

## CI 3 – CIN : ÉTUDE DU COMPORTEMENT CINÉMATIQUE DES SYSTÈMES

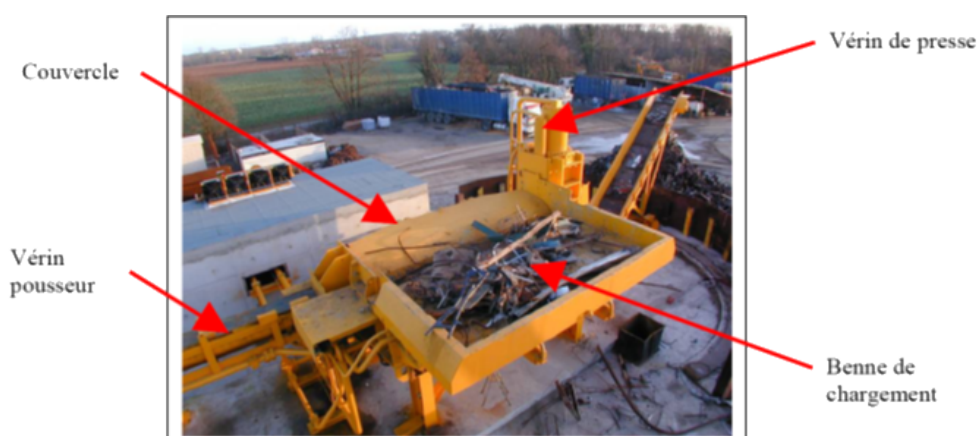
### DEVOIR MAISON 6

## 1 Presse Cisaille à Bac CVB 1000 T

### 1.1 Mise en situation

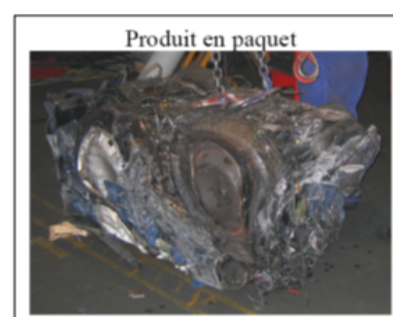
La société COPEX, installée à Lanester (56 Morbihan) est spécialisée dans les machines et leurs applications à l'environnement. Elle conçoit et fabrique, en particulier du matériel permettant de compacter des déchets de différentes natures, afin d'éventuellement les retraiter ou de les stocker.

L'étude proposée porte sur une Presse / Cisaille type CVB 1 000 T (Cisaille Verticale à Bac de 1 000 tonnes) destinée à traiter de la ferraille de toute sorte. En fonction des matériaux récupérés, elle permet le compactage sous forme de paquet ou le cisaillage afin de diminuer les volumes lors du transport avant retraitement ou stockage final.



La machine permet deux processus différents :

- la réduction de volume par compactage pour l'obtention de paquet ;

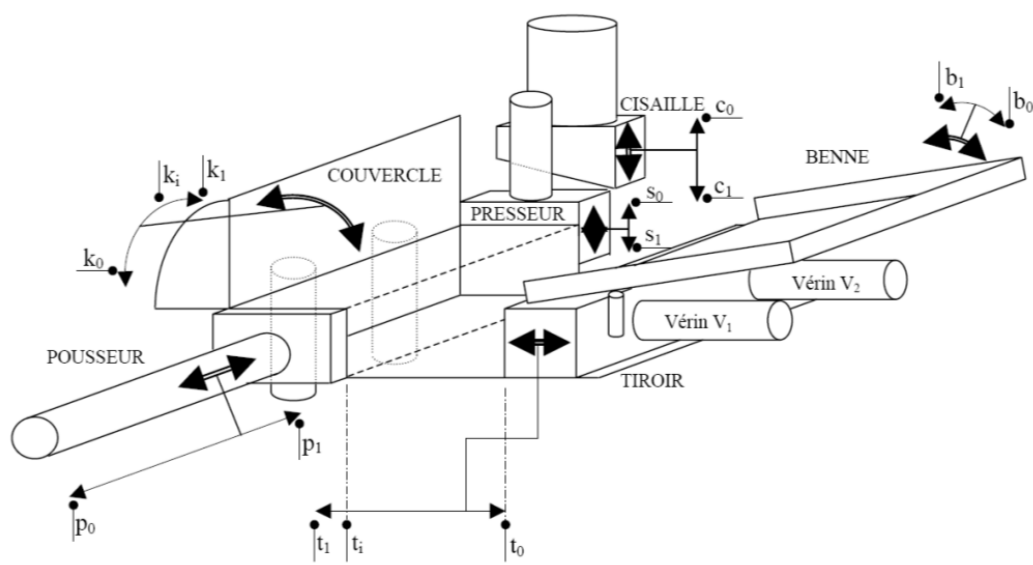


- la réduction de volume par compactage et cisaillage sous forme de bouts de métal découpés à des longueurs variables de 30 à 95 cm.



## 1.2 Fonctionnement

Vue schématique de la machine, de ses mouvements et des détecteurs associés :



Le fonctionnement général de la cisaille est le suivant :

- la machine est prête pour un chargement et le système est en position initiale ;
- le compactage est effectué grâce à quatre actionneurs, pilotés manuellement par l'utilisateur :
  - basculement de la « Benne » pour déchargement de la matière dans la caisse de compression ;
  - retour « Benne » à l'horizontale ;
  - compression latérale par l'avance partielle du piston « Tiroir », animé par 2 vérins  $V_1$  et  $V_2$  ;
  - recul du « Tiroir » ;
  - compression supérieure par la fermeture partielle du « Couvercle », animé par 2 vérins ;
  - ouverture du « Couvercle » ;
  - fermeture du « Couvercle » en position horizontale ;
  - fermeture du « Tiroir » en position coïncidente à la largeur du « Pousseur » ;
  - compression longitudinale par le piston « Pousseur ».

