



REGULFLEX

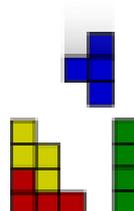
1 PRINCIPE	1
2 OBJECTIF	1
3 PREPARATION	2
4 CABLAGE DE LA BOUCLE DE REGULATION DE DEBIT	3
4.1 SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT	4
4.1 CABLAGE PHYSIQUE DU MODULE	4
5 ETALONNAGE DU TRANSMETTEUR DE DEBIT FIT4-2	5
6 SENS D'ACTION DU REGULATEUR	6
7 CONFIGURATION ET MISE EN SERVICE DE LA BOUCLE	7
7.1 IDENTIFICATION DU PROCEDE	8
8 CABLAGE DE LA BOUCLE DE REGULATION DE PRESSION	9
8.1 SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT	10
8.2 CABLAGE PHYSIQUE DU MODULE	10
9 ETALONNAGE DU TRANSMETTEUR DE PRESSION PIT4-1	11
10 SENS D'ACTION DU REGULATEUR	12
11 CONFIGURATION ET MISE EN SERVICE DE LA BOUCLE	13
11.1 IDENTIFICATION DU PROCEDE	14
12 VERIFICATION DES ACTIONS	15
12.1 METHODE DE VERIFICATION	15
12.1.1 La précision	15
12.1.2 La stabilité et l'amortissement	16
12.1.3 La rapidité	16



Dossier Pédagogique

TP N°1 - MODULE N°4 (RG10)

*Mise au point de régulations de débit et pression
d'injection de gaz en boucle fermée*



1 PRINCIPE

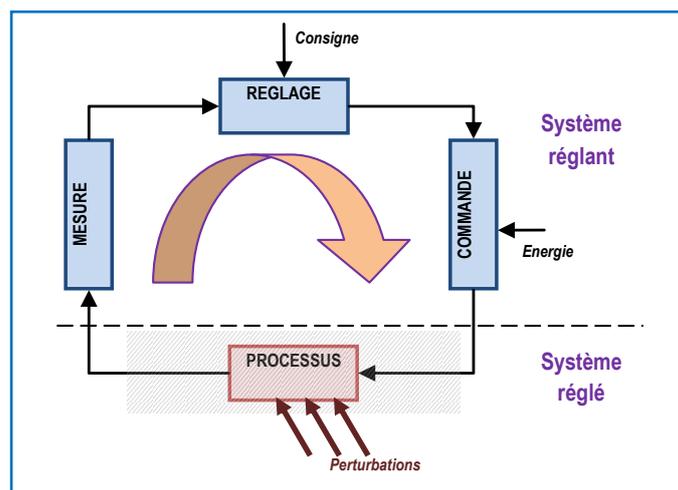
La bonne maîtrise d'un processus industriel nécessite un contrôle rigoureux des ses différents paramètres physiques (Ex. Niveau, Débit, Pression, Température,...). Le système de contrôle mis en œuvre (Chaîne de régulation ou chaîne d'asservissement) doit donc maîtriser et maintenir à des niveaux prédéterminés les paramètres qui régissent le fonctionnement du processus. Toute chaîne de régulation (ou d'asservissement) comprend trois éléments indispensables : *Un organe de "Mesure", de "Réglage" et de "Commande"*.

En effet, il faut commencer par mesurer les principales grandeurs servant à contrôler le processus. L'organe de Réglage récupère alors ces mesures et les compare aux valeurs souhaitées, plus communément appelées "*valeurs de consigne*". En cas de non-concordance des valeurs de mesure et des valeurs de consigne, l'organe de réglage envoie un signal de pilotage à l'organe de commande (vanne, moteur, ...), afin que celui-ci agisse sur le processus. Les paramètres qui régissent le processus sont ainsi stabilisés en permanence à des niveaux souhaités.

La régulation en boucle fermée prend en compte uniquement les variations de la grandeur réglée pour agir sur la grandeur réglante. Cette action correctrice est réalisée après (ou à posteriori) des effets de ou des grandeurs perturbatrices sur le système. Généralement, les perturbations sur le système considéré produisent un écart entre la valeur de mesure et la valeur de consigne fixée par l'utilisateur du système. Dans tous les cas, le rôle de la régulation en boucle fermée est d'annuler cet écart.

Exemple pour un "Echangeur thermique" :

La grandeur réglée est la température de sortie (qui doit être maintenue constante, à une valeur de consigne prédéterminée) et la grandeur réglante est le débit du fluide caloporteur. Les variations de débit de la charge et les changements de température ambiante sont considérés comme étant des grandeurs perturbatrices.



2 OBJECTIF

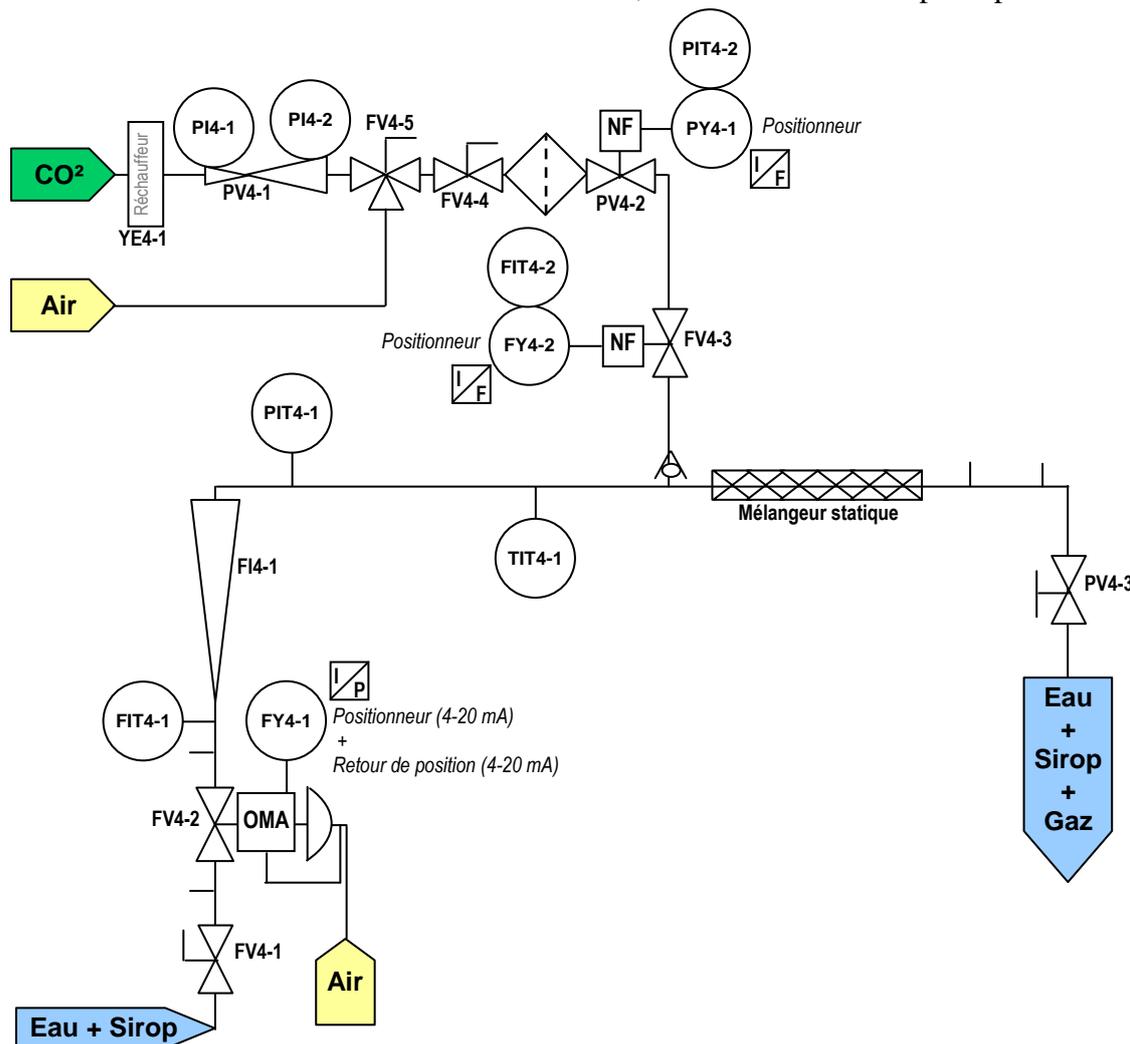
Le module N°4 (RG10) correspond à la partie opérative d'un système dédié à l'étude de la Régulations de débit et de pression d'injection de Gaz (Air ou CO₂). Cet équipement autorise l'étude et la mise en œuvre de capteurs et d'actionneurs analogiques utilisant des signaux de mesure et/ou de commande normalisés (courant 4-20 mA).

