

## CHAPITRE 3

## PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE

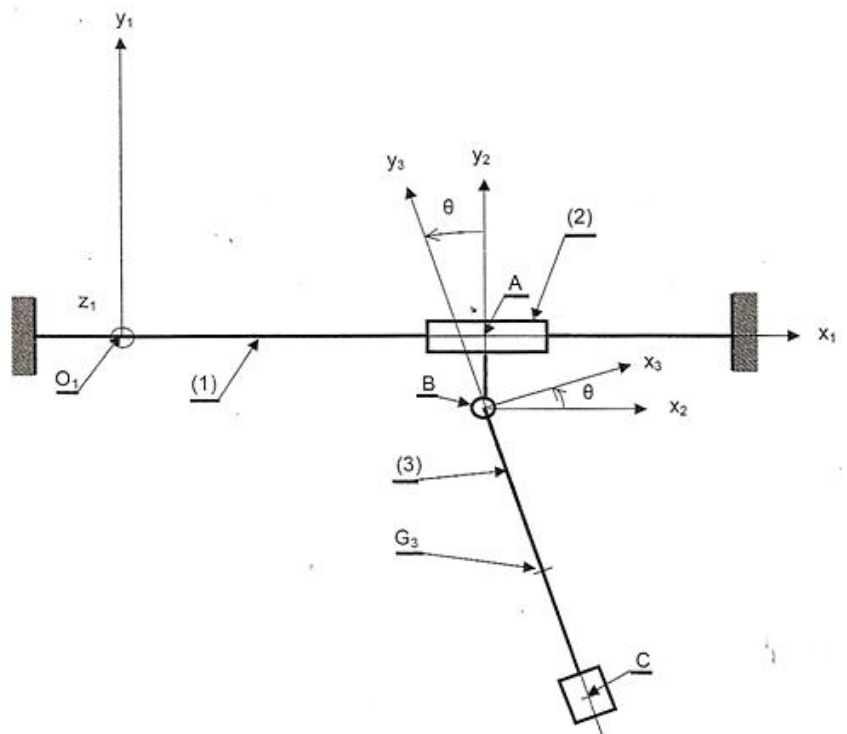
## 1 EXERCICE 1 : PONT ROULANT

Un mécanisme de transport de charge est constitué d'un rail fixe (1), d'un chariot mobile (2) en liaison glissière avec ce dernier, d'un bras rigide (3) articulé en B sur le chariot. La charge est située en C. Le mécanisme évolue dans le plan de la figure ci contre. Les liaisons sont parfaites. L'analyse du mouvement libre de la charge pendant l'avancement du chariot va permettre d'analyser la compatibilité du système avec le transport de produit type liquide par exemple et de connaître l'incidence des mouvements de la charges sur les actions mécaniques dans les liaisons.

Le repère R2 est parallèle à R1.  $AB=h$ ,  $O_1A=x$   
 Chariot (2) : masse  $m_2$ , centre d'inertie en A

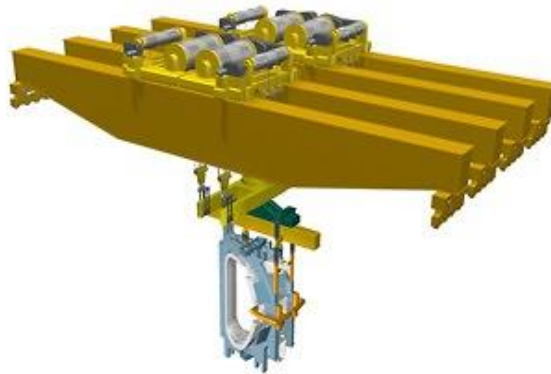
Bras (3) : masse  $m_3$  et  $I_G(3)_{B3} = \begin{pmatrix} A3 & 0 & 0 \\ 0 & B3 & 0 \\ 0 & 0 & C3 \end{pmatrix}$

$G_3$  : centre d'inertie du bras et de la charge placée en C.  $BG_3=L_3$



1. On nomme  $X_a, Y_a, \dots$  les composantes du torseur représentatif des actions mécaniques dans la liaison entre les solides 1 et 2. Préciser son expression en A dans la base B2.
2. On nomme  $X_b, Y_b, \dots$  les composantes du torseur représentatif des actions mécaniques dans la liaison entre les solides 2 et 3. Préciser son expression en B dans la base B2.
3. Déterminer l'expression des accélérations suivantes :
  31. Accélération de A appartenant à 2 en mouvement par rapport à R1 en fonction de  $\dot{x}$ . On la nomme a.
  32. Accélération de  $G_3$  appartenant à 3 en mouvement par rapport à R1 en fonction de  $L_3, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$

4. Déterminer l'expression du moment cinétique en B de 3/R1 .
5. Déterminer l'expression du moment dynamique en B de 3/R1 .
6. Quelle équation scalaire issue du PFD, appliqué au solide (3) permet d'obtenir directement l'équation différentielle du mouvement de ce solide par rapport à (2) ? Préciser votre démarche et déterminer la.
7. A l'instant initial le bras est vertical le chariot est soumis à une accélération positive :
  71. Quel est alors le mouvement de (3) par rapport à (2)
  72. Déterminer l'action mécanique à exercer sur (2) pour obtenir cette accélération ?
8. Au bout de quelques secondes le bras adopte une position angulaire stable  $\theta_s$  par rapport à (2). Déterminer cet angle en fonction de  $L_3$  et de  $g$ . Le calculer pour  $a=1\text{ms}^{-2}$
9. La vitesse du chariot devient constante, quel est alors le mouvement du bras (3) ? Caractériser ce mouvement.



