

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHRCHE
SCIENTIFIQUE**



UNIVERISTE MOULOD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE

Présenté à l'université de Tizi-Ouzou
Pour l'obtention du Diplôme de
MASTER ACADEMIQUE
En Electrotechnique
Option : Machines électriques

THEME

**ETUDE ET MODELISATION SOUS MATLAB-SIMULINK D'UNE COMMANDE
D'UN SYSTEME HYDRAULIQUE ET VALIDATION SUR UNE MAQUETTE
EXPERIMENTALE.**

Proposé et suivi par :

Mr. R. MANSOURI

Etudié par :

Mr. SI BRAHIM MADJID

Mr. DJADANE MUSTAPHA

Promotion 2010

Remerciements

Tout d'abord nous remercierons Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la bonne santé, la volonté et la patience durant toutes ces années d'études.

Nos remerciements vont à nos familles qui nous ont soutenus tout au long de notre cursus scolaire et universitaire.

Nous tenons aussi à exprimer nos vifs remerciements et reconnaissance à Monsieur, MANSOURI.R, notre promoteur, pour sa patience et ses qualités scientifiques et humaines dont il a fait preuve.

Dédicace

Je dédie ce travail ;

*A celle qui m'a toujours bercé avec l'amour et l'affection et
consacré sa vie pour mes études ; ma mère*

A la mémoire de mes grands parents

A mon père

*A mes sœur ; Nacera et Tassadit, mes frère ; Mohamed et
Ammar*

A mon oncle Rachid et sa famille

A ma cousine et sa famille

A tous mes amis et ancien amis de technicum N.ville et en CEM

A toute la promotion master 2010, ainsi nos collègues ingénieurs.

Madjid

Dédicace

A celle qui ma toujours bercé avec l'amour et l'affection; Ma mère

A la mémoire de mon père

A ma sœur, Samira et mes frères , Lounis et Tarik

A ma cousine ouiza

Aux petits kimo ;nina razki et djodja

*A tout mes amis et anciens amis de S3 en particulier, abdou,
aziz,julyes,khosin,moh, horia ,hassina ,kami,Kami, monika soraya et
wassila .*

*A toute la première promotion master ainsi que nos collègues
ingénieurs.*

Mustapha

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes asservis	
I. Introduction	3
II. Définition d'un système asservi	3
III. Asservissement et régulation	3
IV. Classification des systèmes asservis	5
IV.1 Leur nature	6
IV.2 Leur structure	6
IV.3 Leur comportement	6
IV.3.1 Linéaire	6
IV.3.2 Non linéaire	7
V. Identification d'un système	7
V.1 Les signaux d'entrée typiques	7
V.1.1 Signal d'entrée de Dirac	8
V.1.2 Signal d'entrée constant	8
V.1.3 Signal rampe	9
V.1.4 Signal d'entrée sinusoïdal	9
V.2 Transformation de LAPLACE	10
V.3 Fonction de transfert	10
VI. Performances des systèmes	11
VI.1 La stabilité	11
VI.1.1 Condition sur la fonction de transfert	11
VI.1.2 Critères de stabilité	13
VI.2 La précision	16
VI.3 La rapidité	17
VI.4 L'amortissement	18

VII.	Méthodologie d'étude des systèmes asservis	19
VIII.	Théorie de régulation	21
IX.	Principe général de la régulation	21
X.	Commande en boucle ouverte	21
XI.	Régulation en boucle fermée	22
XII.	Actions élémentaires d'un régulateur PID	22
	XII.1 L'action proportionnelle	22
	XII.2 L'action intégrale	23
	XII.3 L'action dérivée	23
XIII.	Régulateurs P, PI, PID	24
	XIII.1.1 Le régulateur P	24
	XIII.1.2 Le régulateur PI	24
	XIII.1.3 Le régulateur PID	25
XIV.	Influence des paramètres PID	27
XV.	Méthode de synthèse des régulateurs	28
XVI.	Conclusion	28

CHAPITRE 2 : Présentation, modélisation et identification du système

I.	Introduction	29
II.	Présentation de la maquette	29
	II.1 La pompe	30
	II.2 Le capteur	30
	II.3 Les deux réservoirs	30
	II.4 Les deux vannes manuelles du réservoir haut	31
	II.5 Source d'alimentation de tension variable	31
	II.6 Régulateur	32
III.	Représentation par schéma bloc	32
	III.1 La pompe	33
	III.2 Débit d'entrée	35
	III.3 Hauteur d'eau dans le réservoir	35
	III.4 Le capteur	36
	III.5 Le régulateur	37
IV.	Identification	38
	IV.1 Etude de la caractéristique entrée/ sortie du système global	38
	IV.2 Identification du gain de capteur	39
	IV.3 Identification de la fonction de transfert du système de remplissage	40
V.	Simulation sous matlab	43
	V.1 Reponse indicielle du système pour $E = 10 V$	43
	V.2 Représentation du schéma fonctionnel global du système	45
VI.	Conclusion	47

Chapitre 3 : Etude du système en boucle fermée

I.	Introduction	48
II.	Calcul du régulateur proportionnel pour stabiliser le niveau	48
III.	Testes expérimentaux	51
	III.1 Courbes relevées par oscilloscope	52
	III.2 Courbes relevées par logiciel	53
	III.3 Comparaison des résultats	55
IV.	Conclusion	60
	Conclusion générale	61
	Annexe	62
	Bibliographie	

Introduction générale

Introduction générale

Un système automatique cherche toujours à réaliser un certain nombre d'opération sans intervention de l'homme. Dans certains cas, le but est de remplacer l'homme pour des raisons économiques ou pour lui éviter des tâches pénibles. Dans d'autres cas le but est d'obtenir un produit de meilleure qualité.

Il existe en fait deux grands domaines en automatique. D'une part, on peut rechercher l'automatisation d'une séquence d'instructions connues à l'avance, on a alors affaire à un système dit séquentiel, ce travail est réalisé à l'aide d'automate programmable industriel (API). D'autre part, on peut chercher à assurer la régulation d'une grandeur physique ou imposer à cette dernière une certaine évolution, on entre alors dans le domaine de l'asservissement.

De manière générale, avant de calculer les paramètres de régulateur d'un système physique, on a besoin d'un modèle mathématique qui présente son évolution dynamique le plus parfaitement que possible, pour obtenir ce modèle, on a deux méthodes :

La première est de modéliser le système par ses équations mathématiques en utilisant les lois fondamentales qui le régissent. On obtient alors un modèle de connaissance, son intérêt est que les grandeurs sont correctement maîtrisables et les paramètres du modèle ont un sens physique par contre, il est très difficile de mesurer ces paramètres, ceci constitue l'inconvénient de ce genre de modèle.

La deuxième méthode est de considérer le système comme une boîte noire puis on injecte à l'entrée des signaux connus, et on récupère à la sortie un signal transformé par le système. Par la méthode d'identification, on détermine alors la fonction de transfert du système. L'avantage de cette méthode est qu'elle est relativement simple à mettre en œuvre. Par contre les paramètres du modèle ainsi obtenu n'ont aucun sens physique

L'identification est une approche expérimentale pour la détermination du modèle dynamique d'un système. Elle comporte quatre étapes :

- Acquisition des entrées / sorties sous un protocole d'expérimentation.
- Choix ou estimation de la complexité du modèle.
- Estimation des paramètres du modèle.

- validation du modèle identifié.

Dans ce cas, on obtient un modèle approché, mais on ne peut pas faire le lien entre les paramètres de la fonction de transfert et les paramètres réels du système.

Dans notre travail, on s'intéresse particulièrement à la deuxième méthode. Il consiste à l'étude d'une commande d'un système hydraulique. Ce système consiste en une maquette pédagogique qui sert de travaux pratiques dans le laboratoire d'asservissement. Nous le présentons en trois chapitres.

Dans le premier chapitre on présente les généralités sur les systèmes asservis qui serviront ensuite comme référence à l'étude et la commande des systèmes.

Le deuxième chapitre consiste à la présentation de la maquette et la modélisation de chaque bloc constituant le système afin d'aboutir au schéma de simulation global. Ensuite, on effectue l'identification afin d'obtenir le modèle approché du système.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la commande du système en boucle fermée. Il comporte deux parties, la première consiste à l'utilisation d'un oscilloscope pour visualiser le signal de sortie, la valeur du régulateur proportionnel dans ce cas en utilisant le clavier de ce régulateur. La deuxième consiste à introduire les paramètres de régulateur par l'intermédiaire d'un PC à l'aide d'un programme régulateur PID. Celui-ci permet également de visualiser les signaux de commande et de sortie du système. Les courbes relevées sont ensuite comparées à celles obtenues par simulation.

Le mémoire est clôturé par une conclusion générale

Chapitre 1

Généralités sur les systèmes asservis

I. Introduction :

De puis la nuit des temps l'homme a cherché des moyens mécaniques susceptibles de l'aider, voir même de le remplacer pour accomplir certaines tâches pénibles. Cette envie de se faire remplacer par des machines a donné naissance à une discipline qui est l'automatique. Le développement que connaît cette dernière lui permet d'occuper une place importante dans le monde moderne, la recherche des performances, la conception et la construction des appareils de plus en plus complexes et d'une grande crédibilité, permettent d'analyser les systèmes et d'optimiser leurs fonctionnements et le moyen de concevoir comment fonctionnent ces systèmes constitue un intérêt majeur dans le monde de l'industrie.

II. Définition d'un système asservi [1]

Un système asservi est un système de commande qui possède les deux propriétés suivantes :

- C'est un système à retour négatif.
- C'est un système à amplification de puissance.

Cette deuxième propriété est incluse dans la première car le bouclage négatif implique qu'on utilise l'écart entre l'entrée et la sortie pour commander le système. Cet écart ne peut avoir l'effet sans amplification.

On peut donc définir la structure générale d'un système asservi par la figure 1-1

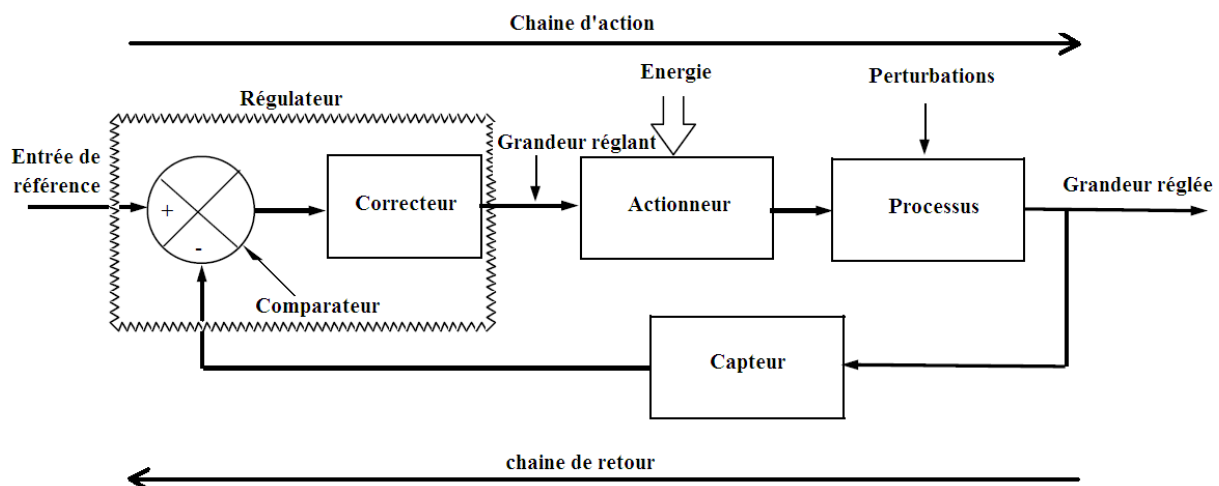


Figure 1-1. Structure d'un diagramme fonctionnel d'un système asservi.

L'ensemble des blocs et information régissent le fonctionnement d'un système asservi sont :

- **Le processus**

C'est un système qui suit des lois physiques qui lui sont propres et qui dépendent de l'énergie transmise par l'actionneur et des éventuelles perturbations extérieures.

- **L'actionneur**

Sur la chaîne d'action, il joue le rôle d'amplificateur réglable selon la commande qui lui est appliquée et il délivre la puissance nécessaire à la réalisation de l'action.

- **Le régulateur (comparateur + correcteur)**

Son rôle est essentiel, c'est l'organe intelligent du système asservi. Il réalise la comparaison entre la grandeur de consigne et la grandeur de retour et délivre la grandeur de commande adéquate.

Remarque : Pour calculer cette différence, il faut que les deux signaux soient de mêmes natures.

- **Le capteur**

Le capteur est l'élément capital et le premier maillon d'une chaîne de mesure. Il délivre l'information image de la grandeur physique de sortie qui doit être régulée ou asservie à la consigne. Sa précision joue un rôle essentiel si l'on veut concevoir un système bouclé performant.

- **Entrée de consigne**

La consigne, est l'entrée d'action, c'est la grandeur réglante du système.

- **Sortie régulée**

La sortie régulée représente le phénomène physique que doit régler le système.

- **Perturbation**

On appelle perturbation tout phénomène physique intervenant sur le système qui modifie l'état de la sortie. Un système asservi doit pouvoir maintenir la sortie à son niveau indépendamment des perturbations.

- **Erreur ou écart**

On appelle erreur ou écart, la différence entre la consigne et la mesure de la sortie. Cette mesure ne peut être réalisée que sur des grandeurs de même nature.

- **Chaîne d'action**

C'est la chaîne fonctionnelle reliant la sortie d'un comparateur à la sortie du système réglé.

- **Chaîne de retour**

C'est la chaîne fonctionnelle reliant une sortie du système réglé à l'une des entrées d'un comparateur.

III. Asservissement et régulation

- **Asservissement** : On appelle asservissement un système asservi dont la sortie doit suivre le plus fidèlement possible la consigne (celle-ci pouvant être variable dans le temps)

- **Régulation** : On appelle régulation un système asservi qui doit maintenir constante la sortie conformément à la consigne (constante) indépendamment des perturbations.

IV. Classification des systèmes asservis [3]

Il est possible de classer les systèmes asservis suivant plusieurs types de classification. Cette classification peut être effectuée en fonction de :

IV.1 Leur nature

Ici on distingue les systèmes fabriqués par l'homme (chauffage à thermostat, régulation de débit...), des systèmes naturels (phénomène de transpiration, régulation de température,...), ou encore des systèmes mixtes dont les constituants sont naturels et fabriqués par l'homme (asservissement de la vitesse d'un véhicule en fonction de l'environnement, ...).

IV.2 Leur structure

Sont différenciés ici les systèmes en boucle ouverte des systèmes en boucle fermée. Dans le cas des systèmes en boucle ouverte, les signaux d'activation sont indépendants des signaux de sortie. Pour les systèmes en boucle fermée, une rétroaction est présente.

IV.3 Leur comportement

Le comportement d'un système est qu'il soit linéaire ou pas

IV.3.1 Linéaire

Un système linéaire est un système pour lequel la relation entre les grandeurs d'entrée et de sortie peuvent se mettre sous la forme d'un ensemble d'équations différentielles à coefficients constants. Les systèmes linéaires doivent principalement vérifier deux propriétés :

- Propriété de proportionnalité.
- Propriété d'additivité (ou de superposition).

Dans la réalité, les systèmes linéaires sont extrêmement rares. Il suffit d'un jeu mécanique, d'une hystérésis magnétique, d'une saturation, pour interdire l'utilisation des équations différentielles à coefficients constants. Une des tâches de l'automaticien consiste à examiner la possibilité d'une approximation linéaire du système étudié.

IV.3.2 Non linéaire

Un système non linéaire ne peut pas être directement modélisé par des équations différentielles à coefficients constants. Des méthodes d'approximation permettent alors l'analyse et la synthèse de ces systèmes.

La figure 1-2 suivantes montre deux exemples de non linéarité.

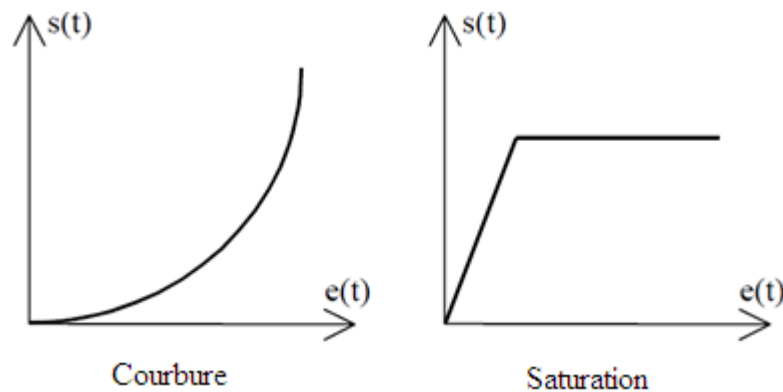


Figure 1-2. Exemple des systèmes non linéaires

V. Identification d'un système

L'identification d'un système consiste à déterminer son modèle mathématique sur la base des observations expérimentales entrée/sortie. Elle est faite à partir de la réponse à des entrées typiques.

V.1 Les signaux d'entrée typiques [4]

Dans le cas général les signaux d'entrée ont une forme quelconque et inconnue. Néanmoins, pour des besoins d'analyse on définit des signaux de forme simple dont on peut calculer les effets sur la sortie du système. Parmi ces signaux, les plus courants sont les suivants.

V.1.1 Signal d'entrée de Dirac $\delta(t)$; réponse impulsionnelle

Mathématiquement, l'impulsion de Dirac est définie comme étant le signal d'amplitude infinie, pour une durée nulle

$$e(t) = \delta(t) = 0 \text{ pour } t < 0 \text{ et } t > 0 .$$

En pratique on ne peut que générer un signal carrée proche d'une impulsion de Dirac, celui-ci modélise alors une action qui s'exerce pendant un temps très court (Choc, secousse...).

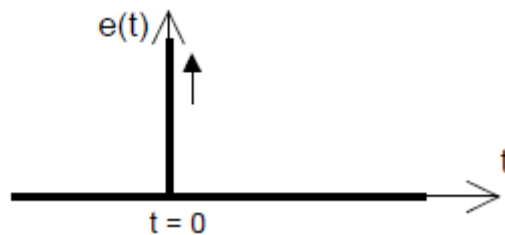


Figure 1-3. Signal impulsion

V.1.2 Signal d'entrée constant $e(t) = A$: échelon réponse indicielle

Soit le signal échelon défini sur la figure 1-4

$$\text{Pour } t < 0 \quad e(t) = 0$$

$$\text{Pour } t \geq 0 \quad e(t) = A$$

Lorsqu'on applique un échelon à l'entrée d'un système, il s'agit d'une brutale variation, passage de zéro à une amplitude A . La sortie du système ne peut suivre instantanément cette brusque variation, et on observe une phase transitoire, qui met en évidence certaines caractéristiques de la chaîne fonctionnelle. Par ailleurs, on peut observer le comportement en régime établi, stabilité ou divergence, et définir ainsi d'autres caractéristiques du système.

