



INSTITUT  
NATIONAL  
des SCIENCES  
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3

STPI/P6-3/2008 – 034

Nom des étudiants

BOLZER Loïc

IMPOCO Jordan

PREIRA Gisèle

VIALARET Lucie

Enseignant responsable du projet

M. GUILLOTIN

Asservissement  
analogique de la vitesse  
de rotation d'un moteur à  
courant continu



À TAILLE  
HUMAINE  
À L'ECHELLE  
DU MONDE

Date de remise du rapport : 20/06/08

Référence du projet : STPI/P6-3/2008 – 034

Intitulé du projet :

*Etude et réalisation d'asservissements échantillonnés par ordinateur.*

Type de projet : (*expérimental, simulation, veille technologique*) :

*C'est un projet à la fois expérimental et qui repose sur des simulations.*

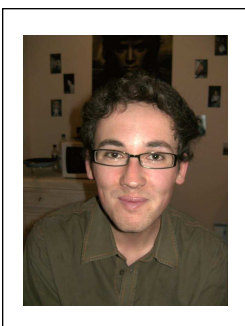
Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

*Dans ce projet, on cherche à asservir un système. Dans notre cas, il s'agit de la vitesse de rotation d'un moteur. Sur ce système, on veut modifier quelques caractéristiques du moteur comme la vitesse afin qu'il suive au maximum la consigne qu'on lui impose. On vérifie que cette consigne est respectée et on quantifie les erreurs obtenues à la sortie.*

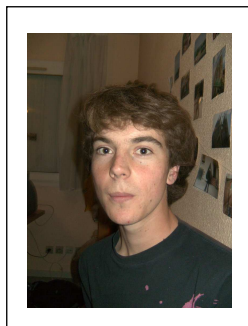
Si existant, n° cahier de laboratoire associé : pas de cahier de laboratoire

Photos des élèves du groupe :

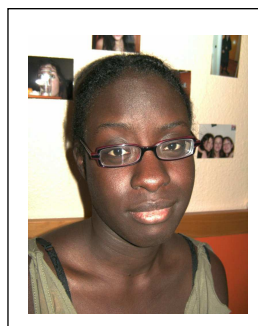
**BOLZER Loïc**



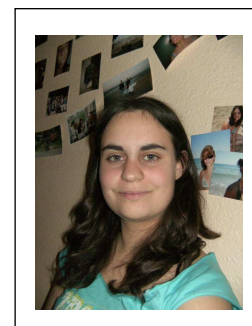
**IMPOCO Jordan**



**PREIRA Gisèle**



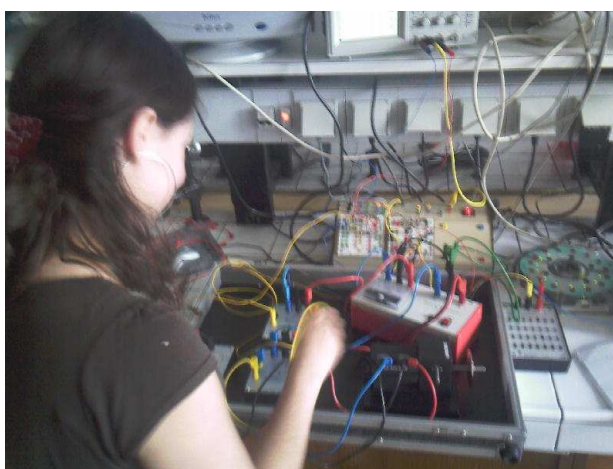
**VIALARET Lucie**



# TABLES DES MATIERES

	c. Calcul de l'erreur statique : Courbes de réponses obtenues.....21 .....	4
<u>1.</u>	<u>Introduction</u> .....	4
<u>2.</u>	<u>Méthodologie / Organisation du travail</u> .....	5
<u>3.</u>	<u>Manipulations/ Montages</u> .....	7
	<u>a.</u> ..... <u>But et principe</u>	
	7	
	<u>b.</u> ..... <u>Fonction de transfert du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> ordre</u>	
	7	
	<u>c.</u> ..... <u>Moment d'inertie</u>	
	8	
	<u>d.</u> ..... <u>Montages</u>	
	8	
	Une boucle d'asservissement est toujours constituée par système de commande, et par un processus asservi. C désigne la grandeur de commande, $\Omega$ est la grandeur physique asservie et Y est la mesure de cette grandeur. Toutes les grandeurs sont ici exprimées dans l'espace de Laplace. Ce modèle est un modèle linéaire basé sur des équations différentielles linéaires à coefficients constants.....	10
<u>e.</u>	<u>xploitation des resultats</u> .....	16
<u>f.</u>	<u>synthese/ CONclusion</u> .....	18
<u>g.</u>	<u>bibliographie</u> .....	19
<u>H:</u>	<u>annexes</u> 20	
	<u>a.</u> ..... <u>Transformée de Laplace</u>	
	20	
	<u>b.</u> ..... <u>Composantes du montage de l'asservissement</u>	
	22	
	<u>c.</u> ..... <u>Calcul de l'erreur statique : Courbes de réponses obtenues</u>	
	23	

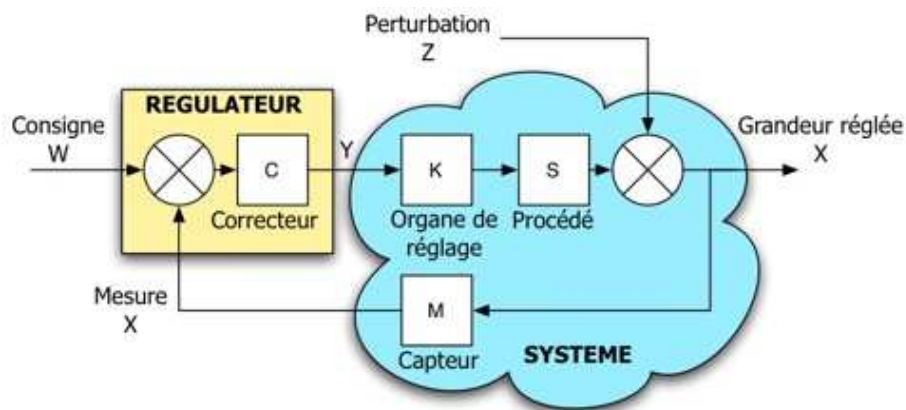
Exploitation des résultats.....	15
Synthèse/ Conclusion.....	17
Bibliographie.....	18
Annexes	
a. Transformée de Laplace .....	19
b. Composantes du montage de l'asservissement.....	20
c. Calcul de l'erreur statique : Courbes de réponses obtenues.....	21



## 1. INTRODUCTION

A travers ce projet, nous allons approfondir la notion **d'asservissement**. Un asservissement est une manœuvre qui permet de contrôler un système en lui imposant une consigne qu'il doit suivre au maximum. Prenons un exemple : celui d'un four. Afin de cuire un gâteau, l'utilisateur va régler le thermostat du four à 180 °C. La consigne est donc de fixer une température à 180 °C. Ainsi, le four va s'allumer et chauffer jusqu'à atteindre la température prévue.

On pourrait donc schématiser un asservissement de la manière suivante : au départ on a une consigne imposée au système. On régule ou on amplifie la réponse du système. De plus, en cas de perturbations extérieures, le système peut réagir (refroidissement, échauffement...). Enfin, on récupère la sortie et on la mesure pour la comparer au résultat espéré.



Cependant, il faut vérifier l'efficacité de notre action. En effet, reprenons notre exemple : si on fixe une température de 180°C et que finalement le four atteint une température de 200°C on pourra dire que notre système n'était pas satisfaisant vu qu'il n'a pas permis d'obtenir le résultat espéré. Ainsi, notre manipulation présuppose un examen des résultats finaux. Autrement dit, on doit évaluer les erreurs entre la consigne et la sortie.

