

## Travaux dirigés



## 1 La chaise de dentiste : Bac STI (GE) 2006

### 1.1 Mise en situation



La chirurgie dentaire et ses spécificités opératoires nécessitent l'installation du patient dans une position couchée particulière (voir illustration ci-dessous). La société AIREL a donc développé un fauteuil d'opération ergonomique, véritable automate comportant toutes les commandes et les fonctions dont le praticien doit disposer, quelle que soit sa spécialité et ses contraintes opératoires.

Figure 1 – Fauteuil dans un cabinet

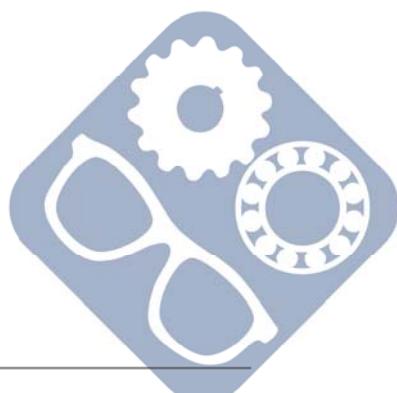
### 1.2 Présentation du système

Le système de levée du fauteuil, qui va être l'objet de notre étude, est composé d'un vérin ainsi que d'un système pantographe.

Il permet de piloter la montée et la descente du fauteuil afin de placer le patient à une hauteur adéquate afin que le médecin pratique son intervention dans les meilleures conditions possibles.



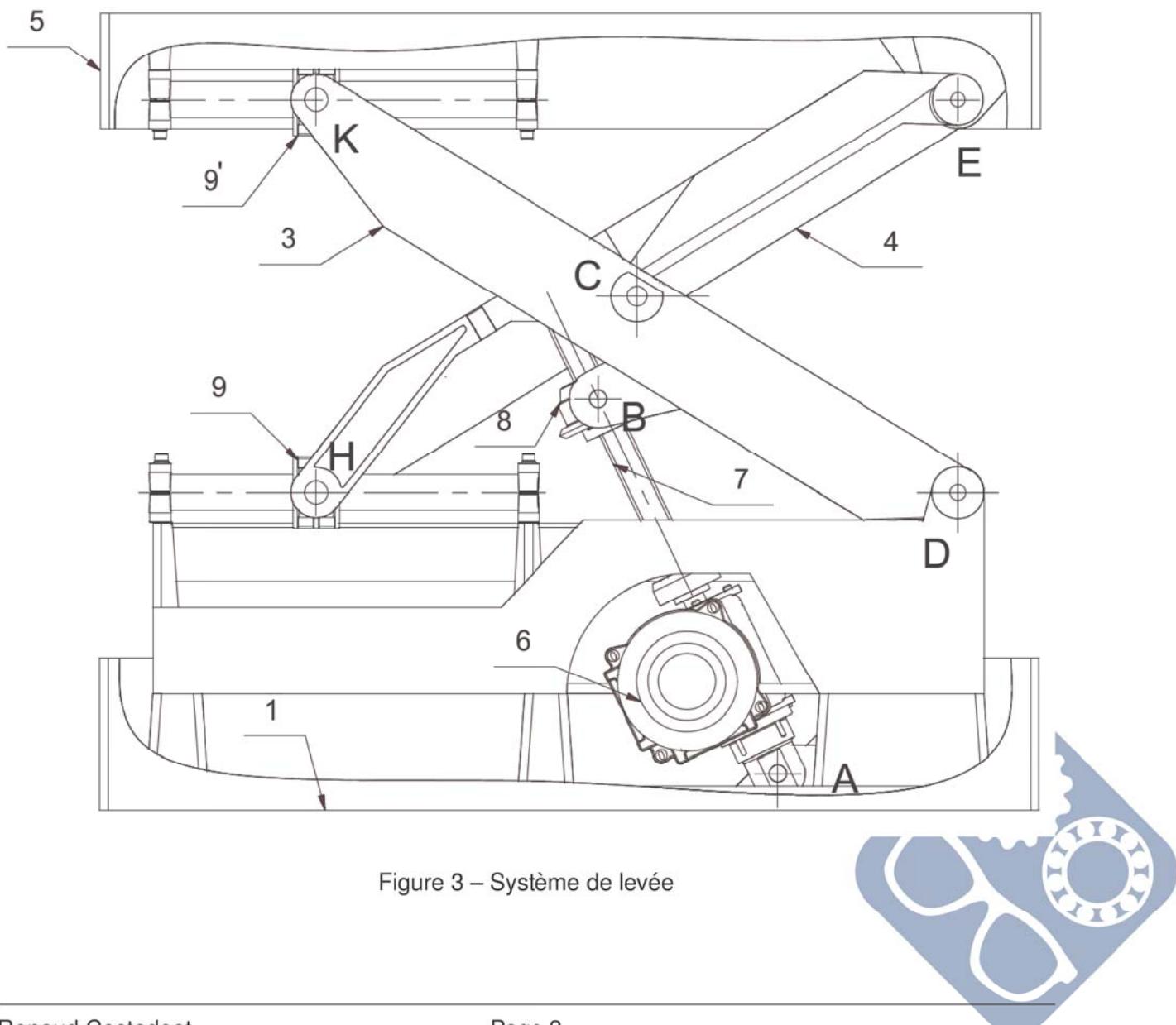
Figure 2 – Système de levée



### 1.3 Descriptif de la cinématique

La figure 3, montre les pièces du système numérotées.

- La pièce 9 est en liaison pivot glissant avec la pièce 16, cette pièce est intégrée à la classe d'équivalence 1,
- La pièce 9' est en liaison pivot glissant avec la pièce 5,
- La pièce 9' est en liaison pivot avec la pièce 3, la 9 avec la pièce 4,
- Les pièces 3 et 4 sont liées par une liaison pivot par l'intermédiaire des pièces 12 et 13, ces pièces sont intégrées à la classe d'équivalence 3,
- La pièce 8 est en liaison pivot avec la pièce 3 par l'intermédiaire des pièces 20, 21 et 27, ces pièces sont intégrées à la classe d'équivalence 3,
- Les pièces 7 et 8 sont liées par une liaison hélicoïdale,
- La pièce 7 est entraînée en rotation par le moteur 6 qui lui est en liaison pivot par rapport à la pièce 1,
- La pièce 3 est en liaison pivot par rapport à la pièce 2 par l'intermédiaire de la pièce 22, ces pièces sont intégrées à la classe d'équivalence 2,
- La pièce 4 est en liaison pivot par rapport à la pièce 5. Les pièces 1 et 2 sont solidaires.



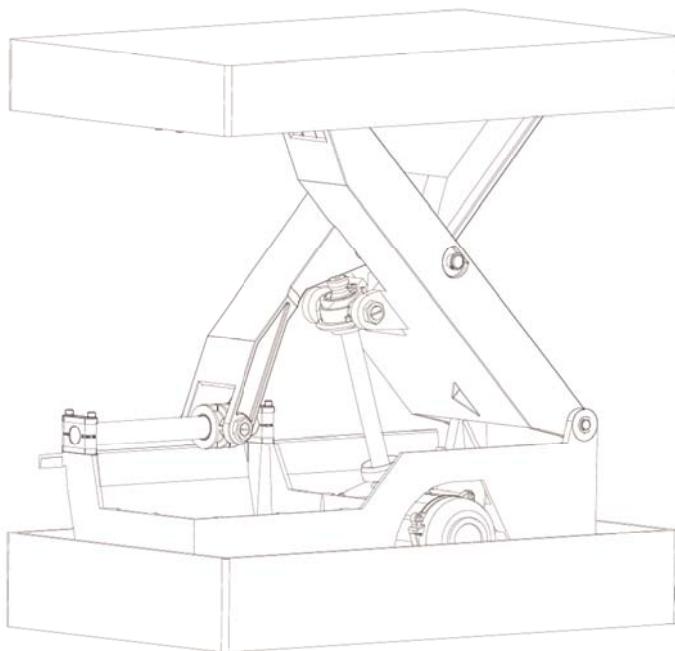


Figure 4 – Position haute

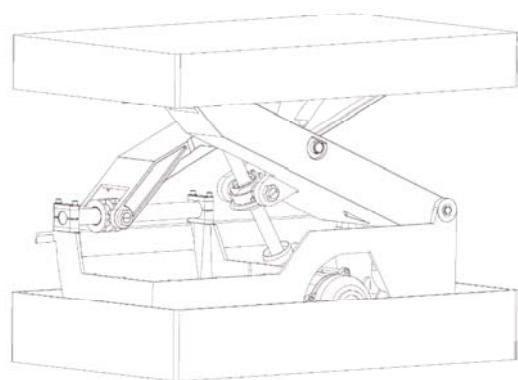


Figure 5 – Position intermédiaire

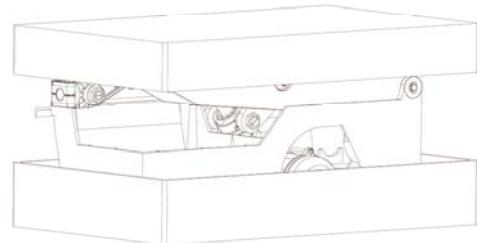
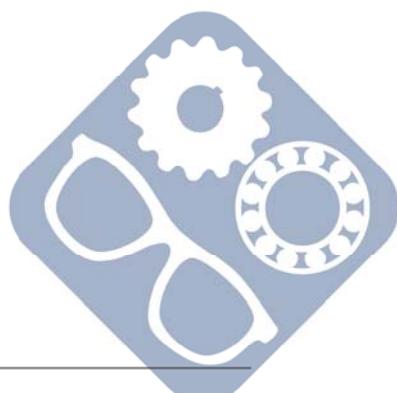


Figure 6 – Position basse

**Question 1 :** Réaliser le graphe de liaison de ce mécanisme. Donner, pour chaque liaison, le type de liaison, le point d'application ainsi que le ou les axes nécessaires à sa description.

**Question 2 :** Représentez le mécanisme d'élévation du siège à l'aide d'un schéma cinématique.

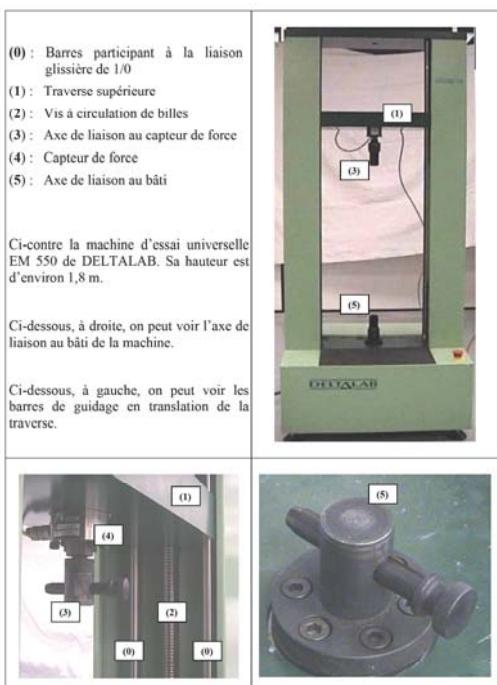
**Question 3 :** Écrire le torseur de chacune de ces liaisons à son point d'application.



## 2 Machine d'essai universelle EM 550

La machine électromécanique universelle EM 550, figure 26 est conçue pour être utilisée dans de nombreuses applications d'essais de matériaux et de structures. Elle permet de réaliser des essais de traction, de compression, de flexion, de fatigue, de fluage, de dureté, de frottement ainsi que des tests sur des assemblages et des structures. Cette machine est commercialisée par DELTALAB. Elle est présente dans les laboratoires des services recherche et développement de nombreuses entreprises.

La machine d'essais est reliée à un micro-ordinateur équipé du logiciel DELTALAB, d'une interface logiciel/machine pour le pilotage, l'acquisition et le traitement des données et d'une imprimante.

