

# Agitateur mécanique (CCP 2006 Partiel).

## 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.

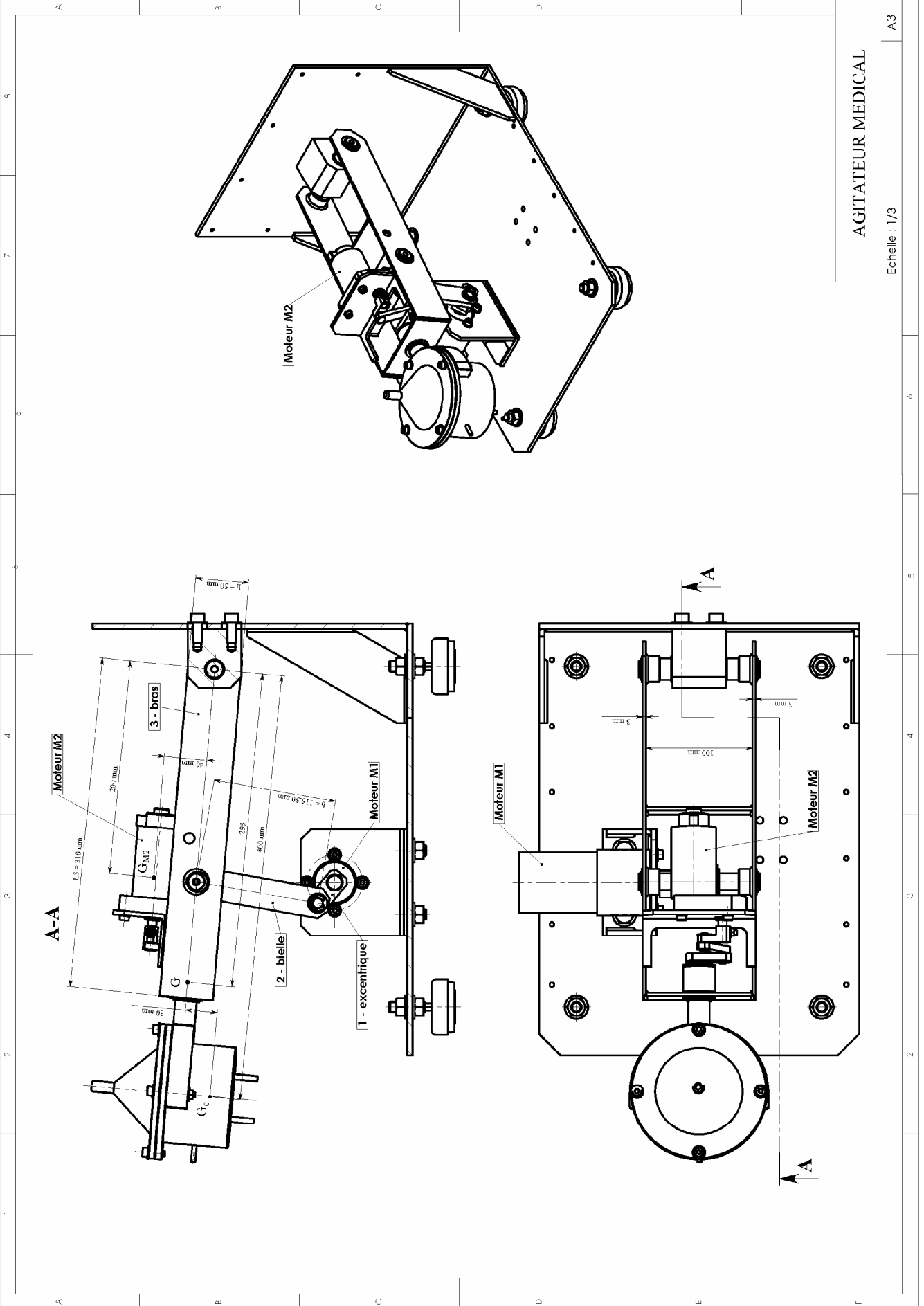
Afin d'isoler les cellules, on place des fragments de pancréas au sein d'une petite enceinte thermostatée (photo 1). On a préalablement injecté un mélange d'enzymes à l'intérieur du pancréas. Une fois placés dans l'enceinte, les fragments de pancréas vont «baigner» dans cette enzyme, ce qui va enclencher 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.

