

## Exercice 1- Tête de boucheuse

Corrig page 10

## A. Fonctionnement

La tête de boucheuse (figure 0.3) est installée sur une chaîne d'embouteillage, elle permet d'enfoncer un bouchon en liège dans le col de la bouteille. Son fonctionnement est synchronisé avec l'avancement des bouteilles. La mise en plan et l'écorché ne présente que le mécanisme de transformation de mouvement.

L'arbre moteur n'est entraîné en rotation, que lorsque une bouteille et un bouchon se présentent sous la boucheuse.

L'arbre (1) est en rotation d'axe  $(O, \vec{x}_0)$  par rapport au carter (0), il entraîne dans son mouvement le boîtier oscillant (2) autour de l'axe  $(O, \vec{x}_{12})$ . Le doigt (3) est solidaire du bloc oscillant.

L'oscillation du doigt qui coulisse librement dans la rotule (4) déplace grâce à celle-ci le piston (5) suivant  $(A, \vec{x}_0)$ .

## A.1. Paramétrage

— Le repère  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est associée au carter (0).

— Deux repères  $(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  et  $(O, \vec{x}_{12}, \vec{y}_{12}, \vec{z}_{12})$  sont associés à l'arbre (1), avec :

—  $(\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = \theta$  et  $\vec{x}_0 = \vec{x}_1$  ;

—  $(\vec{y}_1, \vec{y}_{12}) = (\vec{x}_1, \vec{x}_{12}) = \alpha = 15^\circ$  et  $\vec{z}_1 = \vec{z}_{12}$ .

Ce second repère permet de positionner l'axe incliné de l'arbre (1).

— Le repère  $(O, \vec{x}_{12}, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  avec  $(\vec{y}_{12}, \vec{y}_2) = (\vec{z}_{12}, \vec{z}_2) = \varphi$  est lié à l'ensemble {bloc oscillant+doigt} avec  $\vec{OA} = l \cdot \vec{y}_2$ ,  $\vec{OA} \cdot \vec{y}_0 = a = 100 \text{ mm}$  et  $\vec{OA} \cdot \vec{x}_0 = c$  et avec  $c$  la course du piston.

Le schéma filaire de la figure 0.2 présente les différents repères.

Q1. Tracer les figures planes de calculs.

Q2. Écrire la fermeture géométrique en déduire que  $c = -a \cdot \cos \theta \cdot \tan \alpha$ .

La liaison entre l'arbre et le carter est réalisée par un roulement à deux rangées de bille en I et par un roulement à rouleaux cylindriques en J. Le schéma cinématique ci contre modélise cette réalisation technologique.

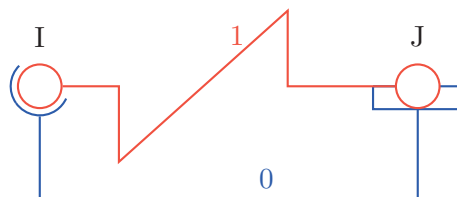


Figure 0.1 – Liaisons entre l'arbre (1) et le carter (0)

Q3. Nommer les deux liaisons (désignation complète), déterminer la liaison équivalente.

Q4. Identifier et préciser les torseurs cinématiques des liaisons suivantes :

- liaison arbre / {bloc oscillant + doigt};
- liaison {bloc oscillant + doigt} / rotule;
- liaison rotule / piston;
- liaison piston / carter.

Q5. Tracer le graphe des liaisons.

Q6. Établir le schéma cinématique spatial sur le schéma filaire du document réponse.

Q7. Déterminer la liaison équivalente entre l'ensemble {bloc oscillant + doigt} et le piston.

Q8. À partir des études précédentes, préciser le degré de mobilité du mécanisme, on caractérisera les mobilités internes.

Q9. Déterminer le degré d'hyperstaticité.

