



## 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 de l'enceinte. 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.

Nous allons dans la suite étudier le système d'agitation et de chauffage de l'enceinte thermostatée (photo 1).

### 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°).
- 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.

## 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  $U_{ic}$  (non étudié dans cette étude) et de la tension  $U_t$  provenant d'un capteur de température situé dans la chambre (figure 14).

$U_{tc}$  : 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.

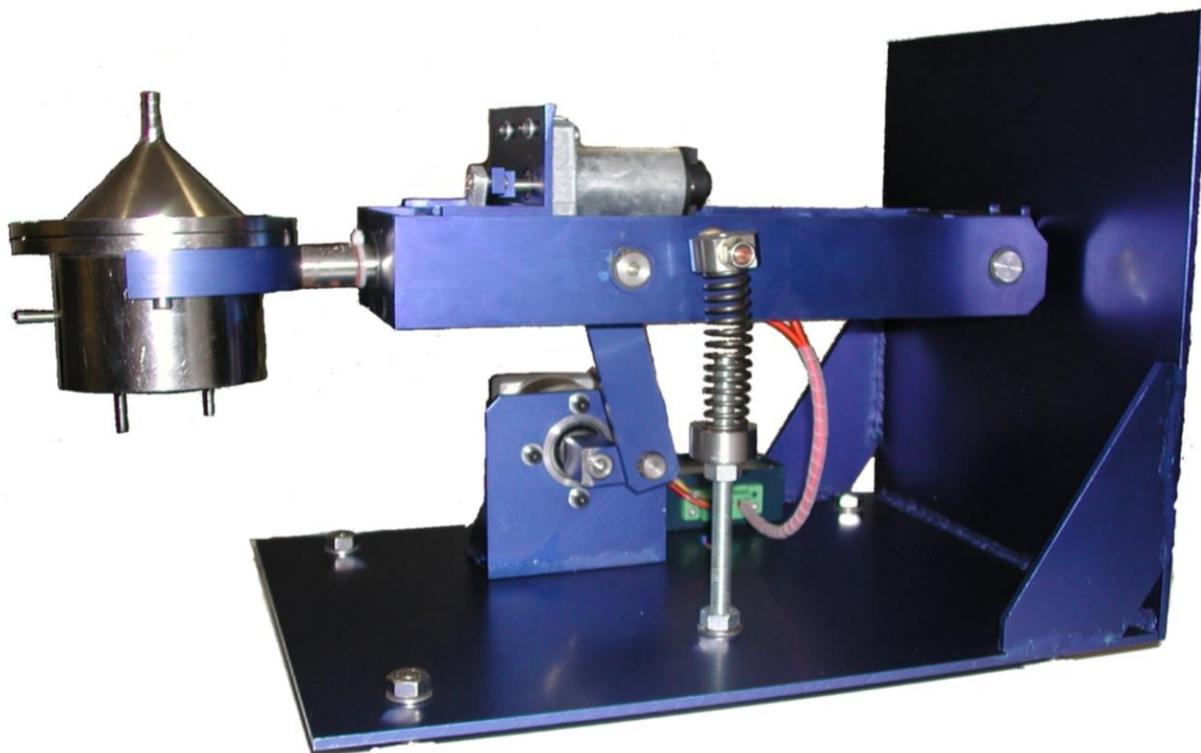


Photo 1 : l'agitateur

Identification du système

Un modèle de la boucle de régulation est donné figure 14. Il s'agit d'un schéma bloc comportant un correcteur, un ampli, le collier chauffant, la chambre et le capteur de température.

On considère que la fonction de transfert du correcteur est  $C = 1$  et que  $q_p = 0$ .

Le système est stabilisé à  $17^\circ\text{C}$  avec une tension  $U_c=0\text{V}$ . Le capteur de température est calibré pour fournir une tension de  $0\text{V}$  à cette température. On réalise un essai en boucle ouverte (entrée  $U_c$  ; sortie  $U_t$ ) :

On applique brusquement une tension de  $10\text{V}$  à l'entrée de l'amplificateur pour faire passer la température de  $17^\circ\text{C}$  à  $37^\circ\text{C}$ . On relève à l'aide du capteur de température l'augmentation de température (valeur de tension en sortie du capteur de température  $U_t$  : figure 16).

