P2015

Final

Durée : 2 heures
Tout document autorisé

Etude d'une enceinte, de Riccordi, thermo régulée pour culture de cellules de pancréas.

Documents à rendre en fin d'épreuve en plus des feuilles de copie :
Tableau de synthèse page 6-1
Le document réponses page 11.

Nota : la figure 15 page 9 permet de vérifier si vous en avez besoin vos résultats aux questions 3 et 8 sans passer par l'ordinateur.

Introduction :

Dans le cadre d'expérimentations pour soigner les malades du diabète, une équipe de chercheurs travaille sur une technique de greffe de cellules du pancréas.

Ces cellules sont obtenues à partir d'un pancréas issu d'un don d'organes.
Elles sont isolées du pancréas puis purifiées. Ces dernières, responsables de la sécrétion d'insuline, sont, après un maintien en culture (24 à 48 heures) greffées à un patient diabétique.
Afin d'isoler les cellules, on place des fragments de pancréas au sein d'une petite enceinte thermostatée (photo 1). On a préalablement injecté un mélange d'enzymes à l'intérieur du pancréas. Une fois placés dans l'enceinte, les fragments de pancréas vont « baigner » dans cette enzyme, ce qui va enclencher un phénomène de digestion. Tout au long de la manipulation, la solution va circuler, dans un circuit fermé constitué de l'enceinte, de tuyaux et d'une pompe. Pour faciliter l'action de l'enzyme, l'opération se fait sous agitation permanente.
La digestion est aussi facilitée par le mouvement de billes en acier au sein de l'enceinte. L'agitation dure 1h30 à 2h30 et doit permettre la libération et la récolte des cellules du pancréas.

Description de l'agitateur et du système de chauffage :

- Le système doit permettre l'agitation de l'enceinte par des mouvements continus alternatifs de bas en haut (100 mm) et par des mouvements de rotation alternée (+/- 45°) (ces derniers mouvements n'étant réalisés qu'un nombre réduit de fois durant la manipulation).
- L'agitateur est suffisamment compact pour pouvoir s'intégrer dans une hotte permettant sa stérilisation. Sa manipulation par le chercheur doit être facile.
- Le dispositif est constitué de matériaux et de composants respectant l'atmosphère de la salle blanche.
- L'enceinte est maintenue à une température constante de 37°C pendant la digestion. La température de 37°C est produite par un collier chauffant disposé autour de l'enceinte. Ce collier chauffe la solution qui circule dans le circuit fermé.
- L'enceinte thermostatée s'adapte sur le système d'agitation. L'enceinte est d'un encombrement minimum pour pouvoir s'adapter au sein de la hotte à flux laminaire, sachant que d'autres équipements tels que les rampes de robinets, la tuyauterie, la pompe péristaltique, le système de chauffage doivent également être présents à l'intérieur de la hotte. Cette hotte permet de réaliser la stérilisation de tous les appareillages.

Le système est composé de deux chaînes cinématiques indépendantes (cf. plan de l'agitateur A3) :
- chaîne n°1 (principale) constituée d'un moteur électrique brushless $\mathbf{M_1}$, d'un excentrique **1**, d'une bielle **2** et du bras **3** sur lequel est montée la seconde chaîne cinématique ;
- chaîne n°2 (secondaire) constituée d'un moto réducteur électrique $\mathbf{M_2}$ solidaire du bras 3, d'un excentrique, d'une bielle et de l'ensemble {pince, enceinte}.

A qui le produit rend-il service ?
aux chercheurs responsables de l'isolement de cellules pancréatiques et à plus long terme aux malades du diabète.

Sur quoi (sur qui) le produit agit-il ?
Les morceaux de pancréas

Dispositif d'agitation, d'extraction et de chauffage

Quel est ce besoin, A quoi cela sert-il ?
Dispositif peu encombrant agitant mécaniquement des fragments de pancréas à température constante afin de diminuer la pénibilité de la manipulation habituellement manuelle.

