



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de *Génie Electrotechnique et Automatique*

Travaux Pratiques destiné aux étudiants de troisième Année LMD Automatique

Brochure Pédagogique

TP Régulation Industrielle

Préparée par :

Dr. Leila BOUCERREDJ

Pr. Abdelkrim MOUSSAOUI

Année Universitaire 2015 - 2016

Table des matières

Technologie des appareils utilisés dans les installations expérimentales.....	i
Les modules de la régulation automatique continue (régulation de niveau)	i
Les modules de la régulation automatique continue	iv
Les modules de la régulation automatique discontinue	vii
Les modules de connexion et de visualisation	viii
Introduction	1
TP 1: Circuit de réglage avec régulateur proportionnel (P) appliqué à une simulation de trajet de 1 ^{er} ordre.....	2
TP 2: Régulateur PI appliqué à une simulation de trajet de 1 ^{er} ordre.....	8
TP 3: Régulateur PID appliqué à une simulation de trajet de 2 ^{ème} ordre.....	15
TP 4: Régulation de niveau (1): Analyse du comportement du système de réglage.....	22
TP 5: Régulation de niveau (2): Analyse des caractéristiques de la boucle de régulation.....	25
Régulation de température (734 12)	29
TP 6: Régulation de température (1): Relevé de la caractéristique d'une installation de température réglée	31
TP 7: Régulation de température (2): Choix des points de fonctionnement et relevé des caractéristiques d'une boucle de température.....	36
Annexe : Généralité sur la régulation	41
Bibliographie	46

Technologie des appareils utilisés dans les installations expérimentales

Dans ce document se trouvent les principales caractéristiques des appareils utilisés et quelques remarques en complément.

Les modules de la régulation automatique continue (régulation de niveau) (1)

Les modules de régulation de niveau

- **Réservoir**

Pour la compréhension et la formulation des essais une description détaillée du réservoir est nécessaire.

La figure 1 présente la numérotation des emplacements pour les différentes tirettes.

La figure 2 présente les différentes sortes de tirettes.

Réservoir

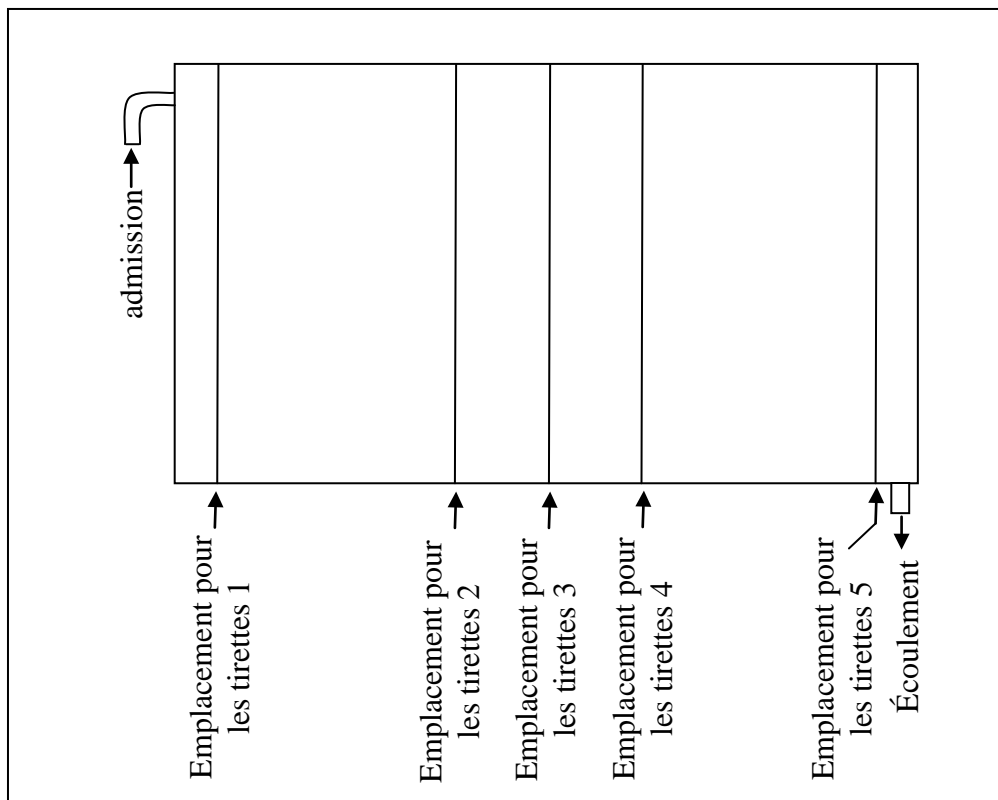


Figure 1 : La numérotation des emplacements pour les différentes tirettes du réservoir.

Les modules de la régulation automatique continue (régulation de niveau) (2)

- **Tirettes pour la modification des caractéristiques**

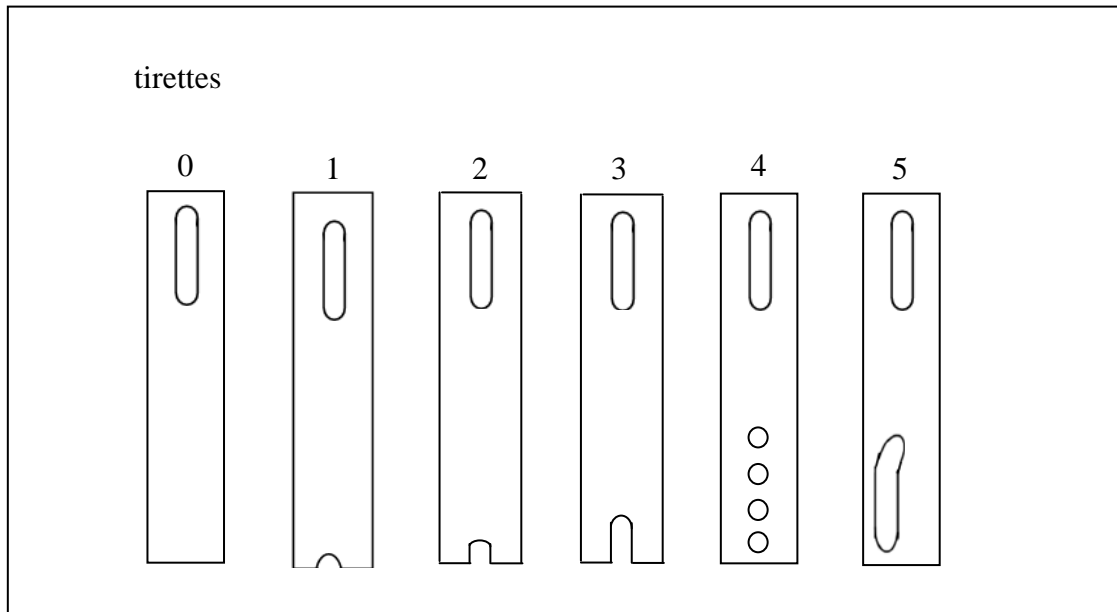


Figure 2 : Les différentes sortes de tirettes.

- **Pompe**

L'utilisation de la pompe comme organe de réglage entraîne certaines difficultés. Le fonctionnement aléatoire est dépendant de la charge et caractéristique du fonctionnement de la pompe. Rarement on obtient un fonctionnement constant reproductible avec une pompe.

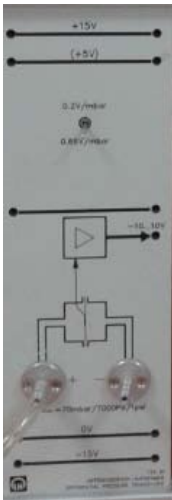
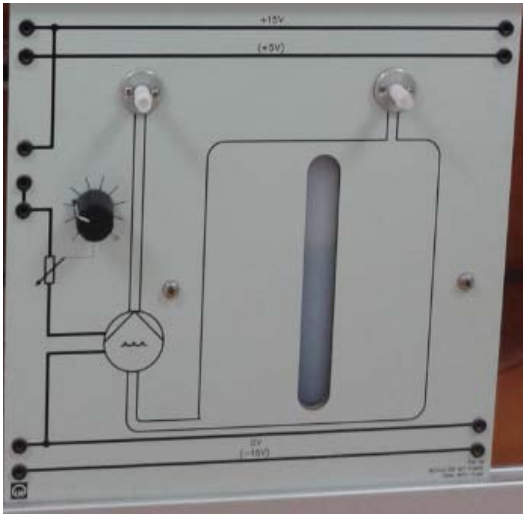
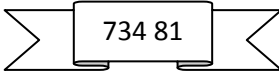
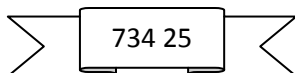
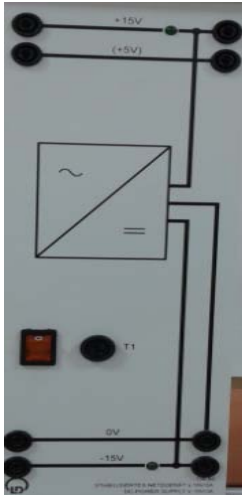
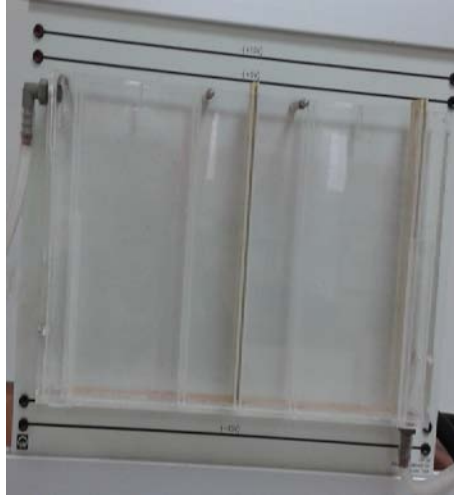
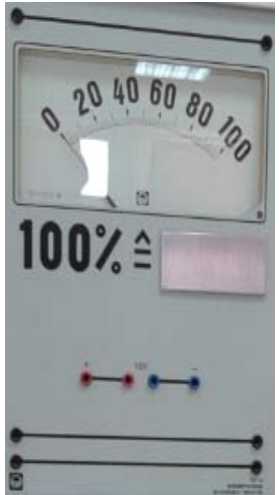
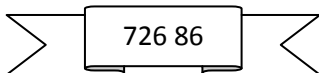
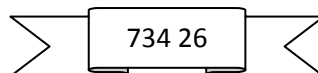
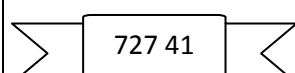
Avant chaque expérimentation, il faut préciser les caractéristiques de la pompe afin d'apprécier quantitativement les résultats. L'utilisation de la tirette 0 à l'emplacement 1 a un effet stabilisateur. Ainsi on contourne les effets de la hauteur du niveau dans la cuve et dans le tuyau. Dans cette configuration le temps $t = 0$ est donné dès le débordement de la tirette 0.

- **Sonde de mesure**

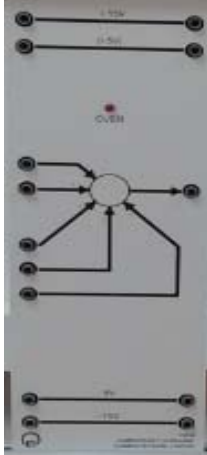
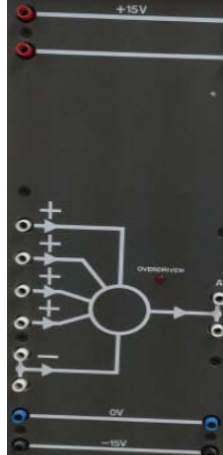
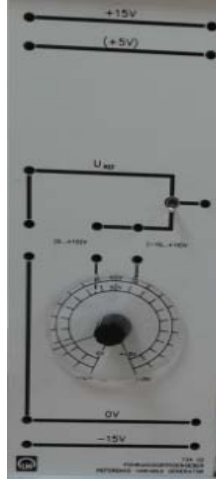


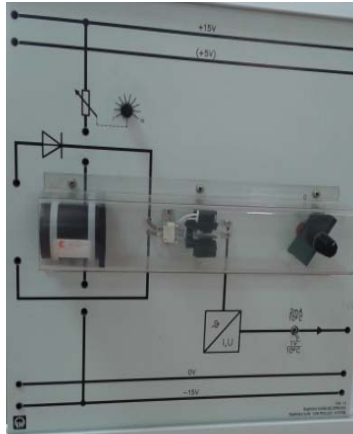
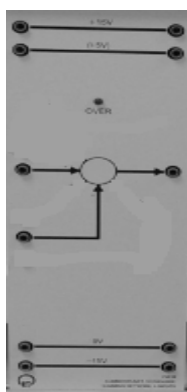
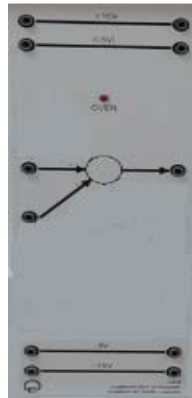
Pour le plongeur utilisé, il faut considérer que la valeur de départ $h = 0\text{mm}$ ne peut être figurée exactement (comme on utilise de l'air médium de transfert compressible dans le tube plongeur et dans l'arrivée de la boîte de mesure hydraulique, il se forme un défaut nul $F \approx 7\text{mm}$).

Ceci a des conséquences sur le déroulement des courbes caractéristiques particulièrement dans la phase de démarrage, il faut alors idéaliser ces segments de courbe.

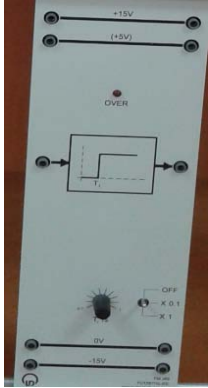
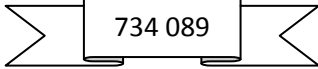

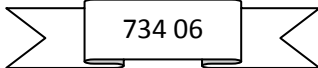
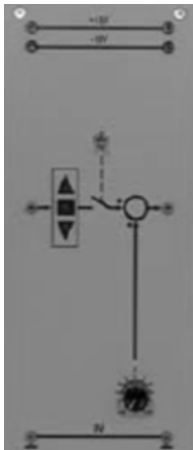
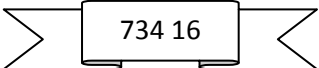

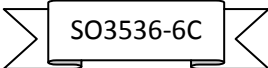
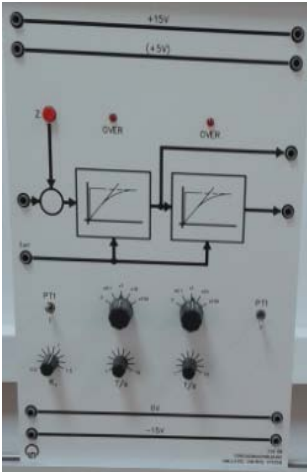
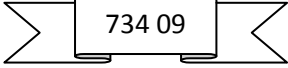
Les modules de la régulation automatique continue (3)

REGULATION DU NIVEAU		
Capteur de pression différentielle	Réservoir avec pompe	
		
 <p>734 81</p>	 <p>734 25</p>	
Alimentateur CC	Réservoir de remplissage avec tirettes	Appareil de mesure
		
 <p>726 86</p>	 <p>734 26</p>	 <p>727 41</p>

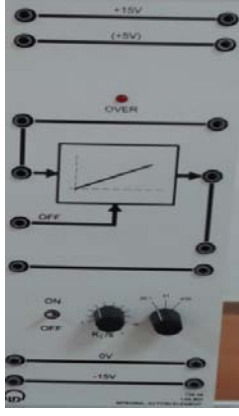
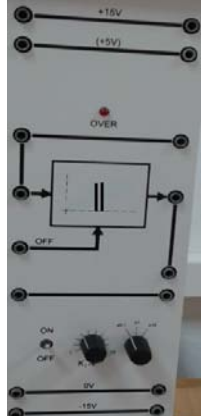
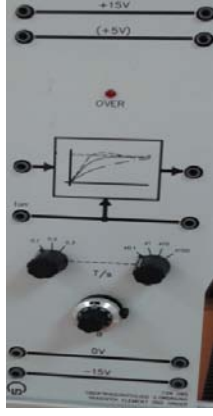
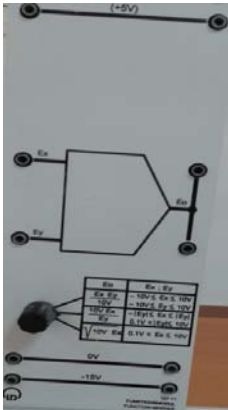
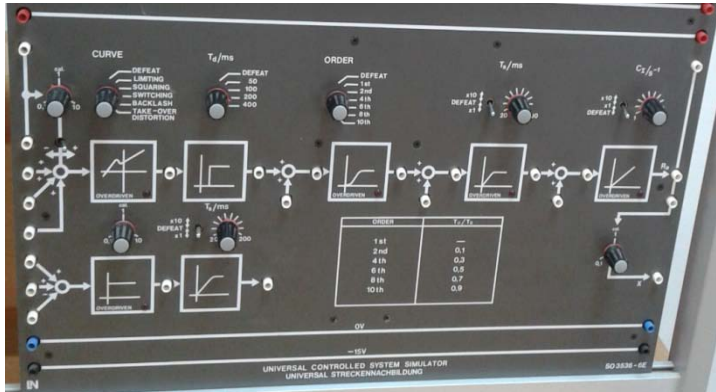
Les modules de la régulation automatique continue (4)

REGULATION AUTOMATIQUE CONTINUE			
Nœud sommateur à 5 entrées		Générateur de tension de référence	
			
SO3536-6A	SO3536-6A	734 02	SO3536-5A
Générateur de fonction	Boucle de température	Nœud sommateur à 2 entrées	
			
SO5127-2R	734 12	734 07	

Les modules de la régulation automatique continue (5)