En suivant les étapes listées ci-dessous, ce TP doit permettre de mettre en œuvre une régulation en boucle fermée capable maintenir un débit d'eau dans un système d'injection de CO₂ (Carbonatation). Cette régulation doit permettre de compenser les différentes perturbations que subi le système (Variations de pression et de débit d'eau, Variations débit et de pression de gaz, ...). La valeur optimum de la grandeur réglée correspond à la valeur de consigne définie par l'utilisateur.

- Identifier les constituants d'une boucle de régulation de courant (4-20 mA)
- Réaliser le schéma de câblage d'une régulation de pression d'injection de gaz en boucle fermée
- Câbler, paramétrer et mettre en service une boucle de régulation PID

3 PREPARATION

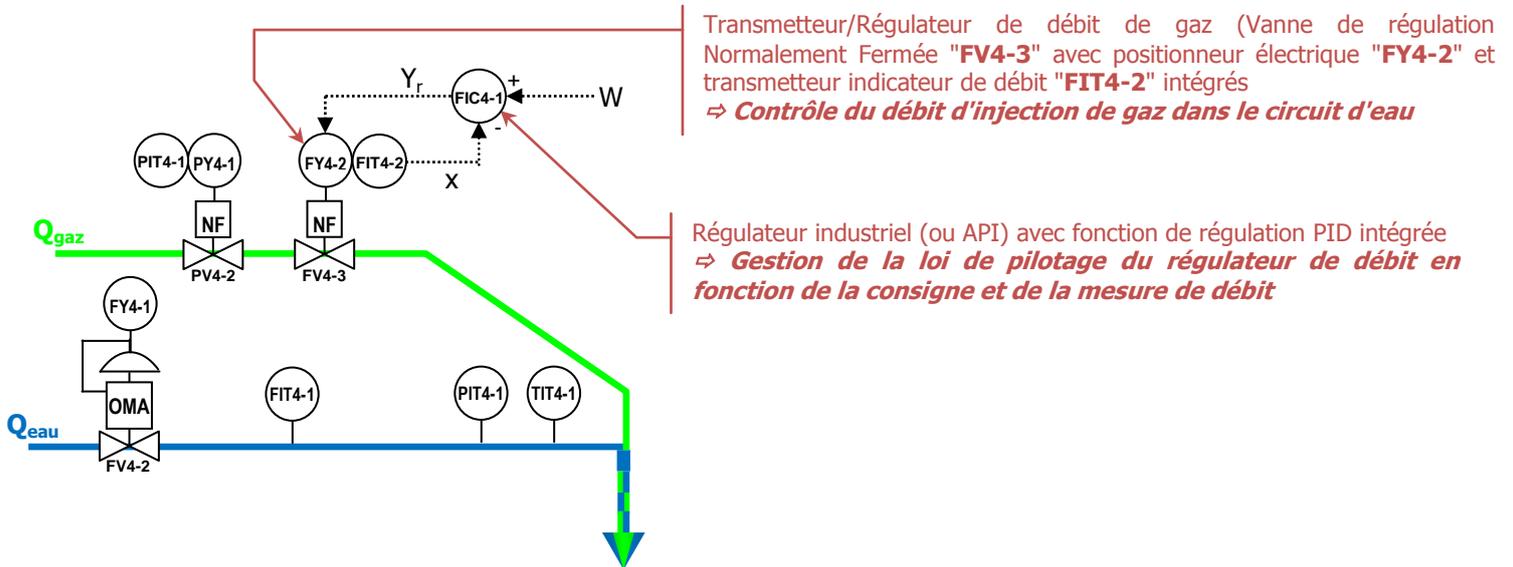
Indiquer à partir du Plan de Circulation des Fluides ci-dessous, le nom et le rôle des principaux constituants du système.



FIT4-1	Transmetteur Indicateur de débit électromagnétique (Signal 4-20 mA / Plage 0,3-20 l/m) ⇒ Mesure et visualisation du débit d'eau sur le système
FV4-2 / FY4-1	Vanne de régulation électropneumatique à corps droit avec positionneur "I/P" intégré (Signal 4-20 mA) ⇒ Régulation du débit d'arrivée d'eau sur le système (Vanne Ouverte par Manque d'Air)
PIT4-1	Transmetteur Indicateur de pression relative (Signal 4-20 mA / Plage 0-10 bar) ⇒ Mesure et visualisation de la pression du circuit d'eau
TIT4-1	Transmetteur Indicateur de pression relative (Signal 4-20 mA / Plage -10 à +40 °C) ⇒ Mesure et visualisation de la température d'arrivée d'eau
FI4-1	Indicateur de débit à flotteur "Rotamètre" (0 à 500 l/h) ⇒ Visualisation du débit d'arrivée d'eau
PV4-2 / PY4-1 / PIT4-2	Régulateur /Transmetteur de pression avec afficheur (Pilotage/Mesure : Signal 4-20 mA – Plage 0-10 bar) ⇒ Régulation de la pression d'injection de gaz dans le circuit d'eau (Vanne Normalement Fermée)
FV4-3 / FY4-2 / FIT4-2	Régulateur /Transmetteur de débit massique thermique (Pilotage/Mesure : Signal 4-20 mA – Plage 0-20 Ln/m) ⇒ Régulation du débit d'injection de gaz dans le circuit d'eau (Vanne Fermée par Manque d'Air)
FV4-1	Vanne ¼ de tour manuelle ⇒ Ouverture/Fermeture/Perturbation de débit sur l'alimentation en eau du système
PV4-3	Robinet pointeau manuel ⇒ Mise en pression du circuit d'eau

4 CABLAGE DE LA BOUCLE DE REGULATION DE DEBIT

- ❖ A partir du schéma T.I. précédent, proposer le schéma de principe d'une boucle de régulation de débit d'injection de gaz en indiquant le nom et le rôle des différents éléments constituant cette boucle de régulation.