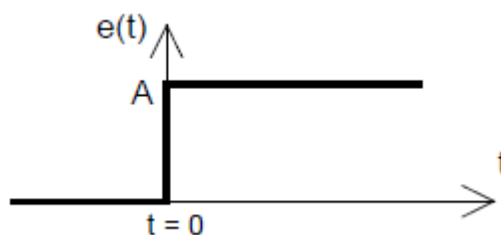


Figure 1-4. Signal échelon

V.1.3 Signal rampe

Soit le signal rampe défini sur la figure 1-5

$$\text{Pour } t < 0 \quad e(t) = 0$$

$$\text{Pour } t \geq 0 \quad e(t) = At$$

Ce signal va permettre d'observer la façon dont le système suit l'évolution du signal d'entrée, et mettre ainsi en évidence le phénomène de vitesse. C'est très utile pour caractériser les systèmes suiveurs.



Figure 1-5. Signal en rampe

V.1.4 Signal d'entrée sinusoïdal

Soit le signal sinusoïdal sur la figure 1-6

$$\text{Pour } t < 0 \quad e(t) = 0$$

$$\text{Pour } t \geq 0 \quad e(t) = A \sin(\omega t)$$

L'hypothèse de système linéaire assure que la sortie d'un système sollicité par une entrée sinusoïdale, est également sinusoïdale une fois le régime permanent est atteint. La sortie est de même fréquence que l'entrée, mais possède une amplitude différente, et présente un déphasage par rapport au signal d'entrée. Il s'agit de la réponse fréquentielle ou harmonique.

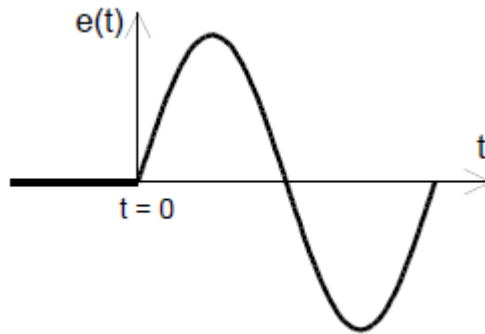


Figure 1-6. Signal sinusoïdal

V.2 Transformation de LAPLACE

La transformation de Laplace fournit un procédé de calcul commode et élégant, pour déterminer la solution complète d'un système d'équations différentielles linéaires.

L'application de la relation de transformation de Laplace est comme suite,

$$L[f(t)] = F(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt \quad (1-1)$$

Elle permet de transformer des équations différentielles en équations algébriques plus facile à résoudre, où (p) est une variable complexe.

V.3 Fonction de transfert

On appelle fonction de transfert $G(p)$ d'un système, le rapport des transformées de Laplace de la sortie $S(p)$ et de l'entrée $E(p)$ du système lorsque les conditions initiales sont nulles.

$$G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} \quad (1-2)$$

La fonction (1-2) est une représentation mathématique des systèmes dynamiques linéaires, la relation liant les grandeurs d'entrée et de sortie est une équation différentielles linéaire.

VI. Performances des systèmes [4]

Il s'agit d'analyser la réponse d'un système à un signal, que ce soit lors d'une expérimentation ou d'une simulation. Les critères permettant de qualifier et quantifier les performances du système sont :

- La stabilité
- La précision
- La rapidité
- L'amortissement

VI.1 La stabilité

Un système est stable si et seulement si à tout signal borné en entrée, correspond un signal borné en sortie. En automatique, on définit la stabilité par une des propositions suivantes. Un système linéaire est stable :

- lorsque sa réponse à un échelon prend une valeur finie en régime permanent,
- lorsque sa réponse à une impulsion tend vers 0,
- lorsque sa réponse à une sinusoïde est une sinusoïde d'amplitude finie.

VI.1.1 Condition sur la fonction de transfert

Un système est défini par :

$$G(p) = \frac{k(p - z_1) \dots (p - z_m)}{p^\alpha (p - p_1) \dots (p - p_{n-\alpha})}$$

Sa réponse à l'échelon est de la forme :

$$s(t) = A_1 + A_2 t + \dots + A_{\alpha+1} t^\alpha + B_1 e^{p_1 t} + \dots B_{n-\alpha} e^{p_{n-\alpha} t}$$

La fonction de transfert équivalente à un système bouclé à retour unitaire est donnée par:

$$G_{bf}(p) = \frac{FTBO}{1 + FTBO}$$

Un système dont la fonction de transfert en boucle ouverte sera stable en boucle fermée si les racines de l'équation $(1 + FTBO)=0$ sont toutes à partie réelle négative.

Remarque :

- Si la partie réelle d'un des pôles de la fonction de transfert en BF est nulle, on parlera de limite de stabilité (réponse en oscillations entretenues).
- Un système peut être stable en BO et instable en BF - si par exemple le gain est élevé
- Réciproquement, un système peut être instable en BO et stable en BF, si par exemple il y a un intégrateur en BO.

Les courbes de la figure 1-7 illustrent les deux cas ; stable et instable.

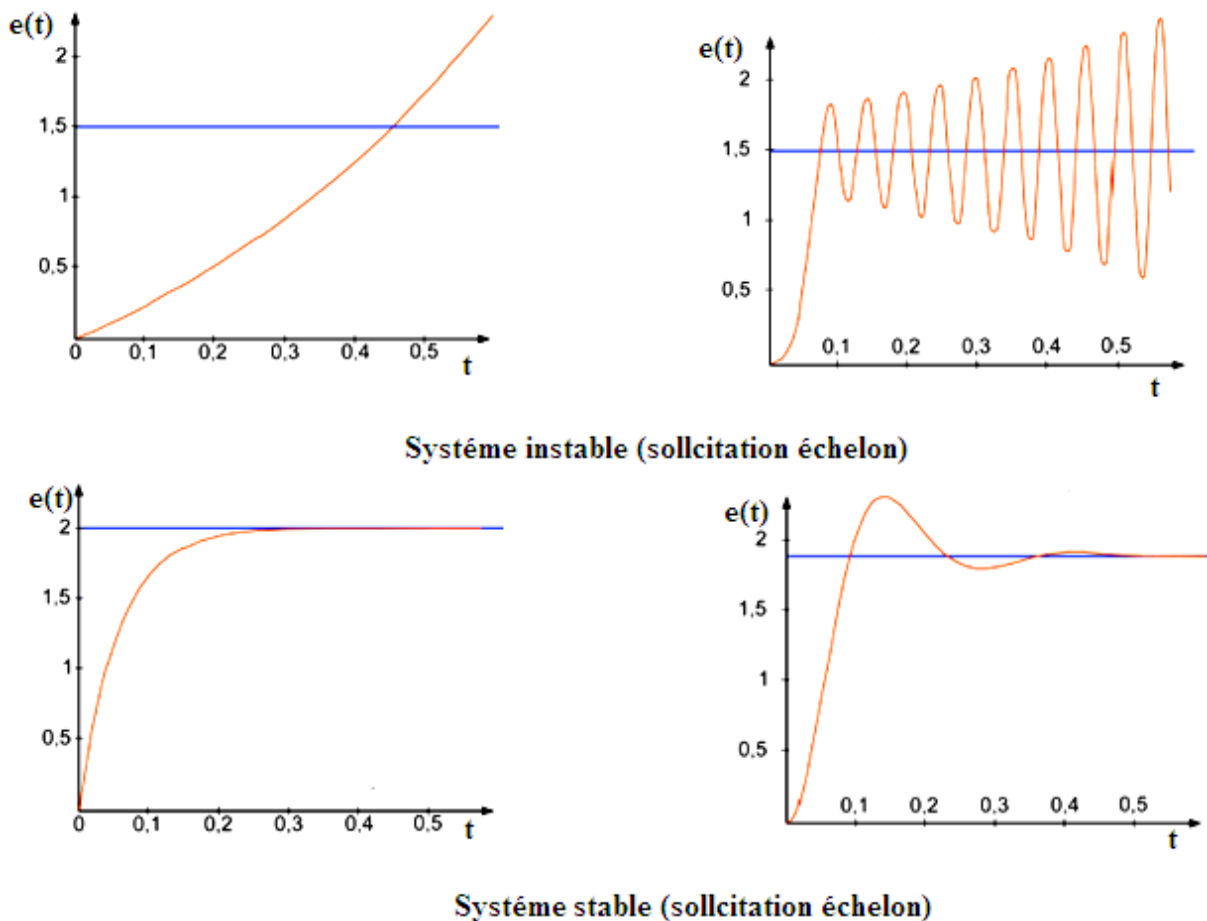


Figure 1-7.Exemple de réponse à un système stable et instable

VI.1.2 Critères de stabilité

Des critères algébriques ou graphiques peuvent être choisis pour juger de la stabilité d'un système.

- Critère algébrique

Le critère de Routh [5]

Ce critère permet de conclure sur la stabilité, ou l'instabilité d'un système asservi, à partir des coefficients de son équation caractéristique.

Soit la fonction de transfert $G(p) = \frac{\text{num}(p)}{\text{dén}(p)}$

Avec $\text{Dén}(p) = a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + a_{n-2} \cdot p^{n-2} + \dots + a_1 \cdot p + a_0$

- Si l'un des coefficients a_i est nul, le système est instable.
- Si tous les coefficients a_i sont différents de zéro il suffit qu'ils ne soient pas tous de même signe pour conclure à l'instabilité.
- Si tous les coefficients a_i sont de même signe, l'examen de la première colonne du tableau de Routh permet de conclure à la stabilité du système.

Pour établir le tableau de Routh :

Poser	p^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	...
	p^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	...

Calculer	p^{n-2}	A_1	A_2	A_3
	p^{n-3}	B_1	B_2	B_3
	...			
	p^2	M_1	M_2	
	p^1	N_1	N_2	
	p^1	O_1		

Avec :

$$A_1 = \frac{a_{n-1} \cdot a_{n-2} - a_n \cdot a_{n-3}}{a_{n-1}}, A_2 = \frac{a_{n-1} \cdot a_{n-4} - a_n \cdot a_{n-5}}{a_{n-1}}, A_3 = \frac{a_{n-1} \cdot a_{n-6} - a_n \cdot a_{n-7}}{a_{n-1}}$$

$$B_1 = \frac{A_1 \cdot a_{n-3} - a_{n-1} \cdot A_2}{A_1}, B_2 = \frac{A_1 \cdot a_{n-5} - a_{n-1} \cdot A_3}{A_1}, O_1 = \frac{N_1 \cdot M_2 - M_1 \cdot N_2}{N_1}$$

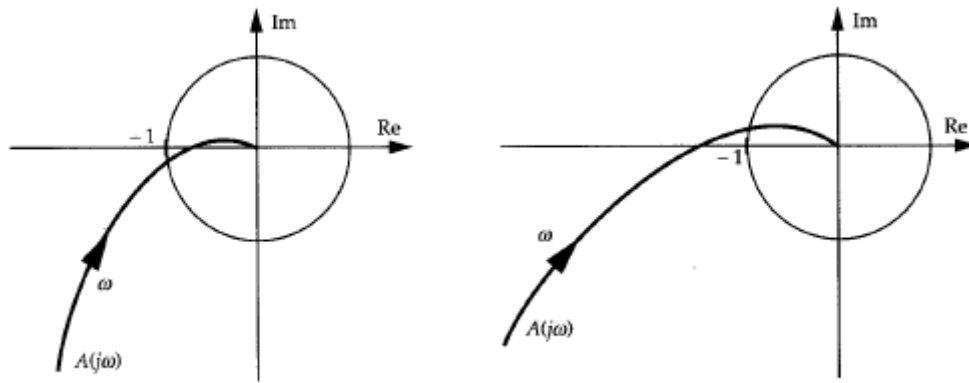
Routh a établi que le système est stable si tous les termes de la première colonne sont de même signe. Dans le cas contraire, le nombre de changements de signe donne le nombre de pôles instables

- **Critère graphique [5]**

Appelé règle de revers, il permet de juger la stabilité, ou l'instabilité, d'un système asservi à partir de la courbe représentative de sa fonction de transfert en chaîne ouverte.

1) Dans le plan de Nyquist

Un système asservi à retour unitaire est stable si en décrivant le lieu de Nyquist en BO dans le sens des pulsations croissantes, on laisse le point critique (-1,0) à sa gauche. Il est instable dans le cas contraire.



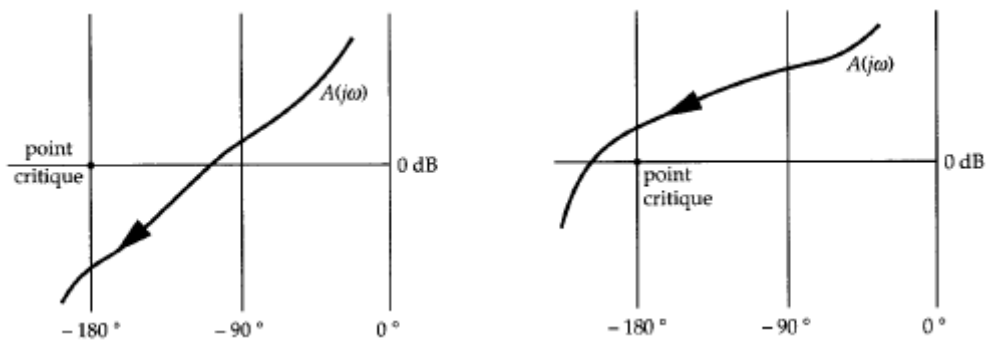
a) Système stable

b) système instable

Figure 1-8. Lieu de Nyquist

1) Dans le plan de Black

Un système asservi en boucle fermée à retour unitaire est stable si en décrivant la courbe de Black de la fonction de transfert en BO dans le sens des pulsations croissantes, on laisse le point critique sur sa droite. Il est instable dans le cas contraire



a)Système stable

b) système instable

Figure 1-9. Lieu de black

2) Dans le plan de Bode

Un système asservi en boucle fermée à retour unitaire est stable si, pour la pulsation ω_c , la courbe du logarithme du module de $A(j\omega)$ passe en dessous du niveau 0 dB. Il est instable dans le cas contraire.

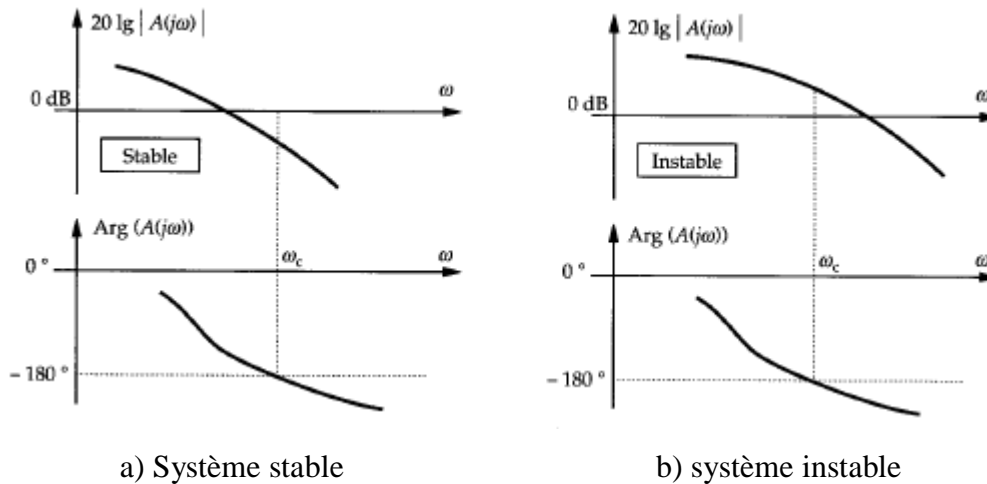


Figure 1-10 diagramme de Bode

VI.2 La précision [4]

La précision caractérise l'aptitude d'un système à atteindre la valeur de sortie souhaitée. L'écart entre la consigne $e(t)$ et la sortie $s(t)$ se caractérise donc de la manière suivante:

$$\varepsilon(t) = e(t) - s(t) \text{ et on envisage la valeur de } \varepsilon \text{ pour } t \rightarrow \infty .$$

L'écart est exprimé dans l'unité de la grandeur de sortie, ou encore en %. On peut alors envisager l'écart à la sortie du comparateur, ce qui est équivalent. On distingue différents types d'erreur, en fonction du signal d'entrée.

- Précision statique, erreur statique :

La réponse indicielle permet la mise en évidence de l'erreur statique. Cette erreur peut ne pas être nulle, et que des corrections (augmentation du gain, du nombre d'intégrations...) peuvent réduire ou annuler cette erreur.

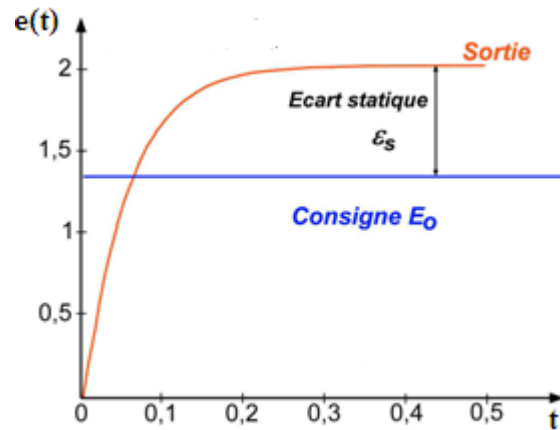


Figure 1-11. Erreur statique relative à la réponse indicielle

- Ecart de traînage (ou de poursuite), erreur en vitesse :

La réponse à une rampe permet la mise en évidence de l'erreur en poursuite d'un système suiveur. On caractérise comme indiqué sur la figure 1-12, l'erreur de traînage, que l'on observe en régime permanent. L'erreur de traînage ou erreur en vitesse, participe aussi à la précision d'un système, que l'on peut améliorer par des corrections.

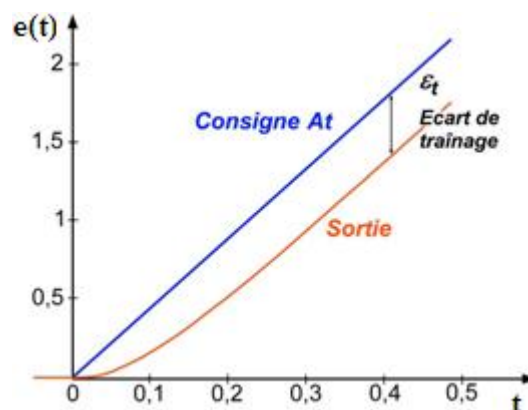


Figure 1-12. Erreur traînage relative à la réponse indicielle

VI.3 La rapidité [4]

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une brusque variation du signal d'entrée. Cependant, la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique (système stable), on retient alors comme principal critère d'évaluation

de la rapidité d'un système, le temps de réponse à $n\%$. En pratique, on utilise le temps de réponse à 5% ($Tr_{5\%}$) appelé aussi temps d'établissement, c'est le temps mis par le système pour atteindre sa valeur de régime permanent à $\pm 5\%$ près.

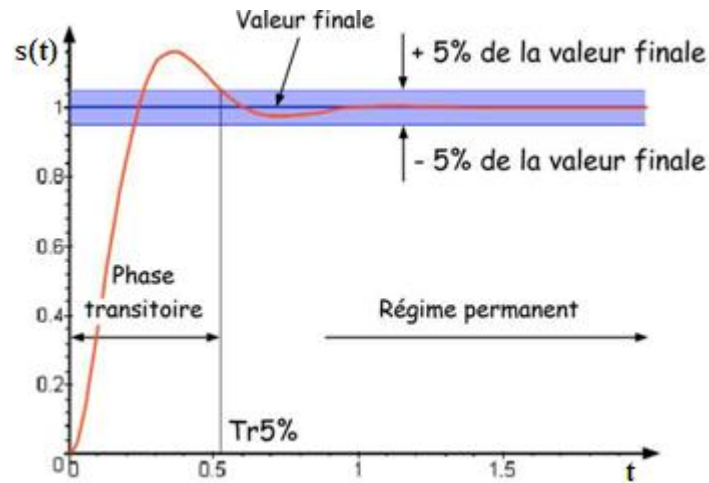


Figure 1-13. Paramètres dynamique de la réponse indicielle d'un système en régime oscillatoire amortie.

