

## DDS 4

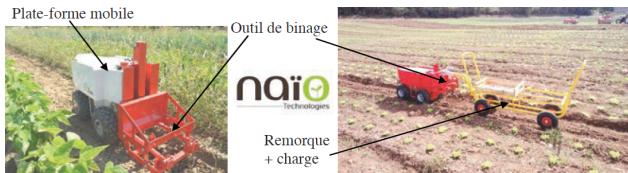
### Les ptits devoirs du soir Xavier Pessoles

#### Exercice 118 – Robot de maraîchage Oz 440 \*

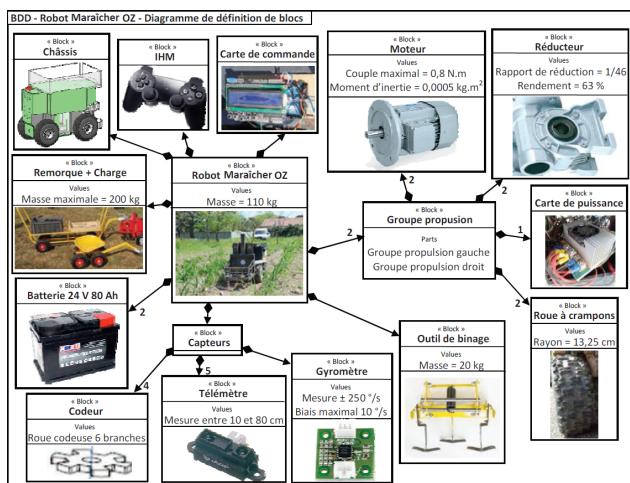
A3-01

**Pas de corrigé pour cet exercice.**

Le robot de maraîchage Oz 440 développé par la société Naïo Technologies est un outil autonome agricole, alliant robustesse et écologie, capable d'assister les maraîchers dans les tâches les plus pénibles comme le transport de charges lors des récoltes et le désherbage mécanique à l'aide d'un outil de binage.



Ce robot est constitué d'une plate-forme mobile électrique à 4 roues motrices sur laquelle sont fixés divers outils et capteurs. La figure 1 donne la structure du robot sous la forme d'un diagramme de définition de blocs (BDD) avec les propriétés principales de chaque constituant, utiles pour la résolution du problème.



Ce robot de petite taille évolue directement entre les rangées de cultures pour un travail de précision. Il peut, par exemple, désherber et aussi suivre des personnes lors de la récolte tout en transportant des charges. Bien plus petit qu'un tracteur classique, il ne casse pas la structure naturelle du sol et évite ainsi le phénomène de compaction des sols provoqué habituellement par les tracteurs

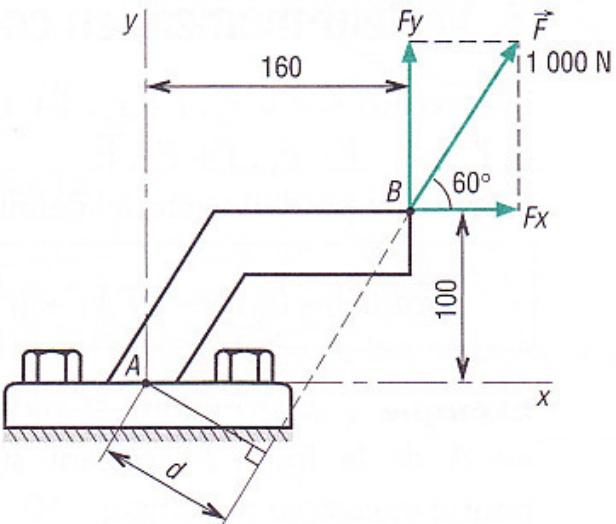
ou le piétinement de l'homme. Il roule lentement et passe au plus près des cultures sans risquer de les abîmer. Selon le vieil adage « un binage vaut deux arrosages », le fait de pouvoir utiliser ce robot régulièrement, sans perte de temps, permet de toujours avoir un sol parfaitement biné et ainsi de diminuer les effets d'évaporation de l'eau.

**Question 1** À l'aide du diagramme de définition de blocs disponible, réaliser le diagramme correspondant à la chaîne fonctionnelle de l'ensemble groupe propulsion droit du robot.

Corrigé voir 118.

#### Exercice 117 – Calcul de moment\*

B2-14 **Pas de corrigé pour cet exercice.**



**Question 1** Déterminer  $\overrightarrow{M}(B, F)$ .

**Question 2** Déterminer  $\overrightarrow{M}(A, F)$ .

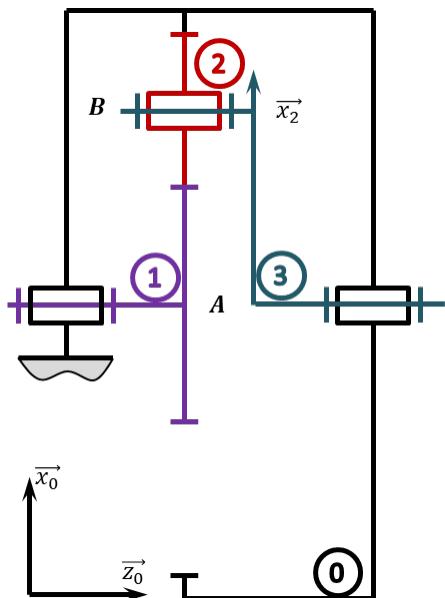
Corrigé voir 117.

#### Exercice 116 – Train simple \*

A3-05

C2-06

Soit le train épicycloïdal suivant.



**Question 1** Tracer le graphe des liaisons.

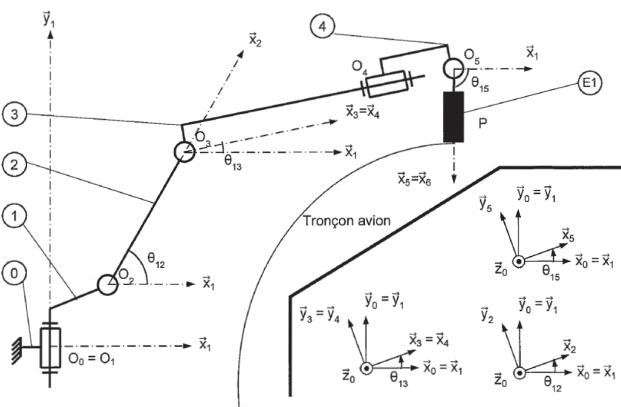
**Question 2** Déterminer  $\frac{\omega_{3/0}}{\omega_{1/0}}$  en fonction du nombre de dents des roues dentées.

Corrigé voir 116.