Ainsi, nous allons en premier asservir notre moteur en contrôlant sa vitesse à l'aide de deux montages : en boucle fermée et en boucle ouverte. Nous allons ainsi voir la notion de boucle d'asservissement et son intérêt. Puis nous verrons les domaines et les paramètres à fixer pour que l'asservissement soit valable. Etant deux groupes à travailler sur ce sujet, nous nous intéressons à l'aspect analogique de l'asservissement.

Ensuite, nous calculerons les erreurs dues aux manipulations en analysant les graphes réalisés.

Enfin, on vérifiera les principales caractéristiques du montage notamment le fait qu'il soit du premier ou du second ordre.

## **2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL**

Au départ, nous avons décidé de faire des recherches ensemble et en groupe pour comprendre et appréhender la notion d'asservissement. En effet, nous voulions savoir ce que cela représentait et quelles en pouvaient être les utilités et les différentes applications. Pour cela, nous avons cherché par groupes de deux des informations sur Internet et dans les livres.

Ensuite, avec l'aide du professeur, nous avons appris à utiliser les divers outils calculatoires tels la transformée de Laplace ou les différentes relations au sein d'une boucle fermée ou ouverte pour déterminer par la théorie les résultats que l'on devait avoir en réalisant le montage.

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN

Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur

BP 8 – place Emile Blondel - 76131 Mont-Saint-Aignan - tél : 33 2 35 52 83 00 - fax : 33 2 35 52 83 69

Puis, nous avons mis en place plusieurs montages pour valider notre procédé. A partir de là, nous nous sommes réellement séparés en deux groupes distincts : l'un s'intéressera à l'aspect numérique de l'asservissement tandis que l'autre (notre groupe en l'occurrence) s'intéressera plutôt à son aspect analogique.

**Quelle est la différence entre l'étude analogique et numérique ?** L'étude analogique consiste à prendre un support physique qui a des valeurs continues autrement un large nombre. A l'inverse, on parle de numérique quand le support physique compte un nombre limité de valeurs.

Pour cela, nous avons étudié la notice fournie avec le matériel utilisé. Puis nous avons fait plusieurs montages.

Enfin, nous avons réalisé et analysé les résultats obtenus grâce aux montages. Par le biais des erreurs et de la réponse obtenue, on en déduit le fait que le procédé est fiable ou non.



### 3. MANIPULATIONS/ MONTAGES

#### a. But et principe

Dans un premier temps, on cherche à établir la fonction de transfert entre l'entrée et la sortie c'est-à-dire le rapport entre les deux grandeurs de manière théorique en se servant d'outils de calculs.

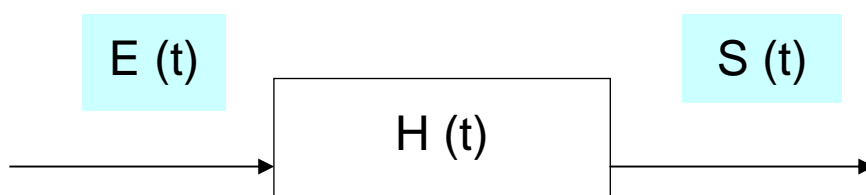
Dans un deuxième temps, on procède aux montages et on en tire les informations qui nous intéressent comme les erreurs ou encore l'étude des allures des courbes obtenues.

Enfin, on confronte la théorie et la pratique et on décide de la validité du processus

#### b. Fonction de transfert du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> ordre

Comme rappelé dans le paragraphe précédent, la fonction de transfert  $H$  est égale à :

$$H(t) = S(t) / E(t)$$



*Schéma d'une boucle ouverte*

Afin de simplifier les calculs, nous allons passer dans le **domaine de Laplace**. On va donc calculer les transformées de Laplace des fonctions d'entrée et de sortie (voir annexe 1).

#### **Déterminons les fonctions de transfert du 1<sup>e</sup> et du 2<sup>e</sup> ordre.**

- 1<sup>e</sup> ordre

Une fonction  $y(t)$  du 1<sup>e</sup> ordre respecte l'égalité suivante :

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K s(t)$$

En transformée de Laplace on obtient :  $T p Y(P) + Y(P) = K S(P)$

$$\text{D'où } H(P) = \frac{S(P)}{Y(P)} = \frac{K}{1 + TP}$$

- 2<sup>e</sup> ordre

On procède de la même manière mais on a l'équation :

$$A \frac{d^2y(t)}{dt^2} + B \frac{dy(t)}{dt} = K s(t)$$

En transformée de Laplace on obtient :  $A \frac{d^2Y(p)}{dt^2} + B \frac{dY(p)}{dt} = K S(t)$

D'où  $H(P) = \frac{K}{(A \cdot p^2 + B \cdot p + 1)}$

### c. Moment d'inertie

Le moment d'inertie (noté J) mesure la résistance à la mise en rotation d'un objet.

Il s'exprime en  $\text{kg.m}^2$ , c'est pourquoi, dans le cas de notre disque, plus il est grand et/ou lourd, moins il tournera vite. Ainsi pour augmenter la vitesse de rotation de notre disque il aurait fallu en choisir un qui ait un rayon minimal et un poids minimal. De façon à ce qu'il n'exerce pas trop de résistance à la vitesse de rotation de l'axe.

On retrouve le moment d'inertie dans la formule donnée par le théorème du moment cinétique:

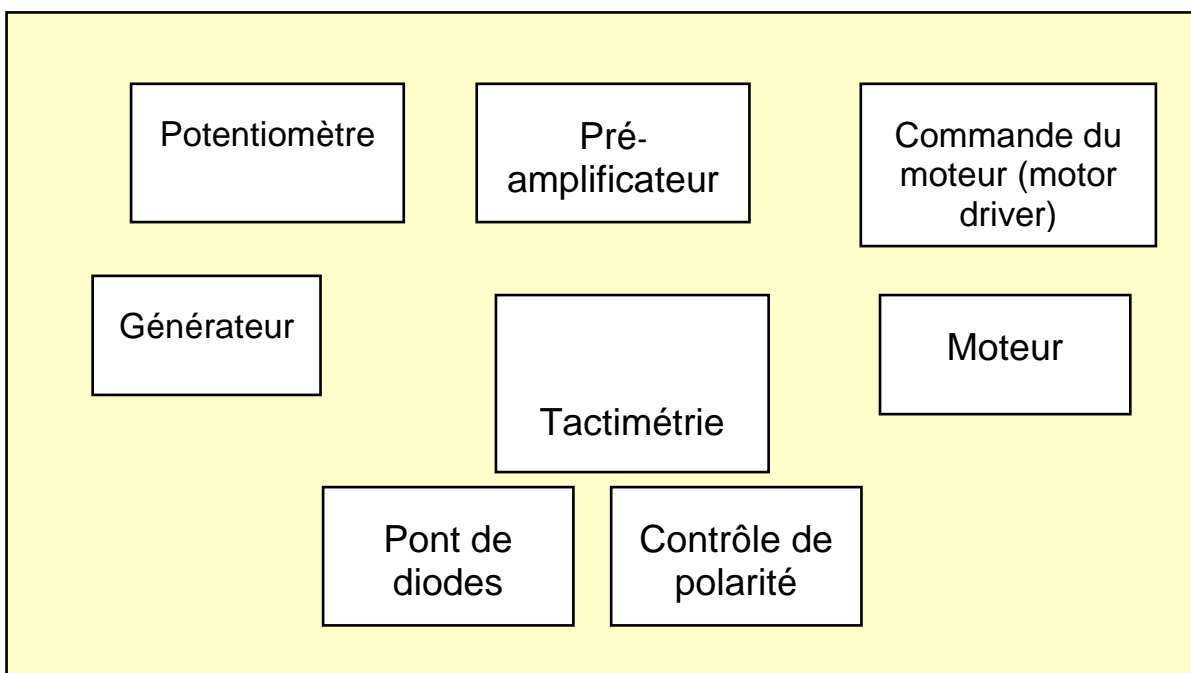
$$\frac{J d\Omega}{dt} = \sum_i C_i \quad \text{avec } J \text{ moment d'inertie ( kg.m}^2\text{)}$$

