1. Paramètre du bloc de contrôle

##### Automates série CJ1/CS1

mot	bit	paramètres	Valeurs (hexa)	fonction
C	15-00	Consigne	0000-xxFF	suivant la plage d'entrée définie par C+6 bits 09-11
C+1	15-00	BP	0001-270F	0,1 à 999,9 % ---- <b>0000 provoque une erreur ----</b>
C+2	15-00	I	270F 0001-1FFF	9999 : pas d'action Intégrale 1 à 8191 : unité de temps définie par C+6
C+3	15-00	D	0000 0001-1FFF	0 : pas de dérivée 1 à 1FFF : 1-8191 unité de temps définie par C+6
C+4	15-00	P. d'échantillonnage	0001-270F	00,01 à 99,99 s ---- <b>0000 provoque une erreur ----</b>
C+5	00	Régulation	0 - 1	Inverse ou directe
	01	Prise en compte des paramètres P, I, et D	0 - 1	0 : à la 1ère exécution de l'instruction PID 1 : à chaque période d'échantillonnage (C+6)
	02	0	0	Non utilisé
	03	Sortie de maintien Sm	0 - 1	0 : Sm = 0 % (signification de Sm voir ch. 1.2) 1 : Sm = 50%
	04-15	Coef. du filtre d'entrée	000x 100x-163x	0 valeur standard (0,65) 0,00-0,99
C+6	00-03	Plage de définition de la sortie	xx00-xx08	0 : 8 bits 0-00FF 1 : 9 bits 0-01FF 2 : 10 bits 0-02FF 3 : 11 bits 0-03FF 4 : 12 bits 0-0FFF 5 : 13 bits 0-1FFF 6 : 14 bits 0-3FFF 7 : 15 bits 0-7FFF 8 : 16 bits 0-FFFF
	04-07	Unité temps de I et D	xx1x xx9x	1 : en période d'échantillonnage (défini par C+4) 9 : en unité de 100 ms
	08-11	Plage de définition de l'entrée	00xx-08xx	Idem plage de sortie (C+6 00-03)
	12	Limitation de sortie	0 - 1	0 : sortie non limitée 1 : sortie limitée
C+7	00-15	Limite basse de la sortie	0000-FFFF	
C+8	00-15	Limite haute de la sortie	0000-FFFF	
C+9				
:				
C+38				
<b>Réservé Par l'UC pour exécuter les calculs</b>				