### Exercice 115 – Robot avion \*\*

C2-07

**Objectif** L'objectif est de déterminer le couple articulaire  $C_{12}$  à appliquer sur le bras 2 afin de garantir l'effort de perçage et l'effort presseur.



#### Hypothèses :

- l'étude est réalisée pour une demi couture orbitale (couture supérieure);
- le repère  $\mathcal{R}_0(O_0; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  sera supposé galiléen;
- $\vec{y}_0$  est l'axe vertical ascendant et  $\vec{g} = -g \vec{y}_0$  avec  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ ;
- toutes les liaisons sont supposées parfaites.

#### Repérage et paramétrage

Le repère associé à l'embase fixe (0) est le repère  $\mathcal{R}_0(O_0; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ ,  $\vec{y}_0$  étant l'axe vertical ascendant.

L'embase de rotation (1), en liaison pivot d'axe  $(O_1, \vec{y}_1)$ , par rapport au bâti (0), a pour repère associé le repère  $\mathcal{R}_1(O_1; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  tel que  $O_0 = O_1$ ,  $\vec{x}_0 = \vec{x}_1$ ,  $\vec{y}_0 = \vec{y}_1$ ,  $\vec{z}_0 = \vec{z}_1$ .

Le bras (2), en liaison pivot d'axe  $(O_2, \vec{z}_2)$  par rapport à l'embase de rotation (1), a pour repère associé le repère  $\mathcal{R}_2(O_2; \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  tel que  $\vec{O}_1 \vec{O}_2 = L_1 \vec{x}_1 + L_2 \vec{y}_1$ ,  $\vec{z}_1 = \vec{z}_2$  et  $(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = \theta_{12}$ .

Le bras (3), en liaison pivot d'axe  $(O_3, \vec{z}_3)$  par rapport au bras (2), a pour repère associé le repère  $\mathcal{R}_3(O_3; \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$  tel que  $\vec{O}_2 \vec{O}_3 = L_3 \vec{x}_2$ ,  $\vec{z}_1 = \vec{z}_3$  et  $(\vec{x}_1, \vec{x}_3) = (\vec{y}_1, \vec{y}_3) = \theta_{13}$ .

Le bras (4), en liaison pivot d'axe  $(O_4, \vec{x}_4)$  par rapport au bras (3), a pour repère associé le repère  $\mathcal{R}_4(O_4; \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$  tel que  $\vec{O}_3 \vec{O}_4 = L_4 \vec{x}_3 + l_5 \vec{y}_3$ ,  $\vec{x}_3 = \vec{x}_4$  et  $(\vec{y}_3, \vec{y}_4) = (\vec{z}_3, \vec{z}_4) = \theta_{34}$ .

L'ensemble (E1) composé du bras (5), du poignet et de l'outil, en liaison pivot d'axe  $(O_5, \vec{z}_5)$  par rapport au bras (4), a pour repère associé le repère  $\mathcal{R}_5(O_5; \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$  tel que  $\vec{O}_4 \vec{O}_5 = L_5 \vec{x}_3$ ,  $\vec{z}_1 = \vec{z}_5$  et  $(\vec{x}_1, \vec{x}_5) = (\vec{y}_1, \vec{y}_5) = \theta_{15}$ .

La masse du bras (2) est notée  $M_2$  et la position du centre de gravité est définie par  $\vec{O}_2 G_2 = \frac{1}{2} L_3 \vec{x}_2$ .

La masse du bras (3) et du bras (4) est notée  $M_{34}$  et la position du centre de gravité est définie par  $\vec{O}_3 G_3 = \frac{1}{3} L_4 \vec{x}_3 + L_5 \vec{y}_3$ .

La masse de l'ensemble (E1) est notée  $M_{E1}$  et la position du centre de gravité est définie par  $\vec{O}_5 G_5 = L_7 \vec{x}_5$ .

L'extrémité de l'outil est définie par le point  $P$  défini par  $\vec{O}_5 P = L_8 \vec{x}_5$ .

Le torseur d'action mécanique lié au perçage sera noté :  $\{\mathcal{T}(\text{Tronçon (perçage)} \rightarrow E_1)\} = \begin{Bmatrix} -F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{P, \mathcal{R}_5}$ .

Un effort presseur est de plus nécessaire pour le perçage optimal des deux tronçons. Le torseur d'action mécanique associé sera noté :  $\{\mathcal{T}(\text{Tronçon (presseur)} \rightarrow E_1)\} = \begin{Bmatrix} -P & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{P, \mathcal{R}_5}$ .

Le torseur couple modélisant l'action du moteur sur la pièce 1 sur 2 :  $\{\mathcal{T}(1_m \rightarrow 2)\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C_{12} \vec{z}_0 \end{Bmatrix}_{\forall P}$ .

La rotation entre les solides (0) et (1) est supposée bloquée dans la suite du sujet.

**Question 1** Réaliser le graphe de structure de l'ensemble en précisant les liaisons et les actions mécaniques extérieures.

**Question 2** Quel est l'ensemble  $\Sigma$  à isoler afin de déterminer le couple  $C_{12}$ .

**Question 3** Réaliser un bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à  $\Sigma$  et écrire les éléments de réduction de chaque torseur d'actions mécaniques.

**Question 4** Quel théorème doit-être appliqué et sur quel axe de projection, pour déterminer le couple  $C_{12}$  ?

La configuration correspondant à la position extrême supérieure de la couture orbitale correspond aux angles suivants :  $\theta_{12} = 60^\circ$ ,  $\theta_{13} = -4^\circ$ ,  $\theta_{15} = -90^\circ$ .

Dans la suite de l'étude, l'angle  $\theta_{13}$  sera considéré nul.

**Question 5** Déterminer l'équation littérale du couple  $C_{12}$  en fonction de  $g$ ,  $F$ ,  $P$ ,  $M_2$ ,  $M_{34}$ ,  $M_{E1}$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$ ,  $L_7$ ,  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{15}$ .

Les valeurs du robot considéré sont :

- $M_2 = 264 \text{ kg}$ ,  $M_{34} = 430 \text{ kg}$ ,  $M_{E1} = 150 \text{ kg}$ ,  $P = 150 \text{ N}$ ,  $F = 1000 \text{ N}$ ;
- $L_1 = 0,405 \text{ m}$ ,  $L_2 = 0,433 \text{ m}$ ,  $L_3 = 1,075 \text{ m}$ ,  $L_4 = 1,762 \text{ m}$ ,  $L_5 = 0,165 \text{ m}$ ,  $L_6 = 0,250 \text{ m}$ ,  $L_7 = 0,550 \text{ m}$ ,  $L_8 = 0,750 \text{ m}$ .