- ❖ Préciser les grandeurs fonctionnelles du système mis en œuvre :
- Grandeur réglée : **Débit d'injection de gaz (Q_{gaz})**
 - Grandeur réglante : **Position (Ouverture/Fermeture) de la vanne de régulation de débit de gaz "FV4-3"**
 - Les grandeurs perturbatrices : **Débit et Pression d'eau et/ou de gaz en entrée du système**

- ❖ Indiquer la nature et les échelles des signaux des différents composants utilisés :

Composant	Signal	Echelle
FIC4-1 : Régulateur industriel de process (ou Automate Programmable Industriel) avec fonction PID intégrée	Signal de mesure (x)	4-20 mA => 0-100%
	Signal de pilotage (Yr)	4-20 mA => 0-100%
	Valeur de consigne (W)	0-100%
FV4-3/FY4-2/FIT4-2 : Transmetteur/Régulateur de débit (Vanne de régulation Normalement Fermée "FV4-3" avec positionneur électrique "FY4-2" et transmetteur indicateur de débit massique thermique "FIT4-2")	Signal de pilotage linéaire de type courant "4-20 mA"	4-20 mA => 0-100% d'ouverture de la vanne
	Signal de Mesure linéaire de type courant "4-20 mA"	4-20 mA => 0-20 g/m (de CO ₂)

5 ETALONNAGE DU TRANSMETTEUR DE DEBIT FIT4-2

La calibration des capteurs consiste généralement à l'adaptation de la plage de mesure du transmetteur à la grandeur mesurée sur le système. Cette opération a pour but d'augmenter la précision de la mesure.

❖ A partir de la documentation du transmetteur, donner et tracer sa plage de mesure "théorique" en précisant les unités. Préciser l'équation "théorique" du transmetteur (Sortie=f(Entrée)) sur cette plage de mesure. Est-ce que la sortie du transmetteur est une fonction linéaire ou quadratique de la mesure ?

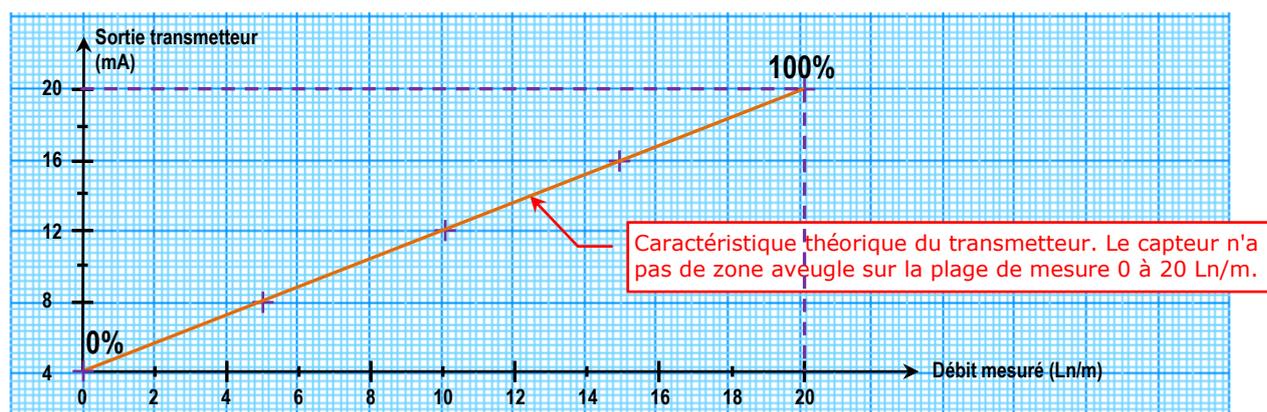
• Débit CO₂ mini. (0%) : 0 g/m => 4 mA & Débit CO₂ maxi. (100%) : 20 g/m => 20 mA

• Equation "théorique" du transmetteur : $\text{Sortie (mA)} = \frac{16 \times (\text{Valeur mesurée (en g/m)})}{20} + 4$

• La sortie du transmetteur est une fonction linéaire de la mesure de type $Y(x) = a(x) + b$

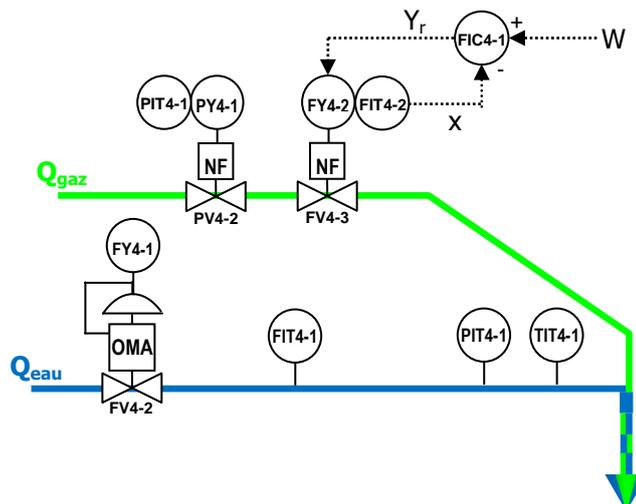
$$\Rightarrow \text{Sortie (mA)} = (\text{Mesure (g/m)} \times 0,8) + 4$$

Mesure du transmetteur (g/m)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Mesure du transmetteur (g/l)									
Sortie transmetteur	4 mA	6 mA	8 mA	10 mA	12 mA	14 mA	16 mA	18 mA	20 mA



6 SENS D'ACTION DU REGULATEUR

A partir de la documentation technique du système et en considérant la boucle de régulation suivante :



- ❖ Déterminer le sens d'action de l'organe réglant. C'est-à-dire, le sens d'action de la vanne de régulation de débit d'injection de gaz dans le circuit d'eau (FV4-3/FY4-2) :

Le pilotage de la vanne (Ouverture/Fermeture) permet de faire varier le débit d'injection de gaz dans le circuit d'eau du système. Dans notre cas (Vanne NF), le débit augmente lorsque le signal de commande augmente (Signal 4-20 mA => Débit 0-20 g/m). Par conséquent, **le sens d'action de la vanne est "Direct"**.

- ❖ Déterminer le sens d'action de l'organe de mesure. C'est-à-dire, l'évolution du signal électrique du transmetteur de débit massique thermique (FIT4-2) par rapport à la grandeur physique mesurée sur le système (Débit d'injection de gaz).

Le transmetteur de pression "FIT4-2" permet de mesurer le débit d'injection de gaz dans le circuit d'eau du système. Lorsque ce débit augmente, le signal électrique renvoyé par le transmetteur augmente. Par conséquent, **le sens d'action du transmetteur par rapport à la mesure physique est "Direct"**.