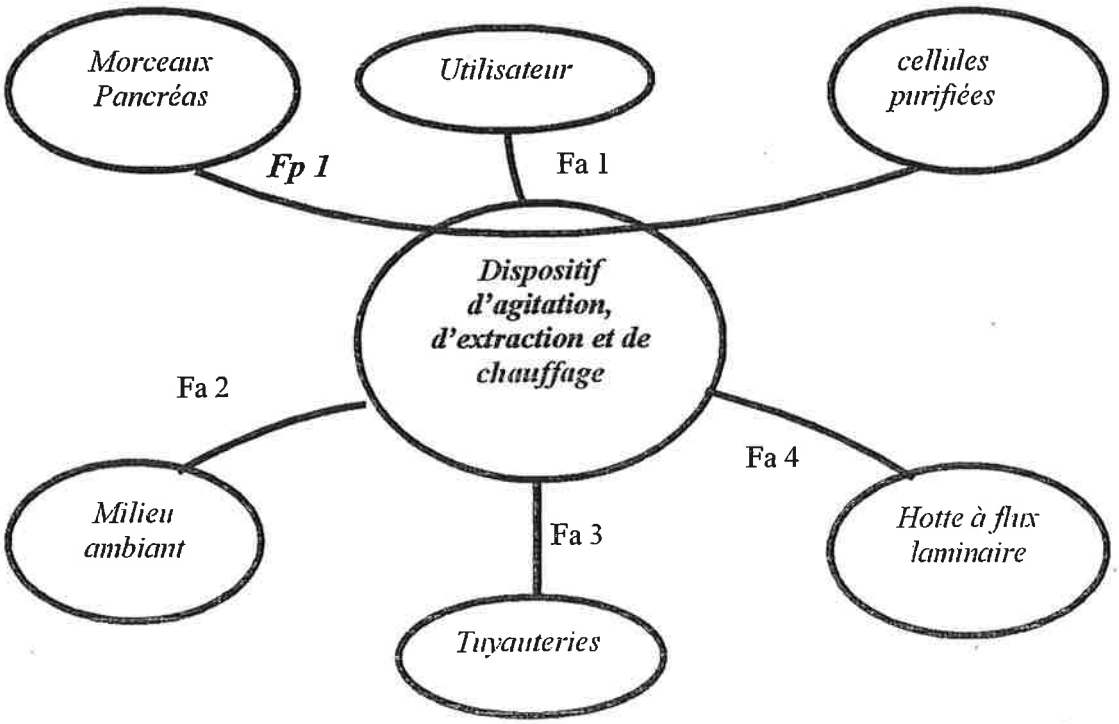


Diagramme partiel des interacteurs

ÉTUDE DE LA RÉGULATION EN TEMPÉRATURE DE L'ENCEINTE

La température de la solution est modifiée en suivant un protocole établi afin d'optimiser l'extraction.

- Élévation de la température de 15 °C à 37 °C.
- Maintien de la Chambre à 37 °C pendant 20-30 min.
- Début des manipulations à 37 °C pendant 10 min environ.
- Abaissement de la température à 20 °C.
- Fin des manipulations à 20 °C pendant 1h30.

Les contraintes de fonctionnement sont les suivantes :
- Montée en température rapide : 3 minutes maximum
- Ne doit en aucun cas dépasser 37.5°C (sinon cuisson des îlots)
- Précision de température +/-0.5°C

La maîtrise de la température joue un rôle crucial. L'objectif de notre étude est de réduire les temps de réaction et d'augmenter la précision en température du système de chauffage.
Nous utilisons, pour chauffer la solution circulant dans la chambre, un collier chauffant situé sur le pourtour de la chambre, alimenté en tension par une unité comprenant un correcteur et un amplificateur.

Cette unité élabore une tension, dépendant de la tension de consigne fournie par un appareillage auxiliaire U_{tc} (non étudié dans cette étude) et de la tension U_t provenant d'un capteur de température situé dans la chambre (figure 13).

U_{tc} : tension de consigne,
U_t : tension à l'image de la température (capteur de température mesurant la température dans la chambre),
U_a : tension d'alimentation du collier chauffant,
q_c : énergie calorifique fournie par le collier chauffant,
q_p : énergie calorifique perdue ou reçue par la chambre (en dehors du collier chauffant), perte par convection, par circulation de l'enzyme.

Travail à effectuer :

Identification du système

On ouvre la boucle de régulation en ne gardant que l'ampli, le collier chauffant, la chambre et le capteur de température (figure 14).

Le système est stabilisé à 17°C avec une tension U_c=0V. Le capteur de température est calibré pour fournir une tension de 0V à cette température.

On applique brusquement une tension de 10V à l'entrée de l'amplificateur. On relève à l'aide du capteur de température l'augmentation de température (valeur de tension en sortie du capteur de température U_t).

Question 1 : *A l'aide du tracé expérimental du document réponse « Réponse indicielle et Zoom » qui correspond à l'augmentation de tension U_t en sortie du capteur de température, identifier la fonction de transfert du système en Boucle ouverte défini par le rapport :*

$$FTBO = \frac{U_t}{U_c}$$

on pourra utiliser la forme générale suivante pour l'identification :

$$\frac{U_t}{U_c} = \frac{G}{(1+\tau_1 p).(1+\tau_2 p)}$$

Expliquer votre démarche et <u>*réaliser les tracés nécessaires sur le document réponse*</u> *« Réponse indicielle et Zoom »*(P11)-

<u>Remarque</u> si $\tau 1 << \tau 2$ on peut approximer $\tau 1$ comme l'intersection de la tangente au point d'inflexion de la courbe avec l'axe des abscisses. $\tau 1 + \tau 2$ est obtenu par l'intersection de cette tangente avec l'asymptote à l'infini.

Analyse des performances

On réalise maintenant le bouclage du système avec un correcteur de fonction de transfert C=1.
On considère maintenant le système régulé avec pour entrée U_{tc} tension de consigne et pour sortie U_t, tension image de la température. La boucle de retour est alors unitaire. Le capteur de température se trouve dans la chaîne directe.

Question 2 : *Tracer le schéma bloc de la régulation afin d'avoir un retour unitaire, une entrée U_{tc} et la sortie U_t* (sur feuille de copie).

Remarque : pour toutes les questions qui suivent, vous pouvez utiliser Matlab.

Quelques soient vos résultats concernant l'identification de la FTBO (sans correcteur) prendre :

$$\frac{U_t}{U_c} = \frac{0,5}{(1+5p)(1+100p)}$$

Question 3 : Déterminer le temps de réponses $tr_{5\%}$ du système non corrigé ainsi que le dépassement D%. Compléter le tableau page 6-1.

Question 4 : Déterminer les erreurs indicielle et de trainage, notées respectivement ε_p et ε_{tr}. Compléter le tableau page 6-1.

Question 5 : déterminer les marges de gain et de phase, notées respectivement Mg et Mφ. Compléter le tableau page 6-1.