**Question 6** Déterminer alors la valeur du couple  $C_{12}$ .

La valeur limite supérieure du couple  $C_{12}$  est fixée par le constructeur à 9000 Nm.

**Question 7** Le choix du robot permettra-t-il de garantir les conditions d'assemblage dans cette position ? Justifier la réponse.

Corrigé voir 115.

### Exercice 114 – Automate d'exploration de l'hémostase \*

#### C2-09 Pas de corrigé pour cet exercice.

Afin de valider le choix des moteurs, on étudie le déplacement sur l'axe  $\vec{x}$ . On note  $V_x$  la vitesse selon cet axe. On rappelle que la distance maximum à parcourir est  $x_M^{\max} = 550 \text{ mm}$  en 1 seconde. La loi de commande sur chaque axe est définie par un trapèze de vitesse (Figure 2) avec les temps d'accélération et de décélération ( $T_a$ ) identiques. De plus, les moteurs se mettent en route et s'arrêtent en même temps.  $T$  est la durée totale du déplacement. Nous allons chercher à optimiser cette loi de commande de sorte que le moteur fournit une puissance instantanée minimale.

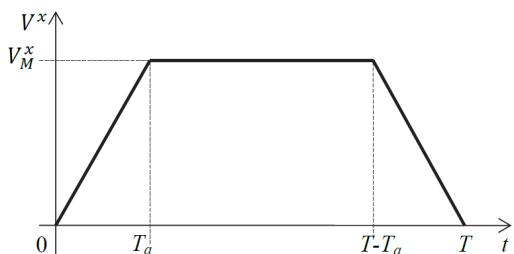


FIGURE 1 – Loi de commande de vitesse en trapèze

Le modèle de calcul pour cette commande d'axe est le suivant :

- le mouvement de rotation du moteur (vitesse  $\omega_m^x$ ) est transformé en mouvement de translation (vitesse  $V^x$ );

- le rapport de transmission de la chaîne cinématique est  $\lambda = \frac{V^x}{\omega_m^x}$  ;
- la distance à parcourir est  $x_M^{\max}$  ;
- l'inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée à l'arbre moteur est  $J_e$  ;
- les frottements et la pesanteur sont négligés, il n'y a donc pas de couple résistant.

**Question 1** Exprimer la vitesse maximale  $V_M^x$  en fonction de  $x_M^{\max}$ ,  $T$  et  $T_a$ .

**Question 2** Par application du théorème de l'énergie cinétique sur l'ensemble des pièces en mouvement, exprimer le couple moteur  $C_m$  en fonction de  $V_x$ ,  $T_a$ ,  $J_e$  et  $\lambda$  durant les trois phases du mouvement.

**Question 3** Préciser à quel(s) instant(s)  $t$  la puissance fournie par le moteur est maximale ( $P_{\max}$ ).

**Question 4** Exprimer cette puissance  $P_{\max}$  en fonction de  $V_M^x$ ,  $\lambda$ ,  $J_e$ , et  $T_a$ .

**Question 5** Donner alors l'expression de  $P_{\max}$  en fonction de  $x_M^{\max}$ ,  $\lambda$ ,  $J_e$ , et  $T_a$ .

**Question 6** À partir de cette expression, montrer que  $P_{\max}$  est minimale pour un réglage du temps d'accélération  $T_a$  tel que  $T_a = \frac{T}{3}$ .

Pour cette nouvelle commande avec  $T_a = \frac{T}{3}$ , on cherche à valider le choix du moteur en étudiant le déplacement maximum suivant  $\vec{x}$ . Les caractéristiques de la chaîne cinématique sont :

- vitesse maximale du moteur :  $N_{\max}^{\text{mot}} = 4150 \text{ tr min}^{-1}$  ;
- rapport de réduction du réducteur  $k = \frac{1}{10}$  ;
- rayon de poulie  $R_p = 20 \text{ mm}$ .

**Question 7** Déterminer la vitesse de rotation maximum  $\omega_m^x$  que doit atteindre le moteur. Le choix de celui-ci est-il validé ?

Corrigé voir 114.

### Exercice 113 – Système de levage à multiples colonnes \*

#### A3-01

#### Pas de corrigé pour cet exercice.

Les sociétés de transports publics des grandes agglomérations gèrent des réseaux comportant des bus et/ou des tramways. Ces sociétés possèdent des centres de maintenance ayant en charge l'entretien et la réparation de leurs véhicules. On s'intéresse ici à la maintenance de tramways sur rails de type TFS (Tramway Français Standard).

Le système de levage est constitué d'une armoire de commande (nommée PC) munie d'un pupitre de commande, d'un API (Automate Programmable Industriel),

de relais et cartes de commande pour moteurs. Cette PC peut gérer jusqu'à 10 colonnes de levage. Ces colonnes de levage sont des unités indépendantes mobiles que l'on peut déplacer manuellement grâce à des roues escamotables. Elles sont constituées d'un chariot de levage guidé par 4 galets roulant à l'intérieur d'une colonne (rails en tôle pliée).

L'entraînement du chariot se fait par une vis à filet trapézoïdal, mise en rotation par un moto-réducteur-frein asynchrone. On met en place les colonnes au niveau de la plate forme du tramway à soulever, aux endroits prévus à cet effet.

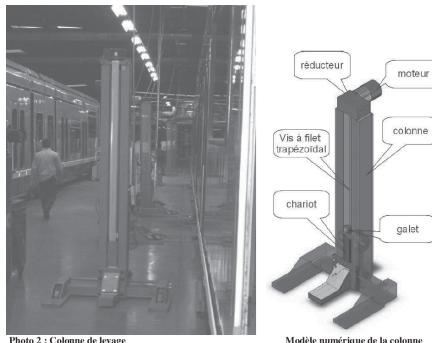


Photo 2 : Colonne de levage



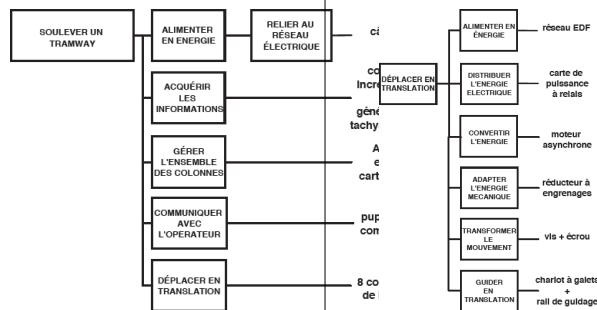
Photo 5 : Tramway en position soulevée

Photo 6 : Vis d'entraînement

Pour soulever un tramway de 45 tonnes et de 30 mètres de long, le service de maintenance utilise 8 colonnes de levage d'une capacité unitaire maximale de 8,2 tonnes commandées simultanément. Lorsque les colonnes sont en place, on démarre le cycle de levage : l'opérateur peut choisir un fonctionnement manuel ou automatique. En mode automatique, on affiche sur le pupitre la consigne de hauteur à atteindre, la PC pilote alors chaque moteur des 8 colonnes jusqu'à ce que cette hauteur soit atteinte. Chaque colonne est équipée d'un codeur incrémental informant la PC de la position du chariot de levage de la colonne. Pour un fonctionnement en toute sécurité, il faut assurer une certaine horizontalité du tramway soulevé : l'ensemble des points de levage doit être compris entre deux plans parallèles distants de 20 mm au maximum (coplanéité).