- ❖ A partir des observations précédentes (Variation du signal de commande, Evolution du signal de mesure), déterminer le sens d'action du régulateur "FIC4-1".

Généralement, le régulateur doit agir à l'inverse du procédé afin de rétablir l'égalité CONSIGNE - MESURE en présence d'une perturbation par exemple. Son sens d'action doit être défini en fonction du sens d'action de la vanne de régulation utilisée "FV4-3/FY4-2" (Commande) et du sens de variation du transmetteur de débit massique "FIT4-2" (Mesure). En d'autres termes, le sens d'action du régulateur dépend de la variation de la grandeur réglée par rapport à la grandeur réglante :

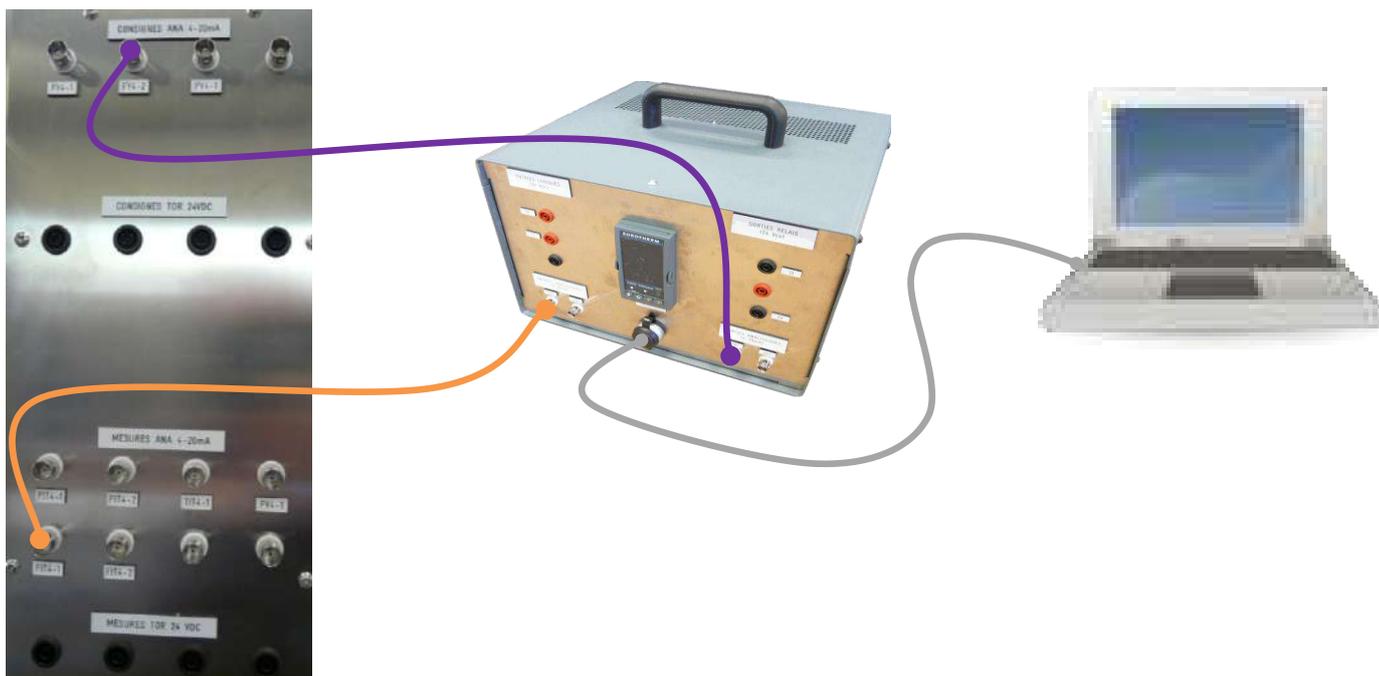
- ✓ **Régulateur - Sens Direct => L'augmentation de la mesure doit provoquer l'augmentation de la commande.**
- ✓ **Régulateur - Sens Inverse => L'augmentation de la mesure provoque la diminution de la commande.**

Dans notre cas, pour faire chuter le débit d'injection de gaz, il faut fermer la vanne de régulation et donc diminuer le signal de commande. De plus, lorsque le débit d'injection diminue, le signal du transmetteur "FIT4-2" diminue également. Par conséquent, le régulateur du système doit être configuré avec un **sens d'action "Inverse"**.

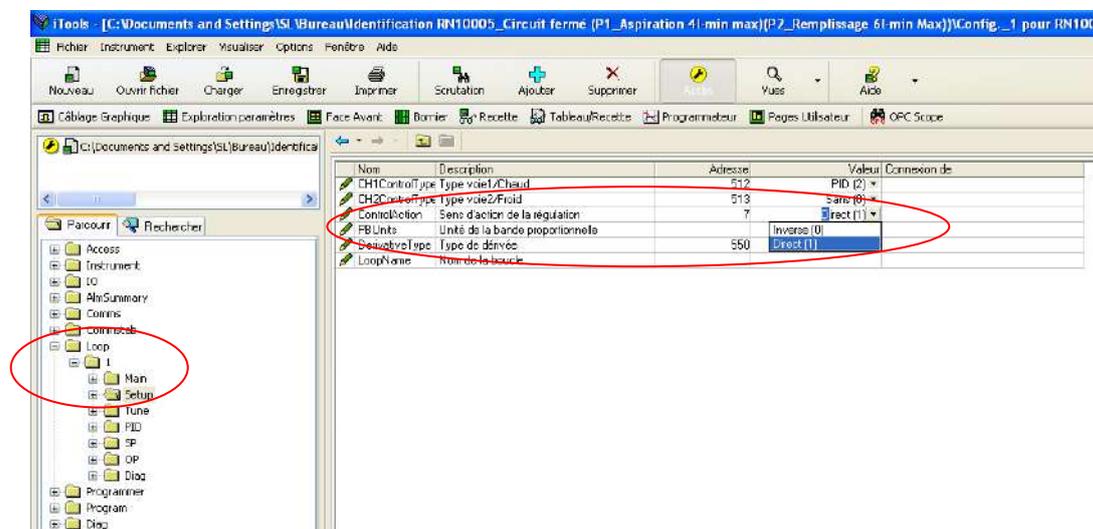
Note : Pour tester et valider le sens d'action du régulateur sur le système, procéder de la façon suivante :

- **Régulateur en mode "Manuel", augmenter progressivement la valeur de sortie du régulateur ;**
- **si la mesure augmente, mettre le régulateur en "sens inverse" ;**
- **si la mesure diminue, mettre le régulateur en "sens direct".**

7 CONFIGURATION ET MISE EN SERVICE DE LA BOUCLE



- ✓ A l'aide du câble réseau fourni, connecter votre PC sur le port RJ45 du Régulateur Eurotherm 3508 (Module RC10). Adresses Ethernet définies par défaut :
 - Régulateur => 192.168.0.10
 - PC => 192.168.0.200
- ✓ Ouvrir sur le PC le logiciel "iTools" (Démarrer/Tous les programmes/Eurotherm/iTools Engineering Studio)
- ✓ A partir du logiciel "iTools", démarrer la scrutation du réseau afin de synchroniser et visualiser la configuration du régulateur.
- ✓ Une fois le régulateur synchronisé sur "iTools", configurer le sens d'action de la boucle de régulation mise en œuvre comme ci-dessous.