Nous allons dans la suite étudier le système d'agitation et de chauffage de l'enceinte thermostatée (photo 1 et plan A3).



*Photo 1 : l'agitateur avec la chambre de Riccordi*



AGITATEUR MEDICAL

Echelle : 1/3

A3

## Étude mécanique de l'agitateur.

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  $M_1$ , 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  $M_2$  solidaire du bras **3**, d'un excentrique, d'une bielle et de l'ensemble {pince, enceinte}.

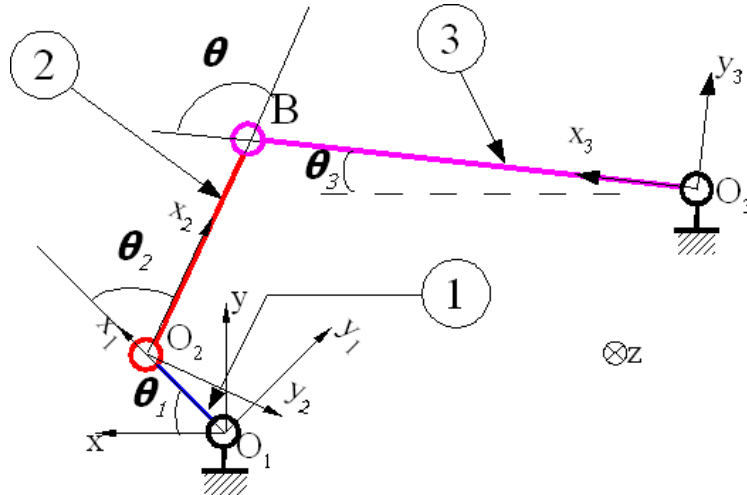


Figure 1: Modèle cinématique plan

### Modélisation :

On s'intéresse dans cette partie à la chaîne cinématique n°1. On modélise dans un premier temps chacune des liaisons la constituant par une liaison pivot (voir figure 1). On travaillera en 3D.

- Q1.1. Déterminer le degré d'hyperstatisme de cette chaîne ainsi modélisée.**
- Q1.2. Proposer un nouveau modèle pour rendre le système isostatique, justifier.**
- Q1.3. Calculer alors le degré de mobilité.**

### Cinématique analytique.

Données :  $\overrightarrow{O_1O_2} = e\vec{x}_1$  ;  $\overrightarrow{O_2B} = b\vec{x}_2$  ;  $\overrightarrow{O_3B} = L\vec{x}_3$  ;  $\overrightarrow{O_3O_1} = c\vec{x} - d\vec{y}$  ;

$$\theta_1 = (\vec{x}, \vec{x}_1) ; \theta_2 = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) ; \theta_3 = (\vec{x}, \vec{x}_3) ; \theta = (\vec{x}_3, \vec{x}_2) ;$$

la base directe  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$  est associée à l'excentrique **1** ;

la base directe  $(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z})$  est associée à la bielle **2** ;

la base directe  $(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z})$  est associée au bras **3** ;

**Q1.4. Déterminer, à partir du modèle cinématique plan donné figure 1, la loi d'entrée-sortie  $\frac{\dot{\theta}_3}{\dot{\theta}_1}$  de la première chaîne cinématique (rapport des vitesses angulaires).**

Pour cela :

- écrire la fermeture géométrique,
- écrire la fermeture cinématique au point  $O_1$ .

c) trouver la loi d'entrée sortie.

Q1.5. Retrouver alors la relation  $\frac{\dot{\theta}_3}{\dot{\theta}_1} = \frac{e}{L} \cdot \frac{(L-c) \cdot \sin \theta_1 - d \cdot \cos \theta_1}{e \cdot \sin \theta_1 - d}$ . Le domaine de

variation de l'angle  $\theta_3$  étant de  $[-7;7]$  degrés, on peut faire l'approximation suivante :  $\cos \theta_3 \approx 1$  et  $\sin \theta_3 \approx 0$ .

