

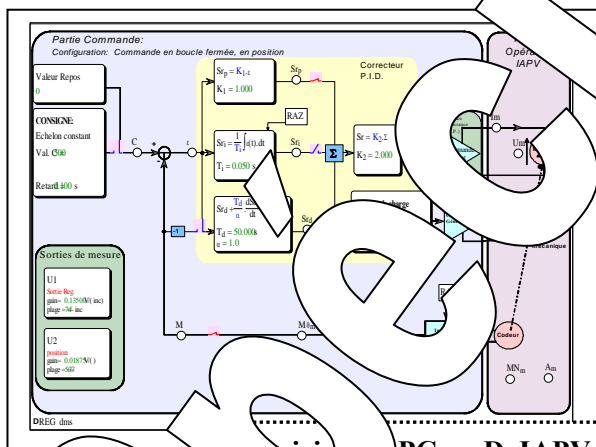
# Manuel de Travaux pratiques de niveau 1

→ sur système IAPV (ERD050)

## Introduction aux Asservissements de Vitesse et de Position

- SUJETS -

Didalab - Système électromécanique  
Réf: ERD 050 000



### Manuels de Travaux pratiques sujets et Compte-rendus

De niveau 1 (Bac)

ERD 050 030 Manuel Sujets (5 sujets 30 pages)

ERD 050 020 Manuel Compte-rendus (32 pages)

De niveau 2 (STS; IUT; Ingénieur)

ERD 050 050 Manuel Sujets (10 sujets 66 pages)

ERD 050 040 Manuel Compte-rendus (94 pages)

De niveau 3 (Domaine numérique échantillonné)

ERD 050 070 Manuel Sujets (6 sujets 50 pages)

ERD 050 060 Manuel Compte-rendus (78 pages)



Spécimen

**SOMMAIRE:**

<i>Référence</i>	<i>Thème</i>	<i>Page</i>
TP1-1_BO	Identification en Boucle ouverte	5
TP1-2_RVP	Régulation de Vitesse avec correction Proportionnelle	9
TP1-3_RVPI	Régulation de Vitesse avec correction P <sup>I</sup> + Intégrale	13
TP1-4_RPP	Régulation de Position avec correction Proportionnelle	17
TP1-5_RPPD	Régulation de Position avec correction P <sup>I</sup> + Dérivée	23
	Dossier "Réponse"	29

Page laissée volontairement vierge

Spécimen

## CARACTERISATION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE (BO)

- Avec Interface de puissance de type "Commande en courant"
- Avec charge de type frottement fluide
- Avec compensation du frottement sec

### But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

### Configuration:

Configurer le système en boucle ouverte:

Choisir → Mode commande → Boucle Ouverte

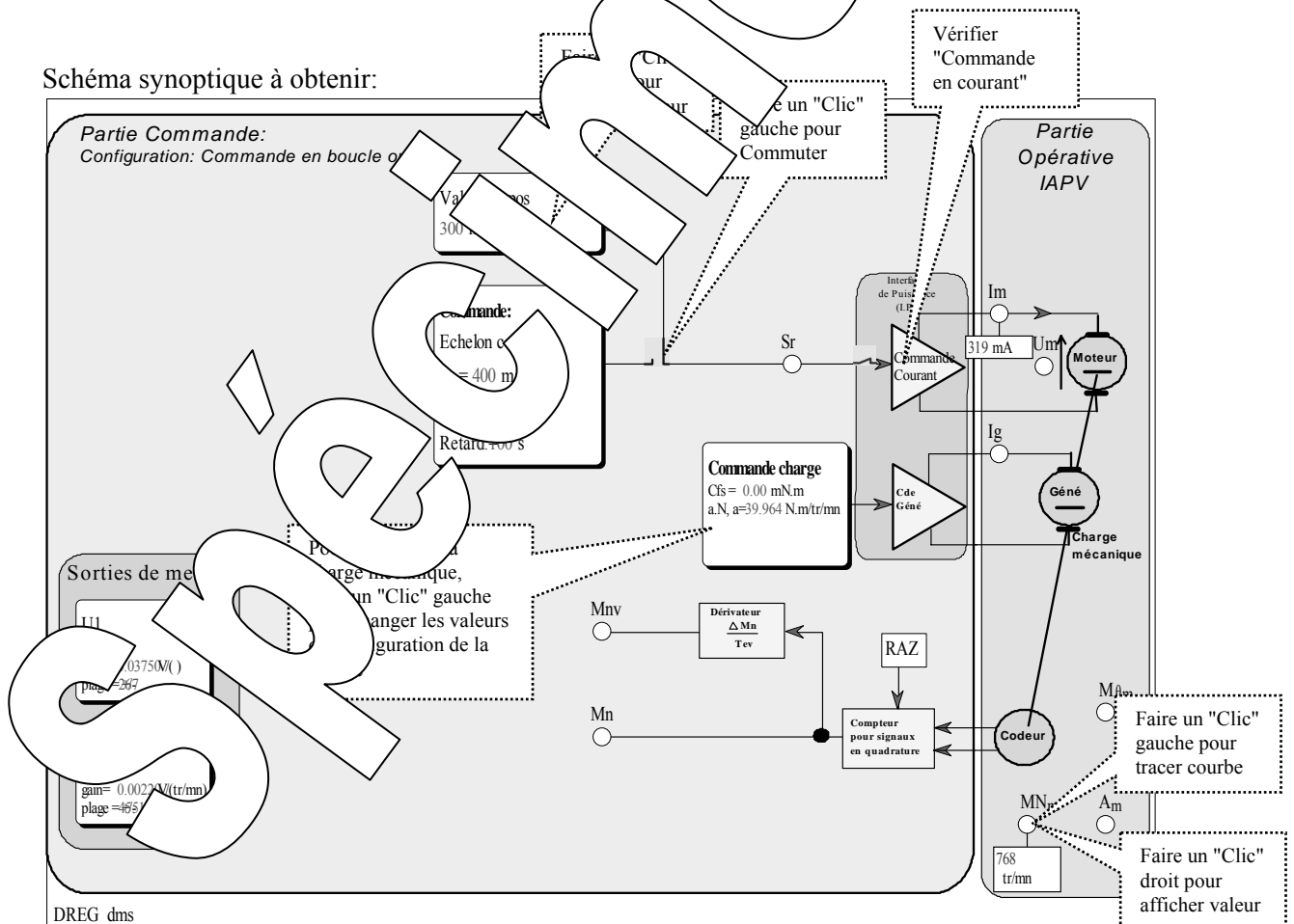
Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer "Compensation frottement sec" et "Couple visqueux" Introduire les valeurs  $a = 4 \mu \text{ N.m/rad/s}$  et  $b = 0.002 \text{ N.m}$

Schéma synoptique à obtenir:



### Remarque:

Dans le cas d'une commande en courant, la grandeur de commande du système en boucle ouverte, repérée "Sr" est une consigne de courant exprimée en mA. Il s'agit d'un asservissement en courant qui va imposer un courant dans l'induit du moteur noté  $I_m$ , égal à  $S_r$  en régime permanent grâce à une action de correction de type P.I.

# 1. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

## 1.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

Dans ce cas, la grandeur de commande ( $S_r$ ) est maintenue constante (commutateur positionné vers "Valeur de repos") et on relève la valeur atteinte par la vitesse de rotation  $N$ , accessible au point "MNm".

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Vérifier la caractéristique de charge mécanique:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m}$  et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc "Valeur de repos" (Valeur entre -500 et +500).
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre le signal  $S_r$  et l'interface de puissance soit fermé.
- Positionner une sonde sur le point de mesure MNm en "cliquant droit" dessus afin de mesurer la vitesse.

### 1.1.1. Expérimentation

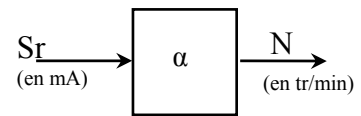
☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous:

Sr en mA	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	400	500
N en tr/min										

☞ Tracer la caractéristique de transfert statique:  $N = f(S_r)$  et montrer qu'une partie de celle-ci est une droite dont on donnera l'équation.

### 1.1.2. Exploitation:

☞ En déduire le coefficient de transfert statique (en mN/m) si on suppose le frottement sec parfait et complet.



# 2. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE


## 2.1. Réponse à un échelon constant

### 2.1.1. Expérimentation

Partant d'une valeur de repos (reçu) de 200 mA, on souhaite appliquer une commande en échelon constant de valeur  $S_r = 400 \text{ mA}$  à un instant  $t = 0$  à l'origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse ( $N$ ) au cours du temps.

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Vérifier la caractéristique de charge mécanique:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m}$  et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc "Valeur de repos" (Valeur entre -500 et +500).
- Définir la valeur de l'échelon à 400 mA avec un temps de retard de l'échelon égal à  $t_r = 0,1\text{S}$ .
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre le signal  $S_r$  et l'interface de puissance soit fermé.
- Sélectionner le point de mesure MNm et  $S_r$  en "Cliquant gauche" dessus.
- Appliquer l'échelon constant à l'aide du commutateur d'application de l'échelon.

- Tracer le réponse en vitesse en "Cliquant sur le bouton" .
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer" dessus.

☞ Relever quelques points espacés d'environ 0,2 S en plaçant judicieusement des sondes

t-tr	0									$\infty$
$N(t)$										

### 2.1.2. Exploitation:


- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:

$$N(t) = N_{(0)} + (N_{(\infty)} - N_{(0)})(1 - \text{Exp}[-(t-t_r)/\tau_m])$$

où  $\tau_m$  est une constante (appelée constante de temps) qui n'est autre que la constante de temps mécanique et que l'on déterminera.

**!! L'origine des temps doit être pris à l'instant de l'application de l'échelon !!**

Remarque:

La constante de temps  $\tau_m$  peut être déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton 

- ☞ Vérifier qu'à la fin du régime transitoire (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant de l'essai statique fait précédemment.

- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:

Fichier → Enregistrer sous

- Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet, choisir un nom et autoriser la sauvegarde.

### 2.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux  $a = 6; 4; 8; \text{ et } 10 \mu\text{N.m/tr/min}$  (Csf sera maintenu à  $-7 \text{ m.N.m}$  → frottement opposé).

On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.

- ☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.

!! Attendre la fin de l'enregistrement -> "mode stop" !!

- ☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir

- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

- ☞ Faire un essai avec  $a = 0$  (Csf toujours à  $-7 \text{ m.N.m}$ ) et justifier l'allure de la courbe obtenue.

## 2.2. Comportement en régime sinusoïdal

### 2.2.1. Relevé expérimental

On souhaite exciter le système par une commande  $S_r(t) = S_{r0} + S_{rM} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

**Conditions de l'essai et mode opératoire**

- Configurer la caractéristique de frottement visqueux à  $-7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$

- Choisir le mode commande

avec: Valeur moyenne  $S_{r0} = 3 \text{ mA}$  la valeur moyenne,

Amplitude  $S_{rM} = 3 \text{ mA}$  l'amplitude de la composante sinusoïdale,

$\omega = 1/\tau_m$  la pulsation de la composante sinusoïdale


( $\tau_m$  la constante de temps relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).

- Veiller à ce que le mode commande soit avec l'interrupteur de sortie fermé.

Appuyer sur le bouton "On" sur le commutateur d'application de l'échelon.

Donner les paramètres de l'essai: enregistrer MNm et Sr en "Cliquant gauche" dessus.

Appuyer sur le bouton "Cliquant gauche" sur le bouton .

- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

- ☞ Relever, une fois que le régime est établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la grandeur de commande:

### 2.2.2. Exploitation:

- ☞ En déduire la valeur moyenne de la vitesse en régime permanent (régime établi):

- ☞ Vérifier que la valeur obtenue vérifie le modèle statique défini précédemment:

- ☞ Calculer le rapport des amplitudes en régime permanents (amplitude de la sinusoïde de vitesse / amplitude de la sinusoïde de commande) :

- ☞ Vérifier que le relevé expérimental corrobore les propriétés des systèmes du 1<sup>er</sup> ordre en régime sinusoïdal, à la pulsation particulière choisie.