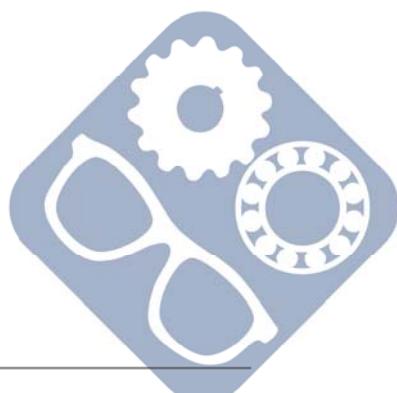


Caractéristiques générales (voir schéma cinématique en annexe 2) :

- Effort maximal sur la traverse : 50 kN.
- Course maximale : 1 m.
- Entraînement : servomoteur à courant continu avec génératrice tachymétrique.
- Transmission : réducteur roue et vis sans fin, pouilles, courroie crantée et vis et écrous à billes.
- Mesure du déplacement : codeur optoélectrique de résolution 500 positions par tour.
- Mesure de l'effort : capteur à jauge de déformations.
- Alimentation : 240 V monophasé / 50 Hz - 1 kW max.
- Couple permanent du servomoteur : 3 N.m.

Figure 7 – Machine EM 550

La traverse est liée au bâti par deux liaisons glissières montées en parallèle. Cette traverse est donc globalement en liaison glissière par rapport au bâti.



Le schéma cinématique du montage est donné sur la figure 27.

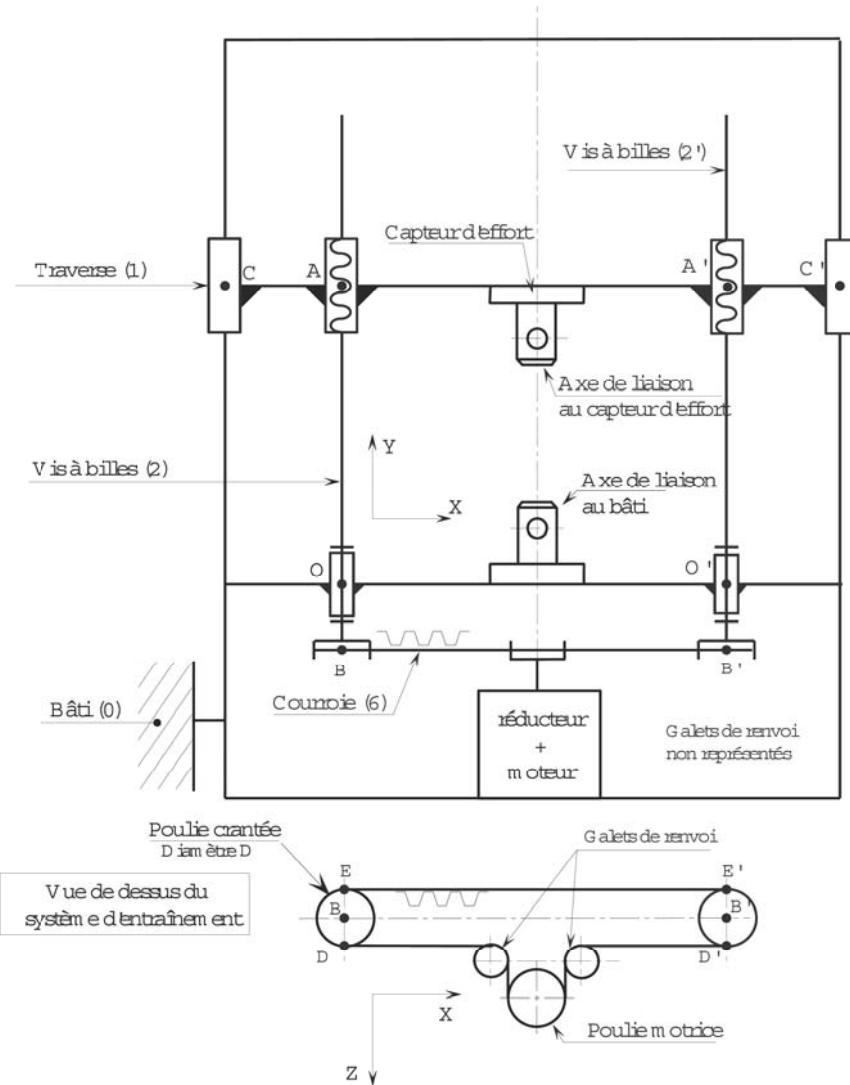


Figure 8 – Schéma cinématique

**Question 1 :** Modéliser le mécanisme grâce à un graphe de liaisons.

**Question 2 :** Déterminer le degré d'hyperstatisme de ce mécanisme.

**Question 3 :** Écrire les équations cinématiques qui régissent le système. A partir du système d'équations proposé, proposer des modifications qui permettraient de le rendre isostatique.



### 3 Système E.P.A.S.

#### 3.1 Introduction

Une E.P.A.S. est une Echelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle. Ce système est monté sur le châssis d'un camion de pompiers et permet de déplacer une plate forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité.



Figure 9 – Système E.P.A.S.

La figure 25 donne un schéma cinématique du système de manœuvre du parc échelle.

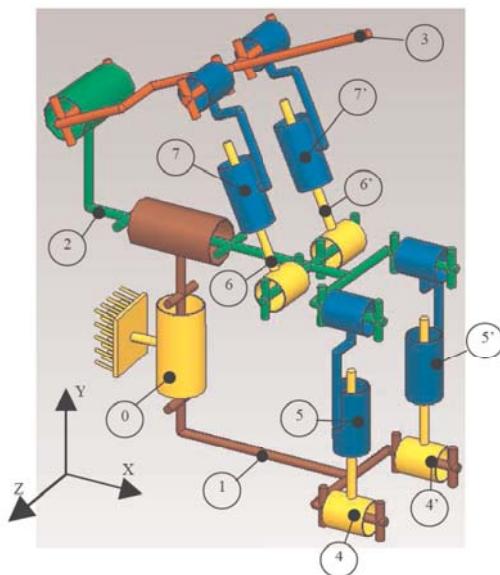
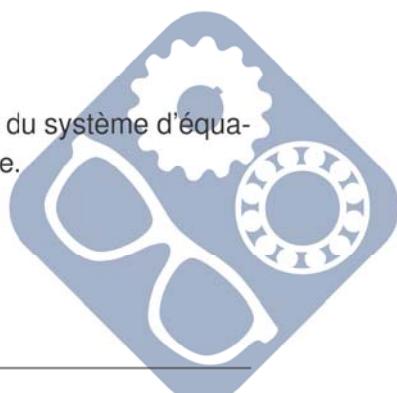


Figure 10 – Schéma cinématique du système de manœuvre

**Question 1 :** Modéliser le mécanisme grâce à un graphe de liaisons.

**Question 2 :** Déterminer le degré d'hyperstatisme de ce mécanisme.

**Question 3 :** Écrire les équations cinématiques qui régissent le système. A partir du système d'équations proposé, proposer des modifications qui permettraient de le rendre isostatique.



## 4 Grue à tour

### 4.1 Présentation

Les grues, éléments incontournables du paysage urbain, sont des outils de production qui doivent répondre à des exigences de sécurité, de productivité, de transport et de montage-démontage. L'étude qui est proposée concerne des problématiques réelles. Il existe des types de grues adaptées à différents usages, le sujet porte sur l'étude d'une grue à tour de taille moyenne.

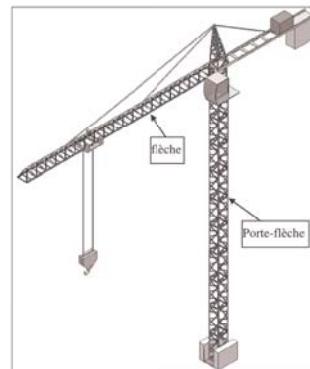


Figure 11 – Grue à tour

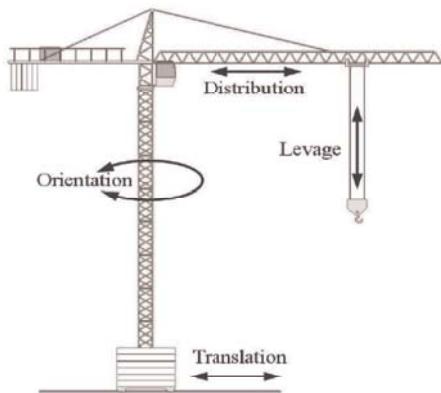


Figure 12 – Grue à tour

Les principaux mouvements d'une grue à tour les 4 principaux mécanismes sont associés à :

- la **distribution**, qui déplace le chariot le long de la flèche,
- le **levage**, qui déplace le crochet, suspendu par l'intermédiaire du chariot, vers le haut et vers le bas,
- l'**orientation**, qui fait tourner l'ensemble de l'équipement flèche de gauche à droite,
- la **translation**, qui déplace l'ensemble de la grue sur un rail fixé au sol.

Les principaux mouvements d'une grue à tour les 4 principaux mécanismes sont associés à :

- la **distribution**, qui déplace le chariot le long de la flèche,
- le **levage**, qui déplace le crochet, suspendu par l'intermédiaire du chariot, vers le haut et vers le bas,
- l'**orientation**, qui fait tourner l'ensemble de l'équipement flèche de gauche à droite,
- la **translation**, qui déplace l'ensemble de la grue sur un rail fixé au sol.

La mise en œuvre de ces mouvements s'effectue à partir de la cabine, ou à l'aide d'une commande à distance.

Hierarchie des contraintes :

- la sécurité est la plus importante des contraintes dans la conception et l'utilisation d'une grue,
- la productivité,
- la facilité de mise en œuvre et de transport.

Les grues modernes disposent de fonctions qui permettent d'optimiser (ou d'interdire) leur fonctionnement en fonction :

- des efforts dans sa structure (valeur et position de la charge, effets dynamiques),
- du vent,
- de zones à interdire,
- de la présence d'autres grues.



## 4.2 Étude cinématique de la grue

On va déterminer dans cette partie la vitesse de la masse transportée par la grue. On définit  $(G_C, \vec{x}_C, \vec{y}_C, \vec{z}_C)$ , le repère lié au chariot (figure 13).

Hypothèses :

- La charge de masse M est supposée ponctuelle au point P d'attache avec le crochet,
- $\overrightarrow{OG_C} = R.\vec{x}_C$  et  $\overrightarrow{G_C P} = L.\vec{z}_P$ ,
- le bâti de la grue portera le numéro 0,
- la flèche portera le numéro 1,
- le chariot portera le numéro 2,
- le crochet portera le numéro 3.