DR-1. Schéma filaire

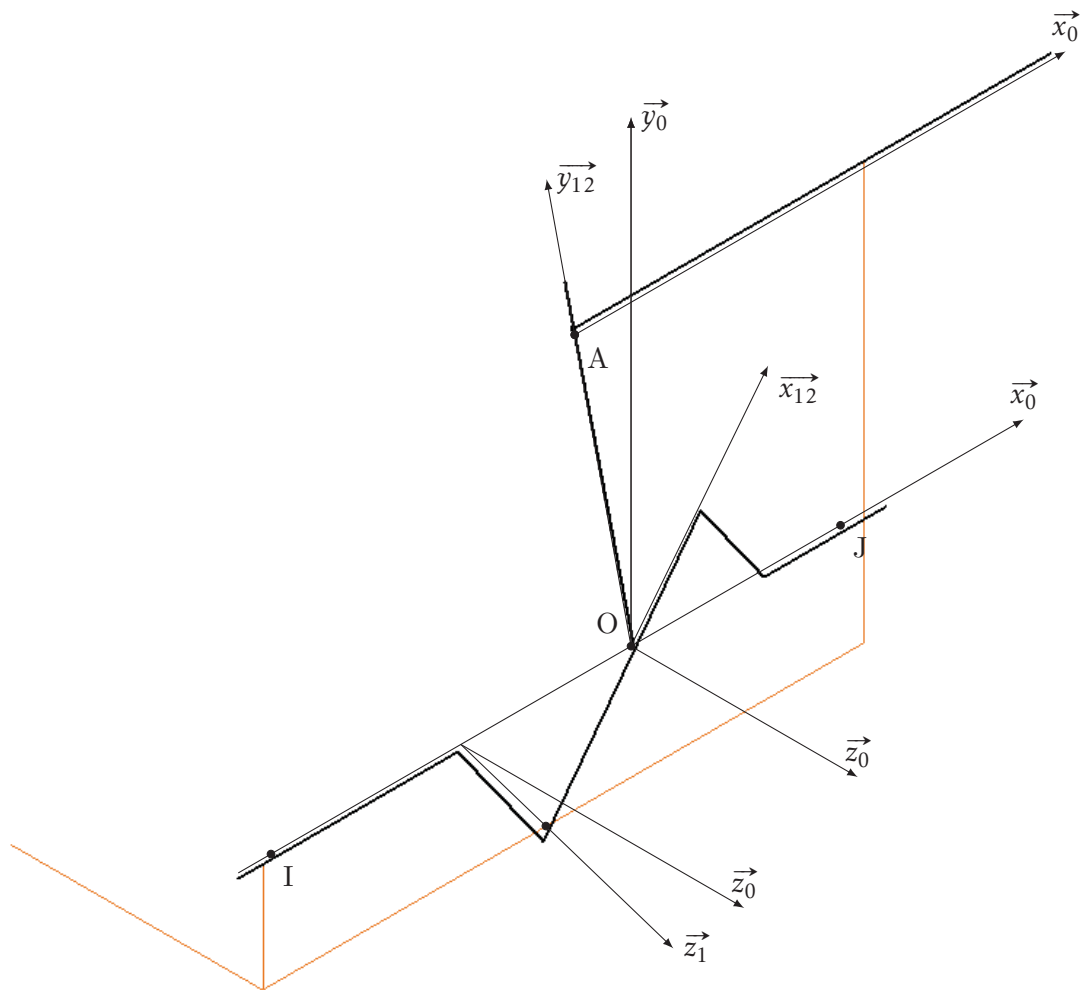