VI.4 L'amortissement [4]

L'amortissement est caractérisé par le rapport entre les amplitudes successives des oscillations de la sortie. Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus le système est amorti.

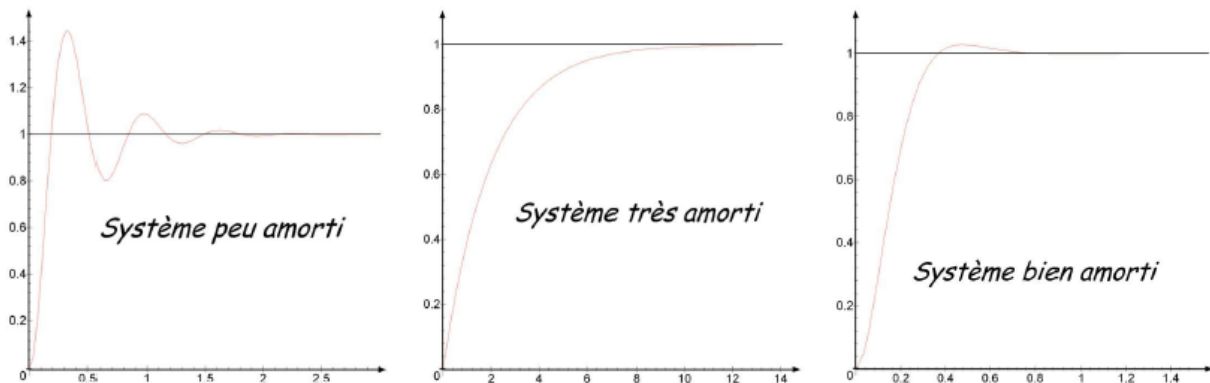


Figure 1-14. Exemple système amorti

VII. Méthodologie d'étude des systèmes asservis [7]

Pour concevoir un système asservi on pourra opérer de manière suivante :

- **Modéliser le système** : C'est la mise en équation du comportement expérimental du système.
- **Choix du type de commande** : C'est de choisir le type de régulateur qui convient au système (analogique ou numérique).
- **Choisir un correcteur** : Il dépend de mode utilisé soit en continu ou échantillonné.
- **Essais** : C'est de comparer les résultats pratiques aux résultats théoriques et d'apporter des modifications en cas nécessité et valider le modèle.

Le schéma de la figure 1-15 explique en détail les étapes à suivre pour étudier un système asservi.

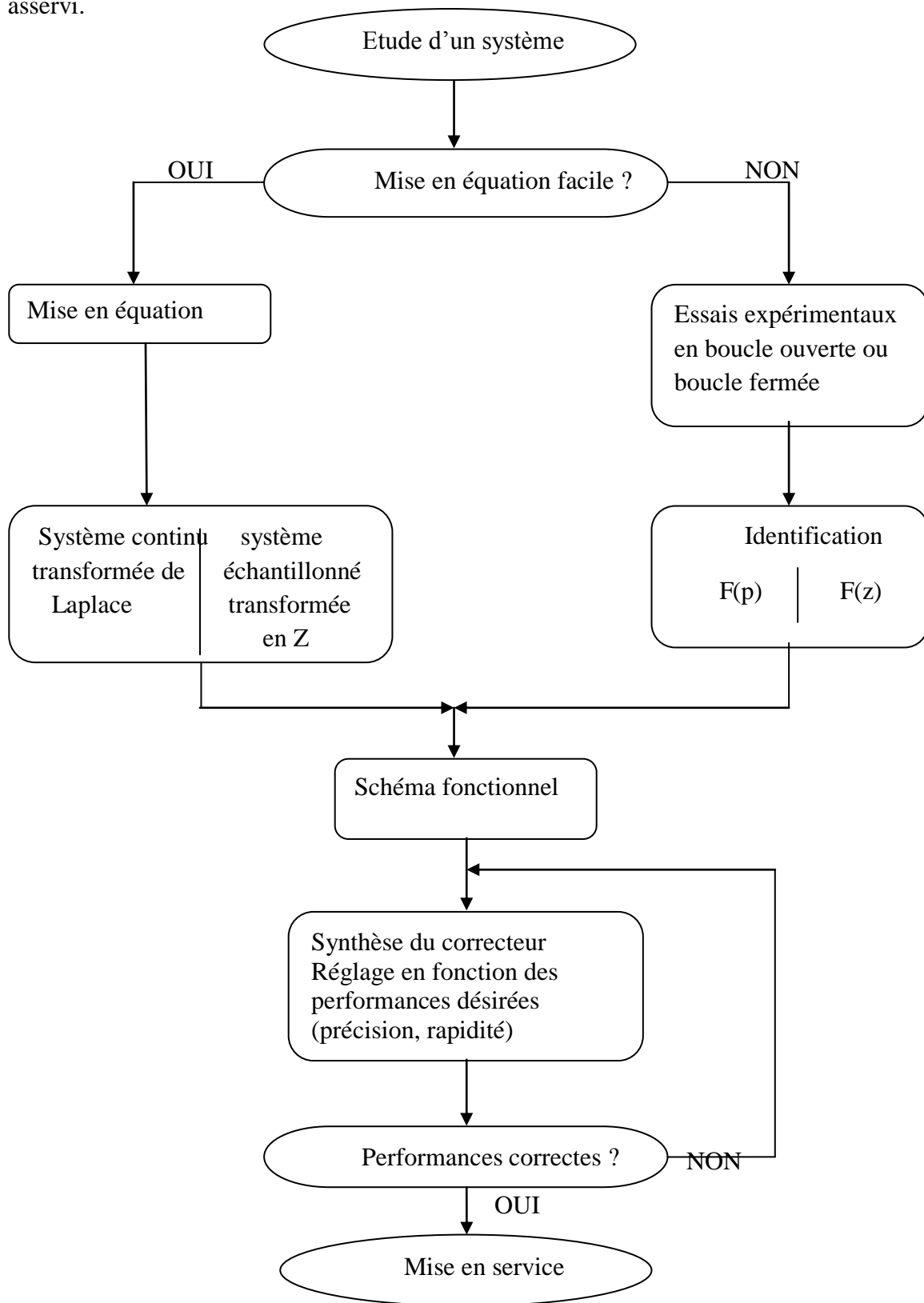


Figure 1-15. Organigramme qui résume l'étude d'un système asservi.

VIII. Théorie de régulation

Le souci d'améliorer les performances des systèmes industriels et de réduire les coûts sont à l'origine de nouvelles stratégies de régulation dans les techniques d'automatisations qui permettent de calculer la loi de commande à appliquer au système à commander, cela dans le but de maintenir la grandeur de sortie égale à la référence en dépit des perturbations intervenant sur le processus. Le dispositif qui permet de satisfaire toutes les spécifications du cahier des charges est le régulateur, dont on répète ici la définition, vu son importance. Le régulateur est l'élément de l'équipement de régulation qui en assure plusieurs fonctions, l'une d'elles devant nécessairement être la fonction de comparaison d'un signal de réaction et d'un signal de référence ; les autres fonctions peuvent être des fonctions d'amplification de correction.

IX. Principe général de la régulation [8]

Dans la plupart des appareils et installations industrielles, et même domestiques, il est nécessaire de maintenir des grandeurs physiques à des valeurs déterminées, en dépit des variations externes ou internes influant sur ces grandeurs. Le niveau d'un réservoir d'eau étant par nature variable, doit donc être réglé par des actions convenables sur le processus considéré. L'organe de régulation récupère les mesures de sortie et les compare à la valeur de consigne. En cas de non concordance des valeurs de mesure et des valeurs de consigne, l'organe de régulation envoie un signal de 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.

X. Commande en boucle ouverte

Dans un asservissement en boucle ouverte, l'organe de contrôle ne réagit pas à travers le processus sur la grandeur mesurée, puisque celle-ci n'est pas contrôlée. Une régulation en boucle ouverte ne peut être mise en œuvre que si l'on connaît la loi régissant le fonctionnement du processus autrement dit, il faut connaître la corrélation entre la valeur mesurée et la grandeur réglante. Contrairement à un asservissement en boucle fermée, un asservissement en boucle ouverte permet d'anticiper les phénomènes et d'obtenir des temps

de réponse très courts. De plus, il n'y a pas d'oscillation à craindre. Donc, l'asservissement en boucle ouverte est la seule solution envisageable lorsqu'il n'y a pas de contrôle final possible.

Au niveau des inconvénients, la régulation en boucle ouverte impose de connaître la loi régissant le fonctionnement du processus, et il est très fréquent que l'on ne connaisse pas la loi en question. Autre inconvénient sérieux, il n'y a aucun moyen de contrôler, à plus forte raison de compenser, les erreurs, les dérives, les accidents qui peuvent intervenir à l'intérieur de la boucle ; autrement dit, il n'y a pas de précision ni surtout de fidélité qui dépendent de la qualité intrinsèque des composants.

XI. Régulation en boucle fermée

La variable de sortie d'une chaîne de régulation, exerce une influence sur la valeur de la variable d'entrée, pour la maintenir dans des limites définies, L'action de la grandeur réglante sur la variable contrôlée s'opère à travers le "processus" qui boucle la chaîne. Dans une régulation en boucle fermée, une bonne partie des facteurs perturbateurs sont automatiquement compensés par la contre-réaction à travers le procédé. En plus, il n'est pas nécessaire de connaître avec précision les lois, le comportement des différents composants de la boucle, et notamment du processus, bien que la connaissance des allures statistiques et dynamiques des divers phénomènes rencontrés soit utile pour le choix des composants.

Parmi les inconvénients d'une régulation en boucle fermée, il faut citer le fait que la précision et la fidélité de la régulation dépend de la fidélité et de la précision sur les valeurs mesurées et sur la consigne. Autre inconvénient, sans doute plus important, le comportement dynamique de la boucle dépend des caractéristiques des différents composants de la boucle, et notamment du processus, enfaite un mauvais choix de certains composants peut amener la boucle à entrer en oscillation.

XII. Actions élémentaires d'un régulateur PID [8]

XII.1 L'action proportionnelle

On parle d'action proportionnelle lorsque le signal de commande $U(t)$ est proportionnel au signal d'erreur, cette action est caractérisée par l'équation temporelle suivante :

$$U(t) = k_p \cdot \varepsilon(t) \quad (1-3)$$

Le rôle de cette action est de minimiser l'écart ε entre la consigne et la mesure et elle réduit le temps de montée et le temps de réponse. Une augmentation du gain k_p du régulateur entraîne une diminution de l'erreur statique et permet d'accélérer le comportement global de la boucle fermée. On serait tenté de prendre des valeurs de gain élevées pour accélérer la réponse du procédé mais on est limité par la stabilité de la boucle fermée. En effet, une valeur trop élevée du gain augmente l'instabilité du système et donne lieu à des oscillations.

XII.2 L'action intégrale

L'action intégrale agit proportionnellement à la surface de l'écart entre la consigne et la mesure, et elle poursuit son action tant que cet écart n'est pas nul. On dit que l'action intégrale donne la précision statique. L'action intégrale est conditionnée par le temps d'intégrale T_i .

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt \quad (1-4)$$

L'ajout du terme intégral permet d'améliorer la précision mais en contrepartie, il introduit malheureusement un déphasage de $-\frac{\pi}{2}$ ce qui risque de rendre le système instable du fait de la diminution de la marge de phase.

XII.3 L'action dérivée

C'est une action qui tient compte de la vitesse de variation de l'écart entre la consigne et la mesure, elle joue aussi un rôle stabilisateur, contrairement à l'action intégrale. En effet, elle délivre une sortie variant proportionnellement à la vitesse de variation de l'écart ε :

$$u(t) = T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (1-5)$$

Avec T_d le dosage de l'action dérivée, exprime en minutes ou en secondes.

L'action dérivée va ainsi intervenir uniquement sur la variation de l'erreur ce qui augmente la rapidité du système (diminution des temps de réponses). L'action dérivée permet aussi d'augmenter la stabilité du système par apport de phase ($+\frac{\pi}{2}$ ce qui augmente la marge de phase). L'annulation de cette action en régime statique impose donc de ne jamais l'utiliser seule : l'action dérivée n'exerce qu'un complément à l'action proportionnelle.

XIII. Régulateurs P, PI, PID [9]

XIII.1 Le régulateur P

Le régulateur à action proportionnelle P a une action simple, puisqu'il construit une commande $U(t)$ proportionnelle à l'erreur $\varepsilon(t)$.

Loi de commande du régulateur P:

$$U(t) = k_p \cdot \varepsilon(t) \quad (1-6)$$

Sa fonction de transfert est donc:

$$C(P) = \frac{U(P)}{E(P)} = k_p \quad (1-7)$$

La figure 1-16 représente en graphe la réponse indicielle d'un régulateur P

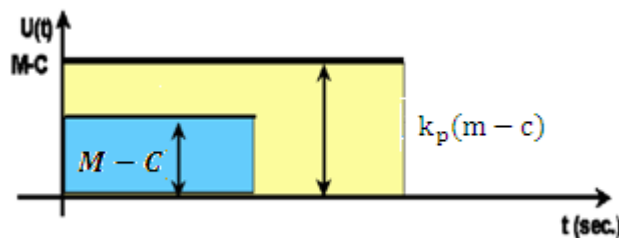


Figure 1-16 Réponse indicielle de P-régulateur

XIII.2 Le régulateur PI

Le correcteur PI est obtenu par l'association des deux actions ; proportionnel et intégral, il élabore alors une commande qui peut être donnée par la relation suivante

$$u(t) = k_p(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt) \quad (1-8)$$

Sa fonction de transfert est donc

$$C(P) = k_p \frac{1+T_i p}{T_i p} \quad (1-9)$$

La combinaison des actions proportionnelle et intégrale permet d'associer l'avantage du régulateur P, c'est-à-dire la réaction rapide à un écart de réglage.

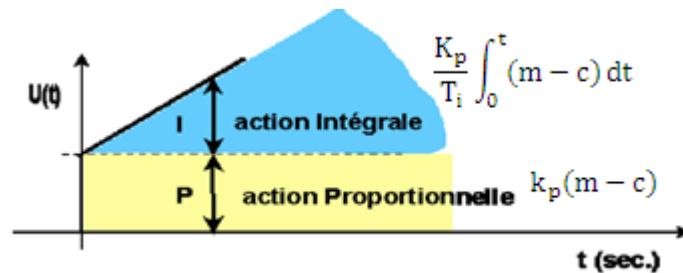


Figure 1-17. Réponse indicielle de PI-régulateur

XIII.3 Le régulateur PID

Un régulateur PID est obtenu par l'association de ces trois actions et il remplit essentiellement les trois fonctions suivantes :

1. Il fournit un signal de commande en tenant compte de l'évolution du signal de sortie par rapport à la consigne
2. Il élimine l'erreur statique grâce au terme intégrateur
3. Il anticipe les variations de la sortie grâce au terme dérivateur

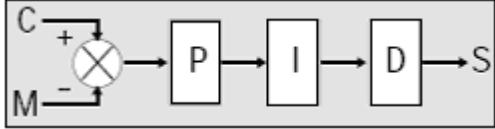
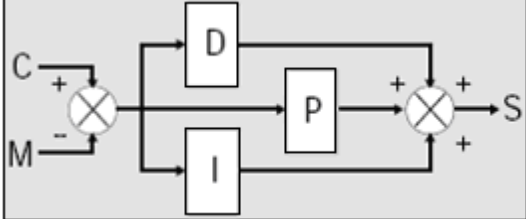
La commande $U(t)$ donnée par le régulateur PID, dans sa forme classique est décrite par

$$U(t) = K_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right] \quad (1-10)$$

Elle est la somme de trois termes : le terme proportionnel le terme intégral le terme dérivatif. Les paramètres de ce régulateur sont le gain proportionnel k_p , le temps intégral T_i et le temps dérivatif T_d , les temps étant exprimés en secondes.

L'action conjuguée PID permet une régulation optimale en associant les avantages de chaque action. ; La composante P réagit à l'apparition d'un écart de réglage, la composante I élimine l'erreur statique et la composante D s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation. Et c'est pour cela que ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel.

Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D, en effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte.

Structure du régulateur PID	Schéma et fonction de transfert
Série	 $k_p \frac{T_i + T_d}{T_i} + \frac{1}{pT_i} + pT_d$
Parallèle	 $k_p + \frac{1}{pT_i} + pT_d$

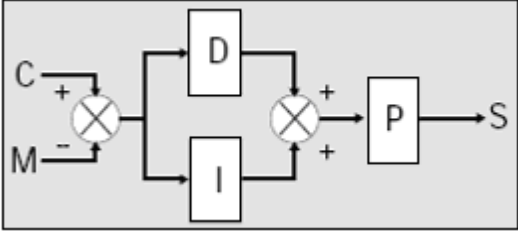
Mixte	 $k_p + \left(1 + \frac{1}{pT_i} + pT_d\right)$
-------	---

Tableau 1.1 : Différentes structures du régulateur PID

La figure 1-18 représente la réponse indicielle du régulateur PID

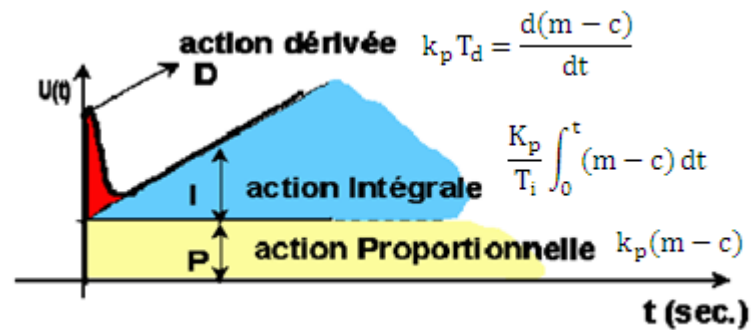


Figure 1-18 Réponse indicielle du PID-régulateur

XIV. Influence des paramètres PID

Les illustrations suivantes montrent les effets des actions PID sur la réponse d'un système en boucle fermée :

- Quand le gain K_p augmente, la stabilité diminue, la rapidité augmente, la précision augmente ;
- Quand le T_i augmente, la stabilité augmente, la rapidité diminue, la précision reste parfaite ;
- Quand le T_d augmente, la stabilité augmente, la rapidité augmente, la précision ne bouge pas.

XV. Méthode de synthèse des régulateurs [2]

La synthèse des correcteurs est le réglage des actions, proportionnelle, intégrale, et dérivée, c'est-à-dire K_p, T_i, T_d . Ce réglage peut se faire avec plusieurs méthodes, on cite les méthodes suivante.

- méthode de Ziegler et Nichols : elle nécessite l'observation de la réponse du processus et la connaissance de la structure du régulateur. C'est une méthode qui permet de calculer les actions PID, sans la détermination des paramètres du processus.
- par identification du processus : la connaissance des paramètres du processus et de la structure du régulateur permettent de calculer les actions.
- Par compensation de pôles : elle consiste à égaliser le zéro du régulateur avec un pôle de la fonction de transfert du système à égaliser. Cela permet d'avoir une première équation. On fixe ensuite les dynamiques de poursuite (constante de temps en boucle fermée). Ce qui donne une deuxième équation. Ainsi le système des deux équations permet de calculer les coefficients de régulateur.

