

Séquence : 03

Document : TD02

Lycée Dorian

Renaud Costadoat

Françoise Puig



Avec Correction

Cinématique du point



Référence	S03 - TD02
Compétences	B2-14: Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides. C1-04: Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique. C2-05: Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère. C2-06: Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques.
Description	Modéliser la cinématique du mouvement de solide en utilisant des vecteurs vitesse
Système	Grue à tour, Poste de palettisation

1 Grue à tour

1.1 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.

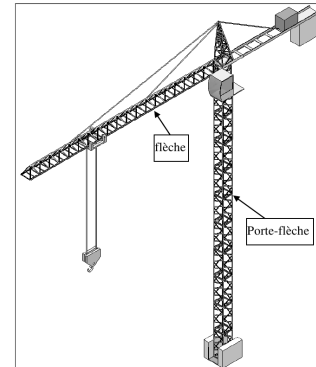


Figure 1 – Grue à tour

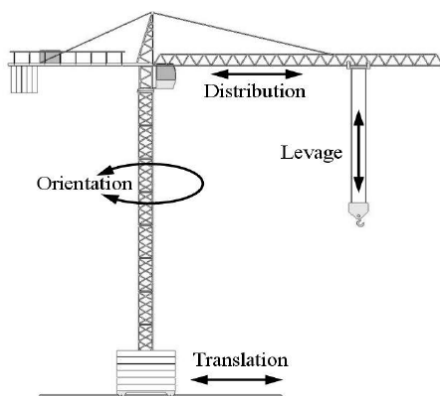


Figure 2 – Grue à tour

Les principaux mouvements d'une grue à tour 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 en général à partir de la cabine.

Hierarchie des contraintes :

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

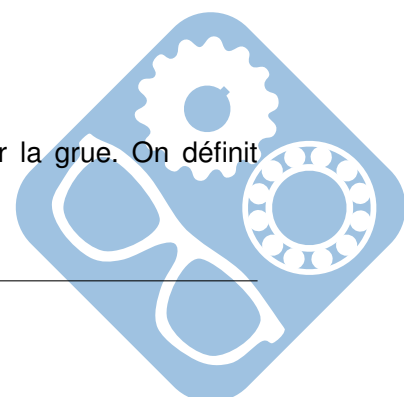
Les grues modernes disposent de fonctions qui permettent d'optimiser (ou d'interdire) leur fonctionnement en fonction :

- 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.

1.2 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 3).

Hypothèses :



- La charge de masse M est supposée ponctuelle au point P d'attache avec le crochet,
- $\overrightarrow{OG_C} = R \cdot \vec{x}_C$ et $\overrightarrow{G_C P} = L \cdot \vec{z}_P$,
- 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.

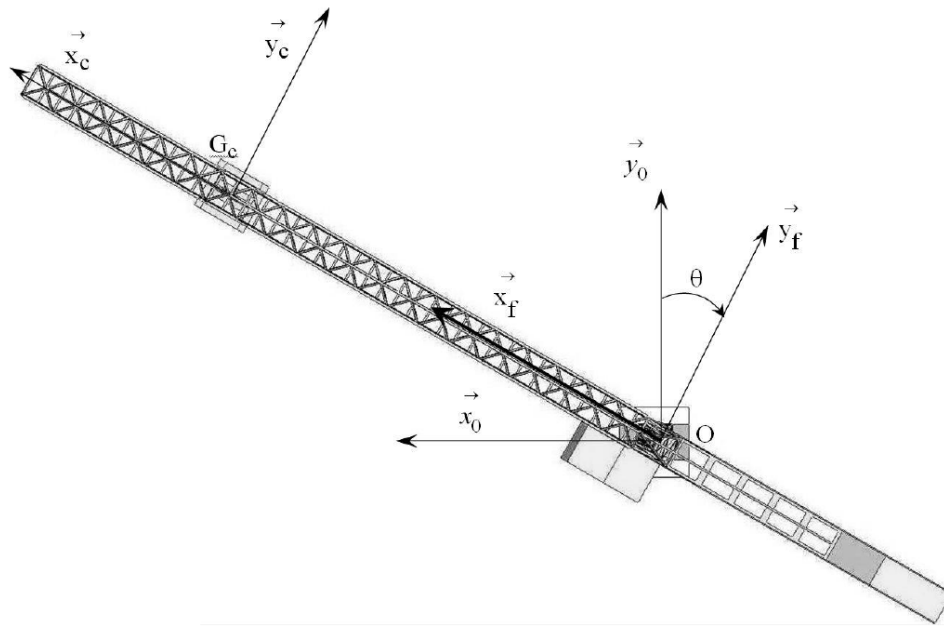


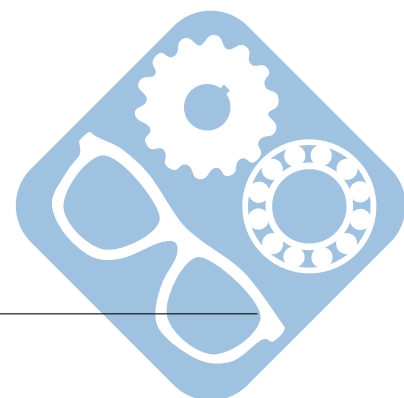
Figure 3 – Grue paramétrée

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 $\overrightarrow{\Gamma_{P \in 3/0}}$.



2 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).

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

2.1 Atelier de conditionnement des produits

2.1.1 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 4 – 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 sur la figure 5.