Page laissée vierge

Spécimen



**SUJET de**  
**Travaux Pratiques**  
**sur système IAPV (ERD050)**  
**Niveau 1 TP n° 2**

Référence fichier:  
 TP1-2\_IAPV\_RVP\_Sujet.doc

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN VITESSE AVEC**  
**CORRECTION PROPORTIONNELLE**

Réf: RVP

- Avec Interface de puissance de type "Commande en **Courant**"
- Avec charge de type frottement fluide et frottement sec compensé

**But:**

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

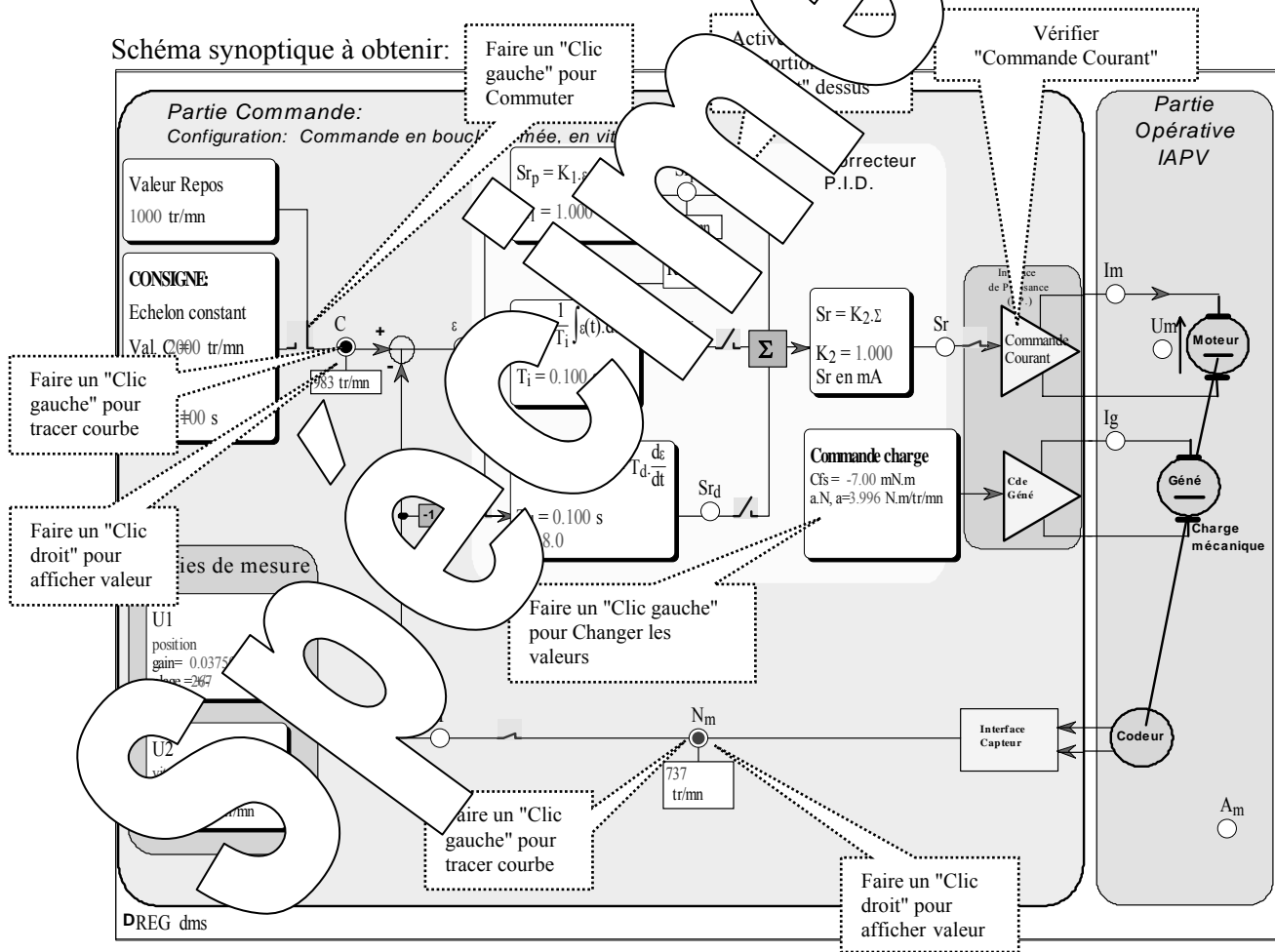
**Configuration:**

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:  
 Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Vitesse

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":  
 Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:  
 "Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec et "Couple visqueux"

Schéma synoptique à obtenir:



# 1. Caractérisation en régime statique

## 1.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que la boucle soit bien fermée
  - que l' interrupteur de liaison entre le correcteur et l'interface de puissance soit fermé,
  - que l' interrupteur de liaison entre la mesure vitesse et l'entrée mesure du comparateur soit fermé,
- Positionner une sonde sur le point de mesure Nm en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous en calculant, pour chaque point de mesure, l'erreur statique notée  $\epsilon_s$ : ! Mettre dans le tableau les valeurs affichées dans les

C en tr/min	-4000	-3000	-2000	-1000	-200	0	200	2000	3000	4000
Nm -> N en tr/min										
$\epsilon_s = C - N$ en tr/min										

## 1.2. Exploitation

☞ Tracer les caractéristiques de transfert statiques:  $(C) \rightarrow (N)$  et  $(C) \rightarrow (N)$  et proposer un nouveau schéma bloc et justifier la caractéristique d'écart statique.


# 2. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE

## 2.1. Réponse à un échelon constant

### 2.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 2500 tr/min, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur  $C = 3000 \text{ tr/min}$  à un moteur à courant continu à l'origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse (N) au cours du temps.

### Conditions de l'essai et mode opératoire:


- Configurer la caractéristique de charge:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "cliquant gauche" sur le bloc.
- Définir la valeur de l'échelon de commande constant à 3000 tr/min avec un retard de 0,1S.
- Veiller à être en "cliquant" avec l' interrupteur de sortie fermé.
- Appliquer l'échelon de commande en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points de mesure Nm et C en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer l'évolution de la vitesse en "cliquant" sur le bouton .
- On peut afficher les données en point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où l'on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer un point, il suffit de "Cliquer" dessus.

### 2.1.2. Exploitation:

☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:


$$N(t) = N(0) + (N(\infty) - N(0))(1 - \text{Exp}[-(t-tr)/\tau_{FV}])$$

où  $\tau_{FV}$  est une constante (appelée constante de temps en boucle Fermée et en Vitesse)


La constante de temps  $\tau_{FV}$  peut être déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton 

- ☞ Vérifier qu'à la fin du régime transitoire (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant de l'essai statique fait précédemment.
- ☞ Mettre en évidence l'erreur statique.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:
  - Fichier → Enregistrer sous
  - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
  - Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

### 2.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux  $a = 0$  ; 4; et 8  $\mu\text{N.m/tr/min}$  (Csf sera maintenu à -7 m.N.m -> frottement sec bien compensé). On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.
- !! Attendre la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop"
- ☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux sur le comportement du système.

### 2.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action inertielle



- ☞ Refaire une série d'essais avec  $K_2 = 0,25$  puis 1 afin d'obtenir les 4 enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action inertielle sur le comportement du système.

## 2.2. Comportement en régime sinusoïdal

### 2.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par la commande  $C(t) = C_0 + C_M \cdot \sin(\omega \cdot t)$

#### Conditions de l'essai et mode opératoire

- Configurer la caractéristique de commande:  $C_s = -7$  m.N.m/tr/min et  $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Choisir le mode de commande: "Sinusoïdal"
- avec:  $C_0 = 0$  la valeur moyenne,  
 $Amp = 1$  l'amplitude de la composante sinusoïdal,  
 $\omega = 1$  la pulsation de la composante sinusoïdale ( $\tau_{FV}$  étant la constante de temps relevée lors de l'essai expérimental en régime établi).
- Veiller à être en mode "Stop" et que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Appliquer la commande "Sinusoïdal" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Vérifier les points de mesure de la tension de commande  $C$  et du couple  $Nm$  en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse en régime établi en "Cliquant gauche" sur le bouton .
- Sauvegarder les résultats de mesure en "Cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

### 2.2.2. Vérification

- ☞ Relever, lorsque le régime est établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.
- Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du premier ordre à la pulsation de cassure):
- rapport des valeurs moyennes:  $= K_{FV}$
  - rapport des amplitudes:  $= K_{FV} / \sqrt{2}$
  - déphase:  $-\pi/4 = -45^\circ$

Page laissée vierge

Spécimen

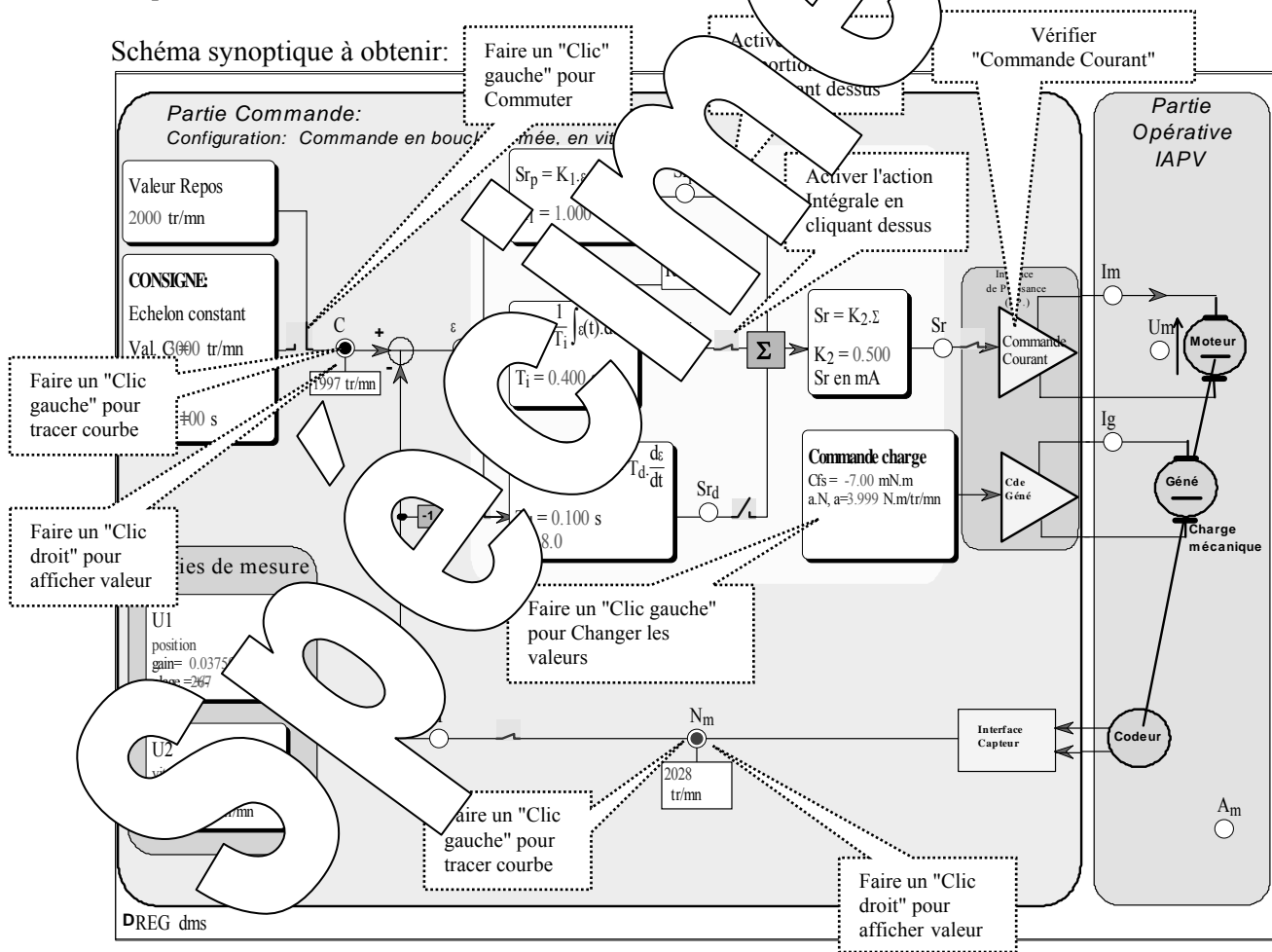
**But:**

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

**Configuration:**

- Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:  
Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Vitesse
- Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":  
Choisir → Interface de puissance → Commande Courant
- Définir les paramètres de la caractéristique de couple:  
"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer l'action de frottement sec et "Couple visqueux"

Schéma synoptique à obtenir:



# 1. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

## 1.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

On souhaite relever la **caractéristique de transfert statique** du système en boucle fermée. Il s'agit de relever la valeur de la vitesse atteinte en régime établi (grandeur notée  $N_m$ , en tr/min) en fonction de la valeur appliquée à l'entrée de consigne (commande notée  $C$ , en tr/min).

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $Cfs = 0 \text{ m.N.m}$  puis  $-7$  et  $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
- Définir les coefficients  $K_1 = 1$  et  $K_2 = 0,25$ .
- Définir la constante d'intégration  $T_i = \tau_1 = 0,4S$  en "cliquant sur le bloc "Action Intégrale"  
 $\tau_1$  étant la constante de temps obtenue dans le TP1-1 "BO"
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que la boucle soit bien fermée  
 → que l'interrupteur de liaison entre le correcteur et l'interface de commande soit fermé  
 → que l'interrupteur de liaison entre la mesure vitesse et l'entrée mesure du comparateur soit fermé,
- Positionner une sonde sur les points de mesure "Nm" et "C" en "cliquant sur le bouton" de mesure.

☞ Remplir un tableau de mesures comme ci-dessous et calculer la caractéristique notée  $\epsilon_s$ :  
 ! Mettre dans le tableau les valeurs affichées dans l'interface (en tr/min) sur le schéma synoptique!

C en tr/min	-4000	-3000	-2000	-1000	0	1000	2000	3000	4000
Nm → N en tr/min pour Cfs = 0									
Calculer $\epsilon_s = N - C$ pour Cfs = 0									
Nm → N en tr/min pour Cfs = -7 m.Nm									
Calculer $\epsilon_s = N - C$ pour Cfs = -7 m.Nm									

☞ Tracer les caractéristiques de transfert statique:  $N = f(C)$  et  $\epsilon_s = f(C)$

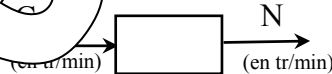
### 1.1.1. Exploitation, schéma bloqué

☞ Donner l'équation de la caractéristique.