Le compactage étant terminé, deux modes automatisés sont disponibles :

- mode paquet qui permet l'évacuation du bloc de métal ;
  - montée de la « Cisaille » ;
  - montée de la Porte (« Presseur ») ;
  - avance du paquet poussé par le piston « Pousseur » ;
- mode cisaille qui permet le cisailage et l'évacuation des morceaux de ferraille. Ce cycle se répète  $N$  fois en fonction des longueurs  $L$  souhaitées par l'opérateur pour les bouts de ferrailles. Chaque cycle est réalisé de la façon suivante :
  - montée de la « Cisaille » ;
  - montée de la Porte (« Presseur ») ;
  - avance de la matière par le piston « Pousseur » jusqu'à atteindre la position fonction de la longueur des bouts de ferraille souhaitée ;
  - descente du « Presseur » jusqu'à atteindre une position intermédiaire ;
  - descente de la « Cisaille » et découpe de la matière.

Les informations issues des capteurs de fin de course  $c_i$ ,  $k_i$ ,  $s_i$ , parviennent à l'unité de commande qui pilote les actionneurs du pousseur, du presseur et de la cisaille.

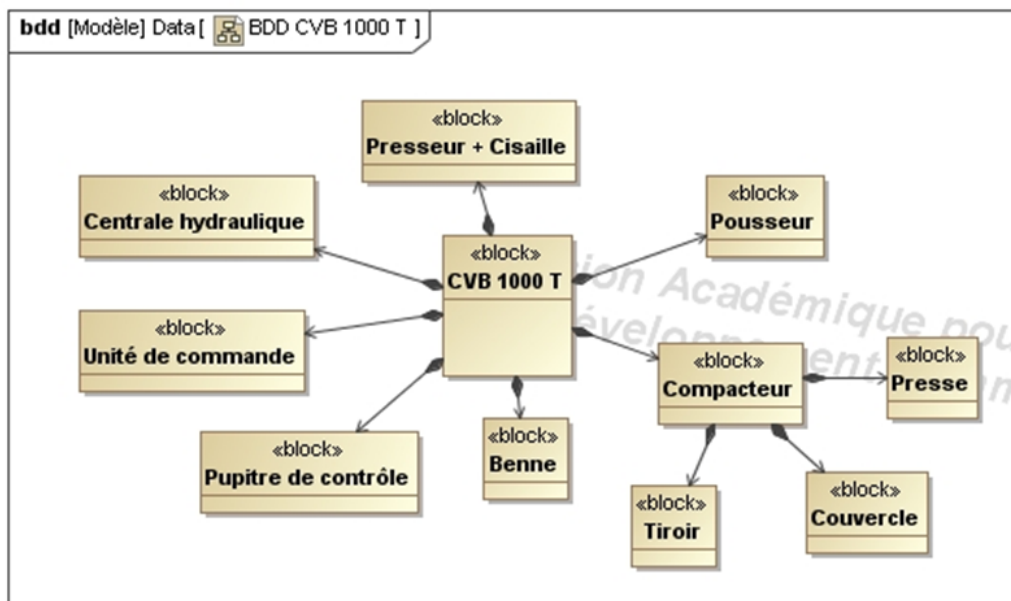
### 1.3 Analyse du système

#### Question 1

Proposer 3 exigences associées pour chacune à un critère et un niveau qui vous semble crédible.

Le diagramme de définition des blocs de la Presse / Cisaille type CVB 1 000 T est présenté ci-dessous :

- la centrale hydraulique fournit l'énergie hydraulique au système ;
- l'unité de commande permet de traiter les informations provenant des différents capteurs et d'exécuter le programme gérant les opérations automatisées ;
- le pupitre de contrôle est l'interface homme machine permettant à l'opérateur de contrôler la machine.



#### Question 2

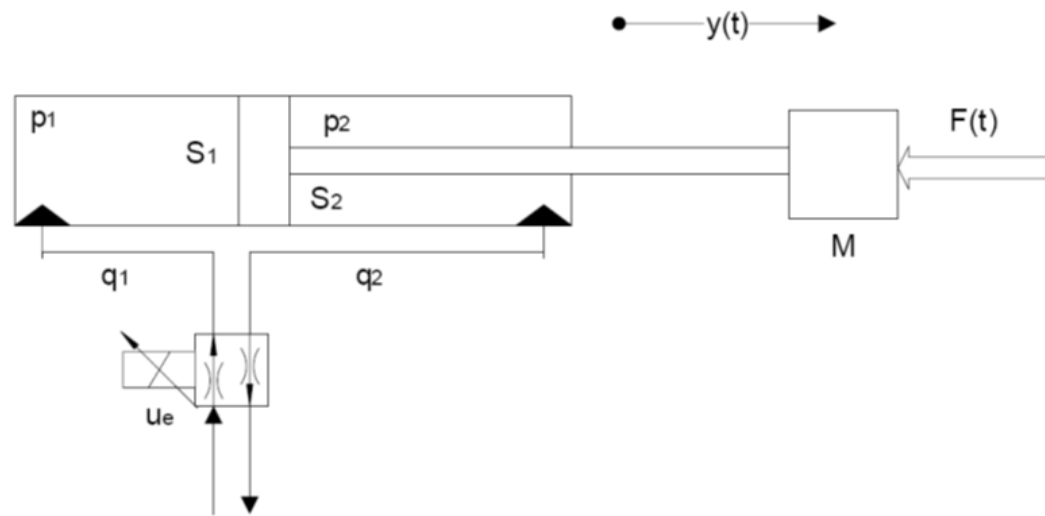
Compléter le diagramme des blocs internes sur le document réponse en nommant et en distinguant les flux (matière en bleu, énergie en rouge, information en vert).