2.2 Analyse cinématique du robot

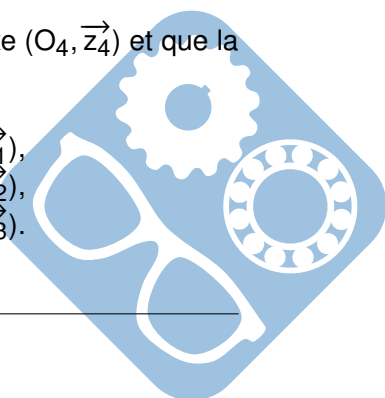
2.2.1 Objectif

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.

2.2.2 Données

- L'espace de travail du robot est défini Figure 15, annexe 1,
- Les palettes sont disposées symétriquement par rapport à l'axe $\overrightarrow{O_0x_0}$,
- 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 $(\overrightarrow{x_4}, \overrightarrow{z_4})$,
 - $\overrightarrow{O_{10}O_4} = a.\overrightarrow{x_4} + b.\overrightarrow{z_4}$,
 - $\overrightarrow{O_3O_{10}} = l.\overrightarrow{x_3}$,
 - $\overrightarrow{O_2O_3} = l.\overrightarrow{x_2}$,
 - $\overrightarrow{O_1O_2} = c.\overrightarrow{x_1} + d.\overrightarrow{z_1}$,
- $\theta_0 = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_1}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_1})$,
- $\theta_1 = (\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{x_2}) = (\overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{z_2})$,
- $\theta_2 = (\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{x_3}) = (\overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{z_3})$.



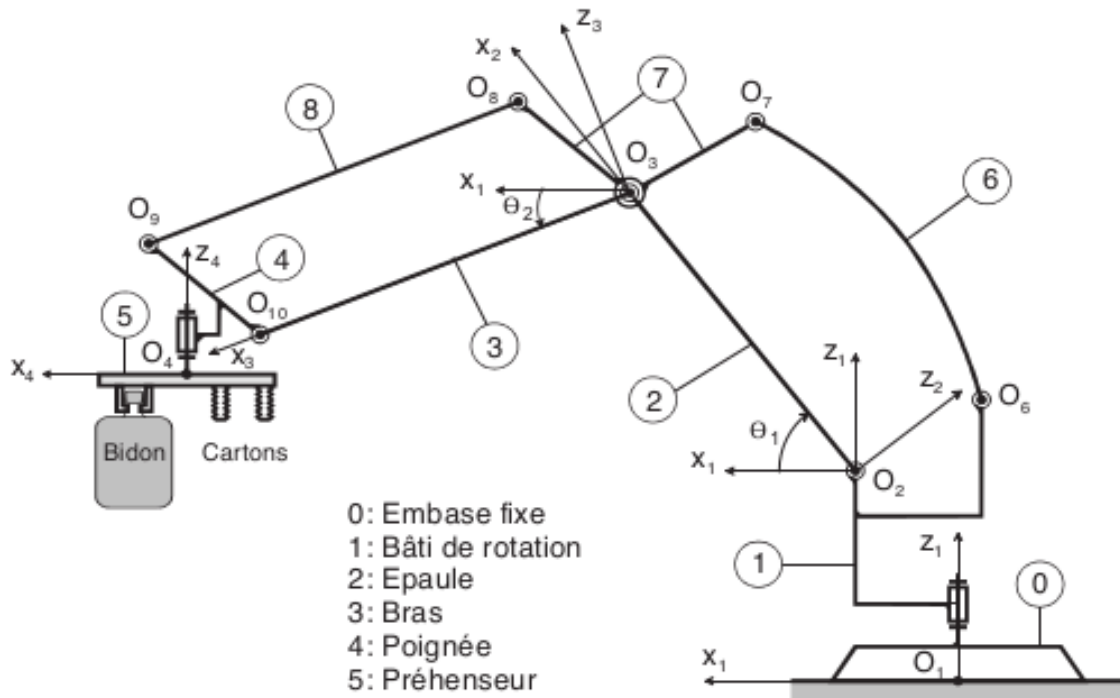


Figure 5 – Dimensions du système

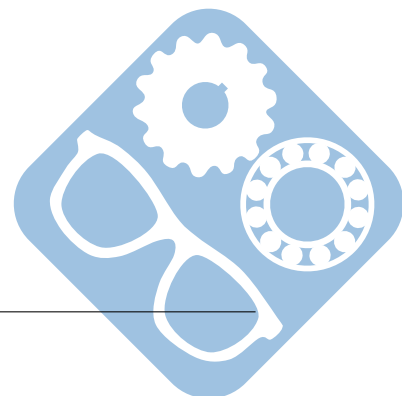
Question 1 : Quelle figure géométrique constitue la chaîne de fermeture géométrique $O_3O_8O_9O_{10}$? Que pouvez vous en déduire concernant les côtés O_3O_8 et O_9O_{10} ? En déduire la nature du mouvement de 4 par rapport à 7.

Question 2 : D'après la question précédente, déterminer la nature du mouvement de 7 par rapport à 1.

Question 3 : En supposant les différents moteurs alimentés et en désignant par ω_i la vitesse angulaire correspondant à $\dot{\theta}_i$, 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 4 : En déduire le vecteur accélération $\overrightarrow{\Gamma}_{(O_4 \in 4/0)}$, accélération de O_4 appartenant à 4 par rapport au sol.



3 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.

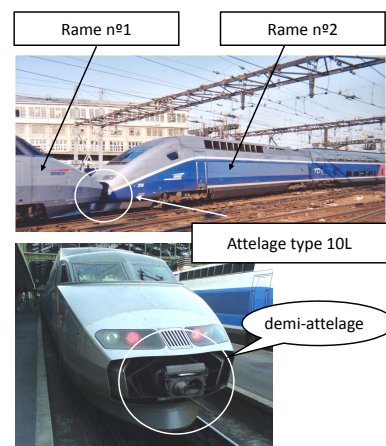


Figure 6 – TGV et son attelage

3.1 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).