**2 EXERCICE 3 : LE BEAU MANEGE**



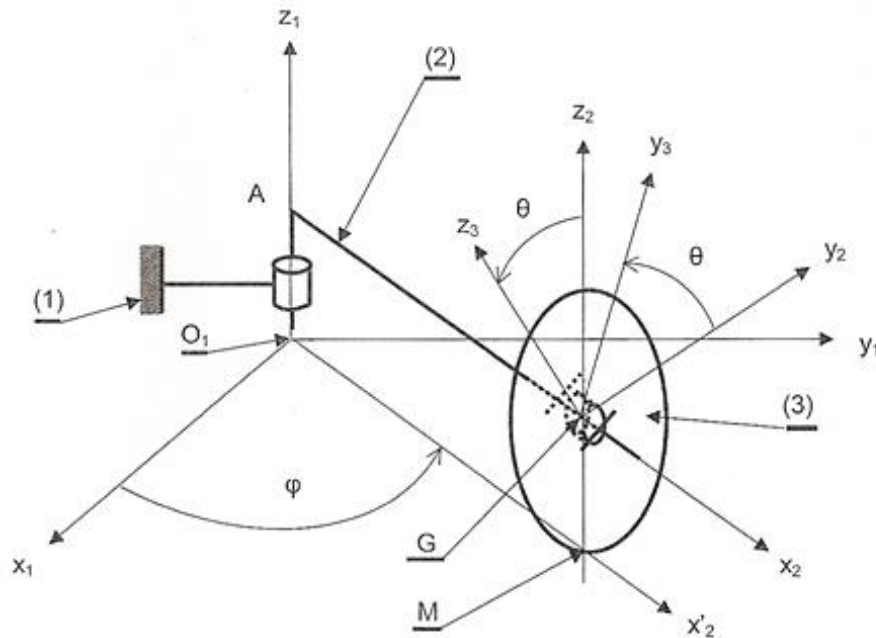
Sur l'esplanade Compans Caffarelli à Toulouse on trouve une attraction foraine destinée aux enfants appelée le Beau Manège.. Outre les éléments décoratifs et les nacelles, il est constitué d'un carter comportant quatre bras (2) et quatre roues support (3). Pour notre étude, seul un de ces ensembles est représenté. Le carter du manège est en liaison pivot glissant d'axe  $z_1$  avec le socle (1), cette liaison est située en  $O_1$  et la rotation est représentée par l'angle  $\phi$ . Chaque roue est en liaison pivot d'axe  $x_2$  avec le carter, cette liaison est située en G et sa rotation est repérée par l'angle  $\theta$ . Le mécanisme évolue dans le plan  $(O_1, x_1, y_1)$  horizontal. Hormis le contact en M, les autres liaisons seront considérées sans frottement

On donne :  $z_2 // z_1, x'_2 // x_2, x_3 // x_2, (x_1, x'_2) = \phi, (y_2, y_3) = \theta$

$$A\vec{G} = L\vec{i}_2, G\vec{M} = -R\vec{k}_1$$

Solide (2) : masse  $m_2$  et  $I_A(2)_{B2} = \begin{pmatrix} A2 & 0 & 0 \\ 0 & B2 & 0 \\ 0 & 0 & C2 \end{pmatrix}$   
 centre d'inertie en  $G_2$

Solide (3) : masse  $m_3$  et  $I_G(3)_{B3} = \begin{pmatrix} A3 & 0 & 0 \\ 0 & B3 & 0 \\ 0 & 0 & B3 \end{pmatrix}$   
 centre d'inertie est en G



La fonction « Permettre l'entraînement sans glissement du plateau par rapport au sol » stipule que la flexibilité attachée à cette fonction est nulle. La durée de vie des composants dépend effectivement, essentiellement d'un glissement intempestif pouvant exister entre les organes de transmission de puissance par friction. L'objectif de cet exercice est de déterminer le couple moteur afin de satisfaire cette fonction.

1. Quelle est l'expression dans la base B2 du vecteur rotation de 3/1 en fonction de  $\phi^\circ$  et  $\theta^\circ$ .
2. Le point de contact en M est à la verticale du point G. On considère qu'en ce point M, grâce au frottement, il y a roulement sans glissement. Déterminer  $\theta^\circ$  en fonction de  $\phi^\circ$  et en déduire l'expression du vecteur rotation de 3/1.
3. Déterminer les expressions des éléments cinétiques suivants dans la base B2 :
  31. Résultante cinétique de 2/R1 et Moment cinétique en A de 2/R1 en fonction de  $\phi^\circ$ .
  32. Résultante cinétique de 3/R1, Moments cinétiques en G et en A de 3/R1 en fonction de  $\phi^\circ$ .
4. En déduire les expressions des éléments dynamiques suivants dans la base B2 :
  41. Résultante dynamique de 2/R1 et Moment dynamique en A de 2/R1 en fonction de  $\phi^\circ$  et  $\phi^{\circ\circ}$ .
  42. Résultante dynamique de 3/R1, Moments dynamiques en G et en A de 3/R1 en fonction de  $\phi^\circ$  et  $\phi^{\circ\circ}$ .
5. On nomme  $X_a, Y_a, \dots$  les composantes du torseur représentatif des actions mécaniques dans la liaison entre les solides 1 et 2. Préciser son expression en A dans la base B1.
6. On nomme  $X_g, Y_g, \dots$  les composantes du torseur représentatif des actions mécaniques dans la liaison entre les solides 2 et 3. Préciser son expression en G dans la base B2.
7. Le contact en M, de faible dimension, est assimilé à un contact ponctuel. On nomme  $X_m, Y_m, \dots$  les composantes du torseur représentatif des actions mécaniques dans la liaison entre les solides 1 et 3. Préciser son expression en M dans la base B2.
8. Quel isolement et quelle équation scalaire issue du PFD permettent d'obtenir l'expression de la composante
  81.  $X_m$  ? Justifier votre réponse. La déterminer.
  82.  $Y_m$  ? La déterminer en fonction de  $A_3, L, R, \phi^{\circ\circ}$ .
  83.  $Z_m$  ? La déterminer en fonction des masses et de  $g$ .
  84. Le coefficient de frottement en M est  $f = \tan \phi$ . Déterminer l'accélération maximale que peut subir le mécanisme tout en roulant sans glisser en M.