## Dynamique

### Hypothèses :

La chaîne n°2 est à l'arrêt dans la position du plan document au format A3, l'enceinte est pleine et considérée homogène ;

L'ensemble mobile {1} est défini par : {1} = {Bras 3, moteur M2, pince, enceinte} ;

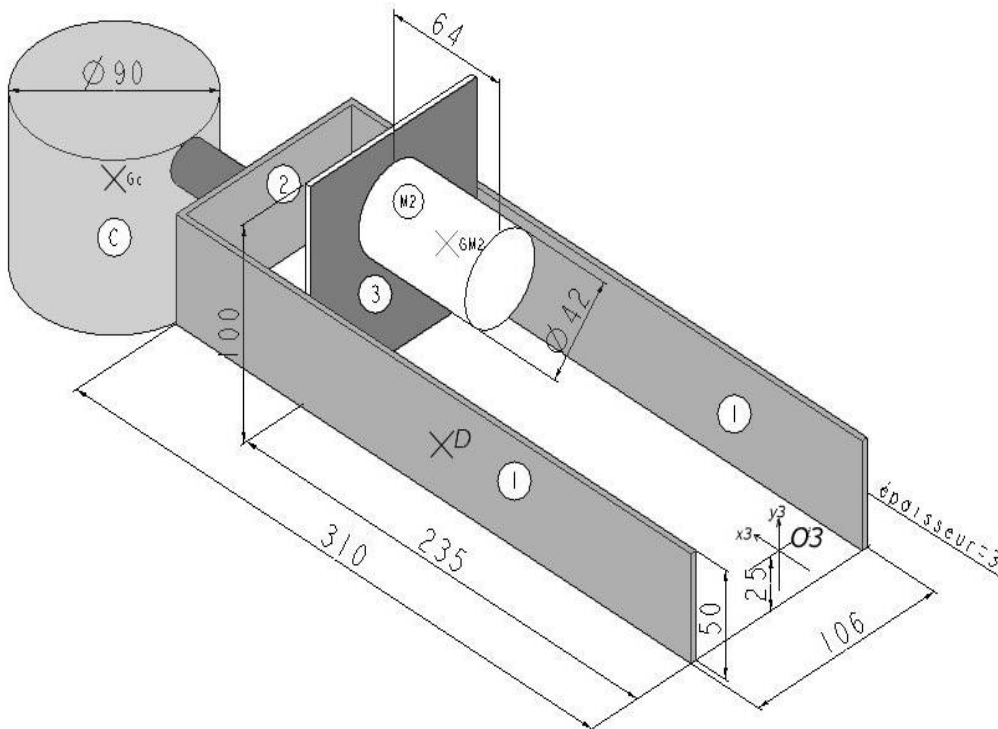


Figure 3: Modèle simplifié de l'ensemble {1} coté en mm

On considère figure 3 un modèle simplifié de cet ensemble mobile {1} :

**Détermination du couple moteur (moteur M1) nécessaire pour entraîner la chaîne n°1**

### Hypothèses :

- La chaîne n°2 est à l'arrêt dans la position du plan de l'agitateur au format A3, l'enceinte est pleine ;
- Les liaisons sont considérées sans frottement ;
- L'inertie  $I_{O_3z}$  ainsi que la position du centre de masse  $G$  de l'ensemble mobile {1} ont été déterminées par un modeler volumique :  $I_{O_3z} = 0,6 \text{ kgm}^2$  ;  $\vec{O_3G} = x_G \vec{x}_3 = 295 \vec{x}_3$  en mm ;
- La masse de l'ensemble mobile {1} est  $m = 4 \text{ kg}$  ;
- Les masses des « petites » pièces (bielle, excentriques, axes, coussinets, circlips, vis) sont

négligées devant les autres pièces ;

- L'inertie de l'arbre du moteur M1 est négligée devant celle de l'ensemble mobile {1} ;
- Le calcul est effectué en régime permanent : vitesse d'entrée constante de 120 tr/min ;
- On ne tient pas compte du {ressort} placé entre le bras 3 et le châssis (voir photo 1) ;
- Les actions mécaniques des tuyaux visibles sur la photo 3 sont négligeables ;