$\Omega$  Vitesse angulaire ( $\text{rad.s}^{-1}$ )

$\sum_i C_i$  somme de moments (N.m)

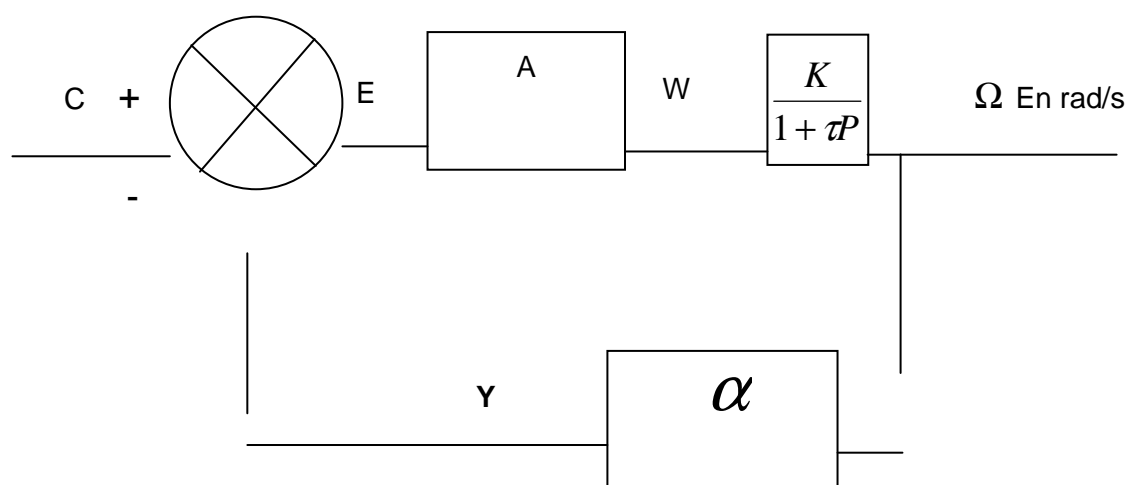
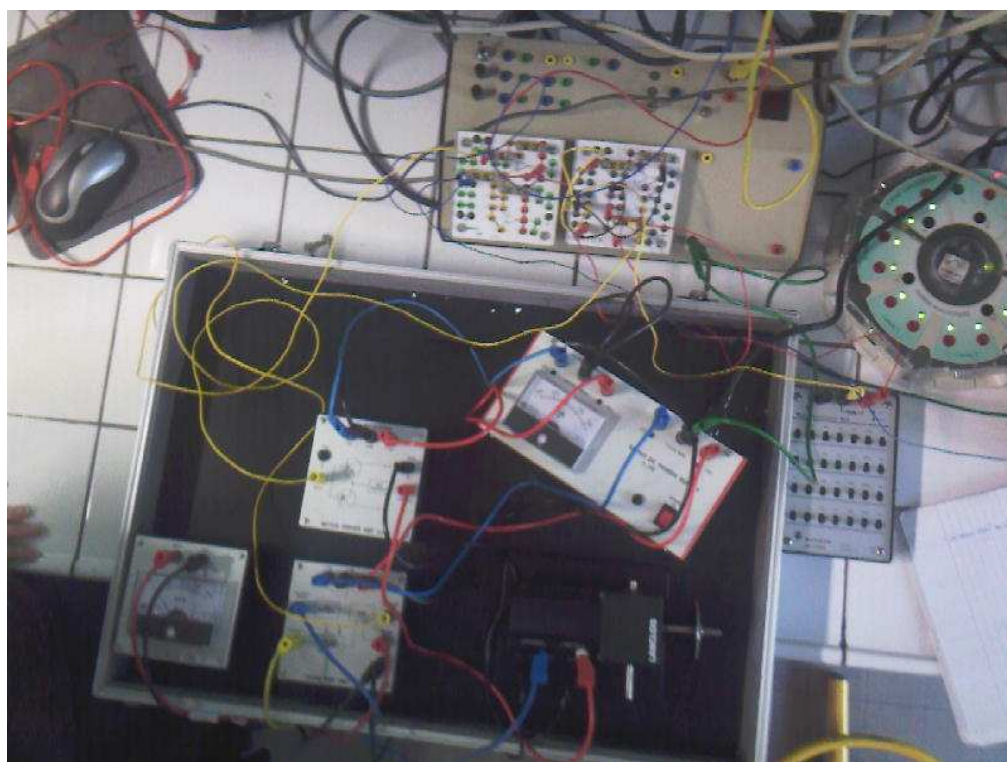
### d. Montages

Voyons tout d'abord le matériel mis à notre disposition:





Description du système modulaire PSY4400



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN

Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur

BP 8 – place Emile Blondel - 76131 Mont-Saint-Aignan - tél : 33 2 35 52 83 00 - fax : 33 2 35 52 83 69

**Equations de la boucle:**

$$E=C-Y$$

$$W=AE$$

$$\Omega = \frac{KW}{1 + \tau P}$$

$$Y = \alpha * \Omega$$

$$\Rightarrow Y = \frac{K\alpha}{1 + \tau P} A * E$$

Isolons Y:

$$Y = C \frac{\alpha KA}{(1 + \tau P) * (1 + BA)}$$

Une boucle d'asservissement est toujours constituée par système de commande, et par un processus asservi. C désigne la grandeur de commande,  $\Omega$  est la grandeur physique asservie et Y est la mesure de cette grandeur. Toutes les grandeurs sont ici exprimées dans l'espace de Laplace. Ce modèle est un modèle linéaire basé sur des équations différentielles linéaires à coefficients constants.

**Durant nos manipulations, nous aurons différentes étapes successives :**

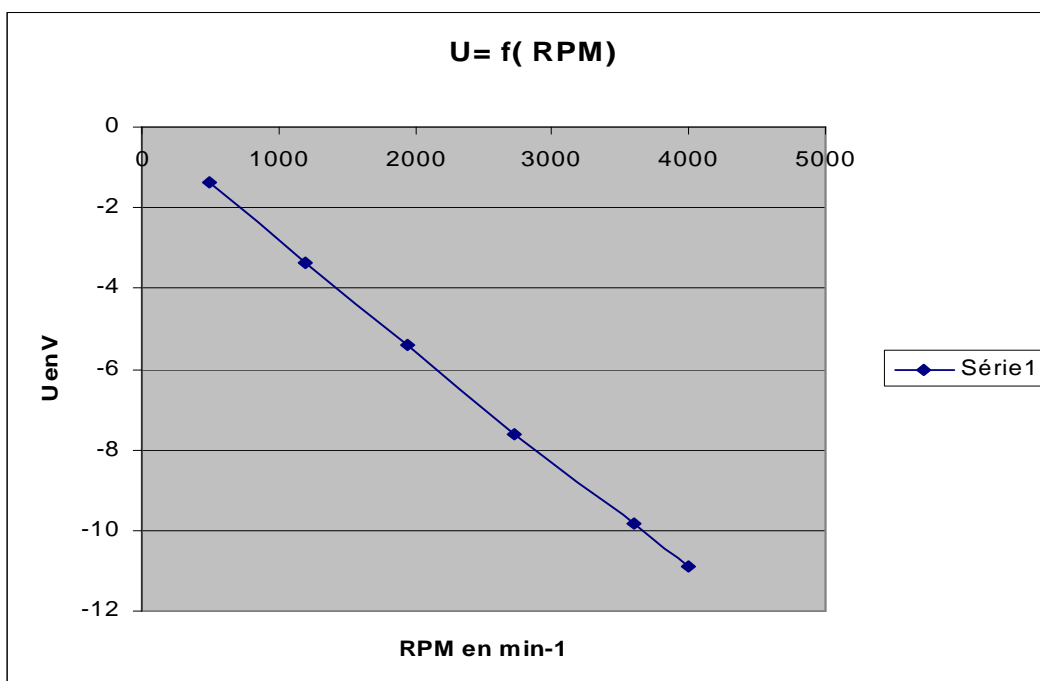
❖ Etalonnage du matériel

Avant de commencer toute mesure, il faut d'abord vérifier les réglages du matériel et tester la fiabilité des données qu'il peut être amené à nous fournir. C'est pour cela que l'on va tracer une courbe d'étalonnage. Elle représente la tension de sortie qui est proportionnelle à la vitesse par rapport à la vitesse réelle qui est donnée par les impulsions du moteur entre le pont de diodes.