Question 6 : Quelles remarques pouvez-vous faire concernant :
- *Mg et Mφ*
- *Puis les critères du cahier des charges.*

Amélioration des performances

On désire améliorer les performances de la commande afin de réduire les temps de réaction du système en utilisant un correcteur C(p) (voir figure 13)

Question 7 : Pour C(p) = K, ***correcteur à action proportionnelle.***
Le critère du cahier des charges le plus important est bien évidemment le dépassement D%. Effectivement, il ne faut surtout pas dépasser les 37.5° lors d'une consigne en température de 37°sous peine de détruire les cellules.
Calculer le D% (si vous ne l'avez pas encore fait !!) autorisé par le CdC.
Calculer alors la valeur de ξ permettant d'assurer ce critère(en utilisant pour cela les annexes A3.3, du polycopié, reproduites en annexe).
Après avoir écrit la FTBF, calculer la valeur numérique de K.
Avec cette valeur de K, déterminer la marge de phase et la pulsation de coupure à 0 décibels. Compléter le tableau page 6-1.

Question 8 : En déduire les éléments de performance : $tr_{5\%}$, les erreurs indicielle et de traînage. Faire l'application numérique. Compléter le tableau page 6-1.Conclure par rapport au CdC.

Question 9 : Déterminer la tension en entrée de l'amplificateur Uc, si on envoie un échelon de tension de consigne U_{tc} de 5 V (le système étant en position nominale, T° de 17 °C). Vous déterminez uniquement la tension en début de l'échelon ; Le gain de l'amplificateur étant de 10, que pensez-vous alors de la tension d'alimentation Ua du collier chauffant ?

Question 10 : Pour $C(p) = \frac{K}{T_i p}(1 + T_i p)$, ***correcteur à actions proportionnelle et intégrale.***
En utilisant la démarche de réglage proposée sur l'annexe, déterminer les valeurs de K et T_i.

Question 11 : En déduire les erreurs indicielle et de traînage. Puis afin de déterminer la marge de phase, la nouvelle FTBO du système corrigé vous est donnée ci-dessous (quelque soient vos résultats précédents):

$$T_{[p]} = 0{,}092 * (\frac{1+152p}{p}) * \frac{0{,}5}{(1+5p)(1+100p)}$$

En déduire la marge de phase et ω_{co} ainsi que la marge de gain et $\omega_{-\pi}$. Compléter le tableau page 6-1

*Question 12 : **Synthèse** :*
Commenter les résultats obtenus par rapport au cahier des charges

Bonnes vacances !

Tableau à compléter et à rendre

SYNTHESE	***$tr_{5\%}$ (en s)***	***Erreur de position***	***Erreur de traînage***	***Marge de phase (en °)***	***ω_{co} (rd/s)***	***Marge de gain (dB)***	***$\omega_{-\pi}$ (rd/s)***	***Dépassement D%***
Système non corrigé								
Système avec correction proportionnelle								
Système avec correction proportionnelle et intégrale	**36,5**							

NOM :