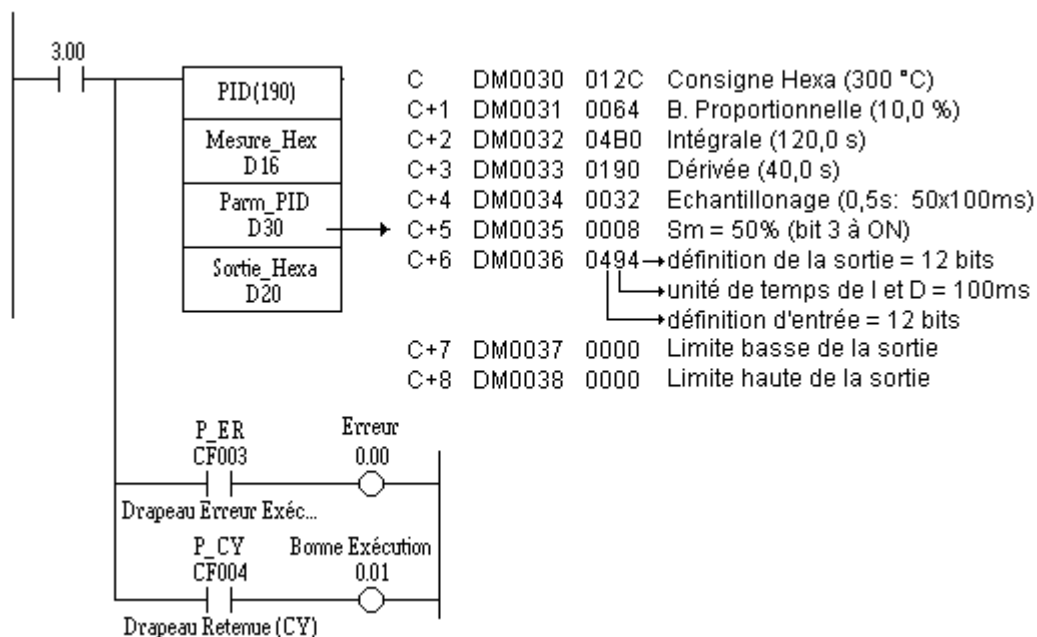
**Automates série CQM1, CPMxx, C200Hx**

mot	bit	paramètres	valeurs	fonction
C	15-00	Consigne	0000-xxFF	suivant la plage d'entrée définie par C+6
C+1	15-00	BP	0001-9999	0,1 à 999,9 %
C+2	15-00	I	9999 0001-8191	pas d'action Intégrale en nombre de Période d'échantillonnage C+4 alpha : unité de temps définie par C+6 (04-07)
C+3	15-00	D	0000 0001-8191	0 : pas de dérivée en nombre de Période d'échantillonnage C+4 alpha : unité de temps définie par C+6 (04-07)
C+4	15-00	P. d'échantillonnage	0001-1023	0,1 à 102,3 s
C+5	00-03	Régulation	0000-0001	Inverse - directe
	04-15	Coefficient du filtre d'entrée	0000 0100-0199	0 = valeur standard (0,65) 0,00-0,99
C+6	00-07	Plage de définition de la sortie	xxx0-xxx8	0 : 8 bits 0-00FF 1 : 9 bits 0-01FF 2 : 10 bits 0-02FF 3 : 11 bits 0-03FF 4 : 12 bits 0-0FFF 5 : 13 bits 0-1FFF 6 : 14 bits 0-3FFF 7 : 15 bits 0-7FFF 8 : 16 bits 0-FFFF
		*alpha uniquement		
	09-11	Plage de définition de l'entrée	x8xx-x0xx	0 : 8 bits 0-00FF 1 : 9 bits 0-01FF 2 : 10 bits 0-02FF 3 : 11 bits 0-03FF 4 : 12 bits 0-0FFF 5 : 13 bits 0-1FFF 6 : 14 bits 0-3FFF 7 : 15 bits 0-7FFF 8 : 16 bits 0-FFFF
C+7		<b>Réservé Par l'UC pour exécuter les calculs</b>		
:				
C+32				

Sur la série alpha uniquement :

C+6	04-07	Unité temps de I et D *alpha uniquement	xx1x xx8x xx9x	1 : en période d'échantillonnage (C+4) 8 : unité de 100 ms 9 : unité de 10 ms
-----	-------	--	----------------------	---

## 4.1.2. Exemple de mise en œuvre sur série CS1/CJ1



## 4.1.3. Précaution d'emploi

- Si l'instruction PID fait partie du jeu d'instructions étendues, ne pas oublier de transférer ces instructions dans l'API.
- Aucun mot de zone C+9 à C+38 ne doit être utilisé par le programme automate.
- Sur les automates de la série alpha, CQM1, les paramètres PID (bloc de contrôle C) ne sont pris en compte que lors de la première exécution de l'instruction PID. Seul la consigne (dans C) peut être changée à la volée. En cas de modification des paramètres C+1 à C+8, il est impératif d'arrêter puis d'exécuter à nouveau l'instruction PID.  
Sur les automates de la série CJ1/CS1, la prise en compte des paramètres est définie par C+5
- L'instruction PID ne peut pas être utilisée dans les sous-programmes SBN/RET ni dans les blocs IL/ILC ni dans les tâches interruptives

#### 4.2. L'instruction PIDAT (CS1-H/CJ1-H et CJ1M uniquement)

Cette instruction génère une séquence d'autotuning permettant de déduire les paramètres optimum P, I et D.

PIDAT	
S	Entrée de mesure (Source)
C	Adresse du bloc de contrôle (41 mots)
D	Sortie de commande (Destination)

Les paramètres C à C+ 8 sont identiques à ceux de l'instruction PID (voir tableau 5.1.1) mais l'instruction PIDAT utilise aussi les mots C + 9 et C + 10.