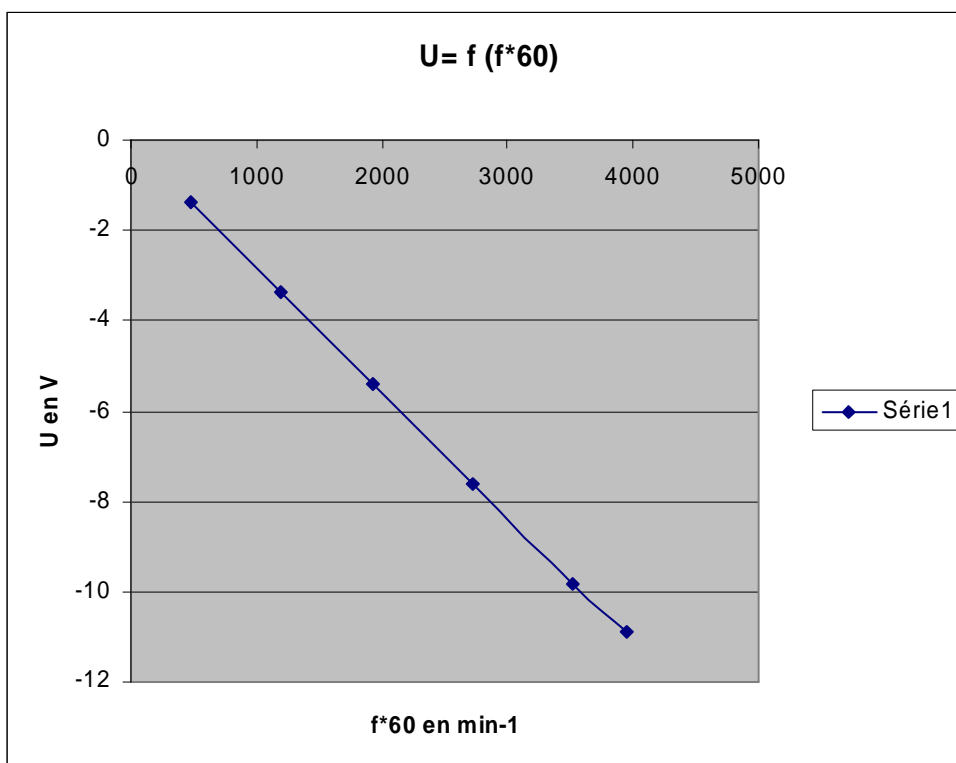
Ainsi :

- On réalise le montage (voir annexe 2)
- On relève la fréquence  $f$  de la tension d'entrée (attention :  $f$  est en seconde<sup>-1</sup>)
- On relève la Rotation Par Minute grâce à la tactimétrie
- On relève la tension de la sortie  $U$
- On trace deux courbes distinctes :  $U=f (f*60)$  et  $U= f (RPM)$
- On modélise les 2 courbes pour déterminer leur coefficient directeur

On obtient :  $U= a_1 (f*60) +b_1$  et  $U= a_2 \text{ RPM} +b_2$  avec  $a_1 \approx a_2 \approx 1.01$   $b_1 \approx b_2 \approx 0$



*Courbe de la tension de sortie en fonction de la Rotation Par Minute*



*Courbe de la tension de sortie en fonction de fréquence (convertie en minutes)*

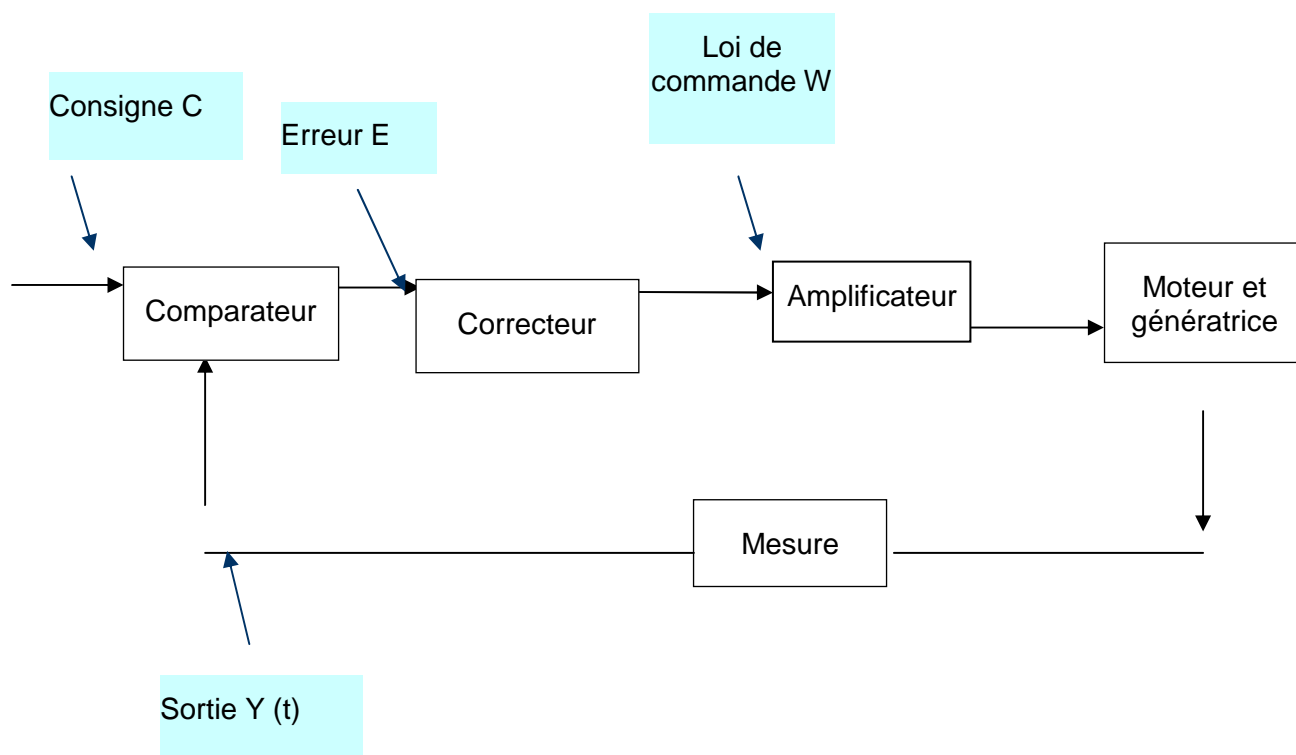
#### ❖ Détermination de la constante de temps

Pour trouver la constante de temps  $T$ , on applique un échelon de tension au moteur puis on trace l'évolution de la tension en fonction du temps sous Synchronie (voir annexe 3). En repérant le plateau (qui marque la fin de la charge du moteur) on cherche le temps correspondant à 63 % de la charge. Ce temps est la constante de temps  $T$  : on trouve

$$T = 0.445 \text{ s}$$

❖ Asservissement de la vitesse du moteur et détermination des erreurs

Pour trouver l'erreur statique entre la consigne et la sortie, on réalise le montage suivant :



Dans ce montage :

- La boucle permet de constamment ajuster la sortie pour qu'elle corresponde toujours à la consigne, en comparant la consigne(C) à Y pour trouver l'erreur et la corriger grâce au correcteur.
- *Remarque* : Le signal de sortie suit la consigne en entrée après un certain temps (n'est pas instantanée)
- Le générateur constitue la consigne.
- Le comparateur est formé d'un étage d'amplificateur opérationnel (un simple soustracteur) tout comme le régulateur ou l'amplificateur : il est composé de quatre résistances.
- Le moteur est alimenté grâce à la loi de commande qui est due au « motor driver ».
- On observera la commande C et la sortie Y à l'aide d'un oscilloscope.
- Pour l'asservissement du moteur, on procédera à une perturbation sur le moteur en freinant légèrement avec la main la rotation du moteur. On étudiera la réponse

du moteur à cette perturbation à l'oscilloscope. De même, on déterminera s'il respecte toujours la consigne et jusqu'à quelle limite en modifiant le gain.