Le développement sous forme de FAST de la fonction principale F.P1 (plus simplement écrite « Soulever un tramway ») est donné ci-après.

Le développement sous forme de FAST de la fonction technique « Déplacer en translation » pour une colonne est donné ci-après.



**Question 1** Vous ne connaissez pas le diagramme FAST (je le sais). Quel(s) diagramme(s) SysML pourriez-vous utiliser pour remplacer les diagrammes « FAST ».

**Question 2** Réaliser la chaîne fonctionnelle du système de levage étudié.

Corrigé voir 113.

### Exercice 112 – Calcul de moment\*

**B2-14** Pas de corrigé pour cet exercice.

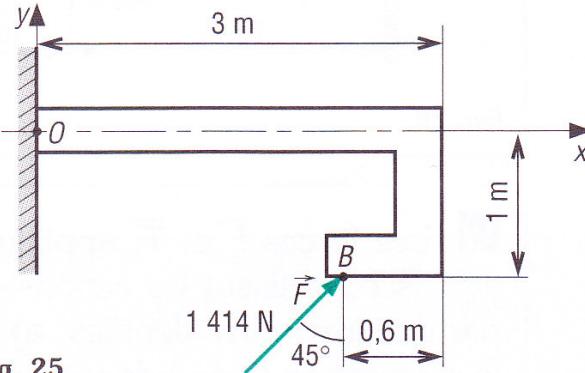


Fig. 25

**Question 1** Déterminer  $\overrightarrow{M}(B, \vec{F})$ .

**Question 2** Déterminer  $\overrightarrow{M}(O, \vec{F})$ .

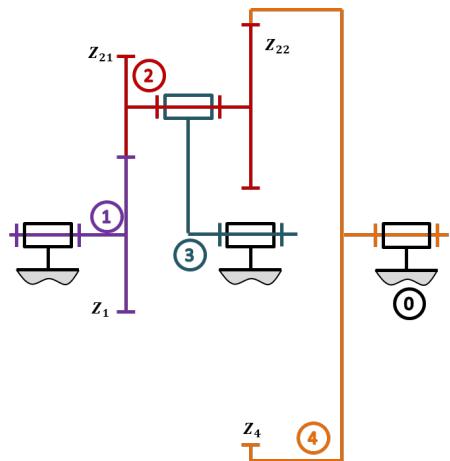
Corrigé voir 112.

### Exercice 111 – Train simple \*

**A3-05**

**C2-06**

Soit le train épicycloïdal suivant.



**Question 1** Tracer le graphe des liaisons.

**Question 2** Déterminer  $\omega_{40}$  en fonction de  $\omega_{30}$  et  $\omega_{10}$ .

**Question 3** On suppose que  $\omega_{40}$  est bloqué. Exprimer le rapport  $\frac{\omega_{30}}{\omega_{10}}$ .

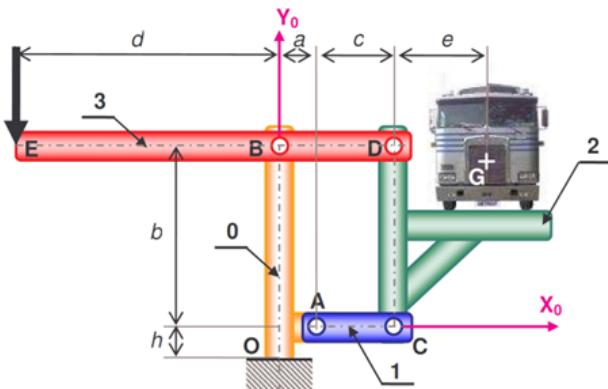
Corrigé voir 111.

### Exercice 110 – Pèse camion \*\*

**C2-07 Pas de corrigé pour cet exercice.**

On considère un bâti 0 auquel est attaché le repère  $\mathcal{R} = (O; \vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$ . Le champ de pesanteur est  $g = -g \vec{y}_0$ . La barre 1 est liée au bâti 0 par une liaison pivot parfaite d'axe  $(A, \vec{z}_0)$ . Le plateau porte camion 2 est lié à la barre 1 par une liaison pivot parfaite d'axe  $(C, \vec{z}_0)$ . Le levier 3 est lié au bâti 0 par une liaison pivot parfaite d'axe  $(B, \vec{z}_0)$ . Ce levier est également lié au plateau 2 par une liaison pivot parfaite d'axe  $(D, \vec{z}_0)$ . Le camion 4, de centre de masse G et de masse M inconnue, repose sur le plateau 2. L'action mécanique connue est caractérisée par :

$$\{ \text{ext} \rightarrow 3 \} = \left\{ \begin{array}{l} -F \vec{y}_0 \\ 0 \end{array} \right\}_E .$$



**Question 1** Déterminer la relation entre F et M. Que dire de la position du camion sur la plate-forme ?

**Question 2** Déterminer les actions mécaniques dans toutes les liaisons.

Corrigé voir 110.

### Exercice 109 – Automate d'exploration de l'hémostase \*

**C2-09 Pas de corrigé pour cet exercice.**

Le principe de la chronométrie consiste à mesurer la variation de l'amplitude d'oscillation d'une bille placée dans la cuvette de mesure (Figure 2).

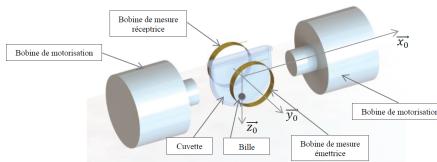


FIGURE 2 – Ensemble cuvette + bille avec bobines motrices et bobines de mesure

La bille, roulant sans glisser sur le fond cylindrique de la cuvette, est mise en mouvement par un champ magnétique variable induit par deux bobines motrices placées de part et d'autre de la tête de mesure. L'amplitude des oscillations est mesurée par deux autres bobines, l'une émettrice, l'autre réceptrice. Après amplification du signal mesuré, on obtient un signal quasi-sinusoidal, reflet de l'oscillation de la bille. A viscosité constante, on obtient un balancement pendulaire constant de la bille. Quand la viscosité augmente (phénomène de coagulation), l'amplitude d'oscillation de la bille varie. Pour chaque mesure, le champ magnétique est ajusté en fonction de la viscosité initiale du milieu et du type de test.