Application numérique :  $R= 0,06 \text{ m}$ ,  $L=0,3 \text{ m}$ ,  $m_2=4,2 \text{ kg}$ ,  $m_3=0,7 \text{ kg}$ ,  $A_3=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$ ,  $f=0,5$ . Calculer cette accélération.

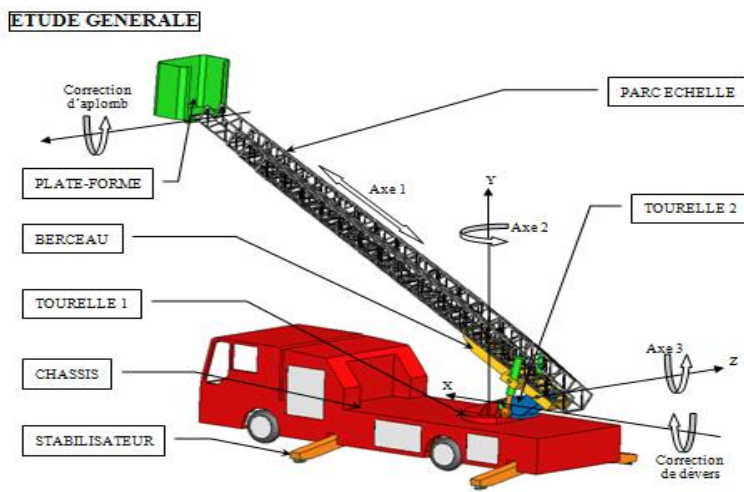
9. Quel isolement et quelle équation scalaire issue du PFD permettent d’obtenir le couple moteur  $C_m$  appliqué en  $O_1$  à l’ensemble tournant constitué du carter (2) et des quatre roue (3) ? Déterminer l’expression de ce couple.  $C_2= 0,15 \text{ kgm}^2$ ,  $B_3=0,6 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$ . Calculer sa valeur limite correspondant au non glissement en M.

10. Dédurre de ce qui précède l’expression du moment d’inertie CT de l’ensemble ramené à l’axe de rotation ( $O_1, Z_1$ ). Le calculer.

### 3 EXERCICE 3 : EPAS ANALYSE DU SYSTEME DE MANŒUVRE DU PARC ECHELLE (CCP 2007)

Une E.P.A.S. est une Echelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle.

Ce système conçu et commercialisé par la société CAMIVA est monté sur le châssis d’un camion de pompiers et permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité.



Le déplacement de la plate-forme est réalisé suivant trois axes :

- Le déploiement du parc échelle (axe 1) : Chaque plan de l’échelle peut se translater par rapport aux autres ; seul le quatrième plan d’échelle est solidaire du berceau.
- Le pivotement autour de l’axe Y (axe 2) : La tourelle 1 peut pivoter par rapport au châssis autour d’un axe vertical.
- La rotation autour de l’axe Z (axe 3) : Le berceau peut tourner par rapport à la tourelle 2 autour d’un axe horizontal.

Ce dernier mouvement est obtenu par deux vérins qui doivent être capables de déplacer l’ensemble du parc échelle et la plate-forme chargée. En vue de déterminer le type de vérin retenu pour ce système nous allons déterminer les actions mécaniques maximales qu’ils doivent exercer sur le parc échelle.

- Le parc échelle (5):

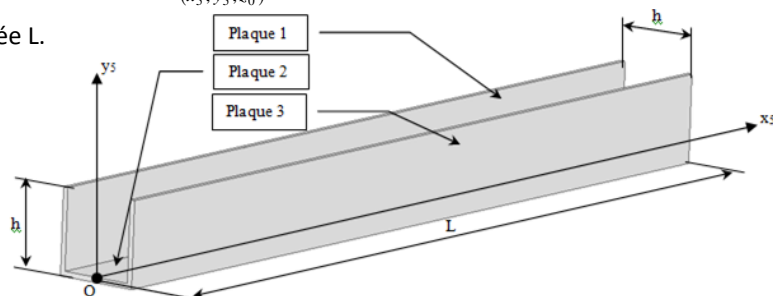
On notera la matrice d’inertie du parc échelle au point G (son centre de gravité) dans la base  $(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$  :

$$I(G,5) = \begin{bmatrix} I_{Gx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{Gy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{Gz} \end{bmatrix}_{(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)}$$

Le parc échelle a une masse notée  $3m$  et une longueur notée  $L$ .

Son centre de gravité G est tel que  $\vec{OG} = \frac{L}{2} \cdot \vec{x}_5 + \frac{h}{3} \cdot \vec{y}_5$ .

Le parc échelle est solidaire du berceau avec  $\vec{OA} = d \cdot \vec{x}_5$ .



- La plate forme chargée (6):

Pendant le redressement ou l’abaissement, la plate-forme reste toujours horizontale.