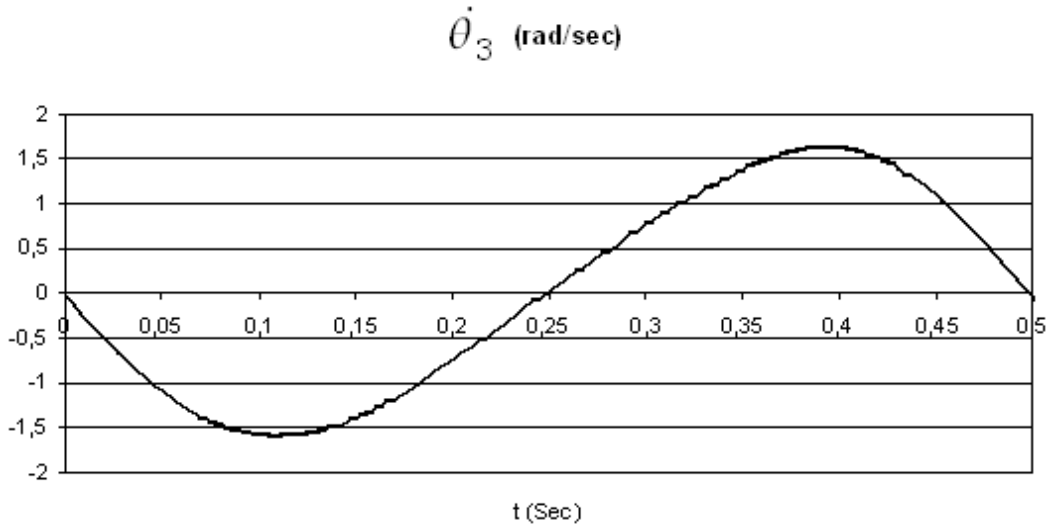


Figure 5: Vitesse de rotation du bras 3

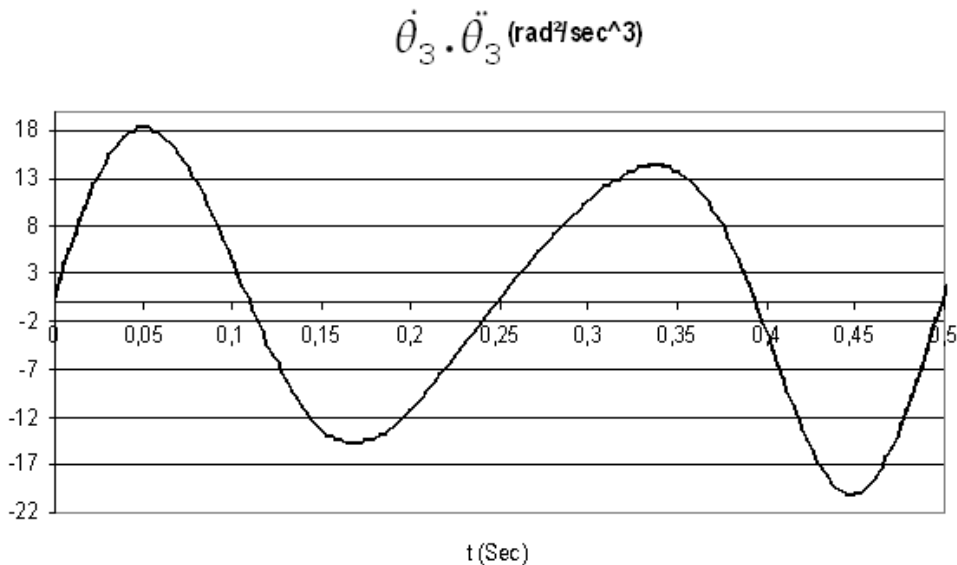


Figure 6: Produit vitesse angulaire par accélération angulaire du bras 3

**Q1.6.** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble mobile, déterminer l'expression littérale du couple moteur  $C_m$  en fonction des grandeurs géométriques et d'inertie du système, ainsi que des variables  $\ddot{\theta}_3$ ,  $\dot{\theta}_3$  et  $\theta_1$ .

**Q1.7.** A l'aide des graphiques représentant le produit  $\ddot{\theta}_3 \cdot \dot{\theta}_3$  (figure 6) et  $\dot{\theta}_3$  (figure 5) en fonction du temps, déterminer, dans le cadre de l'approximation  $\theta_3$  « petit », la valeur du couple que devra fournir le moteur M1 à la vitesse constante de 12 rad/s aux instants :  $t_1 = 0,1$  s,  $t_2 = 0,15$  s,  $t_3 = 0,25$  s et  $t_4 = 0,35$  s.

Grâce à une simulation numérique, on a tracé la courbe de couple du moteur M1 en fonction du temps (figure 7) sur un tour d'arbre moteur M1 ; l'instant  $t = 0s$  correspond à la position haute maximale du bras et le sens de rotation du moteur est compté positivement.