XVI. Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux généralités sur l'étude des systèmes asservis que nous mettons en oeuvre dans les chapitres qui suit.

Chapitre 2

Présentation modélisation et identification du système

I. Introduction

La présentation de la maquette consiste à décrire les différents organes qui constituent le système de régulation du niveau d'eau dans le réservoir, chaque élément du système remplit la tâche nécessaire à son fonctionnement, ainsi que l'établissement des performances désirées.

II. Présentation de la maquette

La maquette de régulation de niveau est constituée d'un réservoir de remplissage d'eau, d'un réservoir de stockage, d'un capteur de pression différentielle, d'une pompe, de deux vannes manuelles et d'un régulateur PID numérique universel. Chaque élément joue son rôle dans le but de maintenir le niveau d'eau dans le réservoir ; alimenté par un débit réglable. La tension de sortie du capteur image du niveau est comparée à la grandeur de référence, l'amplificateur de puissance applique la tension au moteur tournant à la vitesse N à laquelle correspond un débit d'entrée par l'intermédiaire des ailettes et le tuyau de conduite.

La figure 2.1, montre les différents éléments constituant la maquette expérimentale

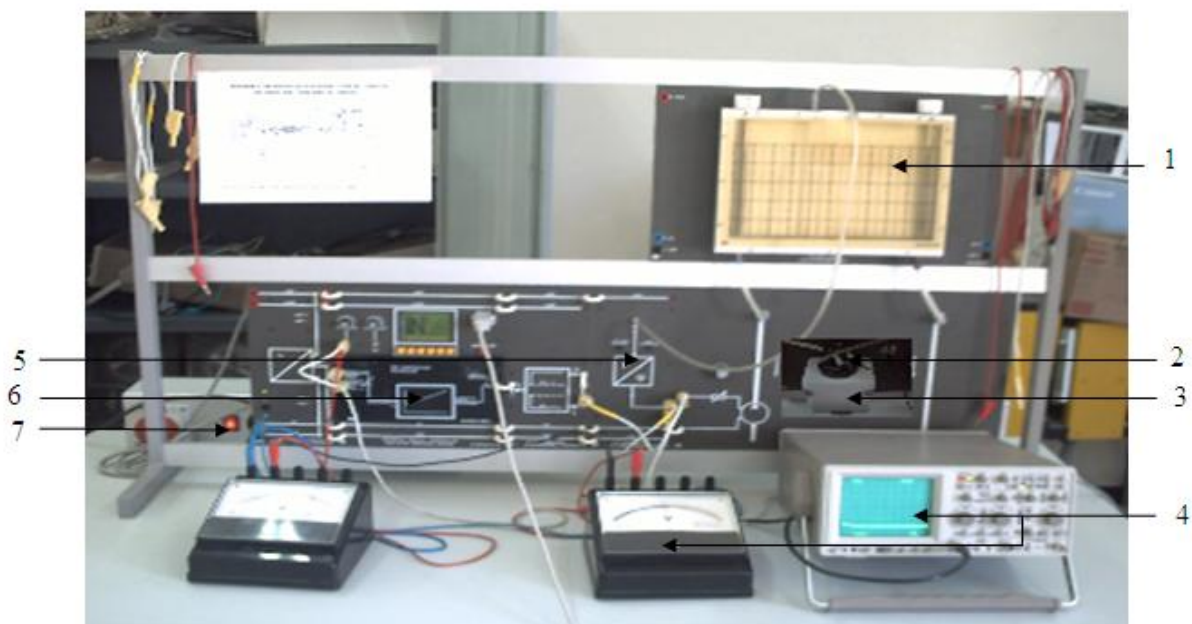


Figure 2-1. Structure de la maquette

1 : Réservoir de remplissage.

2 : Pompe.

3 : Réservoir de stockage.

4 : Appareils de mesure.

5 : Capteur de pression.

6 : Régulateur.

7 : Source de tension.

II.1 La pompe

La pompe a pour rôle de transférer le liquide depuis le réservoir de stockage jusqu'au réservoir de remplissage. Pour ce faire, la pompe nécessite de l'énergie. Le moteur qui alimente la pompe transforme l'énergie électrique en énergie mécanique pour permettre le mouvement des organes de la pompe, cette énergie mécanique est retransmise au fluide, l'énergie de fluide se traduit sous forme de débit (énergie cinétique) et de pression (énergie potentielle). Dans cette pompe une roue est fixée au rotor du moteur, munie d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation.

II.2 Le capteur [11]

La partie sensible d'un capteur de pression est ce qu'on appelle une membrane, c'est à dire un élément qui a la capacité de se déformer. Un tuyau placé verticalement dans le réservoir relié au capteur dont son volume est occupé par l'air. Lors du remplissage l'eau pousse l'air à exercer une force sur la membrane et la déforme. Cette déformation est mesurée par ce capteur et transformée en signal électrique pour donner une mesure de la hauteur.

II.3 Les deux réservoirs

Le réservoir haut est en plexiglas transparent permettant ainsi l'observation de l'évolution du niveau d'eau. De plus, le Plexiglas présente beaucoup moins de danger que le verre en cas de bris. Il est de forme parallélépipédique, de 18.5 cm de hauteur 30 cm de largeur, et de 2.3 cm de profondeur. Une règle graduée permet de lire directement le niveau d'eau. Ce réservoir présente une entrée de remplissage d'eau, une sortie d'évacuation et une sortie de trop-plein. la figure 2.2 représente ce réservoir.

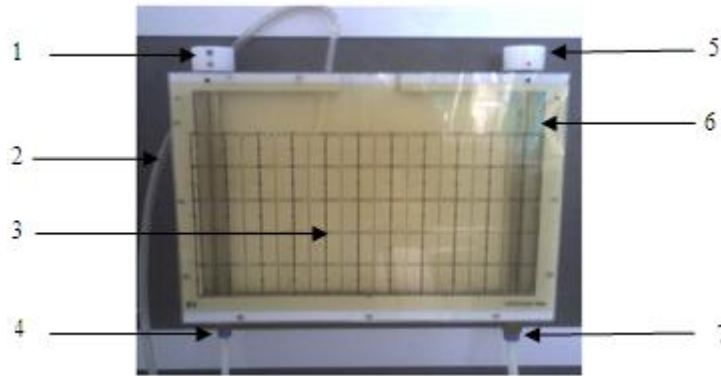


Figure 2-2. Réservoir de remplissage

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 : vanne de sélection du type de remplissage | 2 : tuyau vide relié au capteur |
| 3 : cuve de remplissage | 4 : voie d'arrivée d'eau |
| 5 : vanne de régulation de débit de sortie | 6 : évacuation du trop plein |
| 7 : voie de sortie d'eau | |

Le réservoir bas représente la source d'eau, il est naturellement plus volumineux que le réservoir haut. Il a 13 cm de hauteur 13 cm de largeur, et de 10 cm de profondeur.

II.4 Les deux vannes manuelles du réservoir haut

La première vanne est bidirectionnelle. Elle permet de remplir le réservoir à l'aide de la pompe lorsque celle-ci est alimentée. Lorsque la pompe ne l'est pas, l'eau passe dans l'autre sens permettant ainsi la vidange du réservoir.

L'autre vanne placée sur le retour d'évacuation permet de varier le débit de sortie du réservoir haut et d'introduire des perturbations.

Le trop-plein a un diamètre suffisamment grand pour garantir et prévenir le débordement du réservoir haut.

II.5 Source d'alimentation de tension variable

Une source d'alimentation variable de 0-10V permet l'alimentation de la pompe. Cette source est aussi utilisée pour imposer la valeur de référence.

II.6 Régulateur

Le régulateur PID universel numérique permet de contrôler le niveau d'eau suivant le besoin. De plus on peut ajuster la valeur de chaque action par PC avec un câble de connexion au port RS232 disponible sur le régulateur.

La figure 2.3 représente le bloc régulateur.

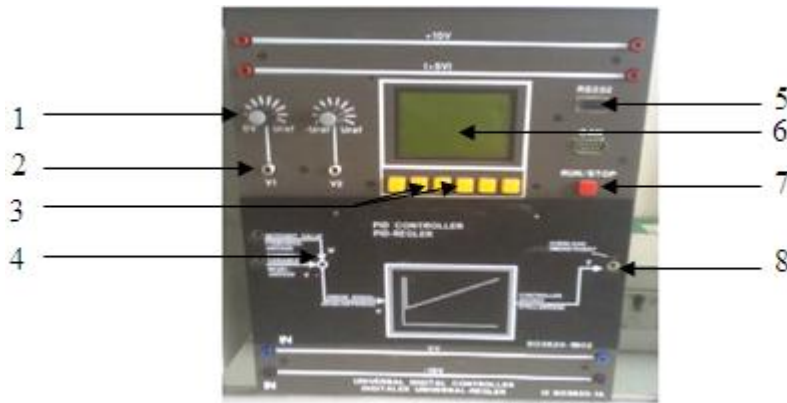


Figure 2-3. Régulateur PID

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 : bouton de réglage de tension | 5 : port RS 232 |
| 2 : source de tension | 6 : afficheur |
| 3 : clavier de réglage du régulateur | 7 : bouton mise en marche/arrêt |
| 4 : entrée du comparateur | 8 : tension de sortie du régulateur |

III. Représentation par schéma bloc [7]

Le schéma-bloc est un outil graphique qui permet de représenter des relations mathématiques, telles que l'addition, la soustraction, le produit, etc...

L'élément de base est le bloc, représenté par la figure 2.4 :

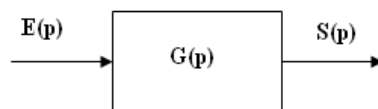


Figure 2-4. Représentation par schéma bloc d'un système asservi

Il faut lire la figure 2.4 comme $S(p) = E(p) \times G(p)$ (2.1)

p : étant l'opérateur de Laplace.

En général, le bloc représente un élément de base du processus. $G(p)$ est la fonction de transfert de l'élément, c'est-à-dire la relation entre l'entrée $E(p)$ et la sortie $S(p)$.

On décompose chaque bloc en sous système, chacun traduira l'influence d'une seule grandeur d'entrée sur une seule grandeur de sortie.

III.1 La pompe [10]

Les équations régissant le fonctionnement du moteur à courant continu commandé par induit permettent de modéliser le moteur, il est asservi en vitesse.

Les équations domaine temporel

Les équations domaine de Laplace

$$U(t) = E(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$U(p) = E(p) + RI(p) + LPI(p) \quad (2.2)$$

$$E(t) = k. \Omega(t)$$

$$E(p) = k. \Omega(p) \quad (2.3)$$

$$Cm(t) - Cr(t) = J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f \Omega(t)$$

$$C_{em}(P) - C_r(p) = JP\Omega(p) + f\Omega(p) \quad (2.4)$$

$$Cm(t) = k. i(t)$$

$$C_m(p) = k. I(p) \quad (2.5)$$

Avec :

$U(t)$: Tension d'alimentation du moteur en (V)

$Cm(t)$: Couple moteur (N /m)

$E(t)$: f.e.m. induite en (V)

$Cr(t)$: Couple résistant (N /m)

R : Résistance d'induit (Ω)

J : Moment d'inertie (Kg)

$i(t)$: Le courant d'induit (A)

L : Inductance de l'induit (H)

k : Constante générale liée à la machine

f : Coefficient de frottement

visqueux (N.m.s/rad)

A l'aide des relations 2.2, 2.3, 2.5 et 2.6, on peut construire le diagramme fonctionnel du moteur à courant continue commandé par la tension de l'induit.

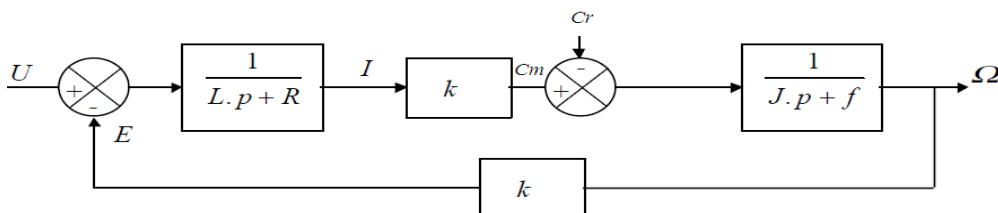


Figure 2.5. Diagramme fonctionnel de la commande par l'induit d'un MCC

La fonction de transfert $\frac{\Omega(p)}{U(p)}$ est déterminée à partir du diagramme fonctionnel de la figure 2.5.

$$\begin{aligned} \frac{\Omega(p)}{U(p)} &= \frac{\frac{k}{(L.p + R)(J.p + f)}}{1 + \frac{k^2}{(L.p + R)(J.p + f)}} = \frac{k}{k^2 + (L.p + R)(J.p + f)} \\ &= \frac{k}{k^2 + Rf + (JR + Lf)p + LJp^2} = \frac{k/(k^2 + Rf)}{1 + \frac{JR + Lf}{k^2 + Rf}p + \frac{LJ}{k^2 + Rf}p^2} \end{aligned}$$

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{k/(k^2 + Rf)}{1 + \frac{JR + Lf}{k^2 + Rf}p + \frac{LJ}{k^2 + Rf}p^2} \quad (2.6)$$

- Pour le cas $L = 0$

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{k/(k^2 + Rf)}{1 + \frac{J}{k^2/R + f}p} \quad (2.7)$$

Cette relation correspond à un système de premier ordre de :

$$- \text{ Constante de temps } T = \frac{J}{k^2/R + f} \quad (2.8)$$

$$- \text{ D'un gain statique } k_s = \frac{k}{k^2 + Rf} \quad (2.9)$$

Des relations 2.9 et 2.10 la fonction de transfert est mise sous la forme suivante :

$$G(p) = \frac{K_s}{1 + Tp} \quad (2.10)$$

Le schéma bloc est représenté par la figure 2.6, l'entrée étant la tension de commande U et la sortie étant la vitesse ω du moteur.

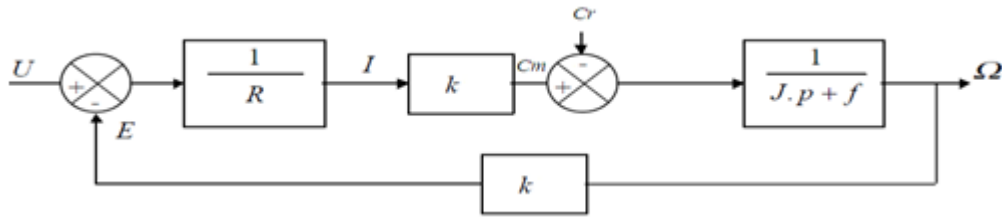


Figure 2-6. Diagramme fonctionnel de la commande par l'induit d'un MCC $L = 0$

Il faut noter que dans la maquette expérimentale la vitesse de rotation du moteur n'est pas accessible.

III.2 Débit d'entrée [12]

Le débit est proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe, pour une rotation d'un tour la pompe engendre un volume d'eau ; appelé cylindrée noté (K_q).

Le débit de la pompe s'exprime par :

$$Q_e = k_q \times \Omega \tag{2.11}$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} Q_e \text{ en } m^3/mn \\ k_q \text{ en } m^3/tr \\ \Omega \text{ en } tr/mn \end{array} \right.$

Son schéma bloc est représenté par la figure 2.7.

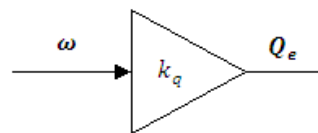


Figure 2-7. Représentation du gain du débit par schéma bloc.

III.3 Hauteur d'eau dans le réservoir [13]

La variation du volume d'eau dans le réservoir par unité de temps est égale à la différence de débit d'entrée et de sortie. L'équation 2.12 illustre cette relation:

$$A \frac{dh(t)}{dt} = Q_e - Q_s \tag{2.12}$$

Avec :

h : La hauteur d'eau dans le réservoir de remplissage en (m).

A : La surface du réservoir de remplissage (m^2).

Q_s : Débit de sortie du réservoir (m^3)

$$\text{Si } Q_s = 0 \text{ donc } A \frac{dh(t)}{dt} = Q_e(t) \quad (2.13)$$

De la relation (2.13) on obtient la fonction de transfert de la hauteur en fonction du débit d'entrée, elle est donnée par :

$$G(p) = \frac{H(p)}{Q_e(p)} = \frac{1}{Ap} \quad (2.14)$$

Son schéma bloc est représenté par la figure 2.8

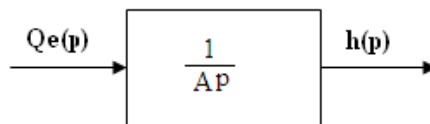


Figure 2-8. Représentation du réservoir par schéma bloc

III.4 Le capteur [11]

L'équation qui caractérise le capteur de pression est donnée par la fonction 2.15:

$$P = S \times h \quad (2.15)$$

$$\text{Où } S = g \cdot \rho$$

Avec :

P : La pression (pascals),

S : Le poids volumique du liquide (N/m^3),

h : La hauteur de la colonne de liquide (m).

ρ : La masse volumique mesurée (kg/m^3)

g : Accélération gravitationnelle ($9,81 m/s^2$).

Le principe de fonctionnement de ce capteur est représenté par la figure 2.9

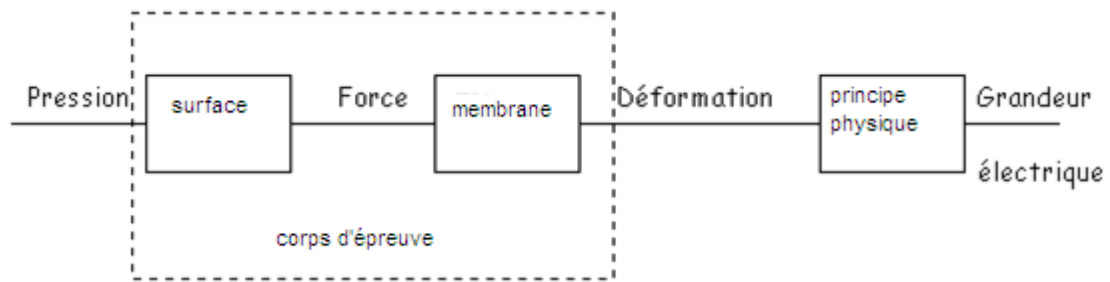


Figure 2-9. Principe de fonctionnement du capteur de pression

La pression relevée par ce capteur est convertie en tension, sa fonction de transfert est donnée par l'équation 2.16

$$\frac{U(p)}{P(p)} = k_c \quad (2.16)$$

Son schéma bloc est représenté par la figure 2.10

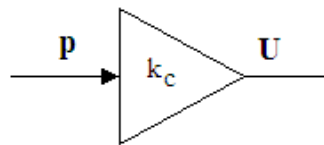


Figure 2-10. Représentation du gain du capteur par schéma bloc

III.5 Le régulateur

Le régulateur proportionnel est toujours représenté par un gain k_p .