☞ En déduire le coefficient de transfert variation défini par :

$$K_{FV} = \frac{\Delta N}{\Delta C} = ?$$

☞ En déduire le schéma bloqué



☞ Justifier l'appellation "action intégrale" sur le comportement du système en régime statique

# 2. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE



## 2.1. Réponse à un échelon constant

### 2.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 1000 tr/min, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur  $C = 2000 \text{ tr/min}$  à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse ( $N$ ) au cours du temps.

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $Csf = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
- Définir la valeur de repos à 1000 tr/min.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 2000 tr/min avec un retard de 0,1S.
- Définir les coefficients  $K_1 = 1$  et  $K_2 = 0,25$ .


- Définir la constante d'intégration  $T_i = 0,4S$  en "cliquant sur le bloc "Action Intégrale"
  - Veiller à être en mode  avec interrupteur de sortie fermé.
  - Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
  - Sélectionner les points d'enregistrement  $N_m$  et  $C$  en "Cliquant gauche " dessus.
  - Tracer la réponse temporelle en "Cliquant sur le bouton .
  - On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer "dessus.

### 2.1.2. Exploitation:

- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:


$$N_{(t)} = N_{(0)} + (N_{(\infty)} - N_{(0)}) (1 - \text{Exp}[-(t - t_r) / \tau_{FV}])$$

où  $\tau_{FV}$  est une constante (appelée constante de temps en boucle (réponse à vitesse)


La constante de temps  $\tau_{FV}$  peut être déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton 

- ☞ Vérifier qu'à la fin du régime transitoire (donc en régime permanent) la réponse du point de mesure correspondant de l'essai statique fait précédemment.
- ☞ Vérifier que l'erreur statique est nulle.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur le disque dur.
  - Fichier → Enregistrer sous
    - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
    - Choisir un nom de fichier et autoriser l'enregistrement.

### 2.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux  $a = 0 ; 4 ;$  et  $8 \mu.N.m/tr/min$  (Csf sera maintenu à  $7 m.N.m$ , le frottement sec bien compensé), mais pour un échelon de vitesse de 1000 à 2000 tr/min.
- On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement systématique de chaque essai.
- !! Attendre la fin de l'enregistrement avant de cliquer sur le bouton "Stop" !!
- ☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

### 2.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnelle

- ☞ Refaire une série d'essais avec  $K_2 = 0,25$  puis  $0,5$  et enfin  $0,75$ . Et tracer les 3 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.

## 2.2. Comportement en régime sinusoïdal

### 2.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande  $C(t) = C_0 + C_M \sin(\omega.t)$

#### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Coefficients  $K_1 = 1$  et  $K_2 = 0,25$ .
- Constante d'intégration  $T_i = 0,4\text{S}$  en
- Choisir le mode commande "Sinus"

avec:  $C_0 = 1500\text{tr/min}$  la valeur moyenne,

Amplitude =  $C_M = 500 \text{ tr/min}$  l'amplitude de la composante sinusoïdale

$\omega = 1/\tau_{FV}$  la pulsation de la composante sinusoïdale ( $\tau_{FV}$  la constante de temps relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).

- Veiller à être en mode **Stop** et que l'interrupteur de sortie soit fermé
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application
- Sélectionner les points d'enregistrement Nm et C en "Cliquant gauche" sur le bouton "d"
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant gauche" sur le bouton "d"
- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant gauche" sur le bouton "d" puis en positionnant les sondes

### 2.2.2. Exploitation

☞ Relever, lorsque le régime est établi, les valeurs moyennes par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.  
Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du premier ordre à la pulsation de cassure):

- rapport des valeurs moyennes:  $K_{FV}$
- rapport des amplitudes:  $1/\sqrt{2}$
- déphase:  $-\pi/4 = -45^\circ$



**But:**

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

**Configuration:**

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Position

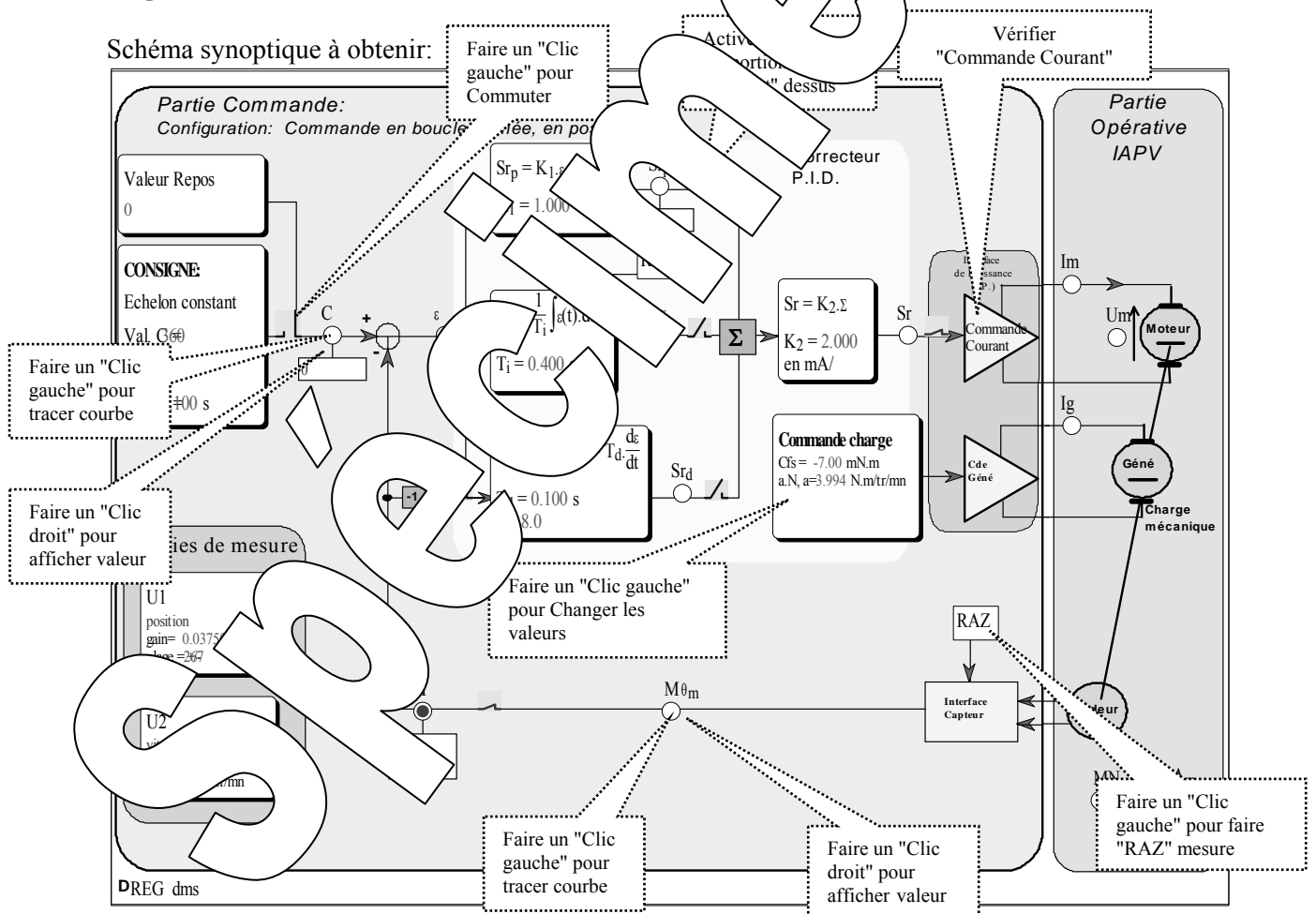
Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec et "Couple visqueux"

Schéma synoptique à obtenir:



# 1. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

## 1.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \text{ } \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Positionner une sonde sur le point de mesure  $M\theta m$  en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous en calculant, pour chaque point de mesure, l'erreur statique notée  $\epsilon_s$ :

C en °	-2000	-1600	-1200	-800	-400	0	400	800	1200	1600	2000
$M\theta m \rightarrow \theta$ en °											
$\epsilon_s = C - \theta$ en °											

☞ Tracer les caractéristiques de transfert statiques:  $\theta = f(C)$  et  $\epsilon_s = f(C)$

# 2. CARACTERISATION EN DYNAMIQUE


## 2.1. Réponse à un échelon constant

### 2.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale  $0^\circ$ , on applique un échelon de commande constant de valeur  $C = 500^\circ$  à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la position ( $\theta$ ) au cours du temps.

### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \text{ } \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 0.
- Définir la valeur de l'échelon constant à  $500^\circ$  avec un retour à 0,1S.
- Vérifier que les coefficients  $K_1$  et  $K_2$  sont à  $1 \text{ mA}$ .
- Veiller à être en mode "Stop" avec l'interrupteur de sortie fermé.
- Attendre la stabilisation du signal de mesure et vérifier que  $M\theta m$  est bien passée à 0.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le bouton de commande d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement de  $M$  et  $C$  en "Cliquant gauche" dessus.

- Tracer la réponse la plus précise sur le bouton .
- On peut connaître le temps de réponse en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où se trouve la sonde.
- Pour effacer une sonde, il suffit de "Cliquer" dessus.


### 2.1.2. Exploitation:

- ☞ Mesurer le temps de réponse et vérifier la loi de comportement du deuxième. On estimera le coefficient de amortissement ( $\zeta$ ) (Utiliser les abaques données en Annexe) ainsi que la pulsation propre.
- ☞ Mettre en évidence la pulsation propre et calculer l'erreur statique absolue et en déduire l'erreur statique relative.
- ☞ Sauvegarder les états de mesure dans un fichier sur disque dur:


Fichier → Enregistrer sous

- Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
- Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

### 2.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux  $a = 0 ; 4 ;$  et  $8 \mu.N.m/tr/min$  (Csf sera maintenu à  $-7 m.N.m \rightarrow$  frottement sec bien compensé).
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur du dépassement et faire un enregistrement sur disque de chaque essai: !! Attendre la fin de l'enregistrement  $\rightarrow$  retour en mode "Stop" !!
- ☞ Visualiser les enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier  $\rightarrow$  Ouvrir*
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

### 2.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnelle



- ☞ Refaire une série d'essais avec  $K_2 = 0,25$  puis  $0,5$  et enfin  $1$  m... les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais *Fichier  $\rightarrow$  Ouvrir*
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.
- ☞ Refaire un essai de recherche de la juste instabilité. (mesurer  $K_2$  qui rend le système juste instable  $\rightarrow$  l'amplitude des oscillations ne diminuent plus en régime permanent)  
On relèvera la valeur particulière de  $K_2$  qui sera notée  $K_{2, crit}$  et la pulsation  $\omega_F$  de des oscillations non amorties. On en déduira la pulsation de celles-ci.

## 2.2. Comportement en régime sinusoïdal

### 2.2.1. Relevé expérimental

On souhaite exciter le système par un commandement  $x(t) = C_0 + C_M \cdot \sin(\omega \cdot t)$

#### Conditions de l'essai et mode opératoire

- Configurer la caractéristique de commande en  $Csf = -7 m.N.m/tr/min$  et  $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
- Choisir le mode commande "Sinusoïdal" avec:  $C_0 = 250^\circ$  la valeur moyenne de la composante sinusoïdal,  $C_M = 50^\circ$  l'amplitude de la composante sinusoïdal,  $\omega_F$  la pulsation de la composante sinusoïdale ( $\omega_F$  étant la pulsation propre relevée lors de l'essai expérimental)
- Veiller à être en mode "Stop" et l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Appliquer l'échelon en positionnant le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points de mesure  $M\theta_m$  et  $C$  en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse en "Cliquant gauche" sur le bouton .
- Visualiser les enregistrements essentiels en "Cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

### 2.2.2. Caractéristiques

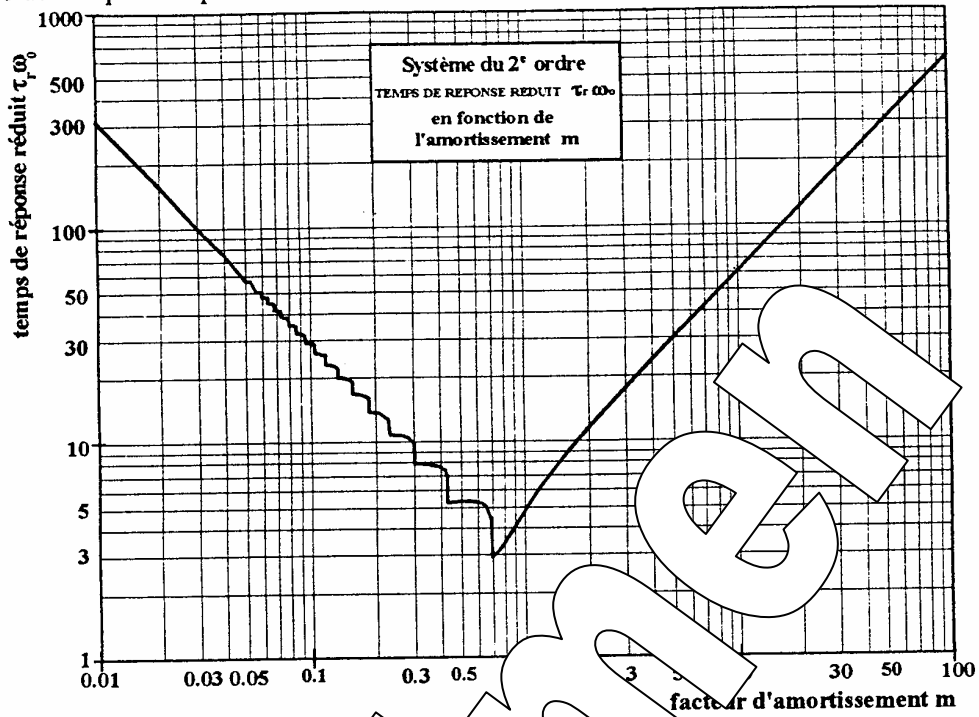
Une fois le régime établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.

Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du deuxième ordre à la pulsation de cassure):

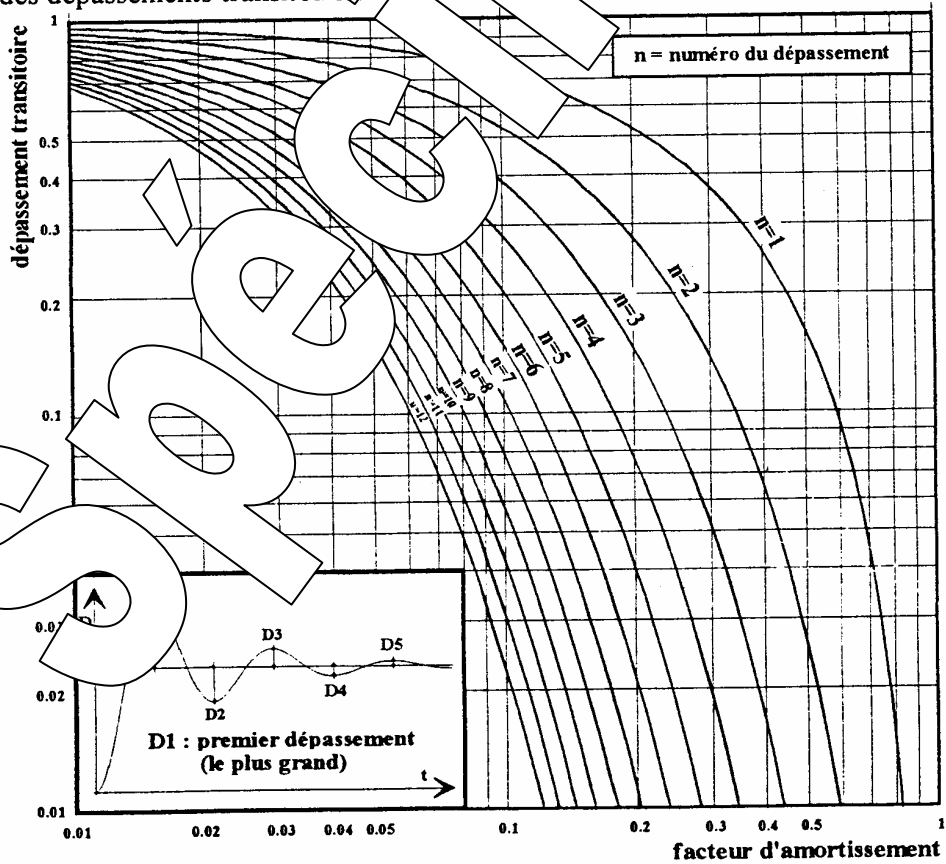
- $\rightarrow$  rapport des valeurs moyennes:  $= K_{FV}$
- $\rightarrow$  rapport des amplitudes:
- $\rightarrow$  déphasage:

**ANNEXE: Abaques sur le comportement dynamique des systèmes du 2<sup>ème</sup> ordre**

Abaque du temps de réponse réduit.

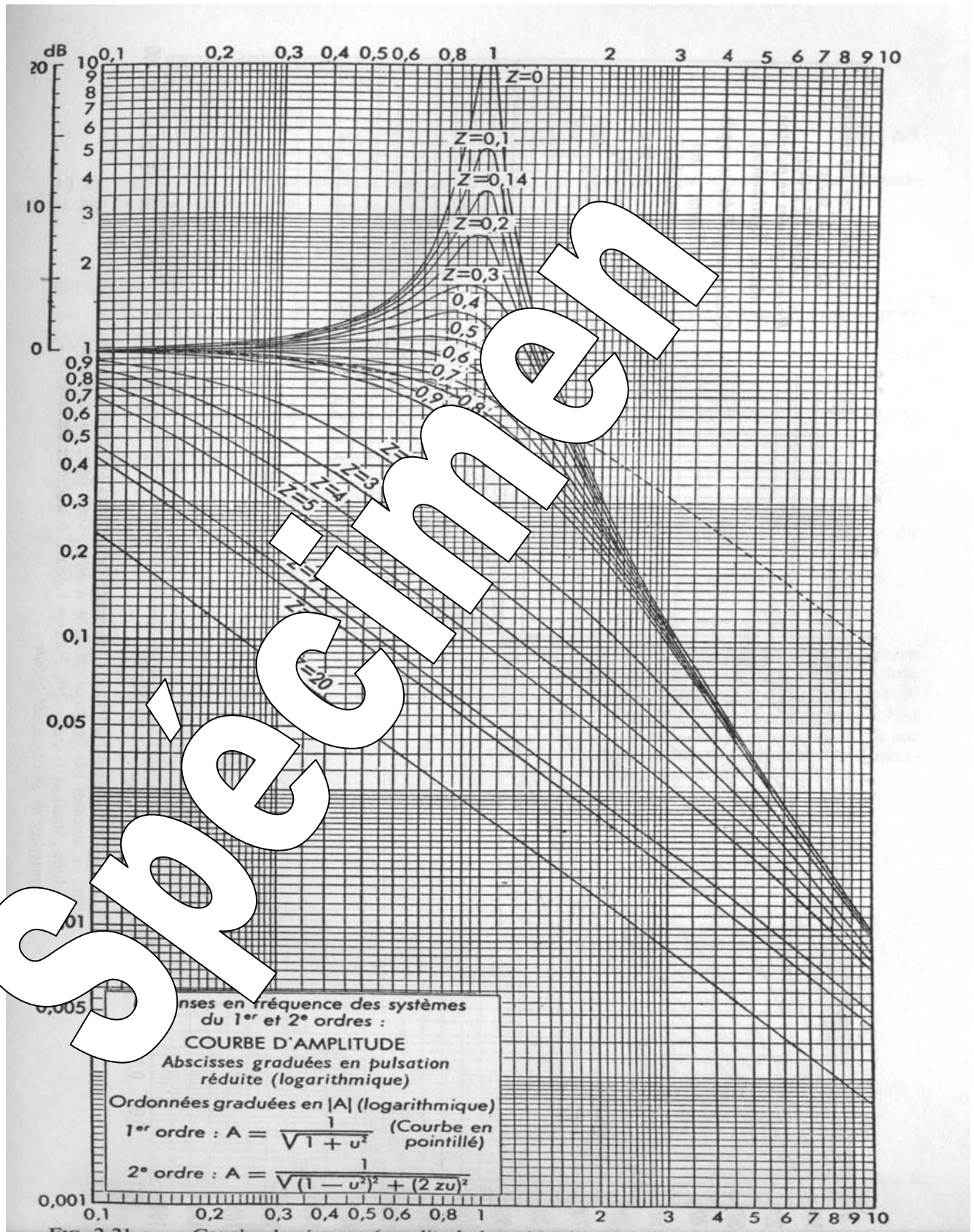


Abaque des dépassements transitoires

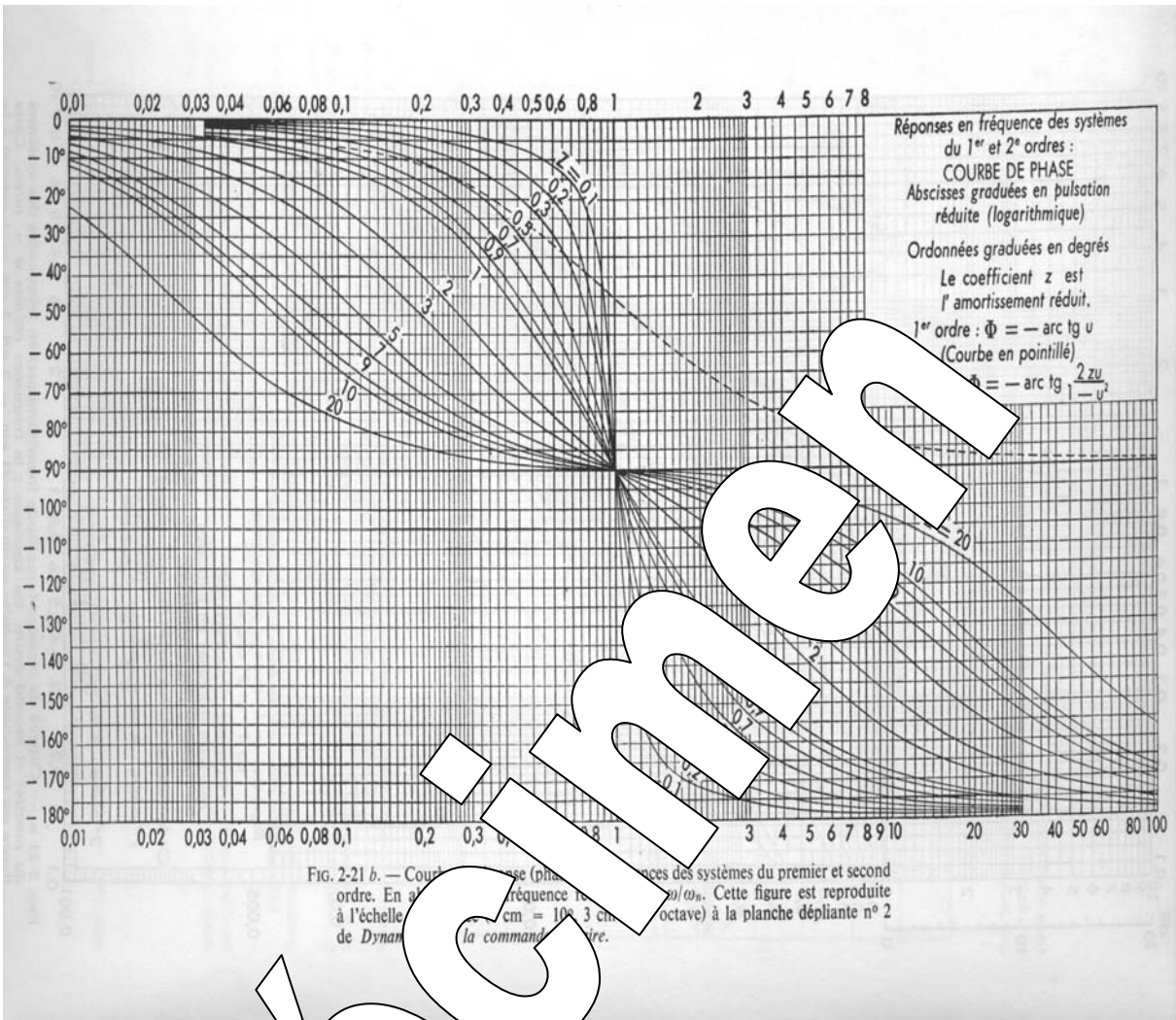


## Comportement en régime harmonique

-Lieux des rapports d'amplitudes



- Lieux des déphasages



Spécimen

- Avec Interface de puissance de type "Commande en Courant"
- Avec charge de type frottement fluide et frottement sec compensé