- Pour l'erreur statique, on mesure la différence entre la consigne et la sortie.

En observant la sortie, on remarque la présence d'oscillations qui deviennent de plus en plus marquées lorsque l'on augmente le gain.

Cependant, on remarque que même en travaillant en basse fréquence, le moteur devient instable très vite ce qui ne nous permet pas d'acquérir simplement des mesures. Ainsi, il est nécessaire de savoir à partir de quelle tension le moteur sature. Pour cela, on remplace le générateur haute fréquence par un autre de tension plus faible et continue. On obtient une tension maximale aux alentours de 6 V.

De même, on remarque que l'erreur entre la consigne et la sortie est plutôt élevée. Pour palier à cette erreur, il faut insérer dans le comparateur, c'est-à-dire en plus du montage soustracteur, un montage inverseur et un montage intégrateur.

- Le montage inverseur est composé de deux résistances identiques. Il permet d'inverser le signe de la tension d'entrée à un coefficient près. Ainsi on a la tension de sortie  $S_2$  qui est égale à  $S_2 = -S_1 \cdot (R_0/R_1)$ , soit  $S_2 = -S_1$
- Le montage intégrateur est formé d'une résistance (ici variable) et d'un condensateur. Ainsi, à la sortie, on a une tension  $S_3$  qui est égale à :  $S_3 = -1 / (R \cdot C \cdot p) \cdot S_2$ .

### Quel est le principe du montage intégrateur?

Le couplage de ces deux étages est simple : tant que la tension de sortie n'est pas égale à la tension d'entrée, elle continue d'augmenter grâce à l'action de ces étages qui dépend du gain G et de la constante de temps.

On peut ainsi réaliser un tableau récapitulatif de la tension de sortie en fonction du gain et de la constante de temps ou des améliorations apportées à notre montage initial. Les graphes se trouvent en annexe.

Valeur de la résistance R (en ohms $\Omega$ )	Constante de temps $\tau$ (en secondes)	Consigne $C^\infty$ (En volts)	Sortie $Y^\infty$ (En volts)
1060 K	1.06	3.79	3.76
400 K	0.4	3.79	3.73
100 K	0.1	3.79	3.72
40 K	0.04	3.78	3.78

*Tableau récapitulatif des manipulations effectuées : montage avec étage intégrateur*

Gain A	Consigne $C^\infty$ (En volts)	Sortie $Y^\infty$ (En volts)	Rapport de l'entrée sur la sortie
1	3.80	1.44	2.64
3	3.79	2.55	1.49
5	3.79	2.94	1.29
7	3.79	3.14	1.21
16	3.79	3.44	1.1

*Tableau récapitulatif des manipulations effectuées : montage sans étage intégrateur*



## E. XPLOITATION DES RESULTATS

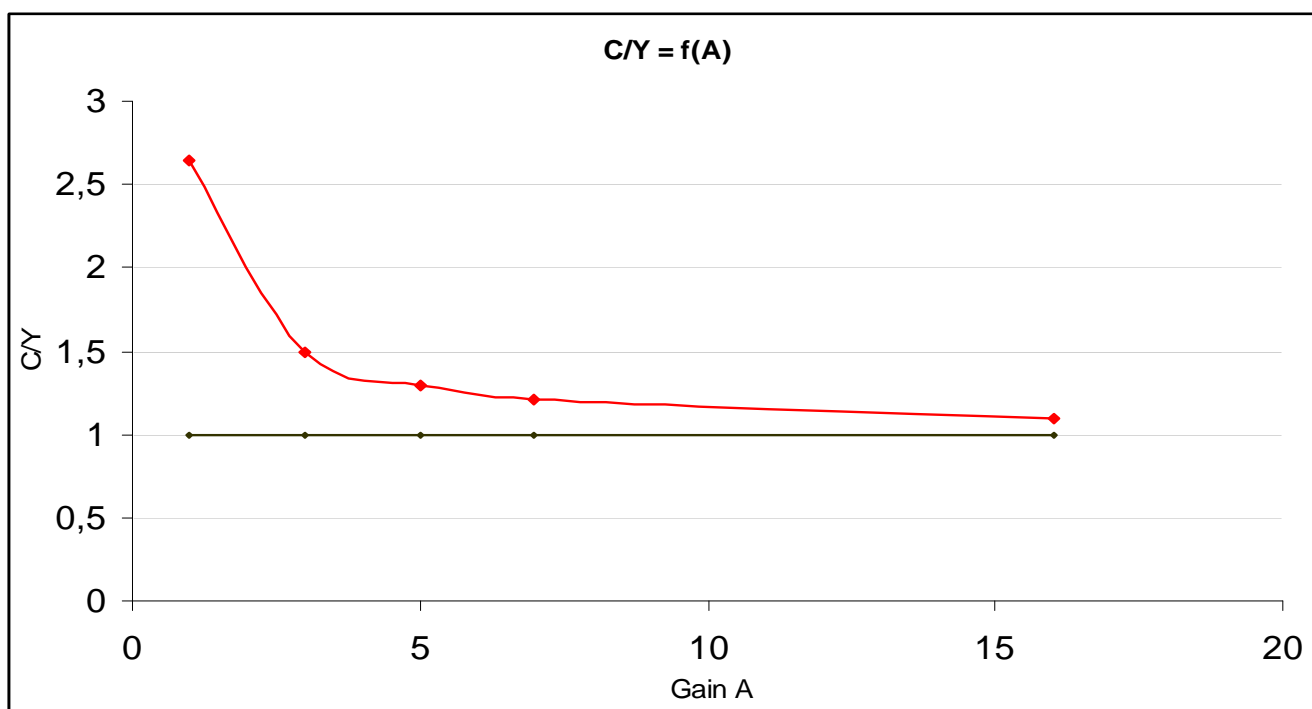
- ❖ Etalonnage du matériel.

Nous avons obtenu des droites. La calibration était juste et fiable.

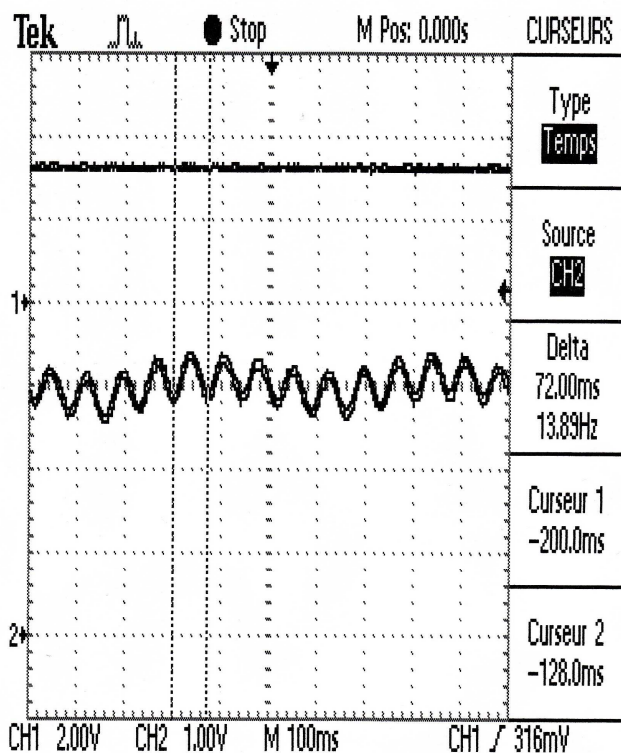
- ❖ Asservissement de la vitesse du moteur et détermination des erreurs

Intéressons nous au montage proportionnel.