REGULATION AUTOMATIQUE CONTINUE		
Elément de retard	Régulateur PID	
 	 	
Interrupteur Manuel /Automatique	Système de Contrôle simulé	
 	 	 

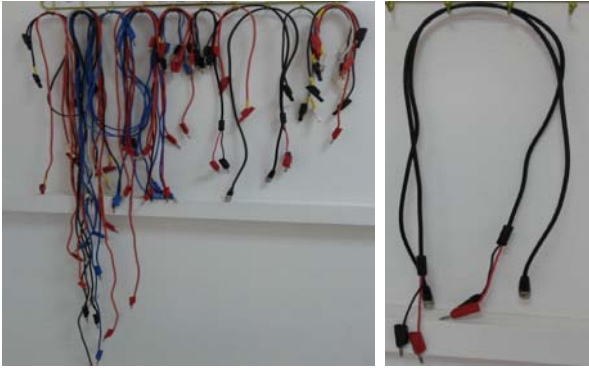


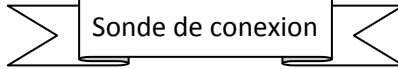


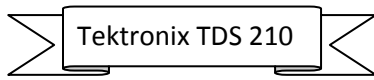
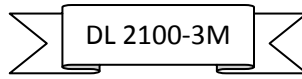
Les modules de la régulation automatique continue (6)

REGULATION AUTOMATIQUE CONTINUE		
Elément d'action intégrale	Régulateur D	Elément de transfert du 2 ^{ème} ordre
 <p>734 04</p>	 <p>734 04</p>	 <p>734 095</p>
Module de fonction	Système de Contrôle Simulé universel	
 <p>727 71</p>	 <p>SO3536-6E</p>	

Les modules de la régulation automatique discontinue

REGULATION AUTOMATIQUE DISCONTINUE	
Amplificateur	Régulateur de gain et de l'offset
Régulateur tout ou rien	Echantionneur

Les modules de connexion et de visualisation

Les modules de connexion et de visualisation		
Jeu de câbles pour interconnecter les bornes des modules	Interrupteur unipolaire	Multimètre
		
 <p style="text-align: center;">Sonde de connexion</p>		
Oxilloscope à mémoire	Cadre métallique pour l'assemblage des modules du laboratoire	
		
 <p style="text-align: center;">Tektronix TDS 210</p>	 <p style="text-align: center;">DL 2100-3M</p>	

Introduction

La **Régulation** est une partie de la science technique appelée **Automatique**. On considère généralement que l'automatique (et donc la régulation) a débuté dans les années 1930, avec les premiers asservissements de position et surtout une première définition de la stabilité; naturellement, des systèmes à fonctionnement "autonome" existaient auparavant (les automates), mais ils n'étaient pas théorisés. Après ces premiers pas, tout s'accéléra, avec le développement des premières méthodes de synthèse de correcteurs au cours de la décennie 1940-1950, puis dès 1960, avec l'explosion de l'informatique.

Aujourd'hui l'automatique est partout :

- dans la vie quotidienne : chauffage, appareils photographiques, lecteurs CD, lecteurs DVD, machines à laver, domotique, ...
- dans l'industrie : chimie, industrie manufacturière, métallurgie, industrie plastique, production d'énergie, environnement, automobile, ...
- dans l'agriculture : alimentation du bétail, régulation de température d'élevages industriels, régulation d'hygrométrie pour des cultures sous serres, ...
- dans l'aéronautique : aviation civile et militaire, missiles, satellites, navette spatiale, ...
- dans la médecine : examens lourds, thérapie embarquée, chirurgie assistée, ...

Ce document à été conçu pour initier les étudiants aux principes fondamentaux de la technologie de la régulation automatique. Les principales fonctions des procédés, les contrôleurs et les systèmes contrôlés sont présenté avec l'aide de la simulation d'un système contrôlé, ainsi que les interactions entre les éléments de déplacement des boucles de rétroaction.

Les composants individuels et les schémas blocs des circuits sont représentés dans le document.

Le laboratoire de régulation a été fonctionnellement divisé en un certain nombre de sections, de sorte que l'étudiant puisse suivre un parcours didactique approprié, en allant de la théorie aux applications pratiques en augmentant de plus en plus la consistance des cours.

Les sections qui composent le laboratoire sont les suivantes:

Fondements de la Technologie de la Régulation Automatique

Théorie de la Régulation Automatique

Procédés

Contrôleurs PID

Régulation Automatique Continue

Régulation Automatique Discontinu

Applications

Circuit de Réglage avec régulateur proportionnel (P) appliqué à une simulation de trajet de 1^{er} ordre.

Régulateur PI appliqué à une simulation de trajet de 1^{er} ordre.

Régulateur PID appliqué à une simulation de trajet de 2^{ème} ordre.

Régulation du niveau.

Régulation de température.

TP 1: Circuit de Réglage avec régulateur proportionnel (P) appliqué à une simulation de trajet de 1^{er} ordre.

1 Objectifs pédagogiques

Après avoir traité l'expérience, on peut

- 1.1 Déduire des différentes valeurs d'entrée et de sortie le paramètre K_P du régulateur.
- 1.2 Connecter un régulateur proportionnel en respectant la phase avec une installation réglée.
- 1.3 Justifier et expliquer pourquoi le régulateur proportionnel produit un écart de réglage restant.
- 1.4 Indiquer la dépendance de l'écart de réglage du facteur K_P .

2 appareillages utilisés

1	Bloc d'alimentation ± 15 V	SO3538-8D
1	Indicateur de valeur de consigne	SO 3536-5A (ou 734 02)
1	Régulateur PID	SO3536-6B
2	Simulateur de trajet	SO 3536-6C
1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
	Appareil de mesure (voltmètre ou multimètre)	
1	Oscilloscope à mémoire	
17	Jeu de cavaliers	501 5111
2	Adaptateurs pour sonde	
5	Câble d'expérience	
	Fiche de travail et papier millimétré	

3 Introduction / Remarques

- ❖ Le facteur K_P donne l'écart entre le signal d'entrée et de sortie qui caractérise un régulateur proportionnel.
- ❖ La forme du signal d'entrée et de sortie reste identique. Ce n'est donc que le facteur K_P qui peut décrire le régulateur proportionnel. On obtient le facteur K_P .

$$K_P = \frac{x_a}{x_e}$$

x_a : signal de sortie du régulateur

x_e : signal d'entrée du régulateur

- ❖ Lorsqu'on utilise le régulateur dans un circuit de réglage on appelle la valeur d'entrée x et la valeur de sortie y . Pour le facteur K_P on a donc le rapport :

$$K_p = \frac{y}{x}$$

et pour les valeurs constamment variables :

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

- ❖ Le régulateur doit approcher la grandeur réglée x à la valeur de la grandeur de référence w et la garder constante malgré des perturbations possibles. Le régulateur proportionnel produit toujours un écart de réglage e . cet écart de réglage a été défini comme :

$$e = w - x$$

- ❖ Il en résulte que la valeur d'entrée du régulateur ne peut jamais atteindre la valeur zéro. Si e atteignait zéro, le régulateur livrerait aussi le signal de sortie $y = 0$. Le système réglé s'écartera de la valeur de consigne puisqu'il n'y a pas de signal d'entrée. K_p définit un écart constant. L'écart restant est d'autant plus petit que la valeur de K_p est grande. Pour juger le réglage, on utilise l'écart de réglage en pourcentage restant $x_{wb}\%$. $x_{wb}\%$ peut être calculé selon la formule suivante :

$$x_{wb} = \frac{e \cdot 100\%}{w}$$

- ❖ Une valeur de K_p trop élevée a pour conséquence une oscillation atténuée voire même non- atténuée.

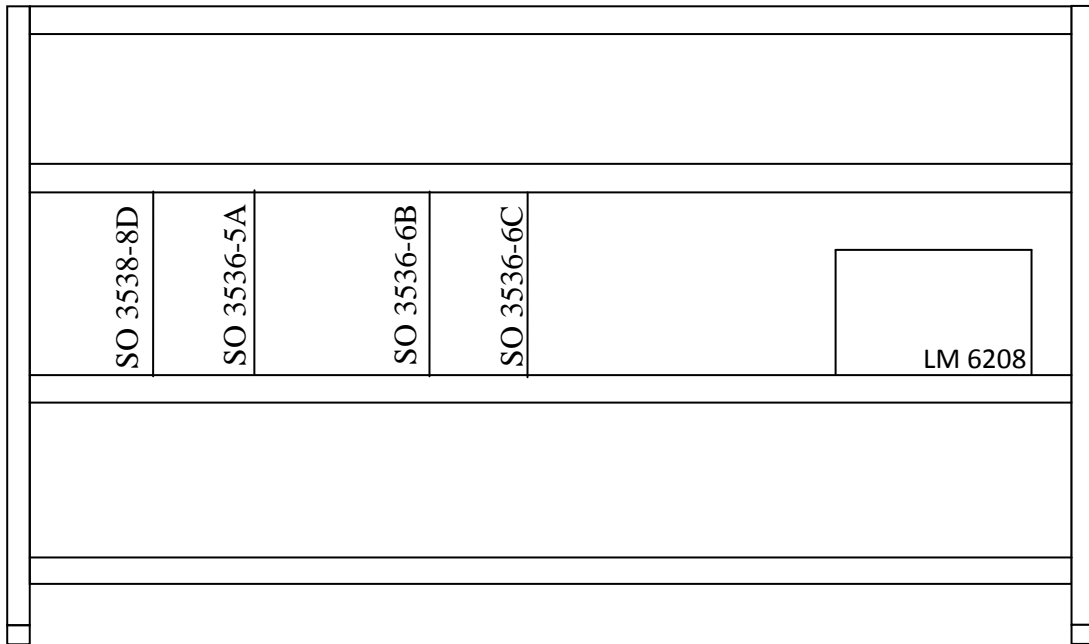
Vous utilisez lors de cette expérience un régulateur **PID**. Pour l'utiliser en tant que régulateur proportionnel, vous devez régler les interrupteur AB (I) et AB (D) en direction de marquage.

Observations

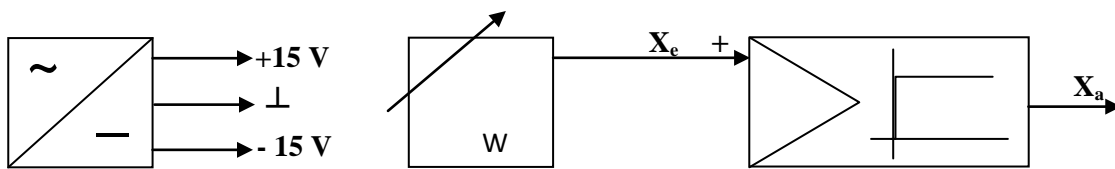


- Toute modification des circuits ne peut intervenir qu'après coupure du courant.
- Mise en service uniquement après vérification des montages.

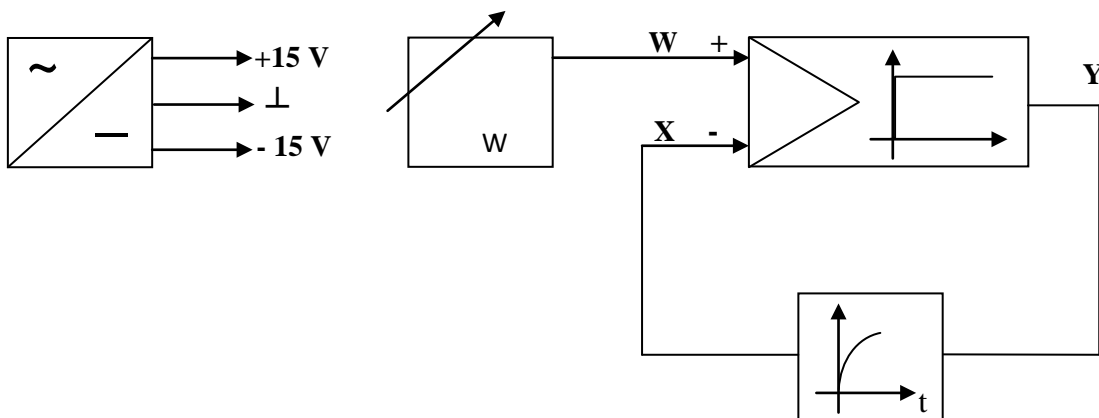
4. Configuration



4.1 Circuit 1



4.2 Circuit 2



5 Réalisation

5.1 Monter les appareils conformément au schéma de la configuration 4. Dans la première partie, il s'agit d'étudier le comportement du régulateur par rapport à des signaux d'entrée. On n'a donc nul besoin de la simulation. On réalisera le montage selon le point 4.1 (circuit 1). Procéder au réglage suivant :

Valeur de consigne :

Sur la plaque de l'ajusteur de la valeur de consigne, pointer avec une fiche + 10 V et la douille U_{REF} . Il y a donc une affectation entre la tension U_{REF} et l'échelle en pour-cent de l'ajusteur de valeur de consigne avec le facteur 1V/10%. Ceci se rapporte à la sortie $0...U_{REF}$. Les valeurs à régler sont à tirer du tableau.

Régulateur:

Régulateur comme régulateur **P** AB (I) ; AB (D)
(Commutateur AB (I) et AB (D) vers le marquage)

Oscilloscope :

Avec le canal Y1, mesurer une valeur de tension d'entrée x_e et avec le canal Y2 la valeur de sortie x_a du régulateur.

A partir de ces valeurs, calculer K_P et comparer les valeurs calculées avec les valeurs réglées.

Réalisation (Fiche de travail 1)

K_P ajusté = 1

W(%)	20	40	60	80	100
x_e (V)					
x_a (V)					
K_P					

K_P ajusté = 0.5

W(%)	20	40	60	80	100
x_e (V)					
x_a (V)					
K_P					

K_P ajusté = 2

W(%)	20	40	60	80	100
x_e (V)					
x_a (V)					
K_P					

L'expérience démontre que les valeurs calculées sont que les valeurs ajustées de K_P .

Pour le relevé 3 il y a un écart, cet écart s'explique comme suit.....

5.2 Réalisez le circuit selon le schéma 4.2 (circuit 2). La boucle est formée du régulateur et de la simulation. Réglez le trajet aux valeurs :

$\alpha = 1, T = 5s$

Réglez la valeur de consigne w à 5V exactement (mesurer avec l'oscilloscope). Détectez pour les différentes valeurs de K_P la grandeur réglées x selon le tableau. Calculez l'écart de réglage restant x_{wb} %.

Réalisation (Fiche de travail 2)

W = 5V

K_P	0.1	0.5	1	5	10	50	100	1000
x (V)								
e (V)								
x_{wb} (%)								

On peut déduire du relevé qu'avec une augmentation de l'amplification de K_P

5.3 Ajustez K_P à 1 et mesurez pour les différentes valeurs de consigne du tableau l'écart de réglage x_{wb} %.

Réalisation (Fiche de travail 3)

$K_P = 1$

W(V)	1	2	5	10
x (V)				
e (V)				
x_{wb} (%)				

On s'aperçoit que pour une valeur constante de K_P

.....
.....

5.4 Il s'agit de montrer que la phase du trajet doit être connectée correctement. Connectez la rétroaction du trajet sur une entrée + du régulateur. Examinez et expliquez le comportement du circuit de réglage.

.....
.....
.....
.....

TP 2: Régulateur PI appliqué à une simulation de trajet de 1^{er} ordre.

1 Objectifs pédagogiques

Après avoir traité l'expérience, on peut

- 1.1 Tracer la réponse du régulateur **PI** avec différents sauts à l'entrée.
- 1.2 Déterminer la valeur **K_P** du régulateur à l'aide de la réponse.
- 1.3 Déterminer le temps de compensation **T_n**.
- 1.4 Expliquer pourquoi le régulateur **PI** ne produit pas d'écart de réglage restant.
- 1.5 Trouver par une recherche empirique l'ajustage optimal du régulateur **PI**.

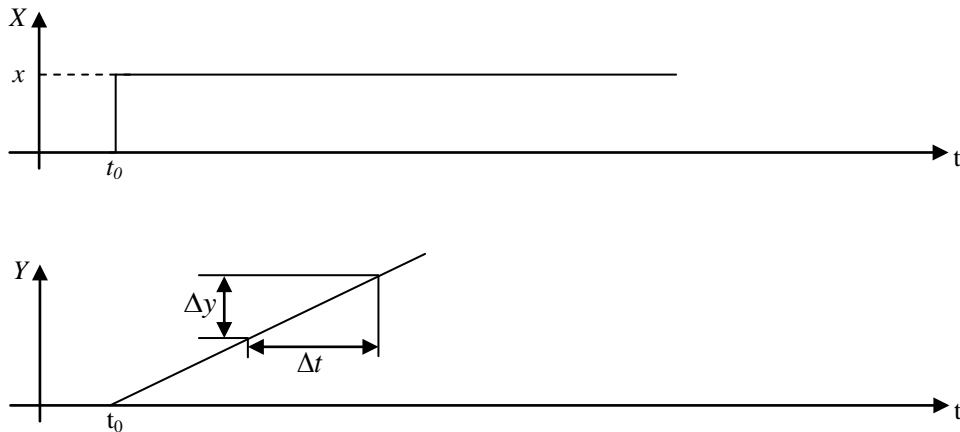
2 appareillages utilisés

1	Bloc d'alimentation ± 15 V	SO3538-8D (ou 726 86)
1	Ajusteur de valeur de consigne	SO 3536-5A (ou 734 02)
1	Régulateur PID	SO3536-6B (ou 734 06)
2	Simulateur de trajet	SO 3536-6C
1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
	Appareil de mesure (voltmètre ou multimètre)	
1	Oscilloscope à accumulation	
17	Jeu de cavaliers	501 5111
2	Adaptateurs pour sonde	
5	Câble d'expérience	
	Fiche de travail et papier millimétré	

3 Introduction / Remarques

- ❖ L'expérience « circuit de réglage avec régulateur proportionnel appliqué à une simulation de trajet de 1^{er} ordre » a démontré que le réglage d'un régulateur proportionnel produit un écart de réglage restant. Le régulateur proportionnel réagit rapidement mais ne peut pas mémoriser une valeur de consigne et ne peut pas donc s'en approcher.
- ❖ Pour y parvenir, il faut connecter un régulateur intégral. Le signal de sortie (Y) du régulateur intégral varie en fonction de la valeur du signal d'entrée (X). La vitesse du changement du signal de sortie dépend du régulateur et de la valeur du signal d'entrée.
- ❖ Le croquis ci-dessous montre la réponse d'un régulateur intégral dû à un saut à l'entrée (X).