mot	bit	paramètres	valeurs	fonction
C	15-00	Consigne	0000-xxFF	suivant la plage d'entrée définie par C+6 bits 09-11
C+1	15-00	BP	0001-270F	0,1 à 999,9 % ---- <b>0000 provoque une erreur ----</b>
C+2	15-00	I	270F 0001-1FFF	9999 : pas d'action Intégrale 1 à 8191 : unité de temps définie par C+6
C+3	15-00	D	0000 0001-1FFF	0 : pas de dérivée 1 à 1FFF : 1-8191 unité de temps définie par C+6
C+4	15-00	P. d'échantillonnage	0001-270F	00,01 à 99,99 s ---- <b>0000 provoque une erreur ----</b>
C+5	00	Régulation	0 - 1	Inverse ou directe
	01	Prise en compte des paramètres P, I, et D	0 - 1	0 : à la 1ère exécution de l'instruction PID 1 : à chaque période d'échantillonnage (C+6)
	02	0	0 - 1	Non utilisé
	03	Sortie de maintien Sm (voir ch. 1.2)	0 - 1	0 : Sm = 0 % 1 : Sm = 50%
	04-15	Coef. du filtre d'entrée	000x 010x-163x	0 valeur standard (0,65) 0,00-0,99
C+6	00-03	Plage de définition de la sortie	xx00-xx08	0 : 8 bits 0-00FF 1 : 9 bits 0-01FF 2 : 10 bits 0-02FF 3 : 11 bits 0-03FF 4 : 12 bits 0-0FFF 5 : 13 bits 0-1FFF 6 : 14 bits 0-3FFF 7 : 15 bits 0-7FFF 8 : 16 bits 0-FFFF
	04-07	Unité temps de I et D	xx1x xx9x	1 : en période d'échantillonnage (défini par C+4) 9 : en unité de 100 ms
	08-11	Plage de l'entrée	00xx-08xx	Idem plage de sortie (C+6 00-03)
	12	Limitation de sortie	0 - 1	0 : sortie non limitée 1 : sortie limitée
C+7	00-15	Lim. basse de la sortie	0000-FFFF	
C+8	00-15	Lim. haute de la sortie	0000-FFFF	
C+9	00-11	Correction de gain	0000-03 <sup>E</sup> 8	x000 : valeur par défaut = 1,00 (pas de correction) x001-3E8 : 0,01 à 10,00 (correction - ou +)
	15	M/A Autotuning	0 - 1	0 : Arrêt (ou drapeau de fin d'AT) 1 : Marche (ou drapeau AT en cours)
C+10	00-15	Hystérésis cycle d'AT	0000-03F8	0000 : 0,20% 0001-03 <sup>E</sup> 8 : 0,01% à 10,00% FFFF : 0,00%
C+11				
:				
C+38				
<b>Réservé par l'UC pour exécuter les calculs</b>				

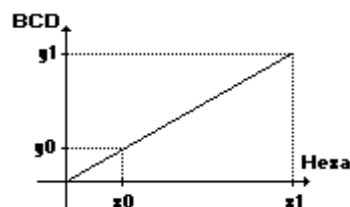
### 4.3. Les instructions de mise à l'échelle SCL

#### 4.3.1. L'instruction SCL

L'instruction SCL exécute une mise à l'échelle d'une valeur **hexadécimale non signée** vers une valeur **BCD non signée**. La fonction de conversion du type ax + b est déterminée à l'aide de deux points dont les abscisses et ordonnées sont consignées dans P à P+3.

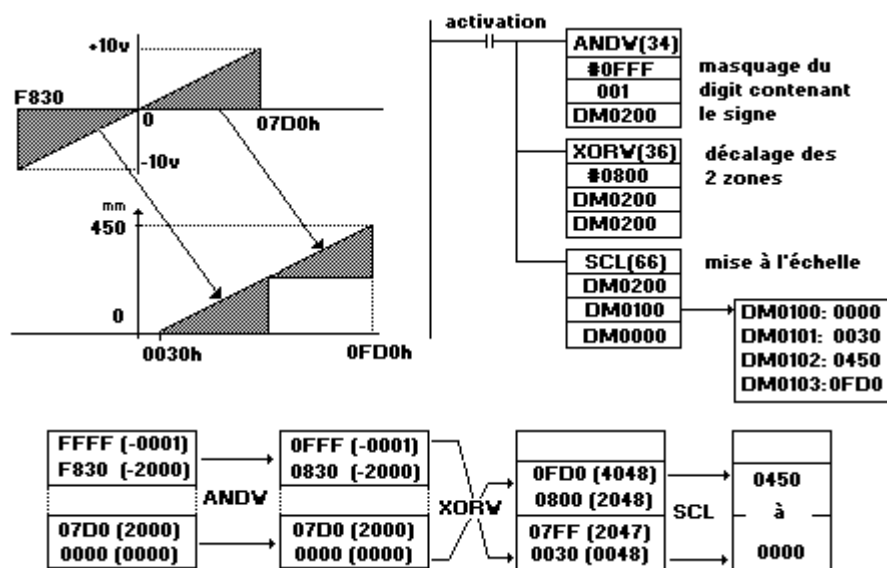
SCL	
S	Entrée (Source)
P	Adresse du bloc de paramètres (4 mots)
R	Résultat