Sa masse une fois chargée sera notée  $M$  et son centre de gravité est le point  $G_p$  tel que :

$$\overrightarrow{DG_P} = \lambda \cdot \vec{x}_0 + \mu \cdot \vec{y}_0$$

On notera la matrice d’inertie de la plate forme chargée au point  $G_P$  (son centre de gravité) dans la base  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  :

$$I(G_P, 6) = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)}$$

- Le berceau (5):

Sa masse sera négligée devant les autres masses.

Il est incliné par rapport à l’horizontal d’un angle  $\theta$  fonction du temps.

- Les vérins (3+4):

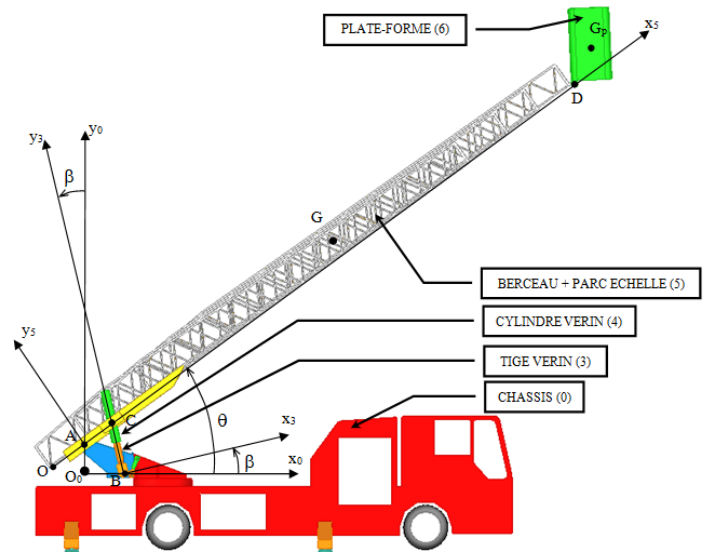
Leurs masses seront négligées devant les autres masses.

Ils devront exercer un effort, modélisé par un glisseur de résultante  $\vec{R} = R \cdot \vec{y}_3$ , permettant le déplacement  $\theta$ .

1 Déterminez l’expression littérale du moment dynamique en A de l’ensemble {parc échelle + berceau} (5) par rapport au châssis (0) :  $\vec{\delta}(A,5/0)$ .

2 Déterminez l’expression littérale du moment dynamique en A de la plate-forme (6) par rapport au châssis (0) :  $\vec{\delta}(A,6/0)$ .

3 Déterminez l’expression littérale de l’effort R que devra fournir l’ensemble des deux vérins sur le berceau, en fonction des masses, des paramètres géométriques et de l’angle  $\theta$  et de ses dérivées. Indiquer clairement les sous-ensembles isolés, les actions mécaniques prises en compte et les théorèmes utilisés.



#### 4 EXERCICE 4 : VEHICULE TIM

L’éco-marathon SHELL est une compétition relative à la consommation énergétique des moyens de propulsion automobile. Les concurrents doivent concevoir et piloter leur véhicule sur une distance fixée avec une vitesse minimale imposée.



Les candidats sont ensuite classés en fonction de la consommation de leur véhicule, exprimée en « kilomètre par litre » de carburant. L’étude sur ce sujet, issue d’un projet élaboré par l’équipe T.I.M. de l’INSA Toulouse, a pour objet de quantifier les effets résistants et dissipatifs que sont la résistance au roulement et les actions aérodynamiques sur les performances de leur véhicule. Les effets inertiels étant plutôt quantifiés numériquement au niveau de la conception assistée par ordinateur du véhicule.

##### A - Détermination expérimentale du coefficient de résistance au roulement

Le principe est présenté sur la figure 1. On place 2 roues lestées sur un dispositif inclinable. On considère ensuite que l’angle d’inclinaison minimum de la pente, où il y a début du mouvement des roues, est représentatif de la résistance au roulement.

L'ensemble des 2 roues lestées peut être assimilé à un solide 1 représenté sur la figure 1, de masse  $m$ , de rayon  $R$  et de centre de masse  $G$ .

L'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  tel que  $\vec{g} = -g \cdot \vec{z}_0$

L'action de contact entre l'ensemble des roues 1 et le plan 0, incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale, est modélisé comme un contact ponctuel avec frottement où l'on tient compte de la résistance au roulement.

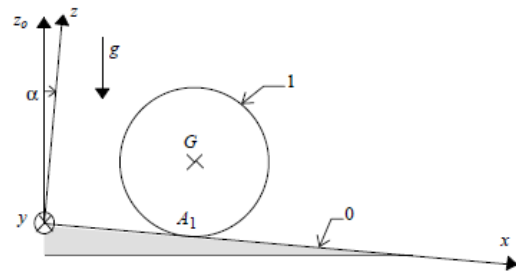


Figure 1

Cette action de contact peut s'écrire :  $\left\{ F_{0 \rightarrow 1} \right\}_{A_1} = \left\{ \begin{array}{l} -T_{01} \cdot \vec{x} + N_{01} \cdot \vec{z} \\ -C_r \cdot \vec{y} \end{array} \right\}$  où  $C_r$  représente le couple de résistance au roulement qui s'oppose au roulement tel que :  $|C_r| = r \cdot |N_{01}|$  à la limite de l'équilibre et  $|C_r| < r \cdot |N_{01}|$  à l'équilibre.

**Q.1.** Ecrire le principe fondamental de la statique appliqué au solide 1 réduit au point  $G$  en projection sur la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .

**Q.2.** Déterminer l'expression analytique de l'angle  $\alpha_{lim}$  à la limite de l'équilibre quand il y a début du roulement du solide 1 sur le plan 0.