ALBUM PHOTOS

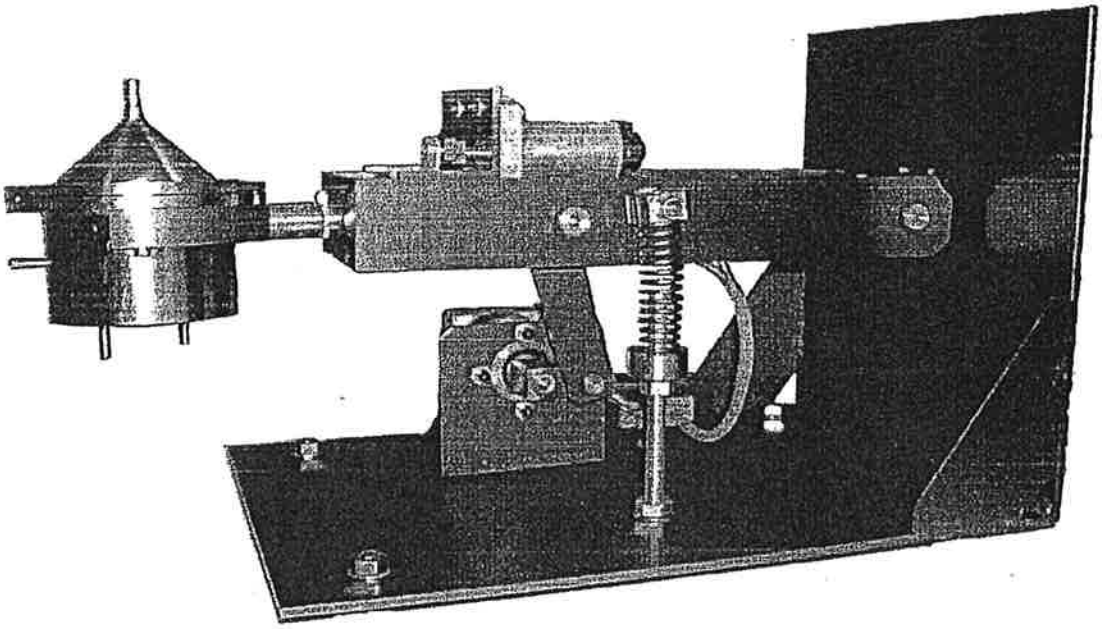


Photo 1 : l'agitateur avec la chambre de Riccordi

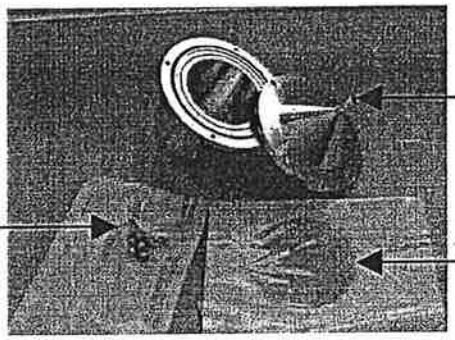


Photo 2 : Chambre de Riccordi et ses accessoires

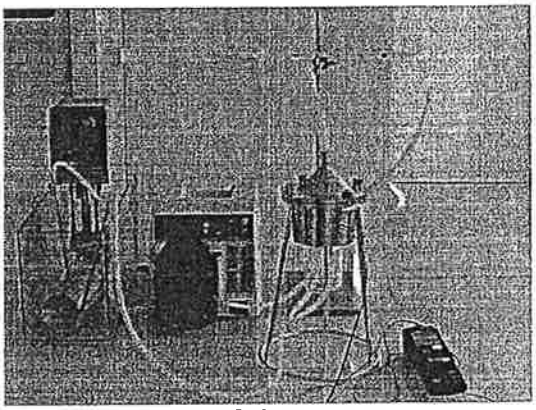
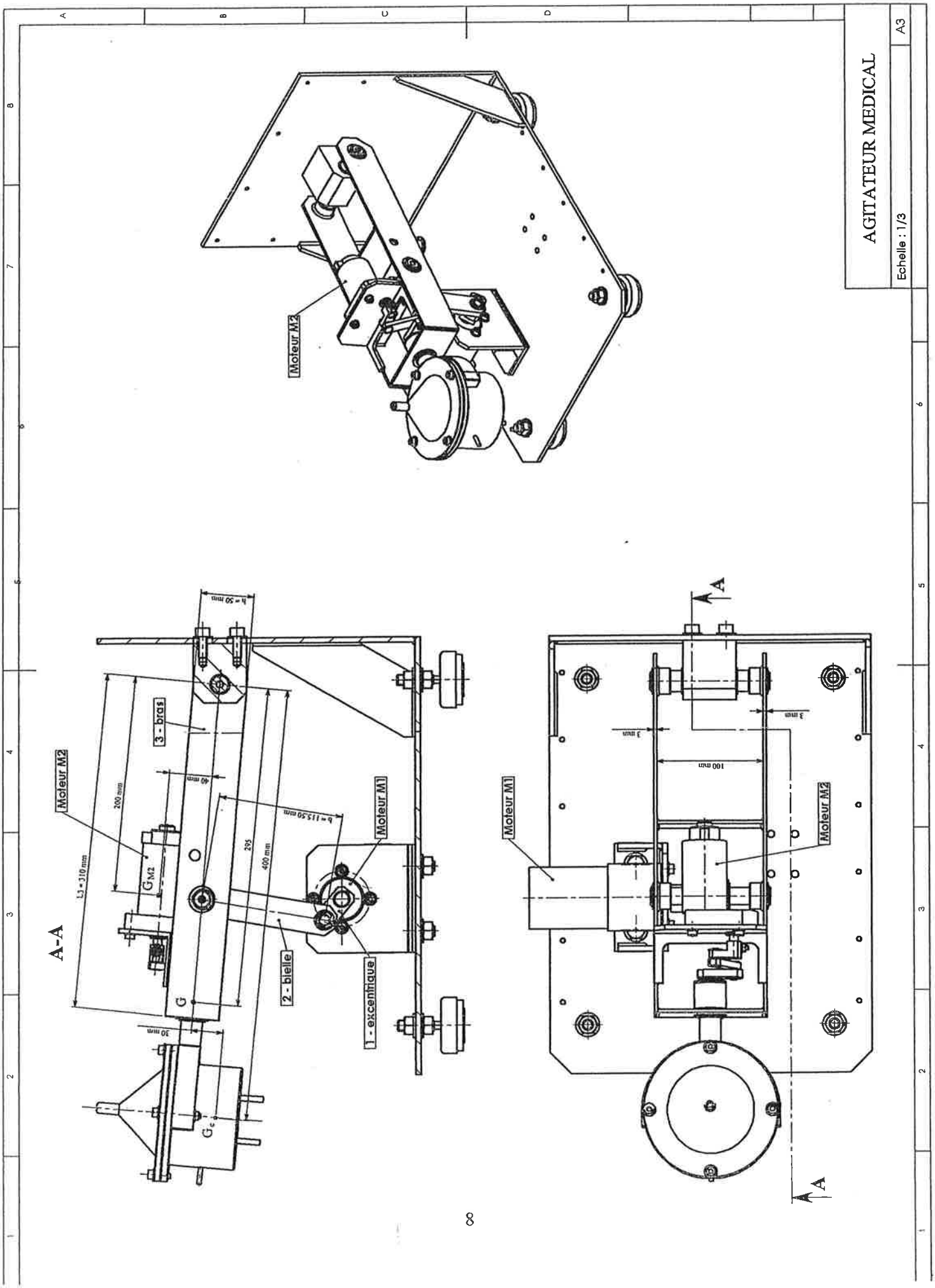


Photo 3 : Installation de la tuyauterie


AGITATEUR MEDICAL
Echelle : 1/3
A3
Moteur M2
A-A
Moteur M2
3 - bras
Moteur M1
2 - bielle
1 - excentrique
Moteur M1
Moteur M2
A
A