### 1.4 Étude de l'asservissement

Le déplacement en translation du tiroir 1 est assuré par deux vérins hydrauliques V1 et V2 asservis en position. Les deux vérins hydrauliques sont montés en portique en deux points d'ancrage (en parallèle) sur le tiroir. Chaque vérin du type « mesure

en position intégrée » (détecteur inductif intégré dans la tige du vérin, résolution  $\pm 0,1 \text{ mm}$ ) est piloté par un servodistributeur. Les commandes des deux vérins sont synchronisées.

On isole l'un des vérins. Le comportement d'un vérin peut alors être modélisé à partir du modèle de structure ci-dessous et du paramétrage qui lui est associé.



L'ensemble formé par le tiroir et la tige du piston du vérin, est appelé « équipement mobile ». Sa position notée  $y(t)$  est fonction du débit d'huile, noté  $q_1(t)$ , à l'entrée de la chambre d'admission du vérin.

L'effort variable dû à la ferraille est noté  $F(t)$ . On se place dans l'hypothèse de petit déplacement autour d'un point de fonctionnement (position particulière d'équilibre). Le système peut donc être considéré comme linéaire, continu et invariant.  $u_e(t)$  est la tension de commande variable du servodistributeur.

On donne :

- $M = 10^4 \text{ kg}$  : masse de l'équipage mobile ;
- $f = 3 \cdot 10^6 \text{ N/(m/s)}$  : résistance due aux frottements visqueux ;
- $K = 2,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}$  : raideur hydraulique du vérin ;
- $S_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$  : surface du piston de la chambre d'admission.

### 1.4.1 Modélisation de l'équipage mobile

L'équation temporelle donnant le déplacement  $y_1(t)$  en fonction du débit  $q_1(t)$  pour un effort  $F(t)$  nul est telle que :

$$M \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} = K \int_0^t \frac{q_1(\tau)}{S_1} d\tau - K y_1(t) - f \frac{dy_1(t)}{dt}$$

L'équation temporelle donnant le déplacement  $y_2(t)$  en fonction de l'effort  $F(t)$  pour un débit  $q_1(t)$  nul est telle que :

$$M \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} = -K y_2(t) - f \frac{dy_2(t)}{dt} + F(t)$$

Le déplacement total pour l'équipage mobile du vérin  $V_1$  est alors  $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ .

#### Question 3

En supposant que les conditions initiales sont nulles, donner dans le domaine de Laplace et sous forme canonique :

- la fonction de transfert  $H_1(p) = \frac{Y_1(p)}{Q_1(p)}$  pour  $F(p)$  (image de l'effort  $F(t)$ ) nul ;
- la fonction de transfert  $H_2(p) = \frac{Y_2(p)}{F(p)}$  pour  $Q_1(p)$  (image du débit  $q_1(t)$ ) nul.

On donnera les formes littérales puis numériques.

#### Question 4

En appliquant le principe de superposition, donner l'équation, dans le domaine de Laplace, liant  $Y(p)$  à  $Q_1(p)$  et à  $F(p)$ .

#### Question 5

Compléter sur le document réponse le schéma bloc permettant de définir la modélisation de l'« équipage mobile ». Préciser les unités des grandeurs physiques véhiculées.

### 1.4.2 Modélisation générale du fonctionnement de l'ensemble vérin et distribution

Pour étudier l'influence du débit, on néglige la contribution de l'effort  $F(t)$ . La fonction de transfert déplacement / débit est alors :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{Q_1(p)} = \frac{1}{pS_1 \left( 1 + \frac{1}{K} (fp + Mp^2) \right)}$$

On admettra que ce résultat est généralisable pour toute position de la tige de vérin.

Le servodistributeur proportionnel délivre un débit d'huile  $q_1(t)$  proportionnel à sa tension de commande  $u_e(t)$  tel que :  $q_1(t) = K_e u_e(t)$  avec  $K_e = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{V})$ .

Le détecteur de position délivre une tension  $u_s(t)$  proportionnelle à la position  $y(t)$  du tiroir telle que :  $u_s(t) = K_c \cdot y(t)$  avec  $K_c = 10^3 \text{ V/m}$ .

#### Question 6

En déduire la fonction de transfert en boucle ouverte du système tiroir-vérin-distribution dont la transmittance est :  $F_{BO}(p) = \frac{U_s(p)}{U_e(p)}$ . On donnera la forme littérale puis numérique.

Quel que soit le résultat de la question précédente, on considère par la suite que la fonction de transfert en boucle ouverte peut se mettre sous la forme :

$$F_{BO}(p) = \frac{U_s(p)}{U_e(p)} = \frac{4}{p(1 + 0,12p + 0,0004p^2)}$$

Pour boucler le système :

- le signal de la commande du distributeur proportionnel  $u_e(t)$  est élaboré à partir :
  - d'un élément permettant de comparer  $u_s(t)$  à la tension de consigne  $u_c(t)$ ;
  - d'un amplificateur de gain  $A$ .
- le signal de tension de consigne  $u_c(t)$  est élaboré à partir de la consigne de position  $y_c(t)$  et d'un potentiomètre modélisable par un gain pur identique à  $K_c$ .