Le schéma de calcul est donné Figure 3.

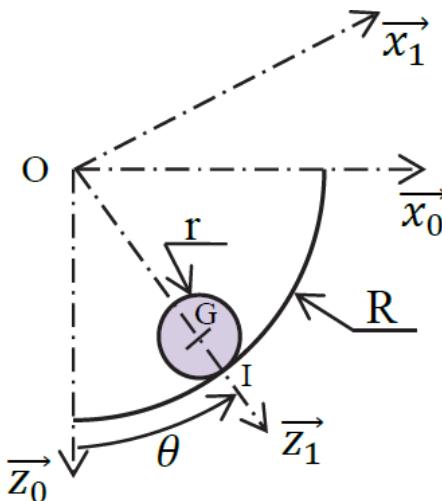


FIGURE 3 – Bille en contact avec le rail de la cuvette

Hypothèses :

- la bille de masse  $m$ , de centre de masse  $G$ , de rayon  $r$ , roule sans glisser sur un rail circulaire de rayon  $R$  dans le plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$ ;
- $I$  est le point de contact entre la bille et le rail circulaire;
- la position de la bille sur le rail est repérée par :  $\theta = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ .

On note :

- $\{\mathcal{T}(\text{rail} \rightarrow \text{bille})\} = \left\{ \begin{array}{l} -N_I \vec{z}_1 + T_I \vec{x}_1 \\ 0 \end{array} \right\}_I$ , le torseur associé à l'action mécanique du rail sur la bille;
- $f$  le coefficient d'adhérence au contact bille/cuvette :  $f = 0,1$ ;
- $\{\mathcal{T}(\text{bob} \rightarrow \text{bille})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}(\text{bob} \rightarrow \text{bille}) = F(t) \vec{x}_0 \\ 0 \end{array} \right\}_G$  le torseur associé à l'effort résultant des deux bobines de motorisation sur la bille, avec  $F(t) = F_0 \sin(\omega_{\text{bob}}(t))$ ;
- $\{\mathcal{T}(\text{fluide} \rightarrow \text{bille})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}(\text{fluide} \rightarrow \text{bille}) = -f_v V(G) \vec{y}_0 \\ 0 \end{array} \right\}_G$  le torseur associé à l'action du fluide sur la bille induite par la viscosité. On se place dans l'hypothèse simplificatrice d'un écoulement laminaire pour lequel le modèle de Stokes est applicable : le coefficient de frottement visqueux vaut alors  $f_v = 6\pi r \eta$  où  $\eta$  est la viscosité du sang qui varie lors de la coagulation;
- $\{\mathcal{T}(g \rightarrow \text{bille})\} = \left\{ \begin{array}{l} mg \vec{z}_0 \\ 0 \end{array} \right\}_G$ , le torseur associé à l'action de la pesanteur sur la bille;
- $\{\mathcal{V}(\text{bille}/0)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{\Omega(\text{bille}/0)} = \omega_b \vec{y}_0 \\ V(G, \text{bille}/0) = v \vec{x}_1 \end{array} \right\}_G$ , le torseur cinématique de la bille par rapport au rail 0;
- $J = \frac{2}{5} m r^2$ , le moment d'inertie de la bille autour de l'axe  $(G, \vec{y}_0)$ ;
- $R = \|\vec{OI}\|$ , le rayon du rail,  $r = \|\vec{GI}\|$ , le rayon de la bille.

On notera  $F(p)$  la transformée de Laplace de la fonction  $f(t)$  où  $p$  représente la variable de Laplace.

**Question 1** En exprimant la condition de roulement sans glissement en  $I$ , déterminer  $\omega_b$  et  $v$ , les composantes du torseur cinématique en  $G$  de la bille par rapport au rail 0, en fonction de  $\theta$ ,  $r$  et  $R$ .

**Question 2** En justifiant clairement la démarche et les théorèmes utilisés : montrer que les efforts normal  $N_I$  et tangentiel  $T_I$  du rail sur la bille sont liés à l'angle  $\theta$  par les équations suivantes :

$$N_I = F(t) \sin \theta + mg \cos \theta + m(R-r)\dot{\theta}^2 \quad \text{et} \quad T_I = \frac{2}{5}m(r-R)\ddot{\theta}$$

**Question 3** En justifiant clairement la démarche et les théorèmes utilisés, montrer que  $\frac{7}{5}m(r-R)\ddot{\theta} + f_v(r-R)\dot{\theta} + mg \sin \theta = F(t) \cos \theta$ .

Corrigé voir 109.

### Exercice 108 – Le banc balafré \*

#### A3-06 Pas de corrigé pour cet exercice.

Entre autres contrôles de la chaîne d'acquisition, le superviseur vérifie que la mesure des efforts se fait correctement : au niveau des actionneurs piézoélectriques et au niveau du joint testé. Les capteurs de force utilisés sur le système sont analogiques. Afin de simplifier le

traitement et l'interprétation de ces forces, on utilise un amplificateur de charges à plusieurs canaux (voir figure 4).

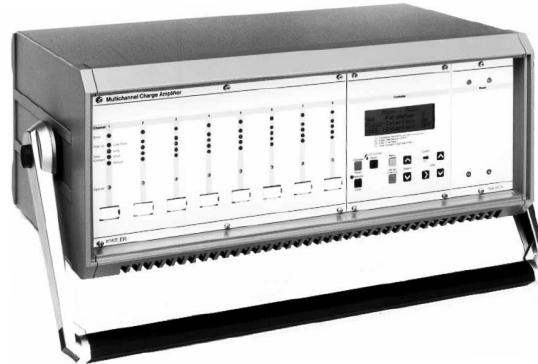


FIGURE 4 – Amplificateur de charge à plusieurs canaux KISTLER.

Cet amplificateur possède deux options qui sont utilisées sur le banc Balafré :

- l'amplificateur de sommation pour le calcul analogique des forces et moments résultants;
- un convertisseur Analogique/Numérique pour faire le traitement des données (algorithme de contrôle).

Dans l'algorithme de contrôle, la valeur d'effort de chaque actionneur est comparée à la valeur théorique de la consigne effectuée pour le contrôle. Si un écart trop grand est constaté, l'algorithme de contrôle émet un signal d'erreur (Controle=2). Pour cette mesure, on considère qu'une résolution inférieure à 10 N est nécessaire. La conversion analogique/numérique se fait ici sur 12 bits. La mesure de l'effort se fait sur la plage de -20 à 20 kN. Les données techniques utiles sont rassemblées sur la figure 5.