Nous avons vu que lors d'un gain faible, l'erreur statique est élevée. Mais en augmentant le gain, on réduit considérablement l'erreur (de 2 volts à quelques mV). En effet, le rapport  $C^\infty / Y^\infty$  tend progressivement vers 1.



Puis, on observe la réponse du moteur suite à une perturbation (faite manuellement en freinant légèrement le moteur avec le doigt). Plus le gain est élevé, plus le moteur se stabilise difficilement : en effet, des oscillations apparaissent et deviennent de plus en plus marquées. Elles sont aussi amplifiées par les bruits sonores environnants.



On a également observé, pour un gain de  $A = 20$  (c'est-à-dire pour un système instable), que des perturbations supplémentaires apparaissent. Ce sont des perturbations électriques.

$$A = 20$$

Lorsque l'on réalise le montage intégrateur, on observe que le fait d'augmenter la résistance (qui était variable) et de ce fait la constante de temps, il y a une très faible différence entre la consigne et la sortie. Cependant, lorsque l'on travaille avec une faible résistance (autour de  $40\text{ K}\Omega$ ), on peut alors remarquer que le système devient instable et oscille seul à partir de cette valeur limite (voir annexe).

De plus, nous pouvons ajouter que l'erreur finale mesurée est due à une imperfection des amplificateurs opérationnels. En effet, ce ne sont pas des appareils parfaits. On appelle cette erreur le « décalage offset ». Malgré cela, on constate qu'il est relativement faible.

On en déduit donc qu'asservir le moteur utilisé n'est pas très concluant si on ne dispose seulement d'une consigne. En effet, afin d'obtenir des résultats probants, il est nécessaire d'ajouter des montages annexes pour combler les lacunes du moteur à suivre la consigne.

La présence d'oscillations confirme le fait que le moteur est un appareil d'ordre 2 et qui a donc une fonction de transfert  $H(P) = K / (A \cdot p^2 + B \cdot p + 1)$ .

## **F. SYNTHESE/ CONCLUSION**

Concernant le travail réalisé au cours de ce projet, notre objectif principal était d'asservir la vitesse de notre moteur. Nous pouvons dire que nous y sommes arrivés puisque l'erreur finale entre la consigne et la sortie était de seulement quelques millivolts. Cependant, nous avons rencontrés de multiples problèmes avant d'obtenir un résultat satisfaisant.

En premier lieu, nous avons du ajouter des montages annexes (montage intégrateur, montage inverseur...). Le risque était d'ajouter des erreurs provenant de l'imperfection des éléments de ces montages correcteurs et ainsi de fausser les résultats: on peut citer l'exemple du « décalage offset » qui est du au fait que les amplificateurs opérationnels ne sont pas idéaux. Malgré tout, on peut considérer qu'elles sont minimales et négligeables.

Puis, en second lieu, le matériel support n'était pas adapté à nos manipulations. En effet, la notice était peu documentée et accessible aux débutants. De la même manière, nous ne disposions d'aucun renseignement sur le moteur (tension ou intensité maximale...) et celui-ci saturait très rapidement (autour de 6 Volts). Cela ne facilitait pas nos manipulations.

Durant ce projet, nous avons aussi été amené à travailler en groupe. Même s'il y a eu des difficultés d'organisation au départ et une séparation tardive des groupes, nous avons fini par travailler efficacement en se répartissant les tâches au sein des heures de manipulation et en dehors.

La majeure difficulté que nous avons eue fut de comprendre le sujet et ses implications. Cela est expliqué par le fait que nous n'avions aucune notion d'automatisme. De ce fait, le sujet nous a paru flou et ardu. Mais avec l'aide de M. Guillotin et des recherches annexes, nous avons visualisé le sujet dans son ensemble. De plus, nous avons apprécié travaillé en un seul groupe au départ puis de séparer le sujet en deux directions complémentaires mais distinctes : l'aspect analogique et l'aspect numérique.

Enfin, pour la suite du projet, nous proposons de donner des directives dès le départ du projet : ce qu'il reste à finir ou à compléter.

De plus, un test du moteur dès les premières séances serait efficace et bénéfique pour éviter les problèmes de saturation du moteur.

## **G. BIBLIOGRAPHIE**

[1] Précis d'électrotechnique, de Michel Pinard édition Bréal

[2] Electrotechnique, conversion de puissance, Brenders, Douchet, Sauzeix édition Bréal

[3] liens Internet

le 05/05/08

- <http://www.librecours.org/cgi-bin/course?callback=info&elt=1040>

le 14/06/08

- <http://www.langlois-france.com/pdf/PSY4400.pdf>
- <http://gatt.club.fr/page1/page64/page64.html#paragraphe1.4>

le 18/06/08

- [http://physiquenetappliquee.free.fr/ampli\\_op1.php](http://physiquenetappliquee.free.fr/ampli_op1.php)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Moment\\_d%27inertie](http://fr.wikipedia.org/wiki/Moment_d%27inertie)

## H: ANNEXES

### a. Transformée de Laplace

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

#### 1) Propriétés

<u>Opération:</u>	Domaine temporel $t, u$ variables réelles	Domaine de Laplace $p$ variable complexe
linéarité	$\alpha f(t) + \beta g(t)$	$\alpha F(p) + \beta G(p)$
translation	$f(t - \alpha)$	$e^{-\alpha p} F(p)$
amortissement	$e^{-at} f(t)$	$F(p + a)$
intégration	$g(t) = \int_0^t f(u) du$	$G(p) = \frac{F(p)}{p}$
dérivation	$[f(t)]'$	$pF(p) - f(0^-)$ (au sens des distributions)

convolution (système et excitation causales)

$$s(t) = (h * e)(t) = \int_0^t h(u) e(t-u) du \rightarrow S(p) = H(p) \cdot E(p)$$

#### 2) Théorèmes

**valeur finale:**  $\lim_{t \rightarrow +\infty} s(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pS(p)$  lorsque cette limite existe

si  $s(t)$  est la sortie d'un système, si le système est stable et si sa commande  $e(t)$  est bornée, alors cette limite existe. La réciproque n'est pas vraie, si la limite existe ça ne veut pas dire que le système est stable.

**valeur initiale:**  $f(0^+) = \lim_{t \rightarrow 0^+} f(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} pF(p)$

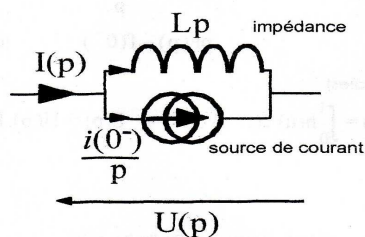
**régime sinusoïdal établi:** La variable  $p = \sigma + j\omega$  devient  $p = j\omega$  dans le calcul des transmittances.

