

DDS 4

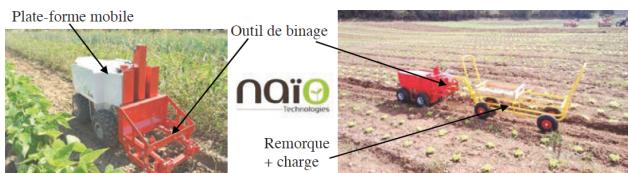
Les ptits devoirs du soir Xavier Pessoles

Exercice 118 – Robot de maraîchage Oz 440 *

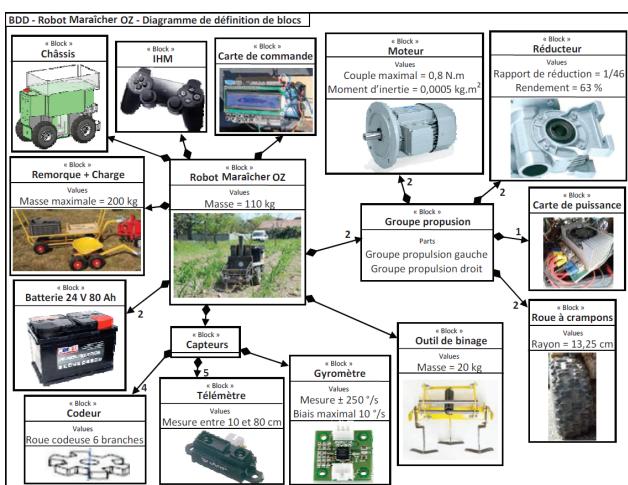
A3-01

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 – Train simple *

D'après Florestan Mathurin.

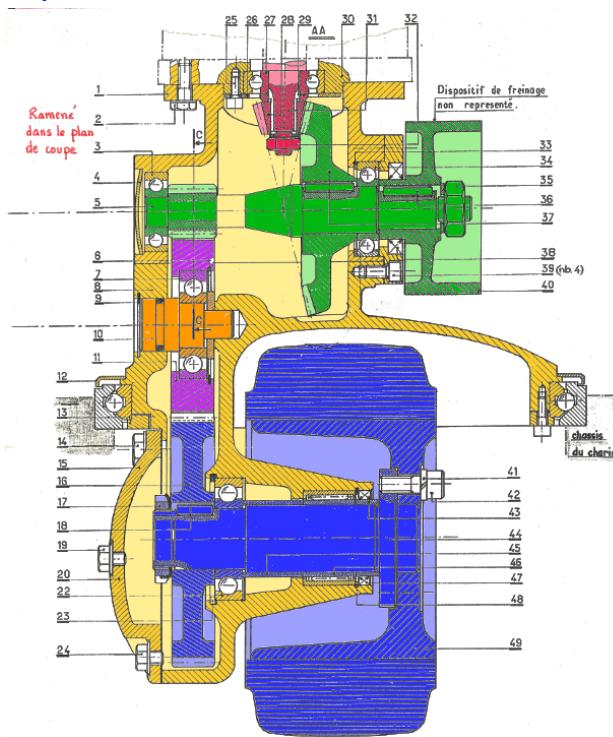
A3-05

C2-06

On s'intéresse au réducteur équipant la roue arrière motrice et directionnelle d'un chariot élévateur de manutention automoteur à conducteur non porté.

Données : $z_{27} = 16$ dents, $z_{35} = 84$ dents, $z_5 = 14$ dents, $z_{11} = 56$ dents, $z_{16} = 75$ dents.

Question 1 Identifier les classes d'équivalence cinématique sur le dessin d'ensemble.



Question 2 Construire le schéma cinématique du réducteur dans le même plan que le dessin.

Question 3 Compléter le tableau donnant les caractéristiques des roues et pignons.

Repère de la roue	Module m (mm)	Nombre de dents Z	Diamètre primitif D (mm)
27			
35	1,5		
5			
11	1,5		
16			

Question 4 Après avoir proposé un paramétrage, indiquer dans quel sens tourne la roue si le moteur 28 (31) tourne dans le sens positif.

Question 5 Pour une vitesse de 1500 tr/min en sortie de moteur, déterminer la vitesse de rotation de la roue. Le diamètre de la roue est de 150 mm. Quelle est la vitesse du véhicule?

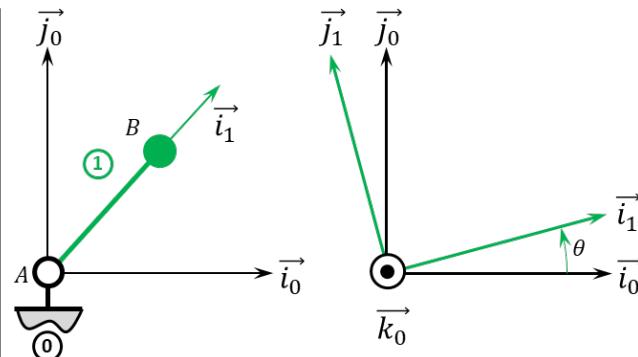
Corrigé voir 117.

Exercice 116 – Mouvement R *

B2-14

C1-05 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \overrightarrow{i_1}$ avec $R = 20$ mm. La liaison pivot est motorisée par un moteur modélisée dont l'action mécanique sur 1 est donnée par $\overrightarrow{C_m} = C_m \overrightarrow{k_0}$. On note m_1 la masse du solide 1 et B son centre d'inertie. La pesanteur est telle que $\overrightarrow{g} = -g \overrightarrow{j_0}$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

Question 2 Proposer une démarche permettant de déterminer la loi du mouvement de 1 par rapport à \mathcal{R}_0 .

Corrigé voir 116.