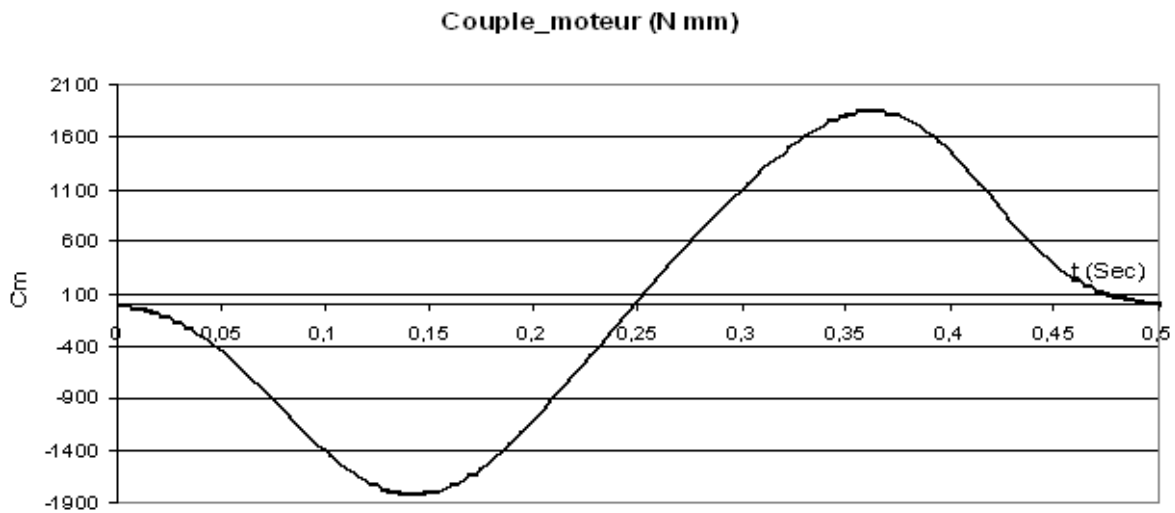


Figure 7: Couple moteur

De plus, on donne en figure 8, le plan couple-vitesse d'un moteur électrique. Ce graphe est constitué de 4 quadrants numérotés de ① à ④.

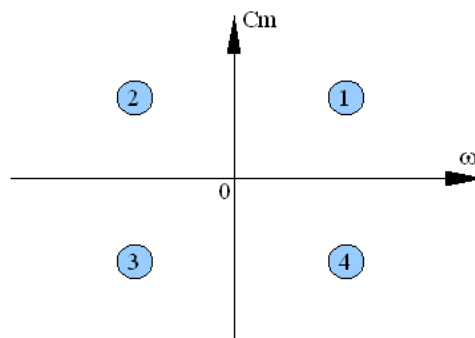


Figure 8: Plan couple-vitesse pour un moteur

**Q1.8. Dans notre cas, préciser quels sont les quadrants dans lesquels va évoluer ce moteur M1. Dire si ces quadrants correspondent à un fonctionnement en moteur ou frein pour la charge.**

On désire caractériser l'influence du ressort vu sur la photo 1. Pour simplifier on suppose qu'il reste vertical au cours du mouvement du bras 3 et qu'il agit au point D (figure 3). Sa raideur est  $k = 7 \text{ N/mm}$ , et pour  $\theta_3 = 0$  (bras horizontal) son action sur le bras 3 est nulle. On donne  $\vec{O_3D} = x_D \vec{x}_3 + z_D \vec{z}_3 = 150 \vec{x}_3 - 53 \vec{z}_3$  en mm.

**Q1.9. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble mobile, déterminer l'expression littérale du couple moteur  $C_m$  en fonction des grandeurs géométriques et d'inertie du système, de la raideur  $k$ , ainsi que des variables  $\ddot{\theta}_3$ ,  $\dot{\theta}_3$  et  $\dot{\theta}_1$ .**

On donne en figure 9, la courbe de couple moteur en fonction du temps (ressort de raideur  $7 \text{ N/mm}$ ).