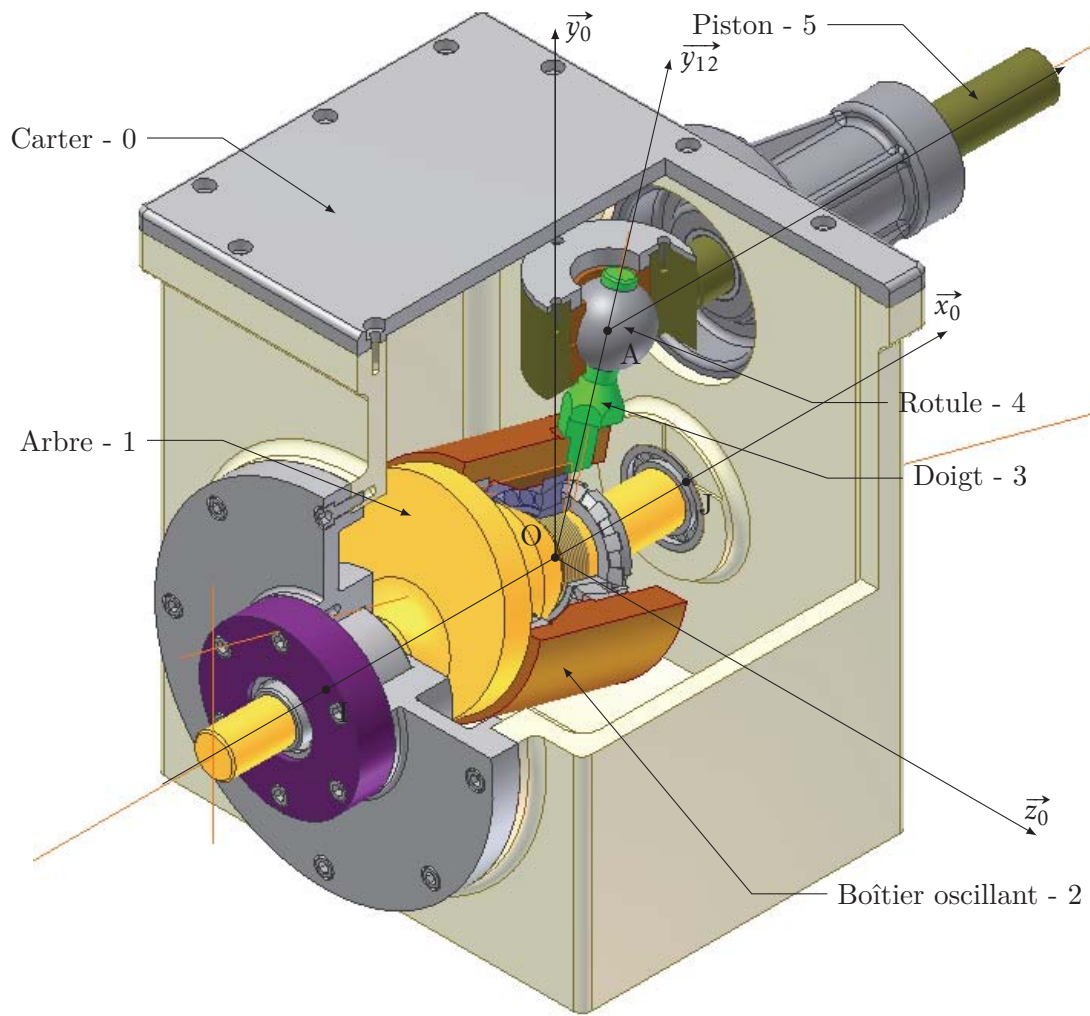
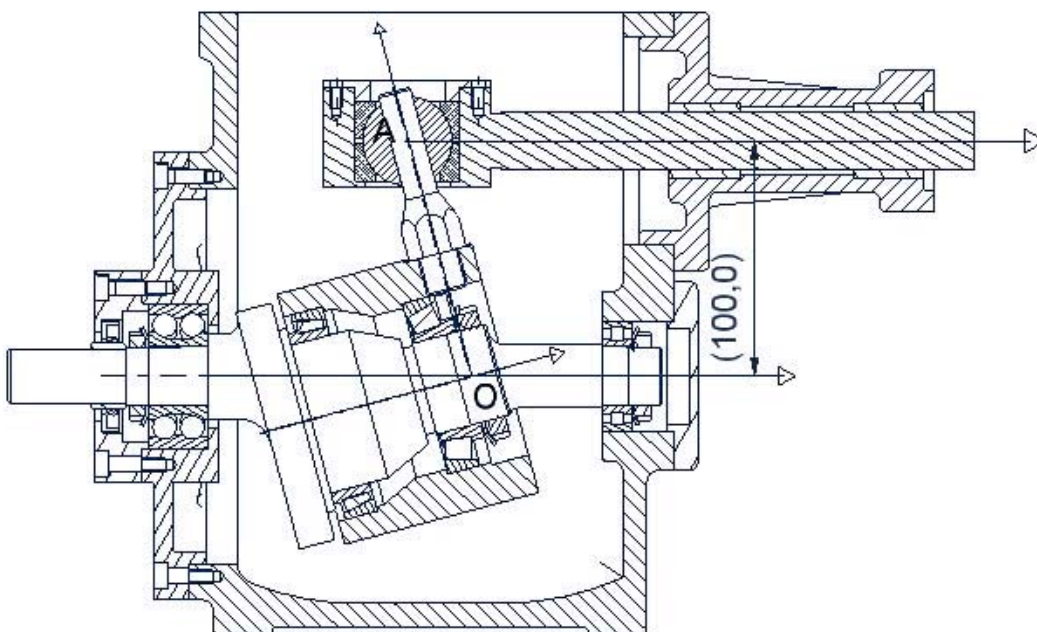