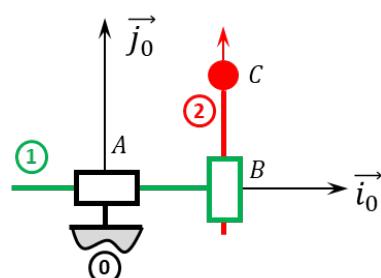
Exercice 115 – Mouvement TT – *

C2-09 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On note $\overrightarrow{AB} = \lambda(t) \overrightarrow{i_0}$ et $\overrightarrow{BC} = \mu(t) \overrightarrow{j_0}$. $G_1 = B$ désigne le centre d'inertie de 1, et m_1 sa masse et $I_{G_1}(1) = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_1}$; $G_2 = C$ désigne le centre d'inertie de 2 et m_2 sa masse et $I_{G_2}(2) = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_2}$.

Un vérin électrique positionné entre 0 et 1 permet d'actionner le solide 1. Un vérin électrique positionné entre 1 et 2 permet d'actionner le solide 2.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\overrightarrow{g} = -g \overrightarrow{j_0}$.

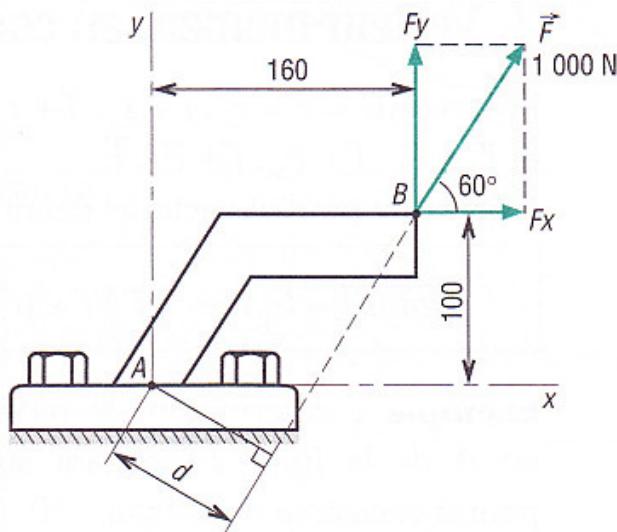


Question 1 Dans le but d'obtenir les lois de mouvement, appliquer le théorème de la résultante dynamique au solide 2 en projection sur $\overrightarrow{j_0}$ puis le théorème de la résultante dynamique à l'ensemble 1+2 en projection sur $\overrightarrow{i_0}$

Corrigé voir 115.

Exercice 114 – Calcul de moment *

B2-14 Pas de corrigé pour cet exercice.



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

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

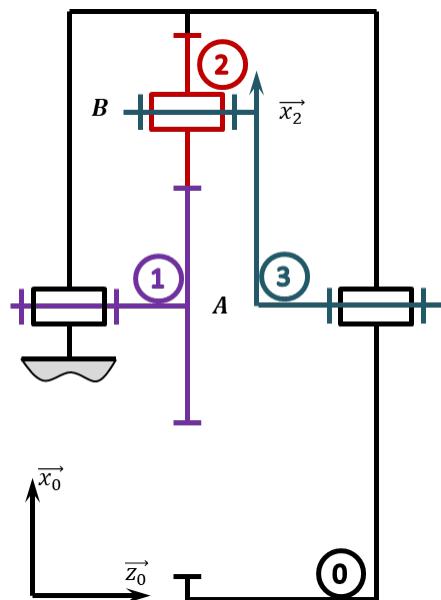
Corrigé voir 114.

Exercice 112 – Train simple *

A3-05

C2-06

Soit le train épicycloïdal suivant.



DDS

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 112.

Exercice 113 – Mouvement RR *

B2-14

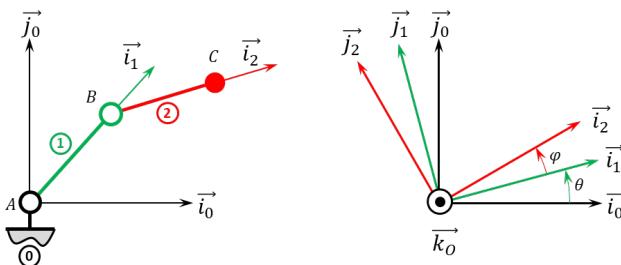
C1-05 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \vec{i}_1$ avec $R = 20\text{mm}$ et $\overrightarrow{BC} = L \vec{i}_2$ avec $L = 15\text{mm}$. De plus :

- G_1 désigne le centre d'inertie de **1** et $\overrightarrow{AG_1} = \frac{1}{2}R \vec{i}_1$, on note m_1 la masse de **1**;
- G_2 désigne le centre d'inertie de **2** et $\overrightarrow{BG_2} = \frac{1}{2}L \vec{i}_2$, on note m_2 la masse de **2**.

Un moteur électrique positionné entre **0** et **1** permet d'actionner le solide **1**. Un moteur électrique positionné entre **1** et **2** permet d'actionner le solide **2**.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\vec{g} = -g \vec{j}_0$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

Question 2 Proposer une démarche permettant de déterminer les loi de mouvement de **1** et de **2** par rapport à \mathcal{R}_0 .

Corrigé voir 113.

Exercice 111 – Mouvement RT *

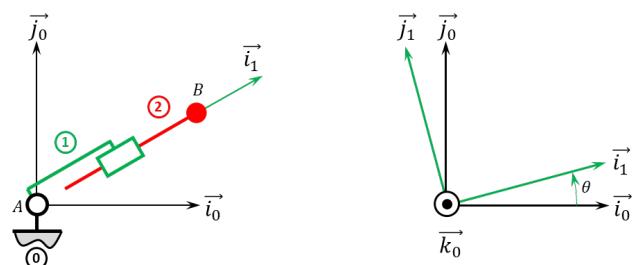
C2-09 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = \lambda(t) \vec{i}_1$. De plus :

- G_1 désigne le centre d'inertie de **1** et $\overrightarrow{AG_1} = L_1 \vec{i}_1$, on note m_1 la masse de **1** et $I_{G_1}(1) = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_1}$;
- $G_2 = B$ désigne le centre d'inertie de **2**, on note m_2 la masse de **2** et $I_{G_2}(2) = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_2}$.