**But:**

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

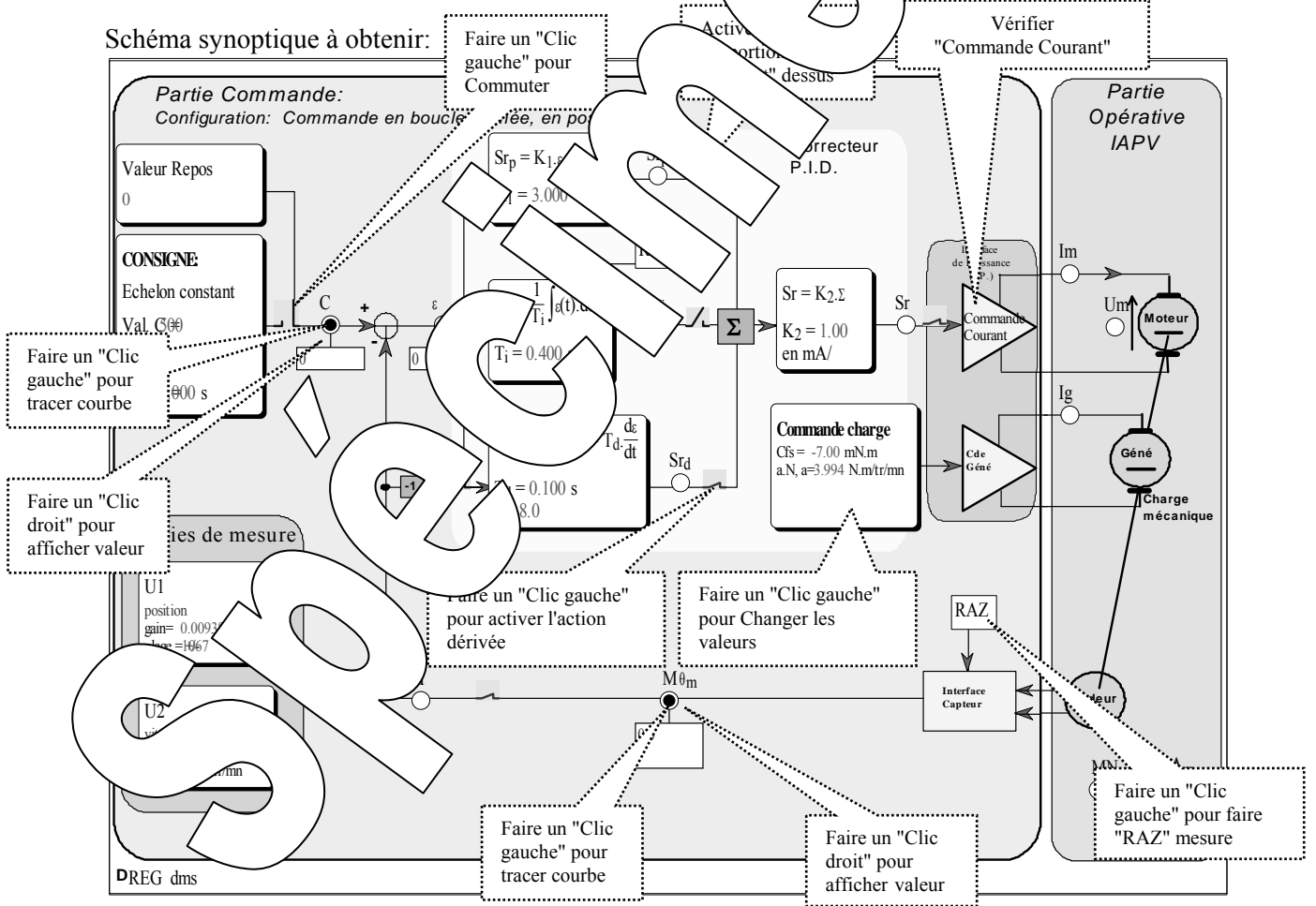
**Configuration:**

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:  
Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Position

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":  
Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:  
"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec et "Couple visqueux"

Schéma synoptique à obtenir:




## 1. Réponse à un échelon constant

### 1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 0°, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur C = 500° à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la position (θ) au cours du temps.



#### Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge:  $C_{fs} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$  et  $a = 4 \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 0.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 500° avec un retard de 0,1S.
- Définir les coefficients  $K_1=3$  et  $K_2= 1 \text{ mA/°}$
- Définir la constante de dérivation  $T_d = 0,1 \text{ S}$  et le coefficient de filtrage  $\alpha = 8$
- Veiller à être en mode **Stop** avec interrupteur de sortie fermé.
- Attendre la stabilisation du disque et faire un "RAZ" de la mesure et vérifier que la mesure est passée à 0.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement Mθm et C en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant sur le bouton .
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une souris sur la "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer" dessus.

### 1.2. Exploitation:


- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement d deuxième. On estimera le coefficient d'amortissement (Utiliser les abaques des courbes de réponse) ainsi que la pulsation propre.
- ☞ Mettre en évidence et calculer l'erreur statique et en déduire l'erreur statique relative.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier informatique dur:
  - Fichier → Enregistrer sous
  - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
  - Choisir un nom de fichier et cliquer sur la sauvegarder.
- ☞ Comparer ces résultats avec ceux obtenus au RPP (avec correcteur proportionnel seul)

## 2. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour quatre valeurs du coefficient de frottement visqueux  $a = 0 ; 4 ;$  et  $8 \mu\text{.N.m/tr/min}$  ( $C_{fs}$  sera toujours  $-7 \text{ m.N.m/tr/min}$  -> frottement sec bien compensé).
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur du dépassement et faire un enregistrement sur disque de chaque essai: Attendre la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop" !!
- ☞ Y inscrire les résultats sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par .
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.



### 3. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnel





- ☞ Refaire une série d'essais avec  $K_2 = 0,25$  puis  $0,5$  et enfin  $1$ . Et tracer les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier* → *Ouvrir*
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.
- ☞ Refaire un essai de recherche de la juste instabilité. (Augmenter  $K_2$  qui rend le système juste instable → l'amplitude des oscillations ne diminue plus en régime permanent)  
On relèvera la valeur particulière de  $K_2$  qui sera noté  $K_{2\text{ critique}}$  et la période des oscillations non amorties.  
On en déduira la pulsation de celles-ci.

### 4. Comportement en régime sinusoïdal

#### 4.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande  $C(t) = A \cdot \sin(\omega t)$

##### Conditions de l'essai et mode opératoire:

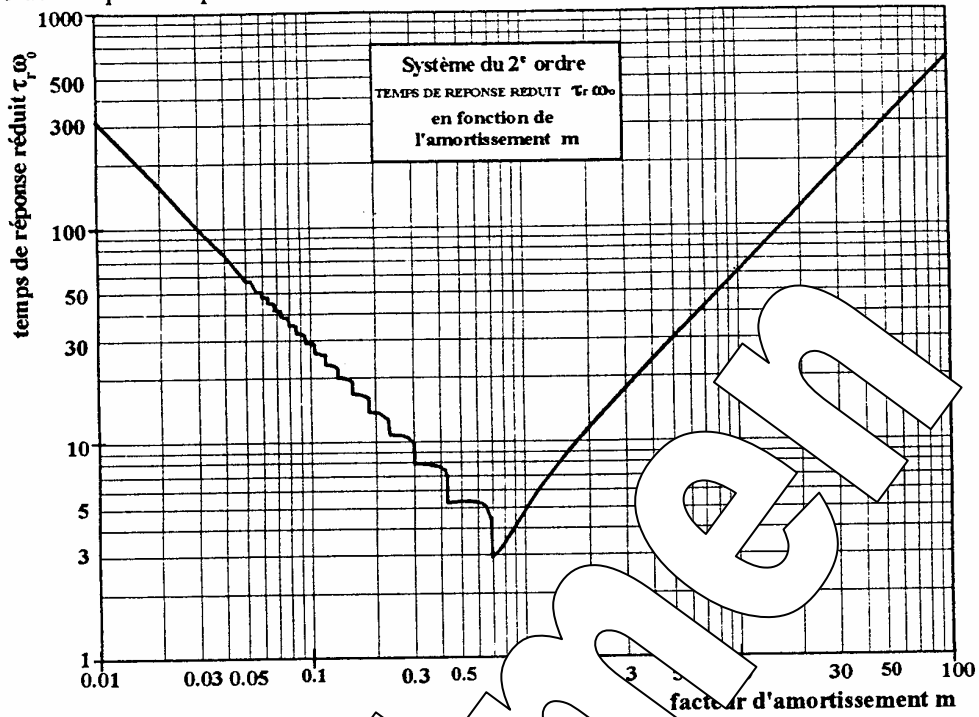
- Configurer la caractéristique de charge:  $Csf = -7$  m et à  $1000$   $\text{V.m/tr/min}$
- Choisir le mode commande "Sinus"  
avec:  $C_0 = 250^\circ$  la valeur moyenne  
Amplitude =  $C_M = 250^\circ$  l'amplitude de la composante sinusoïdale,  
 $\omega = 1/\omega_F$  la pulsation de résonance sinusoïdale ( $\omega_F$  étant la pulsation propre relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).
- Veiller à être en mode  et que l'interrupteur de sécurité soit fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le bouton  pour l'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement  $M\theta m$  en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton .
- Relever les caractéristiques essentielles en "cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

#### 4.2. Exploitation

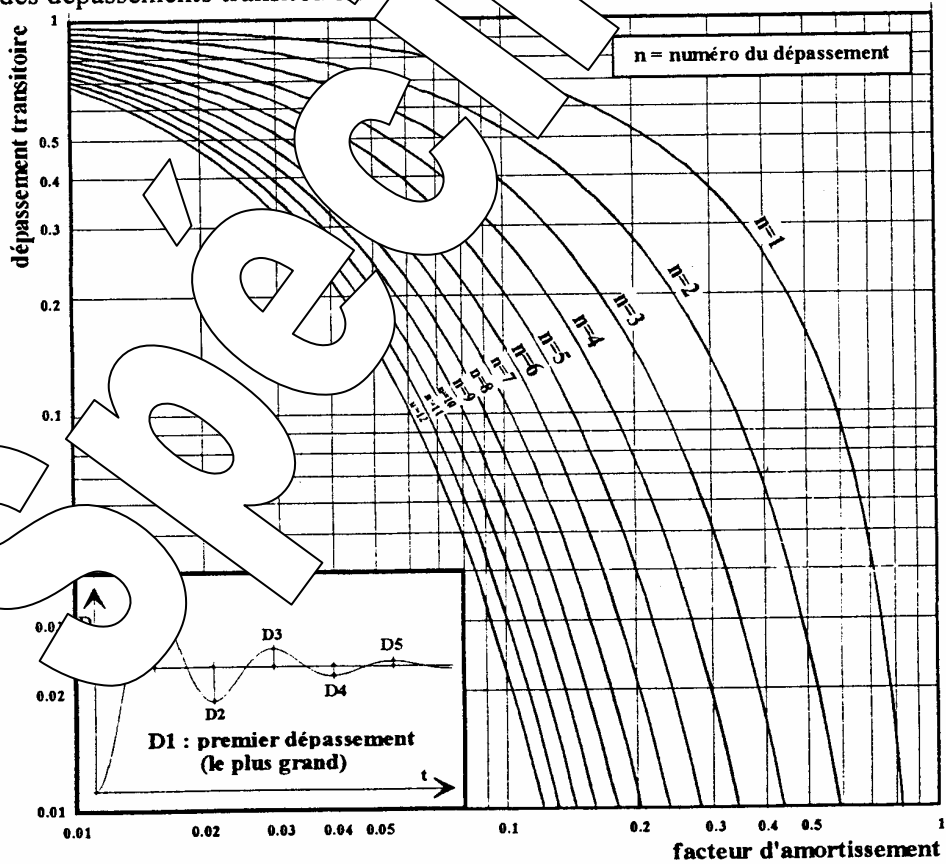
- ☞ Relever, le régime établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse par rapport à la tension de commande.
- ☞ Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du 1<sup>er</sup> ordre en régime sinusoïdal, en particulier la présence d'un déphasage de  $90^\circ$  à la résonance):  
- les valeurs moyennes:  $\omega = K_{FV}$
- les déphasages:  $\phi = 90^\circ$

**ANNEXE: Abaques sur le comportement dynamique des systèmes du 2<sup>ème</sup> ordre**

Abaque du temps de réponse réduit.

