

1.6 Feuille de travaux dirigés n°1

Exercice 1 - Moteur hydraulique Poclairn

Corrigé page ??

A. Principe

Le moteur hydraulique Poclairn (figure 1.11) est constitué d'un rotor (2) lié au bâti (1) par une pivot de centre A. Dans ce rotor sont usinés 8 logements radiaux équidistants recevant les ensembles pistons (3) et galets (4). Ces derniers sont au contact d'une rampe à six ondulations, usinée dans le carter (1). La mise en communication de la chambre arrière du piston avec l'alimentation haute pression pousse le galet sur la rampe (came) qui entraîne le rotor, dans la deuxième phase, la chambre arrière du piston est mise en communication avec le circuit de refoulement. Le couple sur l'arbre de sortie lié au rotor (2) dépend du nombre de pistons du moteur, de la pression d'alimentation et de la géométrie du mécanisme. La vitesse de rotation dépend du débit du fluide hydraulique dans le circuit.

Q1. À partir du schéma de la figure 1.11, indiquez dans quel sens va tourner le rotor (2) (sens trigonométrique ou horaire). Comment inverser le sens de rotation ?

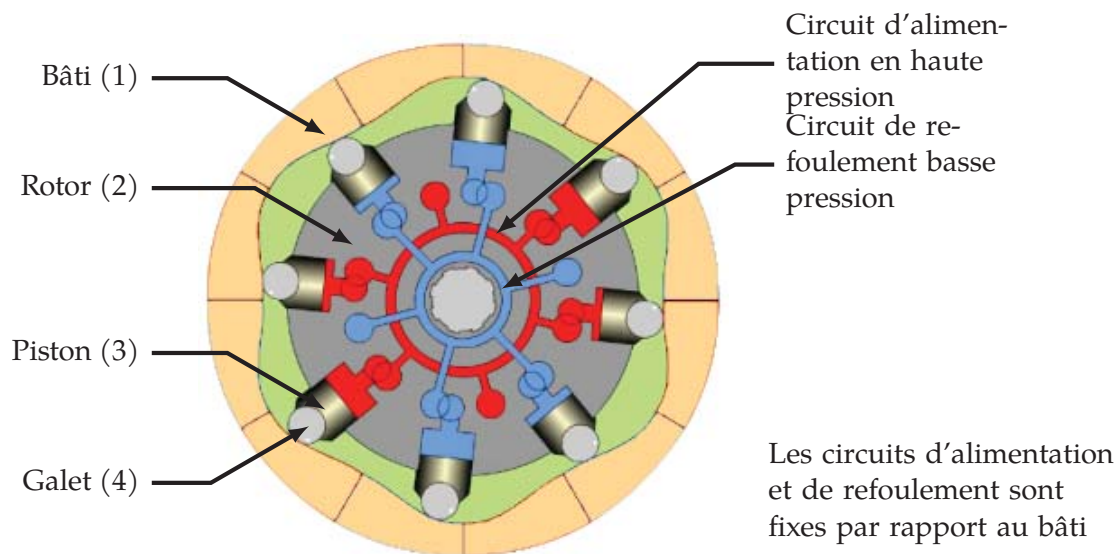


FIGURE 1.11 – Schéma hydraulique du moteur poclairn

La figure 1.12 propose une modélisation cinématique de la chaîne de solides $\{1,2,3,4\}$ pour un seul piston.

On modélise le contact entre le galet (4) et le bâti (1) par une liaison Cylindre-Plan.

Q2. Tracer le graphe des liaisons (pour un piston), préciser les torseurs cinématiques.

Q3. Justifier que si $\vec{u} \neq \vec{x}_2$, alors la mobilité de la chaîne $\{1,2,3,4\}$ pour un seul piston est $m = 2$, préciser les deux mobilités.

Q4. Que devient le degré de mobilité si le galet 4 roule sans glisser sur le corps 1 ?

Seize fois par tour, le mécanisme se trouve la configuration $\vec{u} = \vec{x}_2$.

Q5. Que devient le degré de mobilité m dans cette position ? Que risque-t-il de se produire ?

Q6. Dans le cas, ou $\vec{u} \neq \vec{x}_2$, préciser le degré d'hyperstaticité h .