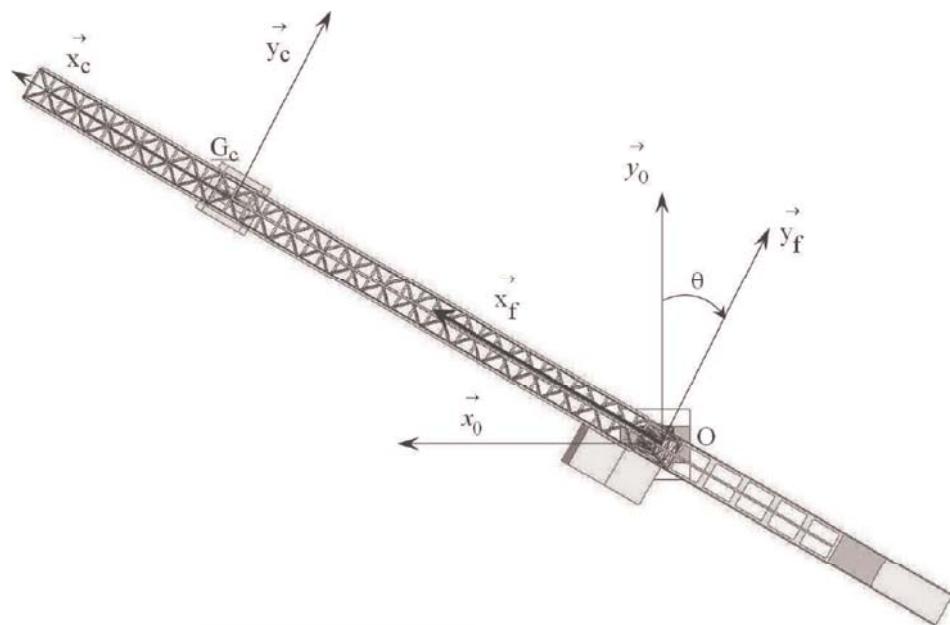


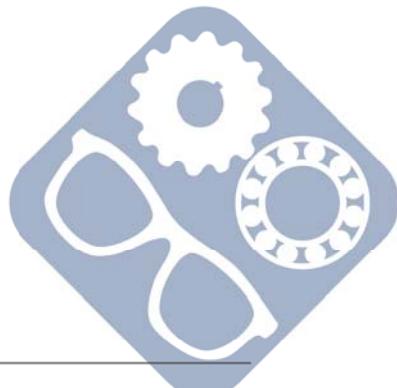
Figure 13 – Grue paramétrée

**Question 1 :** Déterminer la vitesse  $\overrightarrow{V_{G_c \in 1/0}}$ .

**Question 2 :** Déterminer la vitesse  $\overrightarrow{V_{G_c \in 2/1}}$ , puis  $\overrightarrow{V_{G_c \in 2/0}}$ .

**Question 3 :** Déterminer la vitesse  $\overrightarrow{V_{P \in 3/2}}$ , puis  $\overrightarrow{V_{P \in 3/0}}$ .

**Question 4 :** Déterminer l'accélération  $\overrightarrow{\Gamma_{P \in 3/0}}$ , que pensez-vous de ce résultat ?



## 5 Étude d'un poste de palettisation de bidons

La société Agronutrition est une PME du tissu économique midi-pyrénéen. Elle conçoit, fabrique et commercialise une large gamme de compléments nutritionnels destinés à améliorer la qualité et/ou le rendement des productions végétales (grandes cultures, vigne, arboriculture, maraîchage). Utilisables en Agriculture Biologique, ces compléments permettent d'améliorer les qualités nutritives des produits agricoles (teneur en protéines, teneur en sucres, teneur en oligo-éléments, résistance aux meurtrisures, conservation, etc.).

L'outil industriel répond aux exigences spécifiées en terme d'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement. Il est spécifiquement dédié à la formulation, la fabrication et le conditionnement des produits.

L'étude se limitera à l'atelier de conditionnement des produits, aujourd'hui en partie automatisé.

### 5.1 Atelier de conditionnement des produits

#### 5.1.1 Présentation

Les produits réalisés par l'entreprise Agronutrition se présentent sous forme liquide et sont élaborés et stockés dans des cuves avant d'être conditionnés dans des bidons de 5, 10, 20 ou 40 litres.

Les bidons vides sont livrés par palettes. Le conditionnement des produits consiste en un certain nombre d'opérations réalisées sur des postes spécifiques :

- Poste 1 : dépalettisation des bidons vides,
- Poste 2 : remplissage des bidons,
- Poste 3 : bouchage des bidons,
- Poste 4 : marquage jet d'encre des bidons pour assurer leur traçabilité,
- Poste 5 : collage étiquette,
- Poste 6 : palettisation des bidons,
- Poste 7 : stockage des palettes pleines.



Figure 14 – Bidon

Seules les opérations 2, 3, 4, 5 et 6 sont aujourd'hui entièrement automatisées. En particulier, la palettisation des bidons pleins au poste 6 est réalisée par un robot Kuka KR 180-2 PA dont les caractéristiques sont précisées en annexe 1, page 15.

#### 5.1.2 Schéma d'implantation

La figure 20 représente le schéma d'implantation de l'atelier de conditionnement. Les bidons sont déposés au poste 1 sur un tapis de transfert motorisé en mouvement continu. La coordination des postes est basée sur le nombre de bidons présents dans les stocks intermédiaires : un poste n'effectuera un cycle de production normal que si au moins un bidon est présent dans le stock amont et que le stock aval n'est pas saturé.

Le poste de palettisation 6 est protégé par une enceinte grillagée. Son accès est interdit durant les évolutions du robot par mesure de sécurité.

Les bidons doivent être rangés comme l'indique la figure 21.

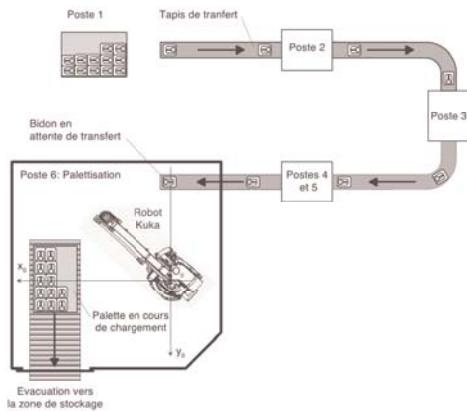


Figure 15 – Schéma d'implantation

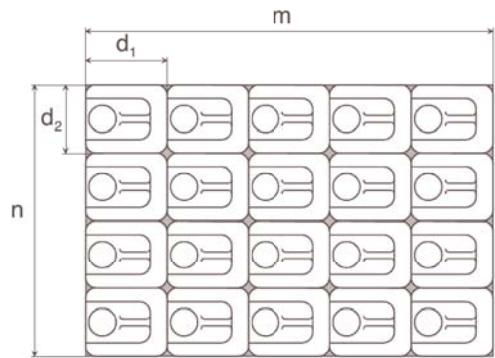


Figure 16 – Bidons

## 5.2 Analyse cinématique du robot

### 5.2.1 Objectif

On souhaite tout d'abord s'assurer que, pour tous les conditionnements de produit, le robot pourra mettre en position le bidon le plus éloigné situé dans les coins du bord extérieur de la palette.

On s'intéressera ensuite aux particularités des mouvements du robot (dont la vocation est la palettisation) résultant de l'utilisation d'un double parallélogramme. Pour cela, on donne le schéma cinématique suivant :

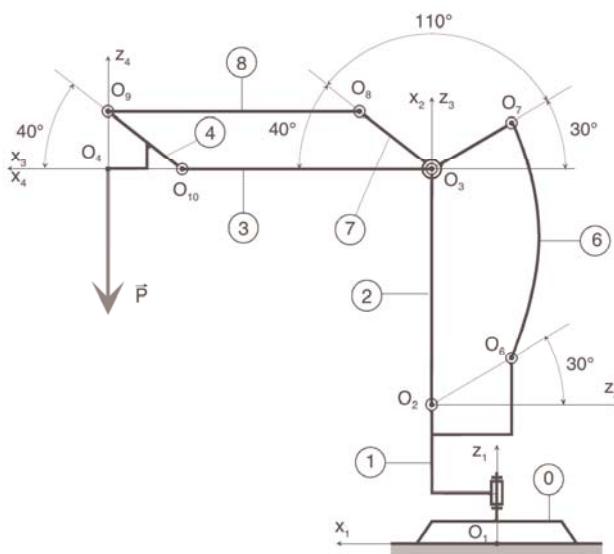


Figure 17 – Schéma cinématique du système

### 5.2.2 Données

- L'espace de travail du robot est défini Figure 15, annexe 1,
- Les palettes sont disposées symétriquement par rapport à l'axe  $\overrightarrow{O_0x_0}$ , de la figure 19,
- On suppose que l'axe vertical de symétrie d'un bidon est confondu avec l'axe  $(O_4, \overrightarrow{z_4})$  et que la face supérieure d'un bidon est située dans le plan  $(\overrightarrow{x_4}, \overrightarrow{z_4})$ .

**Question 1 :** Dans la position instantanée de la figure 22, en supposant les différents moteurs alimentés et en désignant par  $\omega_{ij}$  la vitesse angulaire i par rapport au solide j, déterminer :

1.  $\overrightarrow{V_{(O_4 \in 4/7)}}$  : vitesse de  $O_4$  appartenant à 4 par rapport à 7,
2.  $\overrightarrow{V_{(O_4 \in 7/1)}}$  : vitesse de  $O_4$  appartenant à 7 par rapport à 1,
3.  $\overrightarrow{V_{(O_4 \in 1/0)}}$  : vitesse de  $O_4$  appartenant à 1 par rapport au sol,
4.  $\overrightarrow{V_{(O_4 \in 4/0)}}$  : vitesse de  $O_4$  appartenant à 4 par rapport au sol.

**Question 2 :** En déduire les vecteurs accélération suivants :

1.  $\overrightarrow{\Gamma_{(O_4 \in 4/7)}}$  : accélération de  $O_4$  appartenant à 4 par rapport à 7,
2.  $\overrightarrow{\Gamma_{(O_4 \in 7/1)}}$  : accélération de  $O_4$  appartenant à 7 par rapport à 1,
3.  $\overrightarrow{\Gamma_{(O_4 \in 1/0)}}$  : accélération de  $O_4$  appartenant à 1 par rapport au sol,
4.  $\overrightarrow{\Gamma_{(O_4 \in 4/0)}}$  : accélération de  $O_4$  appartenant à 4 par rapport au sol.

**Question 3 :** En déduire la nature du mouvement du poignet 4 par rapport à la pièce 1. Ceci correspond-il à la vocation de palettisation du robot ? Quel est l'intérêt d'une telle structure par rapport à celle d'un robot 6 axes (voir figure 23) ?

**Question 4 :** Déterminer si-possible les champs de vecteur vitesse et d'accélération suivants :

1. mouvement de 4 par rapport à 7,
2. mouvement de 7 par rapport à 1,
3. mouvement de 1 par rapport au sol.

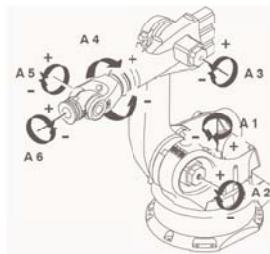
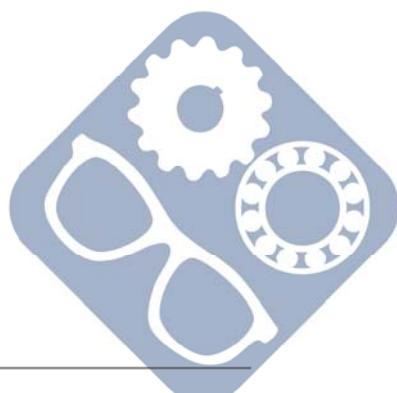


Figure 18 – Système 6 axes



## Domaines d'application

Le robot Kuka KR 180-2 PA est un robot industriel à quatre axes à cinématique articulée, pouvant être mis en œuvre pour toutes les tâches avec positionnement point par point et, de manière limitée, pour le contournage.

Ses principaux domaines d'application sont :

- la palettisation,
- la manipulation,
- la dépalettisation.



Figure 10 : Robot Kuka KR 180-2 PA

## Ensemble mécanique du robot

Le robot (voir **Figure 11, page 17**) est formé d'une embase fixe **0** sur laquelle tourne autour d'un axe vertical le "bâti de rotation" ou fût **1** qui supporte l'épaule **2**, le bras **3** et le poignet **4**.

La charge utile et le poids mort des composants articulés sont compensés statiquement par un système d'équilibrage **9**. Ce système assiste l'épaule **2**.

La bride de fixation du poignet permet de monter le préhenseur **5** (voir **Figure 13, page 17**).

La **Figure 13** représente le schéma cinématique du robot Kuka. On associe à chaque solide  $k$ ,  $k = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ , un repère  $R_k$  ( $O_k, \vec{x}_k, \vec{y}_k, \vec{z}_k$ ). L'embase **0** est fixée au sol. Le repère  $R_0$  ( $O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$ ), lié à l'embase, constitue le repère absolu.