#### Question 7

Compléter le schéma bloc permettant de définir le système tiroir-vérin-distribution, son contrôle et sa commande dont la fonction de transfert en boucle fermée est :  $\frac{Y(p)}{Y_c(p)}$ .

#### Question 8

Calculer la fonction de transfert en boucle fermée sous sa forme canonique :  $\frac{Y(p)}{Y_c(p)}$  en fonction des différents coefficients littéraux caractérisant le système. Effectuer l'application numérique pour  $A = 1$ .

On considère par la suite que la fonction de transfert en boucle fermée peut se mettre sous la forme :

$$\frac{Y(p)}{Y_c(p)} = \frac{1}{1 + 0,25p + 0,03p^2}$$

#### Question 9

Calculer les caractéristiques de cette transmittance. Que pensez-vous de la valeur du coefficient d'amortissement vis-à-vis du critère de rapidité ?

### 1.4.3 Étude en position

Le système est alors soumis à une consigne  $y_c(t) = u(t)$  où  $u(t)$  désigne l'échelon défini par :

- $u(t) = 0$  si  $t < 0$  ;
- $u(t) = 100 \text{ mm}$  si  $t > 0$ .

#### Question 10

Tracer l'allure de la courbe de la réponse du système à ce signal sur la figure du document réponse. On veut voir apparaître :

- la pente à l'origine ;
- les éventuels dépassements (on peut utiliser l'annexe) ;
- la courbe en régime permanent.

#### Question 11

Calculer analytiquement puis numériquement l'écart statique (ou erreur de position). Que peut-on en conclure vis-à-vis de la précision ?

Dans la réalité le servodistributeur proportionnel délivre un débit d'huile  $q_1(t)$  avec un retard de  $\tau = 0,1 \text{ s}$  et un gain  $K_e = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{V})$  qui équivaut à un premier ordre.

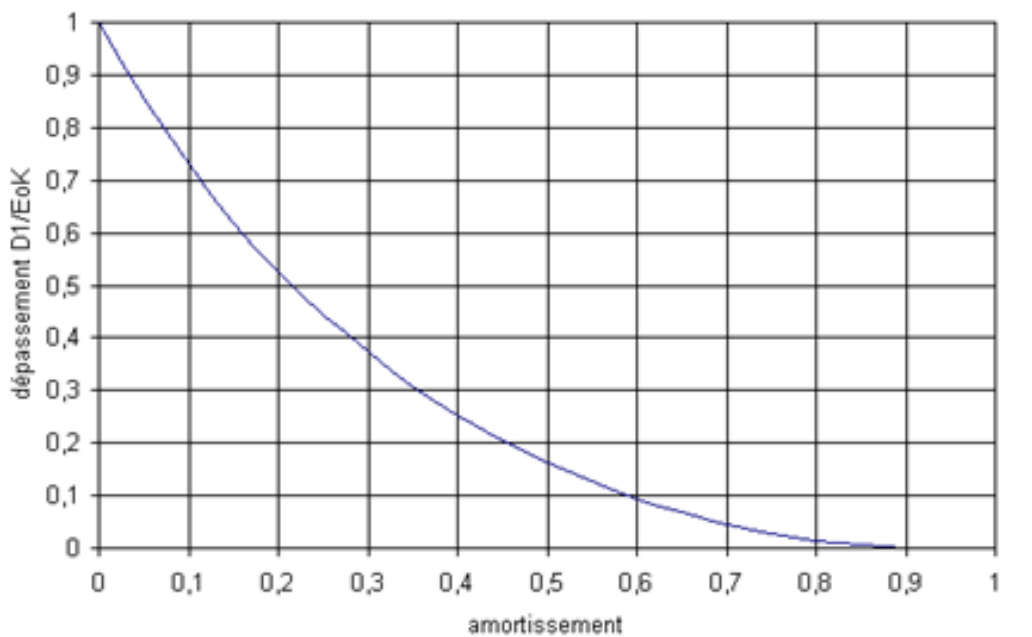
#### Question 12

Calculer la nouvelle fonction de transfert en boucle fermée sous sa forme canonique :  $\frac{Y(p)}{Y_c(p)}$  en fonction des différents coefficients littéraux caractérisant le système. Effectuer l'application numérique pour  $A = 1$ .