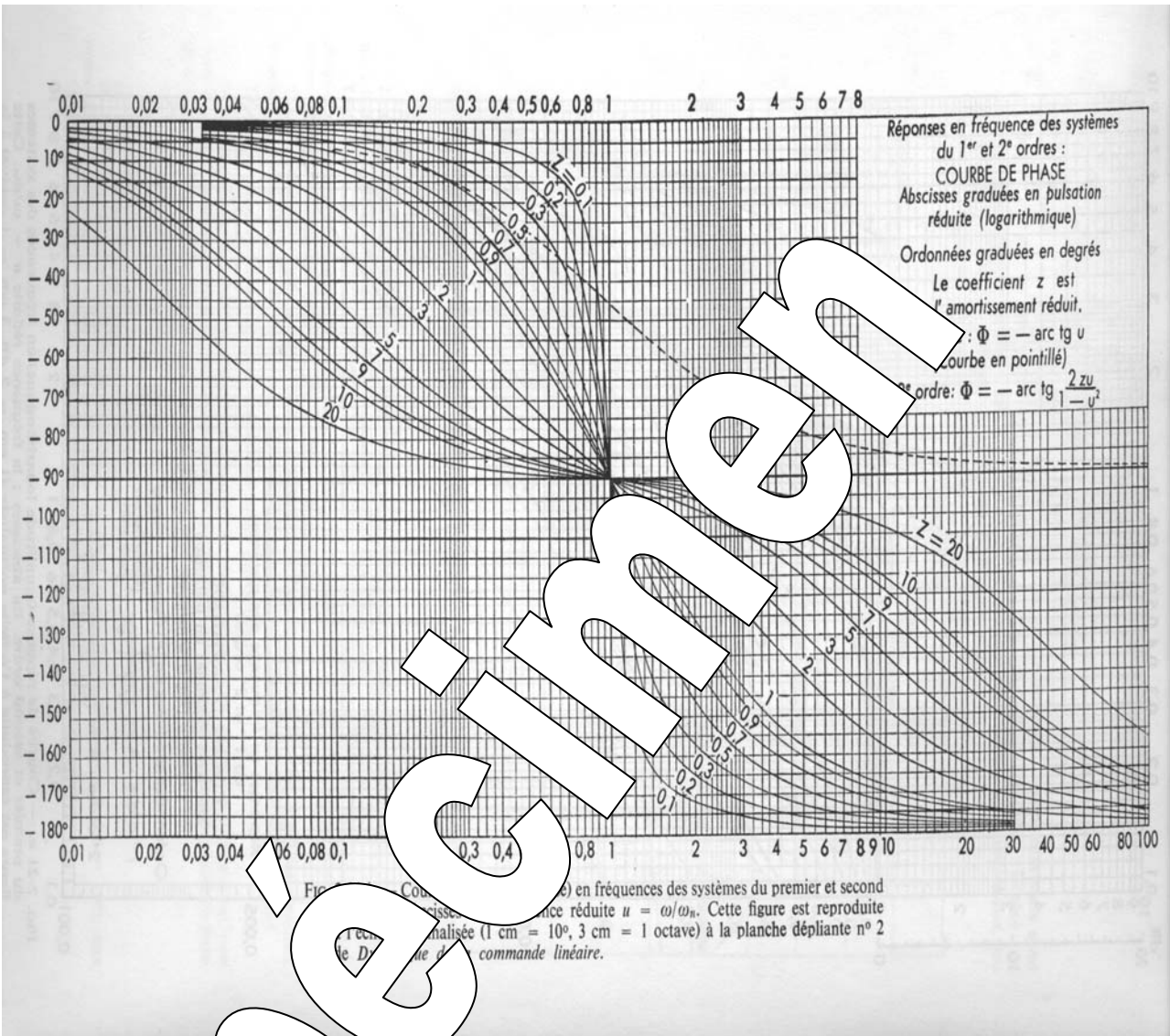


Abaque des dépassements transitoires





- Lieux des déphasages



Spécimen

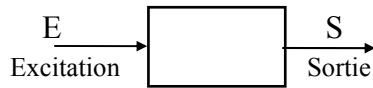
**Sommaire:**

**Page:**

<b>1. CARACTERISTIQUE STATIQUE ET COEFFICIENT DE TRANSFERT STATIQUE D'UN BLOC FONCTIONNEL</b>	<b>2</b>
1.1. Bloc fonctionnel:	2
1.2. Caractéristique et coefficient de transfert:	2
1.3. Linéarisation autour d'un point de repos:	3
<b>2. SYSTEMES LINEAIRES - GENERAL</b>	<b>4</b>
2.1. Définition:	4
2.2. Comportement en statique:	4
2.3. Comportement en régime variable:	5
2.3.1. Réponse à un échelon constant:	5
2.3.2. Réponse à une excitation sinusoïdale:	5
<b>3. SYSTEMES LINEAIRES EN 1er ORDRE</b>	<b>6</b>
3.1. Définition:	6
3.2. Comportement en régime variable en 1er ordre simple:	6
3.2.1. Réponse à un échelon constant:	6
3.2.2. Comportement en régime harmonique:	7
<b>4. SYSTEME LINEAIRE EN 2eme ORDRE</b>	<b>8</b>
4.1. Définition:	8
4.2. Comportement en statique:	8
4.3. Comportement en régime variable d'un 2ème ordre simple:	9
4.3.1. Réponse à un échelon constant:	9
4.3.2. Comportement en régime harmonique:	12
<b>5. COEFFICIENT DE TRANSFERT EN BOUCLE FERMEE</b>	<b>13</b>
5.1. Relation de la structure d'un système asservi:	13
5.2. Schéma bloc et coefficient de transfert statique:	13
5.3. Précision statique:	14

# 1. CARACTERISTIQUE STATIQUE ET COEFFICIENT DE TRANSFERT STATIQUE D'UN BLOC FONCTIONNEL

## 1.1. Bloc fonctionnel:



On note:

- E l'information d'entrée (ou d'excitation) du bloc,
- S l'information de sortie du bloc.

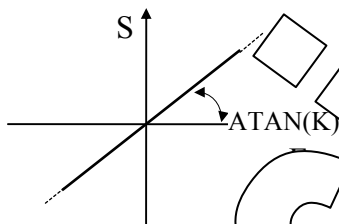
Remarques:

E et S sont des grandeurs constantes qui n'ont pas forcément la même dimension.

## 1.2. Caractéristique et coefficient de transfert statique

La caractéristique de transfert d'un bloc fonctionnel est la courbe représentative de  $S = f_n(E)$ . Si la courbe représentative est une droite passant par l'origine (courbe d'équation  $S = K.E$ ), le système est dit "linéaire".

du bloc:  $K$  est le coefficient de transfert noté  $K$ ,



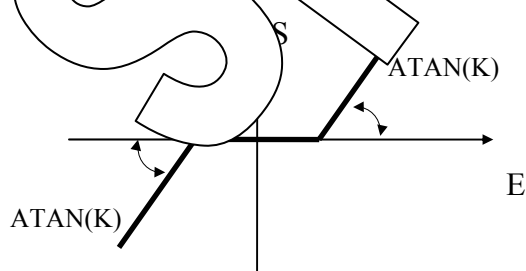
$$K = \frac{S}{E}$$

Remarque:

- Si les informations S et E ont la même dimension, le coefficient  $K$  n'est pas sans dimension.

- Si la caractéristique de transfert n'est pas une droite passant par l'origine, le système est dit "non linéaire".

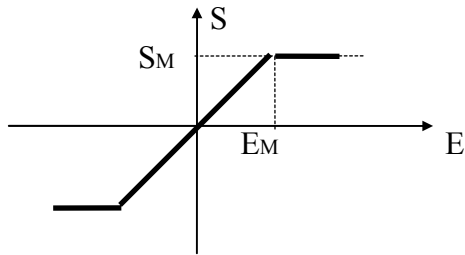
Parité de type "symétrique"



$K$  est un coefficient de transfert dynamique:

$$K = \frac{\Delta S}{\Delta E}$$

Non linéarité de type "saturation symétrique"



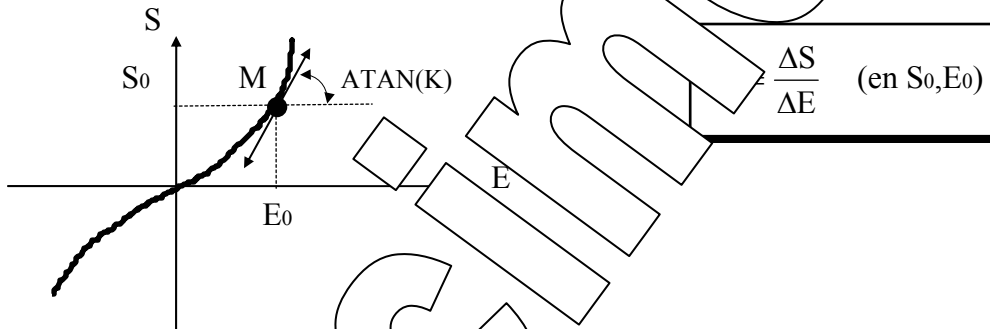
$$S = K.E \text{ tant que } \|S\| < S_M$$

$$\text{Si } \|E\| \geq E_M \text{ alors } S = S_M$$

**1.3. Linéarisation autour d'un point de repos**

Un système peut fonctionner autour d'un point de fonctionnement sur une caractéristique non linéaire.

On définit le gain équivalent:

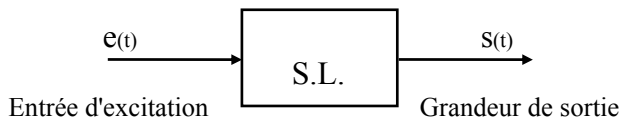


Spécimen

## 2. SYSTEMES LINEAIRES - GENERALITES

### 2.1. Définition:

Un système est dit "linéaire" s'il est régi par un système d'équations différentielles linéaires à coefficients constants.



Un bloc fonctionnel linéaire est régi par une équation différentielle qui lie la grandeur de sortie à la grandeur d'entrée.

Cette équation différentielle peut être mise sous la forme:

$$s_{(t)} + a_1 \frac{ds}{dt} + a_2 \frac{d^2s}{dt^2} = K(e_{(t)} + b_1 \frac{de}{dt} + b_2 \frac{d^2e}{dt^2})$$

### 2.2. Comportement en régime statique

Un système fonctionne en régime statique lorsqu'il est excité par une constante et que l'on s'intéresse au régime final.

Si  $e(t) = E$  (grandeur constante)

$$\frac{de}{dt} = \frac{d^2e}{dt^2} = \dots = 0$$

Si, en régime statique, la grandeur de sortie  $s(t)$  tend vers une constante notée  $S$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \dots = 0$$

On en déduit le coefficient de transfert statique:  $K = \frac{S}{E}$

Remarque:

Il est possible que le régime final de la sortie ne soit pas constant ( $s(\infty) \neq \text{constante}$ ).

C'est le cas pour un système à intégration. On définit alors le coefficient de transfert statique.

C'est le cas par exemple pour un système à dérivation où l'équation différentielle liant la sortie à l'entrée a pour expression:

$$\frac{ds}{dt} = e(t) \quad \text{soit} \quad s(t) = \int e(t) \cdot dt$$

Dans ce cas le bloc fonctionnel présente une action intégrale.

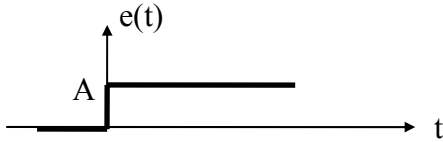
Si  $e(t)$  est une constante notée  $E$ ,  $s(t)$  sera une rampe  $E \cdot t + \text{cte}$



### 2.3. Comportement en régime variable:

#### 2.3.1. Réponse à un échelon constant:

Il s'agit d'étudier la réponse  $s(t)$  suite à une excitation d'entrée d'allure donnée ci-dessous:



La réponse  $s(t)$  est solution de l'équation différentielle:

$$s_{(t)} + a_1 \frac{ds}{dt} + a_2 \frac{d^2s}{dt^2} + \dots = KA$$

Cette solution fait intervenir les conditions initiales suivantes:

- $s_{(0)}$  valeur initiale de  $s_{(t)}$
- $s'_{(0)}$  valeur initiale de  $ds/dt$
- ...
- ...

#### 2.3.2. Réponse à une excitation sinusoïdale.

Il s'agit d'étudier la réponse  $s(t)$  suite à une excitation alternative sinusoïdale:

$$e(t) = E_M \sin(\omega.t)$$

Cette réponse pourra être représentée par la somme:

$$s(t) = S_M \sin(\omega.t + \varphi) \quad \varphi \text{ déphasage de } s/e.$$

On définit la fonction  $\bar{T}$  caractéristique en régime harmonique (fonction complexe).

$$\bar{T} = \frac{\bar{S}}{\bar{E}} = \frac{S_M}{E_M} \frac{e^{j\varphi}}{1 + a_1(j\omega) + a_2(j\omega)^2 + \dots}$$

$$\frac{S_M}{E_M} = |\bar{T}| \quad \text{et} \quad \varphi = \text{Arg}(\bar{T})$$

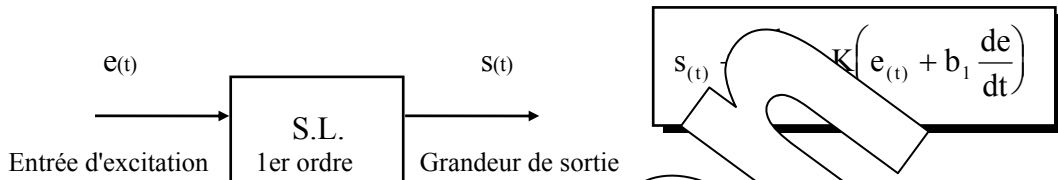
(rapport des amplitudes)

(déphasage  $s/e$ )

### 3. SYSTEMES LINEAIRE DU 1ER ORDRE

#### 3.1. Définition:

Un système linéaire du 1er ordre est régi par une équation différentielle du 1er degré à coefficients constants.



Remarques:

- Le système est dit du "1er ordre simple" si  $b_1 = 0$
- La constante notée " $\tau$ " est homogène à un temps et est appelée "constante de temps".