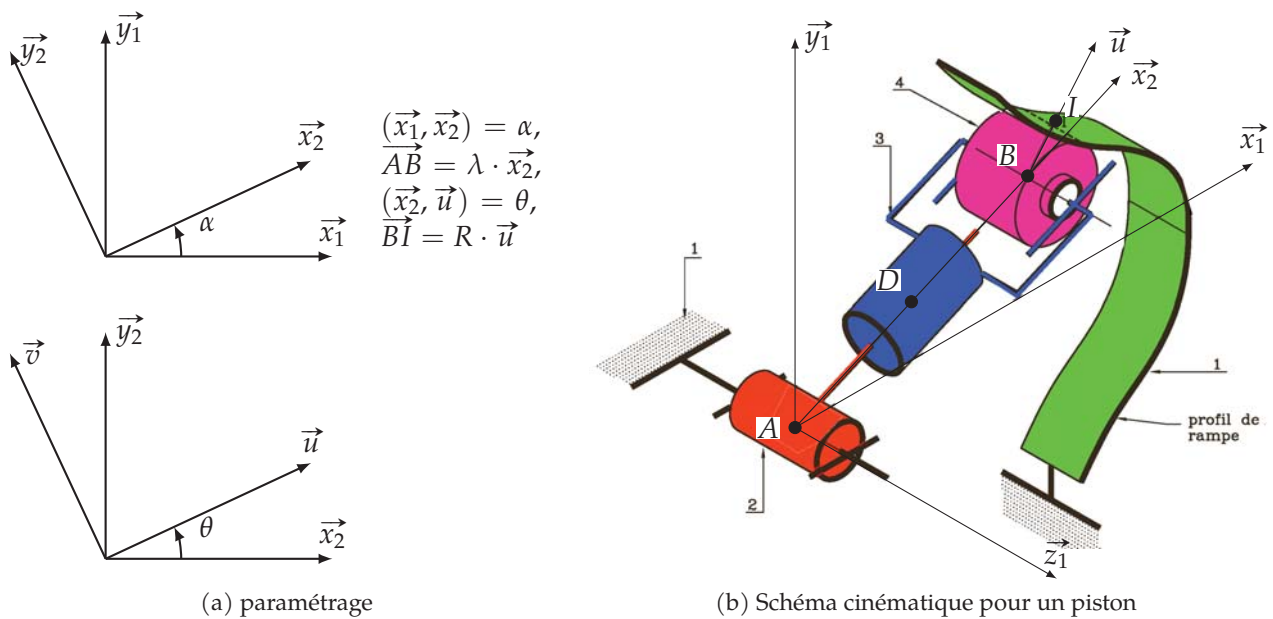


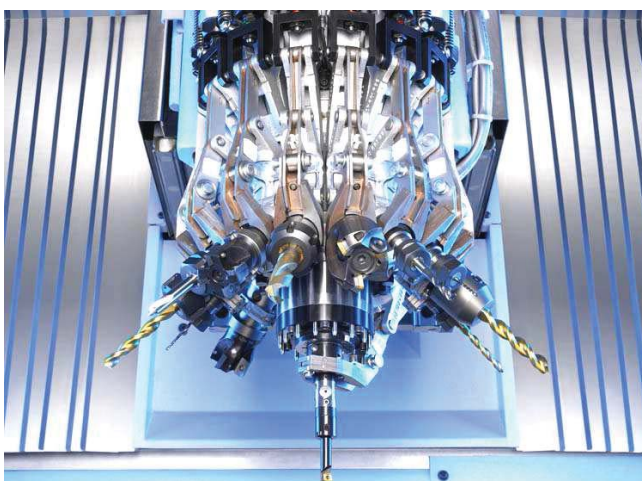
FIGURE 1.12 – Schéma et paramétrage du moteur Poclair

Devoir 2 - Changeur d'outil

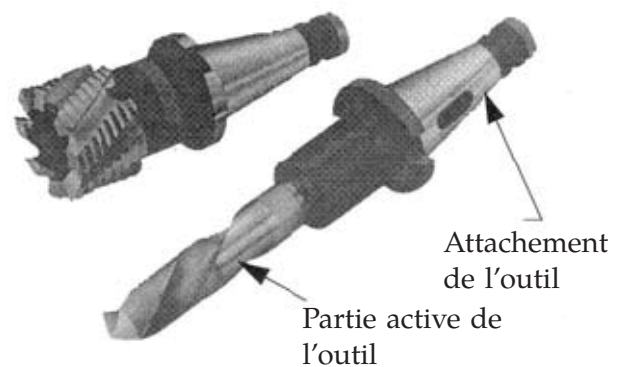
adapté du concours mines X-ENS 98

Corrigé page ??

Un centre d'usinage permet la production industrielle de pièces mécaniques. Les surfaces réalisées sur les pièces sont obtenues avec à des outils coupants. Deux exemples d'outils coupants sont présentés ci-contre : un foret et une fraise. Le centre d'usinage permet la génération successive de plusieurs surfaces sur les pièces parce qu'il permet d'une part une succession de mouvements de l'outil par rapport à la pièce, et d'autre part une possibilité de changement d'outil actif grâce à un changeur d'outils.

A. Présentation Générale

(a) Changeur d'outil autour de la broche



(b) Outils

On se propose d'étudier d'un point de vue cinématique le changeur d'outil qui équipe le centre d'usinage FZ 12 S du constructeur allemand Chiron Pour permettre l'usinage d'une pièce nécessitant l'utilisation successive de plusieurs outils, le centre FZ 12 S est équipé d'un système de changement d'outils particulièrement rapide. Il se situe autour de la broche, et il est constitué d'un mécanisme articulé pour chaque outil. Ces systèmes articulés appelés "modules changeurs" sont fixés sur une

coulisse qui se déplace verticalement le long d'un fourreau lors d'une séquence de changement d'outils (figure 1.13a).

La figure 1.15 présente le changeur d'outil en position.

Le schéma cinématique figure 1.13 propose une modélisation du système de changement d'outils du centre d'usinage étudié. Dans le plan du schéma seulement deux sous ensembles de changement d'outils sont représentés, et le symbole « □ » doit être considéré comme une articulation (sa nature exacte sera étudiée dans la suite du sujet).