Figure 0.2 – Schéma filaire



(a)



(b)

Figure 0.3 – Boucheuse

## A. Stabilité du portique sur ses appuis

Objectif Évaluer le risque de basculement lorsque le portique est soumis au vent et lors du levage d'un conteneur.

La forme très élancée du portique présente des risques de basculement lors de la manipulation des conteneurs les plus lourds et par grand vent. Il s'agit de lever ces risques.

Le centre de gravité du portique seul est noté  $G_P$ , le centre de gravité du chariot  $G_{ch}$  et le centre de gravité de l'ensemble mobile {spreader et conteneur}  $G_3$ . Soient  $l_x = 17m, l_y = 15m, H = 32m$  et  $h = 25m$  (figure 0.4).

La grue doit pouvoir se déplacer normalement en translation dans une plage de vents de 0 à 120 kilomètres par heure. Elle ne doit jamais basculer (vitesse maximale du vent mesurée au cours des 100 dernières années :  $300kmh^{-1}$ ).

La prise au vent latérale est très forte et sera modélisée par une force :  $\vec{F}_{vent} = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot V^2 \cdot \vec{x}$  appliquée en K (figure 6), avec  $\lambda = 800Ns^2m^{-2}$ .

La liaison galets-rail supporte les 1080 tonnes du portique. En raison des pressions admissibles aux contacts, plusieurs galets sont nécessaires pour chaque pied. Les questions suivantes visent à élaborer un modèle statique d'un pied pour conclure sur le critère de non basculement de la grue.

Q1. Déterminer le degré d'hyperstatisme du modèle plan d'un seul pied, de la liaison portique/sol donné sur la figure 0.5a. En déduire la répartition de la charge entre les 8 galets.

Q2. À partir de l'étude des mobilités du pied décrit figure 4, proposer une liaison équivalente à la liaison assurée par un pied entre le portique et le rail, dans le plan  $(\vec{x}, \vec{z})$  de la figure 0.5a, en précisant ses caractéristiques géométriques.

Q3. Déterminer littéralement, dans le cadre d'une modélisation dans le plan  $(\vec{x}, \vec{z})$  de la figure 0.4, les efforts normaux du sol sur la grue transmis par les pieds « gauche » et « droit », lorsque la grue est soumise au vent. (Hypothèses : le mouvement suivant  $\vec{z}$  du conteneur ne sera pas considéré ; le chariot et le portique sont immobiles ; la masse des poutres supérieure, inférieure et des supports de galets est négligeable devant  $M_p$ .)

Q4. En déduire la valeur (en  $kmh^{-1}$ ) de la vitesse de vent  $V_1$  pour laquelle la grue bascule. En déduire la valeur (en  $kmh^{-1}$ ) de la vitesse de vent  $V_2$  pour laquelle la grue glisse, en considérant au contact roue/rail un modèle de frottement sec de coefficient  $f = 0,2$ .