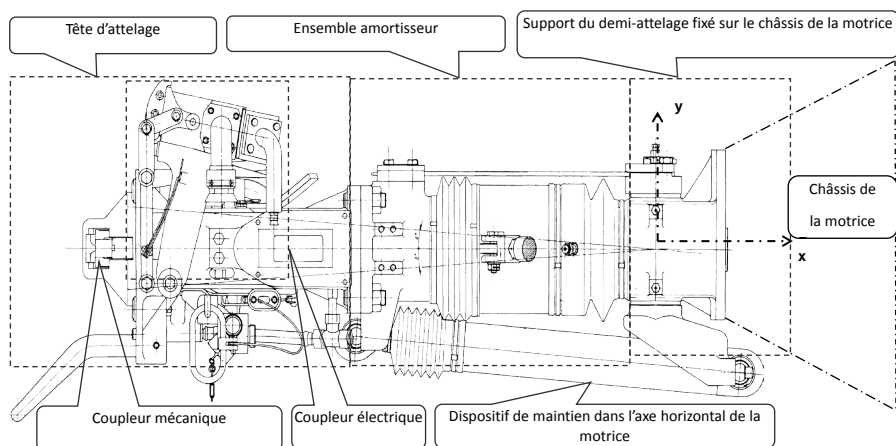
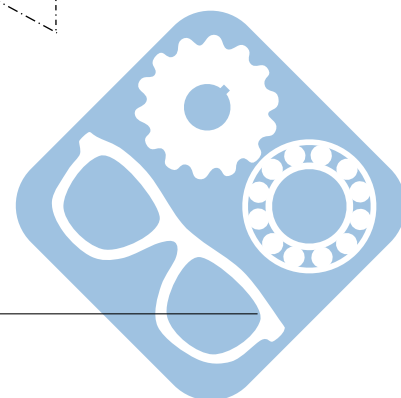


Figure 7 – Attelage du TGV



3.2 Description des attelages

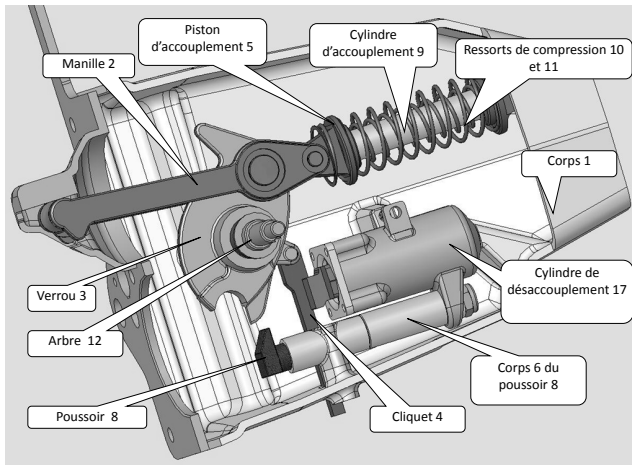


Figure 8 – Pièces principales

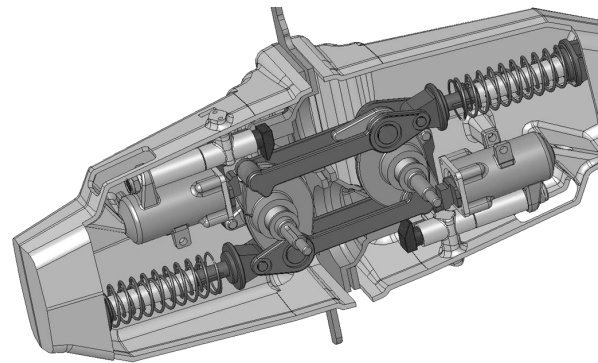


Figure 9 – Attelages liés

3.3 Etude de cinématique graphique

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 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. 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° en 0,05 seconde.

Question 1 : Calculer la vitesse de rotation angulaire moyenne $\omega_{3/1}$ et la norme du vecteur vitesse $\vec{V}_{A \in 3/1}$ sachant que $OA = 85\text{ mm}$.

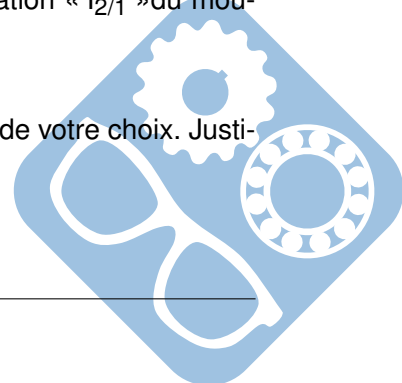
Quel que soit le résultat obtenu à la question précédente, prendre $\|\vec{V}_{A \in 3/1}\| = 0,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 2 : Montrer que $\vec{V}_{A \in 2/1} = \vec{V}_{A \in 3/1}$

Pour les questions suivantes, les tracés seront réalisés sur le document réponse DR2, figure 1.

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 $\vec{V}_{A \in 2/1}$ et déterminer graphiquement $\vec{V}_{E \in 2/1}$ 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 $\|\overrightarrow{V_{B \in 2/1}}\| = 0,65 \text{ m.s}^{-1}$.

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.