Les liaisons entre les différents solides sont toutes de type pivot :

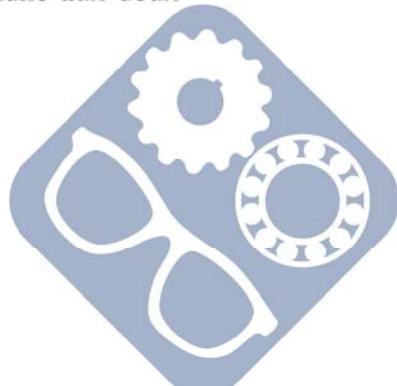
- d'axe  $(O_0, \vec{z}_0) = (O_1, \vec{z}_1)$  et de paramètre angulaire  $\alpha_1$  entre l'embase **0** et le bâti de rotation **1** ;
- d'axe  $(O_2, \vec{y}_2)$  et de paramètre angulaire  $\alpha_2$  entre l'épaule **2** et le bâti de rotation **1** ;

- d'axe  $(O_3, \vec{y}_3)$  et de paramètre angulaire  $\alpha_3$  entre le bras **3** et l'épaule **2** ;
- d'axe  $(O_4, \vec{y}_4) = (O_5, \vec{y}_5)$  et de paramètre angulaire  $\alpha_4$  entre le poignet **4** et le préhenseur **5** ;
- d'axes  $(O_{10}, \vec{y}_4)$  et  $(O_9, \vec{y}_4)$  entre le poignet **4** et respectivement le bras **3** et la barre **8** ;
- d'axes  $(O_6, \vec{y}_1)$  entre la barre **6** et le bâti rotatif **1** ;
- d'axes  $(O_7, \vec{y}_3)$ ,  $(O_8, \vec{y}_3)$  et  $(O_3, \vec{y}_3)$  entre la pièce **7** et respectivement les barres **6** et **8** et le bras **3**.

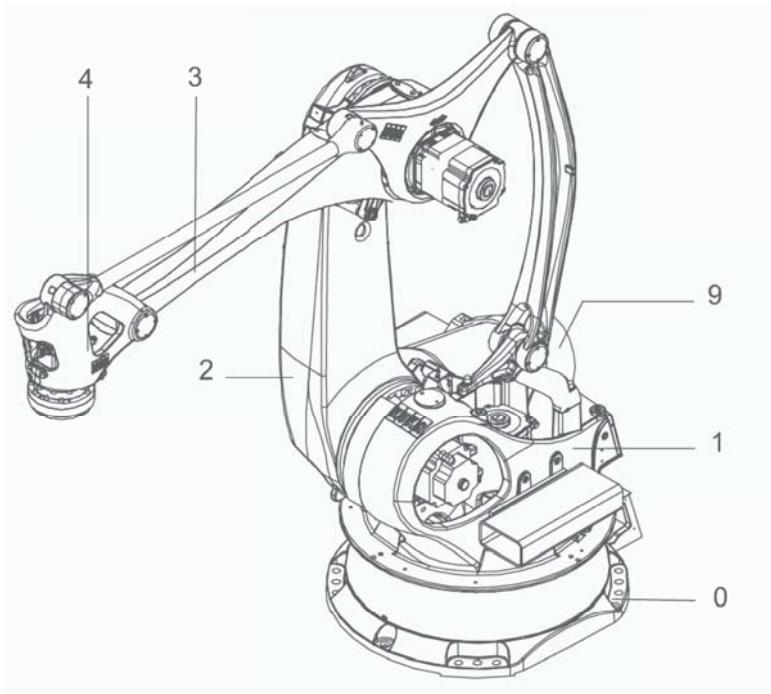
L'épaule **2** fait partie du parallélogramme  $O_2O_3O_7O_6$  dont le coté  $O_2O_6$  est solidaire de la pièce **1**.

Le bras **3** fait partie du parallélogramme  $O_3O_8O_9O_{10}$  dont le coté  $O_9O_{10}$  est solidaire du poignet **4**.

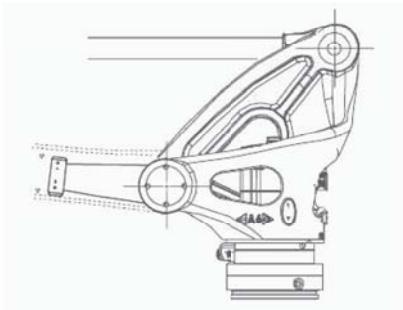
La pièce repérée **7** est commune aux deux parallélogrammes.



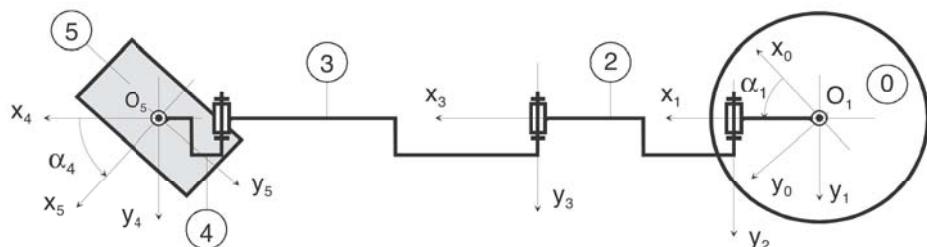
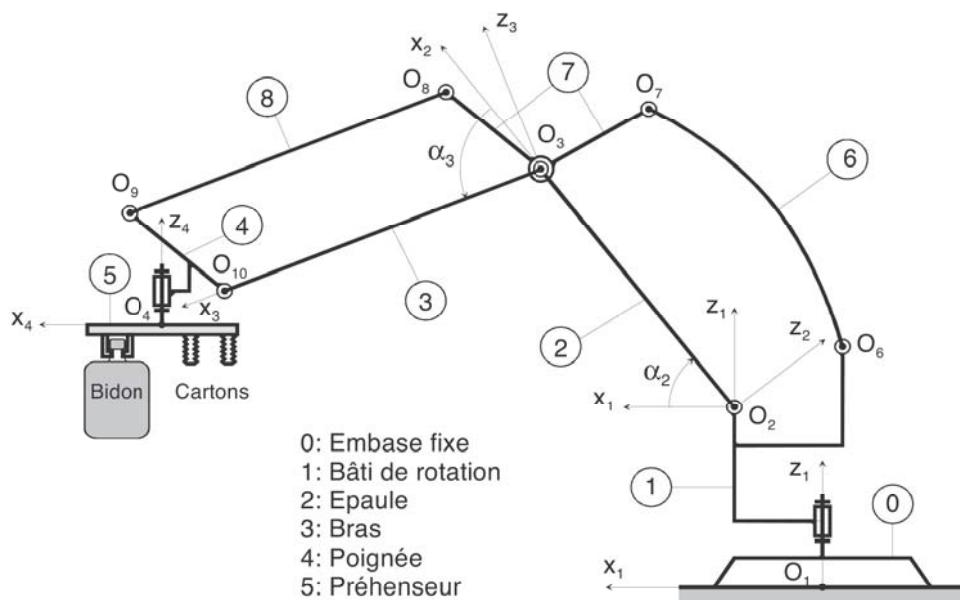
## ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES DU ROBOT KUKA KR 180-2 PA



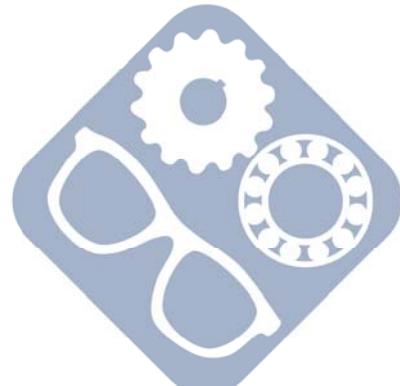
**Figure 11 :** Sous-ensembles principaux du robot



**Figure 12 :** Bride de fixation



**Figure 13 :** Schéma cinématique du robot Kuka



## ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DU ROBOT KUKA KR 180-2 PA

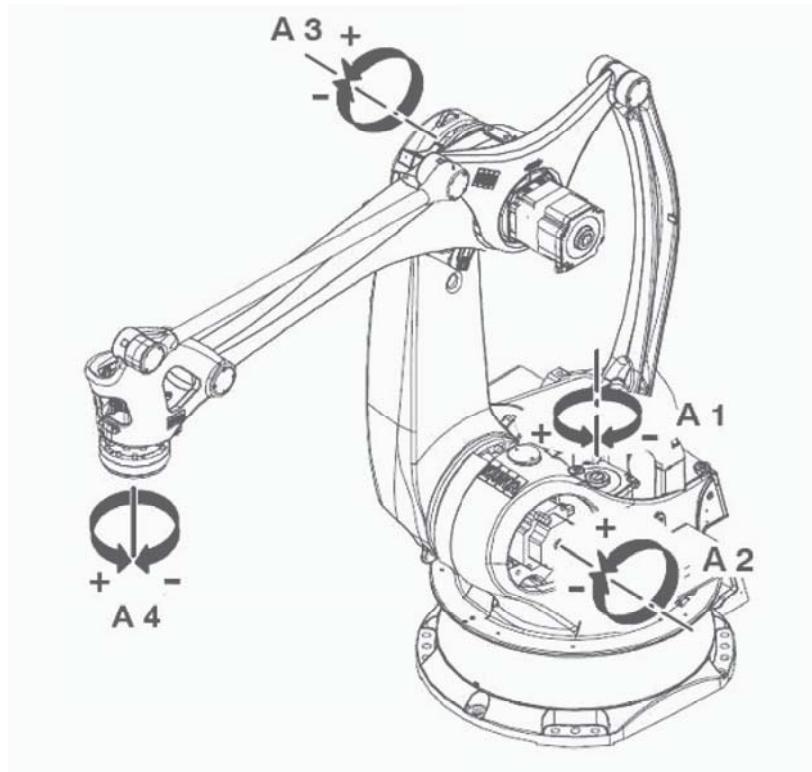


Figure 14 : Axes et sens de rotation du robot

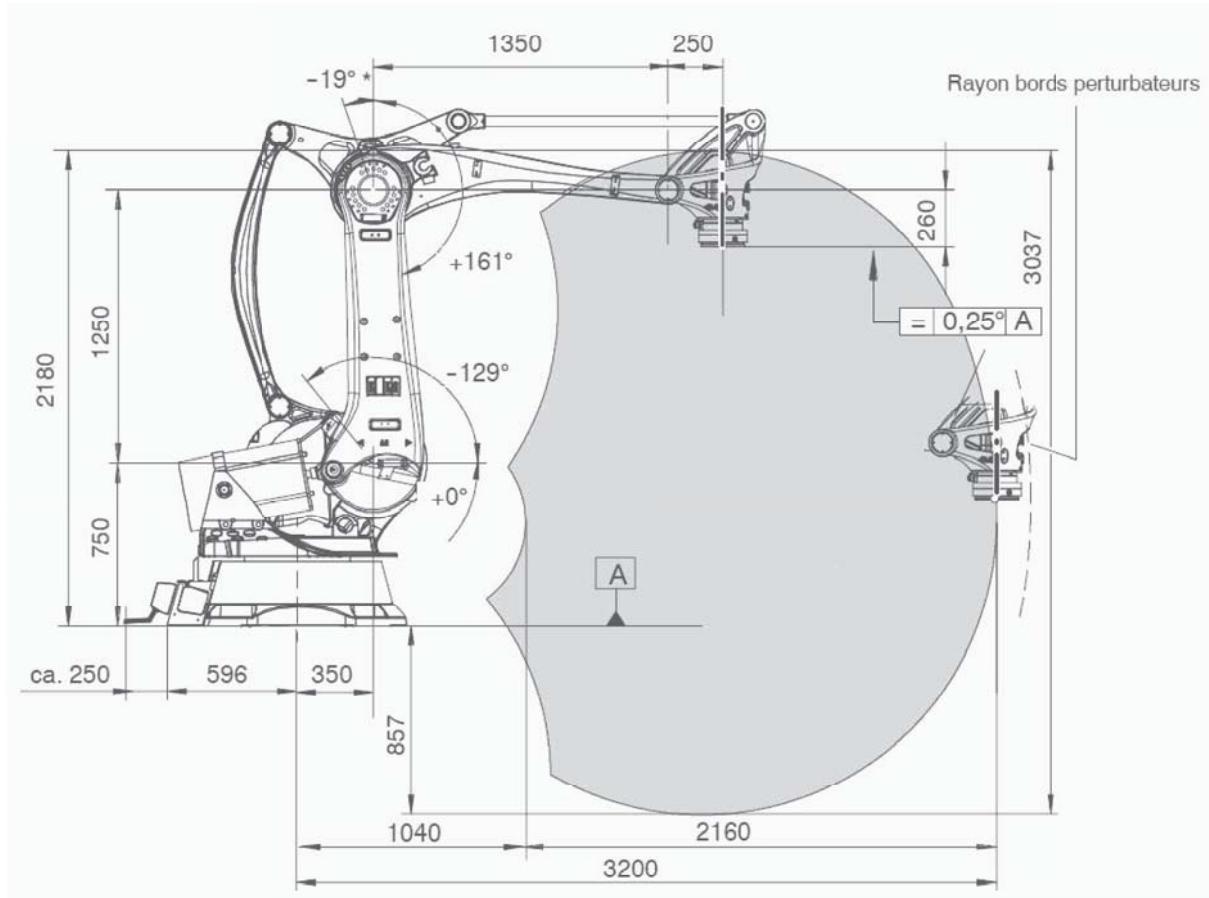


Figure 15 : Dimensions du robot Kuka KR 180-2 PA



## 6 Attelage automatique type 10L

Pour offrir aux passagers des déplacements à très grande vitesse, la SNCF dispose de rames TGV composées chacune de 2 motrices encadrant 8 voitures.