#### 2- Comportement en stationne:

Si l'entrée d'excitation est constante  $e(t) = E$ ,  $s(t)$  tend vers un régime final constant

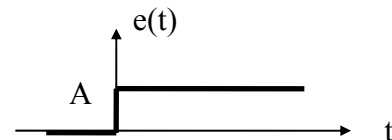
$$s(t) \rightarrow s(\infty) = S = K.E$$

D'où le coefficient de transfert  $K = \frac{S}{E}$

#### 3.2. Comportement en régime variable d'un 1er ordre simple:

##### 3.2.1. Réponse à une entrée constante

Si le système est à l'état d'équilibre à l'entrée  $C(t)$  donnée ci-contre:



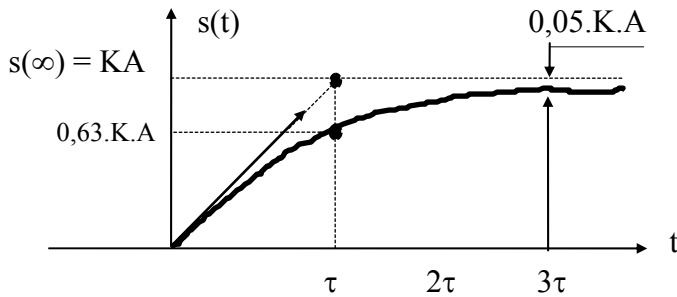
Si au départ, les conditions initiales sont nulles

$$s(0) = 0$$

On obtient pour solution de l'équation différentielle:

$$s(t) = KA \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

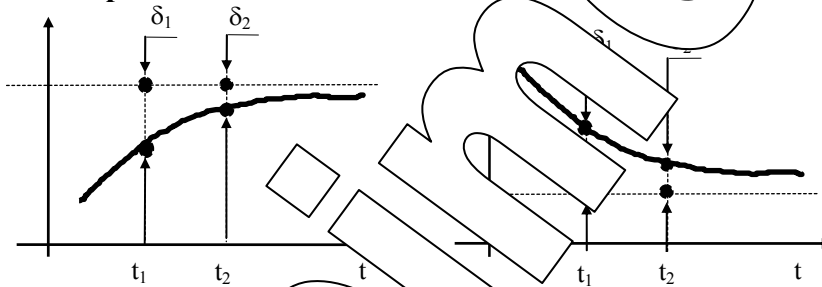
L'allure de la réponse est donnée ci-dessous:



On définit le temps de réponse à 5 %, le temps nécessaire au signal  $s(t)$  d'atteindre 95 % de sa valeur finale.

soit:  $tr_{5\%} = 3.\tau$

**Détermination expérimentale d'une constante de temps**

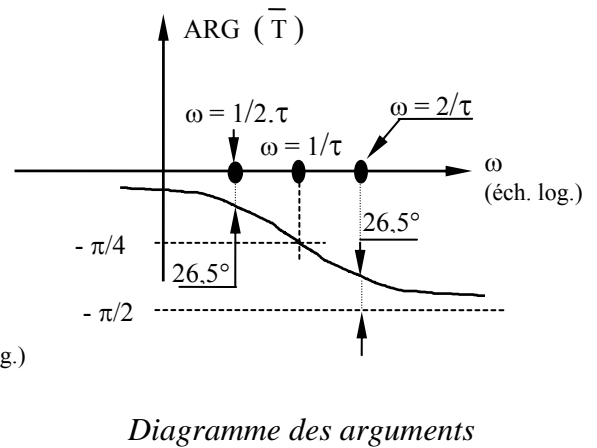
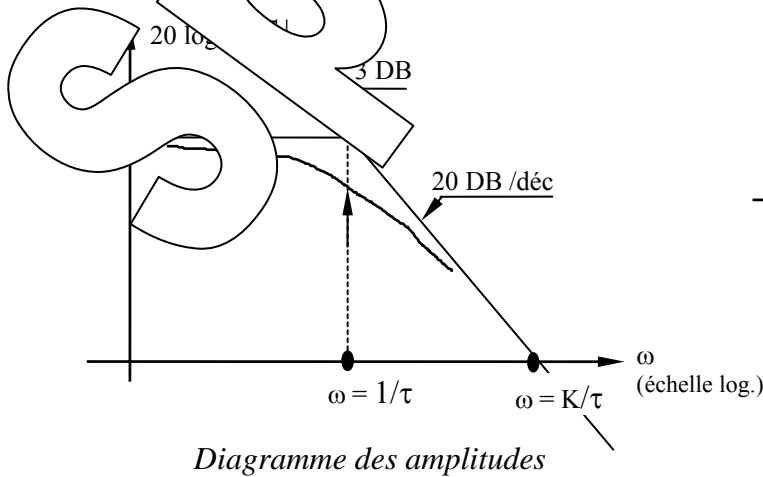


$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln(\delta_1/\delta_2)}$$

**3.2.2. Comportement en régime harmonique:**

La fonction de transfert en régime harmonique a pour expression:

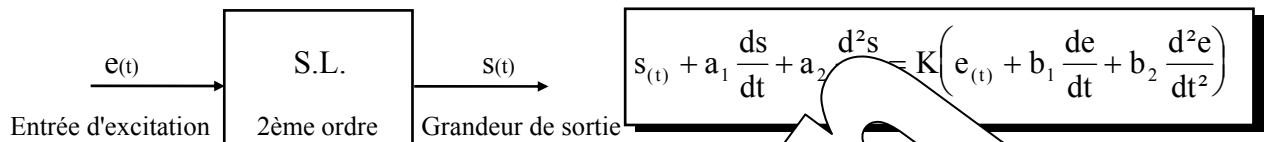
$\bar{T} = \frac{\bar{S}}{\bar{E}} = \frac{K}{1 + j\tau\omega}$  en déduit:  $\|\bar{T}\| = \frac{S_M}{E_M} = \frac{K}{\sqrt{1 + \tau^2\omega^2}}$   
 $\varphi_{\%} = \text{Arg}(\bar{T}) = -\text{ATAN}(\tau.\omega)$



## 4. SYSTEME LINEAIRE DU 2EME ORDRE

### 4.1. Définition:

Un système linéaire du 2ème ordre est régi par une équation différentielle du 2ème degré, à coefficients constants



remarques:

- Le système est dit du "2ème ordre simple" si  $b_1 = b_2 = 0$ .

- On définit:

\* la pulsation propre non amortie

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{a_2}}$$

avec p dimension  $\frac{1}{s}$

\* le coefficient d'amortissement z

$$\frac{2 \cdot z}{\omega_n} = a_1 \rightarrow z = \frac{a_1}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt{a_2}}} \quad (\text{sans dimension})$$

soit pour un système 2ème ordre simple:

$$s_{(t)} + \frac{2z}{\omega_n} \frac{ds}{dt} + \frac{1}{\omega_n^2} \frac{d^2s}{dt^2} = K e_{(t)}$$

### 4.1.1. Remarque statique:

Si l'entrée est constante  $e(t) = E$ ,  $s(t)$  tend vers un régime final constant

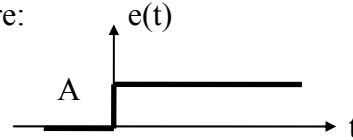
$$s(t) \rightarrow s(\infty) = S = K.E$$

D'où le coefficient de transfert statique  $K = \frac{S}{E}$

### 4.3. Comportement en régime variable d'un 2ème ordre simple:

#### 4.3.1. Réponse à un échelon constant

Si le système est excité par une entrée  $e(t)$  donnée ci-contre:



Si au départ, les conditions initiales sont nulles.

$$s_{(0)} = \frac{ds}{dt}(0) = \frac{d^2s}{dt^2}(0) = 0$$

La solution dépend de la valeur du coefficient d'amortissement.

**Si  $z > 1$**

Dans ce cas, on peut définir deux constantes de

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega_n} (z + \sqrt{z^2 - 1})$$

La solution est alors de la forme

$$s_{(t)} = K.A \left[ 1 - \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \left( \tau_2 e^{-\frac{t}{\tau_1}} - \tau_1 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \right]$$

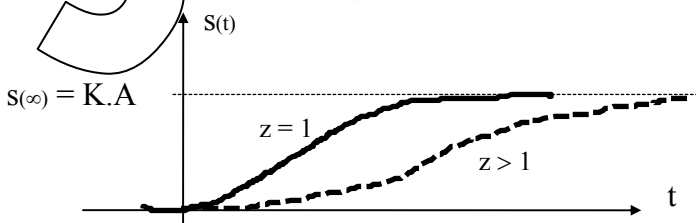
**Si  $z = 1$**

Dans ce cas, on peut définir une constante de temps  $\tau = z/\omega_n$

La solution est

$$s_{(t)} = K.A \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Dans les deux cas, l'allure de la réponse est donnée sur la forme ci-après:

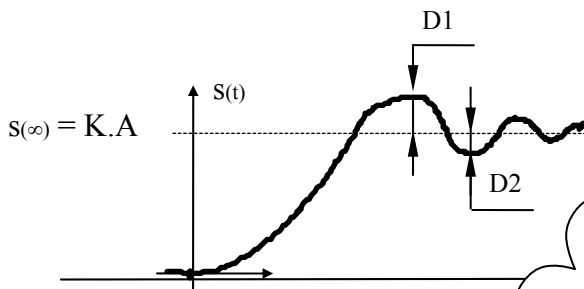


**Si  $z < 1$**

Dans ce cas, la réponse est oscillatoire amortie avec une solution d'expression:

$$s(t) = K.A \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-z^2}} e^{-z\omega_n t} \left( \sin(\omega_n \sqrt{1-z^2} \cdot t - \varphi) \right) \right]$$

avec  $\varphi = \text{ATAN}\left(\frac{\sqrt{1-z^2}}{-z}\right)$



étude de dépassements D1, D2 ....  
 dépend de la valeur de z:  
 - pour  $z < 0,7$  : deux dépassements  
 - pour  $z > 0,7$  : un seul dépassement  
 - pour  $z = 0,7$  : un seul dépassement  
 - pour  $z = 1$  : pas de dépassement

Remarques:

- Plus  $z \downarrow$  plus l'amplitude des oscillations est grande
- La courbe de réponse est composée de deux dépassements

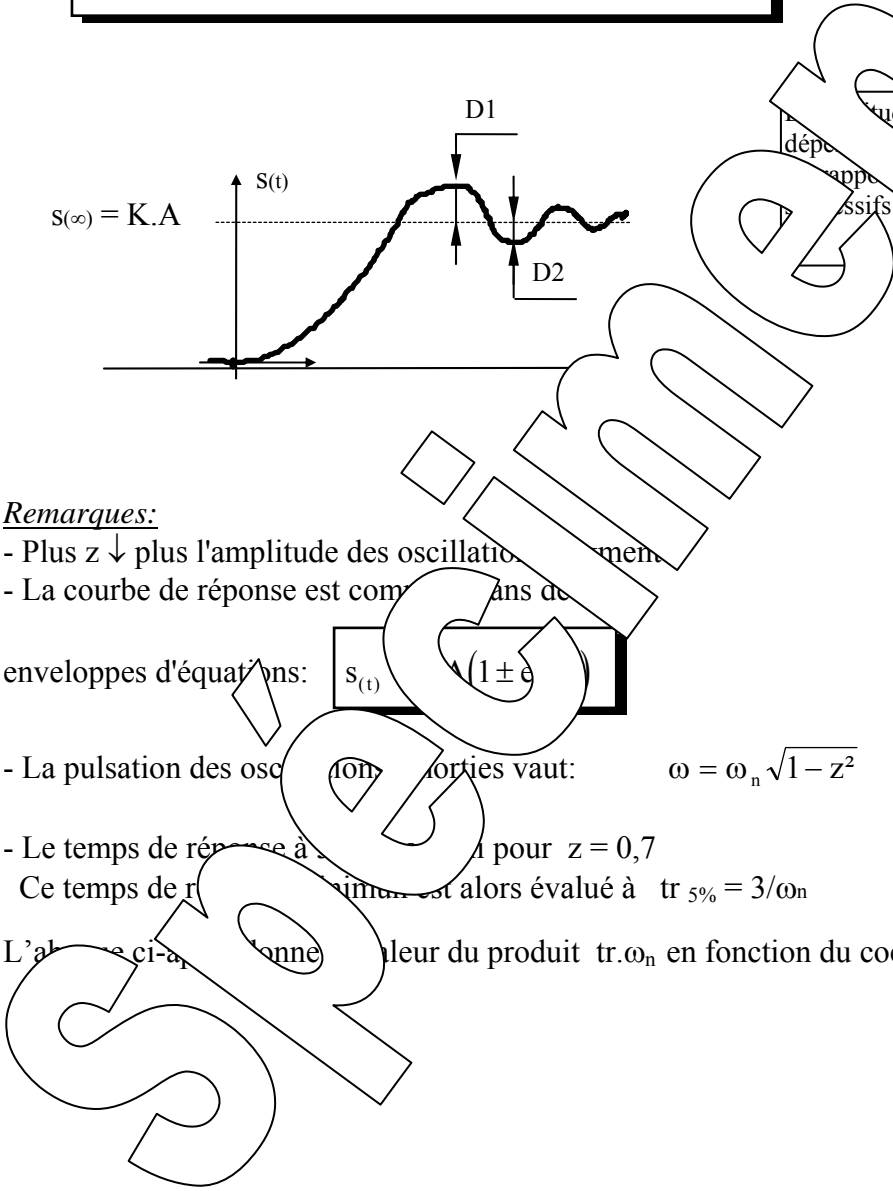
enveloppes d'équations:

$$s(t) = K.A (1 \pm e^{-z\omega_n t})$$

- La pulsation des oscillations amorties vaut:  $\omega = \omega_n \sqrt{1-z^2}$

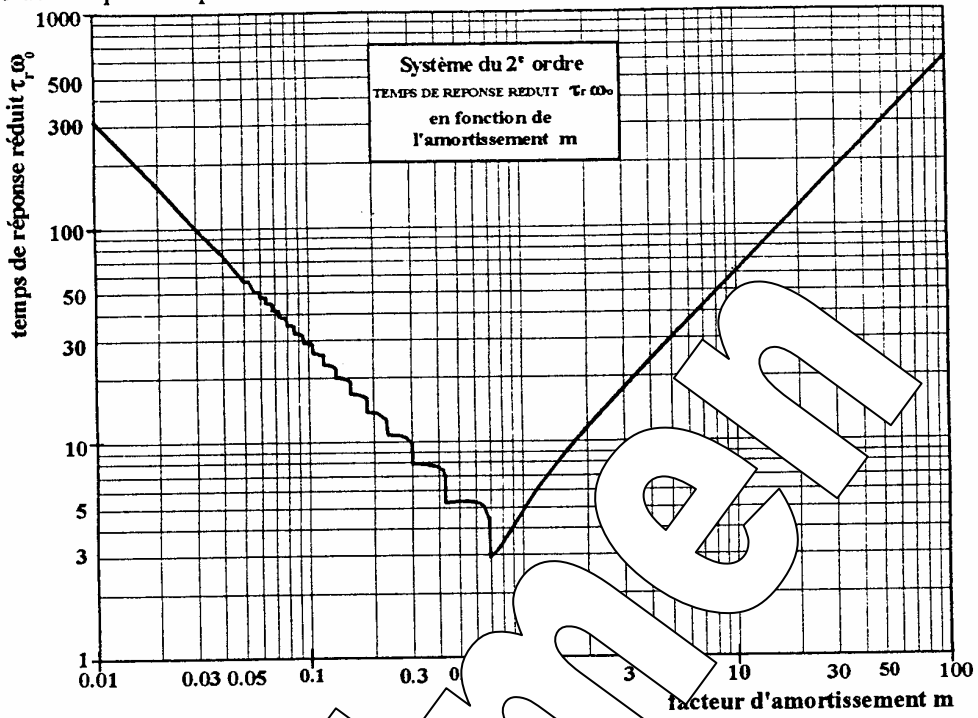
- Le temps de réponse à 5% pour  $z = 0,7$   
 Ce temps de réponse est alors évalué à  $tr_{5\%} = 3/\omega_n$