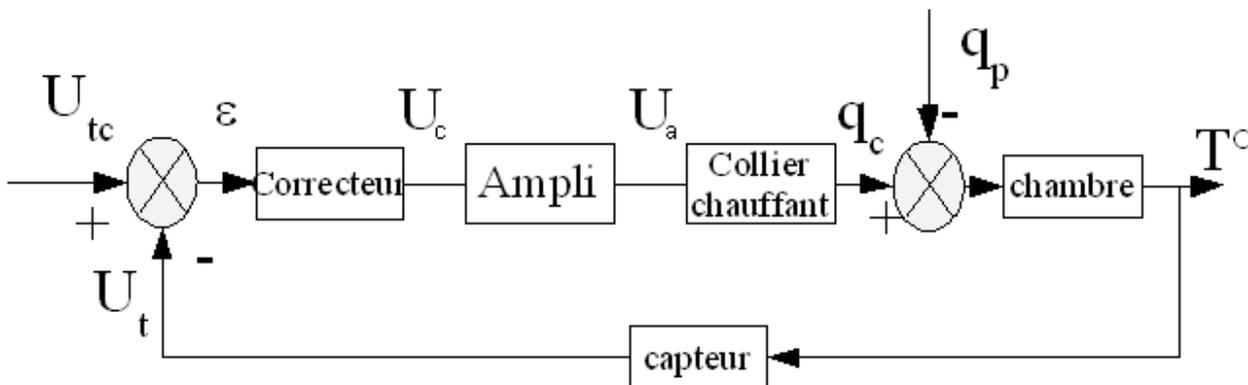


Figure 14: Boucle de régulation

**Question 18 :** A l'aide du tracé expérimental de la figure 16 qui correspond à l'augmentation de tension  $U_t$  en sortie du capteur de température, déterminer la forme générale de la fonction de transfert du système en Boucle ouverte défini par le rapport :

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

Pour cela vous montrerez que cette FTBO est une fonction de transfert du 2<sup>ème</sup> ordre, vous déterminerez la nature de ses pôles et la valeur de son gain.

### Analyse des performances

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 19 :** Tracer le schéma bloc de la régulation afin d'avoir un retour unitaire, une entrée  $U_{tc}$  et la sortie  $U_t$ .

**Question 20 :** Déterminer la valeur du gain du capteur de température. Déduire de ce résultat et de la contrainte de précision en température, la contrainte de précision en tension.

A partir d'une identification précise et en considérant la perturbation nulle, on trouve la FTBO (sans correcteur) de ce système égale à :

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

**Question 21 :** Calculer le temps de réponse à 5% du système régulé, en vous aidant de la figure 15 : « Temps de réponse réduit pour second ordre ». Réalisez l'application numérique. Conclure par rapport à la contrainte du cahier des charges.

**Question 22 :** Calculer l'écart pour une entrée en échelon (écart de position). Réalisez l'application numérique. Conclure par rapport à la contrainte du cahier des charges.

**Question 23 :** Tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en Boucle ouverte du système ; utiliser le document réponse (Tracé de Bode), sur lequel vous réaliserez le tracé du gain et du déphasage.

Préciser :

- les asymptotes,
- l'expression du module en décibels et du déphasage en fonction de la pulsation  $\omega$ ,
- les valeurs du gain en décibels et du déphasage pour  $\omega=0,01$   $\omega=0,1$  et  $\omega=1$ ,
- l'allure réelle des courbes de gain et de phase.

**Question 24 :** Que pensez vous des marges de gain et de phase?

### 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 (voir figure 14).

**Question 25 :** pour  $C(p) = K$ , correcteur action Proportionnelle.

Compte tenu de la contrainte de non dépassement, choisir la valeur optimale du coefficient d'amortissement puis déterminer la valeur du correcteur qui optimise les performances du système. Sur le document réponse, tracer le lieu de transfert de la FTBO du système corrigé dans Black en vous appuyant sur le tracé initial.

**Question 26 :** Déterminer les éléments de performances, temps de réponse à 5% et écart de position. Faire l'application numérique. Conclure par rapport aux contraintes du cahier des charges.

**Question 27 :** pour  $C(p) = \frac{K}{T_i p} (1 + T_i p)$  action Proportionnelle et Intégrale.

Ecrire l'expression de la nouvelle FTBO. Afin d'améliorer la rapidité du système, déterminer la valeur de  $T_i$  qui permet d'éliminer la plus grande constante de temps de la FTBO initiale. Puis déterminer la valeur de  $K$  qui optimise les performances du système toujours compte tenu des contraintes du cahier des charges. Sur le document réponse, dans Black, tracer le lieu de transfert de la FTBO du nouveau système corrigé.