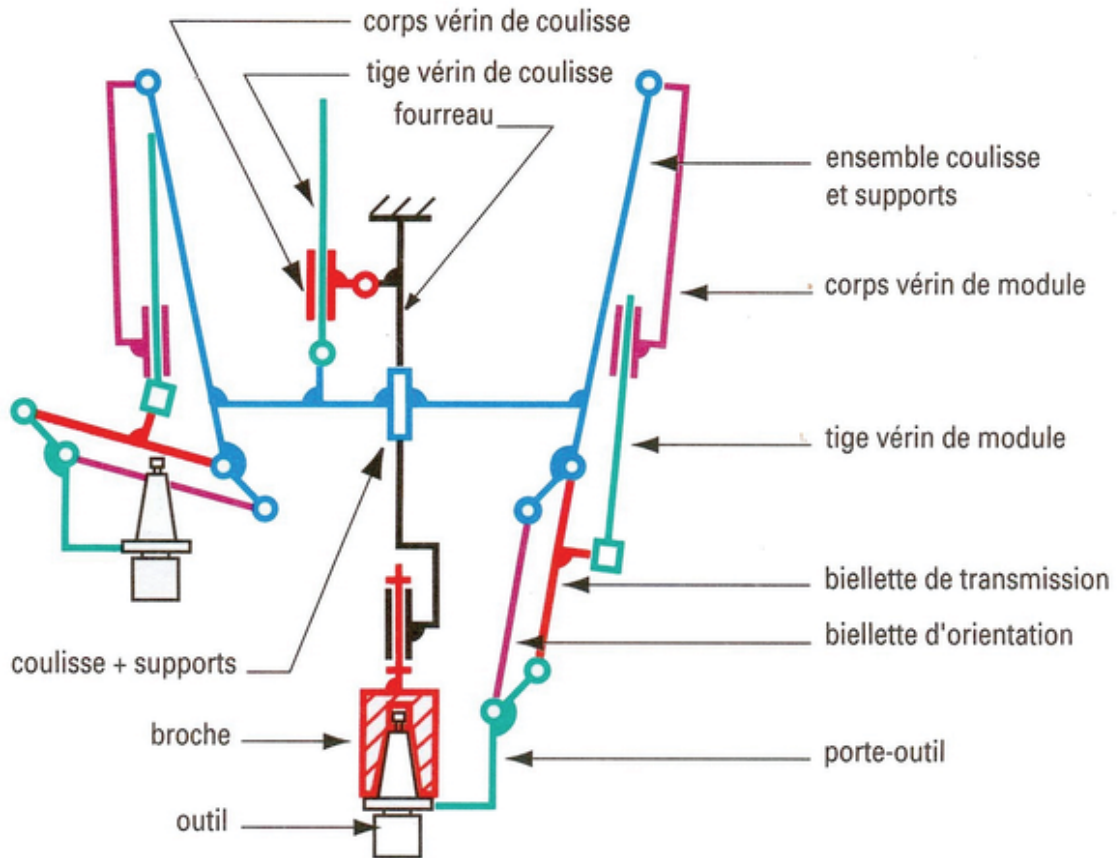


FIGURE 1.13 – mécanisme de changeur d'outil

La séquence de changement d'outils est composée de plusieurs étapes et est représentée sur la figure 1.14.

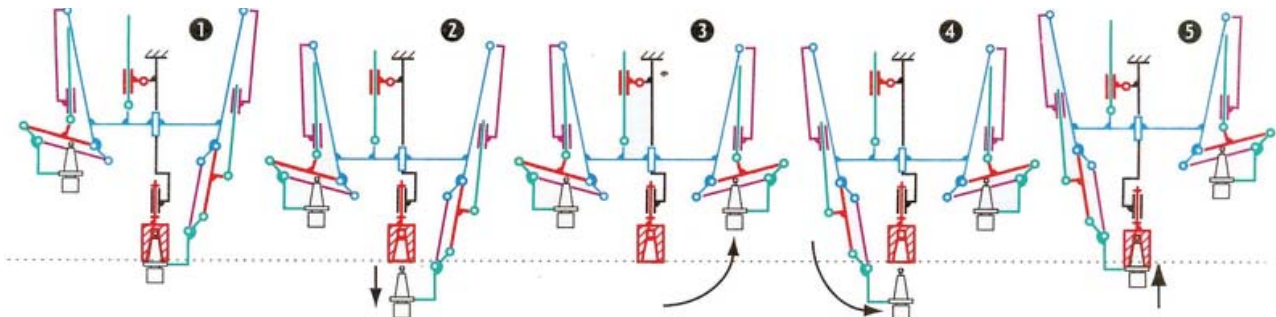


FIGURE 1.14 – Séquence de changement d'outil

A partir de la position initiale ❶, lorsqu'un changement d'outils est demandé, l'ensemble formé par la coulisse et les supports de chaque outil (ensemble bleu) descend le long du fourreau, afin d'extraire de la broche le cône de l'outil appelé "attachement d'outil". Ce mouvement est animé par

le vérin de coulisse. Lorsque la position ② est atteinte, l'outil qui était dans la broche est remonté en position de stockage par un vérin de module et un ensemble de biellettes pour atteindre la position ③. L'outil qui doit être mis en place est ensuite descendu sous la broche par un mécanisme identique. Dans la situation ④, le vérin de coulisse remonte l'ensemble du mécanisme en position haute, plaçant ainsi l'attachement du nouvel outil dans la broche. Le système de changement d'outils se trouve ainsi dans la position ⑤.

Pour le centre FZ 12 S acceptant des outils avec un attachement de type SK 40, la séquence de changement d'outils s'effectue en 0,9 secondes pour des outils de masse inférieure ou égale à 2,5 kg. Des outils de masse allant jusqu'à 5 kg sont acceptés par le centre FZ 12 S, mais sans exiger les mêmes performances de durée de changement d'outils.

B. Étude d'un « module changeur »

Le document de la figure 1.15b page 30 présente deux modules changeurs disposés symétriquement par rapport à l'axe de la broche de la machine :

- celui de gauche est « au repos » (outil rangé)
- celui de droite est « en travail » (outil utilisé)