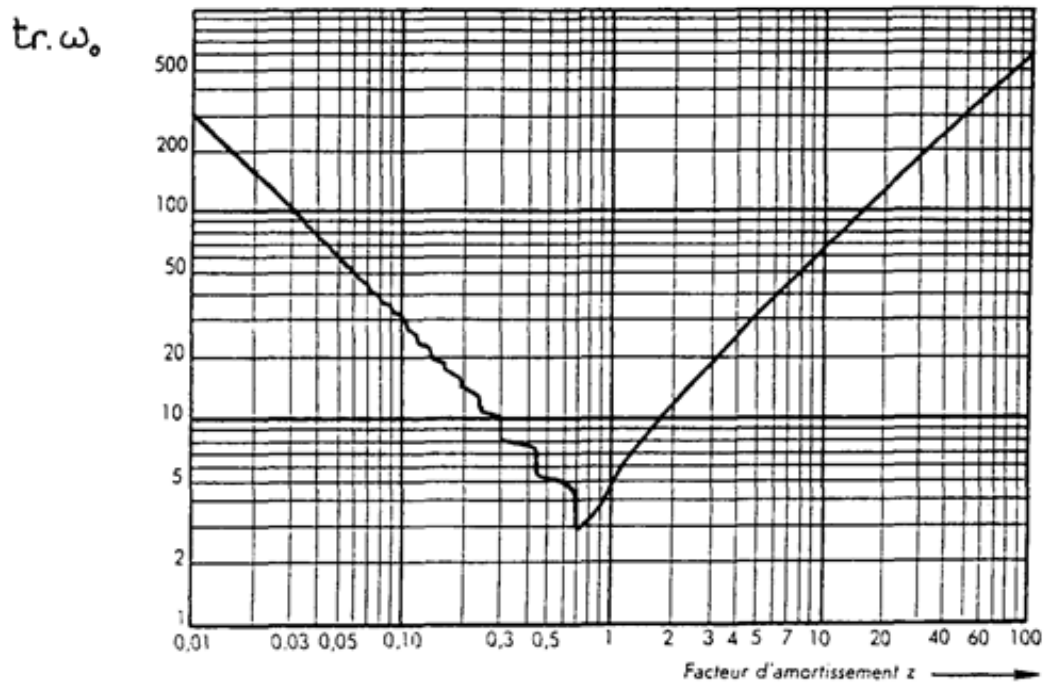
#### Question 13

D'après le tracé de la réponse à un échelon d'amplitude  $100 \text{ mm}$  sur le document réponse, déterminer l'écart statique ainsi que le temps de réponse. Comparer avec la première modélisation (le servodistributeur proportionnel délivre un débit d'huile  $q_1(t)$  proportionnel à sa tension de commande  $u_e(t)$ ). Conclure.