Le capteur de force (voir figure 6) utilisé est un capteur KISTLER 9167A, permettant de mesurer des efforts dans trois directions. Pour la mesure de l'effort développé par les actionneurs, seule la direction Z est utilisée, et la sensibilité du capteur dans cette direction est  $4,2 \text{ pCN}^{-1}$ . Le synoptique de la figure 7 présente la structure interne de l'amplificateur de charge.

Ladungsverstärker	Amplificateur de charge	Charge amplifier
Anzahl Messkanäle	Nombre des canaux de mesure	Number of measuring channels
Messbereich	Gamma de mesure	Measuring range
Sensorempfindlichkeit	Sensibilité du capteur	Sensor sensitivity
Massstab	Echelle	Scale
Ausgangsspannung	Tension de sortie	Output voltage
Ausgangstrom	Courant de sortie (protégé contre les court-circuits)	Output current (short-circuit protected)
(kurzschlussicher)	Impédance de sortie	Output impedance
Ausgangsimpedanz	Gamma de fréquence (-3dB, Filter off)	Frequency limit (-3dB, Filter off)
Frequenzbereich	Filtre passe-bas	Low-pass filter
Tiefpassfilter	Butterworth 2-pôle, à 8 étages 10, 30, 100 ... (-3dB)	Butterworth 2-pole, 8 stages 10, 30, 100 ... (-3dB)
Butterworth 2-pol., 8-stufig 10, 30, 100 ... (-3dB)	Constante de temps	Time constant
Zeilkonstante	Long	Long
Hochpassfilter	Medium	High-pass filter
Short	Short	Medium
Linearität	Linéarité	Linearity
Messfehler	Erreur de mesure	Measuring error
$\pm 99,9 \text{ pC FS}$	$\pm 99,9 \mu\text{C FS}$	$\pm 99,9 \text{ pC FS}$
$\pm 100 \text{ pC FS}$	$\pm 100 \mu\text{C FS}$	$\pm 100 \text{ pC FS}$
Ausgangsstörignal	Interférence à la sortie	Output interference
Drift (Leckstrom MOSFET)	Dérive (courant d'entrée MOSFET)	Drift (input current MOSFET)
bei 25 °C	à 25 °C	at 25 °C

FIGURE 5 – Amplificateur de charge à plusieurs canaux KISTLER.



FIGURE 6 – Capteur de force KISTLER 9167A.

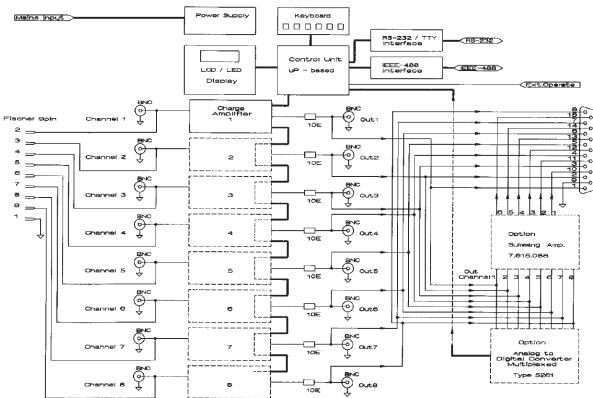


FIGURE 7 – Synoptique de la structure interne de l'amplificateur de charge.

**Question 1** Sur le synoptique de la figure 7, on peut lire « Analog to Digital Converter Multiplexed ». Que signifie le terme multiplexé utilisé ici ?

**Question 2** Compte tenu de la sensibilité du capteur et de l'étendue des valeurs à mesurer, déterminer la gamme de mesure à régler sur l'amplificateur de charge.

**Question 3** En utilisant la documentation technique de l'amplificateur de charge, déterminer la plage de variation de la tension de sortie de l'amplificateur. En déduire le quantum de la conversion analogique numérique, puis la résolution de la mesure. Conclure vis-à-vis de la résolution demandée.

Corrigé voir 108.

### Exercice 107 – Assemblage par frettage \*

**B2-14** Pas de corrigé pour cet exercice.

Le frettage consiste à encastrer deux pièces en utilisant le phénomène d'adhérence.

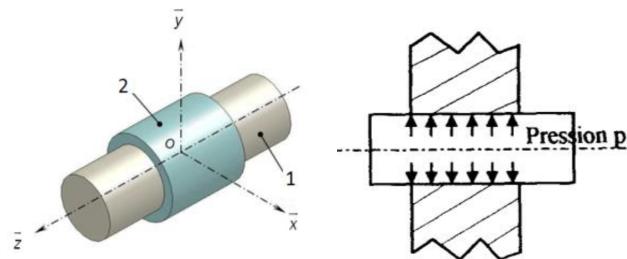
Avant l'assemblage réalisé à l'aide d'une presse, l'arbre 1 possède un diamètre légèrement supérieur à celui de l'alésage (trou cylindrique) de la pièce 2 dans laquelle il vient se loger.

Après frettage, il subsiste donc une pression de contact  $p$  (souvent supposée uniforme sur toute la surface de contact) entre les deux pièces.

Les caractéristiques de cet assemblage par frettage sont les suivantes :

- $R$  : rayon de l'arbre 1 ;
- $L$  : longueur du contact ;

- $f$  : facteur d'adhérence entre les deux pièces.

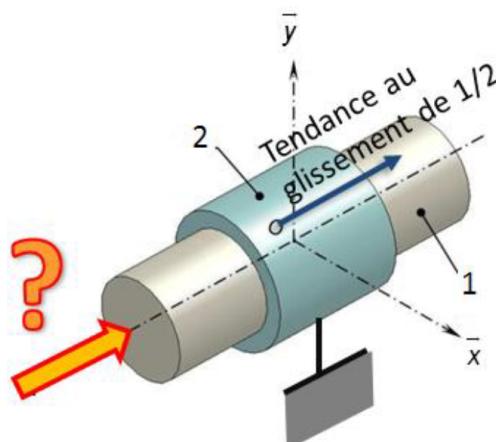


**Objectif** Déterminer l'effort axial maximal transmissible et le couple maximal transmissible d'une pièce à l'autre.

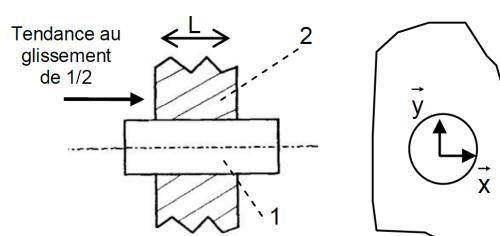
### Effort axial maximal transmissible

L'effort axial maximal transmissible correspond à la valeur maximale de la composante axiale de la résultante de l'action mécanique qui peut être transmise d'une pièce à l'autre sans qu'elles se désolidarisent.