**Question 28 :** Déterminer les éléments de performances, temps de réponse à 5% et écart de position. Faire l'application numérique. Conclure par rapport aux contraintes du cahier des charges.

**Question 29 :** Calculer la marge de phase du système corrigé. Vérifier ce résultat graphiquement.

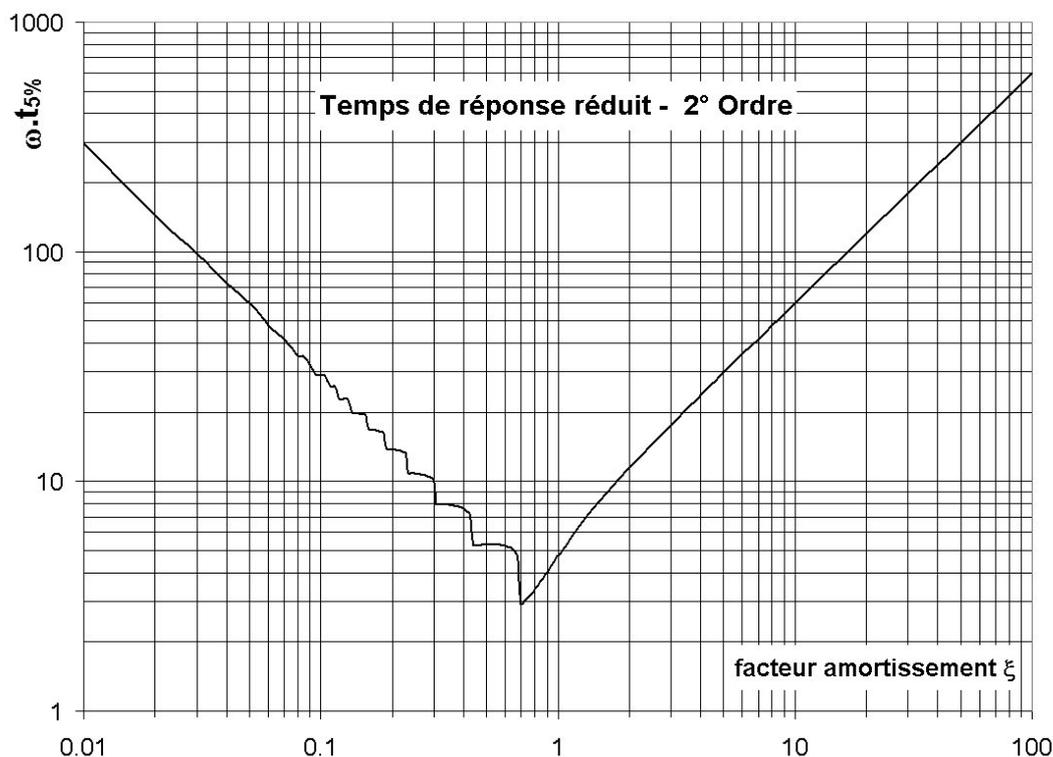
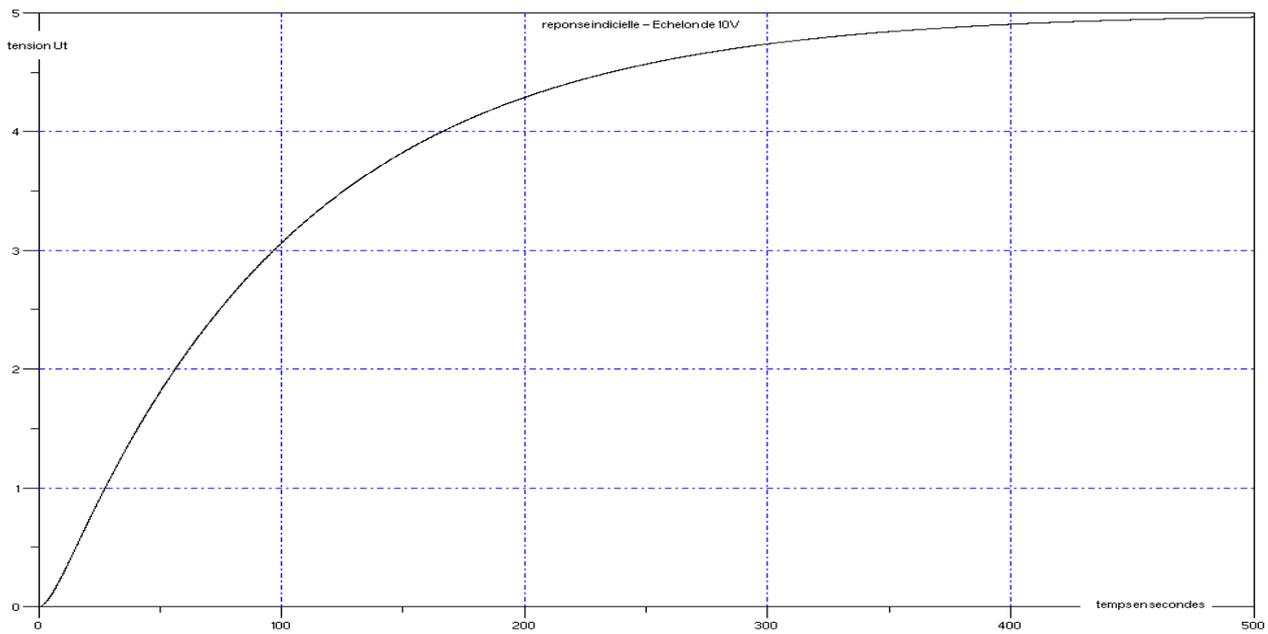
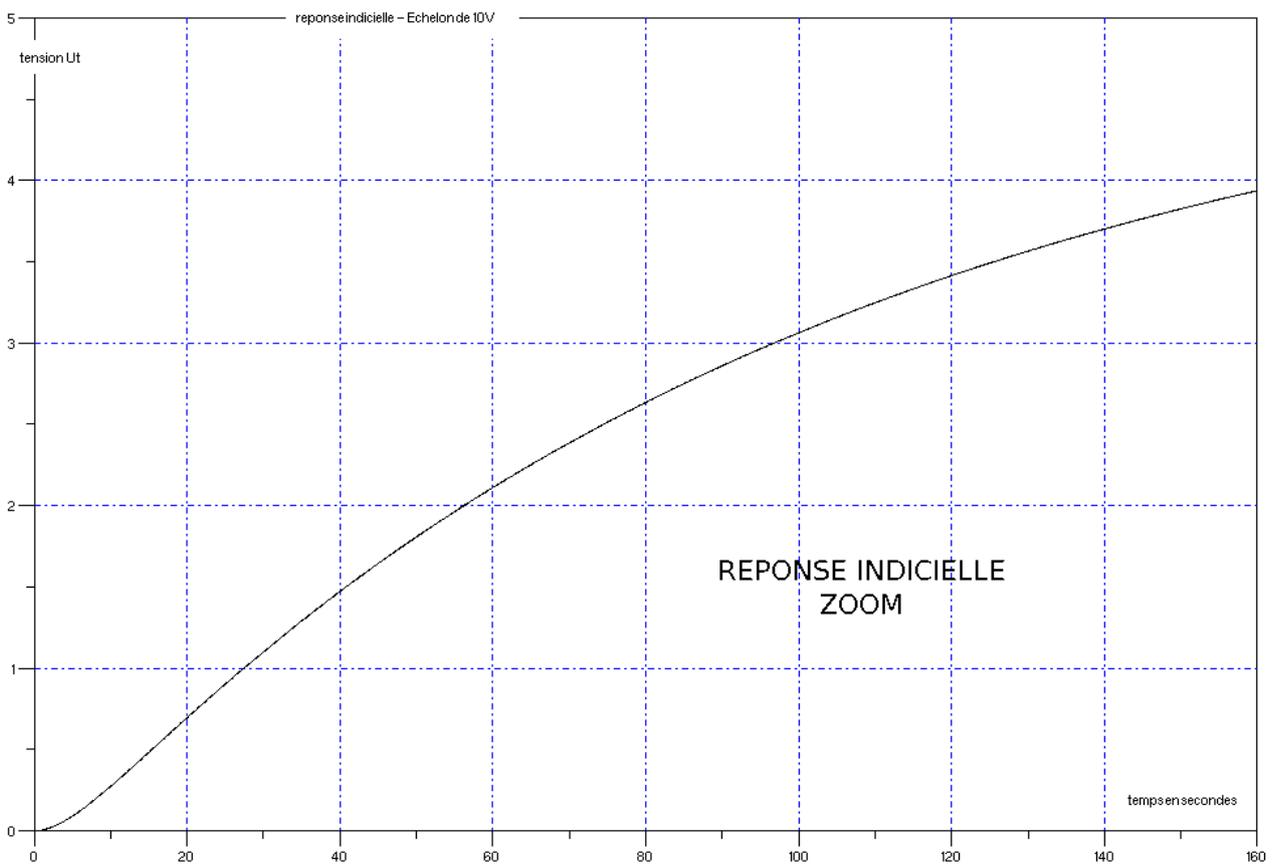
