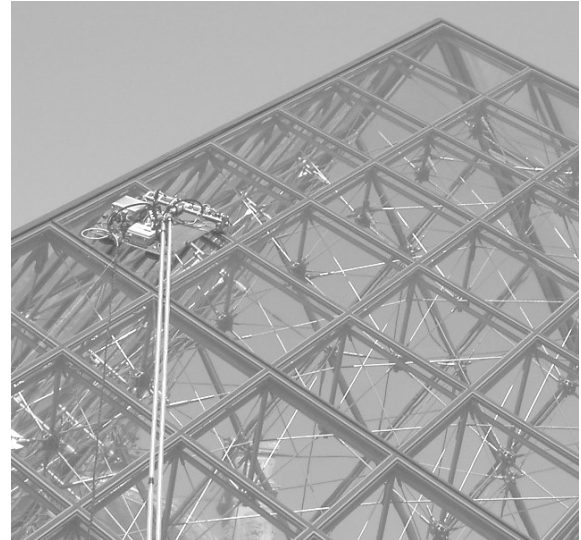
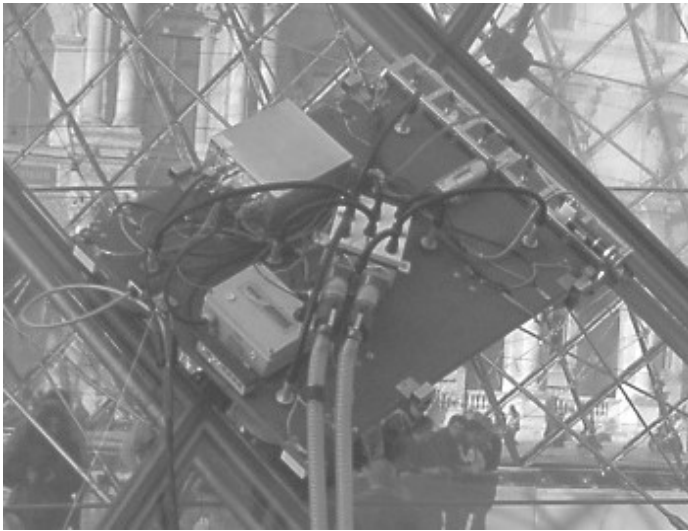


ROBUGLASS



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, 35 mètres de côté, 30 mètres de bords), 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 (voir Annexe 1) :

- 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.

Le porteur est constitué d'un plateau supportant les différents composants (voir Annexe 2, Figure 2 et Figure 3) :

- La motricité est assurée par quatre groupes propulsions (Annexe 2, Figure 2) composés chacun d'une chenille équipée d'un motoréducteur électrique indépendant. Chaque moteur à courant continu est alimenté en électricité par un variateur, qui permet d'adapter l'énergie électrique. Un réducteur permet de réduire la vitesse de rotation et d'augmenter le couple aux roues motrices. Les roues motrices entraînent les chenilles. Un codeur incrémental permet la mesure de la position angulaire de l'arbre moteur. Chaque groupe de motorisation est asservi en vitesse.

- Huit ventouses (Annexe 1) sont disposées sous le plateau afin d'améliorer l'adhérence du porteur à la surface vitrée. La pression à l'intérieur des ventouses est inférieure à la pression atmosphérique, créant ainsi un effet d'aspiration et donc un effort plaqueur sur la surface vitrée. Une nourrice assure la liaison aux pompes à vide du chariot ombilical et aux ventouses.
- Des capteurs de pression (non visibles sur les schémas) contrôlent le vide dans chacune des ventouses.
- Des capteurs photoélectriques (Annexe 1) sont disposés à l'avant du porteur. Lorsque le porteur arrive en haut de la pyramide, les capteurs ne détectant plus la surface vitrée n'envoient plus de signal électrique, provoquant ainsi l'arrêt du robot.
- Des capteurs inductifs (Annexe 1) disposés sur les côtés gauche et droit du robot permettent la détection des joints de vitre en aluminium. Ils permettent de contrôler la trajectoire en mode automatique.
- Le porteur est équipé d'un boîtier de commande (Annexe 1) (comportant un calculateur) capable de gérer le système. Il traite toutes les informations reçues des différents capteurs et du boîtier HF et élabore les consignes pour les groupes de motorisation et l'outil de nettoyage.
- Un boîtier d'émission réception HF (Annexe 1) permet la communication avec le poste de contrôle.
- L'outil de nettoyage (Annexe 1) embarqué sur le robot est équipé d'une brosse rotative alimentée en fluide de nettoyage et de deux raclettes. La brosse est entraînée par un motoréducteur. Une courroie transmet la puissance du réducteur à la brosse. Un vérin électrique permet de positionner l'outil de nettoyage dans les différentes phases et de contrôler l'effort normal entre l'outil et la surface vitrée en phase de nettoyage.