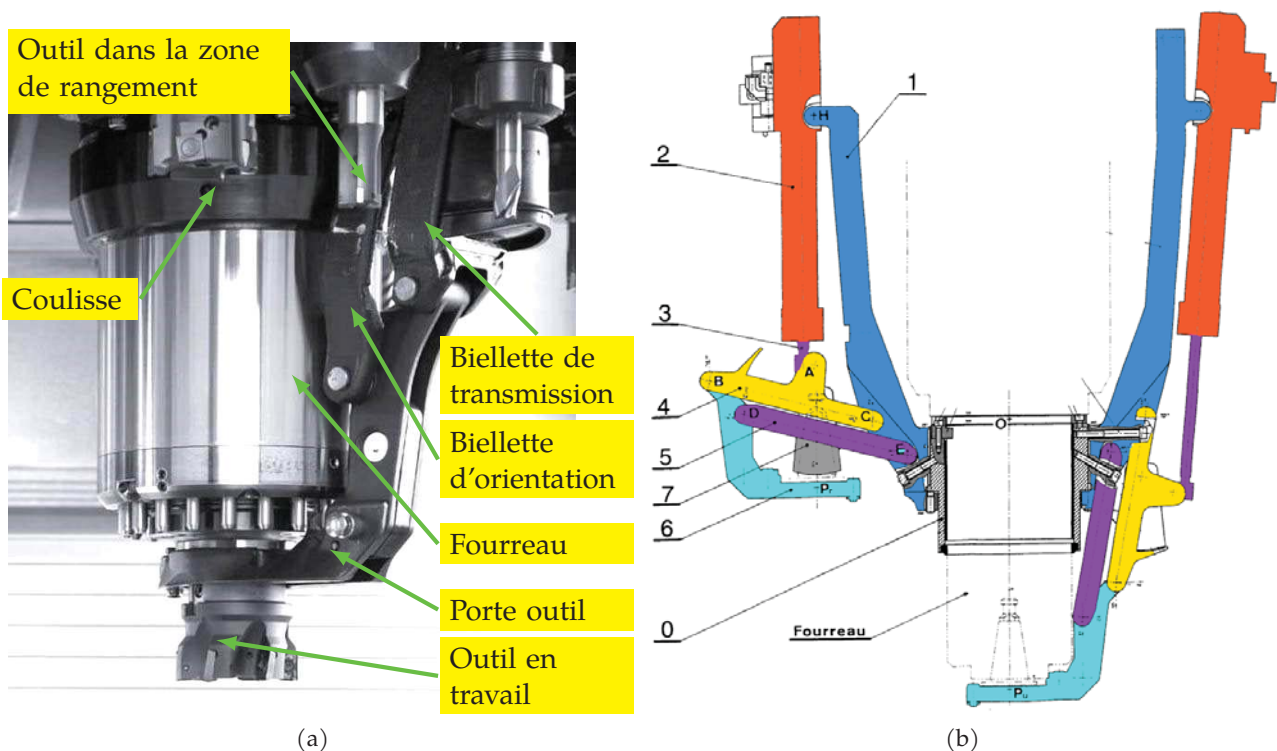


FIGURE 1.15 – Changeur d'outil

La coulisse (repère 0), de forme générale tubulaire, est en liaison glissière sur le fourreau (partie fixe cylindrique) de la broche de la machine. Elle supporte les douze modules changeurs assemblés par liaison encastrement. Un module changeur comporte :

- un support (repère 1) en liaison encastrement avec la coulisse (repère 0),
- un vérin pneumatique double effet constitué d'un corps de vérin (repère 2) et d'une tige de vérin (repère 3),
- une biellette de transmission du mouvement (repère 4),
- une biellette d'orientation (repère 5),
- un porte-outil (repère 6),
- un godet protecteur (repère 7)

On se propose d'analyser ce système mécanique et de vérifier certaines de ses performances.

Le modèle retenu pour cette étude et le paramétrage sont donnés sur le document page 31. Le système est supposé plan (C, \vec{y}_1, \vec{z}_1).

Remarque : Le système est représenté dans une position intermédiaire, entre la position repos et la position travail (θ_{14} quelconque).

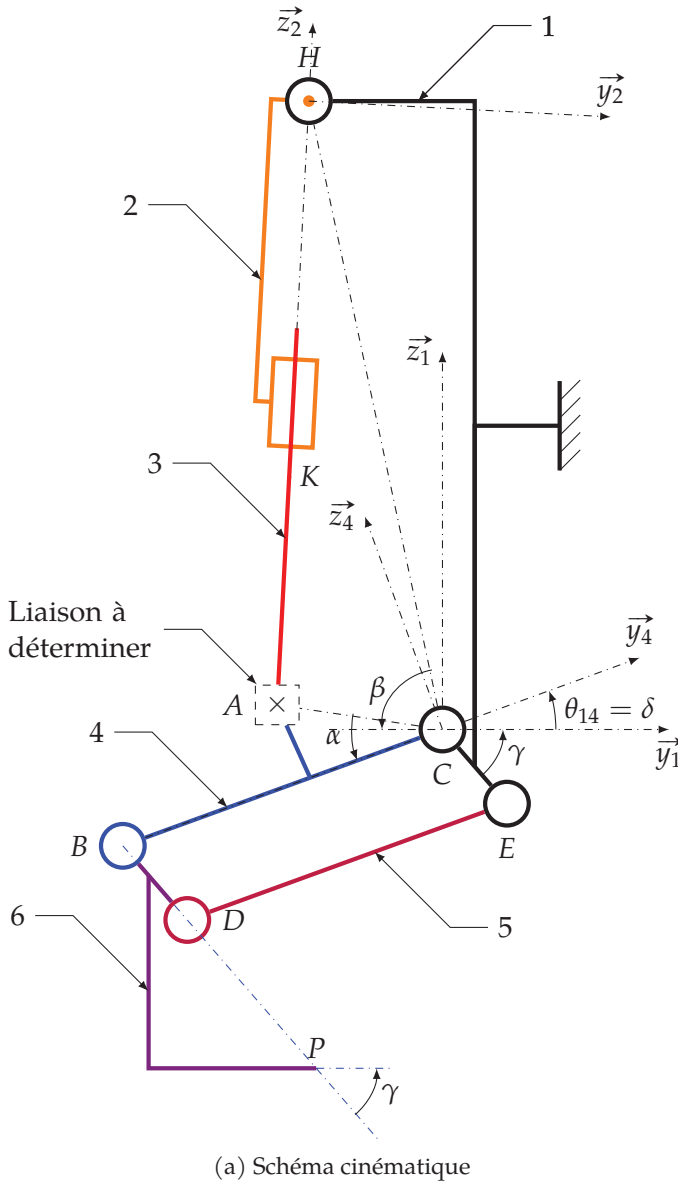


FIGURE 1.16 – Modèle cinématique du module Changeur

Données

Support (1) : $EC = e = 40 \cdot \sqrt{2} \text{mm}$,
 $CH = h = 364 \text{mm}$,
 $(\vec{CE}, \vec{y}_1) = \gamma = 45^\circ$,
 $(\vec{CH}, \vec{y}_1) = \beta = -79,4^\circ$;

Biellette de transmission (4) : $\vec{BC} = b \cdot \vec{y}_4$
 avec $b = 196,5 \text{mm}$;

Biellette d'orientation (5) : $\vec{DE} = b \cdot \vec{y}_5$;

Porte-outil (6) : $BD = e = 40 \cdot \sqrt{2} \text{mm}$ et
 $DP = d = 85 \cdot \sqrt{2} \text{mm}$,
 les points B, D et P sont alignés.