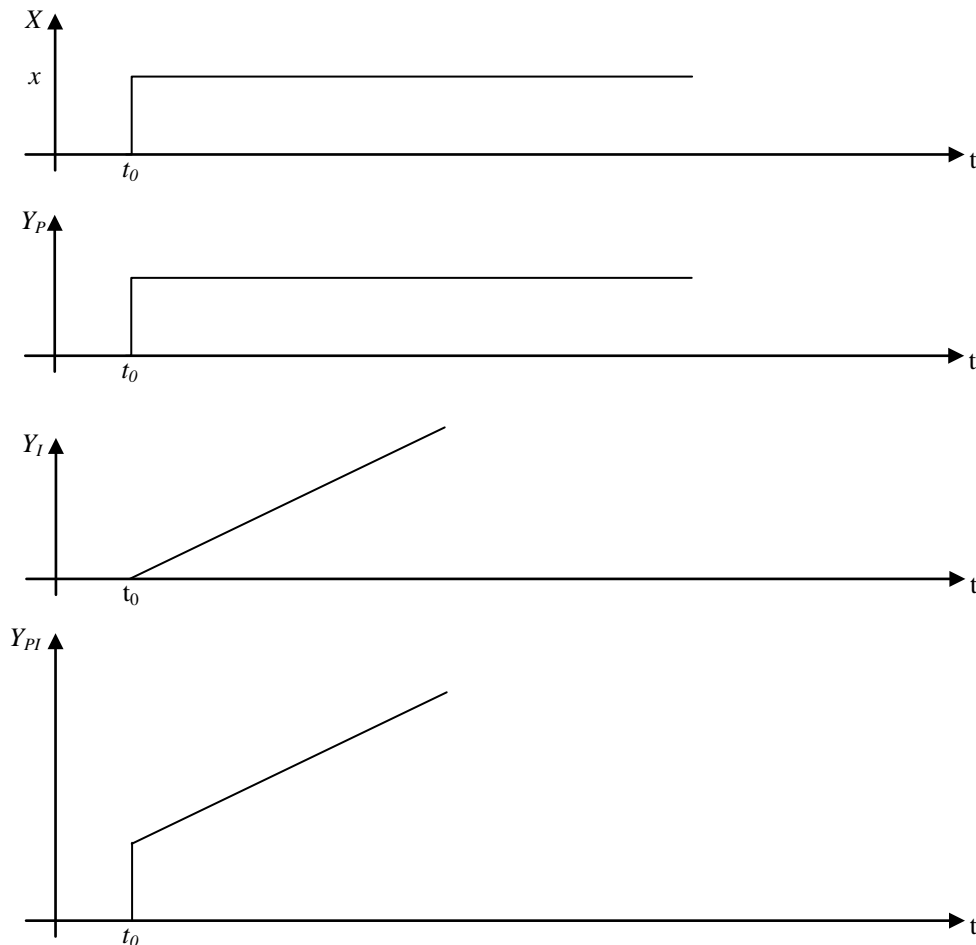
Réponse au saut d'un régulateur intégral



La combinaison d'un régulateur **I** (intégral) avec un régulateur **P** (proportionnel) donne un régulateur **PI**. Cette combinaison unit l'avantage du régulateur **P** (sa vitesse) avec l'avantage du régulateur **I** (régulation d'une déviation jusqu'à la valeur de consigne). Le régulateur **PI** travaille donc rapidement et exactement.

L'image suivante montre la réponse du régulateur **PI** (les réponses des deux régulateurs sont superposées).

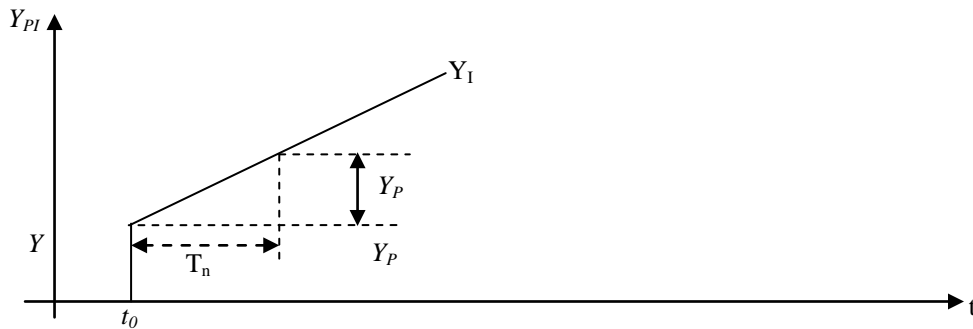
Réponse du régulateur PI au saut



On peut aussi déduire les paramètres du régulateur de sa réponse. Les paramètres sont :

- a) Le facteur K_P déterminant la valeur de premier saut.
- b) Le temps T_n (temps de compensation) renseigne sur le gain de temps.

Le paramètre T_n est le gain de temps dont le régulateur **I** aurait besoin pour régler le signal de sortie mais que la partie **P** compense immédiatement. L'image suivante visualise cette superposition.

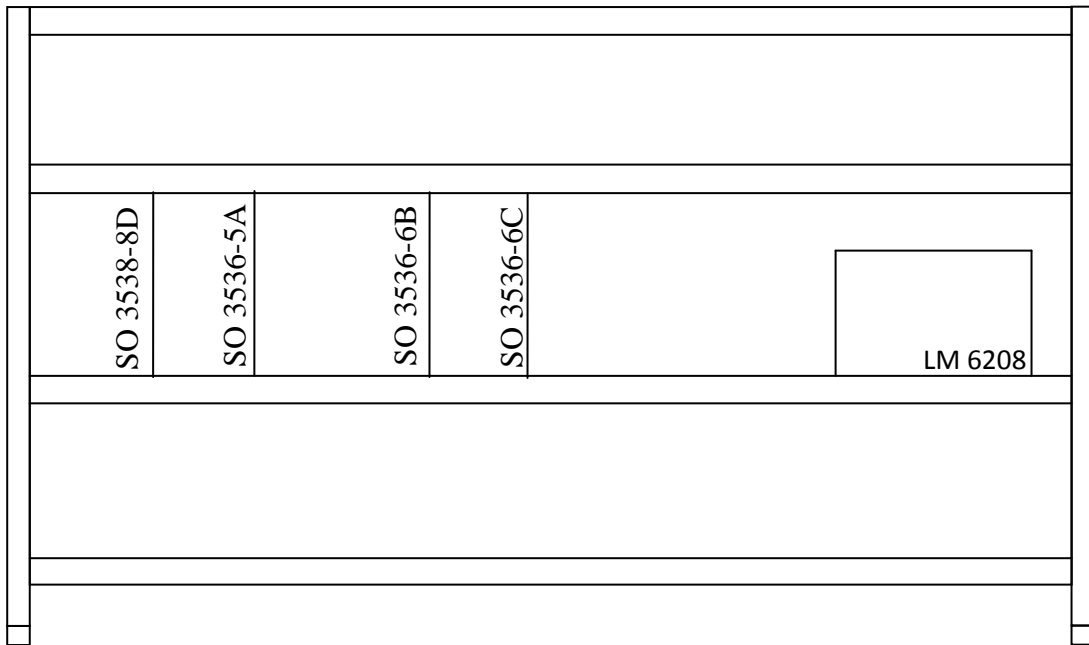


Le régulateur **PI** égalise les inconvénients des deux régulateurs particuliers.

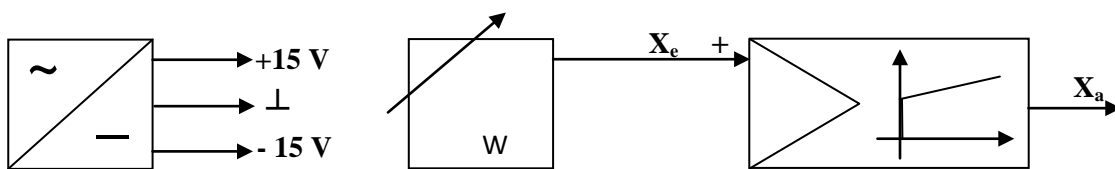
Dans de nombreux cas, on essaie de trouver un réglage, qui est non seulement rapide, mais qui ne présente pas de surmodulation importante.

L'ajustage optimal du régulateur s'obtient de différentes manières. En pratique, on utilise souvent une approche empirique. Pour y parvenir, on ajuste le régulateur d'abord comme étant purement proportionnel. On augmente le facteur K_P de sa valeur minimale jusqu'au point où le régulateur intervient fortement aux sauts de la valeur de consigne. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas d'oscillation. Cette valeur étant trouvée, on ajoute la partie **I**. on diminue le temps T_n de sa valeur maximale pour obtenir la vitesse désirée d'approche à la valeur de consigne. Avec un peu d'exercice on peut ainsi trouver très vite et exactement l'ajustage optimal du régulateur.

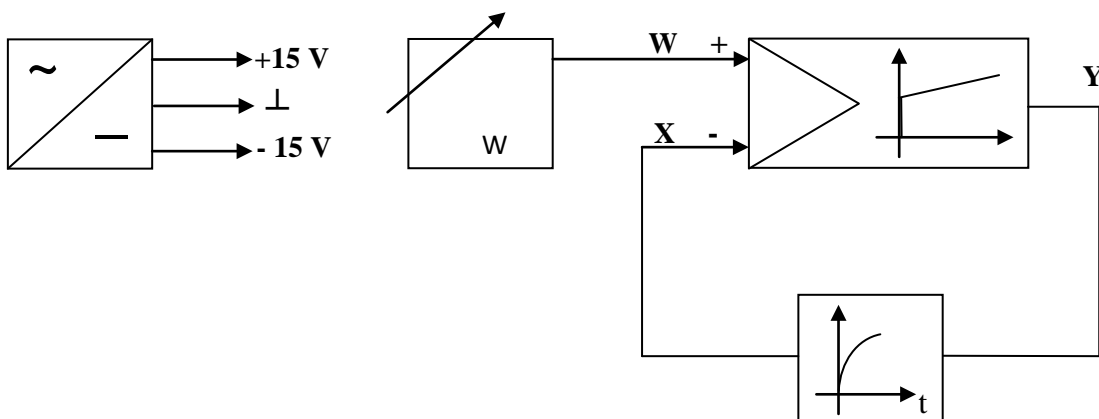
4. Configuration



4.1 Circuit 1



4.2 Circuit 2



5 Réalisation

5.1 Réaliser le montage selon la configuration 4. Le câblage se fera selon le schéma 4.1.

Enregistrer d'abord la réponse du régulateur au saut.

Dans le cas de circuit 1, la simulation n'est pas intégrée dans le montage. Procéder au réglage suivant :

Valeur de consigne :

Connecteur entre +10 V et la douille U_{REF}

$W = 100\%$ ce qui correspond à 10V à la sortie $0 \dots U_{REF}$.

Régulateur:

Utiliser le régulateur comme régulateur **P** (Commutateur AB (I) et AB (D) vers le marquage).

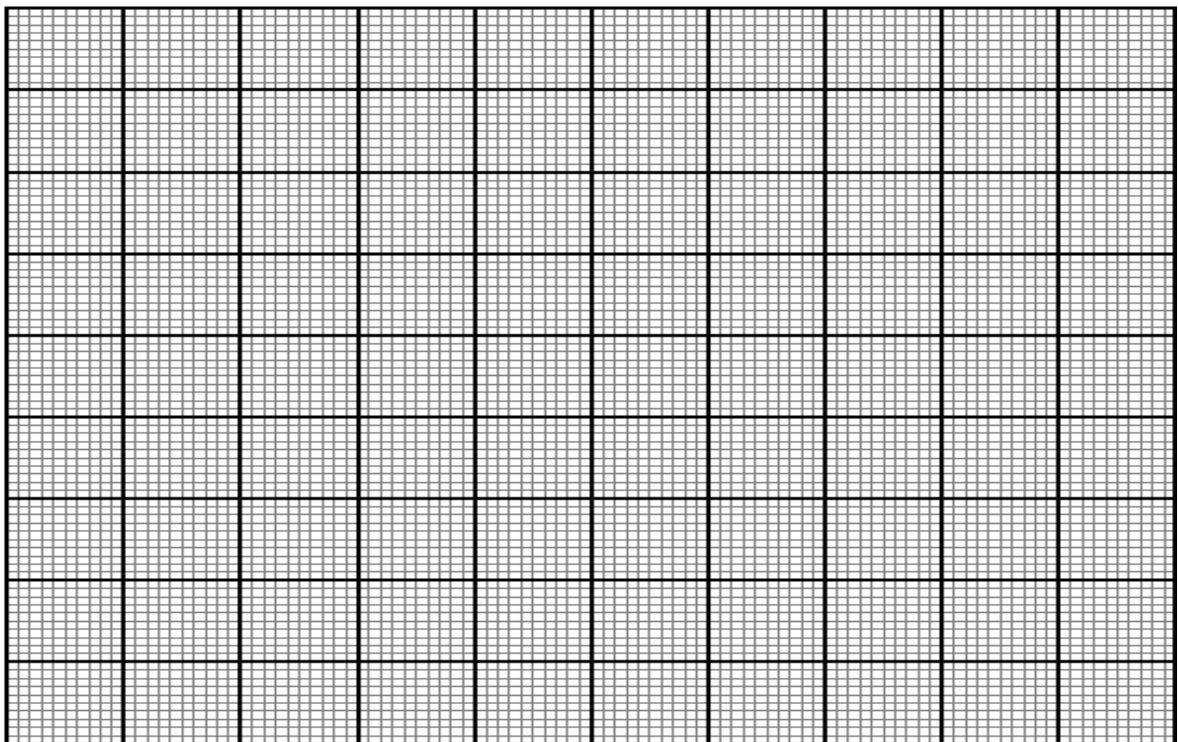
Oscilloscope :

Point zéro deuxième trame d'en bas

$Y_1 = 1 \text{ v/cm}$ $X = 0.5 \text{ s/cm}$.

Enregistrer la réponse pour $K_P = 1$ et $K_P = 2$. Ne couper que brièvement la liaison entre la douille +10V et la douille U_{REF} . Pour les deux réglages, tracer les courbes dans la même grille.

Réalisation (Fiche de travail 1)



$Y_1 = 1 \text{ v/cm}$

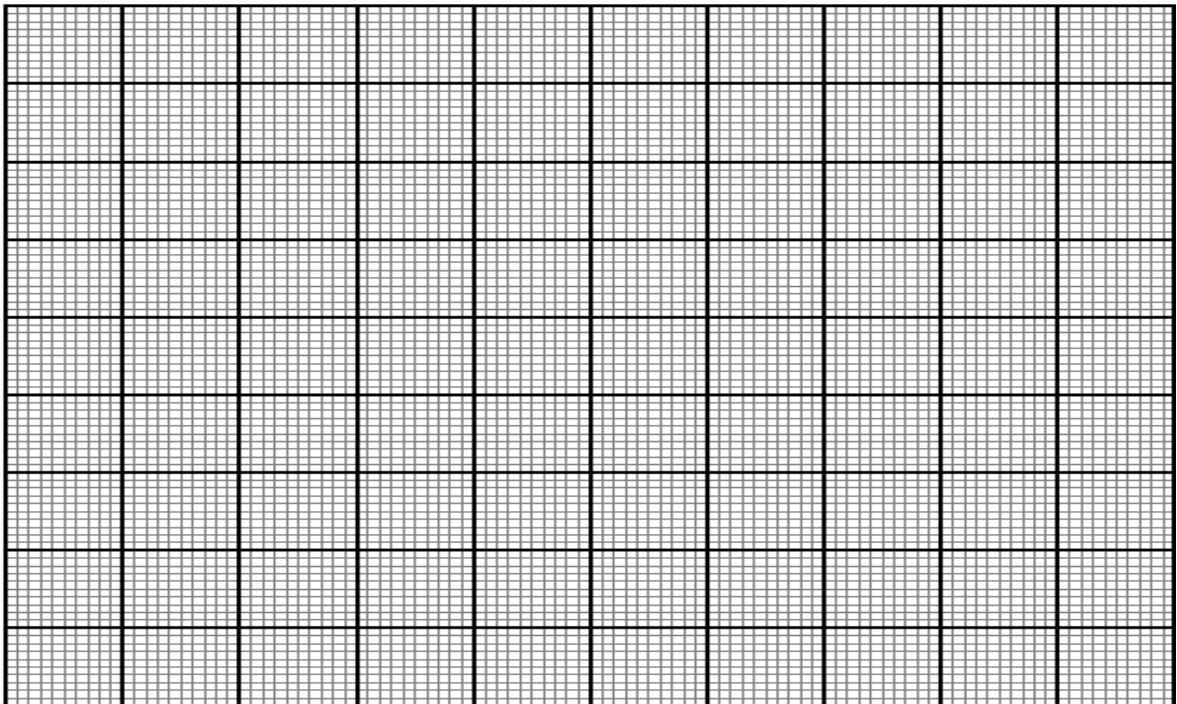
$X = 0.5 \text{ s/cm}$

5.2 Utiliser le régulateur comme régulateur **PI**. Régler K_p sur 1 et T_n sur 5s. Enregistrer la réponse. Déterminer à partir de la réponse les grandeurs K_p et T_n . Lors de l'enregistrement de la réponse, procéder comme décrit sous 5.1. Veiller néanmoins à ce que la composante **I** du régulateur soit à zéros avant le saut. A cette fin, La composante **I** pourra être amenée en position initiale à l'aide de commutateur AB (I).