Un extrait de cahier des charges permet de spécifier la fonction FS1 :

Fonction de service	Critère	Niveau
FS1 : Déplacer et appliquer l'outil de nettoyage sur la surface vitrée.	Vitesse linéaire de translation	0,1 m.s ⁻¹ (vitesse nominale)
	Inclinaison des surfaces vitrées	50°
	Trajectoire en phase de descente et de montée	Rectiligne, le long des joints de vitre
	Changement de trajectoire	Virage en début de montée pour changer de travée de vitre
	Contact outil de nettoyage-surface vitrée	En descente uniquement. Effort normal : 100 N à ±3%
	Adhérence du porteur à la surface vitrée	Impératif en ligne droite. Glissement autorisé en virage = 20% de la vitesse nominale.

Vérification du critère d'adhérence en trajectoire rectiligne.

Dans un souci de simplification, on considère que le porteur est en position sur la surface vitrée en phase de montée de telle sorte que les actions mécaniques se répartissent de manière symétrique sur les chenilles de droite et de gauche. On néglige l'action de l'outil sur la surface vitrée. On considère le cas où le porteur n'est pas équipé de ventouses. On peut donc par symétrie ne considérer que les chenilles des groupes de propulsion **1** et **4** et adopter la modélisation plane dans le plan (\vec{Y}_p, \vec{Z}_p) (voir Annexe 2). On s'intéresse aux groupes de solides : porteur (noté **5**), et groupe propulsion (noté **1**={**11**, **12**, **13**, **14**}), ce dernier étant composé d'un châssis de chenille (noté **11**), d'une roue motrice (notée **12**), d'une roue libre (notée **13**) et d'une chenille (notée **14**) (voir Annexe 2).

On notera dans la suite le torseur des efforts transmissibles du solide i sur le solide j exprimé au point M par :

$$\left\{ \mathcal{T}_{i \rightarrow j} \right\}_{M, R_p} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_{i \rightarrow j} & L_{i \rightarrow j} \\ Y_{i \rightarrow j} & M_{i \rightarrow j} \\ Z_{i \rightarrow j} & N_{i \rightarrow j} \end{array} \right\}_{M, R_p} \quad \text{avec } R_p = (\bar{X}_p, \bar{Y}_p, \bar{Z}_p)$$

On considère maintenant le problème simplifié présenté en Annexe 3 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 $Y_{0 \rightarrow 5}$ et $Z_{0 \rightarrow 5}$ de $\left\{ \mathcal{T}_{0 \rightarrow 5} \right\}_{J_1, R_p}$ sont positives ainsi que les composantes $Y'_{0 \rightarrow 5}$ et $Z'_{0 \rightarrow 5}$ de $\left\{ \mathcal{T}'_{0 \rightarrow 5} \right\}_{J_4, R_p}$. On se place ainsi dans le cadre d'une modélisation plane dans le plan (\vec{Y}_p, \vec{Z}_p) :

$$\left\{ \mathcal{T}_{0 \rightarrow 5} \right\}_{J_1} = \left\{ \begin{array}{c|c} - & \mathbf{0} \\ Y_{0 \rightarrow 5} & - \\ Z_{0 \rightarrow 5} & - \end{array} \right\}_{J_1, R_p} \quad \text{et} \quad \left\{ \mathcal{T}'_{0 \rightarrow 5} \right\}_{J_4} = \left\{ \begin{array}{c|c} - & \mathbf{0} \\ Y'_{0 \rightarrow 5} & - \\ Z'_{0 \rightarrow 5} & - \end{array} \right\}_{J_4, R_p} .$$

Question 1. Exprimer le torseur des actions de pesanteur sur le demi-porteur considéré exprimé au centre de gravité dans la base R_p . On note $2M$ la masse du porteur complet.