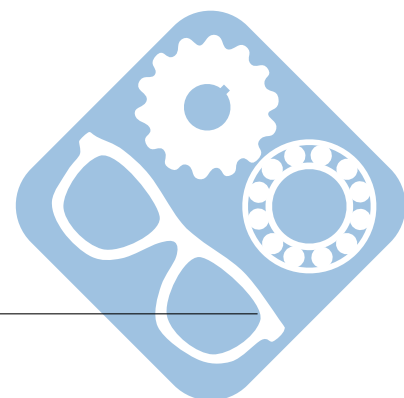
Question 7 : Justifier que $\overrightarrow{V_{B \in 2/5}} = \vec{0}$.

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 4 et 10, 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.



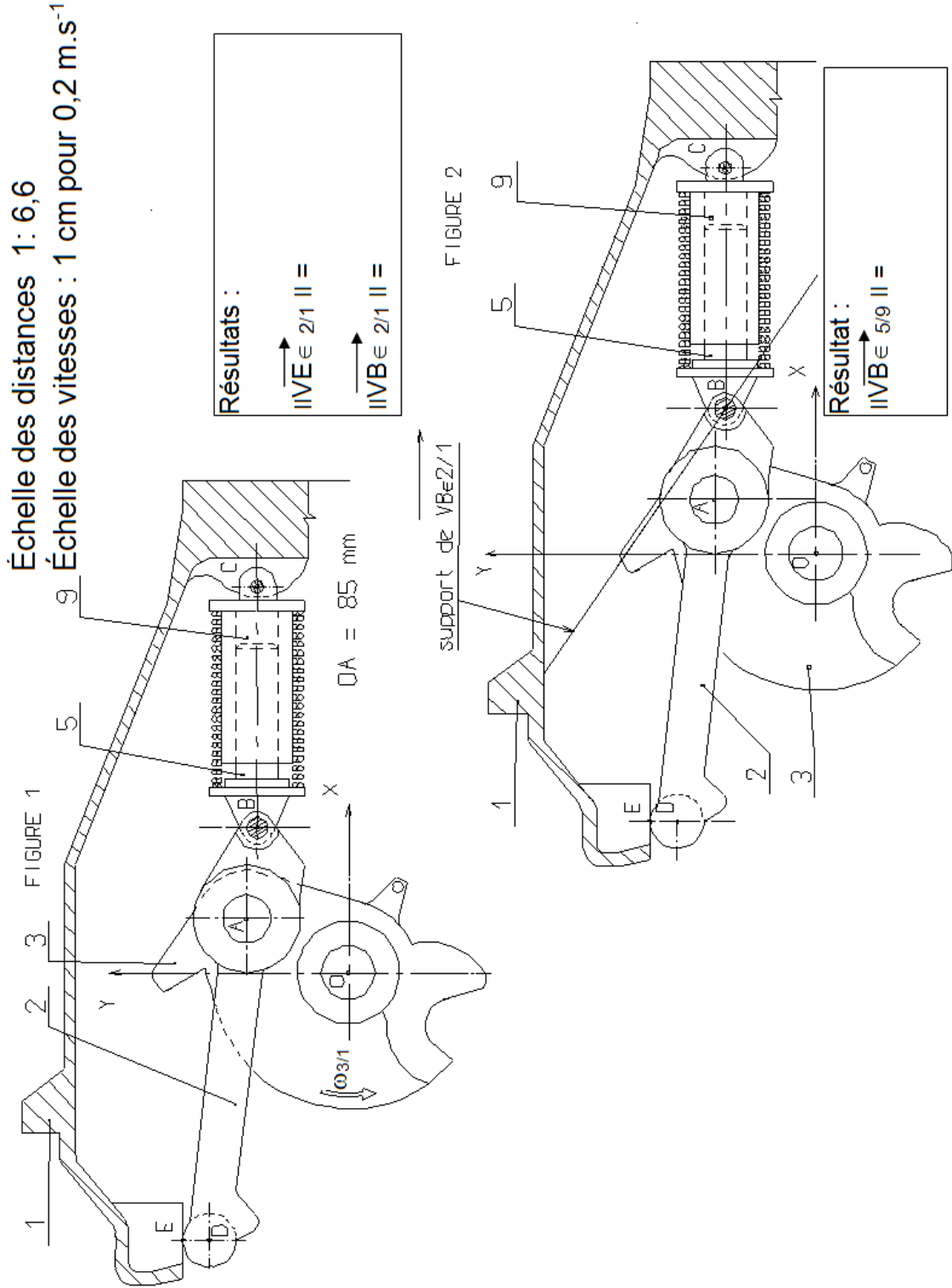
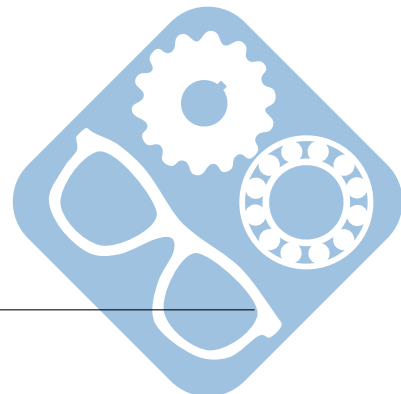


Figure 10 – Document réponse cinématique graphique



4 Pompe doseuse

4.1 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 barillet dans lequel sont logés les pistons.