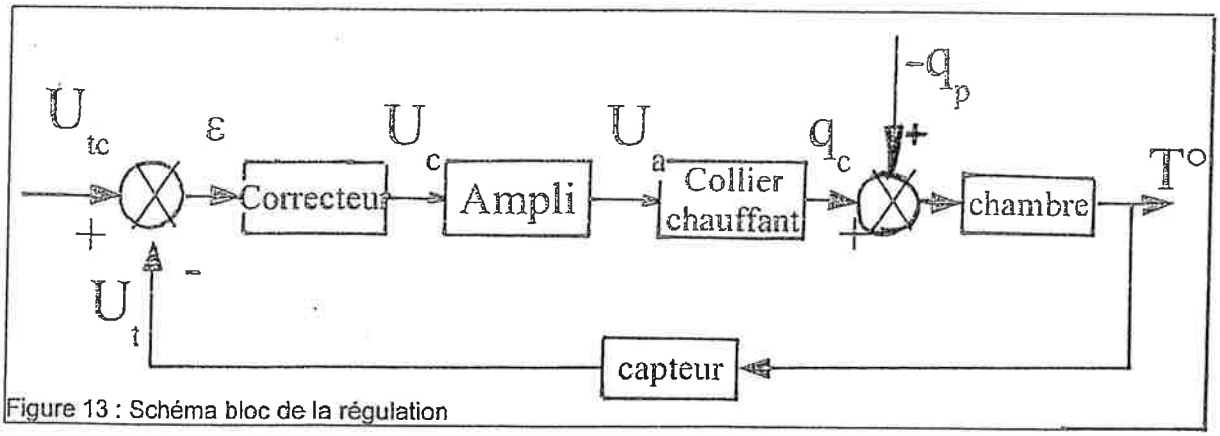


Figure 13 : Schéma bloc de la régulation

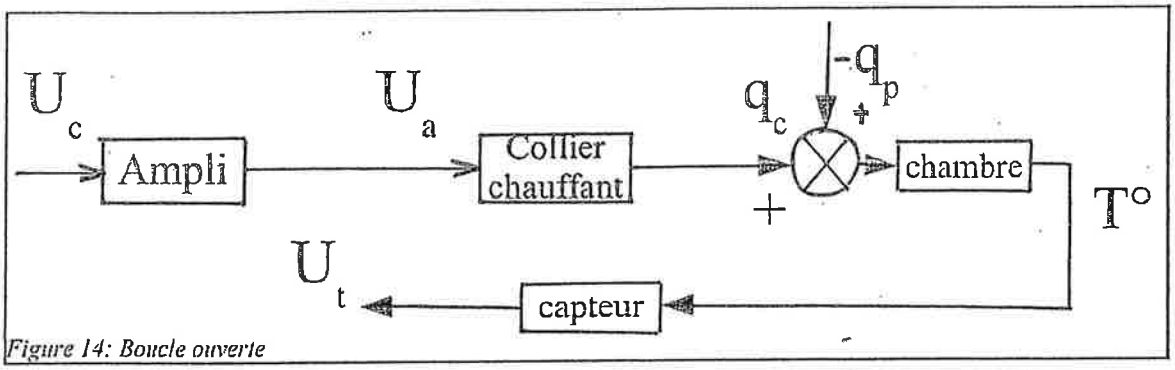


Figure 14: Boucle ouverte

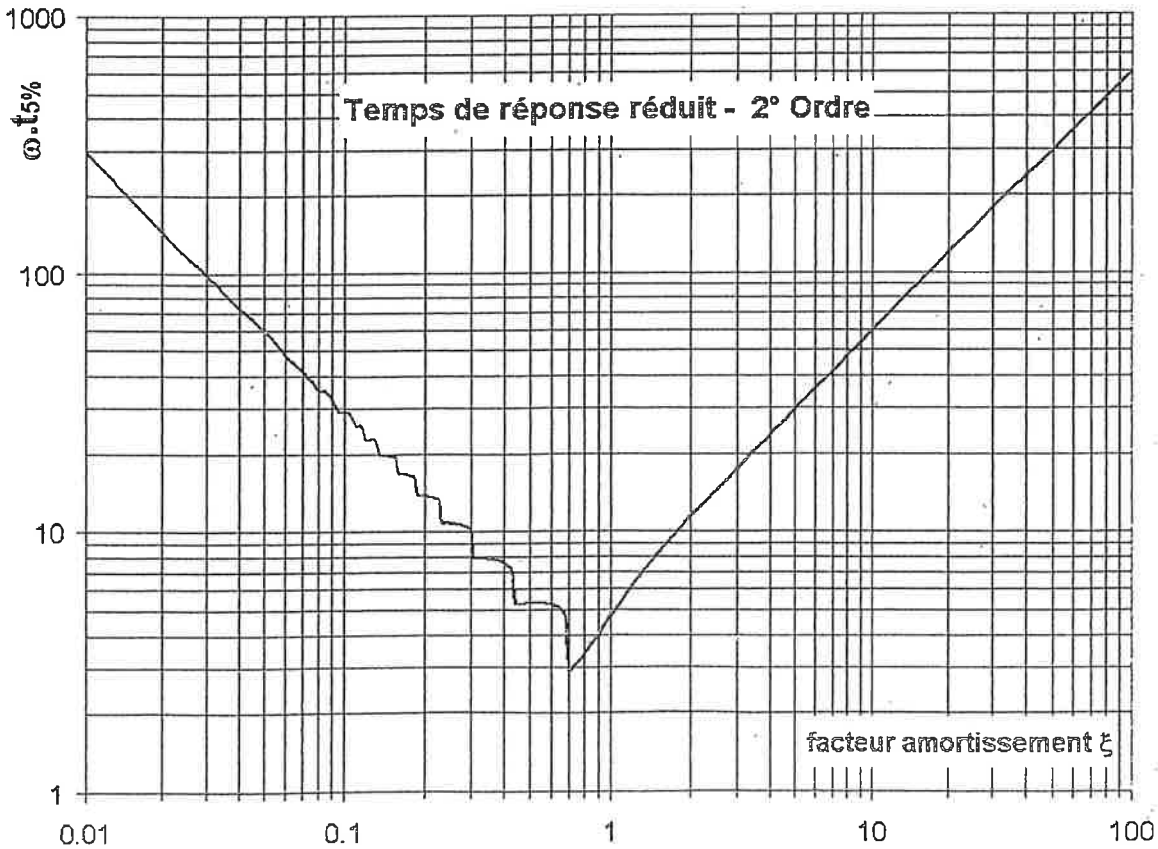


Figure 15 : Temps de réponse réduit pour second ordre

NOM :

CORRECTION PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE (PI)

Correcteur (régulateur) PI

On appelle correcteur proportionnel et intégral (PI) un correcteur de la forme:

$$C(s) = k\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

où k et T_i sont positifs. L'allure du diagramme de Bode d'un tel correcteur est donné sur la figure

Remarque Si l'action intégrale n'est pas pure, le correcteur PI aura la fonction de transfert :

$$C(s) = k\left(1 + \frac{1}{T_i s + a}\right) \cong \frac{k}{a}\,\frac{1 + a\,Ts}{1 + Ts}$$