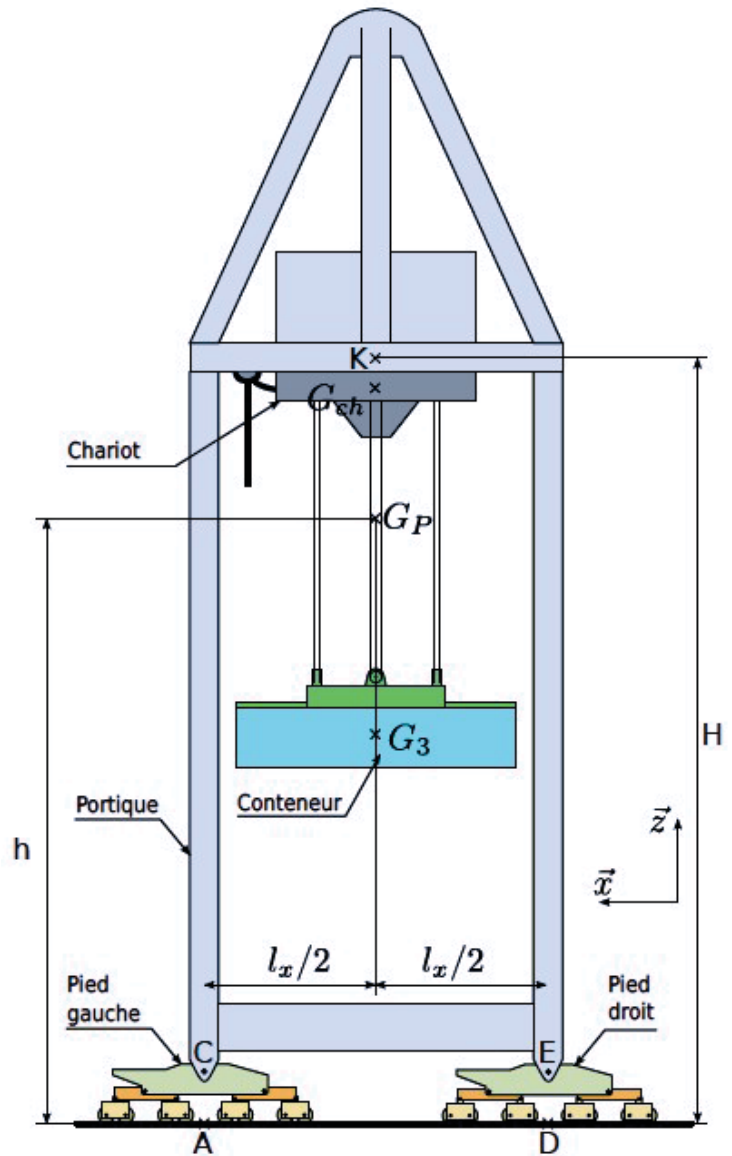
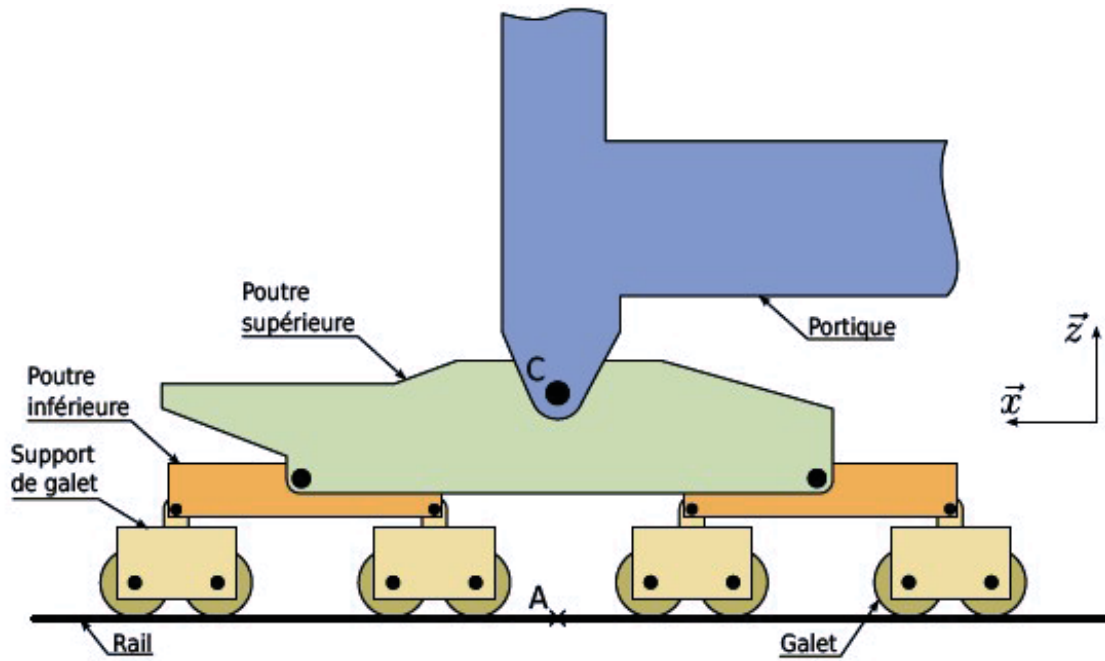


Figure 0.4 – Vue longitudinale du portique



(a) Architecture d'un pied de la grue (chaque point noir représente une liaison pivot)



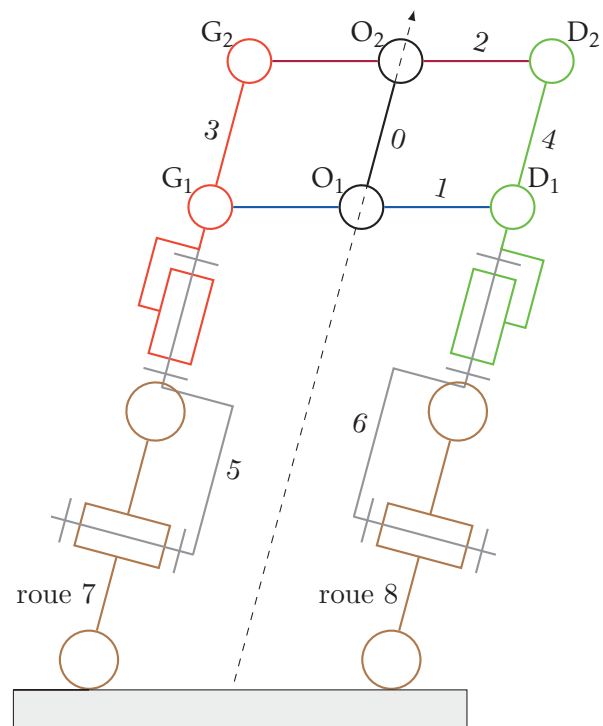
(b) Photographie du pied de grue

Le train avant est défini comme l'ensemble comprenant : la roue (ou les roues) avant, la suspension, le dispositif de freinage, tous les éléments participant aux liaisons entre ces éléments. Sur un scooter à une seule roue avant, le train avant est lié au châssis du véhicule par une liaison pivot permettant d'orienter la roue avant par rapport au véhicule par l'intermédiaire du guidon. Cette liaison permet de diriger le véhicule. Pour un scooter à deux roues avant, le train avant doit non seulement permettre le pivotement des roues commandé par le guidon mais il doit également permettre l'inclinaison de l'ensemble du scooter tout en conservant le contact des roues au sol.