Son schéma bloc est représenté par la figure 2.11

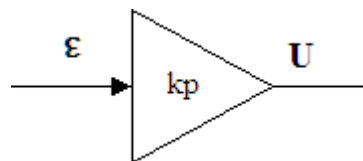


Figure 2-11. Représentation du gain du régulateur par schéma bloc

A partir du schéma bloc de chaque élément et la relation mathématique reliant les grandeurs d'entrée et de sortie de chacun d'eux, on peut réaliser le schéma fonctionnel global du système. Celui-ci est représenté par la figure 2.12

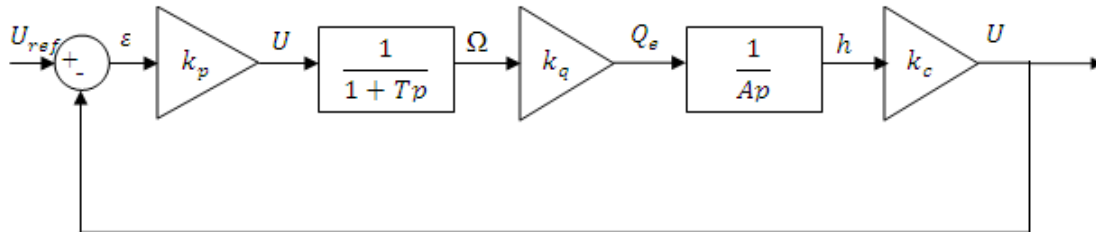


Figure 2-12. Schéma fonctionnel du système

Après la présentation de la maquette et la modélisation de chaque bloque constituant le système afin d'aboutir au schéma de simulation global. On utilise la technique d'identification pour avoir le modèle approché du système.

IV. Identification

Un système linéaire a une fonction de transfert qui peut se calculer en établissant les équations différentielles qui relient entrée et sortie. Ces équations théoriques sont parfois difficiles à écrire car on n'a pas forcément toute la connaissance nécessaire du système ; valeurs numériques, processus mis en jeu, non linéarité... Souvent, un modèle dont le comportement ressemble à celui du système à étudier est suffisant pour élaborer une loi de commande adaptée. C'est la raison pour laquelle, dans la majorité des situations pratiques, on est obligé d'utiliser des techniques d'identification directe à partir des données entrées / sorties.

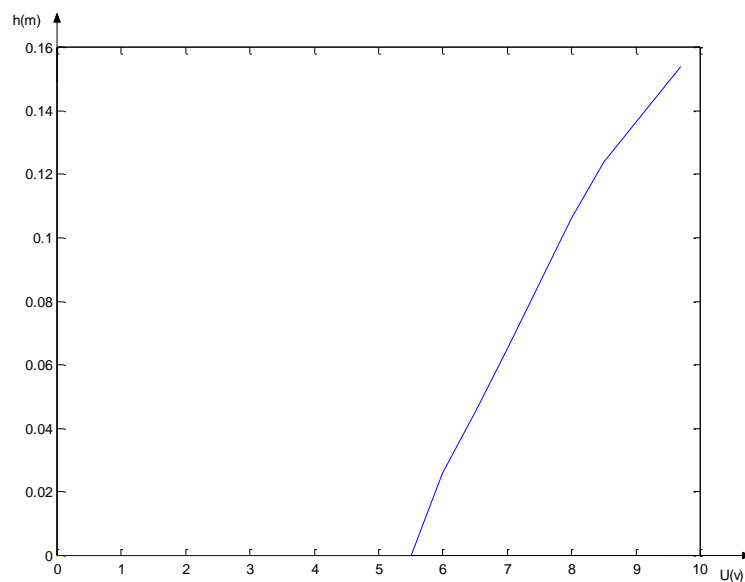
IV.1 Etude de la caractéristique entrée/ sortie du système global

L'étude de la caractéristique entrée/sortie consiste à déterminer si la fonction de transfert qui décrit le comportement dynamique du système est linéaire ou non. Cette dernière doit vérifier les principes de proportionnalité et de superposition. Pour étudier la linéarité du système, on l'a soumis à une série d'échelon de 0v à 10v, pour un temps fixe de 40s, les valeurs de la hauteur relevées sont résumées dans le tableau 2-1.

$U(V)$	0	1	2	3	4	5	5.5	6	6.5	7	8	8.5	9.7
$h(m).10^{-2}$	0	0	0	0	0	0	0	2.6	4.5	6.5	10.6	12.4	15.4

Tableau 2-1. Variation de la hauteur en fonction de la tension d'entrée.

Ces valeurs sont ensuite converties en graphe représenté par la figure 2.13.

Figure 2-13. Caractéristique E /S du système ($h = f(U)$).

De la figure 2.13, on constate que le principe de proportionnalité n'est pas vérifié pour toutes les valeurs de la tension donc le système est non linéaire et on déduit que le domaine de fonctionnement linéaire du système est entre 6v à 10V.

IV.2 Identification du gain de capteur

Afin de déterminer la linéarité de la réponse du capteur par rapport à la variation de la pression, on a fait varier le niveau d'eau et relevé les valeurs de la tension de sortie du capteur mesuré par un voltmètre. Ces valeurs sont représentées par le tableau 2.2.

$h(m). (10^{-2})$	0	3.1	4.5	6	7.5	9	10.8	12
$U_{mes}(V)$	0	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.5	8.4

Tableau 2-2. Variation de la mesure de sortie du capteur en fonction du niveau.

Ces valeurs sont ensuite converties en graphe représenté par la figure 2.14.

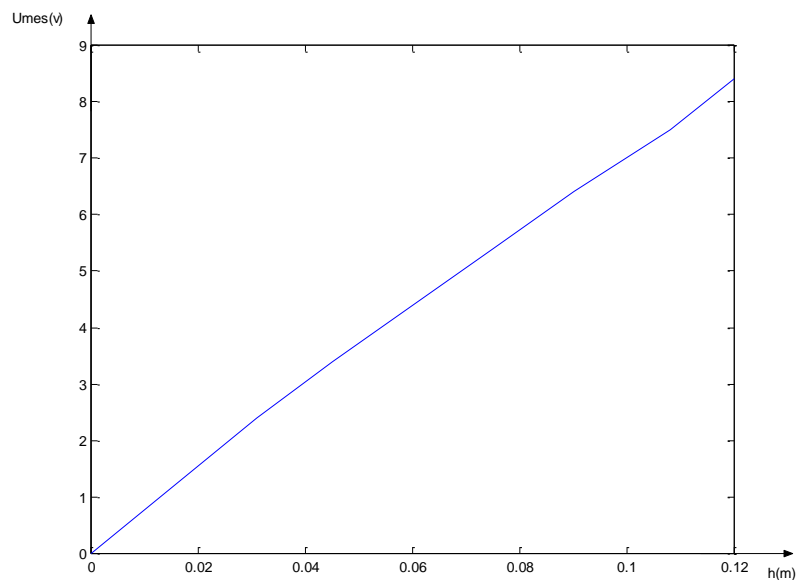


Figure 2-14. Variation de la tension de mesure en fonction de la hauteur d'eau.

La courbe de la figure 2.14 est linéaire on peut donc varier la commande proportionnellement au niveau choisi sans avoir à compenser la mesure délivrée par le capteur. Il introduit un gain pur k_c représenté par la pente de la droite de cette figure.

$$k_c = \frac{\Delta U_{mus\ moy}}{\Delta h_{moy}} = 67.92 \text{ V/m} \quad (2.17)$$

IV.3 Identification de la fonction de transfert du système de remplissage

Afin de déterminer la fonction de transfert régissant le fonctionnement du système, on le soumet à un échelon de tension d'amplitude 10 V. La réponse du système en fonction du temps relevée par l'oscilloscope est représentée par la figure 2.15.

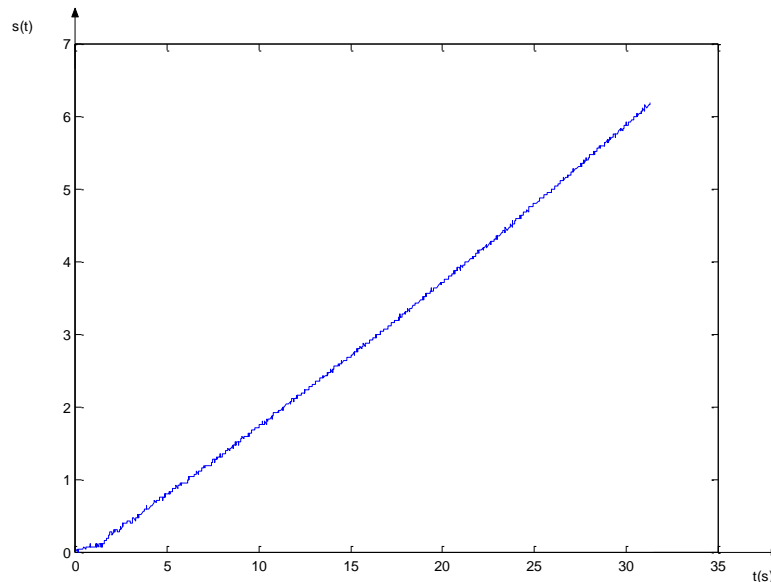


Figure 2-15. Réponse indicielle du système.

Cette courbe montre qu'une fois le régime transitoire est terminé, le signal de sortie évolue linéairement. Cela est dû à la présence d'un intégrateur dans le modèle. Ceci montre que le système est naturellement instable.

- **Identification par la méthode de Strejc-Davoust [5]**

La méthode Strejc-Davoust consiste à modéliser la réponse sous forme de la fonction 2.18.

$$G(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{p(Tp+1)^n} \quad (2.18)$$

- On doit donc déterminer les valeurs du gain dynamique k , le temps mort τ , la constante de temps T et l'ordre du système n

On trace l'asymptote D_1 à la courbe de la réponse indicielle, sa parallèle D_2 passant par l'origine A' , la parallèle $A'A$ à l'axe des temps et le segment AC normal en A à $A'A$. On calcule le rapport AB/AC , ce rapport permet de déterminer n grâce à la figure 2.17.

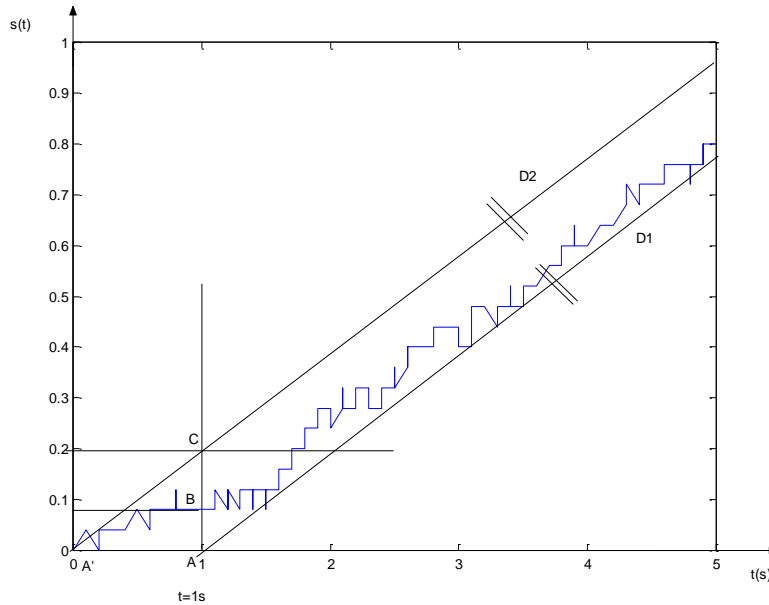


Figure 2-16. Principe de la méthode d'identification par la méthode de Strejc-Davoust.

$$AB/AC = 0.08/0.2 = 0.4 \tag{2.19}$$

Cette valeur est portée sur la figure 2.17, nous conduit à $n = 1$

Puisque n est un entier implique que $\tau = 0$

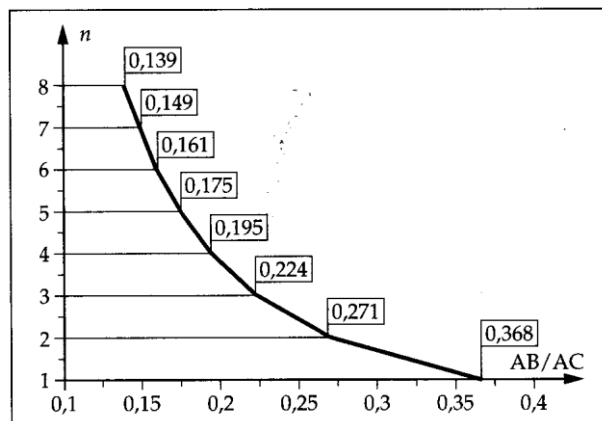


Figure 2-17. n en fonction du rapport AB/AC pour la méthode de Strejc-Davoust.

- Calcul de T :

$$A'A = nT$$

Tel que $A'A = 1$ donc :

$$T = 1s \quad (2.20)$$

- Calcul du coefficient directeur a de la courbe d'identification

$$a = \frac{\Delta s(t)}{\Delta t} = \frac{2}{8} = 0.25 \quad (2.21)$$

Le signal d'entrée est un échelon d'amplitude $A = 10$ V, on obtient le gain dynamique k

$$k = \frac{a}{A} = \frac{0.25}{10} = 0.025 \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (2.22)$$

La fonction de transfert du système est finalement donnée par :

$$G(p) = \frac{0.025}{p(1+1p)} = \frac{U_s(p)}{U_e(p)} \quad (2.23)$$

$U_s(p)$: La tension de sortie du système.

$U_e(p)$: La tension d'entrée du système

V. Simulation sous matlab

Matlab est le noyau de calcul scientifique, Simulink est dédié à la simulation du fonctionnement des systèmes continus ou échantillonnés, représentés simplement par leur schéma-bloc. [6]. Il nous permet de faire des testes avant de les mettre en œuvre.

V.1 Reponse indicielle du système pour $E = 10$ V

La fonction de transfert de l'équation 2.18 obtenue par l'identification est introduite dans le schéma bloc fonctionnel sous matlab représenté par le figure 2.18. On effectue une simulation pour un échelon de 10v, la réponse indicielle du système est représentée par la figure 2.19.

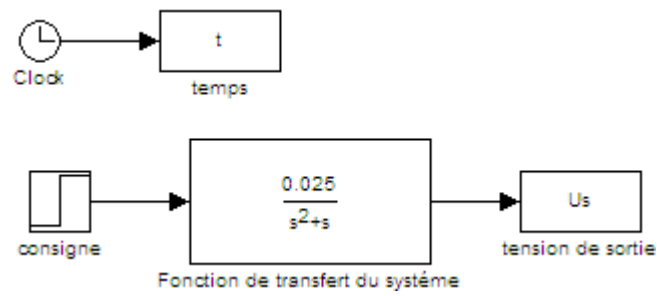


Figure 2-18. Schéma bloc sous matlab

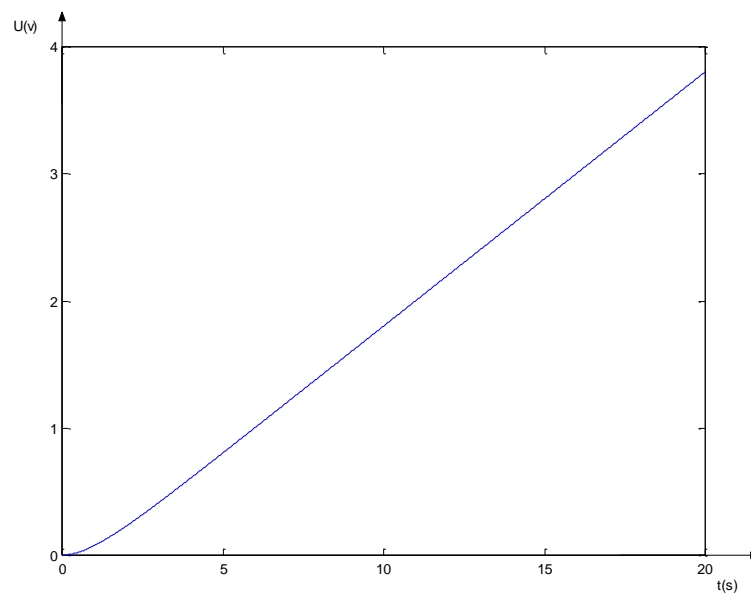


Figure 2-19. Réponse indicielle obtenue avec matlab

De la figure 2.19, on constate que la courbe présente la même allure que la courbe relevée expérimentalement. Pour vérifier l'exactitude des paramètres détenus par identification, on superpose la courbe obtenue par simulation à celle relevée expérimentalement. C'est ce que montre la figure 2.20.

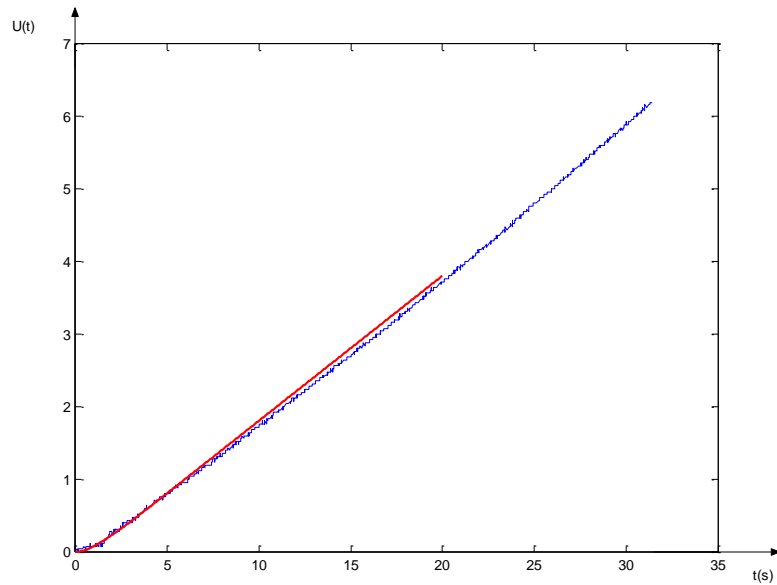


Figure 2-20. Réponse indicielle expérimentale et avec simulation pour $E=10\text{ V}$
(En bleu : courbe expérimentale, en rouge : courbe obtenue par simulation)

Cette figure montre que la réponse indicielle relevée expérimentalement par oscilloscope et avec simulation sont identiques. La fonction de transfert 2-23 peut donc être considérée comme étant le modèle du système à commander.

V.2 Représentation du schéma fonctionnel global du système

Pour représenter le schéma fonctionnel avec les valeurs réelles des différents paramètres du système, il faut déterminer les inconnues figurant sur la figure 2.12.

- Surface du réservoir

La surface utile du réservoir est égale à la surface intérieure de celui-ci, et on soustrait la surface des tuyaux présents à l'intérieur.

$$A = (26.5 \times 1.5) - 1.76 = 38 \text{ cm}^2$$

$$A = 38.10^{-4} \text{ m}^2 \quad (2.24)$$

- Gain du débit

On ne peut pas calculer le débit en fonction de la vitesse de rotation du moteur puisque on ne peut pas accéder à ces grandeurs. Par contre on peut déduire le gain statique du débit k_q à de la figure 2.12 et la fonction de transfert 2.23.

$$k = \frac{k_q \times k_c}{A} = 0.025$$

$$\text{Donc } k_q = \frac{k \times A}{k_c} = \frac{0.025 \times 38 \cdot 10^{-4}}{67.92}$$

$$k_q = 1.3987 \cdot 10^{-6} \quad (2.25)$$

La figure 2.21 représente le schéma fonctionnel sous matlab-simulink. De ce schéma on peut tracer les réponses indicielles de débit pour différents échelons de tension, elles sont représentées sur la figure 2.22.