#### 3) mini dictionnaire

	Domaine temporel	Domaine de Laplace
	$f(t)$ pour $0 \leq t$	$F(p)$
Échelon unité de HEAVISIDE	$Y(t)$	$\frac{1}{p}$
Impulsion unité de DIRAC	$\delta_0$	1 ( $\delta_0$ est parfois noté $\delta(t)$ )
puissances de $t$	$f(t) = \frac{t^n}{n!} Y(t)$	$F(p) = \frac{1}{p^{n+1}} \quad \forall n$
Exponentielle	$f(t) = e^{-z_0 t} Y(t)$	$F(p) = \frac{1}{p + z_0}$ ( $z_0$ constante complexe ou réelle)
2ème ordre	$f(t) = \frac{e^{-at} - e^{-bt}}{(b-a)} Y(t)$	$F(p) = \frac{1}{(p+a)(p+b)}$ ( $a$ et $b$ constantes réels ou complexes)
fonction sinus	$f(t) = \sin(\omega t) Y(t)$	$F(p) = \frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
fonction cosinus	$f(t) = \cos(\omega t) Y(t)$	$F(p) = \frac{p}{p^2 + \omega^2}$

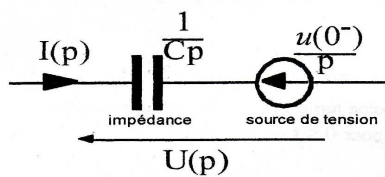
#### 4) Circuits électriques

##### Inductance:



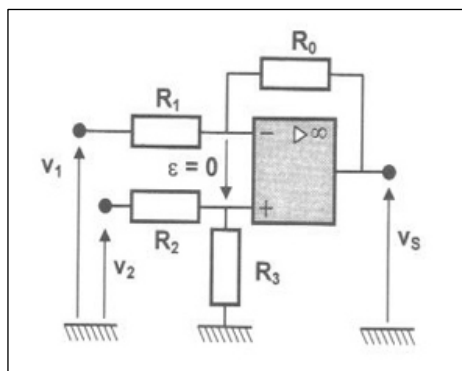
$$I(p) = \frac{U(p)}{Lp} + \frac{i(0^-)}{p}$$

##### Condensateur:

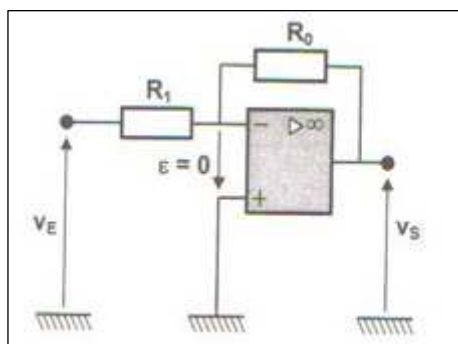


$$U(p) = \frac{I(p)}{Cp} + \frac{u(0^-)}{p}$$

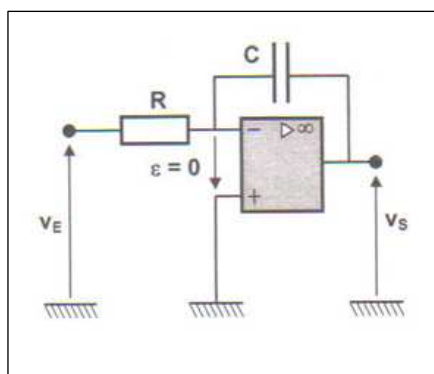
### b. Composantes du montage de l'asservissement



Montage soustracteur :  $R_0 = R_1 = R_2 = R_3 = K\Omega$



Montage inverseur :  $R_0 = R_1 = 10 K\Omega$



Montage intégrateur :  $R = \text{Résistance variable}$   $C = 1 \mu F$

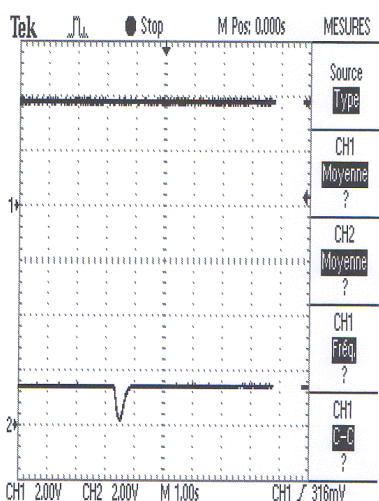


**c. Calcul de l'erreur statique : Courbes de réponses obtenues**

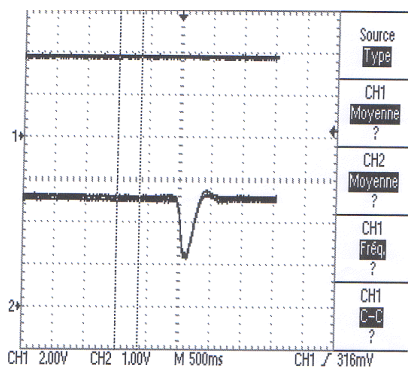
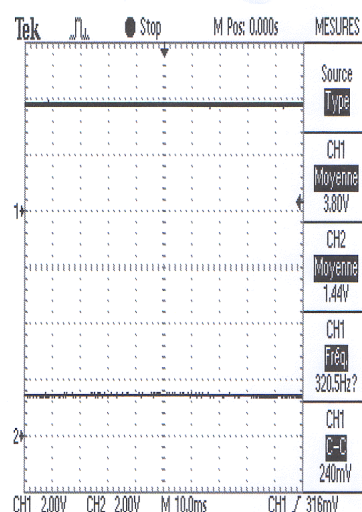
**Moteur sans étage intégrateur**

Perturbations

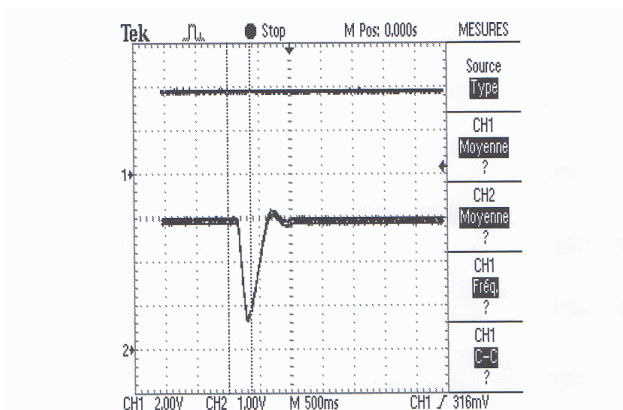
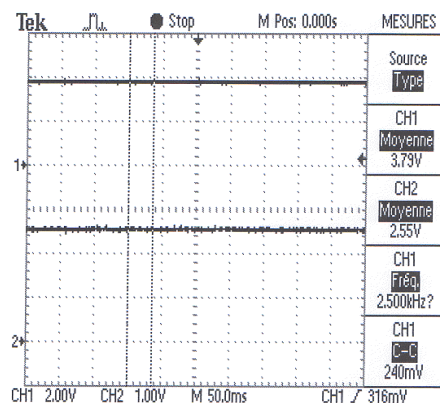
Erreur statique