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

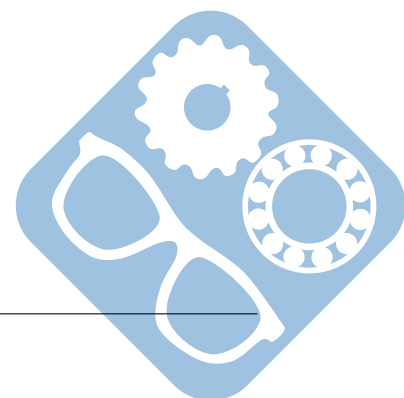
— **Pompe à pistons radiaux**

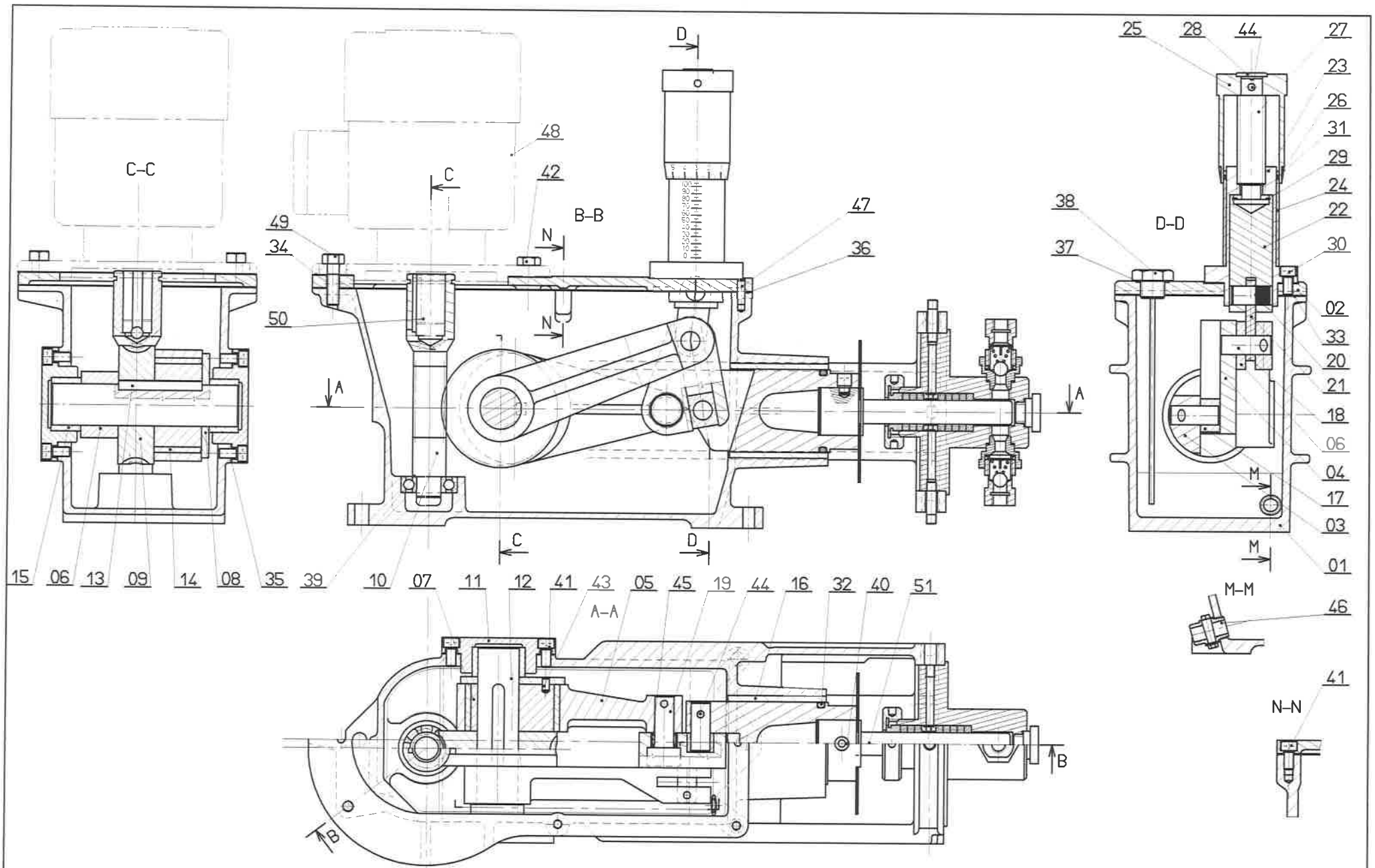
Les patins des pistons glissent sur un excentrique ou sur une came dont le nombre de lobes est différent (de un) au nombre de pistons. Les pistons sont munis de clapets d'aspiration et de refoulement. Souvent, pour des raisons de régularité de flux, le nombre de pistons est impair (somme de sinusoïdes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

4.2 Etude de cinématique graphique

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

Question 2 : La vitesse de rotation du moteur est de 3000tr.min^{-1} , la vis a un seul filet et son pas est de 4mm. 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

Lycée J. Curie Dammarie les lys

N°

POMPE DOSEUSE

5 Correction

5.1 Grue à tour

Question 1 : $\overrightarrow{V_{G_c \in 1/0}} = \overrightarrow{V_{O \in 1/0}} + \overrightarrow{G_c O} \wedge \overrightarrow{\Omega_{1/0}}$
 $\overrightarrow{V_{G_c \in 1/0}} = -R \cdot \overrightarrow{x_C} \wedge \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{z_C} = R \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{y_C}$

Question 2 : $\overrightarrow{V_{G_c \in 2/1}} = \dot{R} \cdot \overrightarrow{x_C}$
 $\overrightarrow{V_{G_c \in 2/0}} = \dot{R} \cdot \overrightarrow{x_C} + R \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{y_C}$