Dans certains cas d'affluence, veille de « grand week-end » ou vacances scolaires, afin de transporter un maximum de passagers, la SNCF réalise l'assemblage de 2 rames, au niveau des motrices, par le biais d'un attelage de type 10L. Cet attelage est composé de deux demi-attelages.

Au désaccouplement, il reste un demi-attelage sur chacune des motrices.

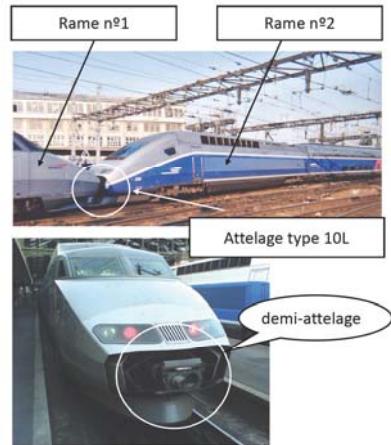


Figure 19 – TGV et son attelage

### 6.1 Présentation du dispositif d'attelage SCHARFENBERG type 10L

La société SCHARFENBERG a mis au point le dispositif d'attelage dénommé « Attelage automatique type 10L » composé de deux demi-attelages comprenant chacun (voir schéma ci-dessous) :

- un ensemble amortisseur pour absorber les chocs en traction ou en freinage, monté en liaison rotule avec le châssis de la motrice par l'intermédiaire d'un support. Cet ensemble est maintenu horizontalement dans l'axe longitudinal de la motrice par des dispositifs de maintien,
- une tête d'attelage, fixée sur l'ensemble amortisseur, composée d'un coupleur électrique, d'un coupleur pneumatique et d'un coupleur mécanique (objet de l'étude).

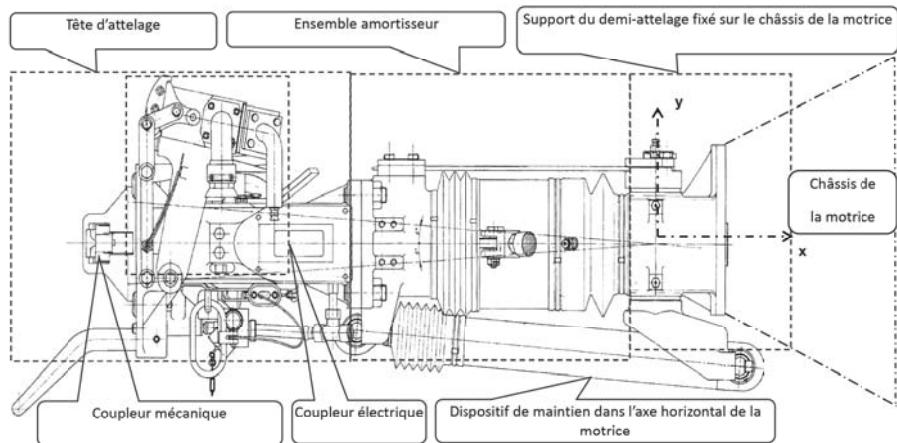


Figure 20 – Attelage du TGV

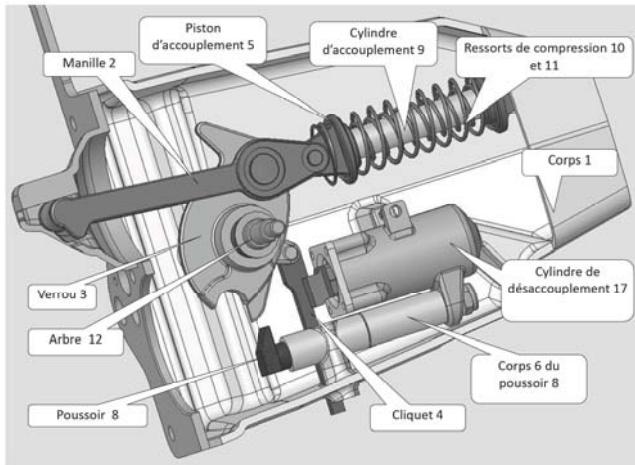


Figure 21 – Pièces principales

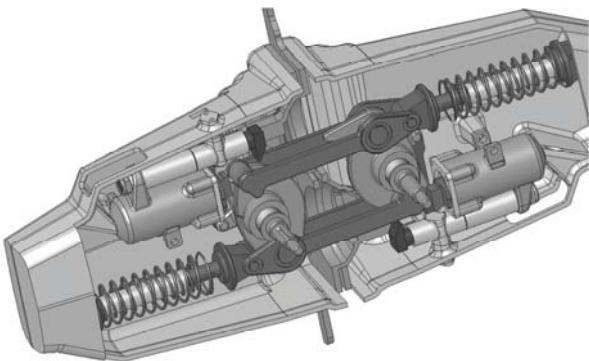


Figure 22 – Attelages liés

## 6.2 Description des attelages

## 6.3 Etude de cinématique graphique

Voir les documents DT1 à DT7 et le document réponses DR2.

Objectif de l'étude : avant son basculement, la manille 2 glisse sur le corps 1. Le contact est direct, graissé, et dans ces conditions la vitesse maximale de glissement admise est de  $1m.s^{-1}$ . Il en est de même pour le glissement du piston 5 dans le cylindre 9. L'étude qui suit propose de vérifier la conformité du mécanisme à cette obligation.

Dans une première approche, l'étude est menée pour une position donnée du mécanisme, les tracés seront réalisés sur le document réponse. Les justifications seront rédigées sur feuille de copie.

Hypothèse : pendant le glissement de la manille, on admet que la vitesse angulaire  $\omega_{3/1}$  du verrou 3 est constante.

Donnée : avant le basculement de la manille, on constate que le verrou 3 tourne d'un angle  $\theta_{3/1}$  de  $20^\circ$  en 0,05 seconde.

**Question 1 :** Calculer la vitesse de rotation angulaire moyenne  $\bar{\omega}_{3/1}$  et la norme du vecteur vitesse  $\overrightarrow{V_{A \in 3/1}}$  sachant que  $OA = 85 \text{ mm}$ .

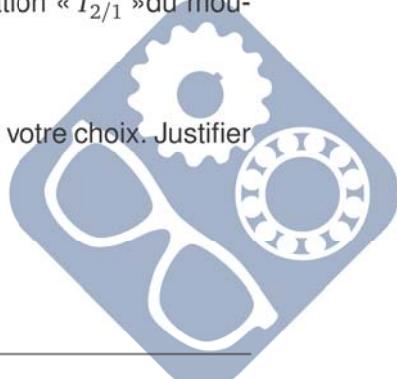
Quel que soit le résultat obtenu à la question précédente, prendre  $\|\overrightarrow{V_{A \in 3/1}}\| = 0,6m.s^{-1}$ .

**Question 2 :** Montrer que  $\overrightarrow{V_{A \in 2/1}} = \overrightarrow{V_{A \in 3/1}}$

Pour les questions suivantes, les tracés seront réalisés sur le document réponse DR2, figure1.

**Question 3 :** Déterminer graphiquement la position du centre instantané de rotation «  $I_{2/1}$  » du mouvement de la manille 2 par rapport au corps 1. Justifier votre construction.

**Question 4 :** Tracer  $\overrightarrow{V_{A \in 2/1}}$  et déterminer graphiquement  $\overrightarrow{V_{E \in 2/1}}$  par la méthode de votre choix. Justifier les étapes de votre démarche.



**Question 5 :** Déterminer graphiquement  $\overrightarrow{V_{B \in 2/1}}$ . Justifier les étapes de votre démarche.

Pour les questions suivantes, les tracés seront réalisés sur le document réponse DR2, figure 2. Quel que soit le résultat obtenu à la question précédente, prendre le support de  $\overrightarrow{V_{B \in 2/1}}$  indiqué sur la figure 2 et prendre  $\|\overrightarrow{V_{B \in 2/1}}\| = 0,65m.s^{-1}$ .

**Question 6 :** Définir les mouvements suivants :

- manille 2 par rapport au piston 5, Mvt 2/5,
- piston 5 par rapport au cylindre 9, Mvt 5/9,
- cylindre 9 par rapport au corps 1, Mvt 9/1.

**Question 7 :** Justifier que  $\overrightarrow{V_{B \in 2/5}} = 0$ .

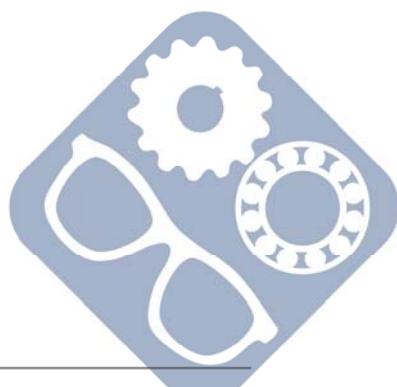
**Question 8 :** Justifier et tracer le support de  $\overrightarrow{V_{B \in 5/9}}$  et le support de  $\overrightarrow{V_{B \in 9/1}}$ .

**Question 9 :** Ecrire la relation de composition des vecteurs vitesses au point B.

**Question 10 :** Traduire graphiquement cette relation et en déduire la vitesse de glissement du piston 5 dans le cylindre 9 :  $\overrightarrow{V_{B \in 5/9}}$ .

**Question 11 :** A l'aide des résultats obtenus aux questions 8 et 14, conclure quant au respect du cahier des charges relatif aux vitesses de glissement entre 2 et 1 et entre 5 et 9, dans la position particulière de la figure.

**Question 12 :** Une étude plus complète à l'aide d'un logiciel de simulation a permis d'obtenir les courbes de variation de la norme des vecteurs vitesses  $\overrightarrow{V_{E \in 2/1}}$  et  $\overrightarrow{V_{B \in 5/9}}$  en fonction de l'angle  $\theta_{3/1}$  du verrou 3, voir document DT7. Relever la valeur maximale de la norme des deux vecteurs vitesses. Les vitesses de glissement entre 2 et 1 d'une part et entre 5 et 9 d'autre part, tout au long du mouvement de guidage de la manille, sont-elles conformes aux exigences du cahier des charges ? Justifier votre réponse.