Question 2. 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 exprimerez les moments au point J_1 . Projeter ces équations sur \vec{X}_p , \vec{Y}_p et \vec{Z}_p (en modélisation plane toujours).

Question 3. En déduire la valeur des composantes normales des efforts transmissibles par les ponctuelles. Effectuer l'application numérique avec $l_1=100$ mm, $l_2=300$ mm, $h=50$ mm, $M=24$ kg et $g=10$ m/s².

Question 4. Dans la théorie du frottement de Coulomb, quelle relation existe-t-il entre l'effort normal noté $Z_{i \rightarrow j}$ et l'effort tangentiel noté $Y_{i \rightarrow j}$ transmissible par une liaison ponctuelle à la limite du glissement. On note le coefficient de frottement f .

Question 5. En déduire la valeur maximum des composantes tangentielles $Y_{0 \rightarrow 5}$ et $Y'_{0 \rightarrow 5}$ à la limite du glissement sachant que le coefficient de frottement vaut $f = 0,7$.

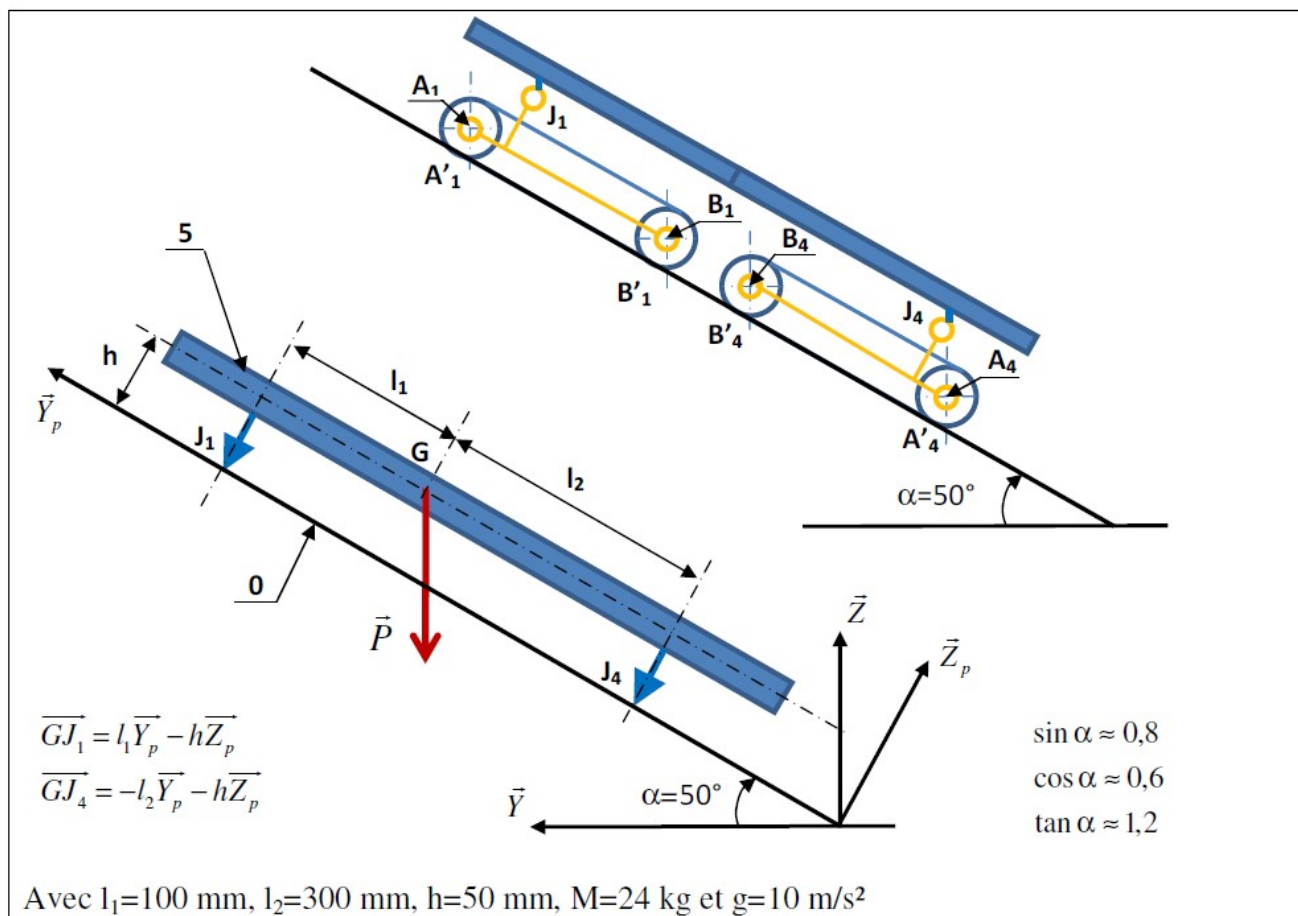
Question 6. Vérifier alors si les équations d'équilibre du robot sont vérifiées. Conclure quand à la vérification du critère du cahier des charges pour une trajectoire rectiligne.