Question 3 : $\overrightarrow{V_{P \in 3/2}} = \dot{L} \cdot \overrightarrow{z_p}$
 $\overrightarrow{V_{P \in 3/0}} = \overrightarrow{V_{P \in 3/2}} + \overrightarrow{V_{P \in 2/0}}$
 $\overrightarrow{V_{P \in 3/0}} = \overrightarrow{V_{P \in 3/2}} + \overrightarrow{V_{G_c \in 2/0}} + \overrightarrow{P G_c} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}$
 $\overrightarrow{V_{P \in 3/0}} = \dot{L} \cdot \overrightarrow{z_p} + \dot{R} \cdot \overrightarrow{x_C} + R \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{y_C} - L \cdot \overrightarrow{z_p} \wedge \Omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{z_p}$
 $\overrightarrow{V_{P \in 3/0}} = \dot{L} \cdot \overrightarrow{z_p} + \dot{R} \cdot \overrightarrow{x_C} + R \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{y_C}$

Question 4 : $\overrightarrow{\Gamma_{P \in 3/0}} = \ddot{L} \cdot \overrightarrow{z_p} + \ddot{R} \cdot \overrightarrow{x_C} + \dot{R} \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{y_C} + (\dot{R} \cdot \omega_{1/0} + R \cdot \dot{\omega}_{1/0}) \cdot \overrightarrow{y_C} - R \cdot \omega_{1/0} \cdot \omega_{1/0} \cdot \overrightarrow{x_C}$
 $\overrightarrow{\Gamma_{P \in 3/0}} = (\ddot{R} - R \cdot \omega_{1/0}^2) \cdot \overrightarrow{x_C} + (2 \cdot \dot{R} \cdot \omega_{1/0} + R \cdot \dot{\omega}_{1/0}) \cdot \overrightarrow{y_C} + \ddot{L} \cdot \overrightarrow{z_p}$

5.2 Poste de palettisation

Question 1 : Quelle figure géométrique constitue la chaîne de fermeture géométrique $O_3 O_8 O_9 O_{10}$? Que pouvez vous en déduire concernant les côtés $O_3 O_8$ et $O_9 O_{10}$? En déduire la nature du mouvement de 4 par rapport à 7.

Cette figure géométrique est un parallélogramme, cela signifie que $O_3 O_8$ et $O_9 O_{10}$ sont parallèles. Le mouvement de 4 par rapport à 7 est alors une translation.

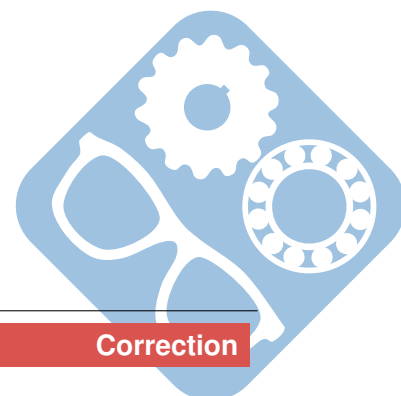
Question 2 : Le mouvement de 7 par rapport à 1 est une translation pour la même raison.

Question 3 : $\overrightarrow{V_{O_4 \in 4/7}} = \overrightarrow{V_{O_{10} \in 4/7}} = \overrightarrow{V_{O_{10} \in 3/7}}$
 $\overrightarrow{V_{O_{10} \in 4/7}} = \overrightarrow{V_{O_3 \in 3/7}} + \overrightarrow{O_{10} O_3} \wedge \overrightarrow{\Omega_{3/7}}$
 $\overrightarrow{V_{O_{10} \in 4/7}} = -l \cdot \overrightarrow{x_3} \wedge \omega_2 \cdot \overrightarrow{y_3} = -l \cdot \omega_2 \cdot \overrightarrow{z_3}$

$\overrightarrow{V_{O_4 \in 7/1}} = \overrightarrow{V_{O_3 \in 7/1}} = \overrightarrow{V_{O_3 \in 2/1}}$
 $\overrightarrow{V_{O_3 \in 7/1}} = \overrightarrow{V_{O_2 \in 2/1}} + \overrightarrow{O_3 O_2} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/1}}$
 $\overrightarrow{V_{O_3 \in 7/1}} = -l \cdot \overrightarrow{x_2} \wedge \omega_1 \cdot \overrightarrow{y_2} = -l \cdot \omega_1 \cdot \overrightarrow{z_2}$

$\overrightarrow{V_{O_4 \in 1/0}} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} + \overrightarrow{O_4 O_1} \wedge \overrightarrow{\Omega_{1/0}}$
 $\overrightarrow{V_{O_4 \in 1/0}} = (O_4 O_{10} + O_{10} O_3 + O_3 O_2 + O_2 O_1) \wedge \overrightarrow{\Omega_{1/0}}$
 $\overrightarrow{V_{O_4 \in 1/0}} = (-a \cdot \overrightarrow{x_4} - b \cdot \overrightarrow{z_4} - l \cdot \overrightarrow{x_3} - l \cdot \overrightarrow{x_2} - c \cdot \overrightarrow{x_1} - d \cdot \overrightarrow{z_1}) \wedge \omega_0 \cdot \overrightarrow{z_1}$
 $\overrightarrow{V_{O_4 \in 1/0}} = [a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \omega_0 \cdot \overrightarrow{y_1}$

$\overrightarrow{V_{O_4 \in 4/0}} = -l \cdot \omega_2 \cdot \overrightarrow{z_3} - l \cdot \omega_1 \cdot \overrightarrow{z_2} + [a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \omega_0 \cdot \overrightarrow{y_1}$