Repères

$R_1 = (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$: lié au support (1)

$R_2 = (H, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$: lié au corps de vérin (2)

$R_4 = (C, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$: lié à la bielle de transmission (4)

$R_5 = (E, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$ lié à la bielle d'orientation (5) (non représenté ci-contre)

Liaisons

L_{12} : Pivot glissant (H, \vec{x}_1)

L_{23} : Pivot glissant (K, \vec{z}_2) avec
 $\vec{HA} = -\lambda \cdot \vec{z}_2$

L_{34} : « Articulation » de centre A ... à définir ultérieurement

L_{14} : Pivot (C, \vec{x}_1) avec $\theta_{14} = (\vec{y}_1, \vec{y}_4) = \delta$

L_{15} : Pivot (E, \vec{x}_1) avec $\theta_{15} = (\vec{y}_1, \vec{y}_5)$

L_{46} : Pivot (B, \vec{x}_1)

L_{56} : Pivot (D, \vec{x}_1)

C. Étude géométrique et cinématique

Q1. Établir le graphe de structure du module changeur et déterminer le nombre et la composition des cycles indépendants.

Pour les questions suivantes, on s'intéresse à la chaîne de solides appelée « chaîne de mise en position », constituée du support (1), de la bielle de transmission (4), de la bielle d'orientation (5) et du porte-outil (6). Ces pièces sont deux à deux en liaison pivot d'axe nominale parallèle à \vec{x}_1 , ce

qui constitue un système hyperstatique. Ce choix est justifié en particulier par la robustesse que doit posséder cette chaîne de solides.

Q2. Évaluer, par une analyse cinématique, le degré de mobilité de cette chaîne de mise en position. Calculer le degré d'hyperstaticité.

Q3. Préciser le mouvement autorisé par la liaison L_{14} entre la bielle de transmission (4) et le support (1), et écrire au point C puis au point B, l'expression littérale du torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{4/1}\}$ caractérisant ce mouvement, en fonction de la dérivée temporelle de θ_{14} , et des grandeurs caractéristiques du mécanisme.

Q4. Préciser le mouvement autorisé par la liaison L_{15} entre la bielle d'orientation (5) et le support (1), et écrire au point E puis au point D, l'expression littérale du torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{5/1}\}$ caractérisant ce mouvement, en fonction de la dérivée temporelle de θ_{15} et des grandeurs caractéristiques du mécanisme.

Q5. La figure constituée des points E, C, B et D est un parallélogramme. Sachant que dans un parallélogramme les cotés opposés restent parallèles ($\theta_{14} = \theta_{15} = \delta$), en déduire la nature du mouvement du porte-outil (6) par rapport au support (1). Comment est le champ des vecteurs vitesses de ce mouvement ?

Q6. Écrire au point B puis au point P, l'expression littérale du torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{6/1}\}$ caractérisant le mouvement du porte-outil (6) par rapport au support (1) en fonction de la dérivée temporelle de δ et des grandeurs caractéristiques du mécanisme.

Q7. Écrire au point D puis au point E l'expression littérale du torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{6/5}\}$ caractérisant le mouvement du porte-outil (6) par rapport à la bielle d'orientation (5).

Q8. Écrire au point B puis au point E l'expression littérale du torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{6/4}\}$ caractérisant le mouvement du porte-outil (6) par rapport à la bielle de transmission (4).

Q9. Écrire les six équations liées à la fermeture cinématique de la chaîne de solide constituée des solides (1), (4), (5) et (6).

Q10. Déterminer le rang du système obtenu à la question précédente. En déduire le degré de mobilité et le degré d'hyperstaticité de la chaîne de solide étudiée.

La figure 1.17 présente quelques propositions de modification des liaisons de la chaîne de mise en position

Q11. Pour chacune des propositions, vérifier si le modèle est isostatique, préciser le nombre de mobilités et s'il peut être adopté pour modifier le mécanisme actuel.

Pour les deux questions suivantes, on s'intéresse à la chaîne de solides appelée « chaîne de mise en mouvement », constituée du support (1), du corps de vérin (2), de la tige de vérin (3) et de la bielle de transmission (4).

Afin de permettre le bon fonctionnement du vérin, il est souhaitable que cette chaîne de solides soit isostatique. Les liaisons L_{12} , L_{23} et L_{14} sont définies page 31.

La liaison L_{34} entre la tige de vérin (3) et la bielle de transmission (4) doit autoriser au moins un degré de liberté en rotation autour de l'axe (A, \vec{x}_1) .

Q12. Montrer, par une analyse cinématique que, si la liaison L_{34} est une liaison pivot d'axe (A, \vec{x}_1) , le degré d'hyperstaticité de la chaîne de mise en mouvement n'est pas nul.

Q13. Dans le cas où la liaison L_{34} est une liaison rotule de centre A, calculer le degré de mobilité de la chaîne de mise en mouvement, et montrer que ce système est isostatique. Identifier la (ou les) mobilité(s) de cette chaîne de mise en mouvement.