où $T = T_i / a$ et $a << 1$.

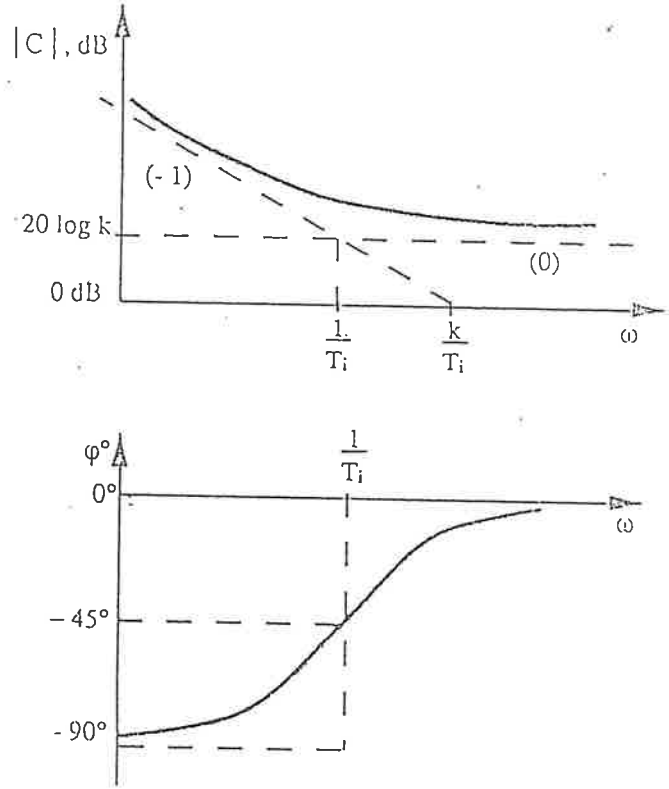
Synthèse des correcteurs PI

L'examen du diagramme de Bode de la figure montre que ces correcteurs ont pour effet d'augmenter l'amplitude aux faibles pulsations, donc d'améliorer la précision statique, sans modifier le comportement aux pulsations élevées. Leur synthèse fréquentielle * est relativement simple et consiste à :

1 - tracer en coordonnées de Bode les courbes de gain et de phase de k G(jω) où k étant réglé en tenant compte des besoins de stabilité et de précision dynamique

2 - pour que l'introduction du correcteur n'affecte ni la marge de phase ni la bande passante, la constante $1/T_i$ doit être suffisamment petite par rapport à ω_{co}, la pulsation de coupure à 0 dB de k G(jω).