Question 4 : $\vec{\Gamma}_{O_4 \in 4/0} = -l \cdot \dot{\omega}_2 \cdot \vec{z}_3 - l \cdot \omega_2 \cdot \left[\frac{d\vec{z}_3}{dt} \right]_{R_0} - l \cdot \dot{\omega}_1 \cdot \vec{z}_2 - l \cdot \omega_1 \cdot \left[\frac{d\vec{z}_2}{dt} \right]_{R_0} + [(-\omega_1 \cdot \sin\theta_1 - \omega_2 \cdot \sin\theta_2)] \cdot \omega_0 \cdot \vec{y}_1$

$$+ [a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \left(\dot{\omega}_0 \cdot \vec{y}_1 + \omega_0 \cdot \left[\frac{d\vec{y}_1}{dt} \right]_{R_0} \right)$$

$$\left[\frac{d\vec{z}_3}{dt} \right]_{R_0} = \omega_2 \cdot \vec{x}_3 + \omega_0 \cdot \sin\theta_2 \cdot \vec{y}_1$$

$$\left[\frac{d\vec{z}_2}{dt} \right]_{R_0} = \omega_1 \cdot \vec{x}_2 + \omega_0 \cdot \sin\theta_1 \cdot \vec{y}_1$$

$$\left[\frac{d\vec{y}_1}{dt} \right]_{R_0} = -\omega_0 \cdot \vec{x}_1$$

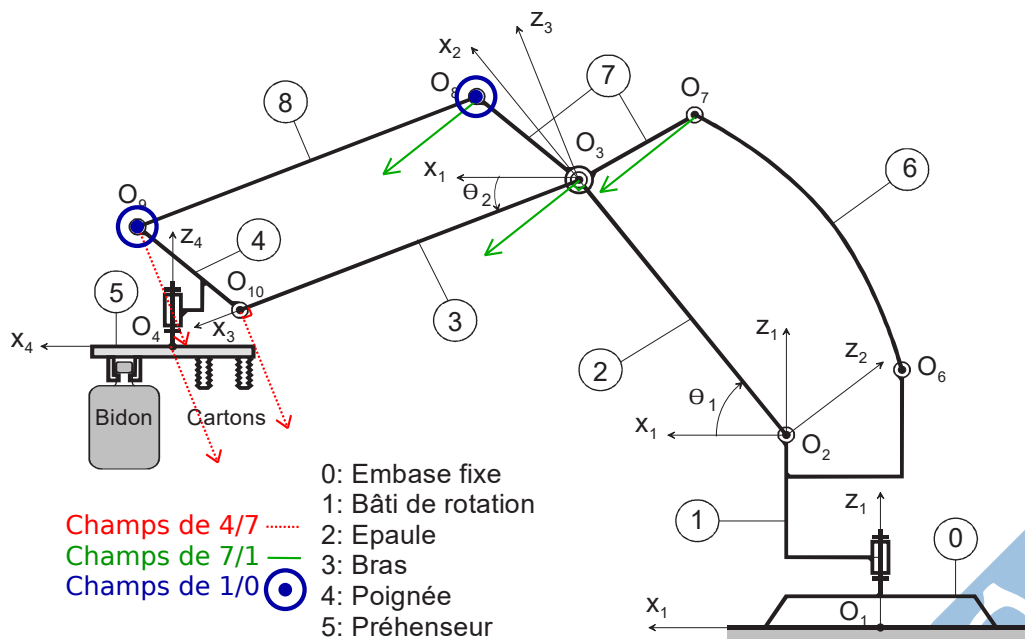
$$\vec{\Gamma}_{O_4 \in 4/0} = -l \cdot \dot{\omega}_2 \cdot \vec{z}_3 - l \cdot \omega_2 \cdot (\omega_2 \cdot \vec{x}_3 + \omega_0 \cdot \sin\theta_2 \cdot \vec{y}_1) - l \cdot \dot{\omega}_1 \cdot \vec{z}_2 - l \cdot \omega_1 \cdot (\omega_1 \cdot \vec{x}_2 + \omega_0 \cdot \sin\theta_1 \cdot \vec{y}_1) + [(-\omega_1 \cdot \sin\theta_1 - \omega_2 \cdot \sin\theta_2)] \cdot \omega_0 \cdot \vec{y}_1 - [a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot (\dot{\omega}_0 \cdot \vec{y}_1 - \omega_0^2 \cdot \vec{x}_1)$$

$$\vec{\Gamma}_{O_4 \in 4/0} = -[a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \omega_0^2 \cdot \vec{x}_1 - l \cdot \omega_1^2 \cdot \vec{x}_2 - l \cdot \omega_2^2 \cdot \vec{x}_3 + (-l \cdot \omega_2 \cdot \omega_0 \cdot \sin\theta_2 - l \cdot \omega_1 \cdot \omega_0 \cdot \sin\theta_1 + [(-\omega_1 \cdot \sin\theta_1 - \omega_2 \cdot \sin\theta_2)] \cdot \omega_0) \cdot \vec{y}_1 - l \cdot \dot{\omega}_1 \cdot \vec{z}_2 - l \cdot \dot{\omega}_2 \cdot \vec{z}_3$$