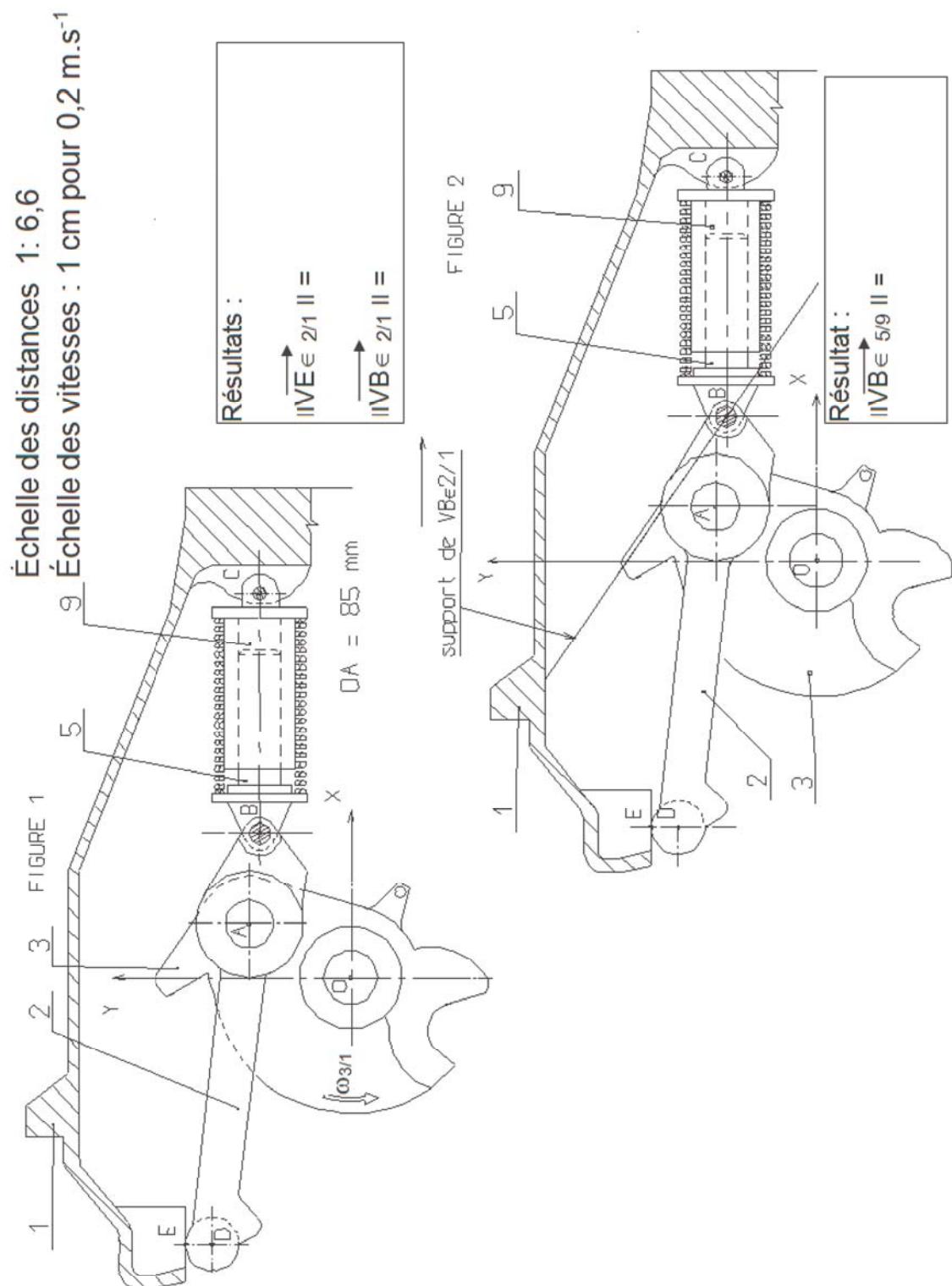
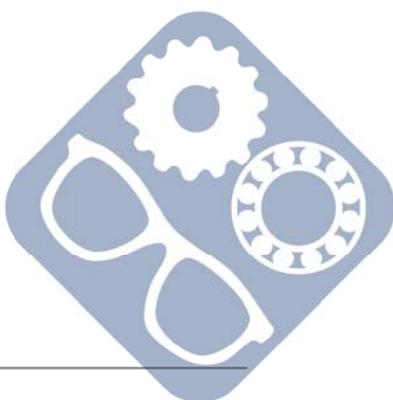


Figure 23 – Document réponse cinématique graphique



## 7 Pompe doseuse

### 7.1 Présentation

Ce type de pompe utilise un piston coulissant de manière étanche dans un cylindre pour repousser un fluide, admis précédemment dans le cylindre par l'intermédiaire d'un clapet, d'une soupape ou d'une lumière, grâce à l'aspiration provoquée par le recul du piston.

Les performances sont élevées :

- pression de plusieurs milliers de bar, notamment pour le découpage jet d'eau,
- Débit jusqu'à 500 litres/min,
- Rendement > 0,951.

Il existe différents montages mécaniques dont :

#### — Pompe à pistons axiaux

Pistons situés parallèlement à l'axe de transmission. Ils fonctionnent grâce à :

- une glace sur laquelle glissent les patins situés en pied de pistons ;
- un bâillet dans lequel sont logés les pistons.

Certaines pompes peuvent fonctionner avec des solutions aqueuses, voire à l'eau pure.

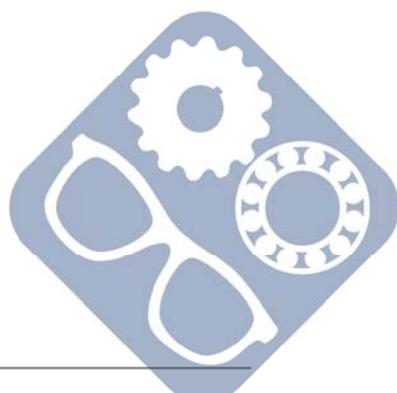
#### — Pompe à pistons radiaux

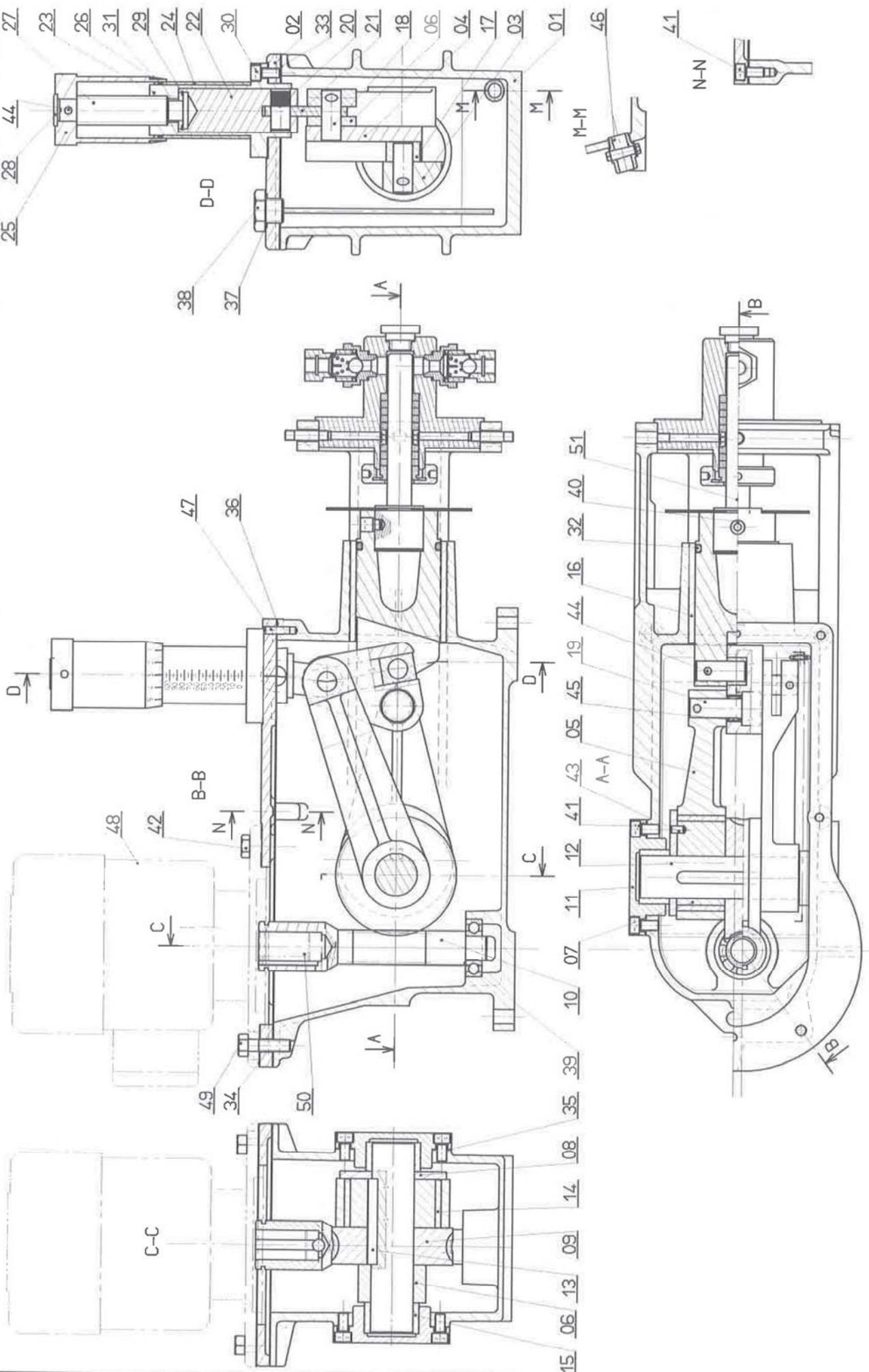
Les patins des pistons glissent sur un excentrique ou sur une came dont le nombre de lobes est différent (de un) au nombre de pistons. Les pistons sont munis de clapets d'aspiration et de refoulement. Souvent, pour des raisons de régularité de flux, le nombre de pistons est impair (somme de sinusoïdes régulièrement déphasées). Article détaillé : Pompe à pistons radiaux.

### 7.2 Etude de cinématique graphique

**Question 1 :** Réaliser le schéma cinématique de la pompe et le paramétrier.

**Question 2 :** La vitesse de rotation du moteur est de  $3000 \text{ tr}.\text{min}^{-1}$ , déterminer la vitesse instantanée de sortie du piston.





(20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 36, 37, 38, 44) enlevés Ech: 1:2  
 Lycee J. Curie Dammarie les lys  
 POMPE DOSEUSE  
 N°

## 8 Étude du système E.P.A.S.

### 8.1 Présentation du produit



Figure 24 – Système E.P.A.S.

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

- Le déploiement du parc échelle (axe 1) : Chaque plan de l'échelle peut se translater par rapport aux autres ; seul le quatrième plan d'échelle est solidaire du berceau (ce mouvement ne sera pas pris en compte dans cette étude),
- Le pivotement autour de l'axe Y (axe 2) : La tourelle 1 peut pivoter par rapport au châssis autour d'un axe vertical,
- La rotation autour de l'axe Z (axe 3) : Le berceau peut tourner par rapport à la tourelle 2 autour d'un axe horizontal.

Une E.P.A.S. est une Échelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle. Ce système conçu et commercialisé par la société CAMIVA est monté sur le châssis d'un camion de pompiers et permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité.

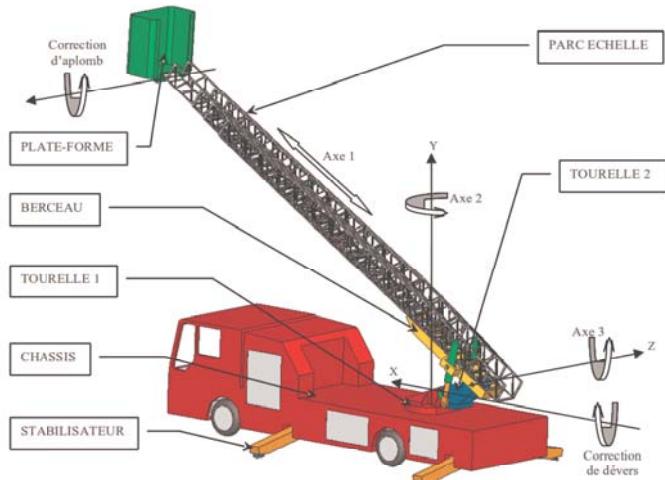


Figure 25 – Schéma du système

Pour garantir la sécurité, le système maintient toujours la plate forme en position horizontale :

- La correction d'aplomb oriente la plate-forme autour d'un axe horizontal parallèle à l'axe Z,
- La correction de devers oriente l'ensemble parc échelle et plate-forme autour de l'axe X : la tourelle 2 s'oriente par rapport à la tourelle 1 suivant un axe perpendiculaire aux axes 3 et 2. (Cette mobilité ne sera pas prise en compte dans l'étude de cinématique).