Pour simplifier notre étude, on considère la pièce 2 fixe et on cherche à déterminer la composante axiale de la résultante de l'action mécanique à appliquer à la pièce 1 pour atteindre le glissement de  $1/2$  suivant  $\vec{z}$ .



**Question 1** Refaire en grand les 2 schémas : un dans le plan ( $\vec{y}, \vec{z}$ ) et l'autre dans le plan ( $\vec{x}, \vec{y}$ ), en plaçant les actions élémentaires normale et tangentielle de 2 sur 1 en un point Q quelconque de la surface de contact.



**Question 2** Exprimer  $dF_{2 \rightarrow 1}(Q)$ .

**Question 3** Déterminer la résultante axiale maximale transmissible en fonction de  $p$  et des caractéristiques

géométriques du fretteage.

**Question 4** Calculer  $\overrightarrow{R(2 \rightarrow 1)}$  lorsque la pression est de la forme :  $p(\theta) = p_0 \cos \theta$  pour  $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$ .

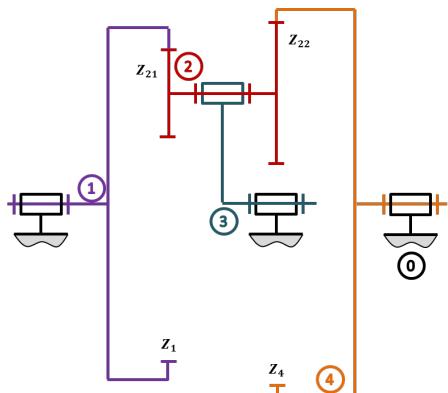
Corrigé voir 107.

### Exercice 106 – Train simple \*

A3-05

C2-06

Soit le train épicycloïdal suivant.



**Question 1** Tracer le graphe des liaisons.

**Question 2** Déterminer  $\omega_{40}$  en fonction de  $\omega_{30}$  et  $\omega_{10}$ .

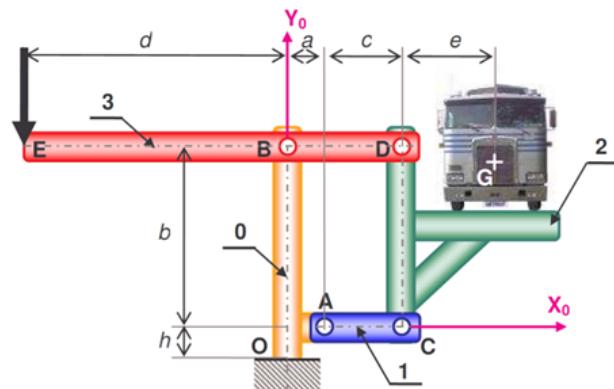
**Question 3** On suppose que  $\omega_{40}$  est bloqué. Exprimer le rapport  $\frac{\omega_{30}}{\omega_{10}}$ .

Corrigé voir 106.

### Exercice 105 – Pèse camion \*

C2-07

On considère un bâti **0** auquel est attaché le repère  $\mathcal{R} = (O; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . Le champ de pesanteur est  $\vec{g} = -g \vec{y}_0$ . La barre **1** est liée au bâti **0** par une liaison pivot parfaite d'axe  $(A, \vec{z}_0)$ . Le plateau porte camion **2** est lié à la barre **1** par une liaison pivot parfaite d'axe  $(C, \vec{z}_0)$ . Le levier **3** est lié au bâti **0** par une liaison pivot parfaite d'axe  $(B, \vec{z}_0)$ . Ce levier est également lié au plateau **2** par une liaison pivot parfaite d'axe  $(D, \vec{z}_0)$ . Le camion **4**, de centre de masse  $G$  et de masse  $M$  inconnue, repose sur le plateau **2**. L'action mécanique connue est caractérisée par :  $\{\text{ext} \rightarrow 3\} = \left\{ \begin{array}{c} -F \vec{y}_0 \\ 0 \end{array} \right\}_E$ .



**Question 1** Tracer le graphe des liaisons en indiquant les actions mécaniques.

**Question 2** Appliquer le PFS au solide 1.

**Question 3** Appliquer le PFS au solide 2.

**Question 4** Appliquer le PFS au solide 3.

**Question 5** Déterminer les actions mécaniques dans chacune des liaisons.

Corrigé voir 105.

### Exercice 104 – Codeur incrémental \*

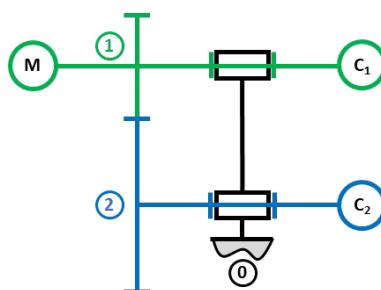
A3-06 Pas de corrigé pour cet exercice.

**Question 1** Donner le rôle et le principe de fonctionnement (schémas) d'un codeur incrémental optique.

**Question 2** Le codeur est équipé d'une voie de mesure et d'un disque à 25 fentes. Donner la résolution du capteur en degrés.

**Question 3** Quelle sera la résolution du capteur s'il est équipé de deux voies de mesure ?

Un codeur est monté en sortie d'un moteur. Le moteur est suivi d'un réducteur de rapport 100.



**Question 4** Quelle est la résolution du capteur vis-à-vis de l'arbre de sortie du réducteur ?

La position du codeur est transformée par un convertisseur numérique analogique en V. Ce convertisseur permet de convertir des angles variant de  $-10$  tours à  $+10$  tours sur une échelle de  $-5$  à  $+5$  V.

**Question 5** Donner le gain du convertisseur numérique analogique.

Corrigé voir 104.

### Exercice 103 – Assemblage par frettage \*

**B2-14** Pas de corrigé pour cet exercice.

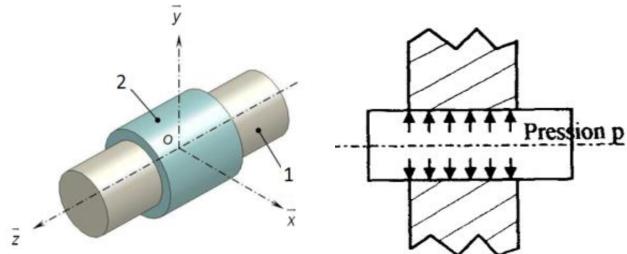
Le frettage consiste à encastrer deux pièces en utilisant le phénomène d'adhérence.

Avant l'assemblage réalisé à l'aide d'une presse, l'arbre 1 possède un diamètre légèrement supérieur à celui de l'alésage (trou cylindrique) de la pièce 2 dans laquelle il vient se loger.