Pour une masse du solide 1  $m = 50\text{kg}$  et pour un rayon  $R = 0,25\text{m}$  le roulement se produit à partir d'un angle  $\alpha_{lim}$  tel que  $\tan \alpha_{lim} = 0,008$ .

**Q.3.** Déterminer le coefficient de résistance au roulement  $r$ .

**Q.4.** Au début du roulement, montrer qu'il ne peut pas y avoir glissement en  $A_1$  si le coefficient de frottement au contact vaut  $f = 0,5$ .

### B - Modélisation du véhicule

L'objectif est d'établir un modèle analytique du véhicule, lors d'une phase de roulement sans glissement sur une ligne droite inclinée d'un angle  $\alpha$ , en l'absence de vent. En adoptant des conditions particulières d'essai, il sera possible d'identifier, précisément grâce à ce modèle, les actions aérodynamiques.

L'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  tel que  $\vec{g} = -g \cdot \vec{z}_0$

Le modèle est donné figure 2. On considère que le véhicule se déplace sur une pente inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale. Le véhicule est constitué :

- d'un châssis avec son pilote : solide 1 de centre d'inertie  $G$ , de masse  $M$  en translation par rapport au repère galiléen  $R$  avec  $\vec{OG} = x \cdot \vec{x} + R \cdot \vec{z}$
- de deux roues avant : solide 23 de centre d'inertie  $O_{23}$ , de masse  $2m$ , de rayon  $R$ , dont le moment d'inertie par rapport à l'axe  $(O_{23}, \vec{y})$  sera noté  $2.I$ . Le solide 23 est en liaison pivot sans frottement par rapport au châssis 1 d'axe  $(O_{23}, \vec{y})$  caractérisé par le paramètre  $\theta_{23}$ .
- d'une roue arrière motrice : solide 4 de centre d'inertie  $O_4$ , de masse  $m$ , de rayon  $R$ , dont le moment d'inertie par rapport à l'axe  $(O_4, \vec{y})$  sera noté  $I$ . Le solide 4 est en liaison pivot sans frottement par rapport au châssis 1 d'axe  $(O_4, \vec{y})$  caractérisé par le paramètre  $\theta_4$ .

- un moteur d'entraînement du véhicule dont le corps est solidaire du châssis 1 exerce sur la roue 4 un couple moteur noté  $C_m \cdot \vec{y}$ .

Les roues sont en contact ponctuel avec frottement avec le sol 0. Afin de tenir compte de la résistance au roulement du pneu sur le sol, les actions de contact peuvent être modélisées en dynamique par :

$$\{F_{0 \rightarrow i}\}_{A_i} = \begin{cases} -T_{0i} \cdot \vec{x} + N_{0i} \cdot \vec{z} \\ -N_{0i} \cdot r \cdot \vec{y} \end{cases} \text{ avec } i = 1 \text{ ou } 23.$$

L'ensemble du véhicule dont la carrosserie est soumis lors de son mouvement à un effort de traînée

aérodynamique qui peut être modélisé par le torseur  $\left\{ \begin{matrix} -\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot \dot{x}^2 \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{O_{23}}$  avec  $\rho$  : masse volumique du

véhicule,  $S$  : surface alaire,  $C_x$  : coefficient de traînée du véhicule,  $\dot{x}$  : vitesse relative du véhicule par rapport à l'air ambiant.

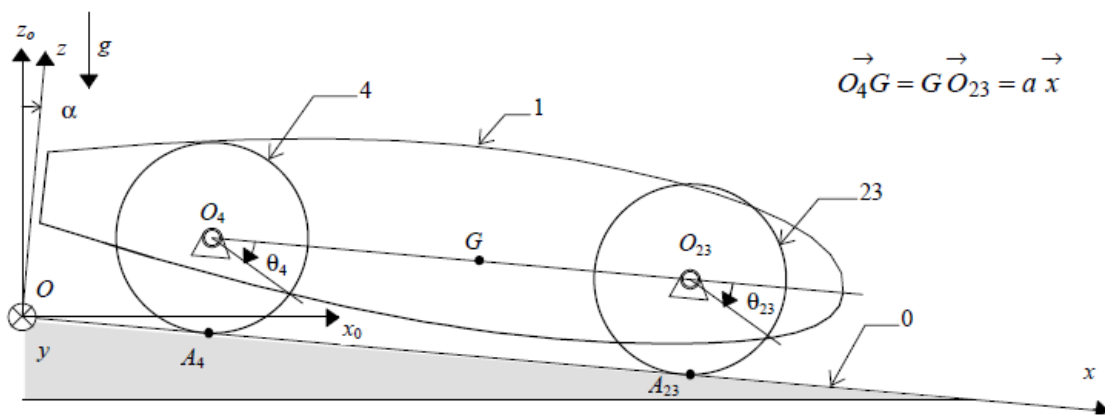


Figure 2

**Q.5.** Ecrire les équations scalaires découlant des conditions de Roulement Sans Glissement (RSG) au point  $A_{23}$  et  $A_4$ .

**Q.6.** En isolant l'ensemble  $E=1+2-3+4$ , écrire le théorème de la résultante dynamique en projection sur  $\vec{x}$  et  $\vec{z}$ .

**Q.7.** Pour chacune des roues 23 et 4, écrire les 2 équations scalaires correspondant au théorème du moment dynamique respectivement en  $O_{23}$  et  $O_4$  en projection sur  $\vec{y}$ .