### 8.2 Commande cinématique des vérins

L'objet de cette partie est de déterminer la commande que le système « VARIMAX » doit élaborer pour que la vitesse de déplacement de la plate-forme soit constante lors du dressage ou de l'abaissement.

Supposons dans un premier temps que la vitesse de sortie des vérins est constante (10 mm/s).

On propose le paramétrage suivant :

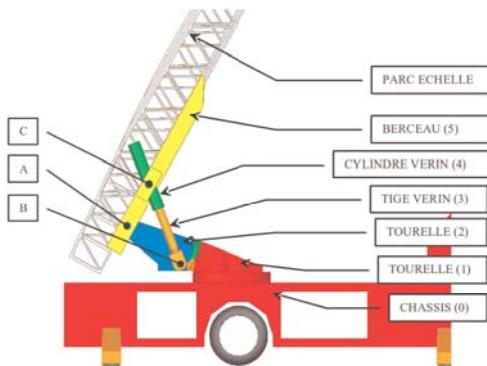


Figure 26 – Schéma du système

**Question 1 :** Proposer le graphe des liaisons du mécanisme. Les éléments à prendre en compte seront les suivants :

- Chassis 0,
- Tourelles 1,
- Tige vérin 3,
- Cylindre vérin 4,
- Berceau + parc échelle 5,
- Plate-forme 6.

Vous préciserez les liaisons qui existent entre ces composants ainsi que l'axe de celles-ci.

**Question 2 :** Écrire les torseurs cinématiques qui correspondent à ces liaisons.

L'écriture suivante sera utilisée pour les torseurs cinématiques :

$$\begin{aligned} \{V_{O \in 1/2}\}_O &= \left\{ \frac{\vec{\Omega}_{1/2}}{V_{O \in 1/2}} \right\}_O \\ &= \left\{ \begin{array}{ll} \omega_{12x} & V_{12x,O} \\ \omega_{12y} & V_{12y,O} \\ \omega_{12z} & V_{12z,O} \end{array} \right\}_O \end{aligned}$$

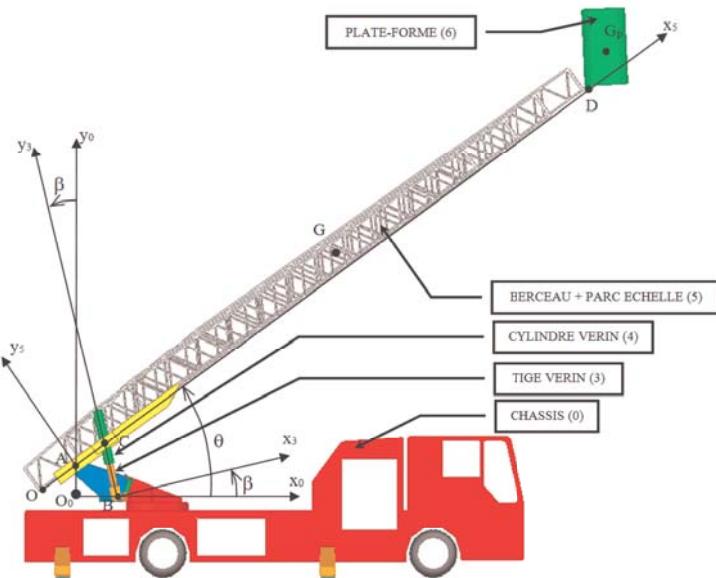


Figure 27 – Schéma du système

**Question 3 :** Déplacer ces torseurs au point A et déterminer la vitesse  $\overrightarrow{V_{D \in 6/0}}$  en fonction de la vitesse de sortie des vérins.

**Question 4 :** L'objectif initial étant de déterminer la vitesse de sortie des vérins afin que la vitesse de déplacement de la passerelle soit constante, écrire la vitesse de sortie des vérins  $\overrightarrow{V_{C \in 4/3}}$  en fonction de

la vitesse du point D  $\overrightarrow{V_{D \in 6/0}}$ .

### 8.3 Dimensionnement statique des vérins

Les deux vérins doivent être capables de déplacer l'ensemble du parc échelle et la plate-forme chargée.

Le parc échelle a une masse de 300 kg (appliquée en G) et une longueur notée L. Son centre de gravité G est tel que  $\overrightarrow{OG} = \frac{L}{2} \cdot \overrightarrow{x_5} + \frac{h}{3} \cdot \overrightarrow{y_5}$ .

Le parc échelle est solidaire du berceau avec  $\overrightarrow{OA} = d \cdot \overrightarrow{x_5}$ .

Pendant le redressement ou l'abaissement, la plate-forme reste toujours horizontale. Sa masse une fois chargée sera notée M et son centre de gravité est le point  $G_p$  tel que :  $\overrightarrow{DG_p} = \lambda \cdot \overrightarrow{x_0} + \mu \cdot \overrightarrow{y_0}$

Les masses du berceau et des vérins seront négligées devant les autres masses.

Les vérins exercent un effort, modélisé par un glisseur de résultante  $\overrightarrow{R} = R \cdot \overrightarrow{y_3}$ .

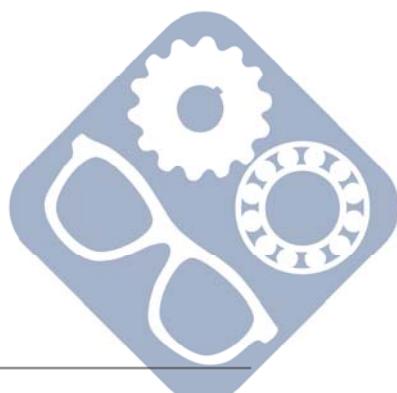
**Question 5 :** Donner le torseur statique de chaque liaison. Pour cette partie, la rotation de la tourelle par rapport au châssis ne sera pas étudiée, la liaison en question sera donc un encastrement.

L'écriture suivante sera utilisée pour les torseurs statiques :

$$\{T_{1 \rightarrow 2,O}\}_O = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{F_{1 \rightarrow 2}} \\ \overrightarrow{M_{1 \rightarrow 2,O}} \end{array} \right\}_O = \left\{ \begin{array}{cc} X_{12} & L_{12,O} \\ Y_{12} & M_{12,O} \\ Z_{12} & N_{12,O} \end{array} \right\}_O$$

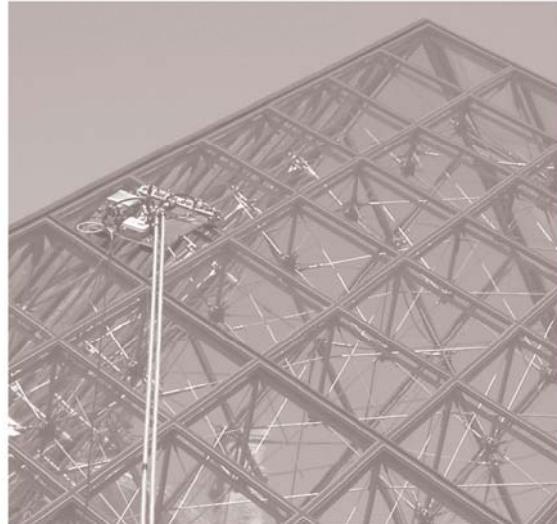
**Question 6 :** Isoler les solides les uns après les autres afin d'obtenir le système d'équations qui permettra de déterminer l'effort dans les vérins.

**Question 7 :** Ce système possède-t-il une solution ? Si oui, exprimer les efforts dans les vérins en fonction des masses des composants, de la position et des dimensions des pièces.



## 9 Robot Robuglass

### 9.1 Présentation du système



La société Robosoft a développé un robot devant assurer de manière automatique l'entretien de la pyramide du Louvre sans nécessiter l'intervention (difficile et périlleuse) des opérateurs directement sur l'édifice comme cela était le cas auparavant.

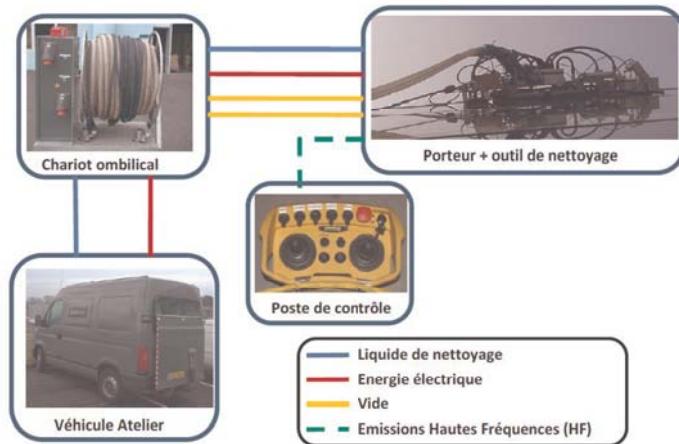
Grand édifice de verre et d'acier (20 mètres de hauteur pour 35 mètres de côté), la pyramide du Louvre est emblématique du musée à plus d'un titre puisqu'elle constitue également son entrée principale, son état doit donc être irréprochable.

Le robot dénommé Robuglass développé par la société Robosoft s'inspire des machines utilisées pour le lavage des sols utilisant une brosse tournante et un dispositif de raclage. La forte déclivité des faces de la pyramide, les surfaces glissantes sur lesquelles le robot doit évoluer, et la volonté de le rendre automatique pour un nettoyage rapide et optimal ont soulevé de nombreuses problématiques que nous allons en partie aborder.

Le robot Robuglass se compose de 4 sous ensembles distincts :

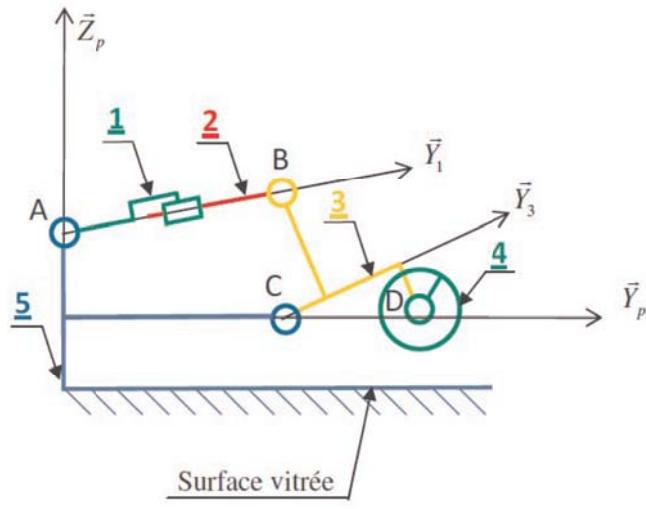
- le porteur : qui constitue le robot qui se déplace sur la surface vitrée, emportant l'outil de nettoyage. L'outil de nettoyage est constitué d'une brosse, d'une buse qui l'arrose de produit nettoyant et d'un dispositif de raclage (raclette + essuie glace).
- le chariot ombilical : qui supporte les 2 pompes à vide (assurant une redondance pour des raisons de sécurité) et auquel sont connectées toutes les sources d'énergie provenant du véhicule atelier.
- le poste de contrôle : qui permet à l'opérateur de commander manuellement le porteur ou de vérifier le bon déroulement de l'opération de nettoyage.
- le véhicule atelier : qui permet le rangement du porteur, de l'outillage et du chariot ombilical. Il contient une cuve avec sa pompe pour la préparation et le transfert du produit de nettoyage. Il permet de réaliser l'entretien courant et les petites réparations.