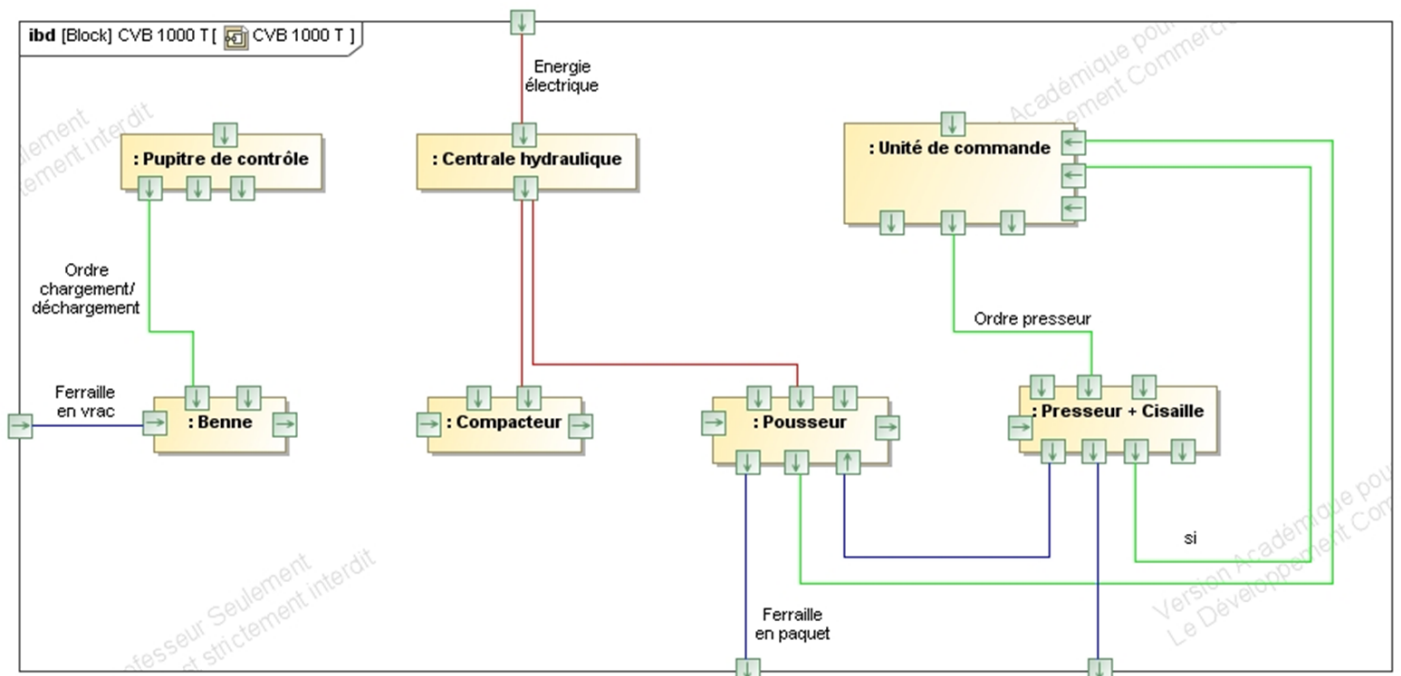
### 1.5 Annexe

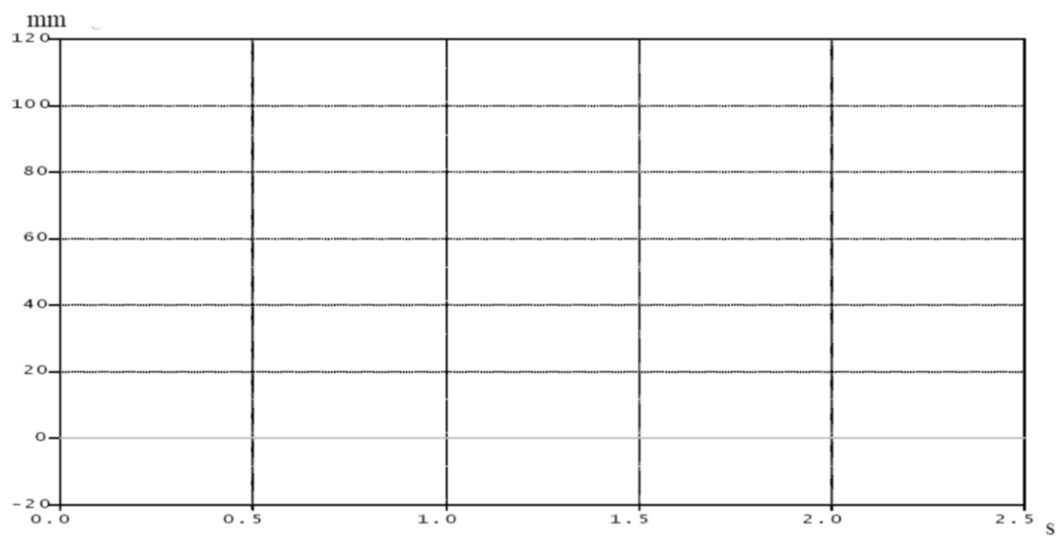
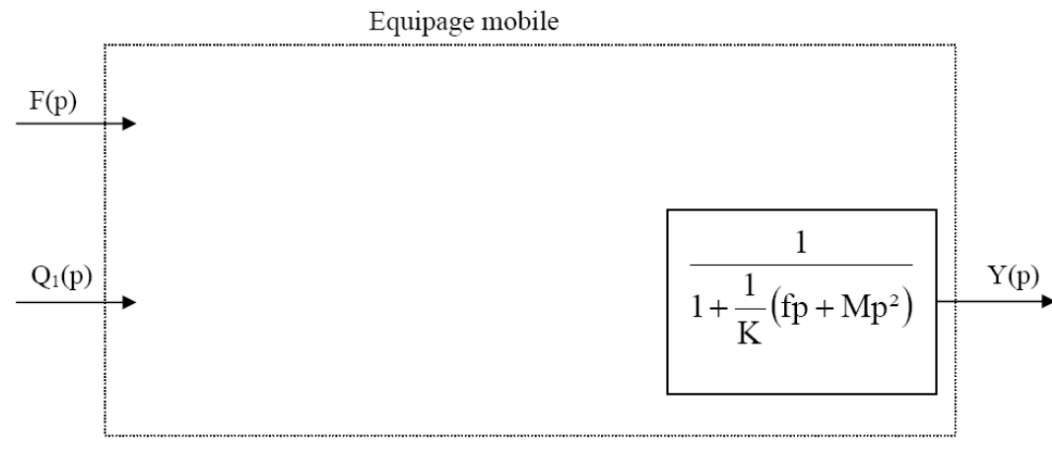