Question 7. Appliquer le TEC au robot en cours de glissade.

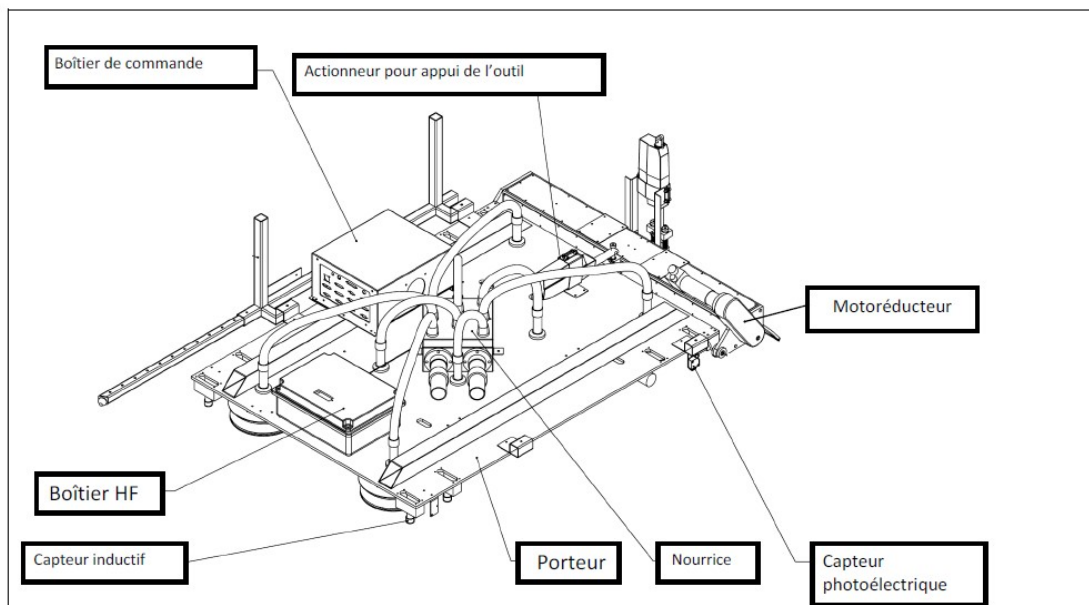
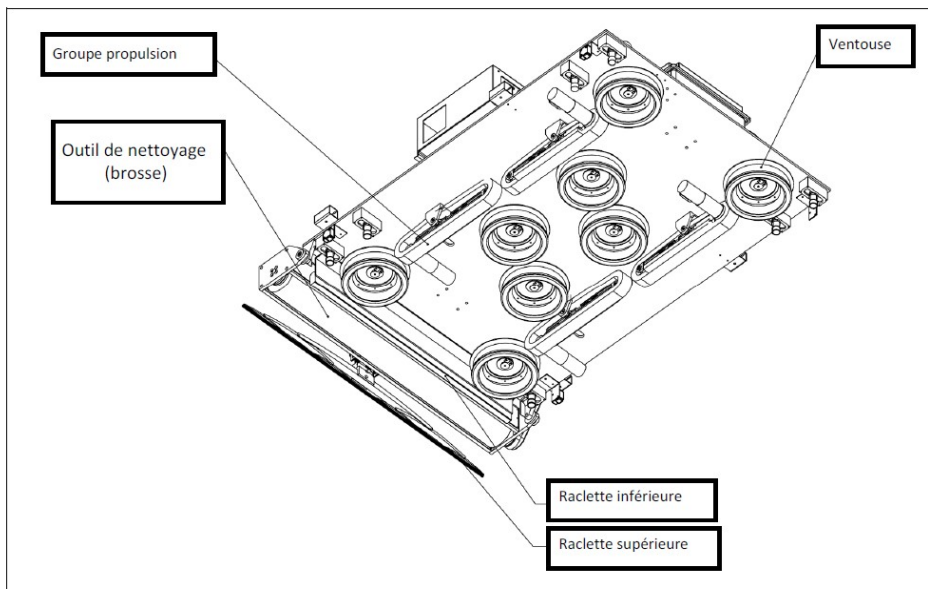
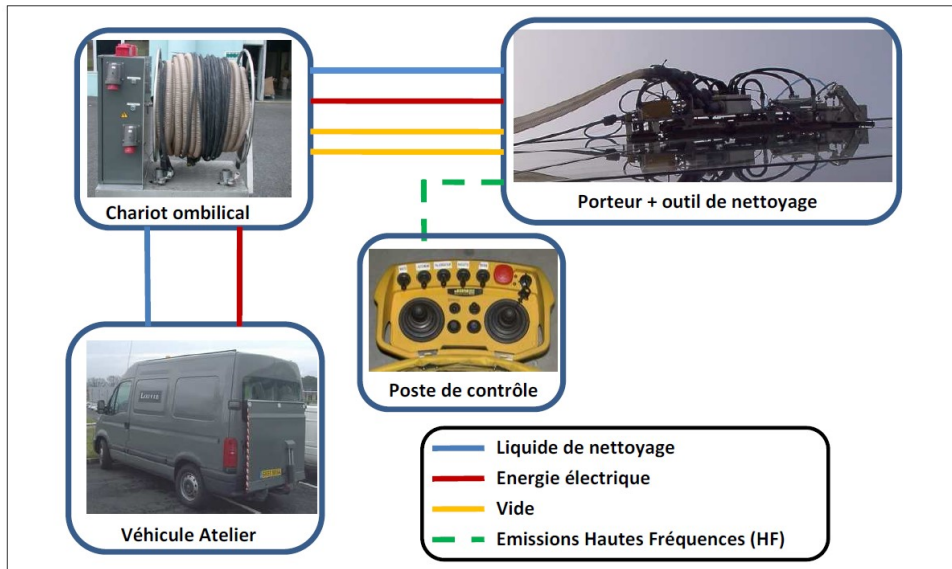
Question 8. En déduire l'accélération du robot.

Question 9. Déterminer le temps mis par le robot pour atteindre le bas de la pyramide (30 m à parcourir à partir du sommet).