Oscilloscope:

$Y_1 = 0.5 \text{ v/cm}$ $X = 0,5 \text{ s/cm}$
 Point zéro deuxième trame d'en bas

Réalisation (Fiche de travail 2)



$Y_1 = 0.5 \text{ v/cm}$

$X = 0.5 \text{ s/cm}$

$Y_p = \dots \text{ v}$

$K_p = \frac{Y_p}{X} = \dots$

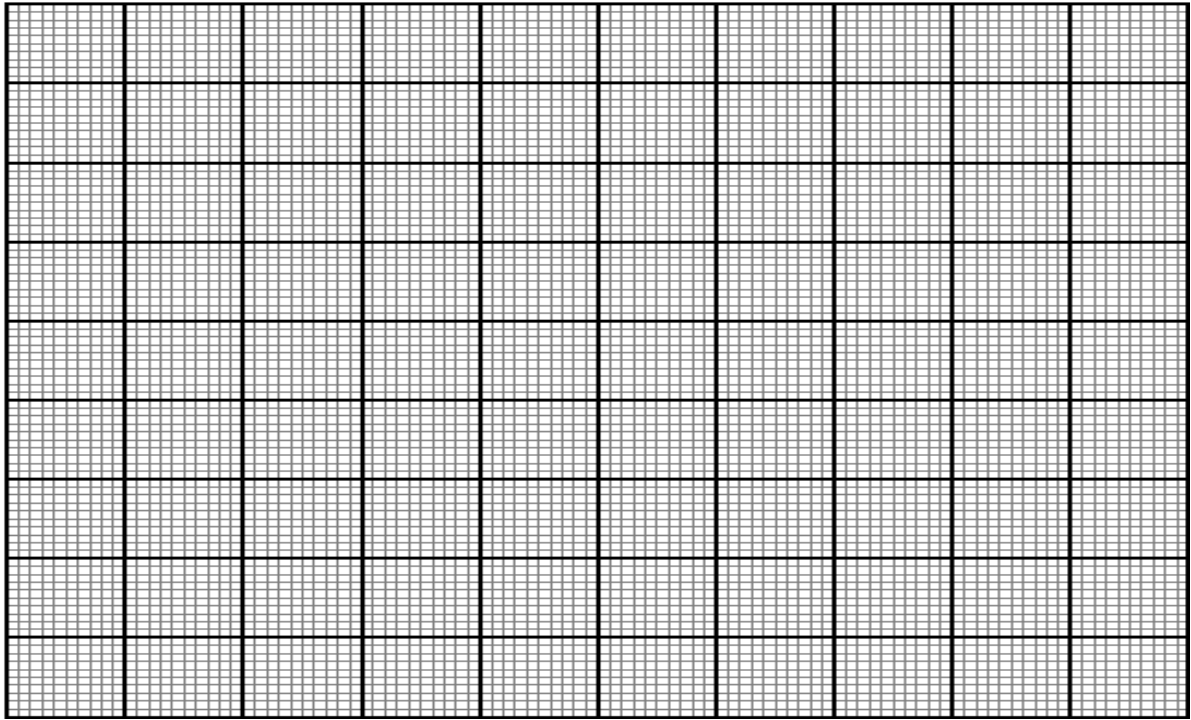
$T_n = \dots \text{ s}$

5.3 Réaliser le montage selon le schéma 4.2 (circuit 2). Entrée $W = 5\text{v}$ et optimiser en appliquant et coupant plusieurs fois la valeur de consigne ($K_p = 1$ composante **D** pour des sauts de $W = 0$ à $W = 5\text{v}$ avec toujours entre temps AB(I) aux conditions initiales).

Oscilloscope:

$Y_1 = 1 \text{ V/cm}$ $X = 0,5 \text{ S/cm}$
 Point zéro deuxième trame d'en bas

Réalisation (Fiche de travail 3)



Y = 2 v/cm

X = 0.5 s/cm

n =

$x_m = \dots\dots V$

$K_P = \dots\dots$

$T_n = \dots\dots \text{ms}$

5.4 Pourquoi le régulateur **PI** ne produit-ils pas d'écart de réglage restant ?

.....
.....
.....
.....
.....

TP 3: Régulateur PID appliqué à une simulation de trajet de 2^{ème} ordre.

1 Objectifs pédagogiques

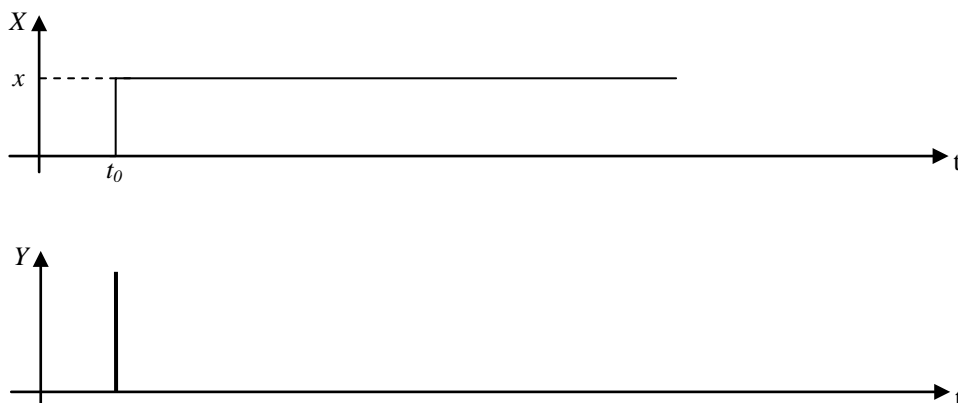
Après avoir traité l'expérience, on peut

- 1.1 Tracer la réponse du régulateur **PID** aux sauts à l'entrée.
- 1.2 Indiquer le comportement **D** supplémentaire sur le réglage.
- 1.3 Expliquer l'expression "constante de temps du régulateur différentiel" T_V .
- 1.4 Trouver par une recherche empirique l'ajustage optimal du régulateur **PID**.

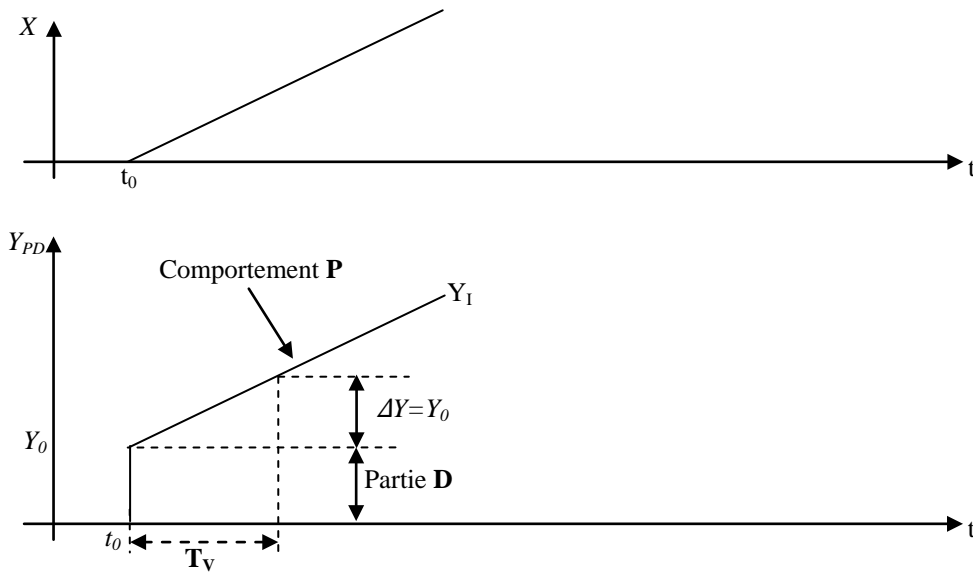
2 Introduction / Remarques

- ❖ Le régulateur **PID** répond à toutes les exigences qu'on peut demander à un régulateur.
- ❖ La partie **I** lui donne son exactitude. La partie **P** lui donne sa vitesse de base.
- ❖ La partie **D** augmente encore plus la vitesse. La partie **D** livre un signal de sortie fonction du saut à l'entrée.
- ❖ Grâce à la partie **D** supplémentaire, le régulateur peut intervenir vite et fortement très tôt. La vitesse de montée du signal d'entrée pour un passage brusque à l'entrée est illimitée. Le signal de sortie devrait aussi avoir une valeur illimitée. Mais ni la valeur d'entrée ni celle de sortie rendent possible ce comportement. Une telle réponse indique simplement un comportement **D**. on ne peut guère exploiter cette réponse. C'est pourquoi on examine la réponse rampe pour obtenir un résultat exploitable.
- ❖ Comme un comportement **D** n'est jamais utilisé seul pour une régulation, la réponse est enregistrée par un régulateur **PD**. L'image suivante montre la réponse d'un régulateur **D** et la réponse rampe d'un régulateur **PD**.

Réponse d'un régulateur **D**

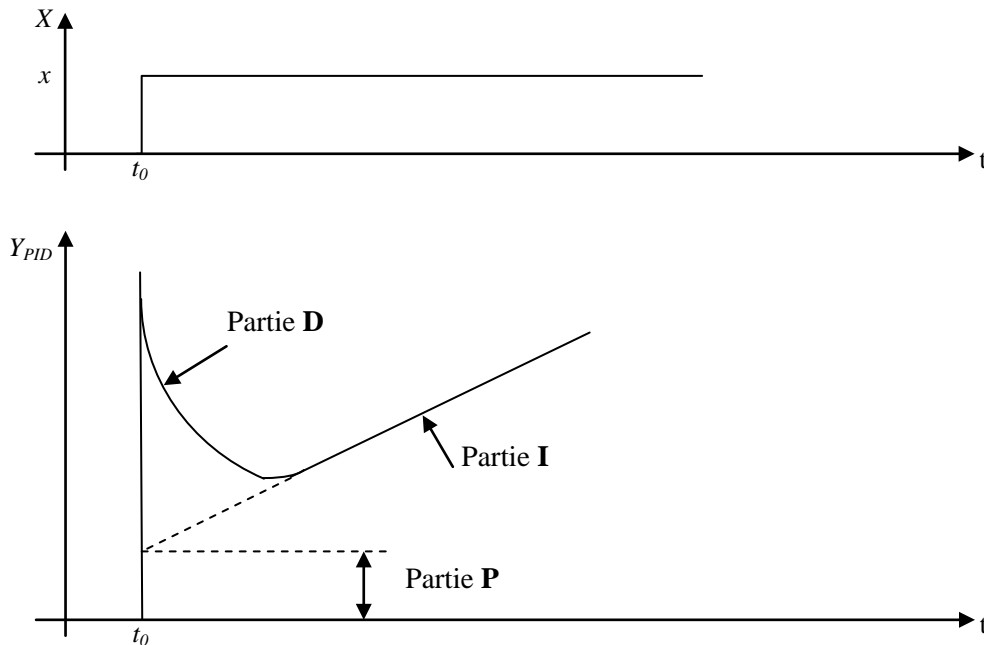


Réponse rampe d'un régulateur PD



On peut déduire la constante de temps T_V de la réponse rampe du régulateur **PD**. T_V est définie comme le temps gagné grâce à la partie **D**, c'est-à-dire le temps qu'il faudrait au régulateur **P** seul pour modifier le signal de sortie. La combinaison des comportements des différents régulateurs donne le régulateur optimal. La réponse permet de connaître les trois types de comportement.

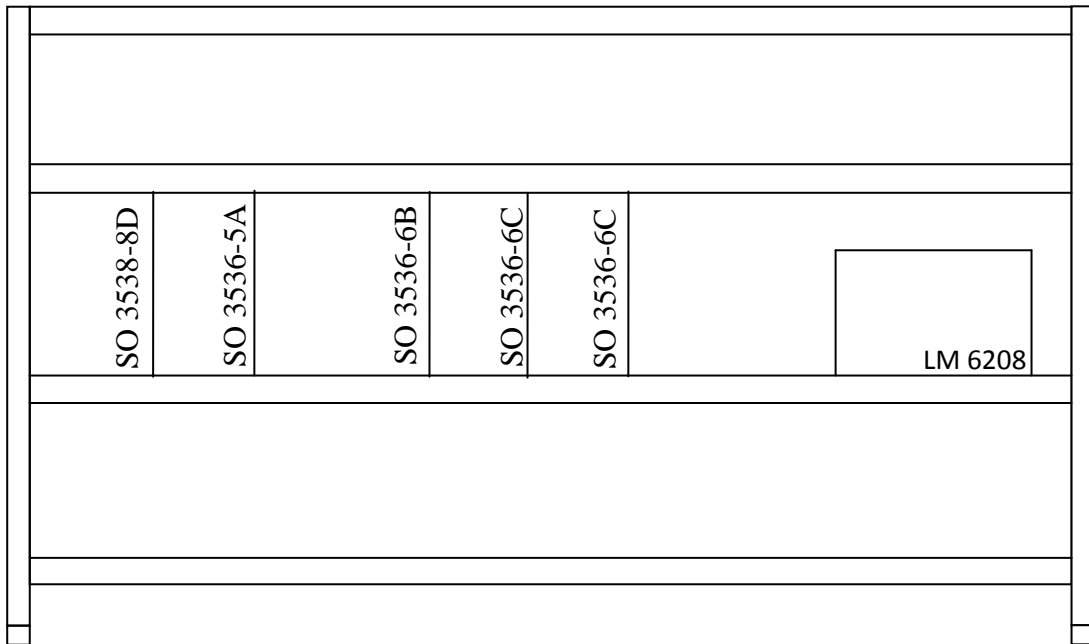
Réponse du régulateur PID



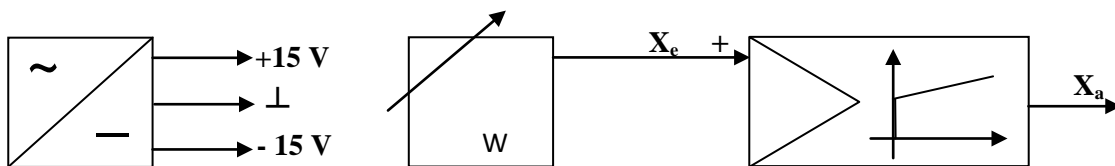
Pour ajuster le régulateur **PID** on procède d'abord comme pour le régulateur **PI**. Ensuite, on ajoute la partie **D**. on augmente lentement la constante de temps T_V de sa valeurs minimale pour obtenir la qualité de réglage désirée. Il est possible d'augmenter un peu K_P et T_n en augmentant T_V . La partie **D** stabilise le réglage.

Lors de cette expérience K_P est réglée à une petite valeur pour mieux expliquer le comportement des parties **D** et **I**.

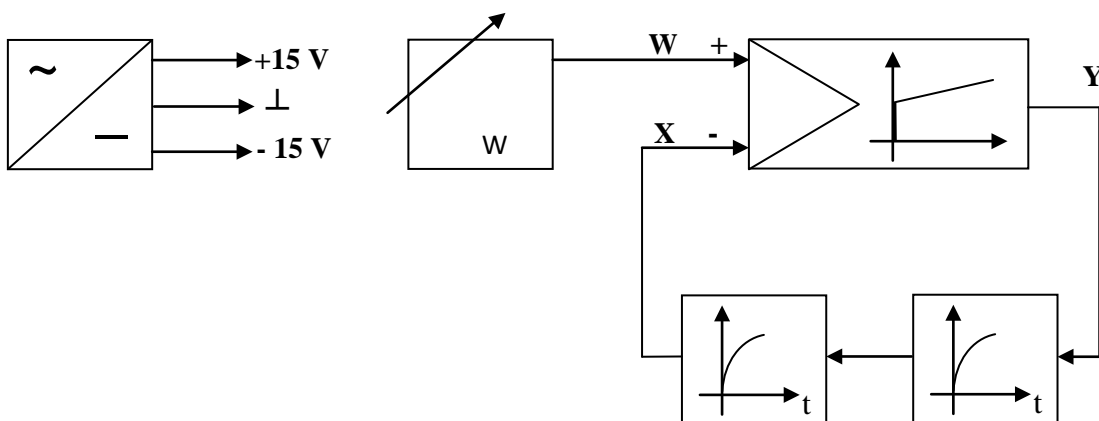
3. Configuration



3.1 Circuit 1



3.2 Circuit 2



4 Réalisation

4.1 Réaliser le montage selon la configuration 3. Câblage selon le point 3.1. Procéder aux réglages suivants :

Valeur de consigne :

Avec le connecteur (ou commutateur), pontage des douilles +10 V et U_{REF} . Régler la valeur de consigne sur $W = 1V$ à la sortie $0 \dots U_{REF}$.