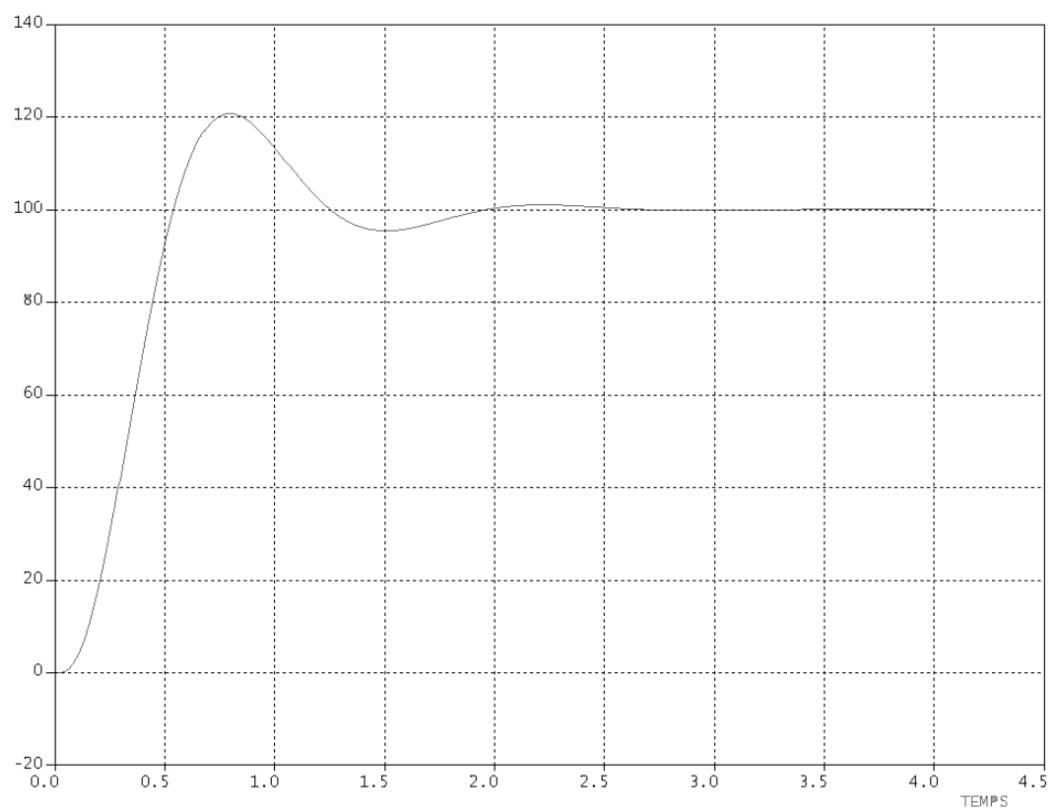


## 1.6 Document réponse

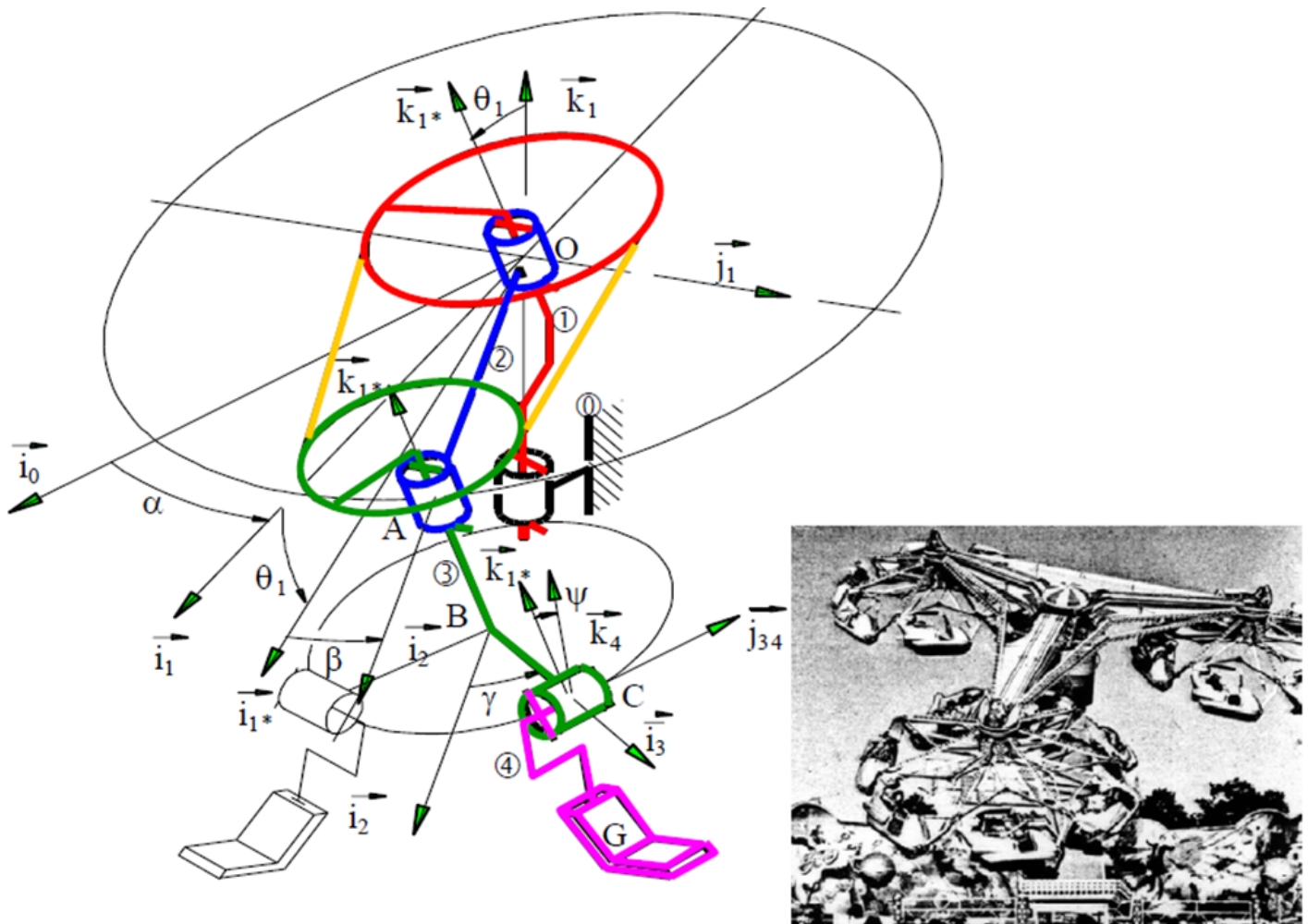








## 2 Carrousel au triple mouvement



Le carrousel étudié est constitué d'un fût 1 supportant un plateau tournant 2 sur lequel sont articulés des disques 3 auxquels sont liées les nacelles 4.