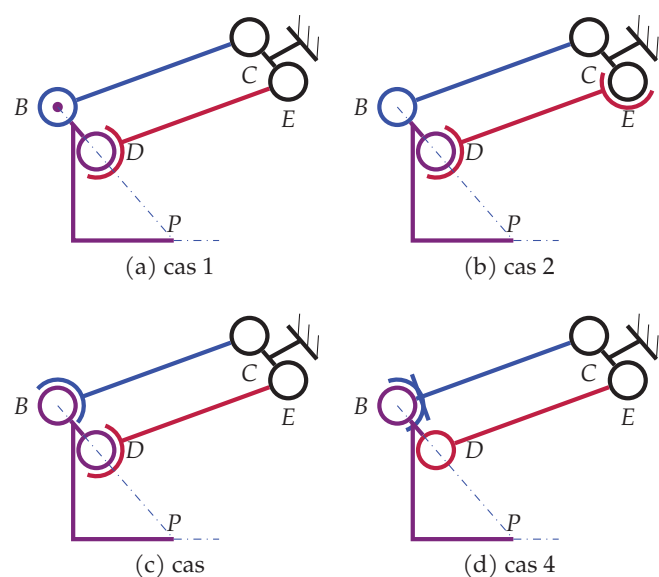


FIGURE 1.17 – Propositions de modification

Exercice 3 - Scooter Piaggio

d'après Banque PT SIB

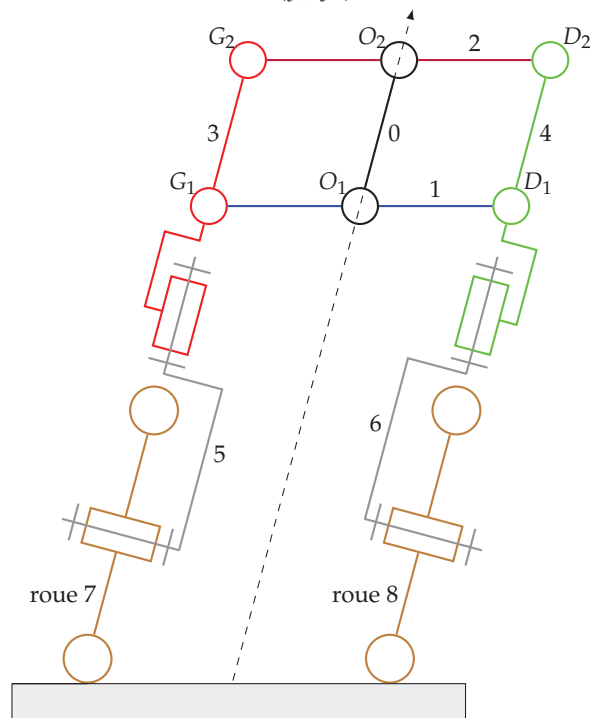
Corrigé page ??

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

$$\begin{aligned} \vec{O_1O_2} &= \vec{G_1G_2} = \vec{D_1D_2} = l_1 \cdot \vec{y}_0 \\ \vec{G_1O_1} &= \vec{G_2O_2} = l_2 \cdot \vec{x}_1 \\ \vec{O_1D_1} &= \vec{O_1D_2} = l_2 \cdot \vec{x}_1 \\ \alpha &= (\vec{y}_1, \vec{y}_0) \end{aligned}$$



(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 1.18b). 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 Σ .
- Q3. Déterminer le nombre d'inconnues de liaisons de l'ensemble Σ , 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(vi-

tesses inférieures à 15 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).

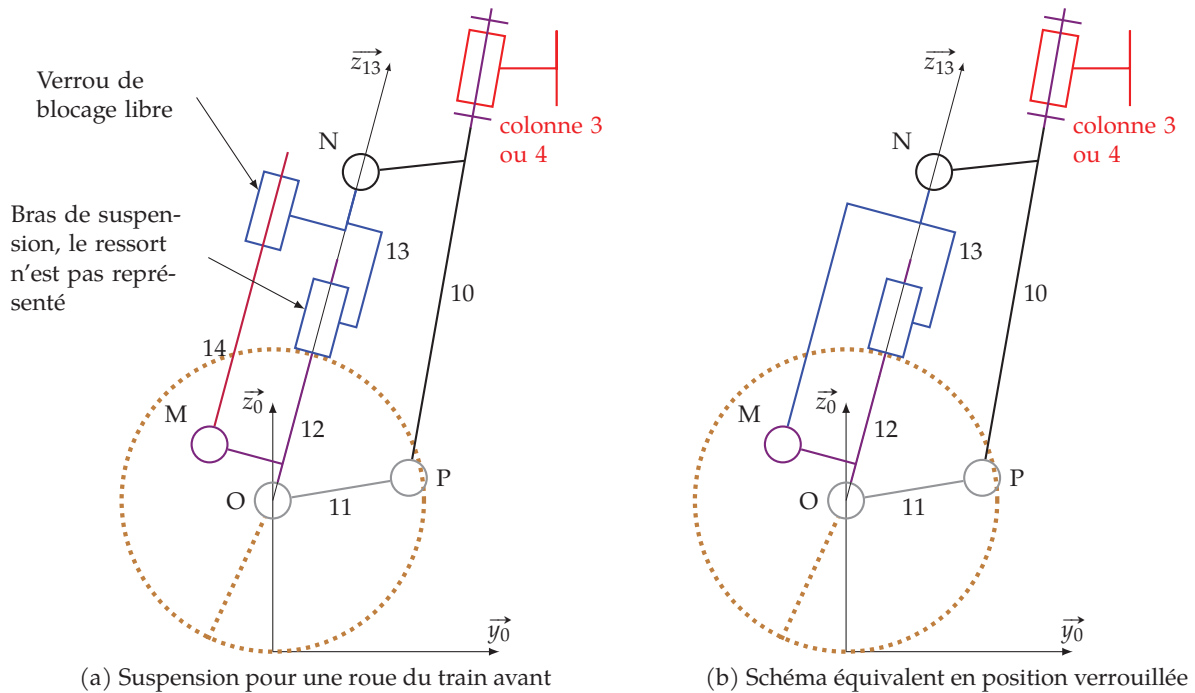


FIGURE 1.18 – Bras de suspension : position non verrouillée et verrouillée

Les deux figures 1.18a et 1.18b 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.

Exercice 4 - Tête à polir le marbre

Extrait de Centrale Supélec TSI 2001

Corrigé page ??