Un moteur électrique positionné entre **0** et **1** permet d'actionner le solide **1**. Un vérin électrique positionné entre **1** et **2** permet d'actionner le solide **2**.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\vec{g} = -g \vec{j}_0$.



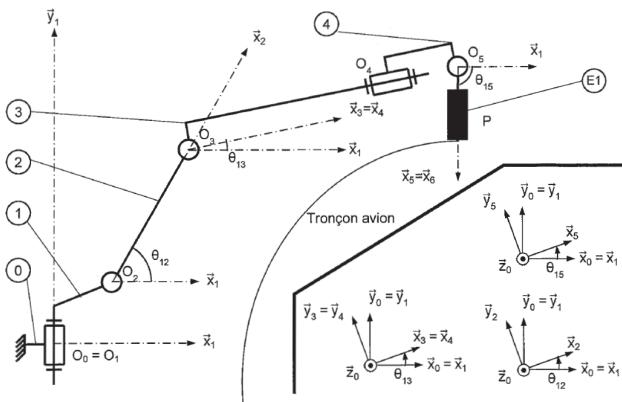
Question 1 Dans le but d'obtenir les lois de mouvement, appliquer le théorème de la résultante dynamique au solide 2 en projection sur \vec{x}_1 puis le théorème du moment dynamique à l'ensemble 1+2 au point A en projection sur \vec{k}_0

Corrigé voir 111.

Exercice 110 – 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 $\overrightarrow{O_1 O_2} = L_1 \vec{x}_1 + L_2 \vec{y}_1$, $\vec{z}_1 = \vec{z}_2$ 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 $\overrightarrow{O_2 O_3} = L_3 \vec{x}_2$, $\vec{z}_1 = \vec{z}_3$ 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 $\overrightarrow{O_3 O_4} = L_4 \vec{x}_3 + l_5 \vec{y}_3$, $\vec{x}_3 = \vec{x}_4$ 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 $\overrightarrow{O_4 O_5} = L_5 \vec{x}_4$, $\vec{z}_1 = \vec{z}_5$ 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 $\overrightarrow{O_2 G_2} = \frac{1}{2} L_3 \vec{x}_2$.

La masse du bras (3) et du bras (4) est notée M_{34} et la position du centre de gravité est définie par $\overrightarrow{O_3 G_3} = \frac{1}{3} L_4 \vec{x}_3 + L_5 \vec{y}_3$.

La masse de l'ensemble (E1) est notée M_{E1} et la position du centre de gravité est définie par $\overrightarrow{O_5 G_5} = L_7 \vec{x}_5$.

L'extrémité de l'outil est définie par le point P définie par $\overrightarrow{O_5 P} = L_8 \vec{x}_5$.

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

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

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

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 Σ à isoler afin de déterminer le couple C_{12} .

Question 3 Réaliser un bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à Σ 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 θ_{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 , θ_{12} , θ_{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 110.

Exercice 109 – 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.

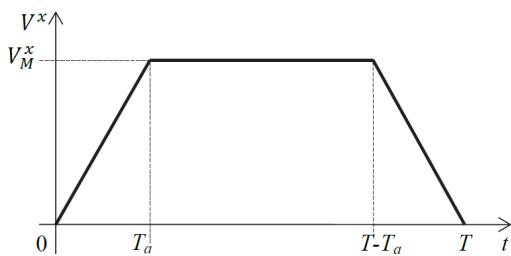


FIGURE 1 – Loi de commande de vitesse en trapèze

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

- le mouvement de rotation du moteur (vitesse ω_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 λ 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 , λ , J_e , et T_a .

Question 5 Donner alors l'expression de P_{\max} en fonction de x_M^{\max} , λ , 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 ω_{\max}^x que doit atteindre le moteur. Le choix de celui-ci est-il validé ?

Corrigé voir 109.

Exercice 108 – Mouvement RR 3D **

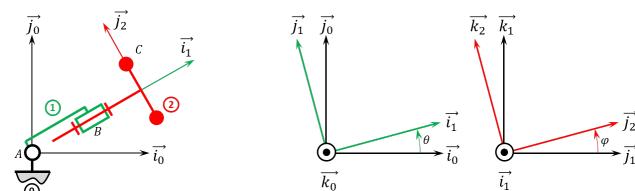
B2-14

C1-05 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \overrightarrow{i_1}$ et $\overrightarrow{BC} = \ell \overrightarrow{i_2} + r \overrightarrow{j_2}$. On note $R + \ell = L = 20 \text{ mm}$ et $r = 10 \text{ mm}$. De plus :

- $G_1 = B$ désigne le centre d'inertie de **1**, on note m_1 la masse de **1** ;
- G_2 désigne le centre d'inertie de **2** tel que $\overrightarrow{BG_2} = \ell \overrightarrow{i_2}$, on note m_2 la masse de **2**.

Un moteur électrique positionné entre **0** et **1** permet d'actionner le solide **1**. Un moteur électrique positionné entre **1** et **2** permet d'actionner le solide **2**. L'accélération de la pesanteur est donnée par $\overrightarrow{g} = -g \overrightarrow{j_0}$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

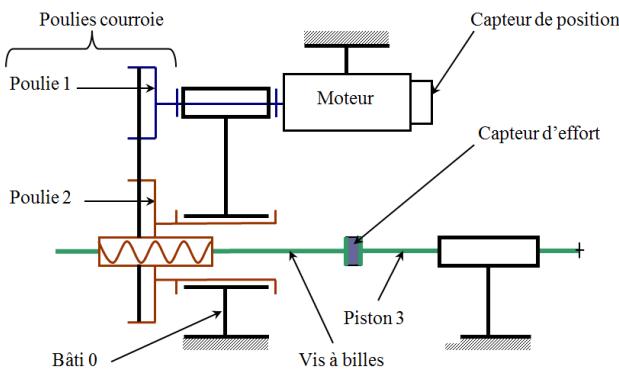
Question 2 Proposer une démarche permettant de déterminer les lois de mouvement de **1** et de **2** par rapport à \mathcal{R}_0 .