**Q.8.** Montrer à partir des équations scalaires obtenues précédemment que le couple moteur  $C_m$  vaut :

$$C_m = (M + 3.m) \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot r + \left[ \frac{3.I}{R} + R \cdot (M + 3.m) \right] \cdot \ddot{x} - R \cdot (M + 3.m) \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{1}{2} R \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot \dot{x}^2$$

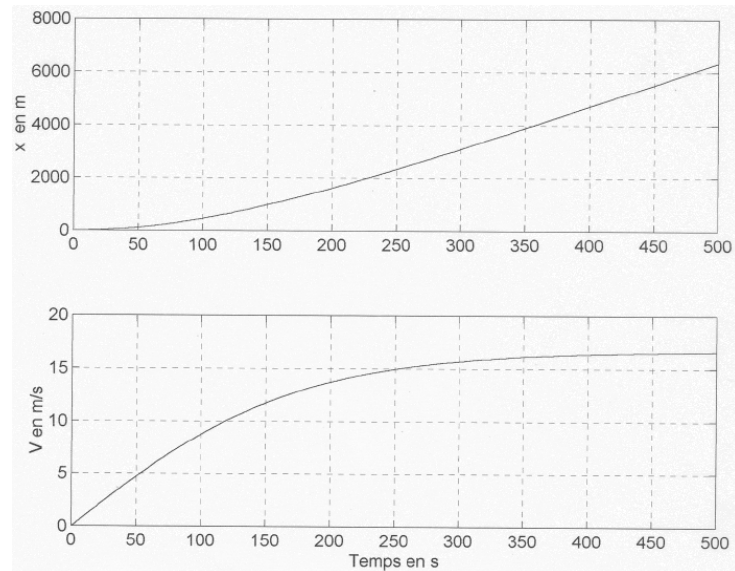
**Q.9.** Identifier dans l'expression de  $C_m$  les différentes actions qui ont tendance à affecter l'avancement du véhicule.

**Q.10.** Déterminer l'expression du couple moteur  $C_m$  quand le véhicule a une vitesse constante  $V$  sur une piste horizontale.

On réalise un essai du véhicule sur terrain horizontal, le moteur du véhicule délivrant un couple  $C_m$  constant.

Les données véhicules sont :  
 $M = 70\text{kg}$ ,  $m = 1\text{kg}$ ,  $r = 2 \cdot 10^{-3}\text{ m}$ ,  $R = 0,25\text{m}$ ,  $C_m = 3,245\text{m.N}$ ,  $g = 10\text{ms}^{-2}$ .

L'acquisition des paramètres vitesse véhicule et distance parcourue sont visualisés par les graphes ci-contre.



**Q.11.** Déterminer dans les conditions d'essais le produit  $\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x$  caractérisant les effets aérodynamiques sur le véhicule. On précisera les unités.

**Q.12.** Evaluer la pente maximum que peut monter ce véhicule à vitesse stabilisée de 5 km/h (on négligera le couple de résistance au roulement).

## 5 EXERCICE 5 : CONTROLE DE CHUTE EVENTUELLE D'UN ASCENSEUR (CCP PSI)

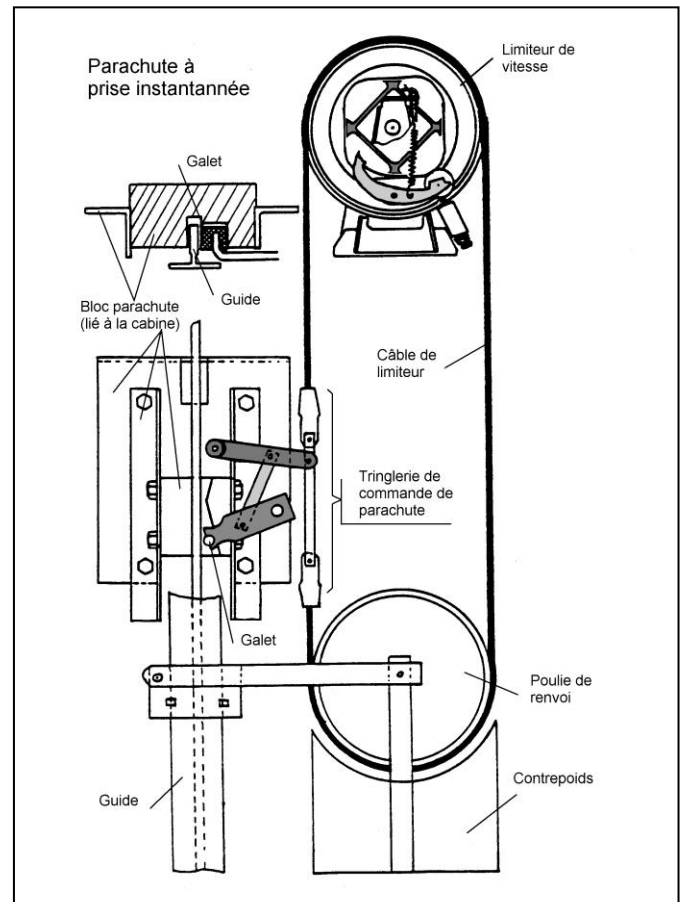
Dans un ascenseur qui permet de desservir les différents étages d'un immeuble, l'ensemble limiteur de vitesse - parachute est l'organe mécanique de sécurité qui, en cas de rupture des câbles de traction ou de survitesse vers le bas, permet de bloquer la cabine.