7.1 IDENTIFICATION DU PROCEDE

En fonction des consignes du professeur, mettre en service votre système. (Attention, cette mise en service se fait avec le régulateur en mode "Manuel". C'est-à-dire que vous devez fixer la valeur de sortie délivrée par le régulateur manuellement)

Pour réaliser l'identification du système, procéder de la façon suivante :

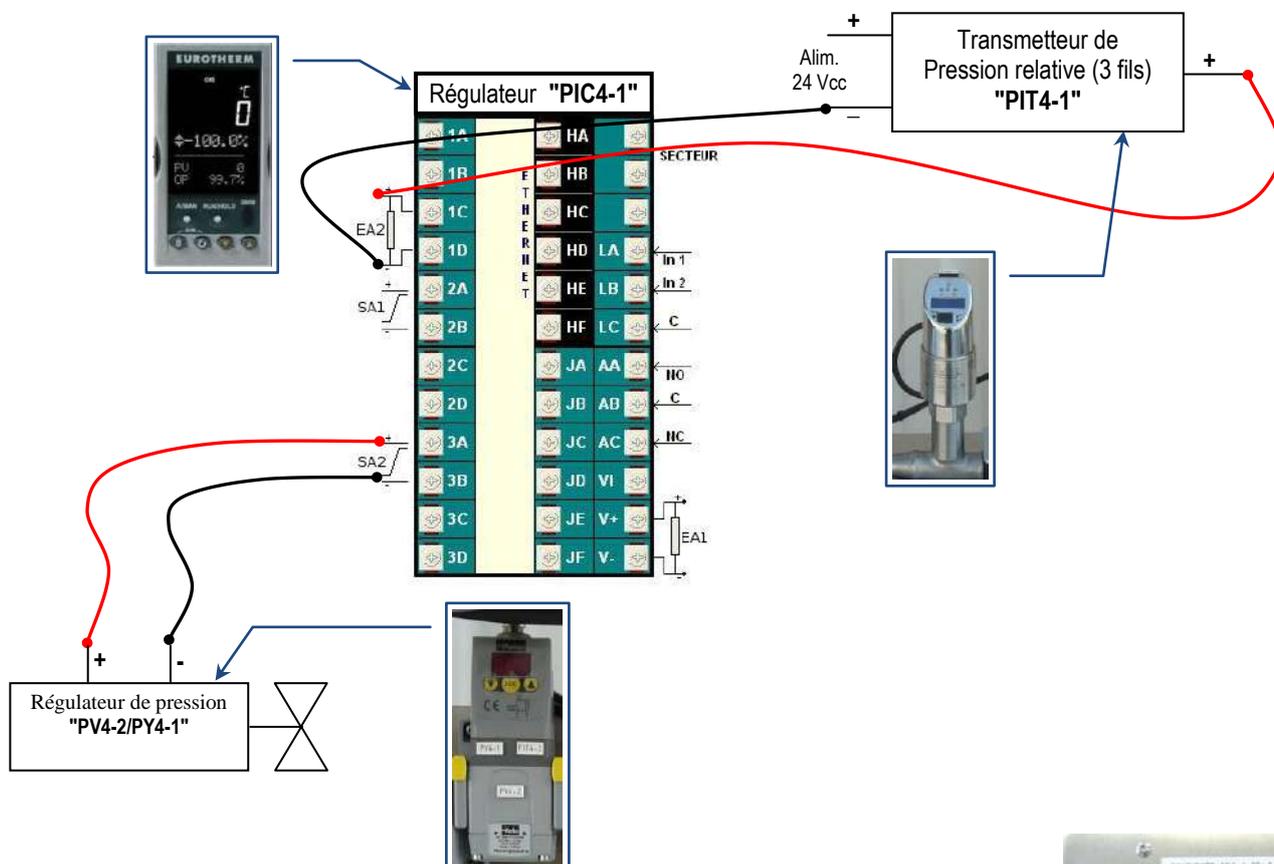
- ✓ Démarrer le régulateur en mode "Manuel" et fixer la valeur de sortie sur "0%".
- ✓ Fixer ensuite la pression et le débit nominal de passage d'eau sur le système (Ex. Débit : 3 l/m et Pression : 4 bar)
- ✓ Fixer ensuite la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "50%" et laisser stabiliser les débits d'eau et de gaz sur le système.
- ✓ Une fois les valeurs stabilisées, démarrer le logiciel "iTools OPC Scope" et lancer l'enregistrement des valeurs suivantes : Valeur du signal de mesure (Entrée du régulateur – PV), Valeur de sortie du régulateur (Active Out) et Consigne manuelle du régulateur (WorkingSP).
- ✓ Fixer alors la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "75%" et laisser stabiliser le débit d'injection du gaz aux nouvelles valeurs.
- ✓ Après quelques minutes de stabilisation des signaux, mettre la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "0%".

⇒ **En utilisant le document "DPRL100002A - ANNEXE N°2_Identification du procédé " fourni, analyser la réponse du système afin d'identifier le type de procédé en présence.**

8.1 Schéma électrique équivalent

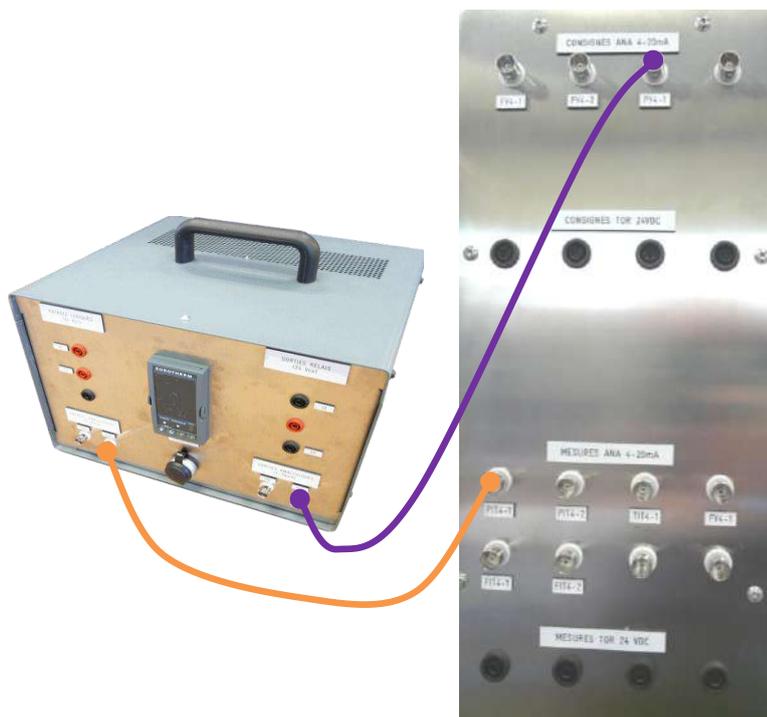
En utilisant les différents documents techniques à votre disposition, réaliser le schéma de câblage de la boucle de régulation de débit d'eau envisagée, en indiquant les différentes polarités.