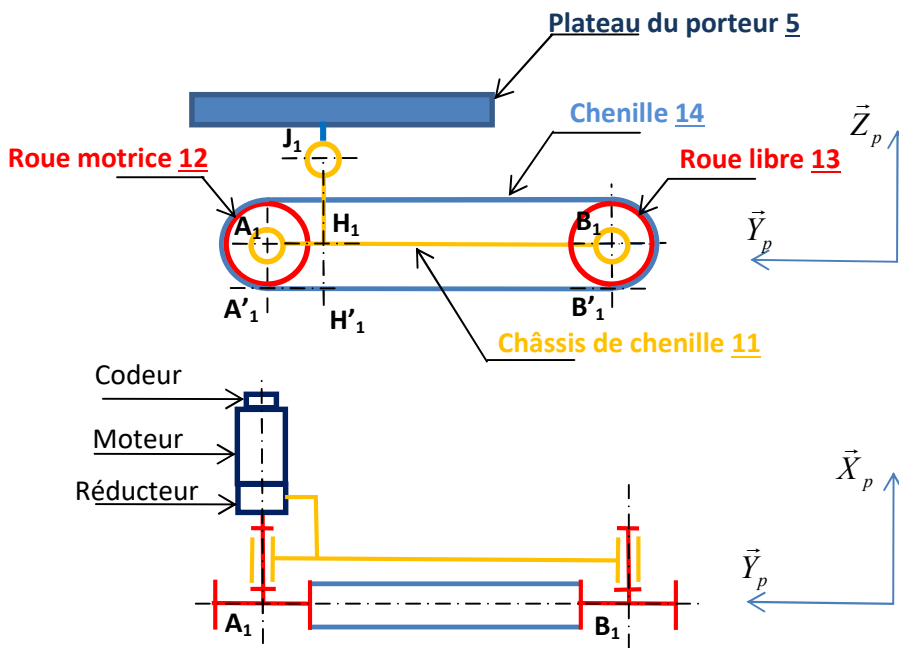
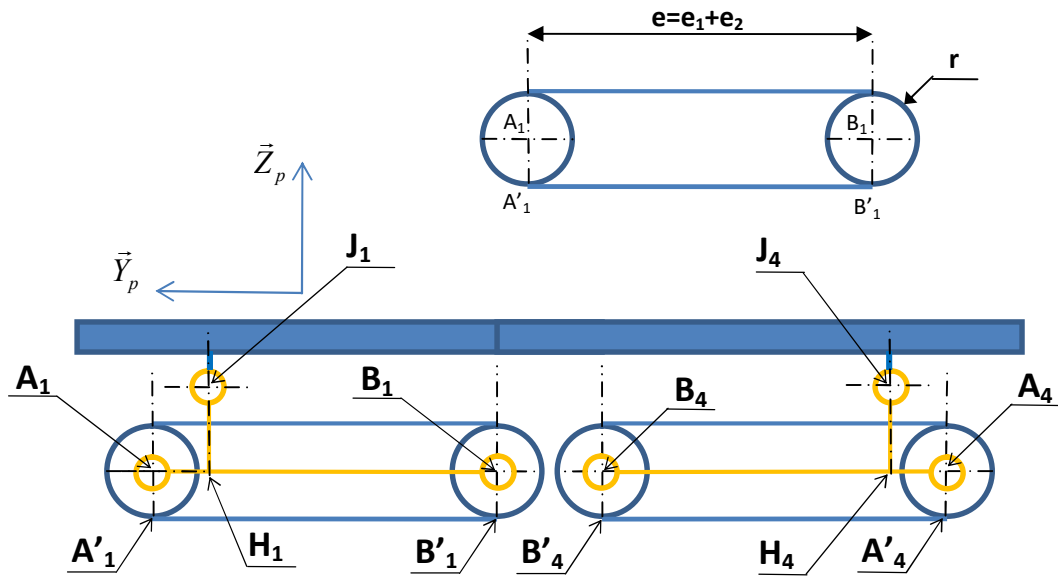
ANNEXE 3



ANNEXE 1



ANNEXE 2



On note :

$$\overrightarrow{H_1 J_1} = h_1 \overrightarrow{Z_p}$$

$$\overrightarrow{H_1 A_1} = e_1 \overrightarrow{Y_p}$$

$$\overrightarrow{H_1 B_1} = -e_2 \overrightarrow{Y_p}$$

$$\overrightarrow{H'_1 H_1} = r \overrightarrow{Z_p}$$

$$\overrightarrow{A'_1 A_1} = r \overrightarrow{Z_p}$$