On prendra $\frac{1}{T_i} = \frac{\omega_{co}}{10}$



Allure du diagramme de Bode d'un correcteur PI

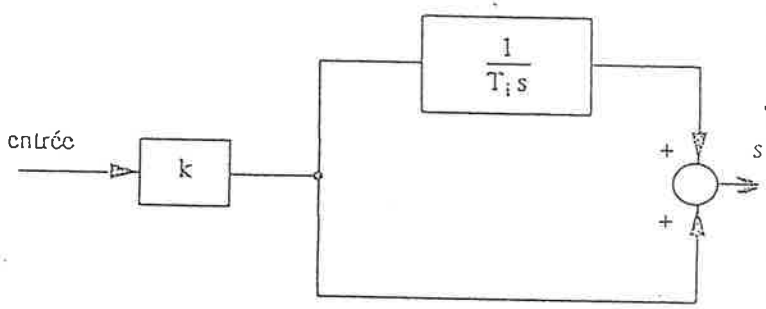
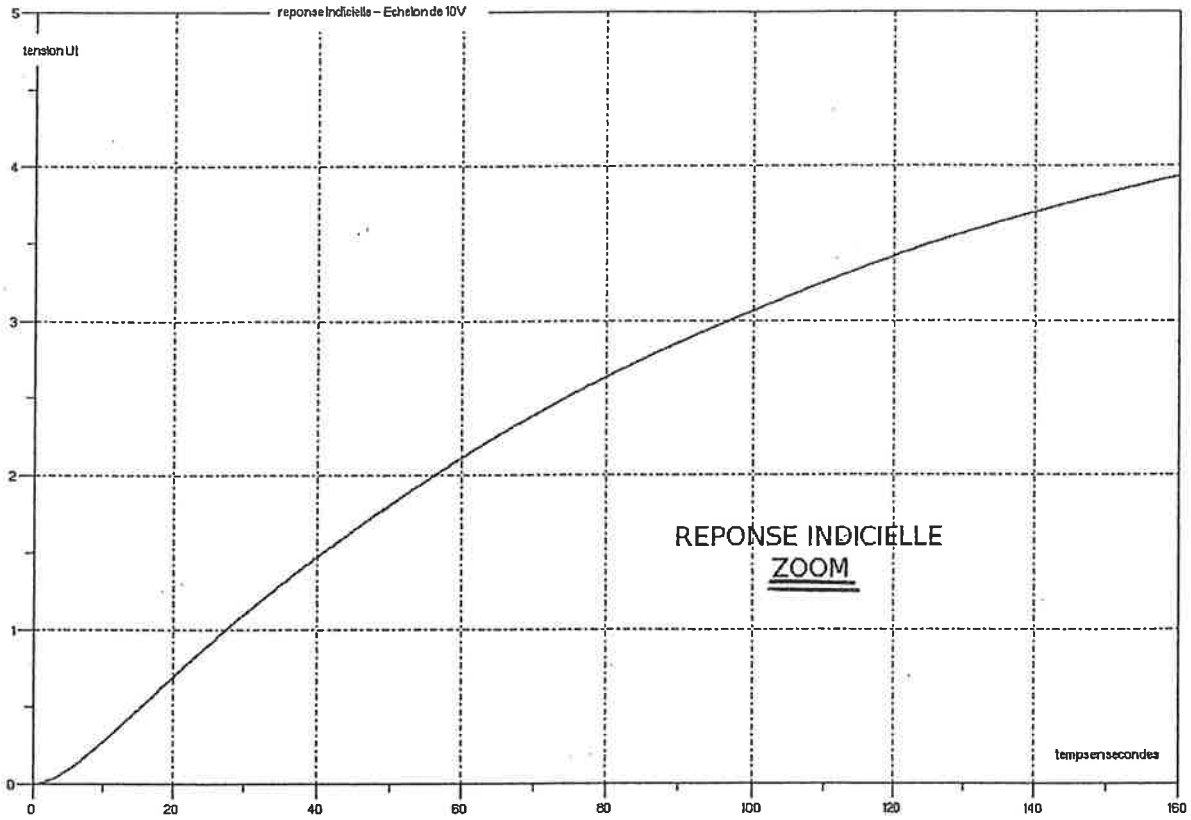
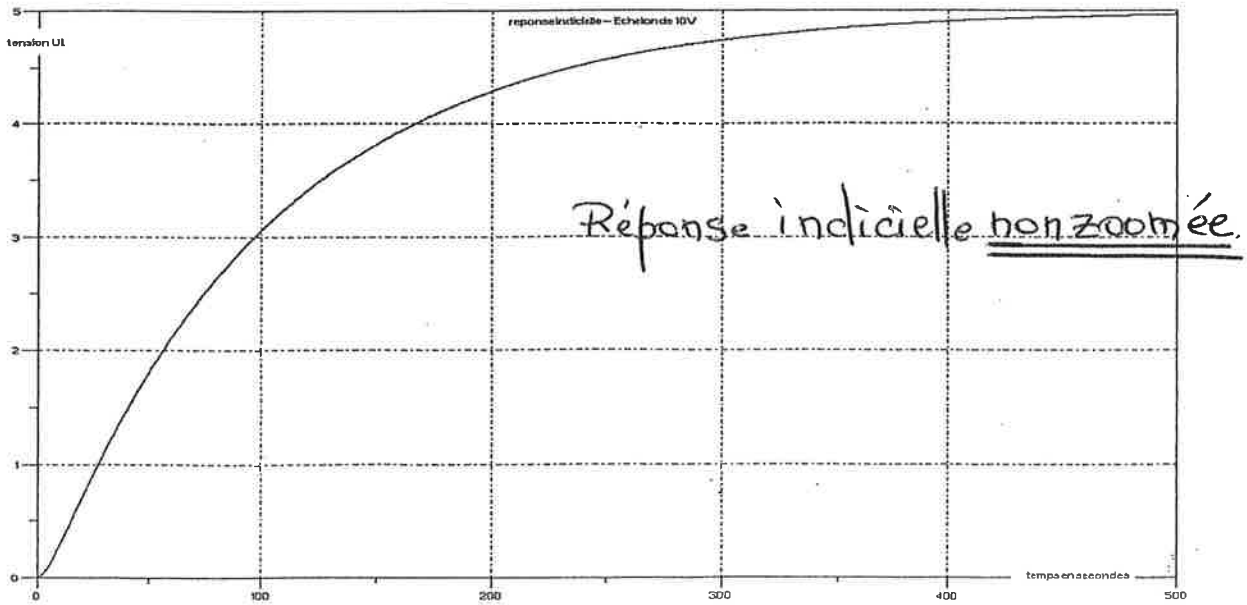