⇒ **Boucle de régulation de courant avec régulateur Eurotherm 3508 (Module RC10), Transmetteur de pression "PIT4-1" et Régulateur de pression "PV4-2/PY4-1"**



8.2 Câblage physique du module

❖ Après validation du schéma électrique équivalent, réaliser le câblage "physique" sur le module (Faire vérifier le montage avant toute mise en service).



9 ETALONNAGE DU TRANSMETTEUR DE PRESSION PIT4-1

La calibration des capteurs consiste généralement à l'adaptation de la plage de mesure du transmetteur à la grandeur mesurée sur le système. Cette opération a pour but d'augmenter la précision de la mesure.

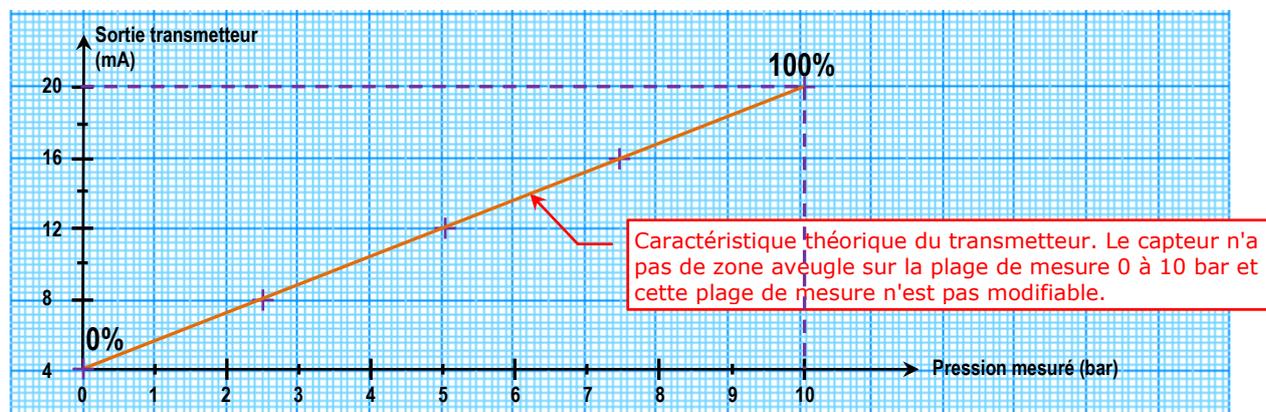


PIT4-1
Transmetteur
Indicateur de
pression relative

❖ A partir de la documentation du transmetteur, donner et tracer sa plage de mesure "théorique" en précisant les unités. Préciser l'équation "théorique" du transmetteur (Sortie=f(Entrée)) sur cette plage de mesure. Est-ce que la sortie du transmetteur est une fonction linéaire ou quadratique de la mesure ?

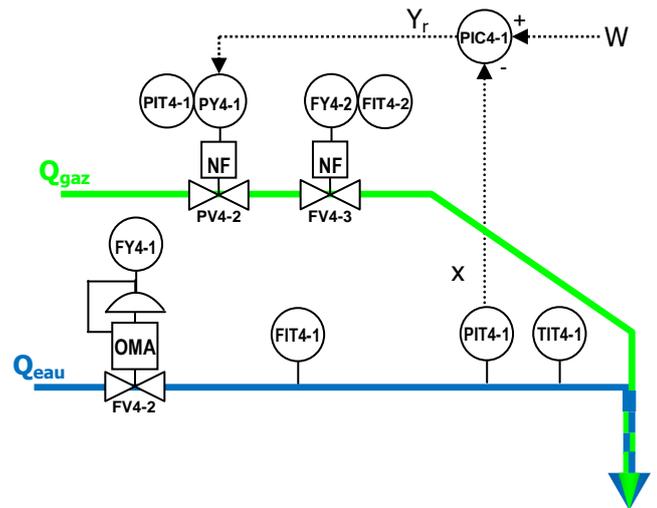
- *Pression mini. (0%) : 0 bar => 4 mA & Pression maxi. (100%) : 10 bar => 20 mA*
- *Equation "théorique" du transmetteur : Sortie (mA) = $\frac{16 \times (\text{Valeur mesurée (en bar)})}{10} + 4$*
- *La sortie du transmetteur est une fonction linéaire de la mesure de type $Y(x) = a(x) + b$*
 $\Rightarrow \text{Sortie (mA)} = (\text{Mesure (bar)} \times 1,6) + 4$

Mesure du transmetteur (bar)	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10
Sortie transmetteur	4 mA	6 mA	8 mA	10 mA	12 mA	14 mA	16 mA	18 mA	20 mA



10 SENS D'ACTION DU REGULATEUR

A partir de la documentation technique du système et en considérant la boucle de régulation suivante :