Corrigé voir 108.

Exercice 107 – Système vis-écrou * D'après ressources Pole Chateaubriand – Joliot-Curie.

A3-05
C2-06

Soit la chaîne de transmission suivante.



Le schéma du restituteur actif est donné ci-dessous. Le pas de la vis est $p_v = 10\text{ mm}$. Le diamètre de la poulie 2 est le double de celui de la poulie 1.

Question 1 Sur le schéma cinématique, repasser chaque solide d'une couleur différente.

Question 2 Réaliser la chaîne d'énergie-puissance partielle en définissant les noms des transmetteurs et les grandeurs d'entrée et de sortie cinématiques.

Question 3 Définir la loi entrée-sortie entre la vitesse de translation du piston 3 et la vitesse de rotation du moteur 1.

Corrigé voir 107.

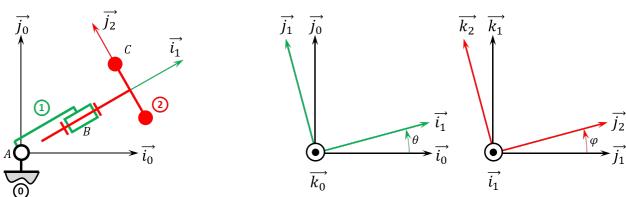
Exercice 106 – Mouvement RR 3D **

B2-14
C2-09 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \vec{i}_1$ et $\overrightarrow{BC} = \ell \vec{i}_2 + r \vec{j}_2$. On note $R + \ell = L = 20\text{ mm}$ et $r = 10\text{ mm}$. De plus :

- $G_1 = B$ désigne le centre d'inertie de 1, on note m_1 la masse de 1 et $I_{G_1}(1) = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_1}$;
- G_2 désigne le centre d'inertie de 2 tel que $\overrightarrow{BG_2} = \ell \vec{i}_2$, on note m_2 la masse de 2 et $I_{G_2}(2) = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_2}$.

Un moteur électrique positionné entre 0 et 1 permet d'actionner le solide 1. Un moteur électrique positionné entre 1 et 2 permet d'actionner le solide 2. L'accélération de la pesanteur est donnée par $\vec{g} = -g \vec{j}_0$.



Question 1 Dans le but d'obtenir les lois de mouvement, appliquer le théorème du moment dynamique au solide 2 au point A en projection sur \vec{i}_1 .

Question 2 Dans le but d'obtenir les lois de mouvement, appliquer le théorème du moment dynamique à l'ensemble 1+2 au point A en projection sur \vec{k}_0 .

Corrigé voir 106.

Exercice 105 – Mouvement RR *

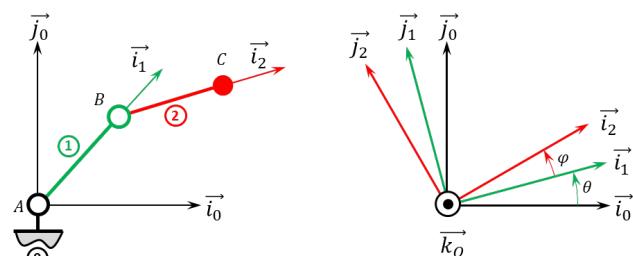
B2-14
B2-15
C1-05

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \vec{i}_1$ avec $R = 20\text{ mm}$ et $\overrightarrow{BC} = L \vec{i}_2$ avec $L = 15\text{ mm}$. De plus :

- G_1 désigne le centre d'inertie de 1 et $\overrightarrow{AG_1} = \frac{1}{2} R \vec{i}_1$, on note m_1 la masse de 1;
- G_2 désigne le centre d'inertie de 2 et $\overrightarrow{BG_2} = \frac{1}{2} L \vec{i}_2$, on note m_2 la masse de 2.

Un moteur électrique positionné entre 0 et 1 permet de maintenir 1 en équilibre. Un moteur électrique positionné entre 1 et 2 permet de maintenir 2 en équilibre.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\vec{g} = -g \vec{j}_0$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

Question 2 Donner le torseur de chacune des actions mécaniques.

Question 3 Simplifier les torseurs dans l'hypothèse des problèmes plans.

Question 4 Proposer une démarche permettant de déterminer les couples que doivent développer chacun des moteurs pour maintenir le mécanisme en équilibre.

Corrigé voir 105.

Exercice 103 – 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 trapezoïdal, 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.

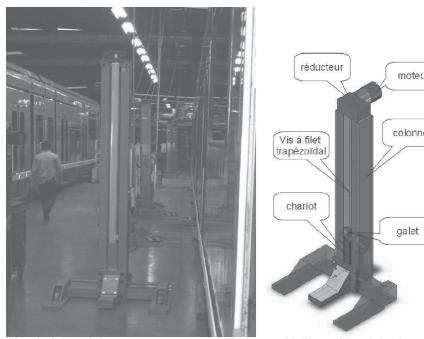


Photo 2 : Colonne de levage

Modèle numérique de la colonne

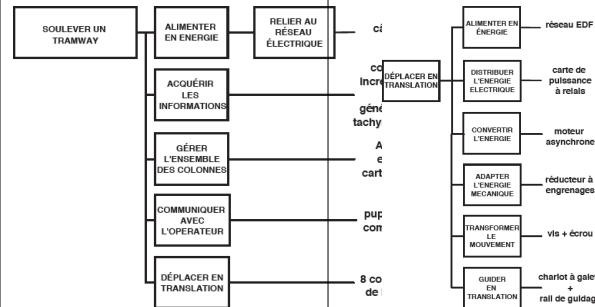


Photo 5 : Tramway en position soulevée

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 103.