Paramètres	Désignation	valeurs
P	y0 décimal	(0000 à 9999)
P+1	x0 hexa	(0000 à FFFF)
P+2	y1 décimal	(0000 à 9999)
P+3	x1 hexa	(0000 à FFFF)



L'instruction SCL n'admet pas de valeur négative (Si le résultat est négatif, la valeur de sortie est nulle : R = 0000). C'est pourquoi, dans le cas d'une entrée -10/+10v, utiliser l'instruction SCL2 ou, si l'API ne dispose pas de cette instruction, utiliser les instructions ANDW et XORW avant la mise à l'échelle avec SCL .

Exemple : Un capteur -10/+10v transmet une position entre 0 et 450 mm. Le signal est converti en valeur digitale hexadécimale. Les instructions ANDW et XORW transpose la conversion en zone positive tandis que SCL effectue la mise à l'échelle 0 à 450 mm.



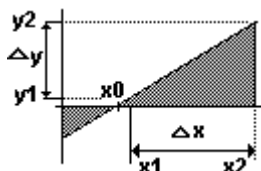


### 4.3.2. L'instruction SCL2

L'instruction SCL2 exécute une mise à l'échelle d'une valeur **hexadécimale** signée vers une valeur **BCD** signée. La fonction de conversion du type  $ax + b$  est déterminée à l'aide de l'écart entre deux points et le point d'intersection avec l'axe des x (offset). Le résultat est arrondi à l'entier le plus proche et le signe est donné par le drapeau de retenue (ON = négatif et OFF = positif).

SCL2	
S	Entrée (Source)
P	Adresse du bloc de paramètres (3 mots)
R	Résultat

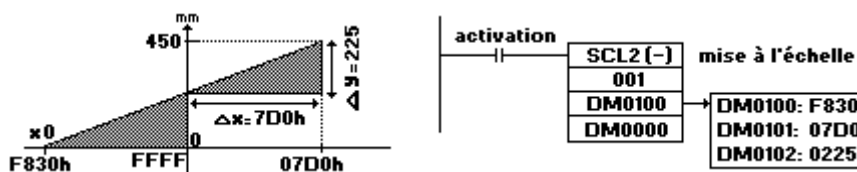
paramètres	Désignation	Valeurs
P	$x_0$ = intersection avec l'axe des x	8000 à 7FFF
P+1	$\Delta x = x_2 - x_1$	8000 à 7FFF
P+2	$\Delta y = y_2 - y_1$ (BCD)	0000 à 9999



S'il n'est pas possible de déterminer la valeur de  $x_0$  par la mesure, appliquez la formule suivante:

$$x_0 = x_2 - \frac{(x_2 - x_1) \cdot y_2}{y_2 - y_1}$$

Exemple : Un capteur -10/+10v transmet une position entre 0 et 450 mm.



## 4.3.3. L'instruction SCL3

L'instruction SCL3 exécute une mise à l'échelle d'une valeur **BCD** signée vers une valeur **hexadécimale** signée. La fonction de conversion du type  $ax + b$  est déterminée à l'aide de l'écart entre deux points et le décalage de la fonction par rapport au zéro. Le résultat est arrondi à l'entier le plus proche compris entre les limites min. et max. défini dans P+3 et P+4. Le signe est donné par le drapeau de retenue (ON = négatif et OFF = positif)

SCL3	
S	Entrée (Source)
P	Adresse du bloc de paramètres (5 mots)
R	Résultat

adresse	paramètres	valeurs
P	$x_0$ = intersection avec l'axe des x	8000 à 7FFF
P+1	$\Delta x = x_2 - x_1$	0001 à 9999
P+2	$\Delta y = y_2 - y_1$	8000 à 7FFF
P+3	valeur maxi de la conversion $y_2$	8000 à 7FFF
P+4	valeur mini de la conversion $y_1$	8000 à 7FFF