L'algorithme ci-dessous donne la valeur du produit  $tr \cdot \omega_n$  en fonction du coefficient d'amortissement:

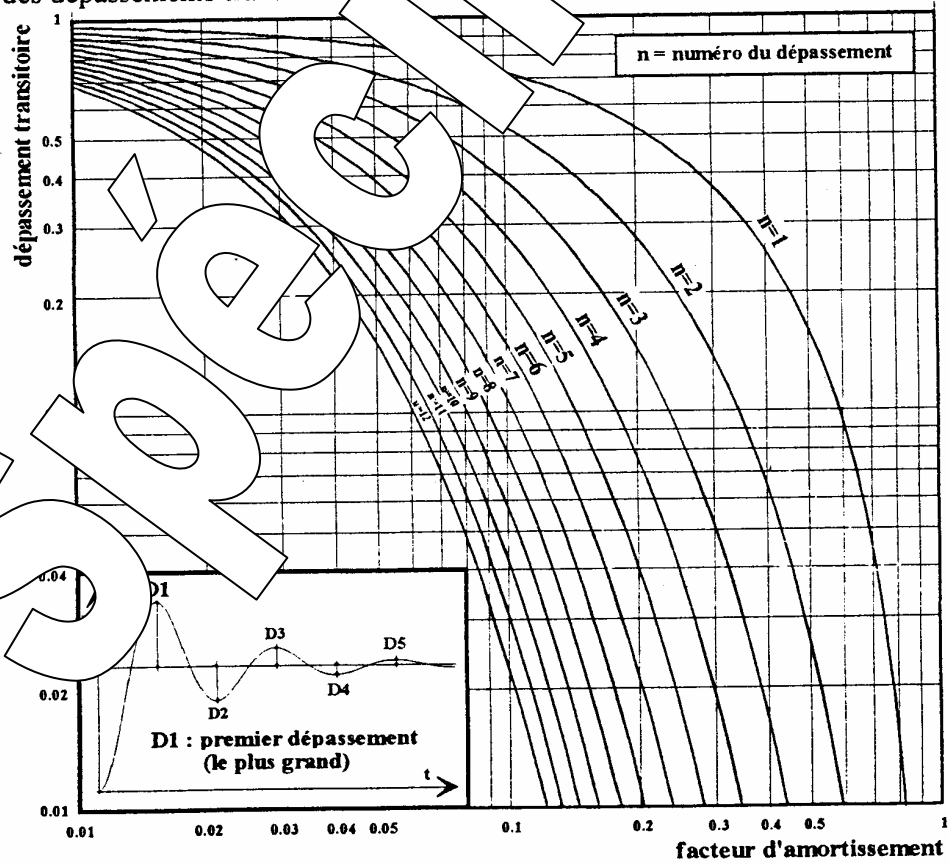


### SYSTÈME DU 2<sup>ème</sup> ORDRE

Abaque du temps de réponse réduit.



Abaque des dépassements transitoires



### 4.3.2. Comportement en régime harmonique:

Fonction de transfert en régime harmonique:

$$\bar{T} = \frac{\bar{S}}{E} = \frac{K}{1 + \frac{2z}{\omega_n} j\omega + \left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

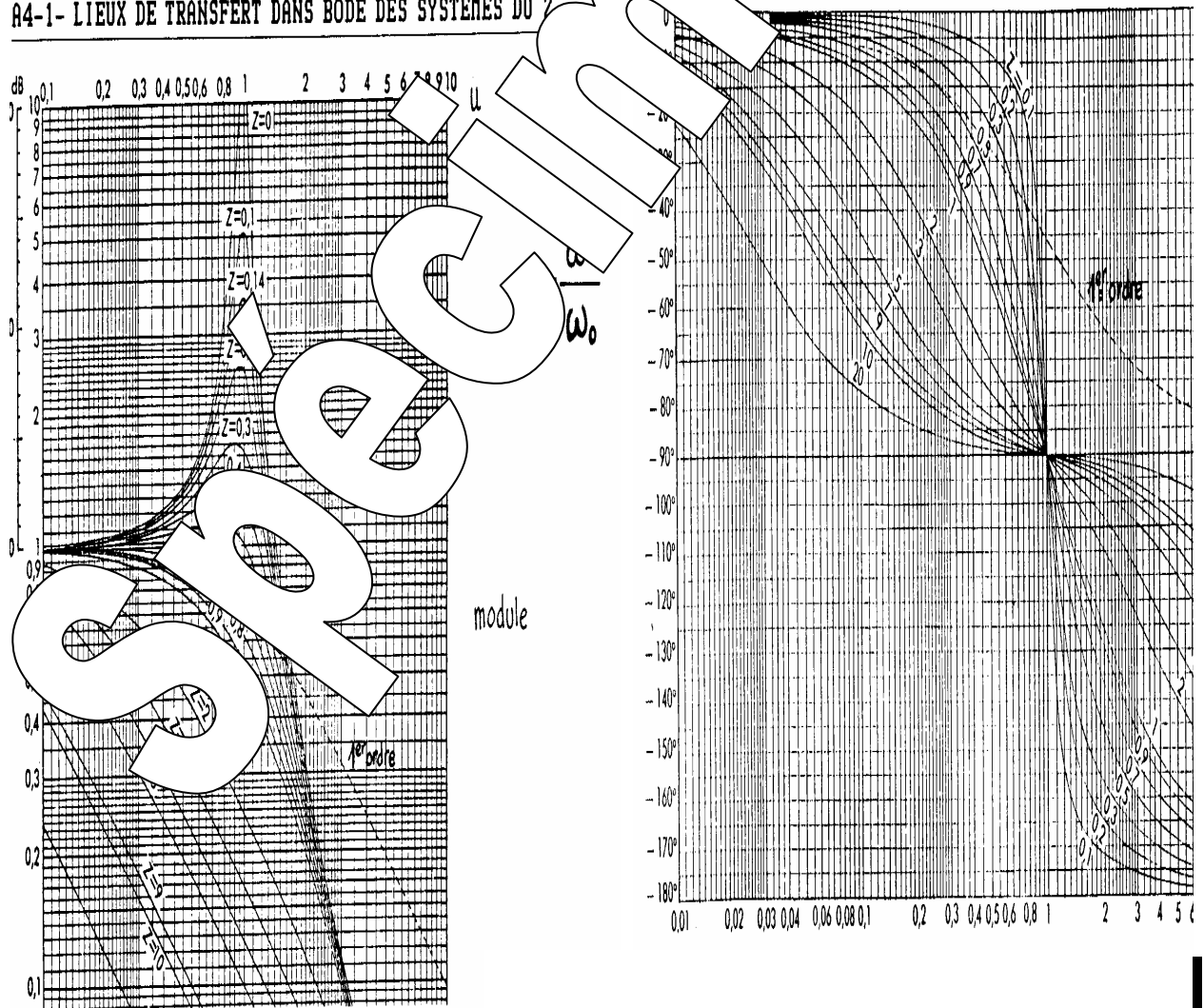
On en déduit:

$$\|\bar{T}\| = \frac{K}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot z \cdot \omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

$$\text{Arg}(\bar{T}) = \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right) - \frac{2 \cdot z \cdot \omega}{\omega_n}$$

Pour  $\omega = \omega_n$  les expressions deviennent:  $\|\bar{T}\| = \frac{K}{2z}$  et  $\text{Arg}(\bar{T}) = -\pi/2$

A4-1- LIEUX DE TRANSFERT DANS BODE DES SYSTEMES DU 2<sup>ème</sup>

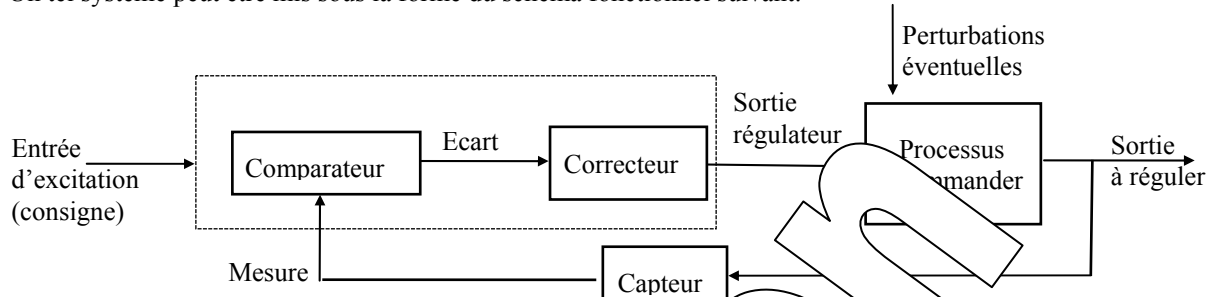




## 5. COEFFICIENT DE TRANSFERT EN BOUCLE FERMEE

### 5.1. Rappel sur la structure d'un système asservi

Un système asservi est un système présentant une boucle de rétro-action négative de la sortie sur l'entrée. Un tel système peut être mis sous la forme du schéma fonctionnel suivant:



### 5.2. Schéma bloc et coefficient de transfert statique

**Définitions:**

On appelle "régime statique" d'un système, le fonctionnement où toutes les grandeurs sont constantes.

On appelle "coefficient de transfert statique" le rapport entre la grandeur de sortie et la grandeur de consigne, les deux grandeurs étant constantes, lui-même constant pour différentes valeurs des constantes.

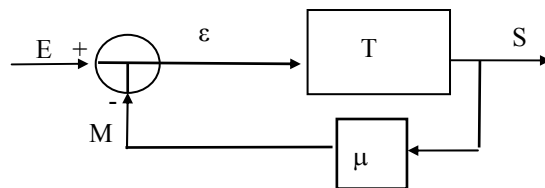
On note :

- E l'Entrée d'excitation (consigne)
- M la Mesure
- Sr la Sortie du régulateur
- S la Sortie à réguler
- $\epsilon = (consigne - mesure)$

avec :  $\mu = \frac{M}{S}$  le coefficient de transfert du capteur

T le coefficient de transfert statique de la chaîne directe

On en déduit le schéma bloc suivant:



Le système est donc une copie fidèle de la grandeur de sortie. Connaissant la mesure et connaissant le coefficient  $\mu$  près la grandeur de sortie.

On définit le coefficient de transfert statique en boucle fermée comme étant:

$$S = T \cdot \epsilon = T \cdot (E - M)$$

avec :  $M = \mu \cdot S$

$$S \cdot [1 + \mu \cdot T] = T \cdot E$$

soit en définitive :

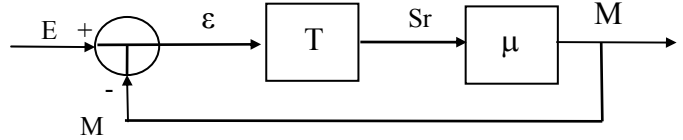
$$F = \frac{S}{E}$$

$$F = \frac{S}{E} = \frac{T}{1 + \mu \cdot T}$$

## Systeme à retour unitaire

En général le capteur donne une image fidèle de la grandeur de sortie.  
 Connaître la mesure, c'est connaître, au coefficient  $\mu$  près, la grandeur de sortie.

Le schéma bloc peut alors se mettre sous la forme ci-contre:



Un tel système est dit:  
 'à retour unitaire'

Dans ce cas on définit le coefficient de transfert statique de la boucle ouverte :

$$O = \frac{M}{\varepsilon} = T$$

$$M = O \cdot \varepsilon = O \cdot (E - M)$$

$$M \cdot [1 + O] = O \cdot E \quad \text{soit en définitive :}$$

$$O = \frac{O}{1 + O} = \frac{\mu \cdot T}{1 + \mu \cdot T}$$

Si on écrit O sous la forme :

$$O = \frac{A}{B}$$

le coefficient de transfert peut alors s'écrire

$$F = \frac{M}{E} = \frac{A}{A + B}$$

**Remarque :**

On obtient le même résultat si le coefficient de transfert unitaire  $\mu = 1 \rightarrow M = S$

### 5.3. Précision statique

**Définition:**

Un système (en boucle fermée) est précis statiquement si l'écart est nul en régime permanent.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon = 0$$

Si la grandeur de sortie est constante, cette limite est appelée erreur statique et notée "es".