Description et données

Les patins abrasifs sont :

- entraînés en rotation autour d'un axe vertical;
- animés d'un mouvement d'oscillation autour d'un axe horizontal.

Les patins utilisés sont également des patins standards, parallélépipédiques, dont la face inférieure devient progressivement cylindrique, sous l'effet de l'usure.

Les grains d'abrasif usés ne restent pas sous les patins et sont facilement éliminés par aspersion d'eau sur la pierre à polir.

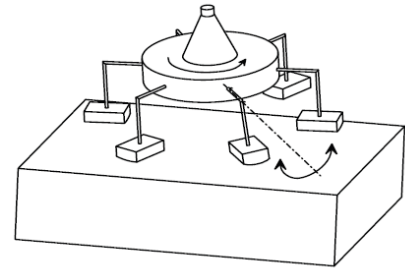


FIGURE 1.19 – Tête à polir

- $(\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ est une base liée à la pièce i ;
- $\omega_{ij} = \frac{d\theta_{ij}}{dt}$ représente la mesure algébrique de la vitesse de rotation du solide i par rapport au solide j , θ_{ij} repérant l'orientation du solide i par rapport au solide j ;
- Vitesse d'entrée : $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_e \cdot \vec{z}$, $\omega_e = 500$ tr/min.

A. Étude du mécanisme de transformation de mouvement

Le mécanisme est schématisé sur la figure de la présente page.

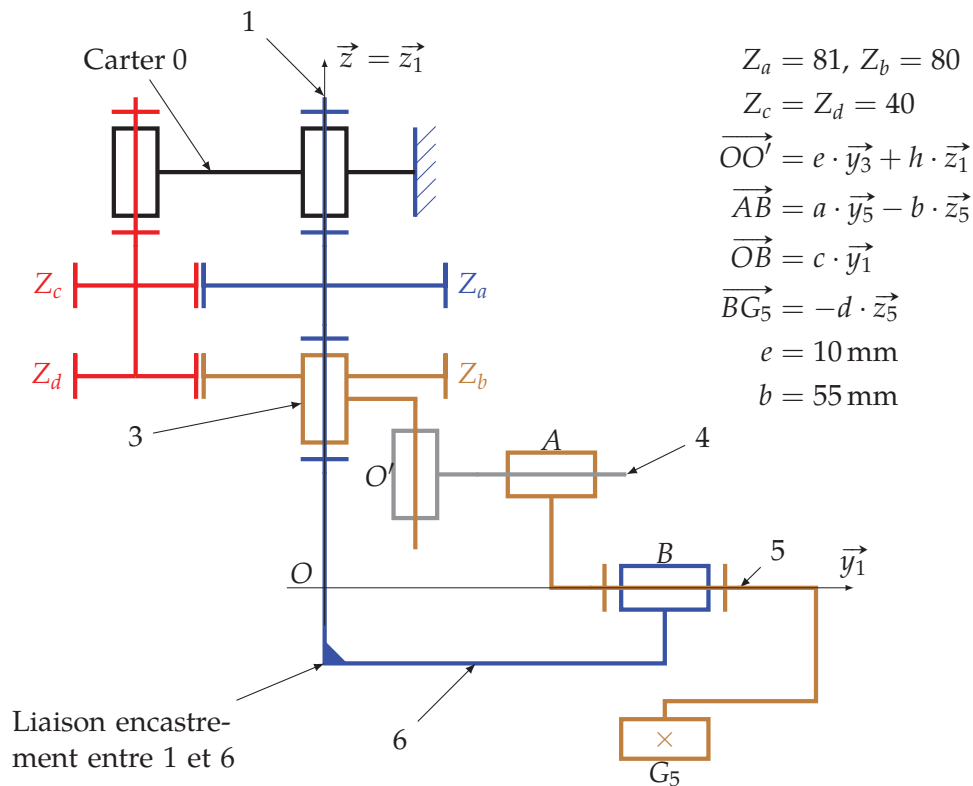


FIGURE 1.20 – Schéma cinématique tête à polir

Le mécanisme étudié est constitué de la chaîne fermée de solides 1 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1 . Ce sous ensemble fait partie du système dont le schéma est présenté sur le document 2, en acceptant que la liaison 1 – 6 soit une liaison encastrement.

Le mouvement de rotation de 3 par rapport à 1 provoque un mouvement d'oscillation de la pièce 5 par rapport à 1. Ce mouvement correspond à la mobilité utile du système étudié. Les figures de rotation (figure 1.21) précisent les différents paramètres angulaires et les repères associés aux pièces.

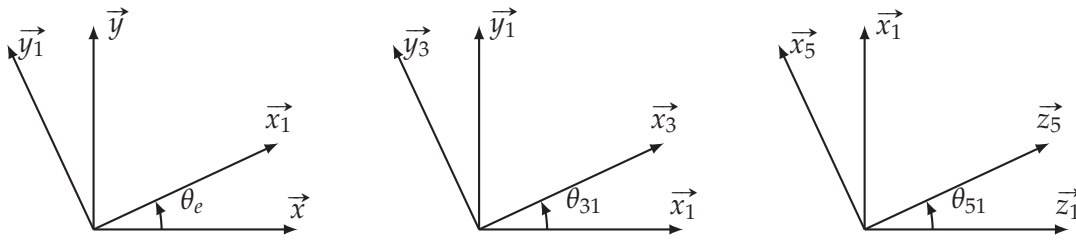


FIGURE 1.21 – Figures de calculs

Q1. Tracer le graphe des liaisons, en nommant les liaisons autres que la liaison 1–6 et en indiquant leurs caractéristiques géométriques.

Q2. En supposant l'absence de toute mobilité interne, calculer le degré d'hyperstatisme du système, sans écrire, pour l'instant, de fermeture de chaîne cinématique.