Exercice 103 – Calcul de moment*

B2-14 Pas de corrigé pour cet exercice.

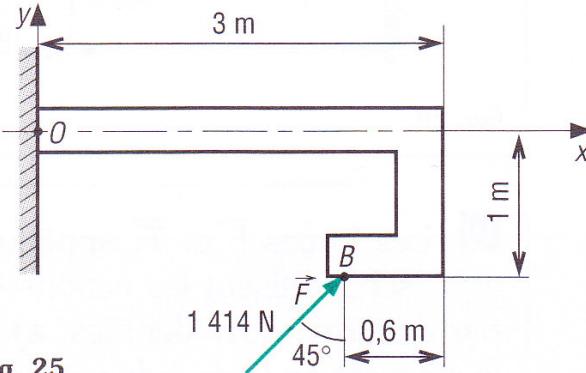


Fig. 25

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

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

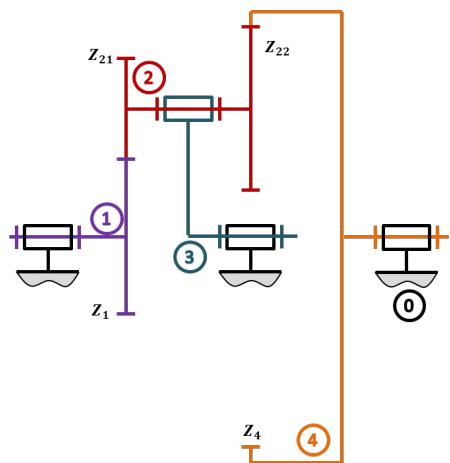
Corrigé voir 103.

Exercice 102 – Train simple *

A3-05

C2-06

Soit le train épicycloïdal suivant.



Question 1 Tracer le graphe des liaisons.

Question 2 Déterminer ω_{40} en fonction de ω_{30} et ω_{10} .

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

Corrigé voir 102.

Exercice 101 – Mouvement RR 3D **

B2-14

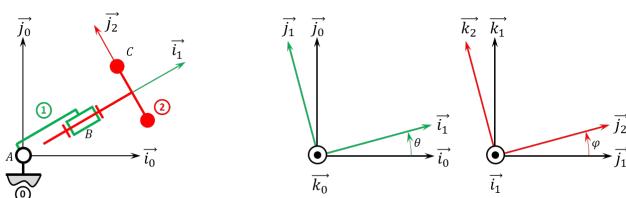
C1-05 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = R \vec{i}_1$ et $\overrightarrow{BC} = \ell \vec{i}_2 + r \vec{j}_2$. On note $R + \ell = L = 20$ mm et $r = 10$ mm. De plus :

- $G_1 = B$ désigne le centre d'inertie de 1, on note m_1 la masse de 1;
- G_2 désigne le centre d'inertie de 2 tel que $\overrightarrow{BG_2} = \ell \vec{i}_2$, on note m_2 la masse de 2.

Un moteur électrique positionné entre 0 et 1 permet de maintenir 1 en équilibre. Un moteur électrique positionné entre 1 et 2 permet de maintenir 2 en équilibre.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\vec{g} = -g \vec{j}_0$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

Question 2 Donner le torseur de chacune des actions mécaniques.

Question 3 Proposer une démarche permettant de déterminer le couple et l'effort que doivent développer chacun des actionneurs pour maintenir le mécanisme en

équilibre.

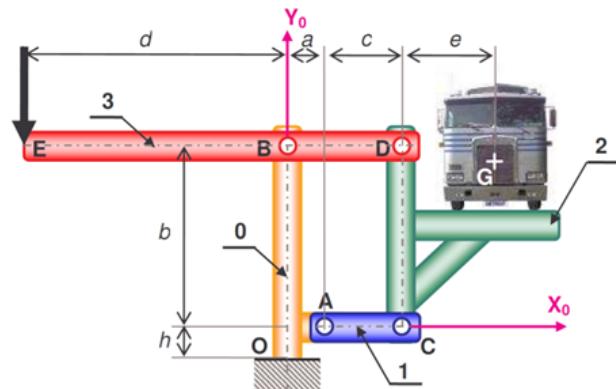
Corrigé voir 101.

Exercice 100 – 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 $\vec{g} = -g \vec{y}_0$. 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 :

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



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 100.

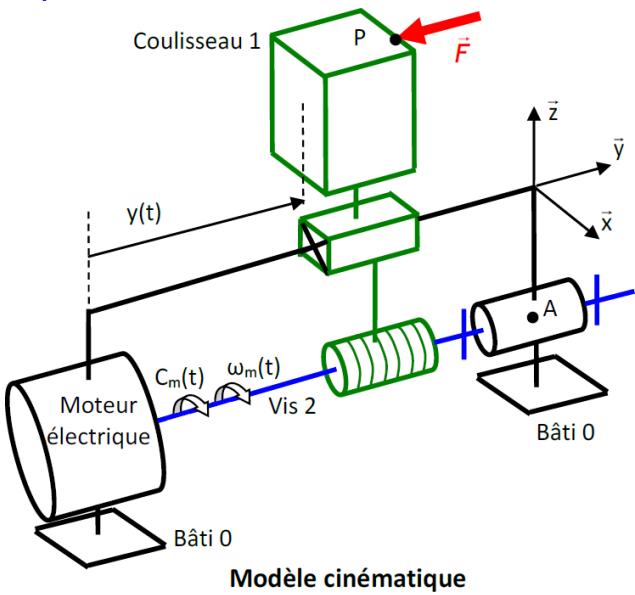
Exercice 99 – Train simple * D'après ressources Pole Chateaubriand – Joliot-Curie.

A3-05

C2-06 Pas de corrigé pour cet exercice.