### Fonctionnement :

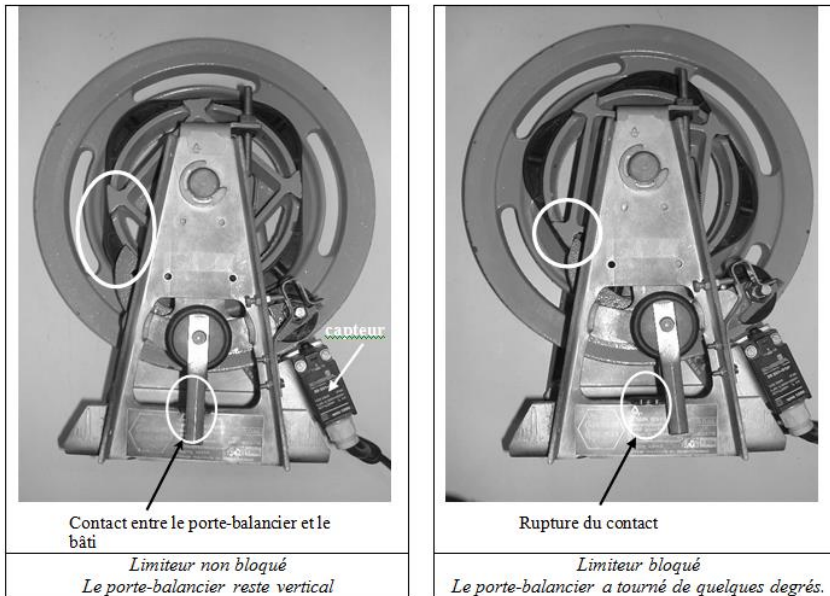
Lors de la translation de la cabine, et donc du bloc parachute (lié à la cabine) (voir annexe 1 et 4), le câble du limiteur fait tourner le limiteur de vitesse.

Le limiteur de vitesse est constitué (voir annexe 5) :

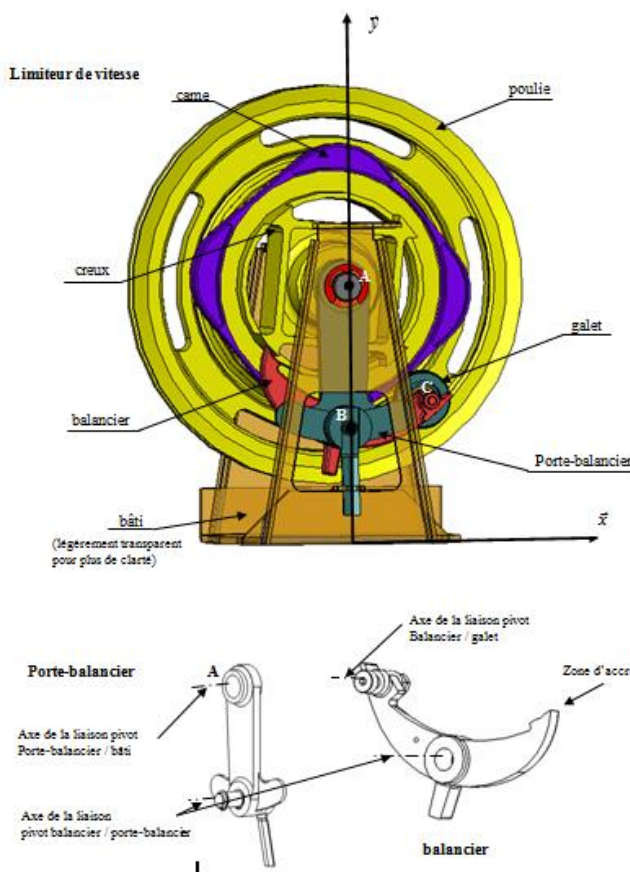
- D'une poulie et d'une came solidaire en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{z})$  avec le bâti.
- D'un porte-balancier en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{z})$  avec le bâti.
- D'un balancier en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{z})$  avec le porte-balancier.
- D'un galet en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{z})$  avec le balancier.
- D'un ressort non représenté, permettant le contact entre le galet et la came en fonctionnement normal.





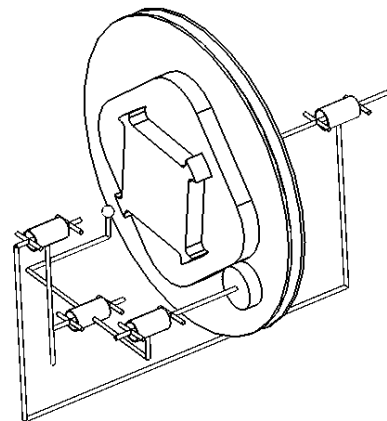


En cas de survitesse, le galet perd le contact avec la came. Le balancier bascule alors et son extrémité vient se loger dans l'un des quatre creux de la came, bloquant net la poulie. Cet arrêt brutal provoque également une rupture du contact entre le porte-balancier et le bâti. Le porte-balancier tourne alors de quelques degrés et vient s'appuyer sur un capteur, ce qui a pour effet de couper l'alimentation du treuil. Une tension apparaît donc dans le brin du câble qui supporte la tringlerie de commande du parachute. Le système du parachute est actionné. La cabine d'ascenseur se bloque alors grâce au coincement d'un galet entre le bloc parachute solidaire de la cabine et le guide cabine.



L'objet de cette étude est de comprendre le fonctionnement de ce système de sécurité et D'ÉVALUER LA FONCTION « CONTROLER UNE CHUTE EVENTUELLE »

On donne le schéma cinématique spatial du limiteur de vitesse en se limitant aux pièces : poulie, came, balancier, galet et porte-balancier.