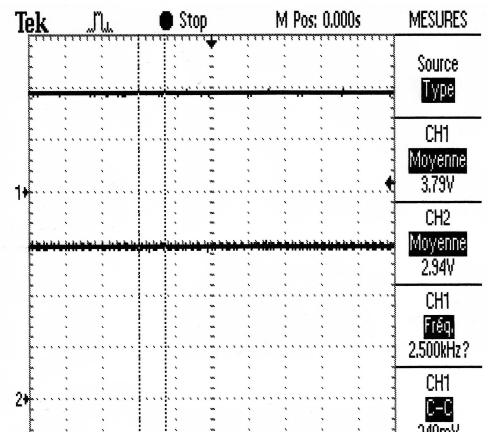
A = 1

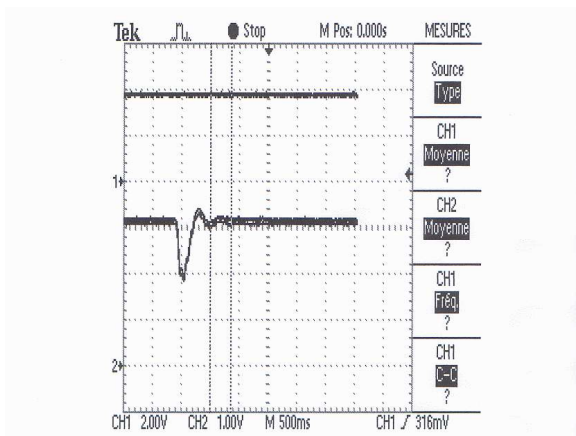


A = 3

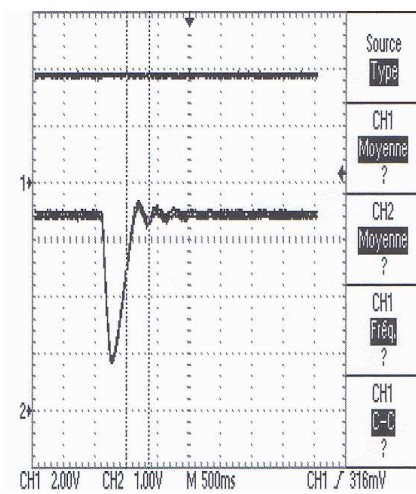
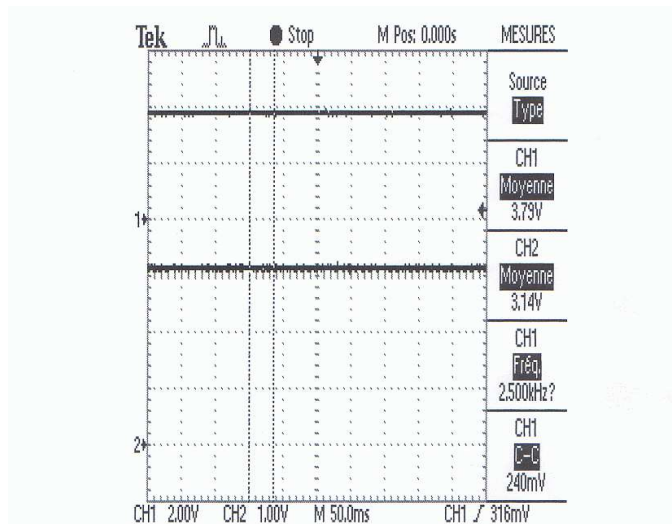


A = 5

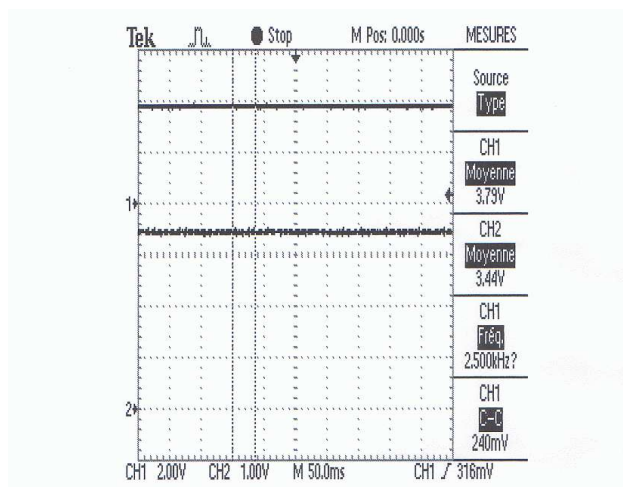




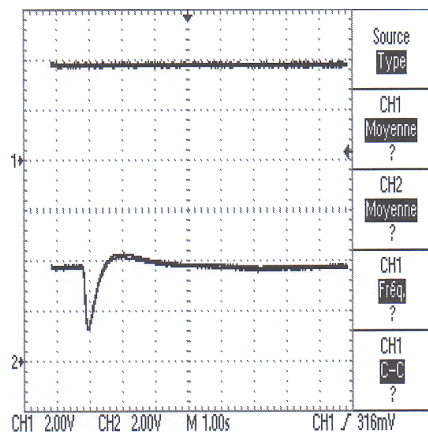
A = 7



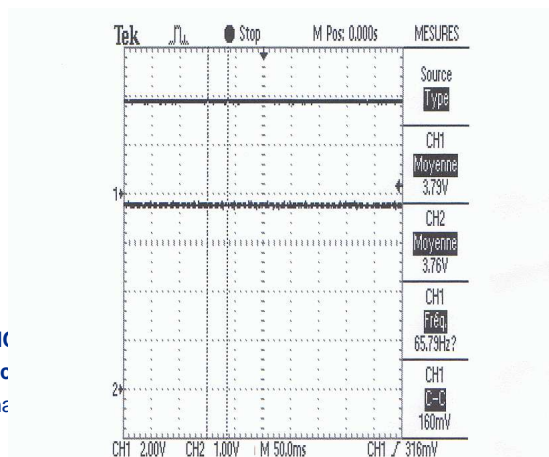
A = 16



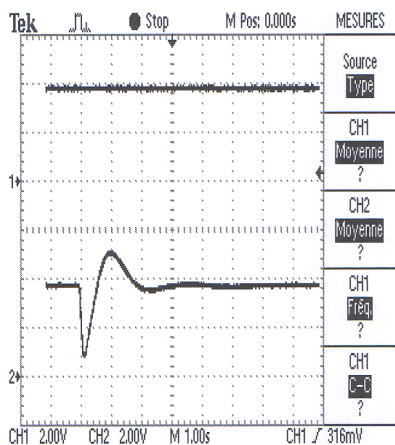
**Montage avec étage intégrateur**



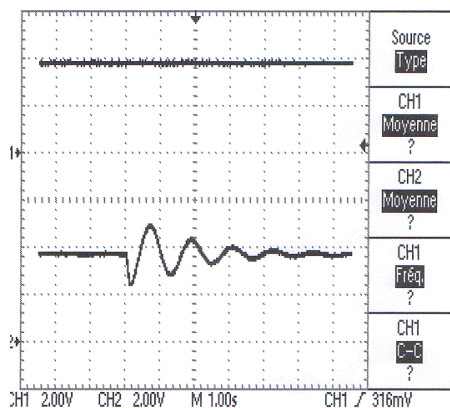
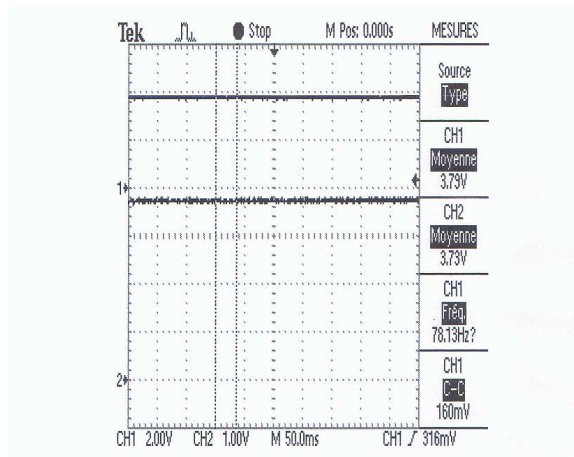
**JT NATIONAL DES SCIENS**  
**partement Sciences et Tec**  
**nel - 76131 Mont-Saint-Aigne**



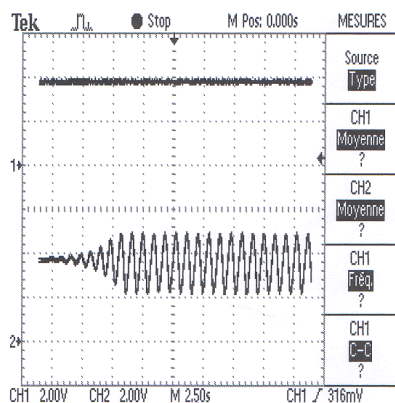
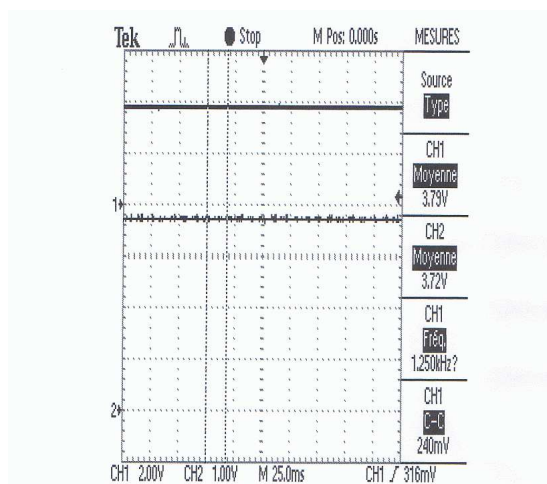
R = 1060 kΩ



R = 400 kΩ



R = 100 kΩ



R = 40 kΩ