L'usinage est une opération de transformation d'un produit par enlèvement de matière. Cette opération est à la base de la fabrication de produits dans les industries mécaniques. La génération d'une surface par enlèvement de matière est obtenue grâce à un outil muni d'au moins une arête coupante. Les différentes formes de pièces sont obtenues par des translations et des rotations de l'outil par rapport à la pièce.

On s'intéresse ici à l'axe Y qui met en mouvement le coulisseau 1, sur lequel est fixée l'outil, par rapport au bâti 0. Le coulisseau 1 est mis en mouvement par un moteur électrique qui délivre un couple moteur $C_m(t)$.



On note p le pas de vis.

Question 1 Tracer le graphe des liaisons.

Question 2 Définir la loi entrée-sortie entre la vitesse de translation du coulisseau et la vitesse de rotation du moteur.

Corrigé voir 99.

Exercice 98 – 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).

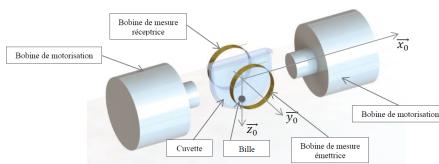


FIGURE 2 – Ensemble cuvette + bille avec bobines motrices et bobines de mesure

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.

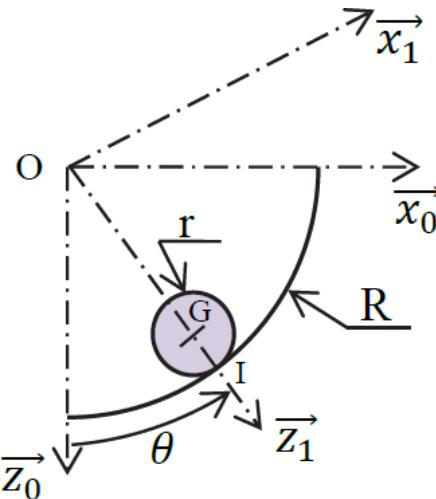


FIGURE 3 – Bille en contact avec le rail de la cuvette

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 :

- $\{\mathcal{T}(\text{rail} \rightarrow \text{bille})\} = \begin{Bmatrix} -N_I \vec{z}_1 + T_I \vec{x}_1 \\ 0 \end{Bmatrix}_I$, le torseur associé à l'action mécanique du rail sur la bille;
- f le coefficient d'adhérence au contact bille/cuvette : $f = 0,1$;
- $\{\mathcal{T}(\text{bob} \rightarrow \text{bille})\} = \begin{Bmatrix} \vec{F}(\text{bob} \rightarrow \text{bille}) = F(t) \vec{x}_0 \\ 0 \end{Bmatrix}_G$, le torseur associé à l'effort résultant des deux bobines de motorisation sur la bille, avec $F(t) = F_0 \sin(\omega_{\text{bob}}(t))$;
- $\{\mathcal{T}(\text{fluide} \rightarrow \text{bille})\} = \begin{Bmatrix} \vec{F}(\text{fluide} \rightarrow \text{bille}) = -f_v \overline{V(G, \text{bille}/0)} \\ 0 \end{Bmatrix}$

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 η est la viscosité du sang qui varie lors de la coagulation;

- $\{\mathcal{T}(g \rightarrow \text{bille})\} = \begin{Bmatrix} mg \vec{z}_0 \\ 0 \end{Bmatrix}_G$, le torseur associé à l'action de la pesanteur sur la bille;
- $\{\mathcal{V}(\text{bille}/0)\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{\Omega(\text{bille}/0)} = \omega_b \vec{y}_0 \\ \overrightarrow{V(G, \text{bille}/0)} = v \vec{x}_1 \end{Bmatrix}_G$, 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 ω_b et v , les composantes du torseur cinématique en G de la bille par rapport au rail 0, en fonction de $\dot{\theta}$, 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 θ 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 98.

Exercice 97 – Le banc balafre *

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).

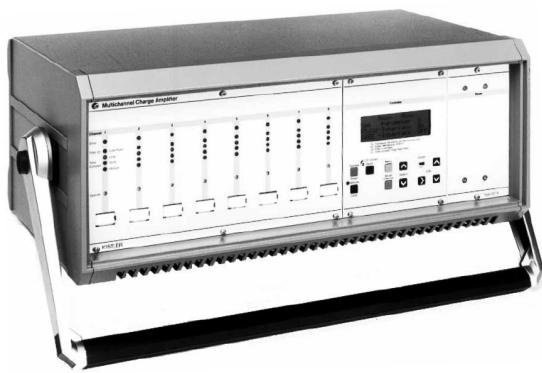


FIGURE 4 – Amplificateur de charge à plusieurs canaux KISTLER.

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 (Contrôle=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.

Ladungsvstärker	Amplificateur de charge	Charge amplifier
Anzahl Messkanäle	Nombre des canaux de mesure	3 ... 8
Messbereich	Gamme de mesure	pC $\pm 10 \dots 999\,000$
Sensorempfindlichkeit	Sensibilité du capteur	pC / M.U. $0,01 \dots 9990$
Massstab	Echelle	M.U. / V $0,001 \dots 9990\,000$
Ausgangsspannung	Tension de sortie	V ± 10
Ausgangstrom	Courant de sortie	mA $0 \dots 5$
(kurzschlussicher)	(protégé contre les court-circuits)	
Ausgangsimpedanz	Impédance de sortie	Ω 10
Frequenzbereich (-3dB, Filter off)	Filtre passe-bas	kHz $\approx 0 \dots 200$
Tiefpassfilter	Butterworth 2-pôles, 8 étages 10, 30, 100 ... (-3dB)	kHz $0,01 \dots 30 (\pm 10\%)$
Zeitkonstante	Constante de temps	DC-mode
Hochpassfilter	Long Medium Short	s $0,01 \dots 1000$
	Filtre passe-haut	s $0,01 \dots 100$
Linearität	Linearity	% $<\pm 0,05$
Mesfehler	Measuring error	% $<\pm 3$
$\pm 99,9 \text{ pC FS}$	$\pm 99,9 \text{ pC FS}$	% $<\pm 1$
$\pm 100 \text{ pC FS}$	$\pm 100 \text{ pC FS}$	
Ausgangsförderignal	Interférence à la sortie	Output Interference
Drift (Leckstrom MOSFET)	Dérive (courant d'entrée MOSFET) à 25°C	mV _{rms} $<1,5$
Drift bei 25°C		pC/s $<\pm 0,09$

FIGURE 5 – Amplificateur de charge à plusieurs canaux KISTLER.