Régulateur:

Régulateur **P** (Commutateur AB (I) et AB (D) vers le marquage) $K_P = 1$

Oscilloscope :

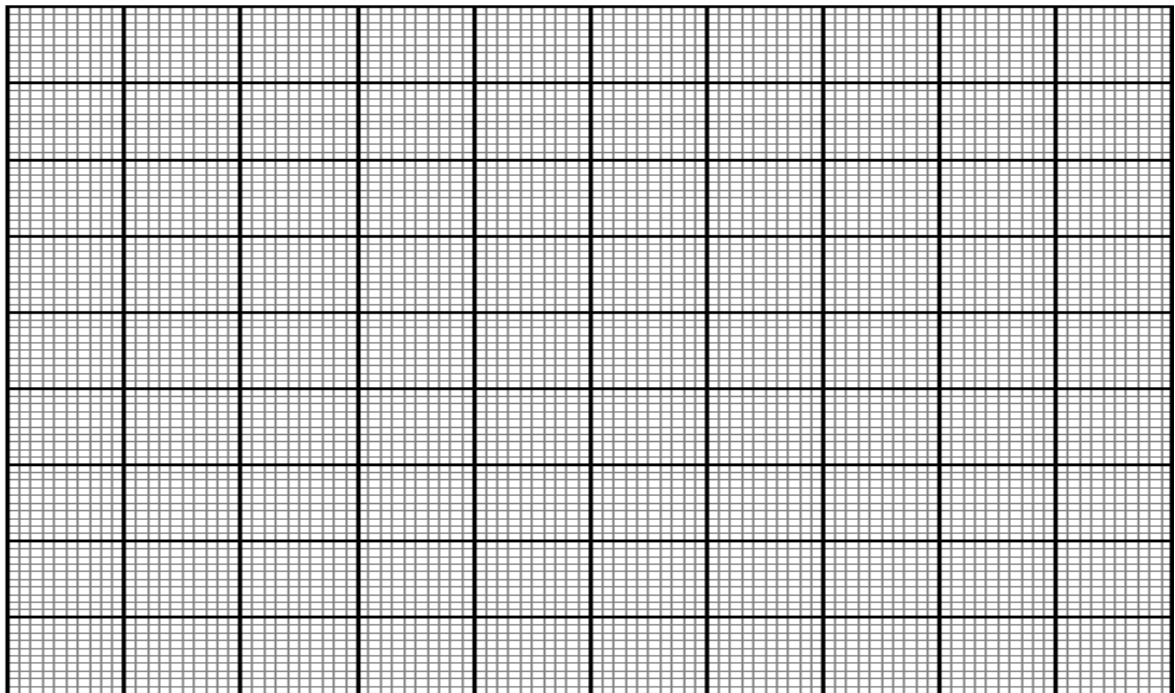
Point zéro deuxième trame d'en bas

$Y_1 = 1 \text{ v/cm}$ $X = 0.5 \text{ s/cm}$

Enregistrer la réponse du régulateur pour des sauts de la valeur de consigne entre $W = 0V$ et $1V$, pour $K_P = 1$ et 2. Couper brièvement la liaison entre la douille + 10V et la douille U_{REF} . Tracer les courbes pour les deux réglages dans la même trame.

Réalisation (Fiche de travail 1)

Régulateur P



$Y = 1 \text{ v/cm}$

$X = 0.5 \text{ s/cm}$

4.2 Régler le régulateur comme régulateur **PI**. Procéder au réglage :

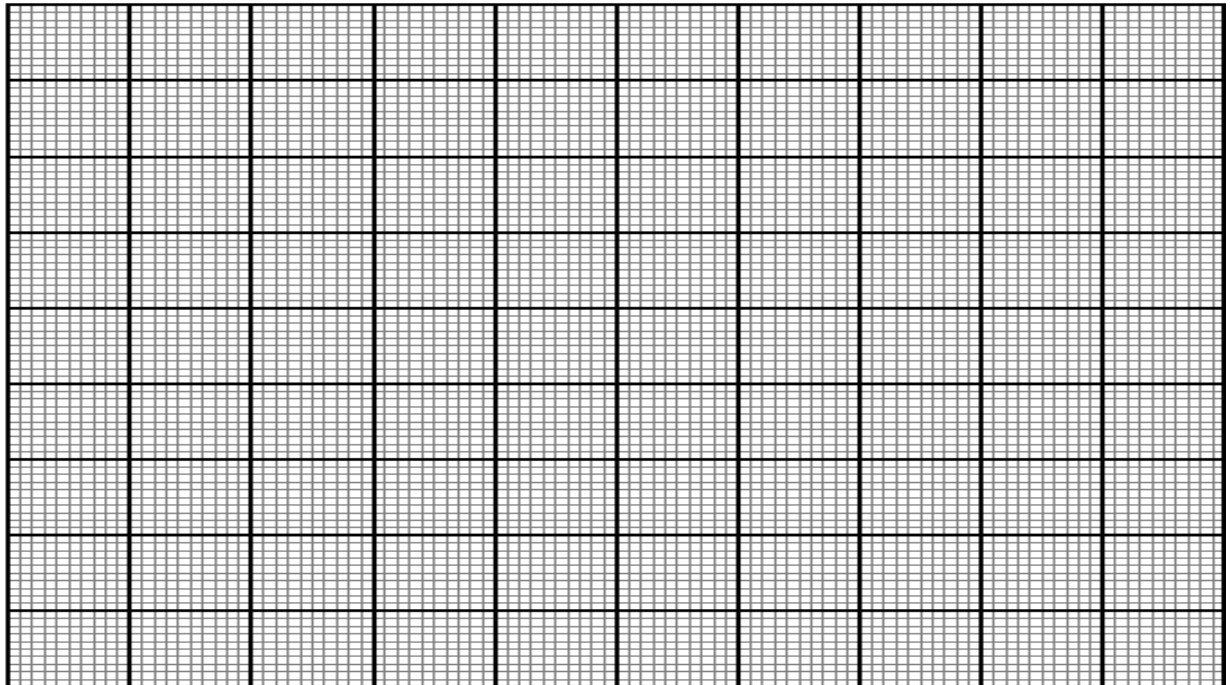
$$K_P = 1 \quad T_n = 5s.$$

Pour ces réglages, enregistrer la réponse et déterminer K_P et T_n .

Lors de l'enregistrement de la réponse, vous pouvez procéder comme sous la réalisation 4.1. Veuillez néanmoins à ce que la composante **I** du régulateur soit à zéro avant le saut. La composante **D** peut avoir les conditions initiales à l'aide du commutateur AB (I).

Réalisation (Fiche de travail 2)

Régulateur PI



$$Y = 1v/cm$$

$$X = 0.5 s/cm$$

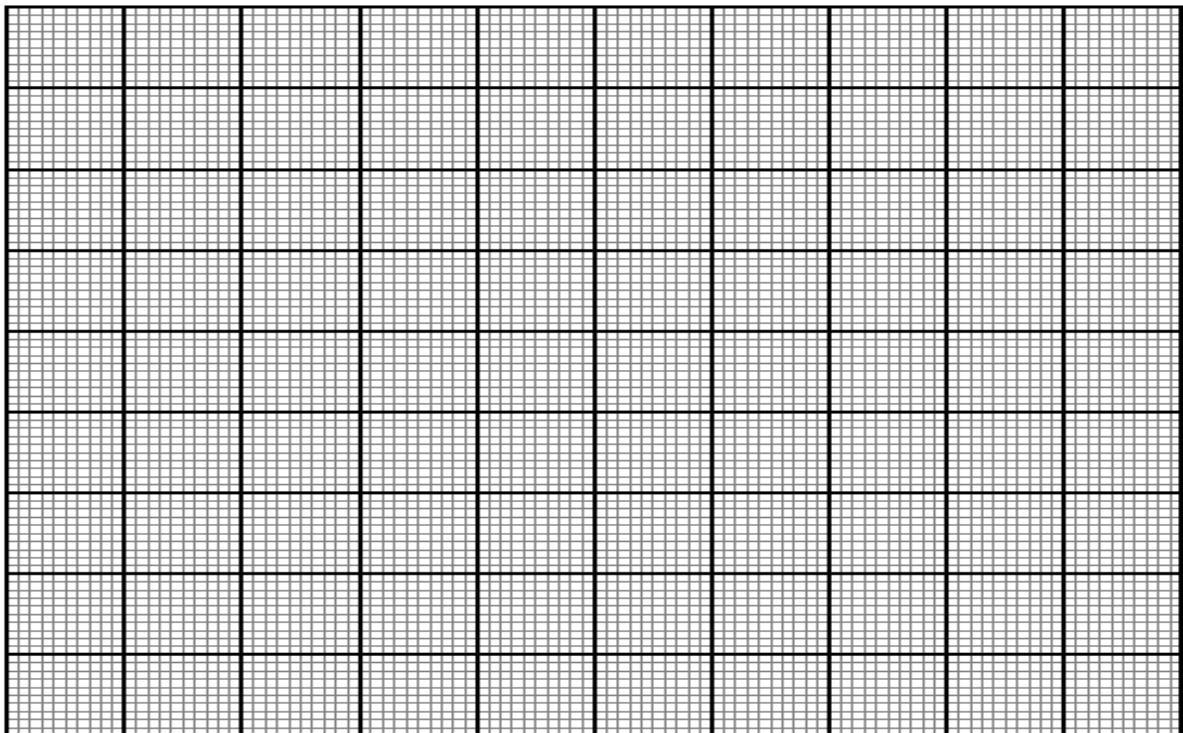
4.3 Régler le régulateur comme régulateur **PID**. Procéder aux réglages suivants :

$$K_P = 1 \quad T_n = 5s \quad T_v = 1s$$

Enregistrer la réponse pour un saut de 1v.

Réalisation (Fiche de travail 3)

Régulateur PID



$$Y = 1v/cm$$

$$X = 0.5 s/cm$$

4.4 Montez le circuit selon le schéma 3.2 (circuit 2). Ajustez à simulation du trajet les valeurs suivantes :

$$\alpha = 1 \quad T_n = 0.1s$$

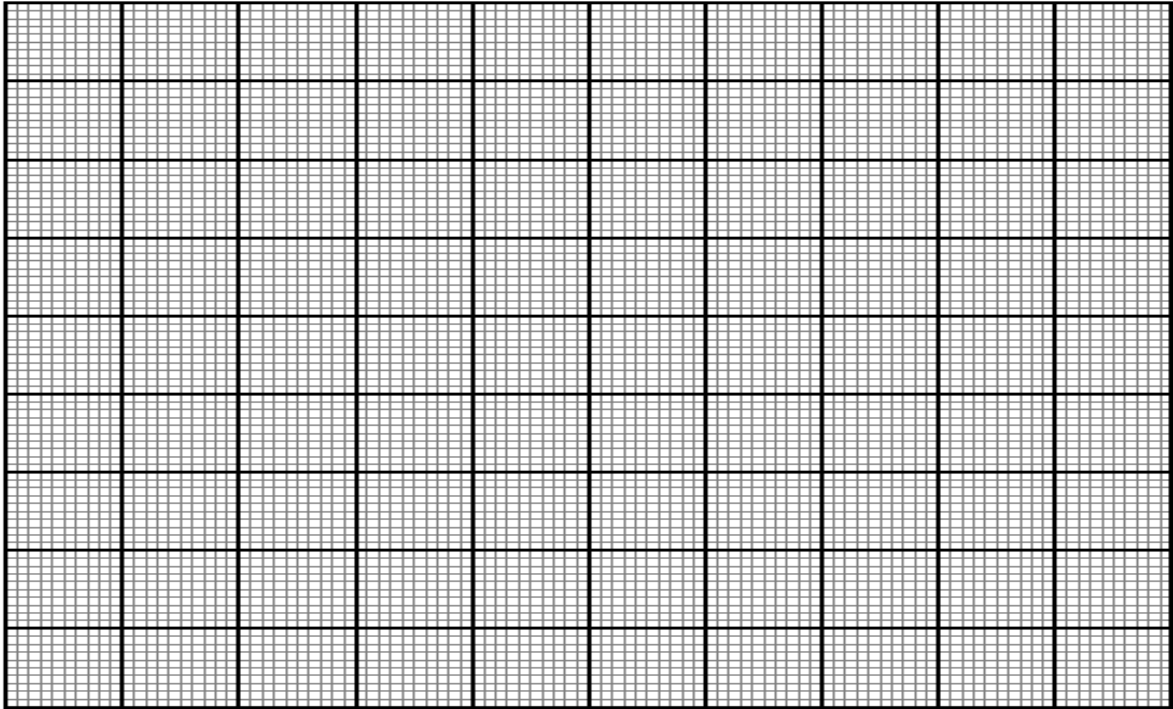
Oscilloscope :

Point zéro au milieu de l'écran

$$Y = 2 v/cm \quad X = 2 ms/cm.$$

Imposez une valeur de consigne de $w = 5v$ et optimisez avec plusieurs changements brusques le régulateur ($K_P = 1$). Indiquez, pour votre ajustage de régulateur optimal, la valeur T_v et T_n ainsi que le nombre d'oscillations nécessaires et la largeur de sur-oscillation x_m .

Réalisation (Fiche de travail 4)



$$Y = 2v/cm$$

$$X = 2 \text{ ms/cm}$$

$$n = \dots$$

$$x_m = \dots v$$

$$K_p = \dots$$

$$T_v = \dots ms$$

$$T_n = \dots ms$$

4.5 Décrivez l'influence de la partie **D** supplémentaire sur le réglage.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.6 Expliquez l'expression "constante de temps du régulateur différentiel" T_v .

.....
.....
.....
.....
.....

TP 4: Régulation de niveau (1)
Analyse du comportement du système de réglage

1 Objectifs pédagogiques

Lorsque l'expérience à été traitée

1.1 Aborder les caractéristiques de la pompe en tant que système de réglage.

1.2 Analyse des caractéristiques de fonctionnement de l'installation expérimentale "Réservoir + Pompe" compte tenu du débit par unité de temps.

1.3 Elaboration des possibilités par l'analyse des caractéristiques statiques.

2 Préparation

2.1 Apport théorique

Le rôle de la pompe est de fournir un débit constant assorti d'une pression appropriée.

Les pompes sont classées selon des caractéristiques technologiques (pompes à vis, à piston, à engrenages ...)

D'autres critères émanent des contraintes industrielles seront à prendre en compte :

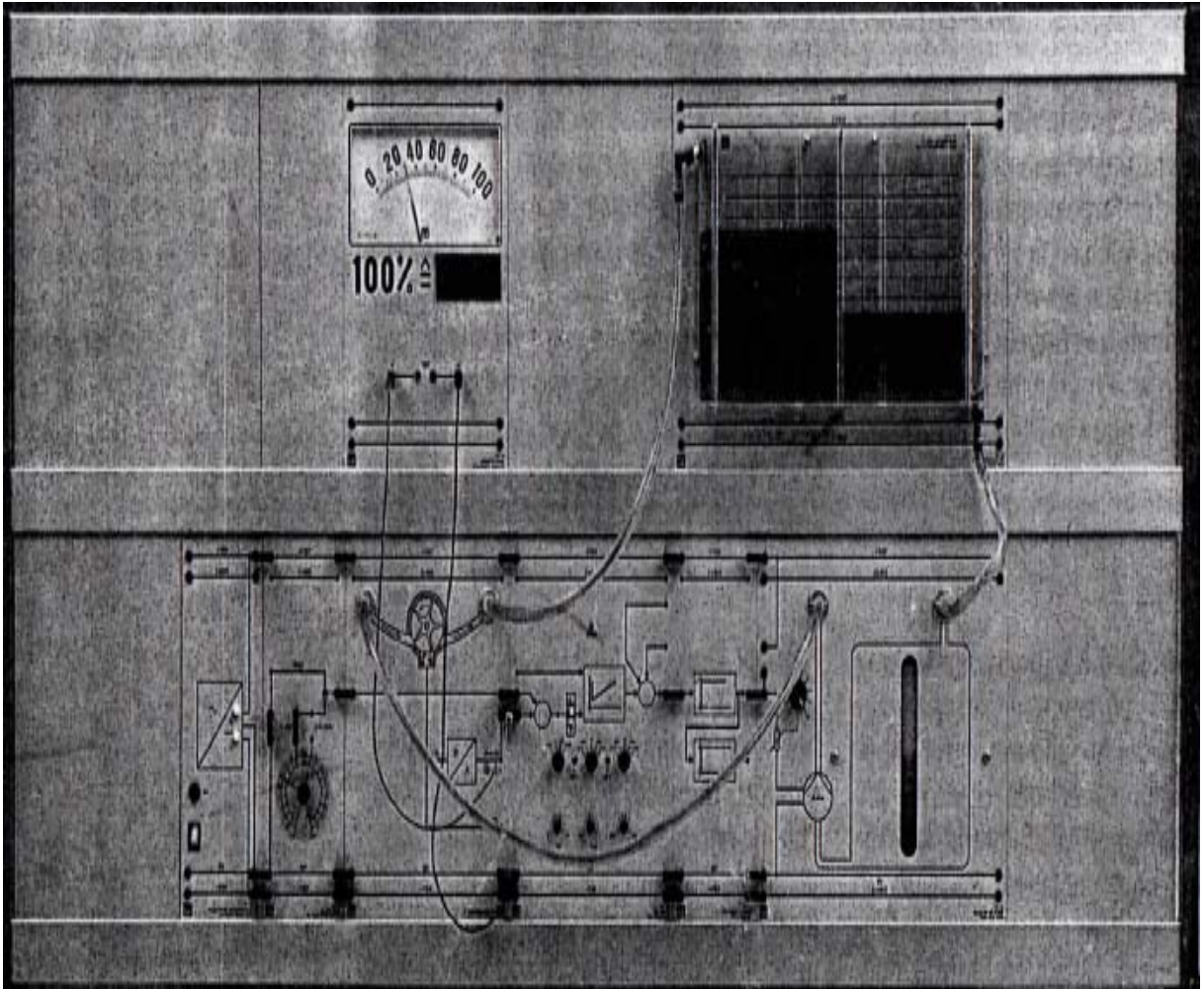
- pression nominale
- débit
- réglage
- encombrement
- stabilité de marche
- condition d'installation
- poids

2.2 appareillages utilisés

1	alimentation stabilisée ± 15 V	726 86
1	Indicateur de valeur de consigne	SO 3536-5A (ou 734 02)
1	Récipient avec pompe	734 25
1	réservoir à niveau	734 26
1	Interrupteur à bascule	579 13
2	Tuyaux en plastique \varnothing 8mm	734 28
1	Chronomètre	734 29
1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
	Appareil de mesure (voltmètre ou multimètre)	
1	Oscilloscope à mémoire	
1	Jeu de cavaliers	501 511
2	Adaptateurs pour sonde	
5	Câbles d'expériences	

2.3 Schéma d'installation et de raccordement

Voir figure de la page 23.



Question de contrôle

- 1) Quelles sont les grandeurs physiques ou techniques qui forment les grandeurs d'entrée X_e et de sortie X_a lorsque la pompe représente un élément de transfert dans la commande fermée ?
- 2) Déterminez comment on pourrait relever le débit de la pompe sans appareil de mesure de débit !

Remarque :

Pour le calcul du débit V en l/h :

$$X_a = V(l/h) = \frac{1l \cdot 3600s \times 1h}{t_{mes} (s)}$$

(t_{mes} → temps de remplissage en second).