(a) scooter

$$\begin{aligned}\overrightarrow{O_1O_2} &= \overrightarrow{G_1G_2} = \overrightarrow{D_1D_2} = l_1 \cdot \vec{y}_0 \\ \overrightarrow{G_1O_1} &= \overrightarrow{G_2O_2} = l_2 \cdot \vec{x}_1 \\ \overrightarrow{O_1D_1} &= \overrightarrow{O_2D_2} = l_2 \cdot \vec{x}_1 \\ \alpha &= (\vec{y}_1, \vec{y}_0)\end{aligned}$$



(b) Parallélogramme de la direction

### A. Parallélogramme d'inclinaison

La solution retenue pour permettre une inclinaison du véhicule malgré la présence de deux roues sur le train avant repose sur la cinématique imposée par un dispositif en parallélogramme (figure 0.5b). Le mécanisme est constitué d'un châssis (0), de deux bras (1) et (2) et de deux colonnes (3) et (4). Les liaisons entre ces différents solides sont des liaisons pivots.

Q1. Tracer le graphe des liaisons limité à l'ensemble  $\Sigma = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ , préciser le nombre cyclomatique.

Q2. Écrire la fermeture cinématique limitée à la boucle  $\{0, 1, 2, 3\}$ . En déduire le degré de mobilité de l'ensemble  $\Sigma$ .

Q3. Déterminer le nombre d'inconnues de liaisons de l'ensemble  $\Sigma$ , en déduire le degré d'hyperstaticité. Justifier ce degré.

### B. Blocage de la suspension

On s'intéresse dans cette partie au dispositif de verrouillage de l'inclinaison. Ce dispositif, présent en option, répond à un souci d'amélioration du confort d'utilisation du scooter en milieu urbain (vitesses inférieures à  $15 \text{ km h}^{-1}$ ). Le train avant est sensiblement alourdi, par sa structure particulière, par rapport à un véhicule classique. D'autre part, les protections et les éléments de confort propres au marché du scooter amènent le poids des scooters, même de faible cylindrée, à atteindre celui d'une moto de grosse cylindrée. Il permet en outre d'éviter de poser le pied aux arrêts (nombreux en circulation urbaine), et de garer le scooter dans n'importe quelle configuration (pente, à cheval sur un trottoir ou une bordure, etc ...) sans avoir à utiliser la béquille centrale (opération difficile sur un engin d'environ 200 kg).

Le verrouillage de l'inclinaison du train avant nécessite la suppression de ces mobilités :

- la mobilité du parallélogramme d'inclinaison,
- la mobilité de la suspension avant (particulièrement utile en mode parking).