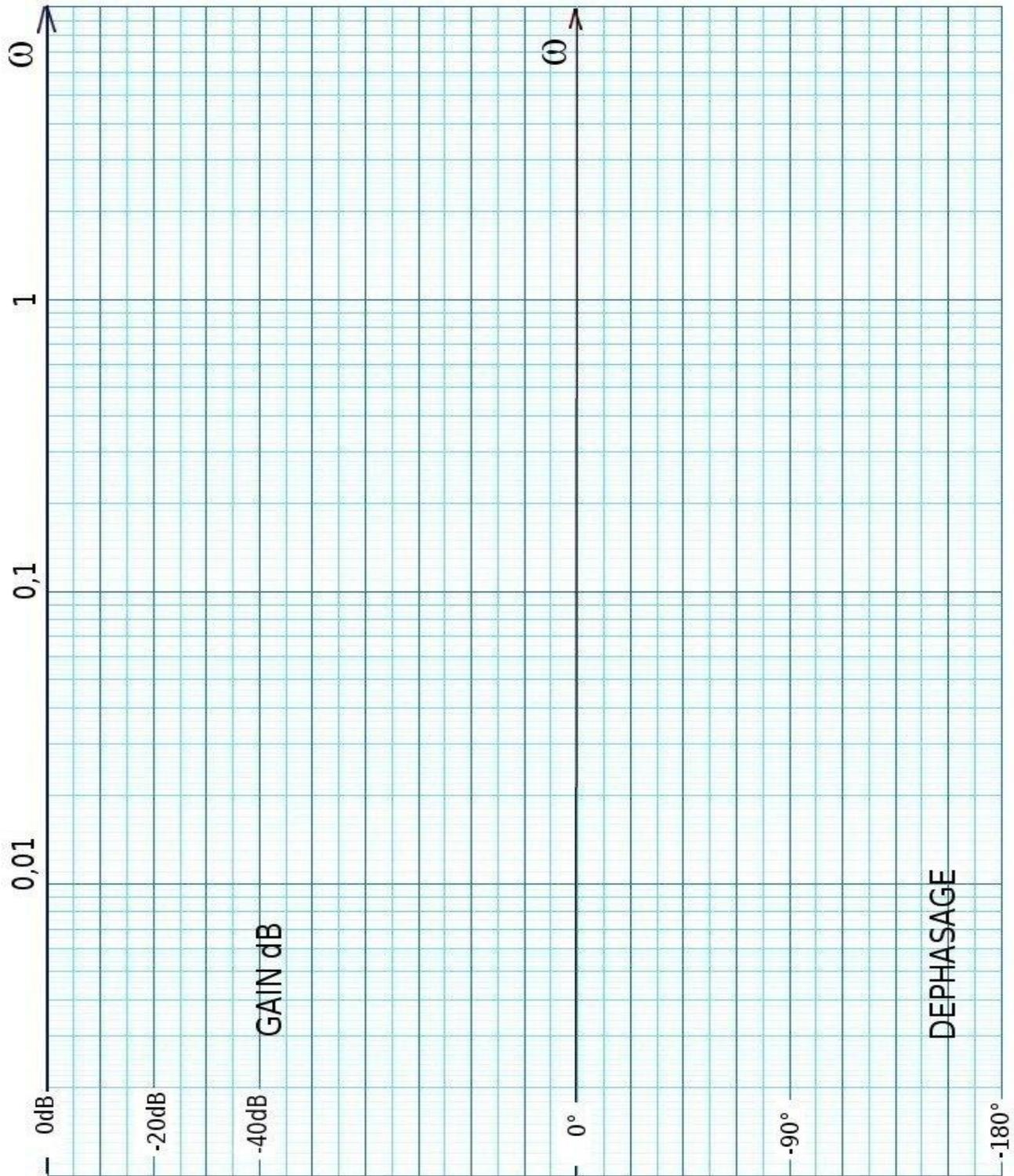


Fig 15 : temps réponse réduit

Figure 16: Réponse à un échelon de 10V



**Question 23 :** *Tracé de Bode*



Questions 25, 27 et 29 - Tracé de Black