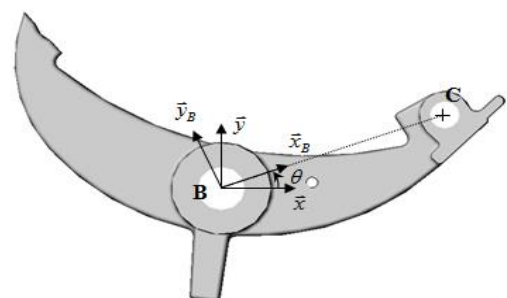
On suppose le galet sans masse. La matrice d'inertie du balancier exprimée en B dans son repère  $R_B(B, \vec{x}_B, \vec{y}_B, \vec{z}_B)$  est :

$$[I_B(\text{balancier})] = \begin{bmatrix} J_x & -F & 0 \\ -F & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_z \end{bmatrix}$$

B est dans le plan de la symétrie matérielle du balancier.

$R(B, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est un repère lié au sol.

$R_B(B, \vec{x}_B, \vec{y}_B, \vec{z}_B)$  est un repère lié au balancier.



**Question 1.** Justifier la forme de cette matrice d'inertie.

**Question 2.** Déterminer le moment dynamique du balancier en B dans son mouvement par rapport au bâti :

$\vec{\delta}_{balancier/b\hat{a}ti}^B$  (le porte-balancier est fixe). On pose :  $\theta = (\vec{x}, \vec{x}_B)$ .

**Hypothèses :**

- Un ressort (non représenté) garantit le contact entre le galet et la came en fonctionnement normal, en exerçant un couple supposé constant  $C_{ressort}$  autour de  $(B, \vec{z})$  sur le balancier.
- On négligera l'action de la pesanteur.

**Question 3.** Déterminer l'accélération angulaire limite du balancier par rapport au bâti ( $\ddot{\theta}_{lim}$ ) pour laquelle le galet perd le contact avec la came en fonction du couple  $C_{ressort}$  et du moment d'inertie  $J_z$ . On précisera bien le ou les solides isolés, le bilan des actions mécaniques ainsi que le ou les théorèmes utilisés.

Afin de trouver la vitesse angulaire limite de la poulie (et donc la vitesse limite autorisée de descente de l'ascenseur), il faut relier l'accélération angulaire du balancier par rapport au bâti ( $\ddot{\theta}$ ) à la vitesse angulaire de la poulie par rapport au bâti ( $\omega$ ).

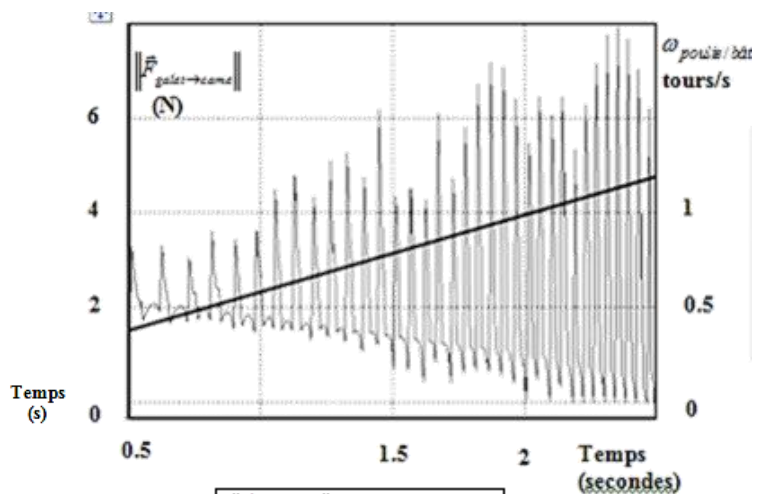
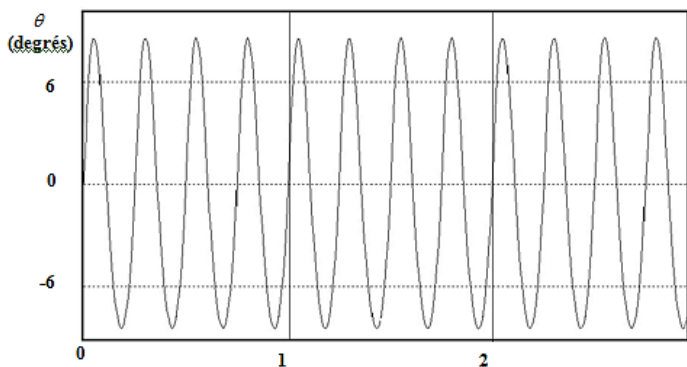
L'objectif est de rechercher la valeur de  $\omega$  constante qui permet d'atteindre la valeur  $\ddot{\theta}_{lim}$  trouvée précédemment.

**Hypothèse :** Si  $\omega = cste$  alors on supposera  $\theta = \theta_0 \sin(4\omega t)$ .

**Question 4.** Un logiciel de simulation a permis de tracer la position angulaire du balancier par rapport au bâti. ( $\theta$ ) en fonction du temps pour une vitesse angulaire de la came par rapport au bâti de 1 tour / s). Valider cette hypothèse et déterminer  $\theta_0$  en degrés.

**Question 5.** Déterminer la vitesse de rotation limite  $\omega_{lim}$  ayant pour conséquence la rupture du contact entre le galet et la came en fonction de  $C_{ressort}$ ,  $\theta_0$  et  $J_z$ .

**Question 6.** A partir des courbes fournies ci-dessous, trouver le résultat numérique de la question précédente. Le rayon de la poulie du limiteur étant de 24 cm, déterminer la vitesse maximale de l'ascenseur.



$\ \vec{F}_{galet-came}\ $ en newton représenté par un trait fin : _____
$\omega_{poulie/bati}$ en tour / seconde représenté par un trait fort : _____