## Couple $C_m$ - Raideur 7N/mm

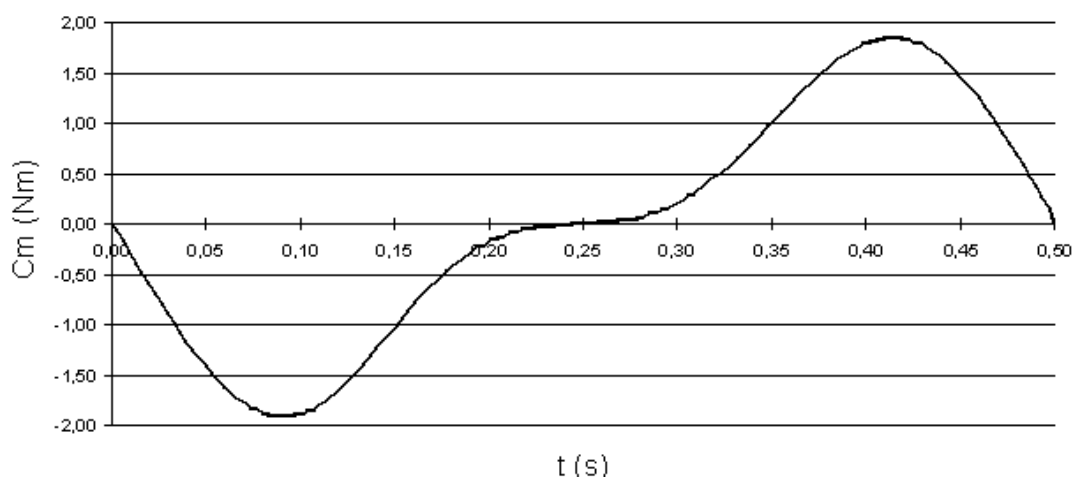


Figure 9: Solution avec ressort seul

### Q1.10. Quels sont alors les bénéfices apportés sur la courbe de couple par ce ressort ?

On souhaite réduire au maximum le fonctionnement du moteur en génératrice, c'est-à-dire fonctionner essentiellement dans le quadrant ①. L'apport du ressort étant insuffisant, on va ajouter un amortisseur en plus du ressort. Pour simplifier on suppose qu'il reste vertical au cours du mouvement du bras 3 et qu'il agit au point D (figure 3). Sa constante d'amortissement est  $C = 1 \text{ N.s/mm}$ .

### Q1.11. Reprendre la question 13 en tenant compte de cette modification.

## Couple $C_m$ -Amortisseur 1N.s/mm

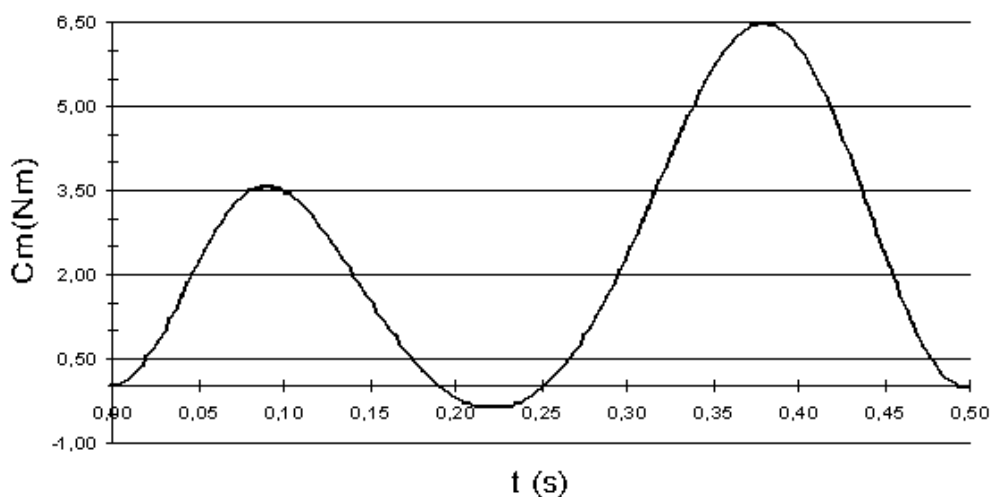


Figure 10: Solution avec amortisseur seul

On fournit des courbes de couple moteur en fonction du temps dans différents cas :

- figure 10 : solution dans laquelle le ressort est remplacé par l'amortisseur de constante  $1 \text{ N.s/mm}$  ;
- figure 11 : solution dans laquelle un ressort de raideur  $4 \text{ N/mm}$  est associé à l'amortisseur de constante  $1 \text{ N.s/mm}$  ;
- figure 12 : solution dans laquelle un ressort de raideur  $4 \text{ N/mm}$  est associé à un amortisseur de constante  $1 \text{ N.s/mm}$  unidirectionnel, c'est-à-dire agissant uniquement à la descente du bras 3 ;