Q3. Exprimer les torseurs cinématiques suivant :

$$\left\{ \mathcal{V}_{3/1} \right\} \text{ en } O, \left\{ \mathcal{V}_{4/3} \right\} \text{ en } O', \left\{ \mathcal{V}_{5/4} \right\} \text{ en } O' \text{ et } \left\{ \mathcal{V}_{6/5} \right\} \text{ en } O.$$

Q4. En supposant toujours la liaison 1–6 comme une liaison encastrement, écrire les équations scalaires traduisant la fermeture de la chaîne cinématique au point O' .

Q5. Retrouver le degré de mobilité et d'hyperstaticité.

Afin de rendre le mécanisme isostatique, il faut rajouter, dans les liaisons composant la chaîne cinématique étudiée, un nombre de degrés de liberté au moins égal au degré d'hyperstatisme. On peut rajouter un nombre de degrés de liberté supérieur au degré d'hyperstatisme à condition de ne pas modifier la loi entrée – sortie du mécanisme. Apparaîtront alors une (ou plusieurs) mobilité(s) interne(s). Une possibilité de modification concerne la liaison 3 – 4.

Q6. Proposer une modification de la liaison 3 – 4 permettant de rendre le mécanisme isostatique. Écrire son torseur cinématique et montrer son incidence sur les équations de fermeture cinématique. Si cette modification entraîne l'apparition d'une (ou plusieurs) mobilité(s) interne(s), la (les) citer.

Attention : le schéma cinématique est réalisé dans la position de référence du mécanisme pour laquelle les liaisons pivot ou pivot glissant 1 – 3, 3 – 4, 4 – 5 et 5 – 6 sont coplanaires. On fera l'hypothèse que les pièces 1 et 6 sont liées par une liaison encastrement.

Remarque 1 : le schéma ci-dessus permet d'étudier la cinématique du mécanisme. Il est donc nécessaire d'y faire apparaître de façon rigoureuse les liaisons et leurs positions respectives, mais les formes données aux pièces n'ont aucune importance.

Remarque 2 : on réalise du déport de denture afin que les entraxes des engrenages a – c et b – d puissent être égaux bien que Z_a et Z_b soient différents.

Exercice 5 - Liaison glissière

Corrigé page ??

Afin de minimiser les frottements dans une liaison glissière, un fabricant propose une liaison entre le bâti et le chariot à partir de trois galets (figure 1.22). Ces trois galets sont en liaison pivot par rapport au chariot-4 (on note A_1, A_2, A_3 les centres des pivots). La liaison entre chaque galet et le bâti-0 est modélisée par une liaison linéaire annulaire respectivement de centre I_1 et (I_1, \vec{x}) pour le galet-1, de centre I_2 et (I_2, \vec{x}) pour le galet-2, et de centre I_3 d'axe (I_3, \vec{x}) pour le galet-3.

Le galet-3 est réglable par un mécanisme à excentrique qui permet de s'assurer du contact sur le rail.

On considère pour l'étude que le galet-3 est correctement réglé et que l'axe (A_3, \vec{z}) est fixe par rapport au chariot.

Q1. Justifier le choix de la modélisation de chaque liaison.

Q2. Tracer le graphe des liaisons. Préciser pour chaque liaison le torseur des actions transmissibles.

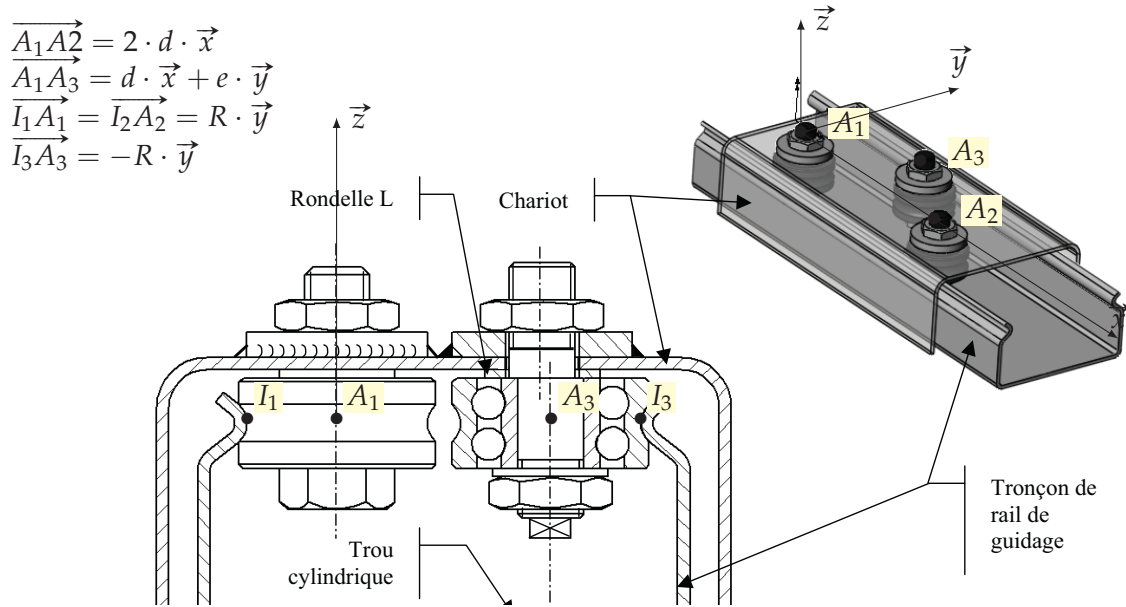


FIGURE 1.22 – Mécanisme de transfert- liaison bâti-chariot

- Q3.** Vérifier, en isolant l'ensemble mobile {galet-1, galet-2, galet-3, chariot-4}, que la liaison équivalente entre le chariot et le bâti est une glissière.
- Q4.** Isoler maintenant le galet-1, en déduire la liaison équivalente à la chaîne de solides {chariot-4, galet-1, bâti-0}.
- Q5.** Déterminer les mobilités utiles et internes du mécanisme puis le degré d'hyperstaticité.
- Q6.** Justifier alors la possibilité du réglage de l'axe du galet-3.