Type 9167A... / 9168A...

FIGURE 6 – Capteur de force KISTLER 9167A.

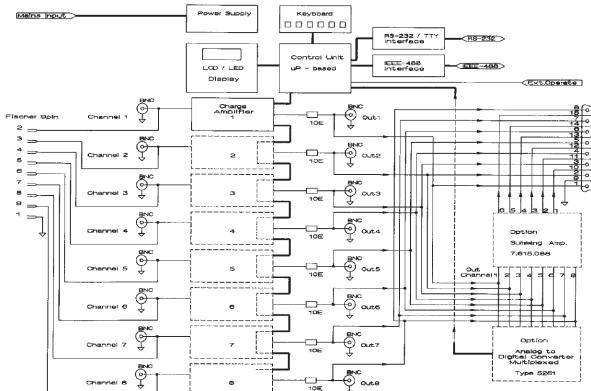


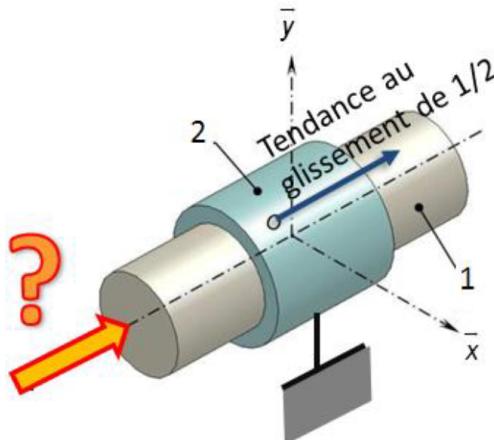
FIGURE 7 – Synoptique de la structure interne de l'amplificateur de charge.

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 97.



Exercice 96 – Assemblage par frettage *

B2-14 Pas de corrigé pour cet exercice.

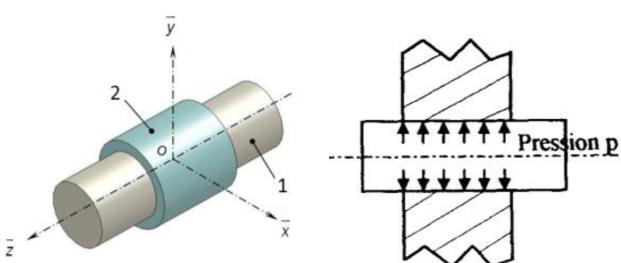
Le frettage consiste à encastrer deux pièces en utilisant le phénomène d'adhérence.

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.



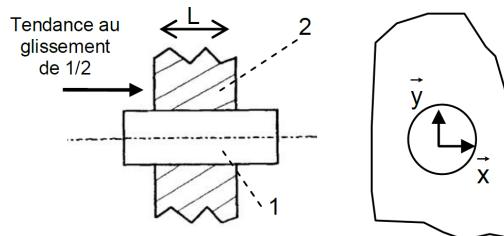
Objectif Déterminer l'effort axial maximal transmissible et le couple maximal transmissible d'une pièce à l'autre.

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

Question 3 Déterminer la résultante axiale maximale transmissible en fonction de p et des caractéristiques géométriques du frettage.

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 96.

Exercice 95 – Mouvement RR 3D **

B2-14

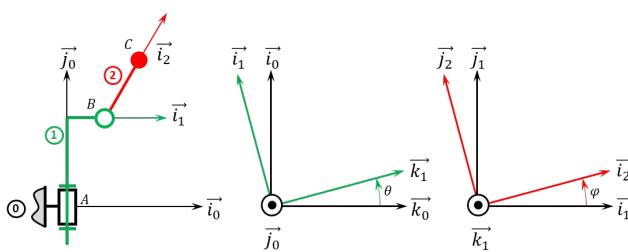
C1-05 Pas de corrigé pour cet exercice.

Soit le mécanisme suivant. On a $\overrightarrow{AB} = H \vec{j}_1 + R \vec{i}_1$ et $\overrightarrow{BC} = L \vec{i}_2$. On a $H = 20 \text{ mm}$, $r = 5 \text{ mm}$, $L = 10 \text{ mm}$. De plus :

- G_1 désigne le centre d'inertie de 1 tel que $\overrightarrow{AG_1} = H \vec{j}_1$, on note m_1 la masse de 1;
- $G_2 = C$ désigne le centre d'inertie de 2, on note m_2 la masse de 2.

Un moteur électrique positionné entre 0 et 1 permet de maintenir 1 en équilibre. Un moteur électrique positionné entre 1 et 2 permet de maintenir 2 en équilibre.

L'accélération de la pesanteur est donnée par $\overrightarrow{g} = -g \vec{j}_0$.



Question 1 Réaliser le graphe d'analyse en faisant apparaître l'ensemble des actions mécaniques.

Question 2 Donner le torseur de chacune des actions mécaniques.

Question 3 Proposer une démarche permettant de déterminer le couple et l'effort que doivent développer chacun des actionneurs pour maintenir le mécanisme en équilibre.