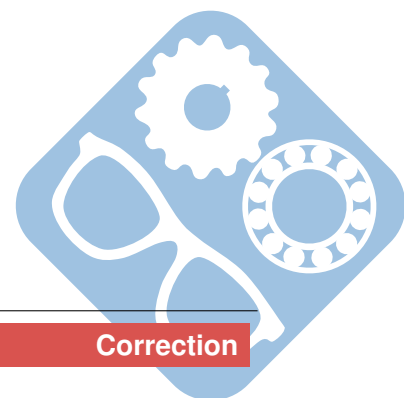
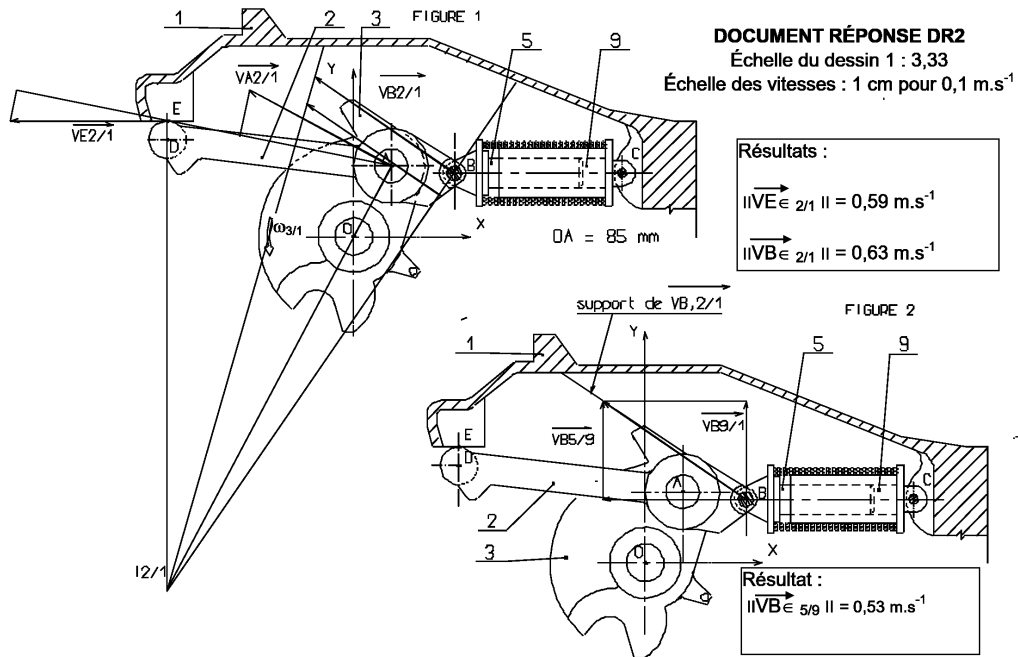
$$\vec{\Gamma}_{O_4 \in 4/0} = -[a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \omega_0^2 \cdot \vec{x}_1 - l \cdot \omega_1^2 \cdot \vec{x}_2 - l \cdot \omega_2^2 \cdot \vec{x}_3 + (-2 \cdot l \cdot \omega_2 \cdot \omega_0 \cdot \sin\theta_2 - 2 \cdot l \cdot \omega_1 \cdot \omega_0 \cdot \sin\theta_1 + [a + c + l(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)] \cdot \dot{\omega}_0) \cdot \vec{y}_1 - l \cdot \dot{\omega}_1 \cdot \vec{z}_2 - l \cdot \dot{\omega}_2 \cdot \vec{z}_3$$

Question 5 : $\vec{\Omega}_{4/1} = \vec{0}$, donc le mouvement est une translation ce qui convient pour la manipulation de bidons qui ne doivent pas être renversés.

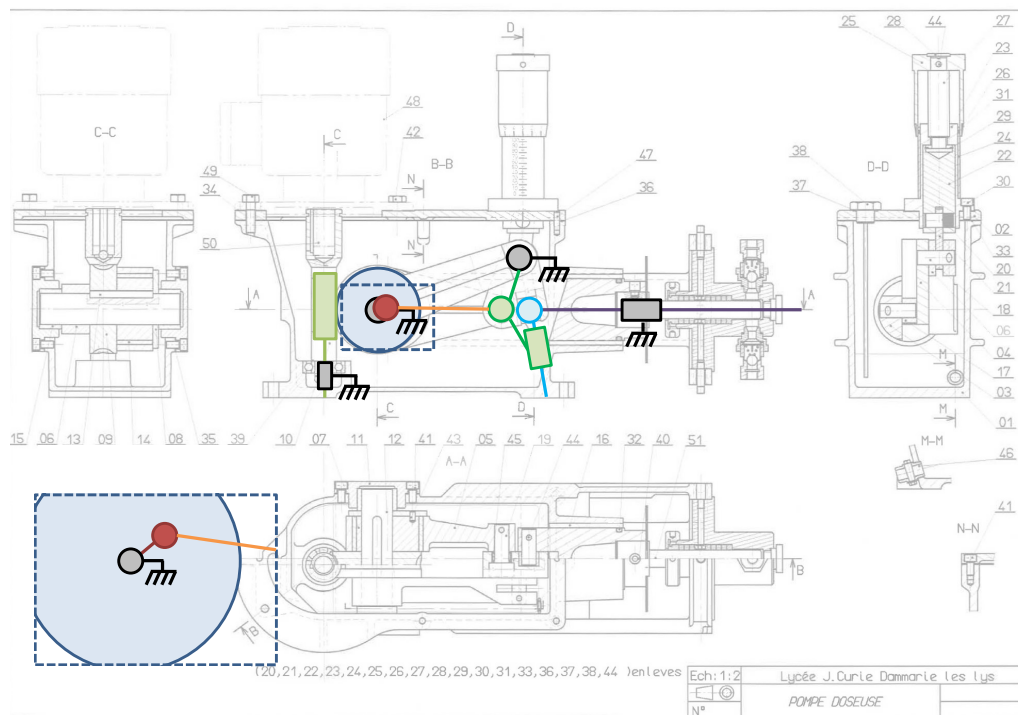
Question 6 :



5.3 Attelage TGV



5.4 Pompe doseuse



Question 1 :

Question 2 : La vitesse instantanée de sortie du piston est nulle car les points A, B et C sont alignés, et les constructions d'équiprojectivité donnent une vitesse nulle.