- 3) Comment établir un tableau de valeur capable de consigner les valeurs X_e et X_a pour une analyse statique ? (Utilisez des valeurs moyennes).

Réglage de la pompe										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t(s) mes. 1										
t(s) mes. 2										
t(s) mes. 3										
$t_{mes.}$ (s)										
V(l/h)										

2.4 Conduite des essais

- Réalisez le dispositif expérimental selon le schéma des connexions (point 2.3).
- Analysez les caractéristiques statiques de la pompe. Pour cela vous utiliserez le réservoir avec tirette 0 à l'emplacement 1 et 5 afin que l'approvisionnement et l'écoulement se fassent par le haut.
Allez jusqu'à un volume de 1 litre.
Déterminez la relation $X_a = f(X_e)$ en réalisant plusieurs essais. (Utilisez des valeurs moyennes).

Déterminez le débit (V en l/h) correspondant à la solution proposée au paragraphe 2.4 question 2. Utilisez votre tableau de valeurs tel qu'il est décrit en 2.4 question 3.

2.5 Evaluation de l'essai

- Dessinez la caractéristique statique $X_a = f(X_e)$ et déterminez le facteur de transfert.
- Critiquer les résultats, effectuer un calcul d'erreur.

TP 5: Régulation de niveau (2)
Analyse des caractéristiques de la boucle de régulation

1 Objectifs pédagogiques

- 1.1 Connaissance des spécificités technologiques du réservoir.
- 1.2 Différenciation des caractéristiques de transfert selon le mode de fonctionnement (écoulement libre ou non).
- 1.3 Connaissance des caractéristiques de transfert de régulations types sur la base d'exemples pratiques.
- 1.4 Elaboration des possibilités du système par évaluation des réponses aux impulsions du système.
- 1.5 Approfondissement des exploitations de simulateurs en vue de tracer des courbes.

2 Préparation de l'essai

2.1 Bases théoriques

Les régulations rencontrées dans la pratique sont répertoriées selon différents critères. L'un d'eux sera le comportement de l'élément de transfert "Réservoir en tant que système" en régime permanent. Dans cette situation nous distinguerons les éléments de transfert proportionnels et intégraux.

Systeme proportionnels (P) → Systeme compensé
 Systeme intégral (I) → Systeme non compensé.

Indication

Un réservoir, qui constitue l'objet de la régulation par sa fonction et dans lequel les grandeurs à influencer logeront, pour avoir un comportement **P** ou **I**. des temps de fonctionnement pourront se greffer sur ces comportements, cela est dû au fait que le signal indiquant le niveau sera transmis à une vitesse finie.

Réservoir à comportement P (Figure 1)

$X_e : Q_{en}$

$X_a : Q_{ev}$

$$T \cdot Q'_{ev} + Q_{ev} = K_s \cdot Q_{en}$$

$$K_s = 1$$

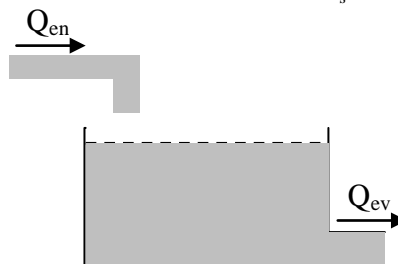


Figure 1 : Réservoir à comportement P

Commentaire

En régime permanent le débit entrant Q_{en} est égale au débit évacué Q_{ev} . Suite à une impulsion tendant à faire croître le niveau dans le réservoir, le niveau dans le réservoir commencera à augmenter.

Si le niveau augmente, le débit de sortie augmentera jusqu'à un nouvel équilibre. Celui-ci sera atteint lorsque le niveau aura la caractéristique permettant un débit d'entrée égale au débit de sortie.

Les limites d'utilisation sont données en fonction de Q_{en} et Q_{ev} .

Réservoir à comportement I

$X_e : Q_{en}$

$$Q_{en} = A \cdot \frac{dh}{dt}$$

$X_a : h$

$$Q_{en} = A \cdot \dot{h}$$

$$Q_{en} = \frac{e}{A} \int Q_{en} \cdot dt$$

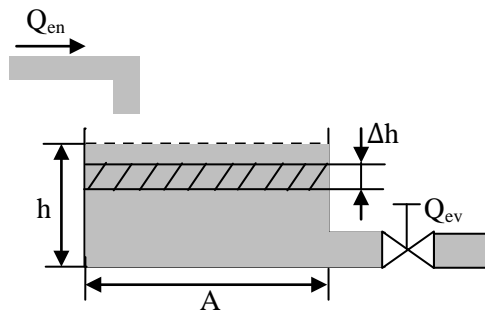


Figure 2 : Réservoir à comportement I

Commentaire

Tant que $Q_{en} = 0$ le niveau de réservoir reste constant. Si le débit d'entrée est augmenté d'un coup; le niveau augmente linéairement. La vitesse d'augmentation du niveau dépend de l'augmentation du débit et de la taille du réservoir.

Les limites d'utilisation (hauteur du réservoir) sont très vite atteintes ainsi la variante "réservoir à écoulement constant" s'impose à l'exploitation expérimentale.

Dans cette exploitation nous noterons :

$$X_a = K_I \cdot \int X_e \cdot dt$$

Aperçu de différents types de systèmes.

2.2 appareillages utilisés

1	alimentation stabilisée	726 86
1	Unité d'affichage de la valeur mesurée	734 41
1	réservoir à niveau	734 26
1	réservoir avec pompe	734 25
1	Tube plongeur	734 875
1	Régulateur PID	734 06
2	Tuyaux transparents ϕ 8mm	
1	Tuyau transparent ϕ 6mm	
1	Capteur de pression différentielle	734 81
1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
1	Oscilloscope à mémoire	
1	Jeu de cavaliers	501 511
	Câbles d'expériences	

2.3 Circuit/Schéma des connexions

Voir figure ci-dessous.



2.4 Questions de contrôle

- 1) Quelles est la fonction assignée au système inclus dans un système de régulation.
- 2) Comment obtient-on différents comportements de l'élément "réservoir" ? Précisez la méthode pratique de l'élaboration de ces différents comportements.

2.5 Conduite des essais

1. Réalisez le dispositif expérimental selon le schéma des connexions (point 2.3).
2. Analyser le comportement statique du réservoir.

Utilisez pour cela le réservoir avec la tirette 0 à l'emplacement N° 1. Analysez d'abord le réservoir avec écoulement libre. Placez ensuite à l'emplacement 5 les tirettes 1, 2, 3. Déterminez la relation $h = f(Q_{en})$. Prenez en compte les limites d'utilisation des appareils (débordement pour Q_{en} trop élevé) et déterminez le domaine d'exploitation correspondant à chaque tirette selon le tableau ci-dessous.

Réglage de la pompe										
	Q_{en}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
écoulement libre	h(cm)									
Tirette 1	h(cm)									
Tirette 2	h(cm)									
Tirette 3	h(cm)									

3. Analyser la caractéristique de transfert du réservoir sans écoulement.

3.1 Enregistrement de la réponse avec les réglages suivants :

- tirette 0 aux emplacements 1 et 5
- pompe sur 4
- enregistreur: oscilloscope

$$Y_1 = 1 \text{ v/cm (vertical)} \quad X = 5 \text{ s/cm (horizontal)}$$

3.2 Enregistrement avec

- tirette 0 aux emplacements 1 et 4
- pompe sur 4
- enregistreur: oscilloscope

$$Y_1 = 1 \text{ v/cm (vertical)} \quad X = 5 \text{ s/cm (horizontal)}$$

3.3 Enregistrement de la réponse indicielle pour le réglage suivant :

- tirette 4 en 3 et tirette 0 en 1 et 5
- pompe sur 3
- enregistreur: oscilloscope

$$Y_1 = 1 \text{ v/cm (vertical)} \quad X = 5 \text{ s/cm (horizontal)}$$

2.6 Evaluation des expériences

- 1) Tracez la caractéristique statique $h = f$ (Position de commutateur) et $h=f(Q_{en})$ pour le dispositif expérimental "réservoir à écoulement libre".
En quoi les différentes courbes correspondant aux différentes tirettes se distinguent-elles ?
- 2) Déterminez à partir des courbes
 - 2.1 Le type de la caractéristique de transfert
 - 2.1 Les valeurs caractéristiques correspondantes.

Régulation de température

La boucle de régulation de température (734 12 (page 30)) comporte « un four » sous la forme d'une ampoule électrique halogène (1) 12V, équipé d'un refroidisseur. Ainsi on réalise le premier accumulateur et une résistance.

Le 2^{ème} accumulateur de la boucle PT2 est matérialisé par la sonde PTC (2) à travers sa consistance et sa résistance de transfert correspondante.

L'ensemble est refroidi par un ventilateur abrité dans un tunnel transparent (6). Le ventilateur(3) est réglé par le commutateur (4). On peut également modifier le flux d'air par le positionnement du déflecteur (5).

L'alimentation de l'élément chauffant (7) est issue de l'amplificateur 734 13 à travers une diode, celle-ci garanti le fonctionnement de la boucle exclusivement dans le premier cadran (U et I positif). Un thermostat (bilame $\theta = 90^\circ - 180^\circ$) à réenclenchement automatique protège le système contre les surchauffes.

La température du four est mesurée au moyen de la sonde PTC (2), un convertisseur assure le passage du signal en :

Soit : 2 mA /10°C
Soit : 1V/10°C.

Le choix se fait avec le commutateur (8).

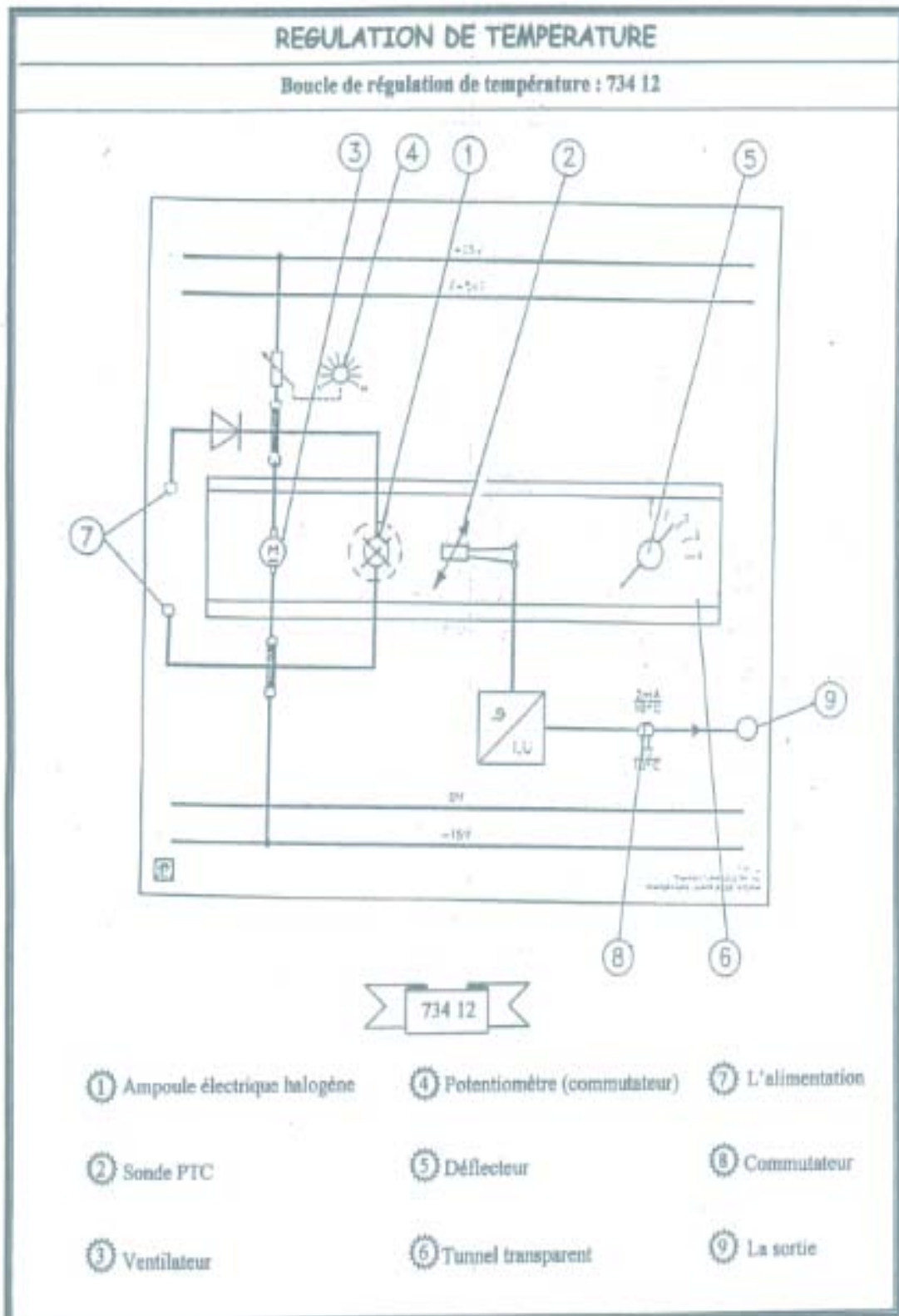
A la sortie (9), on a la grandeur réglée x.

Au début de la boucle se trouve le ventilateur (3), il est alimenté par un dispositif stabilisé ; ainsi le potentiomètre (4) permet de sélectionner des grandeurs perturbatrices constantes.

Le déflecteur (5) présente des réglages calibrés (z_2) a la sortie de la boucle.

Réglage conseillés

Ventilateur : 2
Déflecteur : 2



TP 6: Régulation de température (1)

Relevé de la caractéristique d'une installation de température réglée

1 Objectifs pédagogiques

- ❖ Relevé de la caractéristique de transfert, de la réponse de l'installation de régulation, du comportement à l'établissement et à l'arrêt de la grandeur de réglage, de l'écart de réglage.
- ❖ Elaboration d'une courbe de la grandeur de réglage issue des caractéristiques de la boucle et des essais.

2 appareillages utilisés

1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
1	Bloc d'alimentation ±15 V	726 86
1	Indicateur de valeur de consigne	734 02
1	Amplificateur de puissance	734 13
1	Boucle de régulation de température	734 12
1	Multimètre numérique	579 13
1	Oscilloscope à mémoire	
10	Jeu de cavaliers de 19 mm	501 111
10	Jeu de cavaliers de 19 mm avec reprise	501 112
2	Adaptateurs pour sonde	
5	Câble d'expérience	
	Fiche de travail et papier millimétré	

3 Introduction / Remarques

3.1 Avant de choisir un régulateur pour une installation réglée (inconnue), il faut au moins connaître la réponse indicielle de l'installation réglée.

Souvent, on examinera en plus la simulation de l'installation réglée avant de mettre l'installation réglée en service dans un circuit de réglage.

Il s'agit donc d'examiner cette installation de température réglée. Le mieux est d'enregistrer la réponse indicielle avec un enregistreur $y(t)$ car les installations de température réglées ont des temporisations longues.

3.2 Ayez un spray frigorigène ou un torchon humide (pas mouillé) à votre disposition pour refroidir rapidement l'installation réglée entre les expériences.

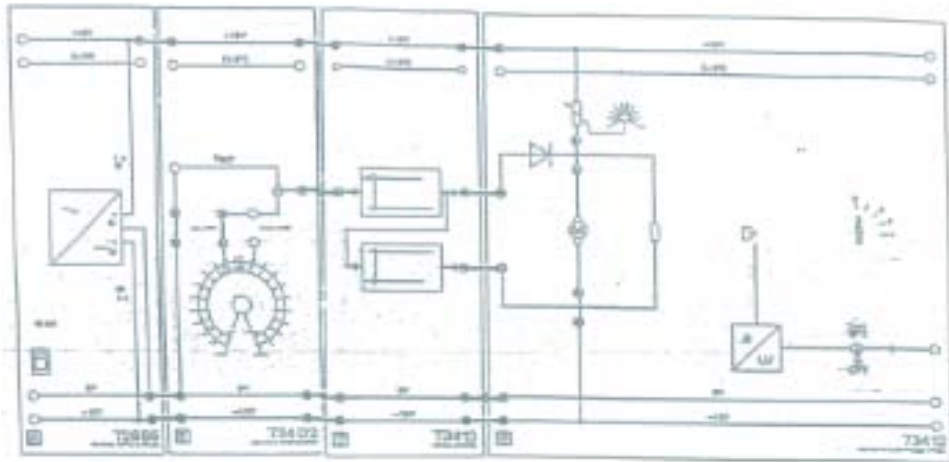
3.3 Pour obtenir un point initial défini prenez soin de démarrer l'enregistreur en même temps que le fonctionnement de l'installation de température. Beaucoup d'enregistreur $y(t)$ permettent aussi de marquer ce repère de temps ($t = 0$).

Observations



- Toute modification des circuits ne peut intervenir qu'après coupure du courant.
- Mise en service uniquement après vérification des montages.