### Données

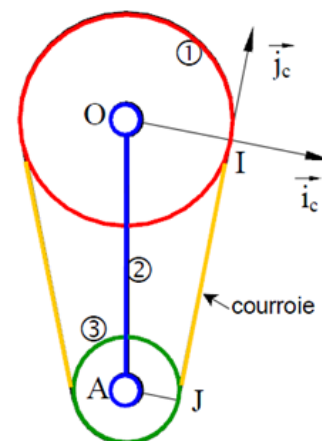
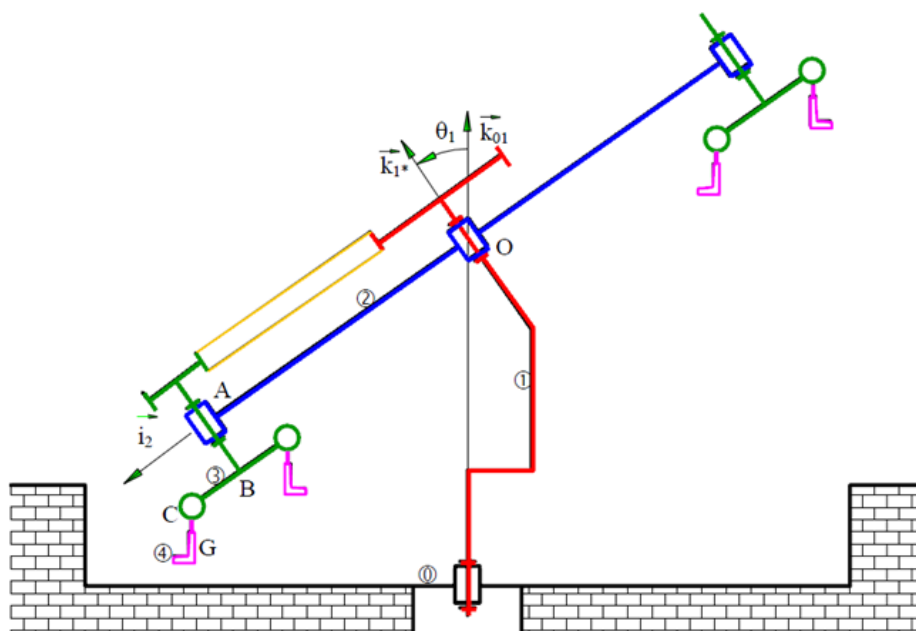
- $\mathcal{R}_0(O, \vec{i}_0, \vec{j}_0, \vec{k}_0)$  repère lié au bâti 0
- $\mathcal{R}_1(O, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$  et  $\mathcal{R}_1^*(O, \vec{i}_1^*, \vec{j}_1^*, \vec{k}_1^*)$  repères liés à 1
- $\mathcal{R}_2(O, \vec{i}_2, \vec{j}_2, \vec{k}_2)$  repère lié à 2
- $\mathcal{R}_3(C, \vec{i}_3, \vec{j}_3, \vec{k}_3)$  repère lié à 3
- $\mathcal{R}_4(C, \vec{i}_4, \vec{j}_4, \vec{k}_4)$  repère lié à 4

$$\vec{OA} = L \vec{i}_2 \quad \vec{AB} = h \vec{k}_1^* \quad \vec{BC} = R \vec{i}_3 \quad \vec{GC} = e \vec{k}_4$$

$L, h, R$  et  $e$  sont des constantes positives.

- Liaison 1-0 : pivot d'axe  $(O, \vec{k}_0)$  :  $\alpha = (\vec{i}_0, \vec{i}_1)$
- Liaison 1-2 : pivot d'axe  $(O, \vec{k}_2)$  :  $\beta = (\vec{i}_1^*, \vec{i}_2)$
- Liaison 3-2 : pivot d'axe  $(A, \vec{k}_{321}^*)$  :  $\gamma = (\vec{i}_2, \vec{i}_3)$
- Liaison 4-3 : pivot d'axe  $(C, \vec{j}_{43})$  :  $\psi = (\vec{k}_{321}^*, \vec{k}_4)$

Inclinaison du plateau 1 : rotation d'axe  $(O, \vec{j}_1)$ ,  $\theta_1 = (\vec{i}_1, \vec{i}_1^*)$  où  $\theta_1$  est une constante positive. La liaison 1-0 n'est pas animée ; donc  $\alpha = \dot{\alpha} = 0$ . Un moteur permet d'animer la liaison 2-1 ( $\beta \neq 0$ ).



### Question 1

Exprimer  $\overrightarrow{\Omega(2/1)}$  et  $\overrightarrow{V(A \in 2/1)}$ .

### Question 2

Exprimer  $\overrightarrow{\Omega(3/1)}$  et  $\overrightarrow{V(C \in 3/1)}$ .

### Question 3

*Exprimer*  $\overrightarrow{V(G \in 4/1)}$ .

Le fût 1 est muni d'une poulie de diamètre  $D$  sur laquelle s'enroule une courroie qui entraîne en rotation la poulie de diamètre  $D/2$  liée au disque 3 lors du mouvement de 2 par rapport à 1.

On a les hypothèses suivantes :

- non glissement entre la courroie et les poulies ;
- la courroie est inextensible.

De plus le siège 4 est bloqué dans la position  $\psi = -\pi/2$  par rapport au disque 3.

### Question 4

En utilisant les hypothèses précédentes, montrer que  $\dot{\gamma} = -2\dot{\beta}$ .

### Question 5

En déduire la nouvelle expression de  $\overrightarrow{V(G, 4/1)}$  en fonction de  $R$ ,  $L$ ,  $e$  et  $\dot{\beta}$ .

### Question 6

Exprimer l'accélération du point G dans le mouvement de 4/1 en fonction de  $R, L, e, \dot{\beta}$  si  $\ddot{\beta}$  est constant.

### Question 7

Calculer la valeur maximale de la norme de cette accélération pour  $\dot{\beta} = 2 \text{ rad/s}$ ,  $L = 5 \text{ m}$ ,  $R = 1 \text{ m}$ ,  $e = 1 \text{ m}$ .

Le dessin ci-dessous montre le mécanisme permettant de faire varier en fonctionnement l'angle  $\theta_1$ . L'actionneur de ce mécanisme est le vérin hydraulique 5-6.

Soit  $\overrightarrow{FH} = 2a \overrightarrow{i_7}$ ,  $\overrightarrow{FE} = 3a \overrightarrow{i_1}$  (où  $a$  est une constante positive);  $\overrightarrow{EH} = x(t)\overrightarrow{i_{56}}$  et  $\varphi(t) = (\overrightarrow{i_7}, \overrightarrow{i_1})$ .

### Question 8

Exprimer  $x$  en fonction de  $a$  et  $\varphi$  puis la vitesse de sortie de la tige du vérin, soit  $\overrightarrow{V(H, 6/5)}$ , en fonction de  $a$ ,  $\varphi$  et  $\dot{\varphi}$ .