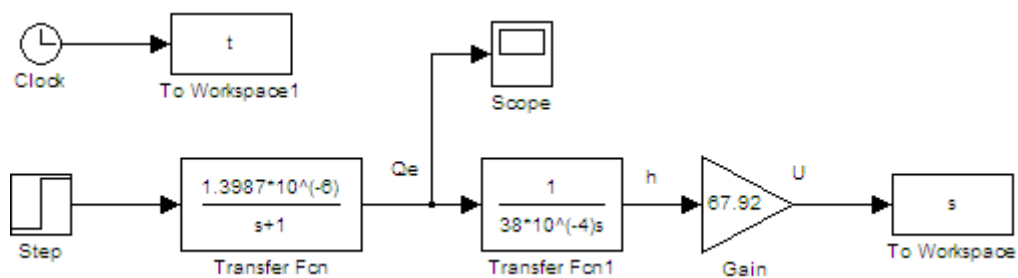


Figure 2-21. Schéma fonctionnel du système sous matlab- simulink

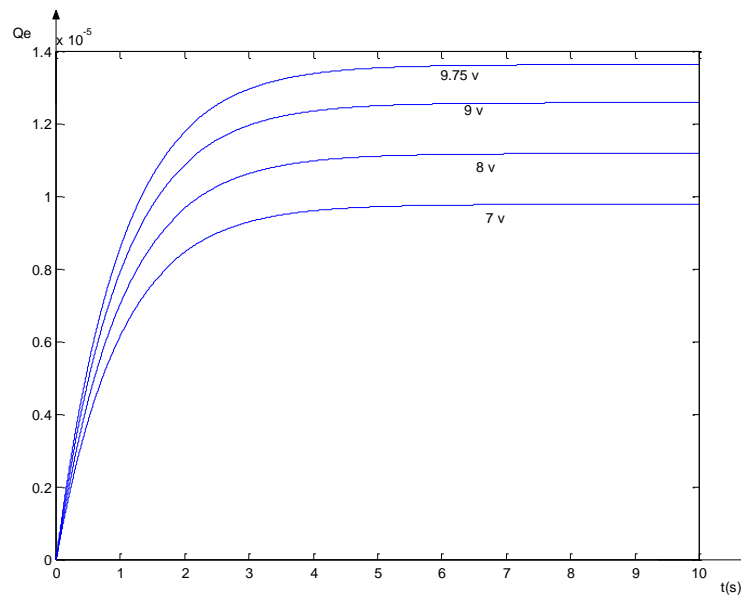


Figure 2.22 : Réponse indicielle du débit

Cette figure montre qu'en régime permanent, le débit est constant, par conséquent, le niveau d'eau dans le réservoir augmente de manière linéaire.

Ce qui manque dans ce schéma fonctionnel c'est un bloc permettant d'illustrer le fait qu'en dessous d'une tension inférieure à 5.5 V, le débit est nul tel que c'est relevé expérimentalement.

VI. Conclusion

Pour avoir le modèle du système global d'ordre peu élevé, afin qu'il soit utile pour la synthèse de la commande, on approxime le modèle du moteur à courant continu au modèle du premier ordre en annulant l'inductance du moteur, et on prend sa sortie comme débit afin d'obtenir son gain statique. Les perturbations sur le système ne sont pas prises en considération. La présentation de la maquette du système et sa modélisation est la première étape d'étude. Dans le chapitre suivant nous entamons les différents essais afin d'identifier le modèle global de la maquette.

Chapitre 3

Etude du système en boucle fermée.

I. Introduction

Après l'identification du système et la détermination de sa fonction de transfert, l'étude en boucle fermée est nécessaire pour calculer la valeur du gain k_p du régulateur proportionnel afin d'atteindre les performances désirées (stabilité rapidité, précision).

II. Calcul du régulateur proportionnel pour stabiliser le niveau

La fonction de transfert en boucle fermée est déduite à partir de la fonction de transfert en boucle ouverte, sous forme de la fonction 3-1.

$$G(p)_{bf} = \frac{G(p)_{bo}}{1+G(p)_{bo}} \quad (3-1)$$

Avec
$$G(p)_{bo} = \frac{k_p 0.025}{p(1+p)} \quad (3-2)$$

$$G(p)_{bf} = \frac{\frac{k_p 0.025}{p(1+p)}}{1 + \frac{k_p 0.025}{p(1+p)}}$$

$$G(p)_{bf} = \frac{1}{\frac{T}{k_p \cdot k} p^2 + \frac{1}{k_p \cdot k} p + 1}$$

$$G(p)_{bf} = \frac{1}{\frac{1}{k_p \cdot 0.025} p^2 + \frac{1}{k_p \cdot 0.025} p + 1} \quad (3-3)$$

La seule possibilité de réglage étant d'agir sur la valeur du gain k_p du régulateur, on voit que les performances de ce système vont dépendre essentiellement du choix effectué ; privilégiant soit une bonne stabilité, soit une grande rapidité. La présence de l'intégrateur dans la chaîne directe annule l'erreur statique.

- Par identification à un système de deuxième ordre on obtient

$$\frac{2z}{\omega_n} \equiv \frac{1}{k_p k} \quad , \quad \omega_n \equiv \sqrt{\frac{k_p k}{T}} \quad ,$$

Avec $k = 0.025$

Donc :

$$k_p = \frac{1}{4z^2 k T} \tag{3-4}$$

- Calcul du gain k_p afin d'imposer une bonne stabilité soit en régime critique $z = 1$
D'après la relation 3-4 on obtient

$$k_p = \frac{1}{4 \times 1 \times 0.025 \times 1} = 10 \tag{3-5}$$

En déduit $\omega_n = 2z k k_p = 2 \cdot 10 \cdot 0,025 = 0.5$

$$\omega_n = 0.5 \text{ rd/sec} \tag{3-6}$$

$$t_r = \frac{3}{\omega_n} = 6s \tag{3-7}$$

En introduisant ces résultats sous matlab simulink et fixé une référence désiré on obtient le schéma fonctionnel de la figure 3-1

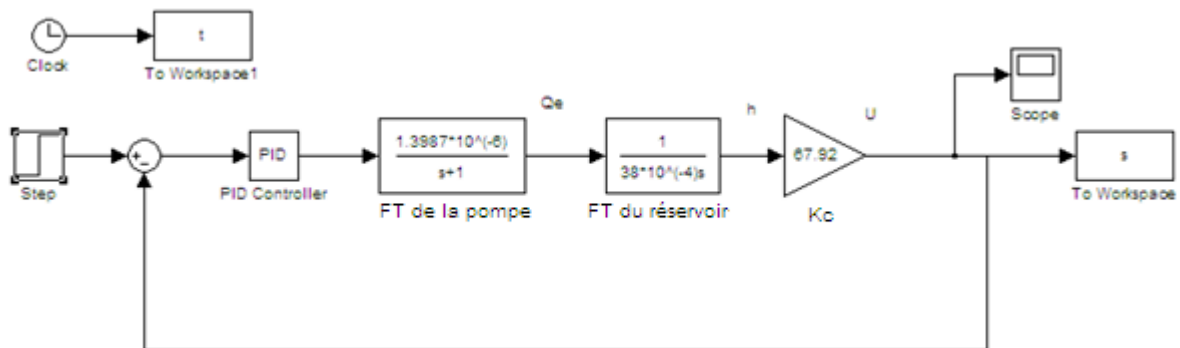


Figure 3-1. Schéma de simulation sous matlab

Pour $U_{ref} = 5V$ et $k_p = 10$ on obtient la courbe de la figure 3-2.

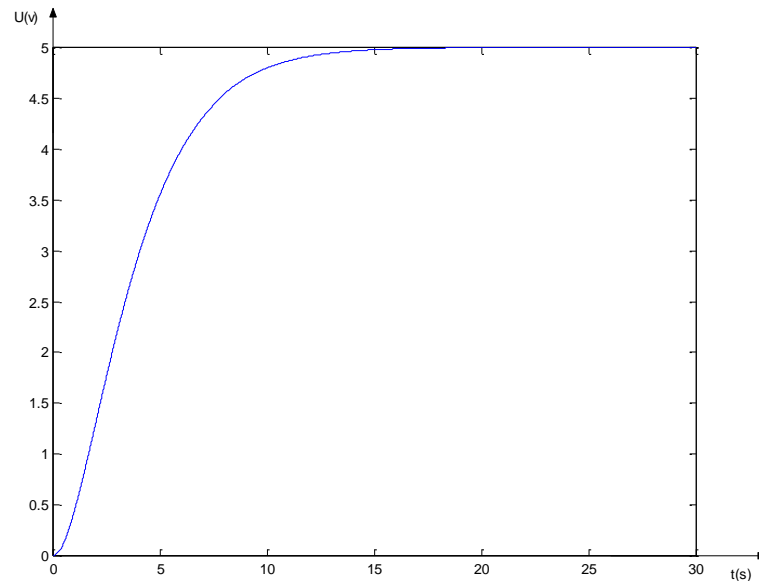


Figure 3-2. Réponse en boucle fermée; $U_{ref} = 5\text{ V}$ et $k_p = 10$

On remarque que la courbe de la figure 3-2 ne contient pas de dépassement et se stabilise exactement à la valeur de référence après un régime transitoire.

- Calcul du gain k_p afin d'imposer un temps de réponse de 4s.

De la relation 3-4 $\omega_n = \frac{3}{t_r} = 0.75\text{ rd/sec}$ et on a $\omega_n \equiv \sqrt{\frac{k_p K}{T}}$ donc :

$$k_p = \frac{0.75^2}{0.025} = 22.5 \quad (3-8)$$

Pour la même référence on a obtenu la figure 3-3

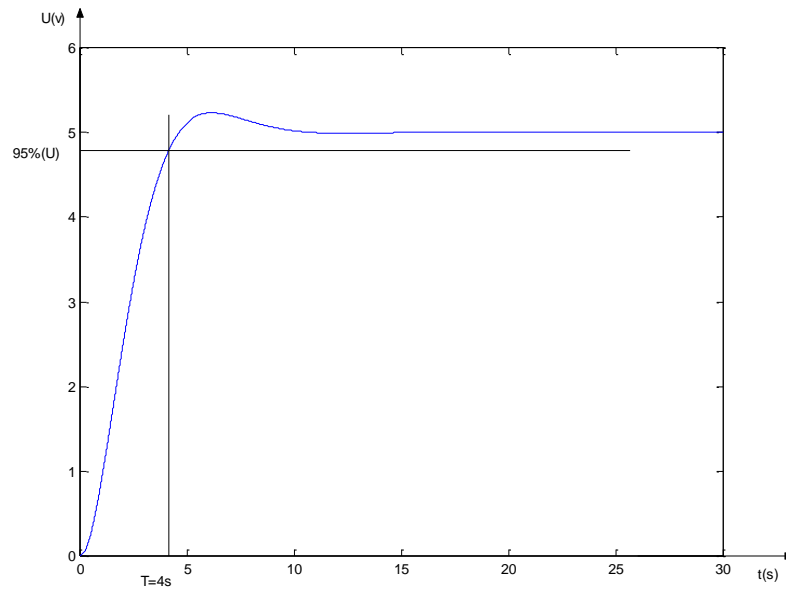


Figure III-3 : Réponse en boucle fermée; $U_{ref} = 5 V$ et $k_p = 22.5$

- Calcule du dépassement :

Avant de calculer le dépassement on doit calculer d'abord z tel que $\frac{2z}{\omega_n} \equiv \frac{1}{k_p K}$

Donc :

$$z = \frac{0.75}{2 * 22,5 * 0,025} = 0.666 \quad (3-9)$$

$$D\% = 100 * e^{-\frac{z\pi}{\sqrt{(1-z^2)}}}$$

Après calcul on trouve :

$$D\% = 6.0345\% \quad (3-10)$$

La courbe de la figure 3-13 se stabilise à la valeur de la consigne, de plus le dépassement ne dépasse pas les 30%, on déduit que les performances souhaitées sont atteintes.

III. Tests expérimentaux

Afin de confronter expérimentalement les résultats obtenus par simulation, des tests expérimentaux sont donc nécessaires afin de valider le système. Pour les mêmes valeurs de la consigne et du gain du régulateur, ces tests sont réalisés par deux méthodes, la première

consiste à régler les valeurs du gain de régulateur à partir de son clavier et la deuxième méthode consiste à utiliser un logiciel conçu pour ce régulateur.

III.1 Courbes relevées par oscilloscope

Les résultats des réponses obtenus relevées par oscilloscope sont représentées aux figures 3-4 et 3-5

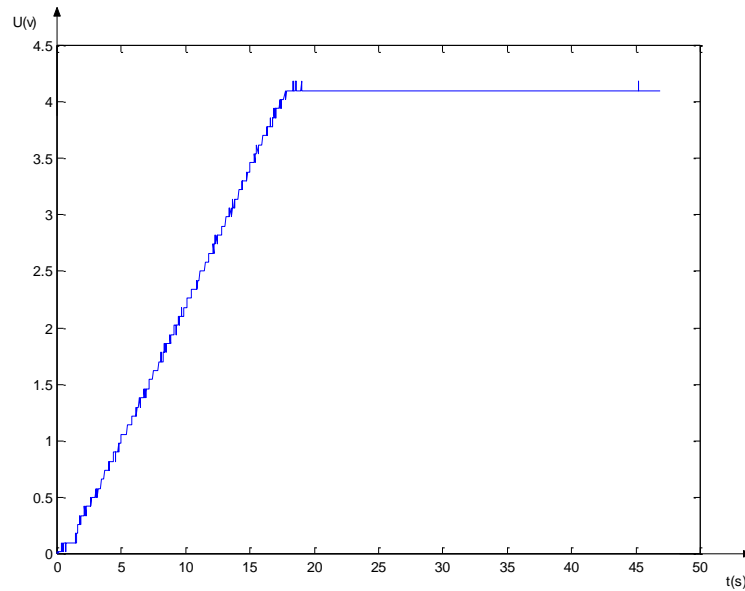


Figure 3-4. Réponse indicielle en boucle fermée relevée par oscilloscope pour

$$U_{ref} = 5 V \text{ et } k_p = 10$$

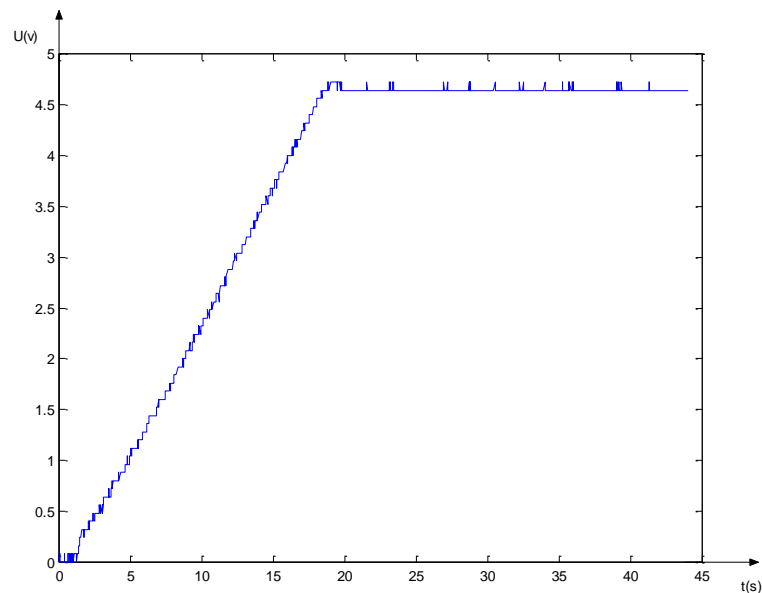


Figure 3-5. Réponse indicielle en boucle fermée relevée par oscilloscope pour $U_{ref} = 5\text{ V}$ et $k_p = 22.5$

Des figures 3-4 et 3-5 la réponse évolue linéairement et se stabilise brusquement à une valeur inférieure à la consigne et que la valeur final pour $k_{p=22} > k_{p=10}$.

III.2 Courbes relevées par logiciel

Le logiciel du matériel de LUCAS-NÛLLE est un logiciel destiné proprement à son matériel. Installé sur PC il permet la mise en marche/arrêt du système après avoir fixé les paramètres du régulateur PID représenté sur la figure 2-3, de plus il permet de visualiser la réponse du système. Des généralités sur l'utilisation de ce logiciel sont données en annexe.

Afin de pouvoir comparer les résultats précédents et ceux obtenus à l'aide de ce logiciel, nous devons fixer les mêmes valeurs de référence et du gain de régulateur. Les figures 3-6 et 3-7 représentent les courbes des réponses obtenues par le logiciel.

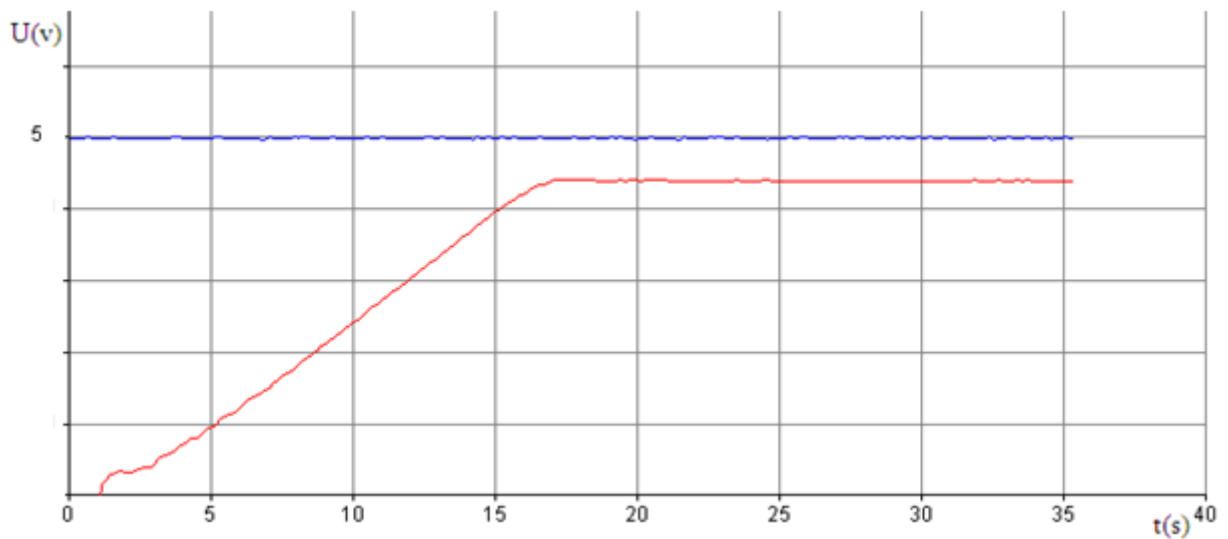


Figure 3-16. Réponse indicielle en boucle fermée relevée par le logiciel

$$U_{ref} = 5 \text{ V et } k_p = 10.$$

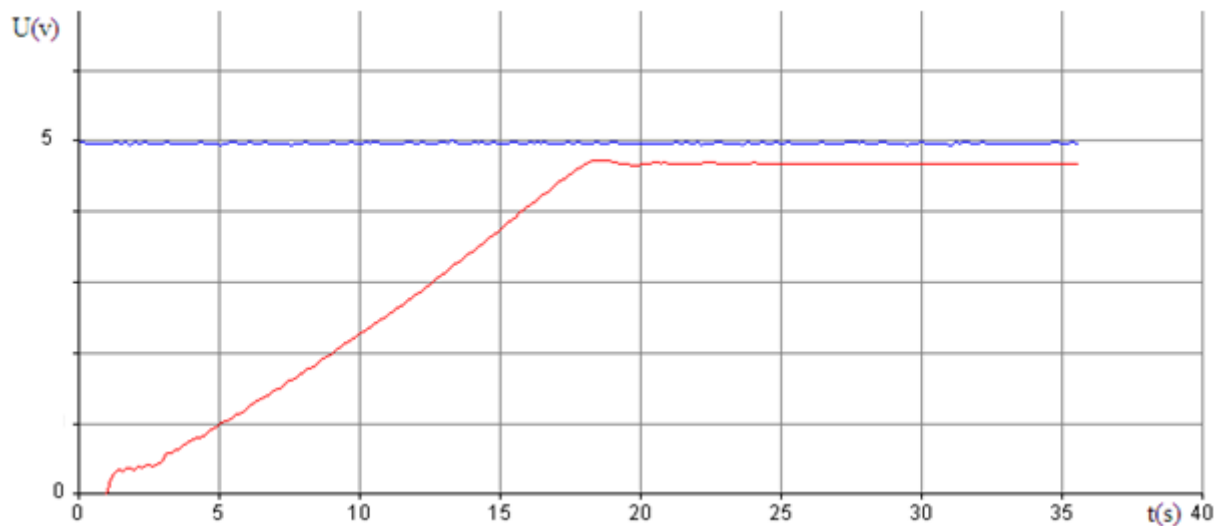


Figure 3-7. Réponse indicielle en boucle fermée relevée par logiciel

$$U = 5 \text{ V et } k_p = 22.5.$$

Des figures 3-6 et 3-7 on remarque que le système possède un temps de retard de 1s environ et après l'évolution linéaire, la courbe se stabilise à une valeur finale, celle-ci est inférieure à celle fixée, la valeur final de la courbe pour $k_p = 22.5$ est supérieur à la valeur final de la courbe pour $k_p = 10$.