Schéma 2



4 Réalisation

4.1 Réalisez le circuit selon le schéma 2 (page 32) et tenez compte des remarques concernant l'enregistreur.

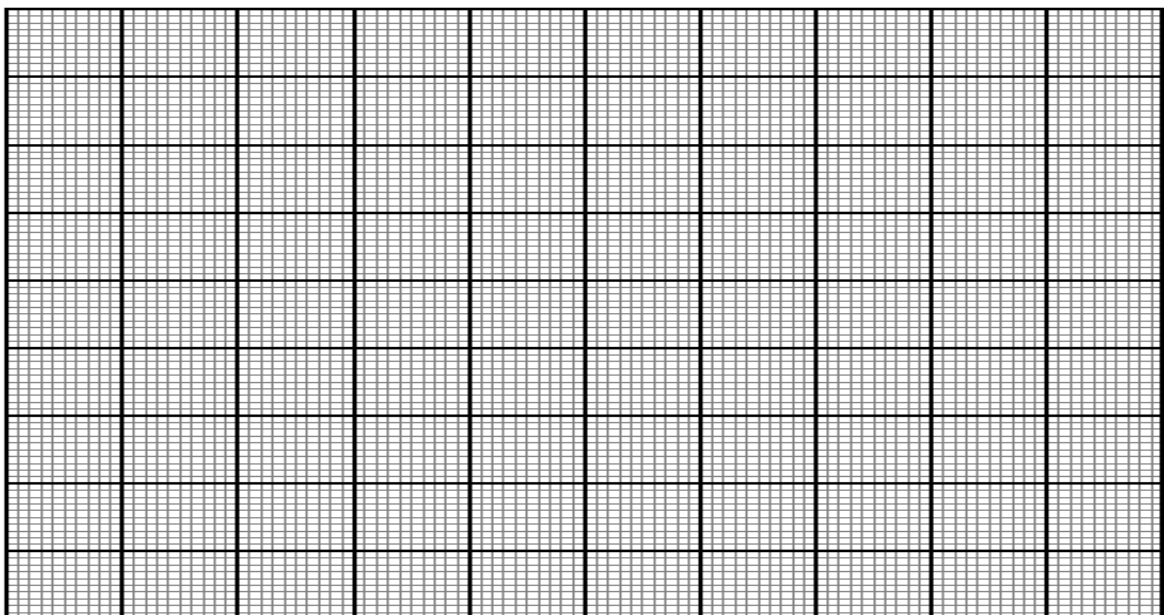
4.2 Vérifier le calibrage de la déviation de l'enregistreur et le branchement correct. Appliquez pour y parvenir une tension définie (par exemple 10V) et mesurez la déviation.

4.3 tracer la réponse indicielle de l'installation réglée avec la grandeur réglante maximal ($y=10V$).

La résistance série de l'installation réglée n'est pas connectée.

- a) Relever la courbe de l'oscilloscope à mémoire.

Réalisation (Fiche de travail 1)



b) Calculer :

- ❖ Température ambiante
- ❖ Augmentation de la température
- ❖ Retard de transmission : $T_u =$
- ❖ Temps de monté : $T_g =$
- ❖ Valeur maximale de la grandeur réglée : $X_H =$
- ❖ Grandeur réglante maximal : $Y =$

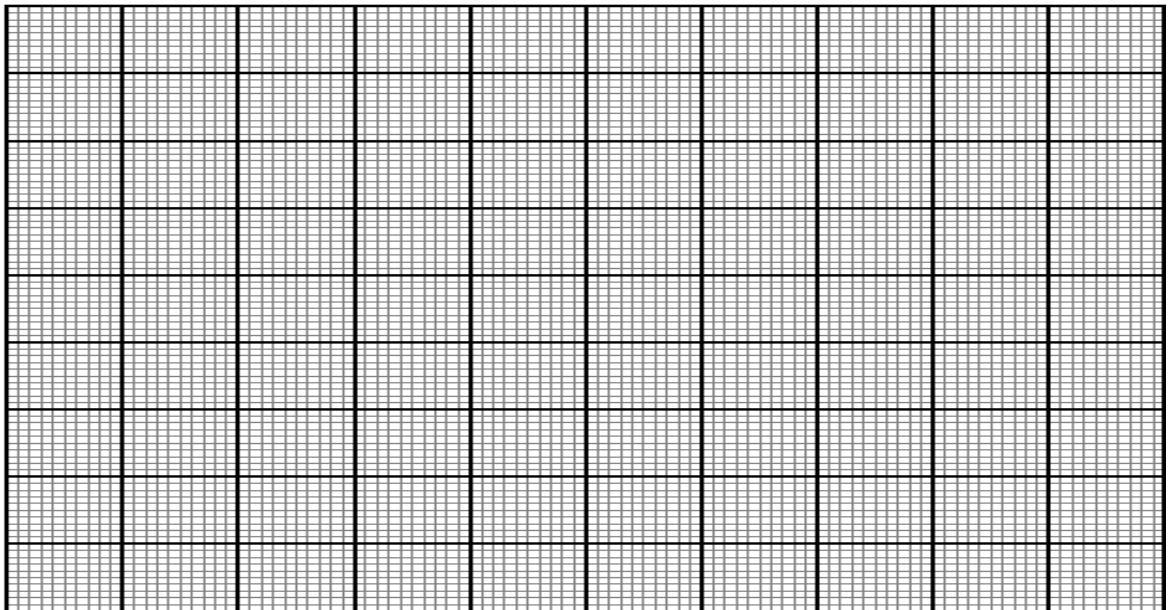
5 Réalisation

5.1 Diminuez la grandeur réglante d'à peu près 50% et tracez de nouveau la réponse indicielle.

La résistance série de l'installation réglée n'est pas connectée.

a) Relever la courbe de l'oscilloscope à mémoire.

Réalisation (Fiche de travail 2)



b) Calculer :

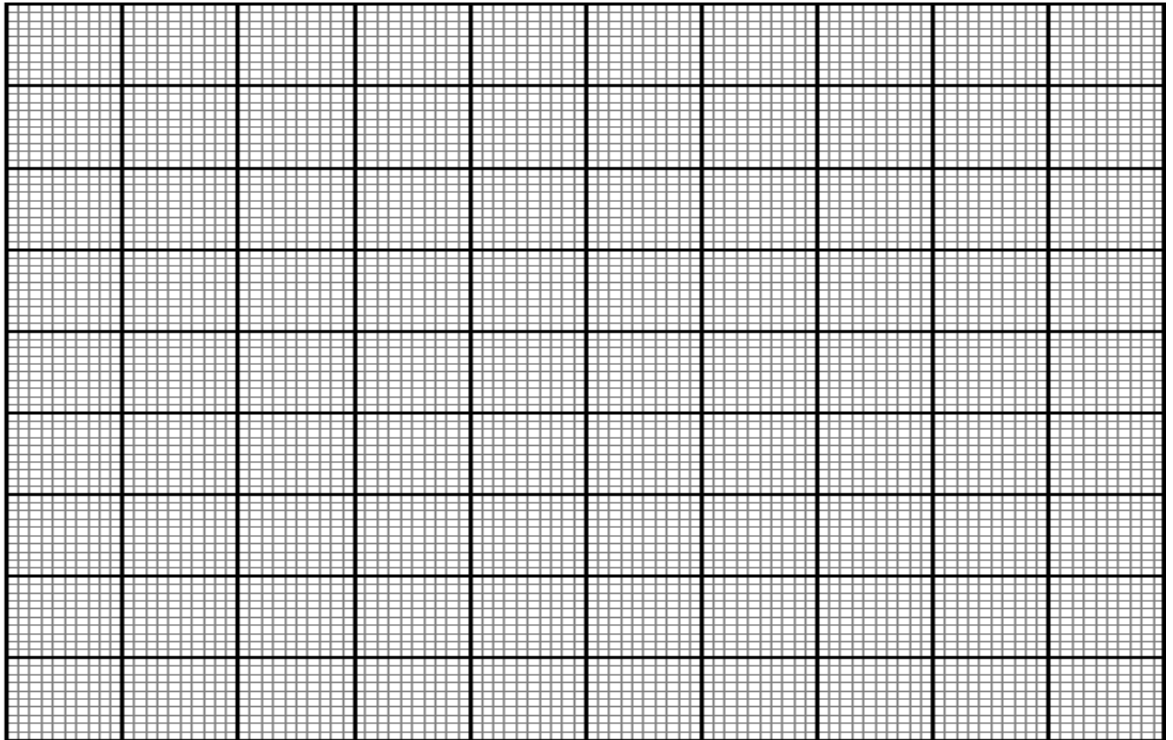
- ❖ Température ambiante :
- ❖ Augmentation de la température :
- ❖ Retard de transmission : $T_u =$
- ❖ Temps de monté : $T_G =$
- ❖ Valeur maximale de la grandeur réglée : $X_H =$
- ❖ Grandeur réglante : $Y =$

6 Réalisation

6.2 Connectez maintenant la résistance série dans l'installation réglée et tracez de nouveau la réponse indicielle selon 4.3.

- a) Relever la courbe de l'oscilloscope à mémoire.

Réalisation (Fiche de travail 3)



- b) Calculer :

- ❖ Température ambiante :
- ❖ Augmentation de la température :
- ❖ Retard de transmission : $T_u =$
- ❖ Temps de montée : $T_G =$
- ❖ Valeur maximale de la grandeur réglée : $X_H =$
- ❖ Grandeur réglante maximal : $Y =$

7 Réalisation

Recherchez les temps de retard et les périodes transitoires pour les trois réponses indicielles. Interprétez les résultats.

.....
.....
.....
.....
.....

8 Réalisation

Calculez les facteurs d'amplification pour les trois réponses indicielles.
C'est-à-dire calculer pour les trois essais :

$$K_{PSI} = \frac{X_H}{Y}$$

$K_{PS1} = \dots\dots\dots$

$K_{PS2} = \dots\dots\dots$

$K_{PS3} = \dots\dots\dots$

Interprétez-les ! (Conclusion)

.....
.....
.....
.....
.....
.....

TP 7: Régulation de température (2)

**Choix des points de fonctionnement et relevé des caractéristiques d'une
boucle de température**

1 Objectifs pédagogiques

- ❖ Choix d'un point de fonctionnement de la boucle de régulation en fonction des constituants de la boucle ou de la dimension souhaitée de la grandeur réglée.
- ❖ Constance des paramètres de la boucle
- ❖ Inconstance \Rightarrow adaptation de la régulation
- ❖ Relevé des paramètres de la boucle dans un domaine de réglage déterminé
Constance de ces paramètres?
- ❖ Domaine d'utilisation.

4 appareillages utilisés

1	Bloc d'alimentation ± 15 V	726 86
1	Indicateur de valeur de consigne	734 02
1	Régulation de température	734 12
1	Amplificateur de puissance	734 13
1	Régulateur PID	734 06
1	Cadre d'expérience, profilé H	LM 6208
1	Multimètre numérique	579 13
1	Cordon électrique rouge 50 cm	501 25
1	Cordon électrique noir 50 cm	501 28
1	Oscilloscope à mémoire	
10	Jeu de cavaliers de 19 mm	501 111
10	Jeu de cavaliers de 19 mm avec reprise	501 112
2	Adaptateurs pour sonde	
5	Câble d'expérience	
	Fiche de travail et papier millimétré	

5 Introduction / Remarques

Lors de la réalisation de boucles de régulation il est particulièrement important de choisir les points de fonctionnement de la boucle de telle sorte que le régulateur et la boucle puissent réagir bilatéralement à une modification de la valeur de consigne ou des valeurs perturbatrices.

Cela implique par exemple pour un générateur de 200 V / 1 KW qu'il peut avoir des réserves vers le haut afin de supplanter les perturbations.

Cette machine est donc sous dimensionnée si $P > 1K$. L'étendue du surdimensionnement dépend des perturbations prévisibles mais aussi du prix que l'on veut investir.

Ceci est aussi valable dans le cas d'un four à induction. Des valeurs absolues des grandeurs de perturbation dépendent de l'écart entre les points de fonctionnement et les paramètres de la boucle de régulation. Une valeur judicieuse est 50% mais cela est aussi un problème économique.

Une autre question importante est dans quel domaine les paramètres de la boucle restent ils constants? (Temps de retour à l'équilibre T_G , délai T_u , constante $K_s = x/y (t \rightarrow \infty)$).

Peut-on alors adapter des paramètres de réglage fixes ou doit-on les adapter ?

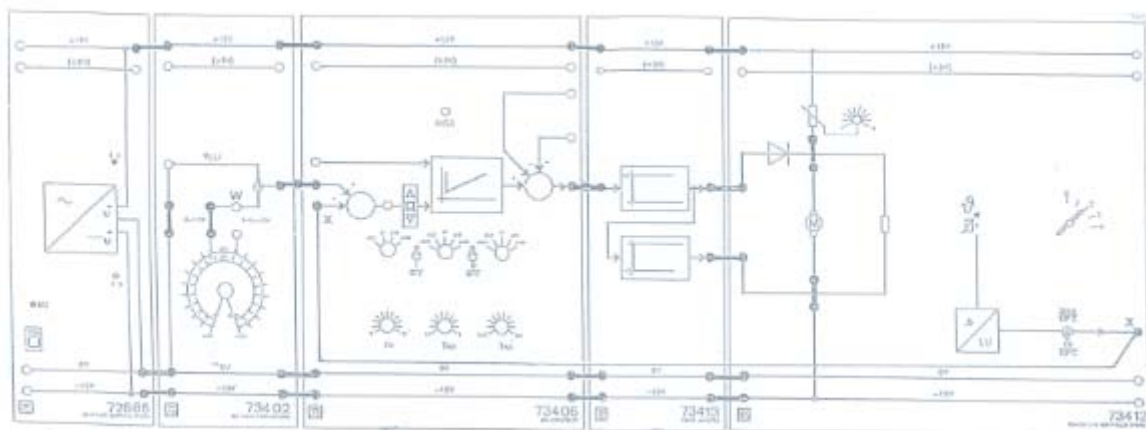
L'essai présente aussi une application de la méthode des tangentes issue des essais:

- Boucle de régulation retardée du 1^{er} ordre, 2^{ème} ordre et de degré supérieur.
- Régulateurs P, PD, PI et PID en commande de système de degré supérieur.

4 Plan de montage

Monter les appareils conformément au schéma 3.

Schéma 3



5 Applications

5.1 De quoi dépendent le point de fonctionnement de la consigne, la grandeur de réglage d'une boucle de régulation ?

Quels sont les contraintes appliquées aux éléments de puissance ?

Que se passe-t-il si l'on ne respecte pas ces contraintes ?

Limite des réalisations pratiques?

Réalisation idéale ?

Que faire lorsque les caractéristiques sont prédéterminées ?

Réalisation (Fiche de travail 1)

Si la valeur de consigne détermine le point de fonctionnement d'une boucle de régulation alors il faut s'assurer que les éléments actifs de la boucle (.....)

Soient paramétrés afin de pouvoirdans des conditions de travail acceptables et

Cela implique un afin de pouvoir réguler des dépassant les valeurs nominales.

Le pouvoir régulant des éléments actif doit ainsi être (avec réserve) au pouvoir régulant nominal. Si cela n'est pas le cas, la boucle ne plus à partir d'une certaine valeur de surcharge

Les limites des réserves sont déterminées par des

Le point de fonctionnement idéal se situe au : ainsi le régulateur peut aller également vers le haut et le bas. Le point de vue économique joue en de cette condition.

Si les caractéristiques sont préétablies le point de fonctionnement sera choisi

5.2 Si l'on travaille dans un vaste domaine il est important que les réglages et les paramètres de la boucle restent constants.

Quels sont-ils ?

Qu'est ce qui est nécessaire lorsque ces paramètres varient ?

Quel type de régulation s'impose alors ?

Exemple

Réalisation (Fiche de travail 2)

Les paramètres de la boucle

Constante	$K_s = x / y_{(t \rightarrow \infty)}$
Temps	T_u
Temps	T_G

Ces paramètres devront être maintenus dans le domaine de fonctionnement de la boucle de régulation si les réglages effectués doivent être respectés.

Si de fortes variations apparaissent dans les valeurs de ces paramètres, il faudra adapter les réglages. C'est alors une régulation "adaptée".

Exemple :

Une centrale de production électrique lors de la consommation maximale et lors des heures creuses (exemple : la nuit).

5.3 Réalisez le montage selon le schéma 3 avec les réglages suivants :

Réglages :

Boucle : déflecteur : 2
ventilateur : 2

Régulateur : $K_p = 0.1 \times 10 = 1$

$T_n =$ et $T_v = 0$ (éteints)

Relevez pour $U_w = 6V, 8V, 10V$ la réponse de la boucle et donnez les températures atteintes.

Oscilloscope :

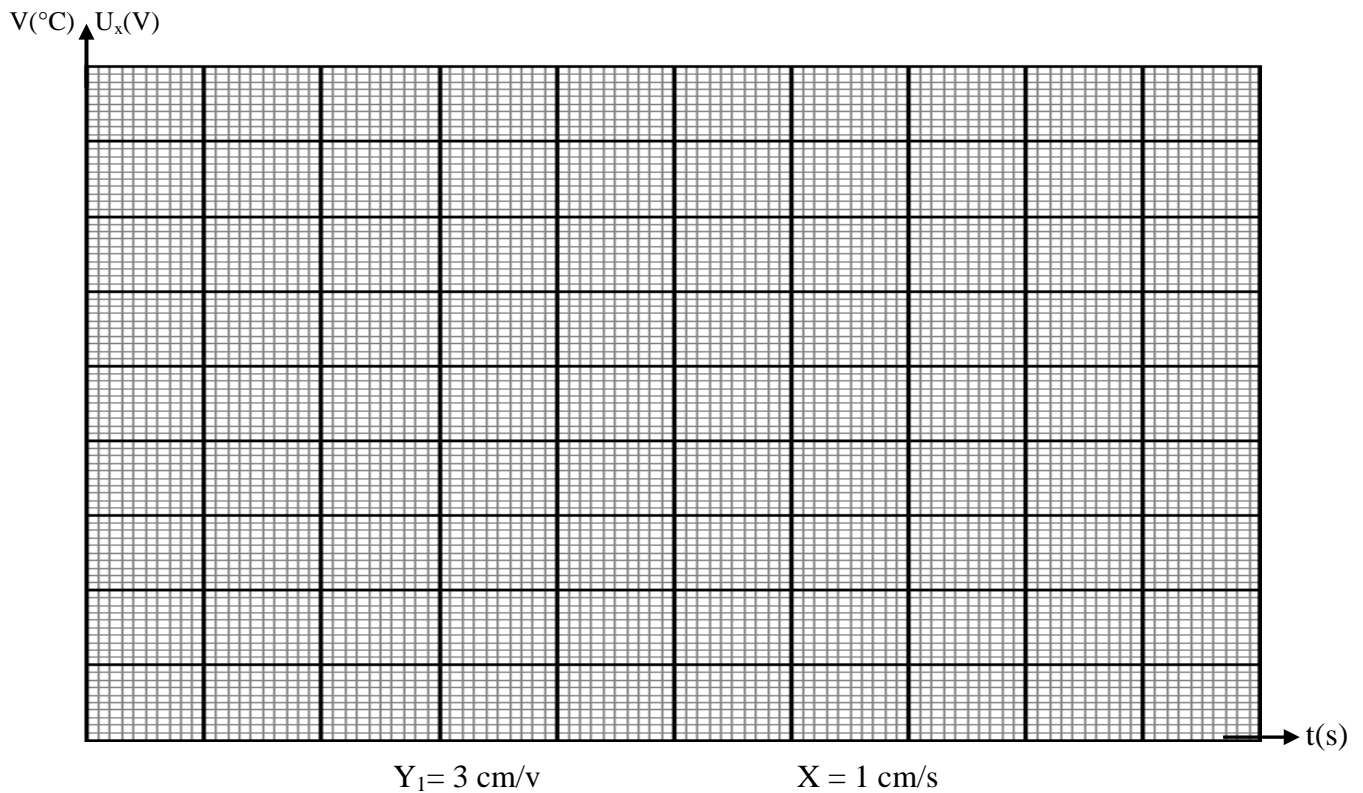
Calibrez l'oscilloscope à y (3cm/v) et réglez x (1 cm/s)

Relevez les courbes à partir de l'oscilloscope à mémoire.