Après frettage, il subsiste donc une pression de contact  $p$  (souvent supposée uniforme sur toute la surface de contact) entre les deux pièces.

Les caractéristiques de cet assemblage par frettage sont les suivantes :

- $R$  : rayon de l'arbre 1 ;
- $L$  : longueur du contact ;
- $f$  : facteur d'adhérence entre les deux pièces.

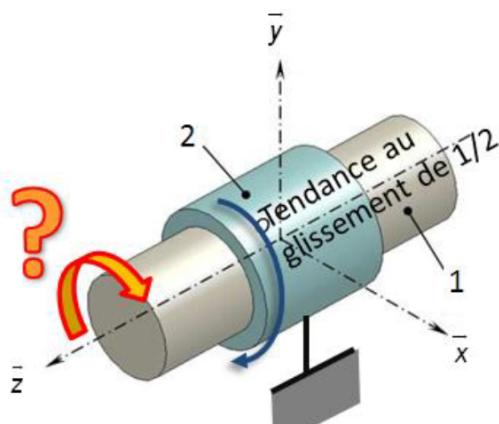


**Objectif** Déterminer l'effort axial maximal transmissible et le couple maximal transmissible d'une pièce à l'autre.

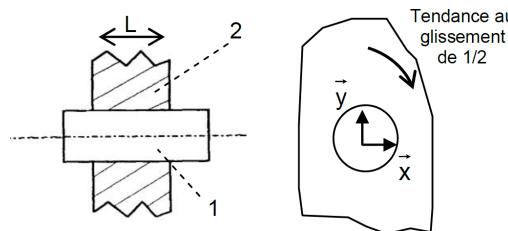
### Couple maximal transmissible

Le couple (ou moment) maximal transmissible correspond à la valeur maximale de la composante sur l'axe  $\vec{z}$  du moment résultant de l'action mécanique qui peut être transmise d'une pièce à l'autre sans qu'elles se désolidarisent.

Pour simplifier notre étude, on considère la pièce 2 fixe et on cherche à déterminer la composante sur l'axe  $\vec{z}$  du moment résultant de l'action mécanique à appliquer à la pièce 1 pour atteindre le glissement de 1/2 autour de  $\vec{z}$ .



**Question 1** Refaire en grand les 2 schémas : un dans le plan ( $\vec{y}, \vec{z}$ ) et l'autre dans le plan ( $\vec{x}, \vec{y}$ ), en plaçant les actions élémentaires normale et tangentielle de 2 sur 1 en un point Q quelconque de la surface de contact.



**Question 2** Exprimer  $\overrightarrow{dF_{2 \rightarrow 1}(Q)}$ .

**Question 3** Déterminer le couple maximal transmissible en fonction de  $p$  et des caractéristiques géométriques du frettage.

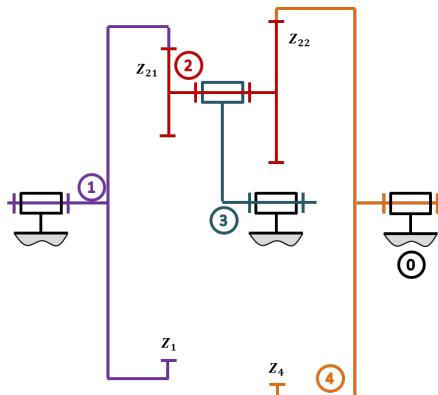
Corrigé voir 103.

### Exercice 102 – Train simple \*

**A3-05**

**C2-06**

Soit le train d'engrenages suivant.



**Question 1** Tracer le graphe des liaisons.

**Question 2** Déterminer  $\omega_{40}$  en fonction de  $\omega_{30}$  et  $\omega_{10}$ .

**Question 3** On suppose que  $\omega_{40}$  est bloqué. Exprimer le rapport  $\frac{\omega_{30}}{\omega_{10}}$ .

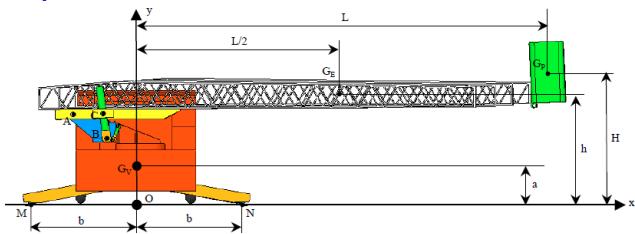
Corrigé voir 102.

### Exercice 101 – Système EPAS \*\*

**C2-07** Pas de corrigé pour cet exercice.

Le véhicule porteur de l'E.P.A.S. doit être équipé de stabilisateurs. Une fois en place, les stabilisateurs le soulèvent, afin qu'il ne repose plus sur les roues (les roues touchent le sol mais ne supportent aucun poids) : le mouvement des suspensions du véhicule mettrait en danger sa stabilité.

L'objet de cette partie est de déterminer la longueur de déploiement maximal que le système de sécurité pourra autoriser.



Le véhicule est dans la configuration de la figure précédente :

- parc échelle horizontale;
- stabilisateurs sortis au maximum;
- charge maximale dans la plate-forme.

Le problème sera traité en statique plane dans le plan ( $O, \vec{x}, \vec{y}$ ) de la figure précédente.

Les efforts pris en compte sont :

- les actions de pesanteur sur chaque élément :
  - véhicule et charge utile, centre d'inertie  $G_V$ , masse  $m_V$ ,  $\overrightarrow{OG_V} = a \vec{y}$ ,
  - parc échelle, centre d'inertie  $G_E$ , masse  $m_E$ ,

$$\overrightarrow{OG_E} = \frac{L}{2} \vec{x} + h \vec{y},$$

- plate-forme et charge utile, centre d'inertie  $G_P$ , masse  $m_P$ ,  $\overrightarrow{OG_P} = L \vec{x} + H \vec{y}$ ;

- les actions de contact de la route sur les stabilisateurs.

Ces actions sont modélisées par des glisseurs passant l'un par  $M$ , tel que  $\overrightarrow{OM} = -b \vec{x}$  et l'autre par  $N$  tel que  $\overrightarrow{ON} = b \vec{x}$ . Les résultantes de ces glisseurs seront notées respectivement :  $\overrightarrow{R_M} = X_M \vec{x} + Y_M \vec{y}$  et  $\overrightarrow{R_N} = X_N \vec{x} + Y_N \vec{y}$ .

**Question 1** Exprimer la condition de non basculement de l'ensemble.

**Question 2** Calculer la longueur  $L_{max}$  de déploiement au-delà de laquelle il y aura basculement.

Corrigé voir 101.