III.3 Comparaison des résultats

Afin de comparer les réponses indicielles obtenues théoriquement par simulation et relevées expérimentalement par oscilloscope et par logiciel on représente dans la figure 3-8 les trois réponses ainsi obtenues.

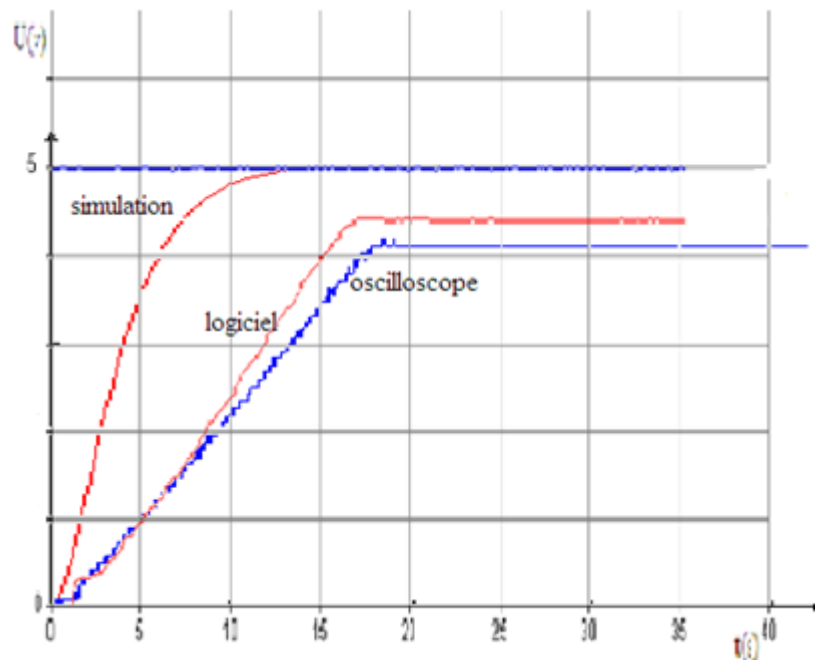


Figure 3-8. Comparaison des trois courbes.

La figure 3-8 montre que les deux courbes relevées par logiciel et oscilloscope se ressemblent mais elles n'évoluent pas de la même manière que celle obtenue par simulation. La pente du régime transitoire de la courbe de simulation est supérieure à celle expérimentalement, le temps d'établissement ainsi que les valeurs finales sont clairement différents. Donc à partir de données expérimentales nous devons refaire la simulation en introduisant d'autres paramètres.

Ceci montre que lors de la modélisation du système des blocs en été omis, nous avons relevé la tension d'alimentation de la pompe pour différentes valeurs de référence pour trouver quel bloc il faut ajouter. La figure 3-9 montre les courbes ainsi relevées.

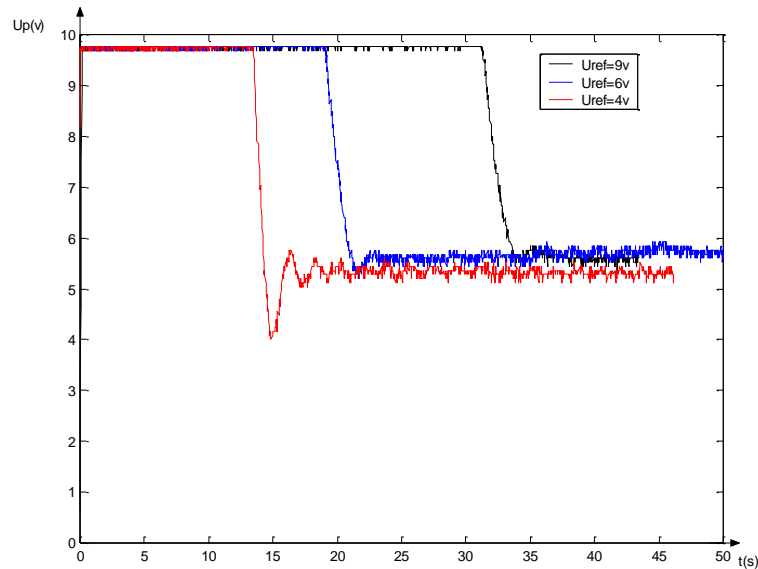


Figure 3-9. Tension d'alimentation de la pompe pour différentes valeurs de référence.

De la figure 3-9 on remarque que pour les trois valeurs de la consigne, qu'au départ la tension limitée à la valeur de 9.75 V, donc la tension d'alimentation de la pompe est toujours limitée à cette valeur, cela par mesures de sécurité de la pompe. Après stabilisation du niveau, la pompe reste alimentée avec une tension comprise entre 5.4 et 5.7 V.

Pour intégrer ce phénomène dans le schéma de simulation nous ajoutons dans le schéma fonctionnel un élément de saturation à la sortie du régulateur. La valeur limite de la tension est égale à 9.75 V. La figure 3-10 représente le schéma de simulation ainsi obtenu.

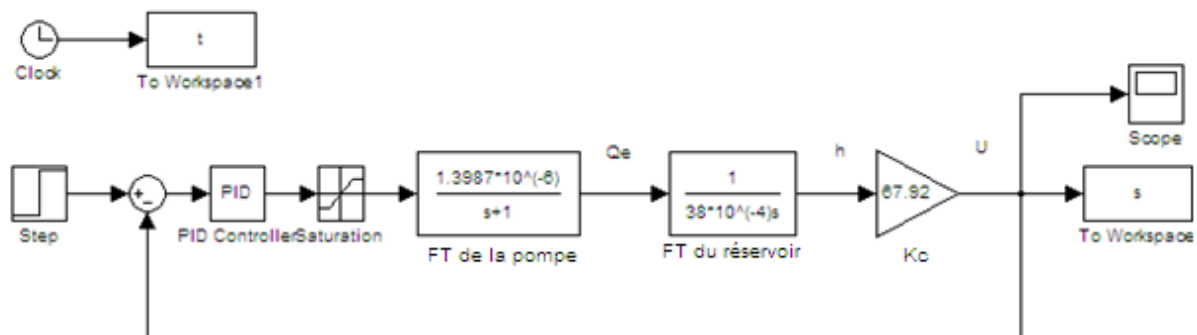


Figure 3-10. Schéma de simulation avec limitation de la valeur d'entrée.

Afin de montrer l'influence de ce bloc, on présente dans la figure 3-11 les courbes de simulation obtenues avec et sans bloc de saturation. la figure 3-21 illustre également les courbes expérimentales obtenues pour $U_{ref} = 5\text{ V}$ et $k_p = 10$.

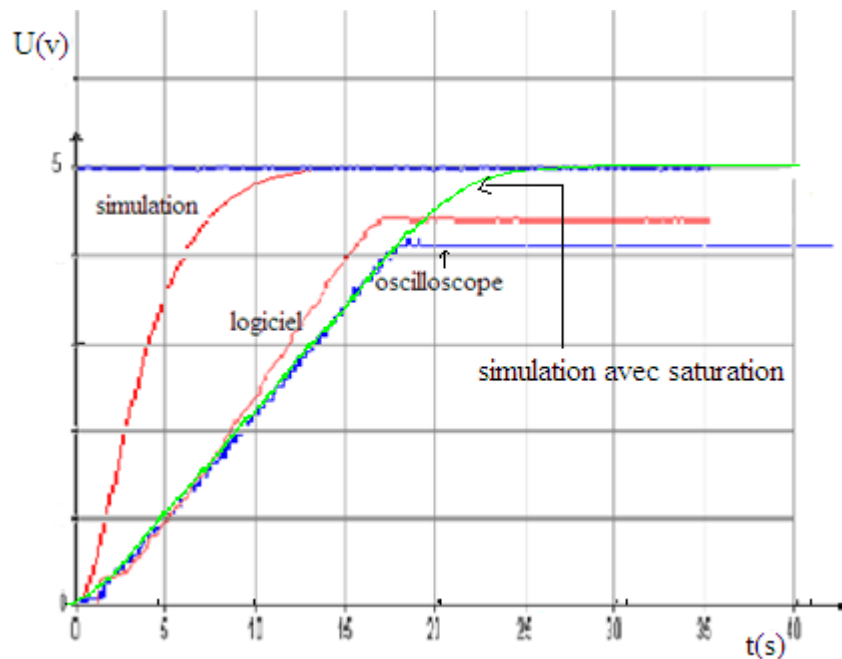


Figure 3-11 Courbes de comparaison

Cette figure montre que la courbe de simulation obtenue avec un bloc de saturation est plus proche de la réalité, puisque la pente de montée est la même que celle de réponse indicielle relevée expérimentalement. Il subsiste néanmoins une différence en régime établi puisque la valeur finale relevée par simulation est différente de celle obtenue expérimentalement. Cette différence est sans doute due au fait que la pompe ne débite de l'eau que lorsqu'elle est alimentée avec une tension supérieure à 5.5 V

Nous avons alors ajouté dans le schéma de simulation de la figure 3-10 un élément permettant de tenir compte de cette condition, ceci est obtenu en insérant à la sortie de l'élément de saturation un bloc de comparaison qui ne laisse passer que des tensions supérieures à 5.5 V. La figure 3-12 montre le schéma fonctionnel ainsi obtenu.

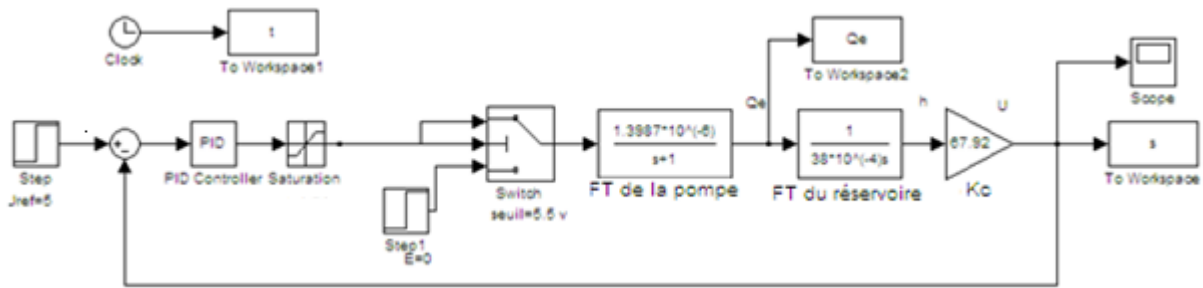


Figure 3-12. Schéma fonctionnel pour un fonctionnement de 5.5 à 9.75 v

La figure 3-13 montre la courbe de simulation obtenue en utilisant le schéma fonctionnel de la figure 3-12. Celle-ci est une nouvelle fois comparée aux courbes relevée expérimentalement.

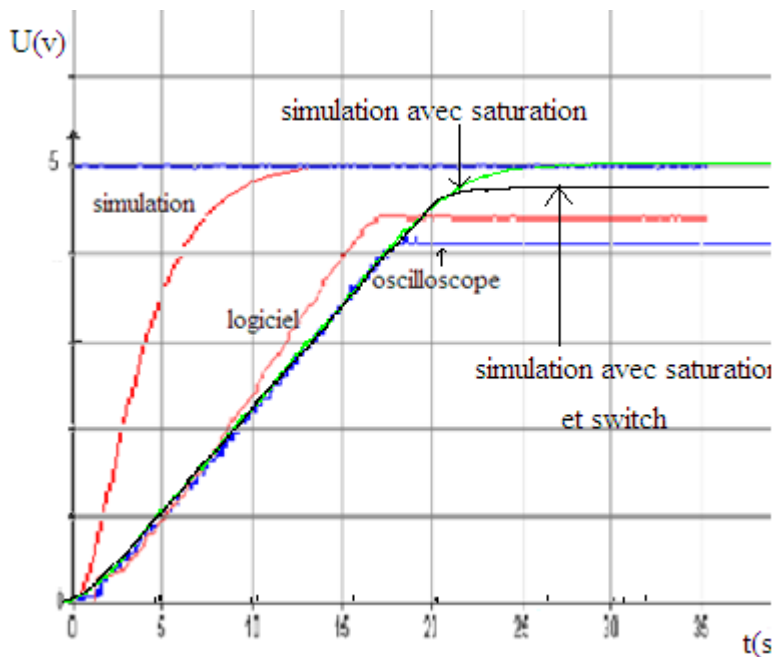


Figure 3-13. Courbe de comparaison de toutes les réponses indicielles

On remarque de la figure 3-13 que la courbe relevée par simulation s'approche des courbes relevées expérimentalement. Néanmoins, cette courbe montre qu'il subsiste une erreur entre la valeur de référence et la valeur finale de la sortie.

Pour montrer l'influence du gain du régulation sur la qualité de réglage (erreur statique) nous présentons dans la figure 3-14 la réponse indicielle de la sortie pour différentes valeurs du gain du régulateur pour une même tension de référence, ensuite sur la figure 3-15 la réponse indicielle de sortie pour différentes valeurs de la tension de référence pour une même valeur du gain du régulateur.

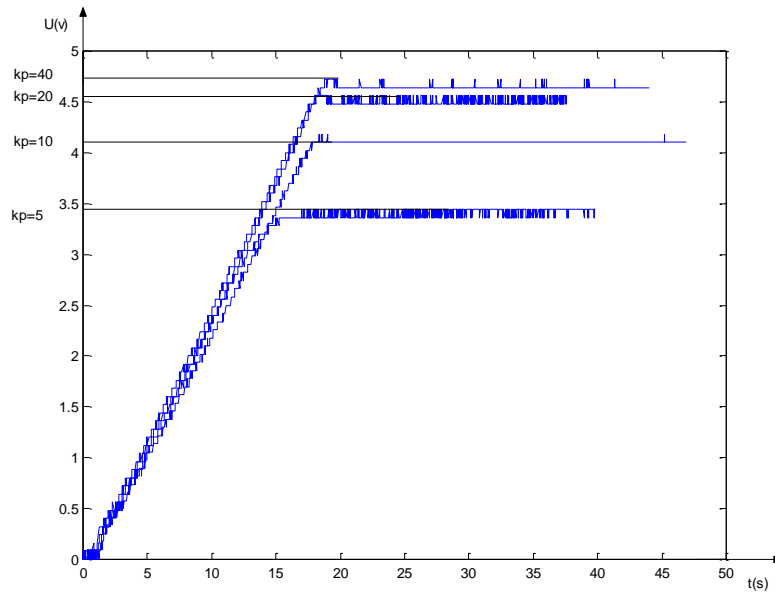


Figure 3-14. Réponse indicielle pour k_p variable et $U_{ref} = 5 \text{ V}$

La figure 3-14 met en valeur le fait que plus le gain k_p augmente plus l'erreur statique diminue, le tableau 3-1 suivant illustre les valeurs de l'erreur en fonction de k_p

k_p	5	10	20	40
$\varepsilon_s \text{ (V)}$	1.56	0.8	0.44	0.28

Tableau 3-1. Variation de l'erreur en fonction de la variation du gain k_p .

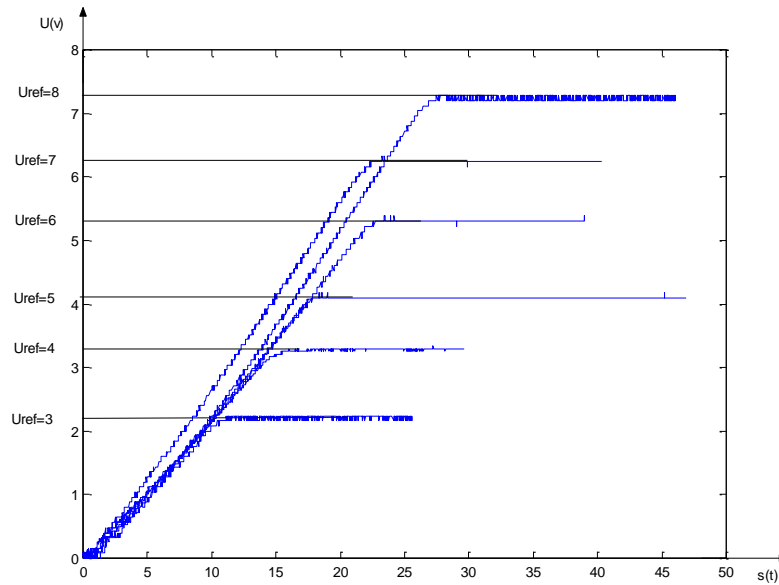


Figure 3-15. Réponse indicielle pour U_{ref} variable et $k_p = 10$.

La figure 3-15 pour k_p fixe montre que pour chaque valeur de référence la valeur finale de sa réponse se stabilise au voisinage de celle-ci, pour l'erreur statique on remarque qu'elle reste relativement constante. Le tableau 3-2 suivant illustre les valeurs de l'erreur en fonction de U_{ref} .

U_{ref}	3	4	5	6	7	8
$\epsilon_s(V)$	0.76	0.7	0.8	0.7	0.76	0.72

Tableau 3-2. Variation de l'erreur en fonction de U_{ref} .