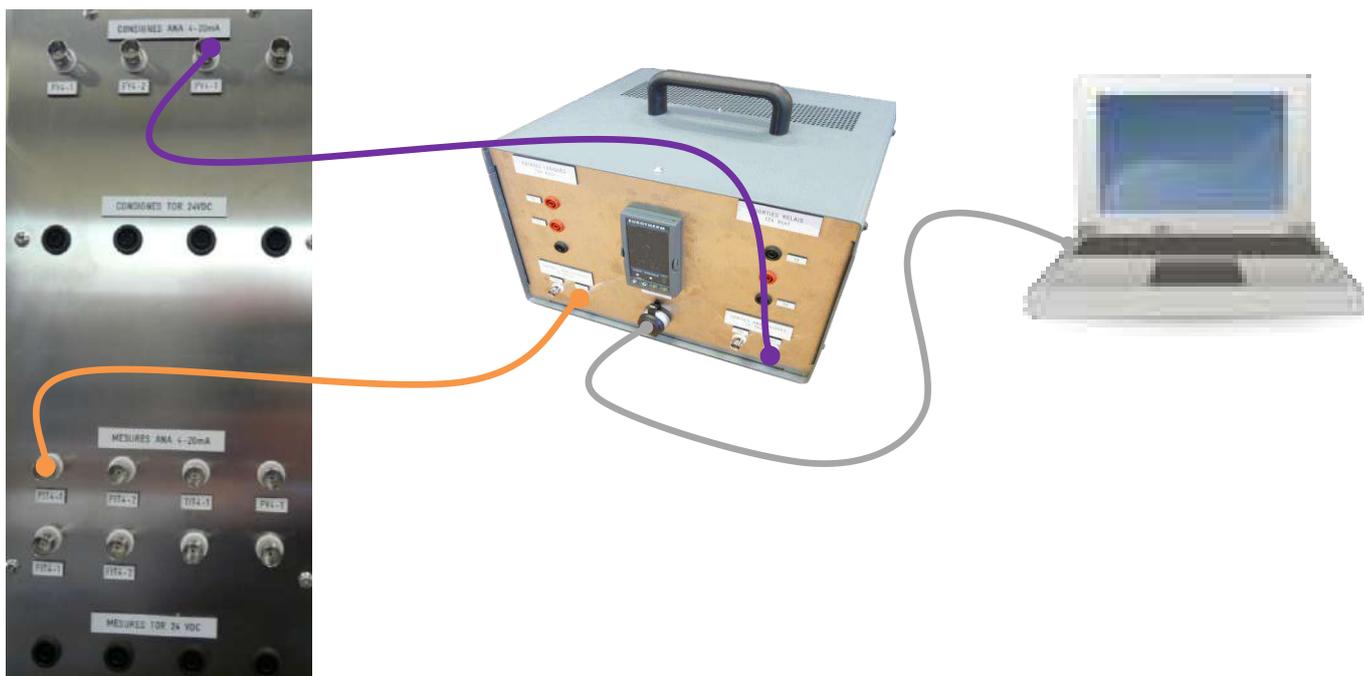


- ❖ Déterminer le sens d'action de l'organe réglant. C'est-à-dire, le sens d'action de la vanne de régulation de pression d'injection de gaz dans le circuit d'eau (PV4-2/PY4-1) :
Le pilotage de la vanne (Ouverture/Fermeture) permet de faire varier la pression d'injection de gaz dans le circuit d'eau du système. Dans notre cas (Vanne NF), la pression augmente lorsque le signal de commande augmente (Signal 4-20 mA => Pression 0-10 bar). Par conséquent, **le sens d'action de la vanne est "Direct"**.
 - ❖ Déterminer le sens d'action de l'organe de mesure. C'est-à-dire, l'évolution du signal électrique du transmetteur de pression (PIT4-1) par rapport à la grandeur physique mesurée sur le système (Pression d'injection de gaz).
Le transmetteur de pression "PIT4-1" permet de mesurer la pression du circuit d'eau sur le système. Lorsque cette pression augmente, le signal électrique renvoyé par le transmetteur augmente. Par conséquent, **le sens d'action du transmetteur par rapport à la mesure physique est "Direct"**.
 - ❖ A partir des observations précédentes (Variation du signal de commande, Evolution du signal de mesure), déterminer le sens d'action du régulateur "PIC4-1".
Généralement, le régulateur doit agir à l'inverse du procédé afin de rétablir l'égalité CONSIGNE - MESURE en présence d'une perturbation par exemple. Son sens d'action doit être défini en fonction du sens d'action de la vanne de régulation utilisée "PV4-2/PY4-1" (Commande) et du sens de variation du transmetteur de pression "PIT4-1" (Mesure). En d'autres termes, le sens d'action du régulateur dépend de la variation de la grandeur réglée par rapport à la grandeur réglante :
 - ✓ **Régulateur - Sens Direct => L'augmentation de la mesure doit provoquer l'augmentation de la commande.**
 - ✓ **Régulateur - Sens Inverse => L'augmentation de la mesure provoque la diminution de la commande.**
- Dans notre cas, pour faire chuter la pression d'injection de gaz, il faut fermer la vanne de régulation et donc diminuer le signal de commande. De plus, lorsque la pression d'injection diminue, le signal du transmetteur "PIT4-1" diminue également. Par conséquent, le régulateur du système doit être configuré avec un **sens d'action "Inverse"**.

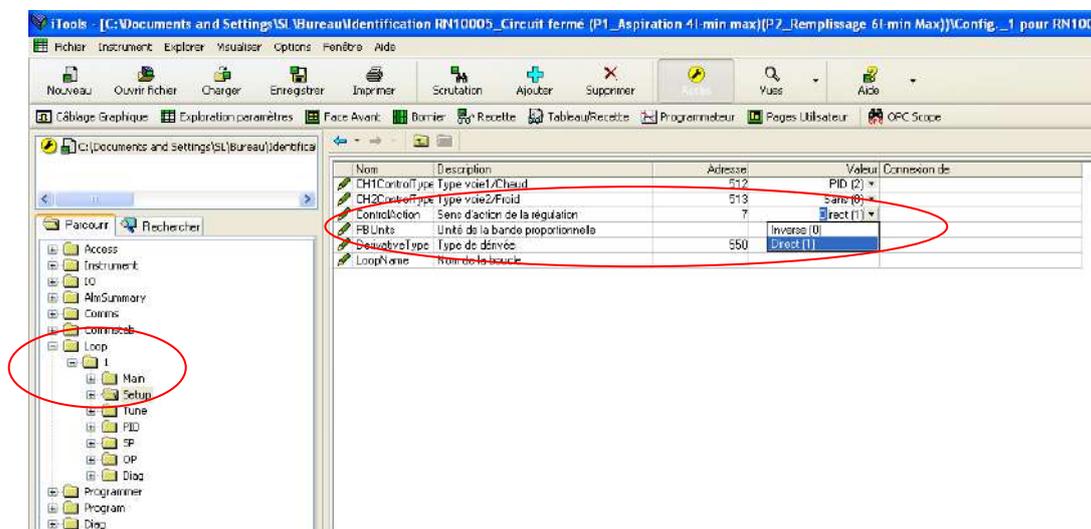
Note : Pour tester et valider le sens d'action du régulateur sur le système, procéder de la façon suivante :

- *Régulateur en mode "Manuel", augmenter progressivement la valeur de sortie du régulateur ;*
- *si la mesure augmente, mettre le régulateur en "sens inverse" ;*
- *si la mesure diminue, mettre le régulateur en "sens direct".*

11 CONFIGURATION ET MISE EN SERVICE DE LA BOUCLE



- ✓ A l'aide du câble réseau fourni, connecter votre PC sur le port RJ45 du Régulateur Eurotherm 3508 (Module RC10). Adresses Ethernet définies par défaut :
 - Régulateur => 192.168.0.10
 - PC => 192.168.0.200
- ✓ Ouvrir sur le PC le logiciel "iTools" (Démarrer/Tous les programmes/Eurotherm/iTools Engineering Studio)
- ✓ A partir du logiciel "iTools", démarrer la scrutation du réseau afin de synchroniser et visualiser la configuration du régulateur.
- ✓ Une fois le régulateur synchronisé sur "iTools", configurer le sens d'action de la boucle de régulation mise en œuvre comme ci-dessous.



11.1 IDENTIFICATION DU PROCEDE

En fonction des consignes du professeur, mettre en service votre système. (Attention, cette mise en service se fait avec le régulateur en mode "Manuel". C'est-à-dire que vous devez fixer la valeur de sortie délivrée par le régulateur manuellement)

Pour réaliser l'identification du système, procéder de la façon suivante :

- ✓ Démarrer le régulateur en mode "Manuel" et fixer la valeur de sortie sur "0%".
- ✓ Fixer ensuite la pression et le débit nominal de passage d'eau sur le système (Ex. Débit : 3 l/m et Pression : 4 bar)
- ✓ Fixer ensuite la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "50%" et laisser stabiliser le débit et la pression du circuit d'eau.
- ✓ Une fois les valeurs stabilisées, démarrer le logiciel "iTools OPC Scope" et lancer l'enregistrement des valeurs suivantes : Valeur du signal de mesure (Entrée du régulateur – PV), Valeur de sortie du régulateur (Active Out) et Consigne manuelle du régulateur (WorkingSP).
- ✓ Fixer alors la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "75%" et laisser stabiliser le débit de passage d'eau et la pression d'injection de gaz aux nouvelles valeurs.
- ✓ Après quelques minutes de stabilisation des signaux, mettre la valeur de sortie du régulateur en "Manuel" sur "0%".