## 9.2 Etude de la vitesse du déplacement de la brosse

Pour un nettoyage efficace il est nécessaire de réguler l'effort d'application de la brosse sur la vitre. Un actionneur de type vérin électrique permet de mettre l'outil contenant la brosse en position haute ou basse et d'appliquer la brosse sur la surface vitrée avec l'effort requis. Les concepteurs ont choisi un actionneur permettant la régulation de l'effort appliquée par modulation de courant mais la gamme proposée ne présente pas beaucoup de choix différents vis-à-vis des performances. Nous allons donc vérifier que le vérin choisi permet de respecter le cahier des charges.



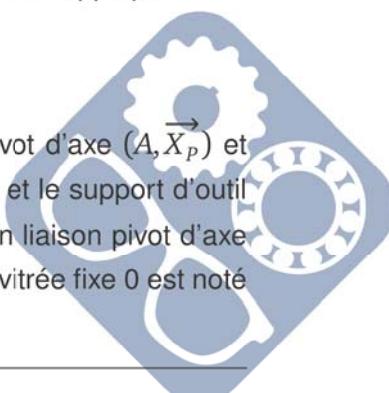
$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} &= \lambda \vec{Y}_1 \\ \overrightarrow{AC} &= a \vec{Y}_p - b \vec{Z}_p \\ \overrightarrow{CB} &= c \vec{Y}_3 + d \vec{Z}_3 \\ \overrightarrow{CD} &= e \vec{Y}_3 - f \vec{Z}_3 \\ \overrightarrow{ID} &= r_4 \vec{Z}_p \\ \theta_1 &= (\vec{Y}_p, \vec{Y}_1) \\ \theta_3 &= (\vec{Y}_p, \vec{Y}_3)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= 360 \text{ mm} \\ b &= 120 \text{ mm} \\ c &= 40 \text{ mm} \\ d &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

Données constructeur pour les performances du vérin électrique :

- La vitesse de sortie de tige est constante et égale à 4 mm/s quel que soit l'effort appliqué.
- L'effort maximum développé par le vérin est de 130 N.

Le vérin est modélisé par le corps 1 et la tige 2 respectivement en liaison pivot d'axe ( $A, \vec{X}_p$ ) et ( $B, \vec{X}_p$ ) avec le porteur 5 (considéré comme fixe par rapport à la surface vitrée 0), et le support d'outil 3. Ce dernier est en liaison pivot d'axe ( $C, \vec{X}_p$ ) avec le porteur. La brosse 4 est en liaison pivot d'axe ( $D, \vec{X}_p$ ) avec le support d'outil 3. Le point de contact entre la brosse 4 et la surface vitrée 0 est noté I (Document Réponse B9).



**Question 1 :** Donner le torseur cinématique  $\{V_{(1/5)}\}_{A,R_p}$  de la liaison entre le corps du vérin 1 et le porteur 5 en A.

**Question 2 :** Donner le torseur cinématique  $\{V_{(2/1)}\}_{A,R_p}$  de la liaison entre la tige 2 et le corps 1 en A.

**Question 3 :** Donner le torseur cinématique  $\{V_{(3/2)}\}_{B,R_p}$  de la liaison entre le support d'outil 3 et la tige 2 en B.

**Question 4 :** Donner le torseur cinématique  $\{V_{(3/5)}\}_{C,R_p}$  de la liaison entre le support d'outil 3 et le porteur 5 en C.

**Question 5 :** Déplacer l'ensemble de ces torseurs au point A. La formule de Varignon qui permet le déplacement d'un torseur est la suivante :  $\overrightarrow{V}_{B \in 1/5} = \overrightarrow{V}_{A \in 1/5} + \overrightarrow{BA} \wedge \overrightarrow{\Omega}_{1/5}$ .

Les vecteurs nécessaires au déplacement sont donnés à côté du schéma cinématique. On donne aussi les formules nécessaires au changement de repère :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{Y}_1 = \cos\theta_1 \cdot \vec{Y}_p + \sin\theta_1 \cdot \vec{Z}_p \\ \vec{Z}_1 = -\sin\theta_1 \cdot \vec{Y}_p + \cos\theta_1 \cdot \vec{Z}_p \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{Y}_3 = \cos\theta_3 \cdot \vec{Y}_p + \sin\theta_3 \cdot \vec{Z}_p \\ \vec{Z}_3 = -\sin\theta_3 \cdot \vec{Y}_p + \cos\theta_3 \cdot \vec{Z}_p \end{array} \right.$$

**Question 6 :** D'après la relation torsorielle suivante :  $\{V_{(3/2)}\}_{A,R_p} + \{V_{(2/1)}\}_{A,R_p} + \{V_{(1/5)}\}_{A,R_p} = \{V_{(3/5)}\}_{A,R_p}$ , écrire les 6 équations qui lient les composantes des torseurs.

**Question 7 :** En déduire la vitesse de rotation  $\omega_{3/5} = \overrightarrow{\Omega}_{3/5} \cdot \overrightarrow{X_p}$  en fonction de la vitesse de déplacement du vérin  $V_{2/1} = \overrightarrow{V}_{A \in 2/1} \cdot \overrightarrow{Y_1}$ .

**Question 8 :** En déduire la vitesse du point D  $\overrightarrow{V_{D \in 3/5}}$  en fonction de la vitesse de déplacement du vérin  $V_{2/1} = \overrightarrow{V_{A \in 2/1}} \cdot \overrightarrow{Y_1}$ .

### Rappels :

On notera le torseur cinématique du solide  $i$  par rapport au solide  $j$  exprimé au point M par :

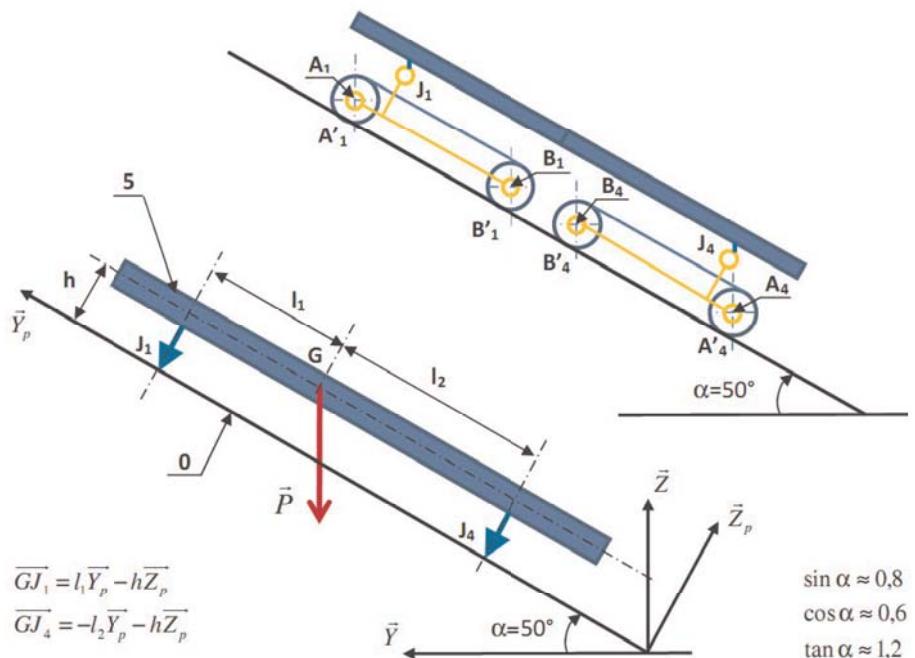
$$\left\{ T_{(i/j)} \right\}_{M,R_p} = \left\{ \begin{array}{ll} \omega_{x,i/j} & V_{x(M,i/j)} \\ \omega_{y,i/j} & V_{y(M,i/j)} \\ \omega_{z,i/j} & V_{z(M,i/j)} \end{array} \right\}_{R_p}, \text{ avec } R_p = (\overrightarrow{X_p}, \overrightarrow{Y_p}, \overrightarrow{Z_p})$$

### 9.3 Estimation du coefficient de frottement

On considère maintenant le problème simplifié présenté dans la figure suivante, composé de deux solides : le demi porteur 5 et la surface vitrée 0. Ces deux solides sont en liaison ponctuelle en  $J_1$  de normale  $\vec{Z}_p$  (liaison équivalente aux liaisons en série entre le porteur 5, le groupe de propulsion 1 et la surface vitrée 0) et en liaison ponctuelle en  $J_4$  de normale  $\vec{Z}_p$  (liaison équivalente aux liaisons en série entre le porteur 5, le groupe de propulsion 4 et la surface vitrée 0). Ce sont deux liaisons ponctuelles avec frottement. On suppose que les composantes  $\vec{Y}_{0 \rightarrow 5}$  et  $\vec{Z}_{0 \rightarrow 5}$  de  $\{T_{(i/j)}\}_{M,R_p}$  sont positives ainsi que les composantes  $Y'_{0 \rightarrow 5}$  et  $Z'_{0 \rightarrow 5}$  de  $\{T'_{(0 \rightarrow 5)}\}_{J_4,R_p}$ .



On se place ainsi dans le cadre d'une modélisation plane dans le plan  $(\vec{Y}_P, \vec{Z}_P)$ , voici les torseurs des actions mécaniques exercées sur le porteur. On impose un coefficient de frottement au niveau de la liaison  $\{T_{(0 \rightarrow 5)}\}_{J_1, R_p}$ . L'objectif de cette étude sera de chercher la valeur minimale de ce coefficient.



Avec  $l_1=100$  mm,  $l_2=300$  mm,  $h=50$  mm,  $M=24$  kg et  $g=10$  m/s<sup>2</sup>

$$\{T_{(0 \rightarrow 5)}\}_{J_1, R_p} = \begin{Bmatrix} - & 0 \\ Y_{0 \rightarrow 5} & - \\ Z_{0 \rightarrow 5} & - \end{Bmatrix}_{J_1, R_p}, \text{ avec } Y_{0 \rightarrow 5} = f \cdot Z_{0 \rightarrow 5}$$

$$\{T'_{(0 \rightarrow 5)}\}_{J_4, R_p} = \begin{Bmatrix} - & 0 \\ 0 & - \\ Z'_{0 \rightarrow 5} & - \end{Bmatrix}_{J_4, R_p} \quad \{T_{(P \rightarrow 5)}\}_{G, R} = \begin{Bmatrix} - & 0 \\ 0 & - \\ -2 \cdot M \cdot g & - \end{Bmatrix}_{G, R}$$

**Question 9 :** Ecrire le torseur de l'action de la pesanteur  $\{T_{(P \rightarrow 5)}\}_{G, R}$  dans le repère  $R_P$ .

**Question 10 :** Ecrire les équations du Principe Fondamental de la Statique (PFS) appliquées au demi-porteur uniquement soumis aux actions du poids et des appuis sur la surface vitrée. Vous déplacerez les torseurs au point  $J_1$ .

**Question 11 :** En déduire la valeur des composantes normales des efforts transmissibles par les ponctuelles,  $Z_{0 \rightarrow 5}$  et  $Z'_{0 \rightarrow 5}$ .

Effectuer l'application numérique avec  $l_1 = 100\text{mm}$ ,  $l_2 = 300\text{mm}$ ,  $h = 50\text{mm}$ ,  $M = 24\text{kg}$  et  $g = 10\text{m.s}^{-2}$ .

**Question 13 :** On cherche à déterminer la valeur minimale de  $f$  pour que le chariot ne glisse pas. Calculer  $f$  afin que le P.F.S. soit respecté.

Le choix du matériau des roues donne la valeur suivante :  $f = 0.7$ .

**Question 14 :** Conclure quand à la vérification de l'adhérence du robot.

Rappels :

On notera le torseur statique de l'action du solide i sur le solide j exprimé au point M par :

$$\{T_{(i \rightarrow j)}\}_{M, R_p} = \left\{ \begin{array}{ll} X_{i \rightarrow j} & L_{(M, i \rightarrow j)} \\ Y_{i \rightarrow j} & M_{(M, i \rightarrow j)} \\ Z_{i \rightarrow j} & N_{(M, i \rightarrow j)} \end{array} \right\}_{R_p}, \text{ avec } R_p = (\overrightarrow{X_p}, \overrightarrow{Y_p}, \overrightarrow{Z_p})$$