IV. Conclusion

Pour mieux comparer les résultats expérimentaux à ceux obtenus par simulation, il faut faire en sorte que la structure du schéma fonctionnel en simulation à celle de la maquette. Les courbes de la sortie relevées en insérant les blocs saturation et Switch s'approchent de celles relevées expérimentalement mieux que sans insertion de ces blocs.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré à l'étude et à la modélisation sous matlab simulink d'une commande d'un système hydraulique.

Pour ce faire dans le premier temps, nous avons présenté quelque notion de base sur la commande des systèmes asservis. Par la suite, nous avons étudié le fonctionnement et la modélisation de chaque bloc du système permettant d'élaborer son schéma fonctionnel.

Ensuite nous avons identifié le modèle du système à partir de ce modèle, une étude en boucle fermée à été effectuée en utilisant un régulateur proportionnel pour maintenir le niveau.

Les réponses obtenues par simulation ne s'approchent pas de celles obtenues expérimentalement dans l'étude linéaire. Ceci nous conduit à insérer les blocs saturation et switch, afin de s'approcher au schéma fonctionnel réel

Notre travail est loin d'être achevé et comme perspective, nous proposons l'étude des systèmes non linéaires.

Annexe

Le programme **Régulateur PID** permet d'étudier le comportement d'un régulateur PID avec le régulateur universel numérique (SO3620-1A). Les composantes P-, I- et D sont prises en charge ainsi que toutes les combinaisons possibles de ces composantes.

La régulation est assurée par le régulateur et donc pas par le PC. En d'autres termes, la régulation n'est donc pas fonction de la vitesse du PC. Le PC n'assure que le réglage des paramètres du régulateur ainsi que la représentation graphique des différentes grandeurs réglées.

On pourra ainsi étudier les points suivants :

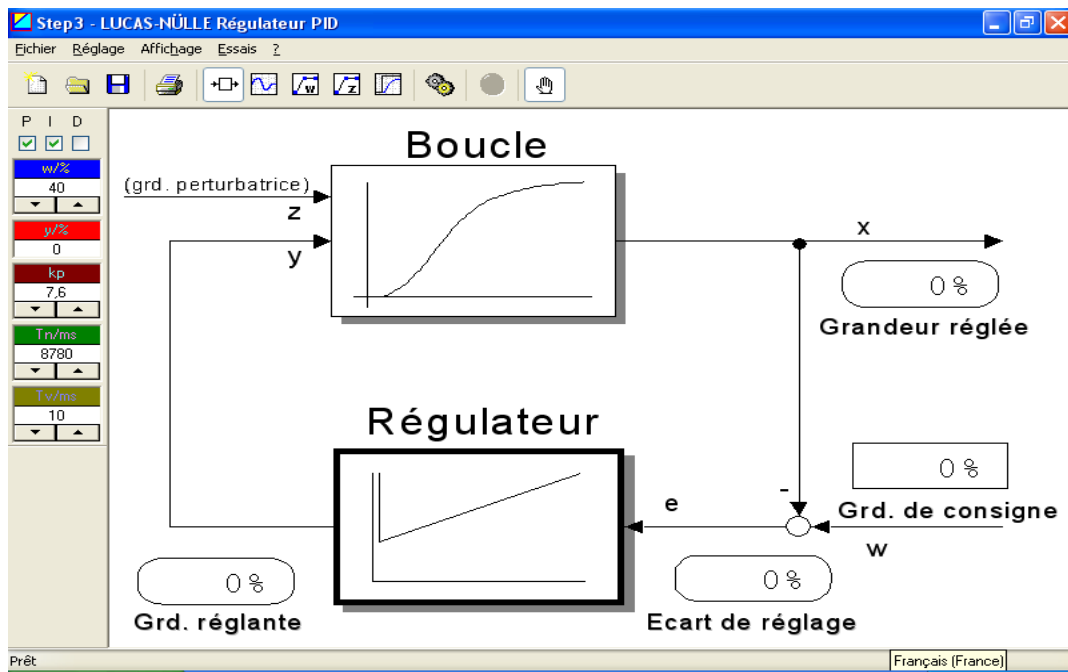
- Structure de base d'un circuit ou d'un système asservi via organigramme avec désignation standardisée des signaux
- Principe du fonctionnement et comportement des différents types de régulateur ; Régulateurs P, I et D ainsi que les combinaisons possibles à partir de ces 3 composantes.
- Analyse de structures de régulateurs complexes à l'aide d'un régulateur en cascade
- Influence de la position de la valeur de consigne sur le comportement du régulateur
- Influence des paramètres de régulation sur le comportement du régulateur
- Influence de la position de la grandeur de consigne sur le comportement du régulateur ; fonction de grandeur de consigne à définir pour l'étude du comportement dynamique du régulateur.
- Comportement du circuit de régulation en cas de perturbations provoquées par une tension de sortie quelconque
- Limite d'application des différents types de régulateur
- Possibilité d'enregistrement de la réponse à un échelon du système asservi avec détermination graphique des grandeurs caractéristiques.
- Détermination des paramètres de régulation optimaux
- Evaluation de la qualité de la régulation

L'utilisation et l'application du régulateur PID sont démontrées à l'appui d'une régulation de la température. Pour ce faire, il nous faut :

- un amplificateur de puissance (SO3536-7Q),
- une alimentation CC +15V (SO3538-8D),

- un système asservi de température (SO3536-8T) ainsi que bien sûr
- le régulateur numérique (SO3620-1A).

Il faut avant tout procéder au câblage de la structure d'essai, c'est-à-dire relier la sortie analogique **y1** du régulateur à l'entrée du système et l'entrée analogique **x1** du régulateur à la sortie du système.



Outre les éléments connus (barre de titre, barre des menus ...) d'autres applications Windows, la fenêtre comprend

- une barre des symboles vous permettant d'appeler les commandes souvent utilisées
- la zone de travail dans laquelle le schéma fonctionnel est d'abord affiché
- une barre de contrôle où sont affichés les éléments de commande pour le réglage de la grandeur de consigne et des paramètres du régulateur.

Pour adapter le régulateur à la structure d'essai, sélectionnons tout d'abord le point du menu **Paramètres du régulateur** dans le menu **Réglage**. La boîte de dialogue pour la configuration du régulateur apparaît.

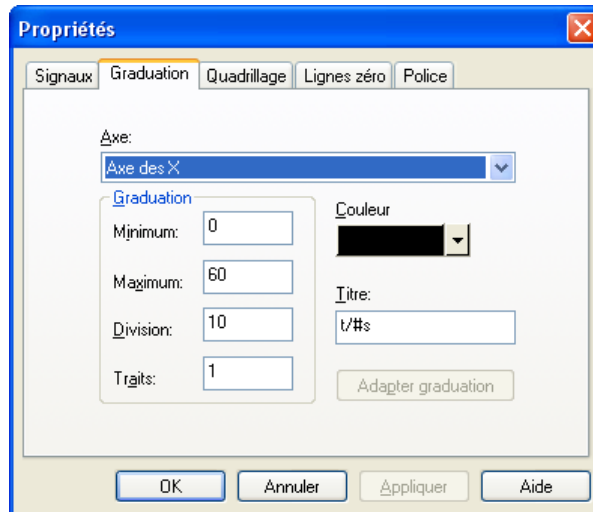


Ces valeurs pour les paramètres du régulateur sont des valeurs estimées. L'opération suivante consiste à régler la valeur souhaitée pour la grandeur de consigne. Sélectionnons la page "Grandeur de consigne" dans la boîte de dialogue:



Pour voir l'évolution temporelle des valeurs, sélectionnons le menu **Diagramme temporel** dans le menu **Vue**.

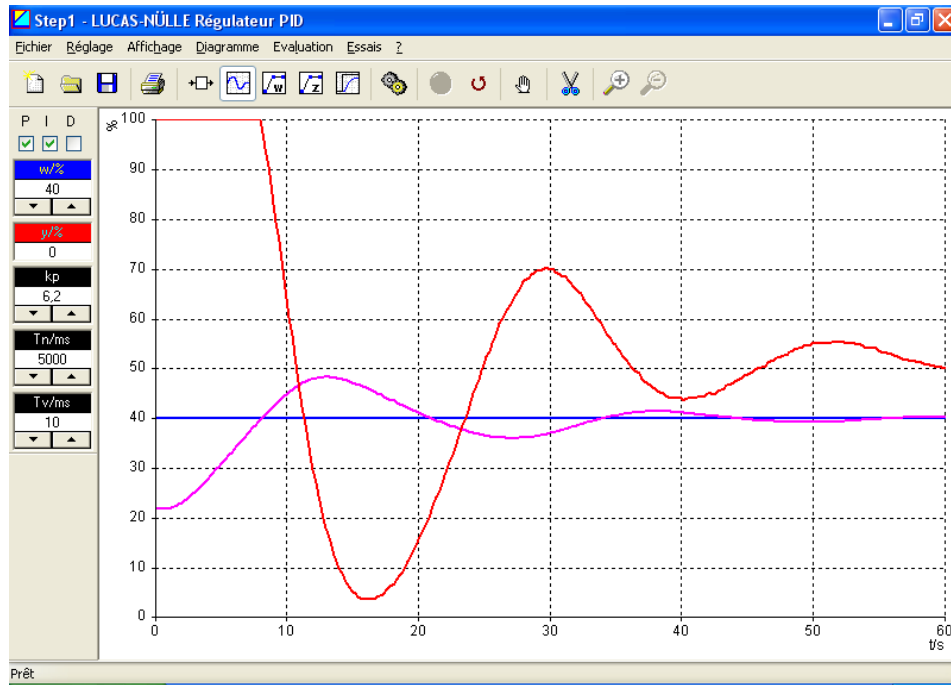
Pour finir, nous devrions encore modifier la graduation du diagramme. Double-clique sur l'axe des X et, dans la boîte de dialogue affichée, fixons le maximum de l'axe du temps sur 60 et la graduation sur 10 :



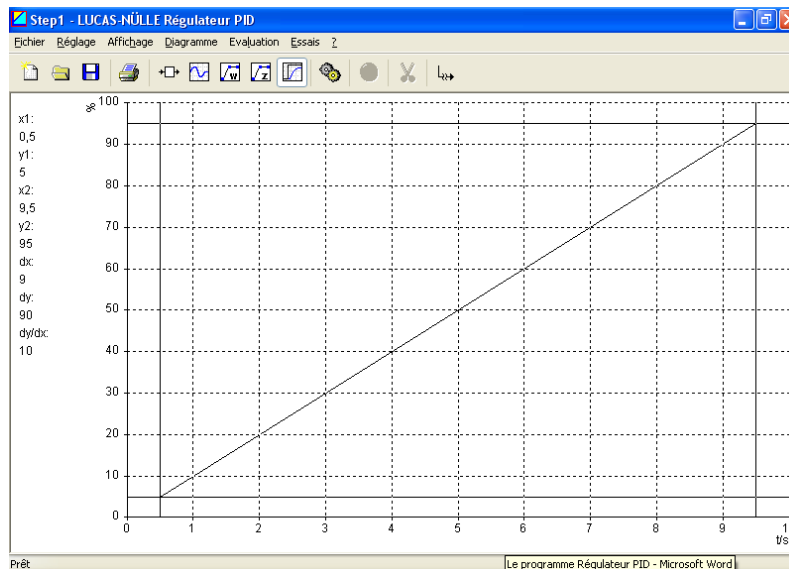
Maintenant, il convient encore de définir ce qui doit être visualisé dans le diagramme temporel. Pour cela, cliquons dans la boîte de dialogue sur la rubrique "Affichage des signaux" :



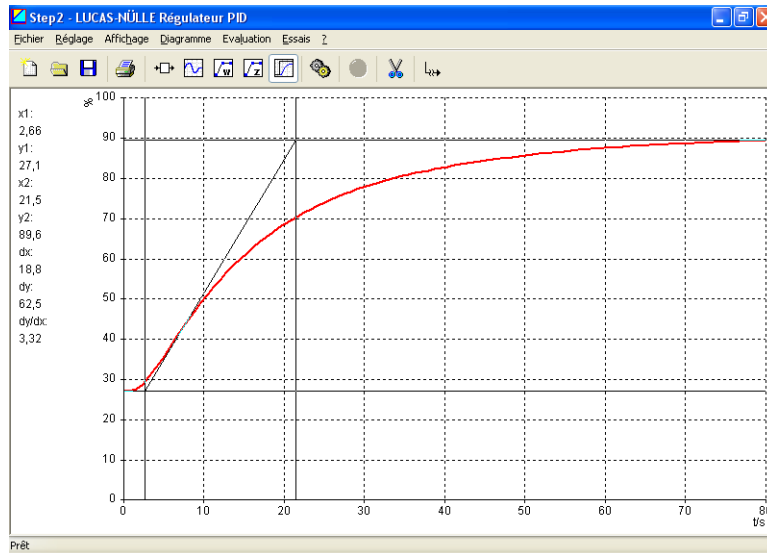
Choisissons en supplément dans la zone de sélection le point "Grandeur réglante générale". Pour ce faire, activons le point du menu **Mettre le régulateur en marche** dans le menu **Réglage** ou appuyons sur le bouton rouge de la barre des symboles. Nous pouvons alors observer l'évolution temporelle de chacune des grandeurs dans le diagramme :



Sélectionnons le point du menu **Réponse du système** dans le menu **Vue**. La fenêtre suivante apparaît :



Nous pouvons commencer à relever la réponse du système en sélectionnant le point du menu **Lancer la mesure** dans le menu **Réglage** ou en appuyant sur le bouton rouge. La mesure étant terminée, menons la tangente sur la courbe mesurée ; les valeurs respectivement appropriées sont affichées dans la partie gauche de la fenêtre :

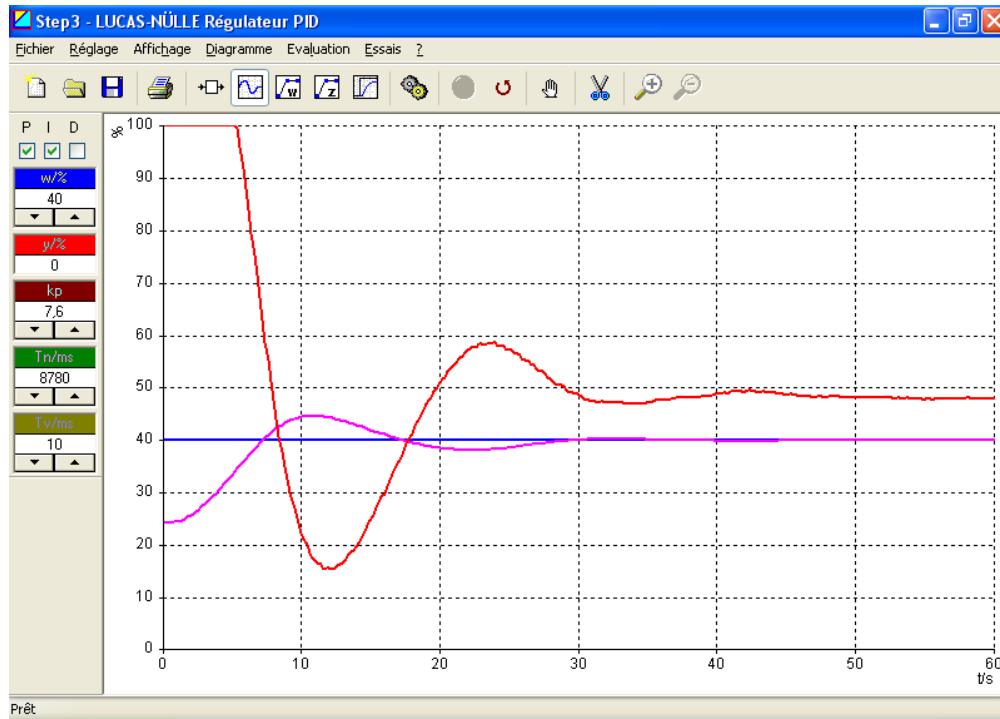


Il s'agit visiblement d'un système avec compensation. Afin de déterminer les critères de réglage selon les règles de Ziegler-Nichols, sélectionnons le point de menu approprié dans le menu **Evaluation**.

Les valeurs calculées à partir de la tangente sont affichées dans la boîte de dialogue qui apparaît :

Pour que les valeurs calculées soient prises en compte pour le régulateur, nous devons sélectionner le type de régulateur de votre choix et activons le bouton "Valider".

Revenons au diagramme temporel du menu Vue et relançons la régulation. Le comportement de la boucle de régulation s'est nettement amélioré :



Si nous changeons maintenant d'un coup la grandeur de consigne, nous pouvons évaluer le comportement du régulateur (si nous cliquons avec le pointeur de la souris sur une flèche dans la case w/% de la barre de contrôle, la grandeur de consigne varie par pas de 1%; lorsque tout en cliquant, nous maintenons enfoncée la touche CTRL, la variation a lieu par pas de 10%).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N.BENAMROUCHE et S .OSMANI ''système asservis linéaire'' document imprimé disponible à la bibliothèque de la faculté de GEI de l'UMMTO
- [2] Louis MARET '' régulation automatique'' presses polytechniques romandes
- [3] Jean-Pierre STEPHAN, Philippe COSQUER ISTA ''initiation à l'asservissement et à la régulation''
http://www.educauto.org/Mutualisation/transfert.php?name=ASSERVIR_1011.ZIP&hit=267&file=Documents/ASSERVIR_1011.ZIP&num=1011
- [4] <http://lyc58-fr.ac-dijon.fr/ljr/cours/supsi/si/cde-syst/Performancesystemeasservi.pdf>
- [5] Patrick PROUVOST-contrôle régulation- Edition NATHAN technique Paris 1997, ISBN 2.09.177487.1
- [6] M. RIVOIRE, J. FERRIER''Matlab simulink stateflow - Avec des exercices d'automatique résolus'' Edition Technip 01/12/2000 ISBN : 2-7108-0789-0
- [7] Michel VILLAIN ''système asservis linéaires'' édition marketing S.A 1996 ISBN 2-7298-5652-8
- [8] Sakli MOUADH ''projets de fin d'études 2006 et 2007'' génie électrique et automatique ingénieur diplômé de l'école nationale d'ingénieurs de Gabés / Tunisie
http://www.bh-automation.fr/Download/Automaticiens/Projets_automatisme_2007_S_MOUADH.pdf
- [9] N. Noury ''Cours de Régulation 2007'' Licence Professionnelle DEAI
« Distribution Electrique et Automatismes Industriels » IUT1 Grenoble Département Génie Electrique et Informatique Industrielle
- [10] René HUSSON problème résolu d'automatique édition marketing, 2005 ISBN 2-27298-2319-0.
- [11] Pascal DEREUMAUX '' capteur et mesure de pression'' 02/03/2002
<http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/dereumaux/mesurepression.htm>
- [12] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pompe>
- [13] P.BORNE, G.DAUPHIN-TANGUY ''Analyse et régulation des processus industriels'' Edition Technip,Paris , 1993 ISBN 2-7108-0643-6

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude et la modélisation sous matlab simulink et la validation par des testes expérimentaux. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'étude des systèmes asservis, le second chapitre, consiste à la présentation du système étudié et la modélisation de chaque élément qui le constitue. A partir de la réponse indicielle relevée par oscilloscope, en utilisant la méthode Strejc-Davoust, on identifie la fonction de transfert du système global. Le dernier chapitre est consacré à l'étude de la commande du système en boucle fermée afin de fixer le niveau d'eau dans le réservoir de remplissage à l'aide régulateur proportionnel.