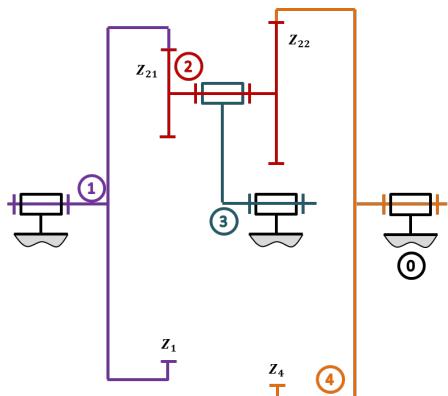
Corrigé voir 95.

Exercice 94 – Train simple *

A3-05

C2-06

Soit le train épicycloïdal suivant.



Question 1 Tracer le graphe des liaisons.

Question 2 Déterminer ω_{40} en fonction de ω_{30} et ω_{10} .

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

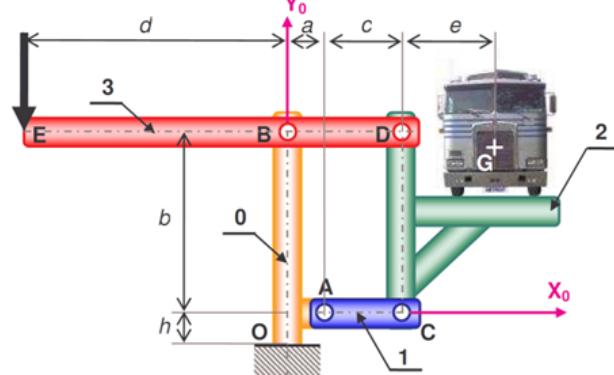
Corrigé voir 94.

Exercice 93 – 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 $g = -g \vec{y}_0$. 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 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 93.

Exercice 92 – Codeur incrémental *

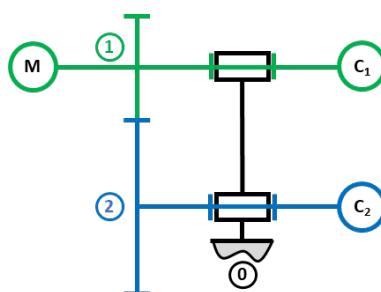
A3-06 Pas de corrigé pour cet exercice.

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 si l'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.

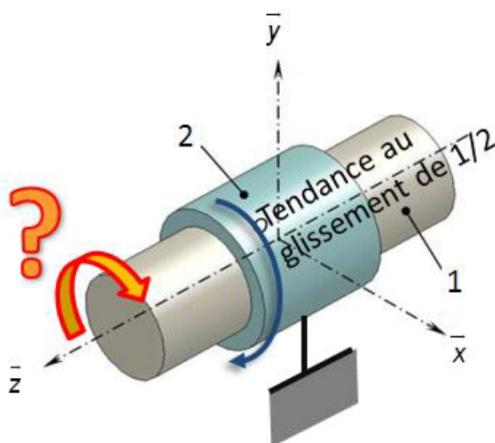


Question 4 Quelle est la résolution du capteur vis-à-vis de l'arbre de sortie du réducteur?

La position du codeur est transformée par un convertisseur numérique analogique en V. Ce convertisseur permet de convertir des angles variants 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 92.



Exercice 91 – Assemblage par fretage *

B2-14 Pas de corrigé pour cet exercice.

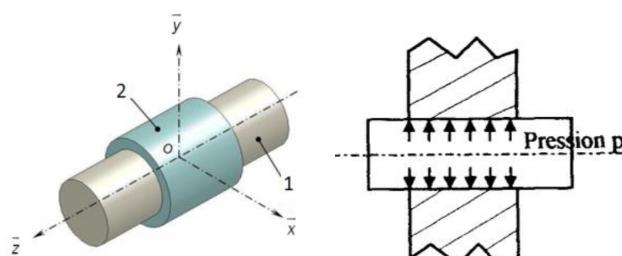
Le fretage consiste à encastrer deux pièces en utilisant le phénomène d'adhérence.

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 fretage, 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 fretage sont les suivantes :

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



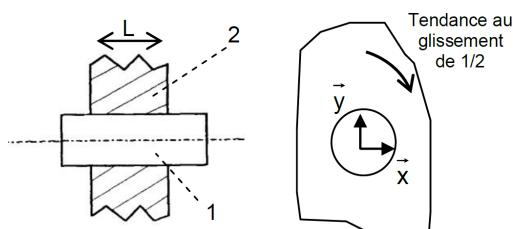
Objectif Déterminer l'effort axial maximal transmissible et le couple maximal transmissible d'une pièce à l'autre.

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 fretage.

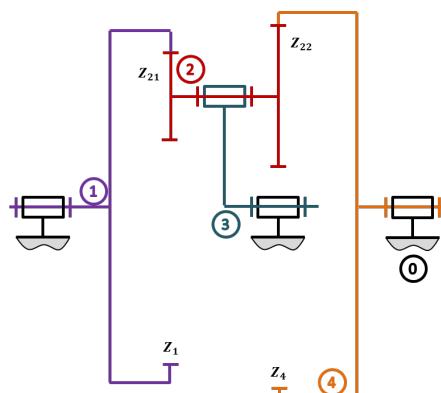
Corrigé voir 91.

Exercice 90 – Train simple *

A3-05

C2-06

Soit le train d'engrenages suivant.



Question 1 Tracer le graphe des liaisons.

Question 2 Déterminer ω_{40} en fonction de ω_{30} et ω_{10} .

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

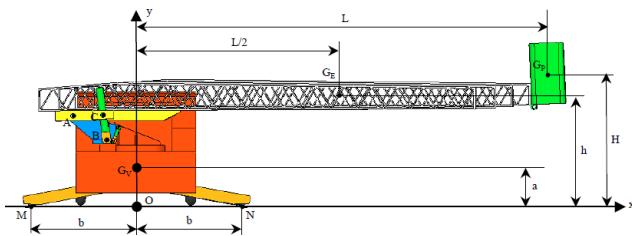
Corrigé voir 90.

Exercice 89 – 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 souleveront, 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 maximale 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 89.