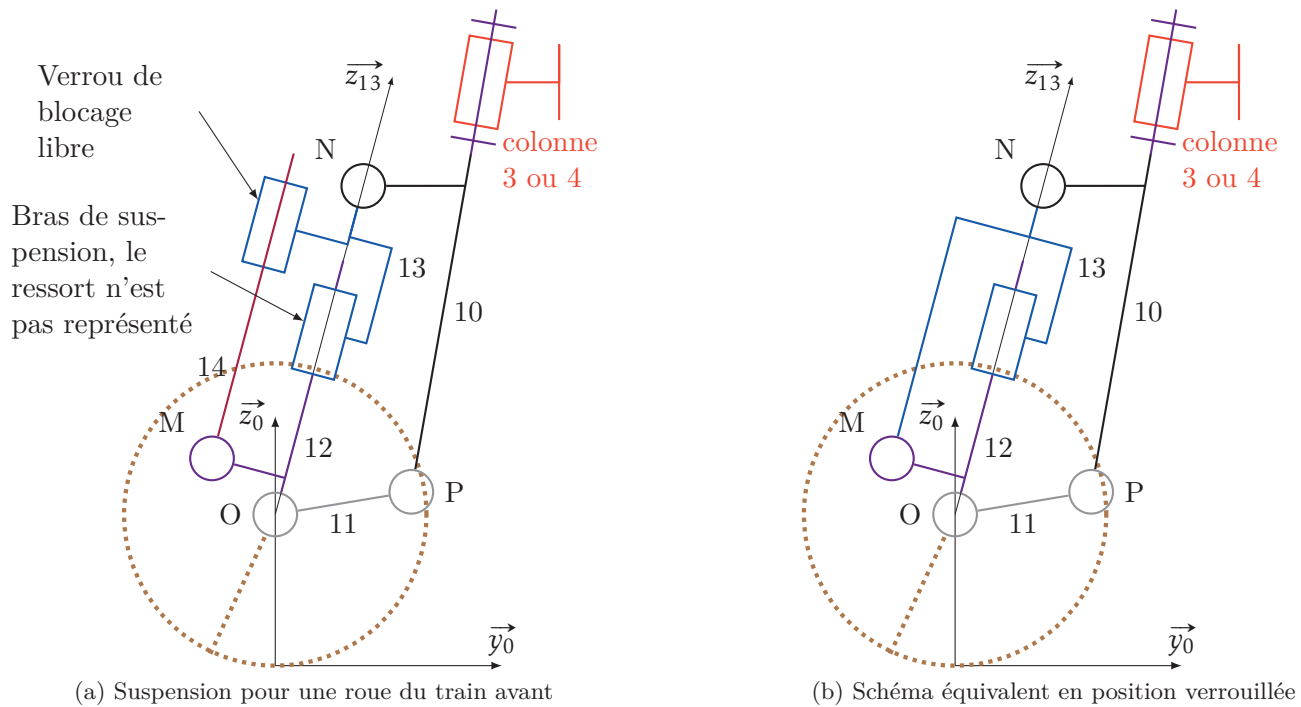


Figure 0.5 – Bras de suspension : position non verrouillée et verrouillée

Les deux figures 0.8a et 0.8b présentent le bras de suspension avant dans sa position libre et le modèle équivalent lorsqu'elle est en position verrouillée

Q4. Tracer le graphe des liaisons dans les deux cas limité aux solides  $\{10, 11, 12, 13, 14\}$ , préciser le nombre cyclomatique,

On étudie dans un premier temps, la boucle constitué des solides  $\{12, 13, 14\}$  dans le premier cas puis le second

Q5. Écrire la fermeture cinématique, en déduire le degré de mobilité de chacune des boucles puis le degré d'hyperstaticité.

Q6. Préciser la liaison équivalente.

Q7. Tracer le schéma cinématique minimal.

Q8. Évaluer le degré de mobilité du mécanisme complet puis en déduire le degré d'hyperstaticité.

Le joint de Koenig permet réaliser un accouplement entre deux arbres coplanaires faisant un angle non nul. Il est constitué de deux manchons, un relié à l'arbre d'entrée, l'autre à l'arbre de sortie et de 3 paires de biellettes articulées. Il est principalement utilisé en robotique pour ces grandes capacités angulaire  $-135^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$ .

Un couple moteur  $\vec{C}_m = C_m \cdot \vec{x}_0$  est appliqué sur l'arbre d'entrée, un couple résistant  $\vec{C}_r = C_r \cdot \vec{u}_0$  sur l'arbre de sortie. On note  $\omega_1 = \frac{d\theta_1}{dt}$  la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée et  $\omega_2 = \frac{d\theta_2}{dt}$  celle de l'arbre de sortie.

Le schéma cinématique présente la structure du mécanisme (une seule paire de biellette est représentée).

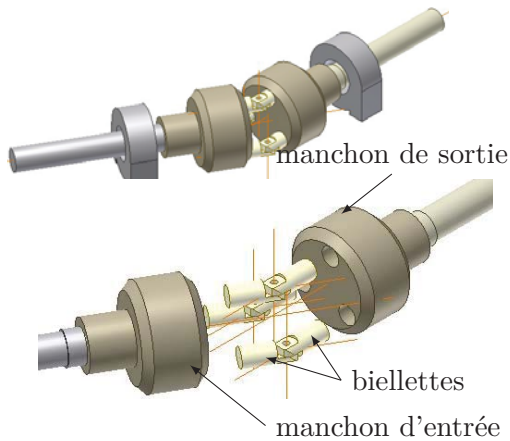
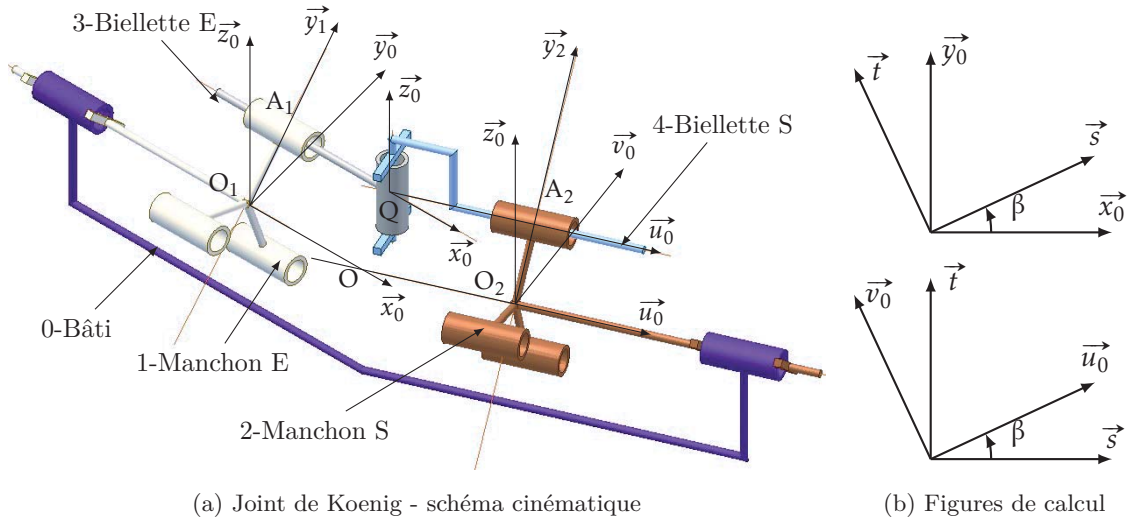