Schéma bloc d'un correcteur PI

DOCUMENT REPONSE

Réponse indicielle et Zoom



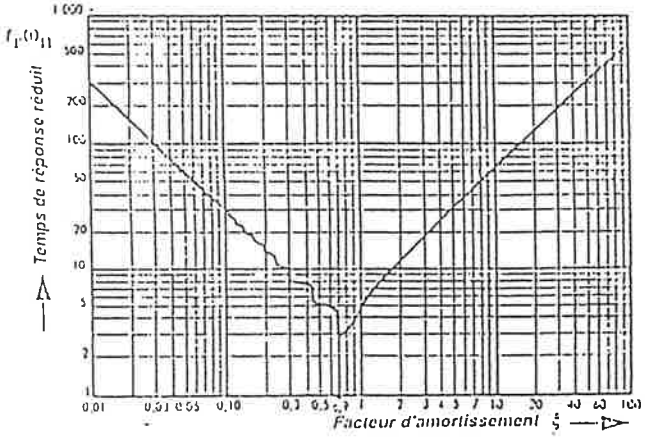


$\tau_1 =$ _____ $\tau_2 =$ _____ $G =$ _____ *NOM :*

A3.3. LE TABLEAU DES VALEURS NUMÉRIQUES

ξ		$t_r\omega_n$ (5%)		$D\%$	$\frac{\omega_R}{\omega_n}$	$\frac{\omega_c}{\omega_n}$	$\frac{\omega_c}{\omega_R}$	$Q\,dB$	ξ
0,1		30		73	0,99	1,54	1,56	14	0,1
0,15		20		62	0,98	1,53	1,56	10,5	0,15
0,2		14		53	0,96	1,51	1,57	8,1	0,2
0,25		11		44	0,94	1,48	1,59	6,3	0,25
0,3		10,1		37	0,91	1,45	1,61	4,8	0,3
0,35		7,9		31	0,87	1,42	1,63	3,6	0,35
0,4		7,7		25	0,82	1,37	1,67	2,7	0,4
0,45		5,4		21	0,77	1,33	1,72	1,9	0,45
0,5		5,3		16	0,71	1,27	1,80	1,2	0,5
0,55		5,3		12,6	0,63	1,21	1,93	0,7	0,55
0,6		5,2		9,5	0,53	1,15	2,17	0,3	0,6
0,65		5,0		6,8	0,39	1,08	2,74	0,1	0,65
0,7		3		4,6	0,14	1,01	7,14	0	0,7
0,75		3,1		2,84	—	0,94	—	—	0,75
0,80		3,4		1,52	—	0,87	—	—	0,80
0,85		3,7		0,63	—	0,81	—	—	0,85
0,90		4		0,15	—	0,75	—	—	0,90
0,95		4,1		0,01	—	0,69	—	—	0,95

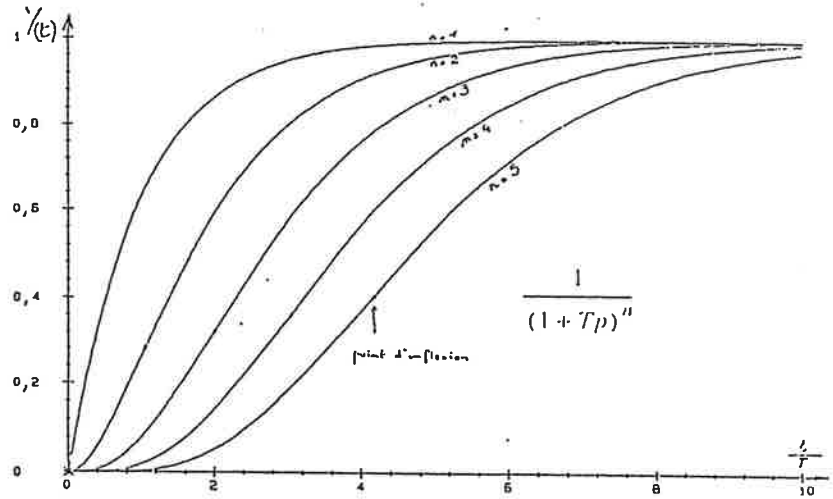
A3.4. $t_r\omega_n = f(\xi)$

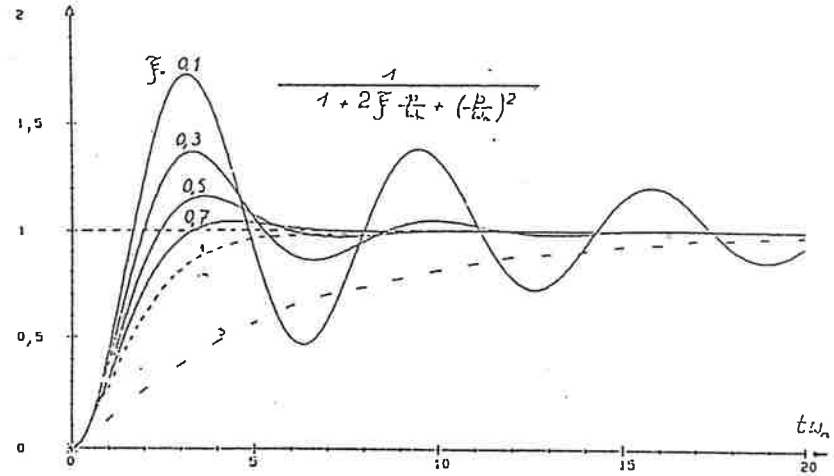


Noter (a) le minimum dans la zone $\xi = 0{,}7$ et (b) les discontinuités pour $\xi < 0{,}7$, conséquences de la définition du temps de réponse.

A3.5. RÉPONSES TEMPORELLES

Réponse indicielle $(U_o = 1)$



Réponse indicielle $(U_o = 1)$

système du 2nd ordre