Couple  $C_m$  - - Raideur 4 N/mm - Amortisseur 1N.s/mm

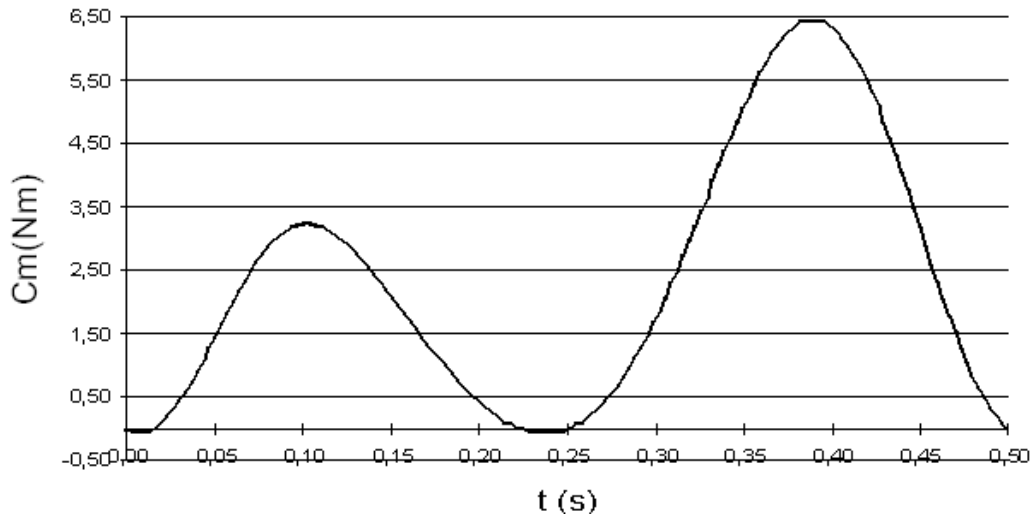


Figure 11: Solution avec ressort + amortisseur

Couple  $C_m$  - - Raideur 4 N/mm - Amortisseur unidirectionnel  
1N.s/mm

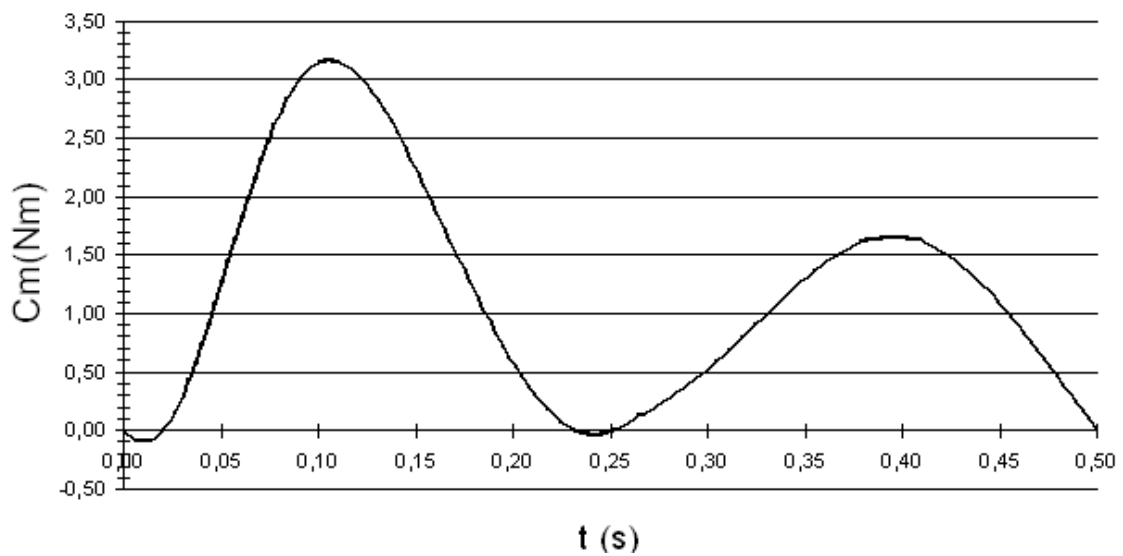


Figure 12: Solution avec ressort + amortisseur unidirectionnel

**Q1.12. Choisissez la solution qui répond le mieux aux exigences de fonctionnement souhaité. Justifier.**