Figure 0.6 – Joint de Koenig

#### Paramétrage

- $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  et  $(\vec{u}_0, \vec{v}_0, \vec{z}_0)$  deux bases associées au bâti 0 avec  $(\vec{x}_0, \vec{u}_0) = \alpha$  et  $\alpha \neq 0$  ;
- $(\vec{x}_0, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  une base associée à l'arbre d'entrée 1 avec  $(\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = \theta_1$  ;
- $(\vec{u}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  une base associée à l'arbre de sortie 2 avec  $(\vec{v}_0, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2) = \theta_2$  ;
- $O_1A_1 = R \cdot \vec{y}_1, O_2A_2 = R \cdot \vec{y}_2$  ;
- $\|OO_1\| = \|OO_2\| = a$  ;
- $\|QA_1\| = c_1$  et  $\|QA_2\| = c_2$ .



(a) Joint de Koenig - schéma cinématique

(b) Figures de calcul

Figure 0.7 – Joint de Koenig

Dans un premier temps, nous ne considérerons qu'une seule paire de biellettes. On suppose que  $\alpha \neq 0^\circ$ .  
 Q1. Écrire la fermeture géométrique. En déduire la relation entre  $\theta_1$  et  $\theta_2$  puis  $c_1$  et  $c_2$  en fonction de  $\theta_1$  et  $\beta$ . Il sera judicieux d'utiliser comme base de projection, la base médiane  $\mathcal{B}_m = (\vec{s}, \vec{t}, \vec{z}_0)$  défini par la figure 0.7b.

Q2. On dit qu'un joint de transmission est homocinétique lorsque la vitesse d'entrée et sortie ne dépendent pas du temps. Le joint de Koenigs est-il homocinétique ?

Q3. Quelle est la trajectoire du point Q ?



Q4. Tracer le graphe des liaisons (une seule paire de biellettes), identifier les liaisons. Évaluer le degré d'hyperstaticité et de mobilité.

On souhaite maintenant vérifier que le joint est capable de transmettre un couple et déterminer la relation entre  $C_m$  et  $C_r$ .

Un étude statique a permis d'écrire les équations suivantes :

en isolant (1) :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{01} = 0 \\ Y_{01} - Y_{13} = 0 \\ Z_{01} - Z_{13} = 0 \\ -R \cdot Z_{13} \cdot \cos \theta + C_m = 0 \\ M_{01} + c \cdot Z_{13} = 0 \\ N_{01} - c \cdot Y_{13} = 0 \end{array} \right.$$

en isolant (3)

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{43} = 0 \\ Y_{13} + Y_{43} = 0 \\ Z_{13} + Z_{43} = 0 \\ L_{43} = 0 \\ M_{13} + M_{43} = 0 \\ N_{13} = 0 \end{array} \right.$$

Q5. Préciser comment ont été obtenues ces équations ?

Q6. Quelles équations faut-il encore écrire pour étudier complètement le mécanisme ? Ecrire ces équations.

Q7. Combien d'inconnues et d'équations comporte le système à étudier. Peut-on déterminer toutes les inconnues de liaison ? En déduire le degré d'hyperstaticité. Donner la relation entre  $C_m$  et  $C_r$ .

Q8. Que se passe-t-il si  $\alpha = 0^\circ$  ?

Nous allons maintenant considérer les 3 paires de biellettes.

Q9. Évaluer sans calcul le degré de mobilité et le degré d'hyperstaticité.

Q10. Pouvez-vous identifier l'origine de l'hyperstaticité ?