Réalisation (Fiche de travail 3)

Courbes

Caractéristiques de transfert $x = f(t)$ $y = cte$ $w = cte$



5.4 Déterminez à l'aide de la méthode des tangentes les valeurs de T_g , T_u , T_g/T_u et K_s pour les 3 valeurs de U_w .

$$K_s = \frac{x}{y_{(\rightarrow \infty)}} = \frac{U_x}{U_y} = \frac{U_\theta}{U_w}$$

Avec $U_0 =$ tension (image de la température) avec $1V/10^\circ C$

Réalisation (Fiche de travail 4)

Remplir le tableau 1:

$U_w = y$	$\theta = x$	T_G/s	T_U/s	T_G/T_U	$K_s = x/y^*$	U_x/V
6 V
8V
10V

* si $K_p = 1$, alors $y = w \rightarrow K_s = x/w$

Constance des paramètres ?

Les paramètres de la boucle se situent dans un domaine de fonctionnement compris entre 6 et 10 V. ce qui correspond à des températures $\leq \theta \leq$ °C.

5.5 Dans quel domaine se situe-t-on lorsqu'on relève $U_w = 8V$ pour $N_8 = 100\%$?

Réalisation (Fiche de travail 5)

Avec $U_w = 8V$ pour $N_8 = 100\% = N_8/R$

On obtient :

$$U_w = 10V \rightarrow N_{10} = (N_8 \dots\dots\dots / \dots\dots\dots)^2 \cdot 1/R = \dots\dots\dots N_8$$

et

$$U_w = 6V \rightarrow N_6 = (N_8 \dots\dots\dots / \dots\dots\dots)^2 \cdot 1/R = \dots\dots\dots N_8$$

La boucle pourra être sollicitée entre :

$$0.56 N_8 \leq N_8 \leq 1.56 N_8.$$

Annexe : Généralité sur la régulation

A.1. Notion de Boucle Ouverte/Fermée

A.1.1 Système en boucle ouverte

Un système en boucle ouverte est un système qui ne comporte pas de contre-réaction (« feedback ») entre la sortie et l'entrée. Classiquement, il est composé du processus physique, d'un capteur pour en mesurer la sortie et d'un actionneur pour agir sur la grandeur d'entrée du processus.

On peut représenter un système en boucle ouverte (BO) par le schéma de principe suivant :

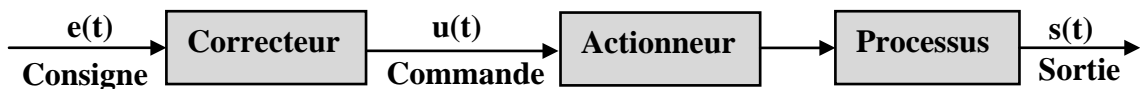


Figure A. 1 : Système en boucle ouverte

En résumé, la BO (boucle ouverte) possède les inconvénients suivants :

- ❖ On ne peut commander/asservir/réguler des systèmes instables,
- ❖ Les perturbations ont des effets indésirables non compensés,
- ❖ Il est difficile d'obtenir une sortie possédant la valeur souhaitée avec précision et rapidité.

Ces problèmes vont être résolus (ou sensiblement améliorés) par l'introduction d'un « feedback »

⇒ notion de boucle fermée (BF).

A.1.2 Système en boucle fermée

On peut représenter un système en boucle fermée par le schéma de principe suivant :

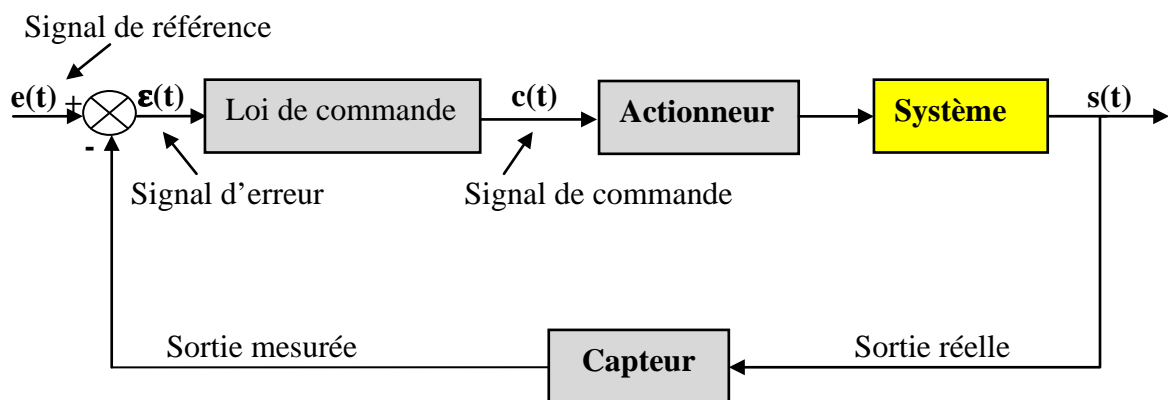


Figure A. 2 : Système en boucle fermée

Si on compare la mesure de la sortie du système à une grandeur de consigne (ou référence), on sera capable d'agir sur la grandeur d'entrée du système (la commande), pour en corriger le fonctionnement.

On notera sur ce schéma la présence d'un organe chargé d'effectuer la comparaison des signaux d'entrée (consigne encore appelée référence) avec la mesure. En réalité (dans la pratique), on ne compare pas directement la consigne à la mesure mais plutôt des tensions représentant ces deux grandeurs.

Avec la boucle fermée on introduit la notion *d'asservissement*.

A.2. Régulation et asservissement.

La majorité des processus industriels nécessitent le contrôle d'un certain nombre de grandeurs physiques telles que la température, la pression, le niveau, le débit, le pH, la concentration, etc. Il appartient à la chaîne de régulation (et plus généralement à la chaîne d'asservissement) de maintenir ces grandeurs à des niveaux prédéterminés.

A.2.1. Régulation.

Toute chaîne de régulation comprend trois éléments indispensables :

- ❖ l'organe de mesure (transmetteur);
- ❖ l'organe de régulation (régulateur);
- ❖ l'organe de contrôle (actionneur).

Il faut commencer par mesurer les grandeurs à contrôler. L'organe de régulation récupère 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 régulation envoie une commande à l'organe de contrôle (vanne, moteur, etc.), afin que celui-ci agisse sur le processus. Les paramètres qui régissent le processus sont ainsi stabilisés en permanence à des niveaux souhaités.

L'objectif d'une boucle de régulation est donc de maintenir constant la grandeur contrôlée conformément à la consigne (constante) indépendamment des perturbations. S'il n'y a pas de perturbations, on n'a pas besoin de faire la régulation.

A.2.2. Asservissement.

Dans une boucle dite d'asservissement, on retrouve les mêmes organes que dans une boucle de régulation ; cependant la grandeur contrôlée est tenue à suivre le plus fidèlement possible les variations de la consigne.

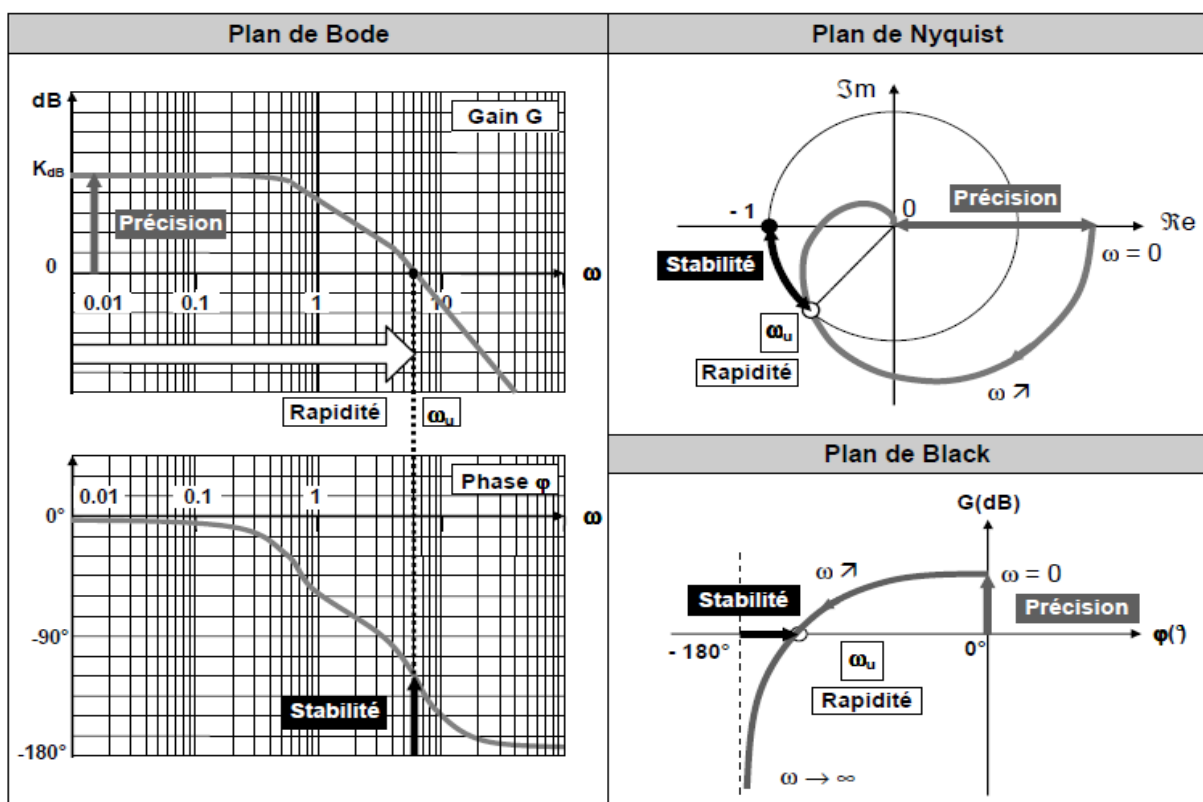
Une boucle d'asservissement répond à un besoin (garantir la position d'un mobile, sa vitesse en toutes circonstances, reproduire aussi fidèlement que possible une consigne, etc.). Les exigences permettant de quantifier ce besoin se traduisent par des performances attendues.

Ces performances et leurs niveaux sont consignés dans le Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF) :

- Précision (ϵ_s, \dots), Amortissement, Dépassement (D%) ou non, Rapidité ($t_{r5\%}$)

Le concepteur intègre ces contraintes dans ses calculs d'avant-projet en évaluant dans un premier temps les performances intrinsèques du système, puis en les améliorant par une **correction** ou **compensation**.

Cette dernière est effectuée dans le **domaine fréquentiel** en travaillant sur la réponse harmonique en Boucle Ouverte (BO) dans le plan de Bode, de Nyquist ou de Black.



La stabilité

La stabilité est liée aux caractéristiques de la Fonction de Transfert en boucle ouverte (FTBO) au voisinage de ω_u .

Un système est d'autant plus stable en boucle fermée (BF) que sa marge de phase M_ϕ est importante.

La précision

La précision est conditionnée par la forme de la FTBO aux "basses fréquences".

Elle requiert un **gain élevé** $K_{dB}=20 \cdot \text{Log}_{10}K$ et /ou une plusieurs **intégrateurs** en BO.

La rapidité

La rapidité est conditionnée par la caractéristique de la FTBO aux "hautes fréquences".

Elle exige une **bande passante** (ω_u) à 0 dB du système la plus grande possible.

A.2. 3 Objectifs de la régulation

Le rôle de l'automaticien (chargé d'obtenir un système régulé) sera multiple :

- ❖ Instrumenter le système : choisir les capteurs et actionneurs en fonction des besoins physiques, de coût et de performances demandées au système.
- ❖ Déterminer les relations entrées-sorties du système, des capteurs et des actionneurs. On parlera dès lors de :
 - **modéliser** quand on s'attachera à déterminer la structure mathématique de ces relations.
 - **identifier** quand on s'intéressera à calculer les coefficients du modèle.
- ❖ Synthétiser une loi de commande (un correcteur) afin d'obtenir un système performant : **précis, rapide et stable**, tout en s'affranchissant des influences néfastes des perturbations.
- ❖ Le système ainsi corrigé (asservi, régulé) devra assurer deux objectifs :
 - la **poursuite** : suivre une entrée de consigne (référence). On désire asservir la sortie à l'entrée (la sortie doit « ressembler » le plus possible à l'entrée) et ainsi assurer des performances (stabilité, rapidité, précision).
 - La **régulation** : annuler (ou diminuer) les effets de la (ou des) perturbation(s).

A.3 Correcteurs série usuels

Il y a des correcteurs qui modifient le gain du système en BO (précision), d'autres qui agissent sur la marge de phase (stabilité, rapidité).

- **Correcteurs qui modifient le gain**
 - ❖ Correcteur proportionnel (P)
 - ❖ Correcteur intégral (I)
 - ❖ Correcteurs proportionnel-intégral (PI), à retard de phase
- **Correcteurs qui modifient la marge de phase**
 - ❖ Correcteur proportionnel dérivé (PD)
 - ❖ Correcteur à avance de phase
- **Correcteur réalisant les deux actions**
 - ❖ Correcteur proportionnel-intégral-dérivateur (PID)

A.3.1 Le correcteur P ou correcteur proportionnel

Le correcteur est un gain K_c : $C(s) = K_c$

Remarque :

- Le correcteur P ne permet pas de régler indépendamment la rapidité, la précision et les marges de stabilité.

A.3.2 Le correcteur PI ou correcteur proportionnel intégral

C'est la combinaison de P et de I

$$C(s) = K_c + \frac{K_c}{T_i s} = K_c \frac{1 + T_i s}{T_i s}$$

T_i : constante d'intégration

A.3.3 Le correcteur PD ou proportionnel dérivé

PD : combinaison des correcteurs P et D

$$C(s) = K_c (1 + T_d s)$$

T_d : constante de dérivation

Plus T_d est grande, plus l'action dérivée est importante

A.3.4 Le correcteur PID ou proportionnel intégral dérivé

PID : combinaison des correcteurs P, I et D

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_c \frac{T_i T_d s^2 + T_i s + 1}{T_i s}$$

T_i : constante d'intégration

T_d : constante de dérivation

Bibliographie

- [1] E. Magarotto., Cours de Régulation, Université de Caen IUT Caen - Département Génie Chimique et Procédés, greyc.ismra.fr, Année Universitaire 2004-2005.
- [2] I. Aksas., Commande d'un générateur de vapeur à charge variable. Thèse de doctorat, IDN Lille, 1988.
- [3] Technique TPS 8.2.2.2 Régulation de température, LEYBOLD DIDACTIC GMBH. Context Gesellschaft fur Sprachendienste mbH, COLOGNE, RFA.568 073.
- [4] Principes de base de la technique de réglage pour la technique de l'entraînement EBD V / SO 5164-5A. E3 Machines électriques et l'entraînement, LOCAS-NOLLE.
- [5] Principes de base de la technique de réglage, IBC1/ SO 5164-1V. LOCAS-NOLLE.
- [6] F. H. Effertz and H. W. Huesch., Technology T 8.2 Fundamentals of Automatic Control Technology II. Experiment-based Fundamentals of Automation Systems. 568 222. By Leybold Didactic GmbH.
- [7] Technique TPS 8.2.2.4 Régulation de niveau, LEYBOLD DIDACTIC GMBH. Context Gesellschaft fur Sprachendienste mbH, COLOGNE, RFA. 568 093.
- [8] 1417681852-ACT FRA_regulation_lukasNull "TECHNOLOGIE DE LA REGULATION AUTOMATIQUE".
- [9] Boucles de régulation, par BHALY : BHALY Autoédition, N° BU 629.8
- [10] Bases LH de la technique de régulation I. Expériences : "Système de régulation retardé de 1er et 2eme ordre ", "Régulateur P, PD, PI, et PID sur un système d'ordre supérieur".
- [11] P. Borne., Analyse et régulation des processus industriels, Edition Technip. 1992.
- [12] B. Ould Bouamama., Théorie des systèmes, support de cours pour 3^{ième} cycle en gestion industrielle ESC de Lille, 1994-1995.
- [13] B. Billaudot., Régulation et croissance. Une macroéconomie historique et institutionnelle, Paris, L'Harmattan, 2001, 304 p.
- [14] L. Frédéric dir., Conflits et pouvoirs dans les institutions du capitalisme, Presses de la Fondation des Sciences Politiques, Paris, coll. Gouvernances, 2008, 339 p.
- [15] B. Robert., Théorie de la régulation, Les fondamentaux, Paris, La découverte, collection Repères, 2004.
- [16] <http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/auto/cours/cours6.pdf>