⇒ **En utilisant le document "DPRL100002A - ANNEXE N°2_Identification du procédé " fourni, analyser la réponse du système afin d'identifier le type de procédé en présence.**

12 VERIFICATION DES ACTIONS

L'objectif de la vérification est de déterminer si les différentes actions PID obtenues par les méthodes de BROIDA ou de ZIEGLER NICHOLS permettent d'obtenir un bon fonctionnement de la boucle de régulation.

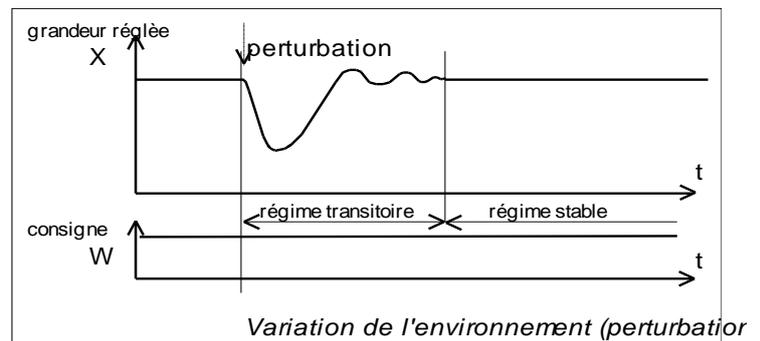
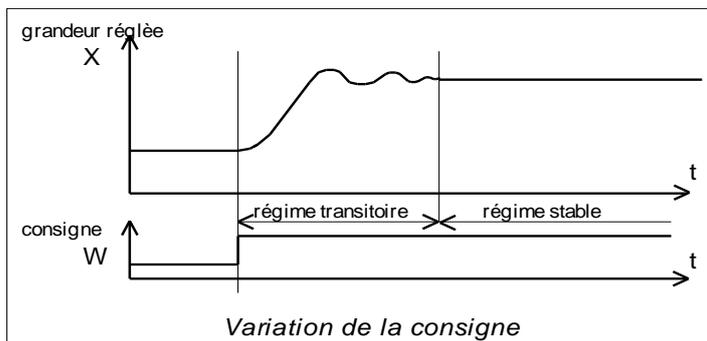
12.1 METHODE DE VERIFICATION

- démarrer le logiciel "iTools OPC Scope" et lancer l'enregistrement des signaux de mesure (PV), de pilotage (Active Out) et Consigne du régulateur (WorkingSP),
- Amener ensuite la consigne à la valeur de la mesure,
- Passer le régulateur en automatique et pratiquer un échelon de consigne de ± 5 à 10 %
- Analyser la caractéristique de votre enregistrement

Il existe en général trois critères principaux pour définir le bon fonctionnement de la régulation :

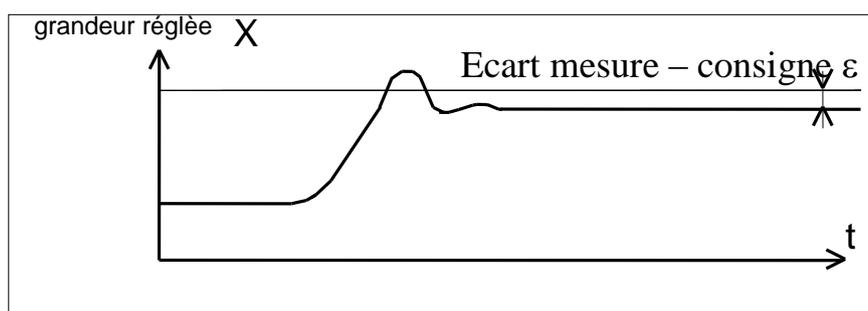
12.1.1 La précision

On la définit en mesurant l'écart entre la mesure et la consigne après le régime transitoire (lorsque la mesure s'est stabilisée)



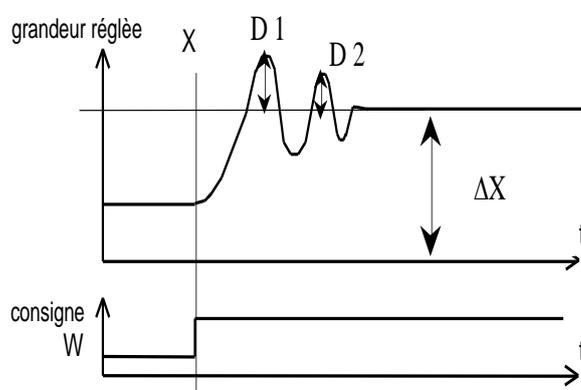
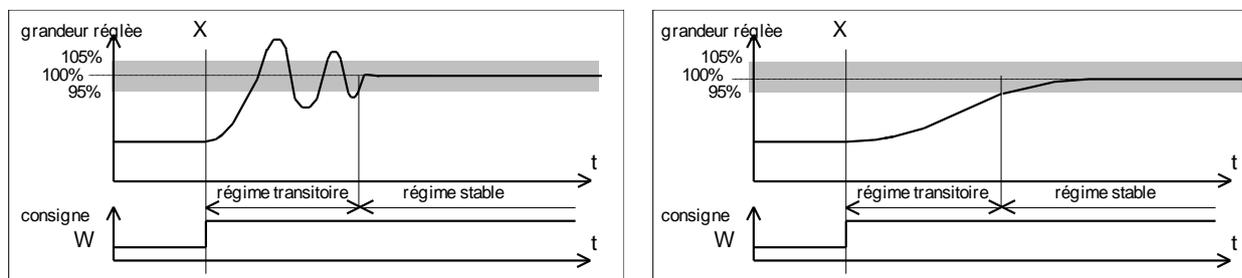
Il est possible de quantifier l'erreur de précision en mesurant l'écart mesure – consigne, on parle alors de l'erreur absolue de précision ; on peut aussi définir l'erreur relative dans ce cas là on utilise la formule suivante :

$$\text{erreur relative} = \frac{\text{erreur absolue}}{\Delta W} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta W}$$



12.1.2 La stabilité et l'amortissement

Elle définit la réponse en automatique de la boucle de régulation suite à un échelon de consigne ou de perturbation. Si la mesure se stabilise sans osciller (Cf. courbe de droite) il y a une très bonne stabilité, si la mesure se stabilise après des oscillations, on dit que la stabilité est relative, on peut alors calculer l'amortissement par période et le dépassement de la mesure



Réponse périodique d'un système peu amorti

$$\text{Amortissement par période} = \frac{D1}{D2} \quad \text{et le dépassement relatif} = \frac{D1}{\Delta X} \cdot 100$$

12.1.3 La rapidité

Elle traduit pratiquement la durée du régime transitoire. On peut quantifier la rapidité par le temps d'établissement t_e . Le temps d'établissement est le temps mis par la mesure pour atteindre l'encadrement de $\pm 5\%$ de sa valeur finale tout en restant dans cet encadrement.

