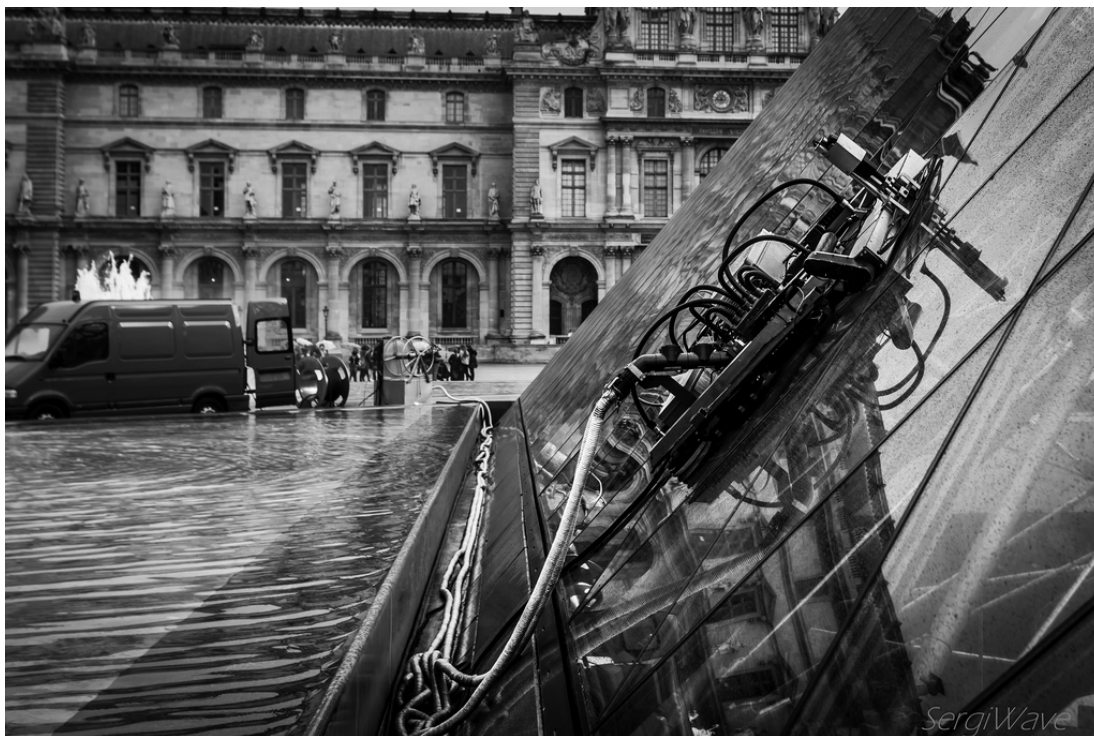


Robot de nettoyage automatisé *ROBUGLASS*

≈ 2 heures

La société ROBOSOFT a développé un robot, dénommé ROBUGLASS, 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. Ce robot 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 Annexes, Figure 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 différents composants (voir Annexes, Figure 2 et Figure 3). Certains éléments sont détaillés ci-dessous :

- La motricité est assurée par quatre groupes propulsions (Annexes, Figure 2) composés chacun d'une chenille équipée d'un motoréducteur électrique indépendant. Huit ventouses (Annexes, Figure 2) sont disposées sous le plateau afin d'améliorer l'adhérence du porteur à la surface vitrée.
- Des capteurs de pression (non visibles sur les schémas) contrôlent le vide dans chacune des ventouses.
- L'outil de nettoyage (Annexes, Figure 2) 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 du cahier des charges, associé à l'exigence "Déplacer et appliquer l'outil de nettoyage sur la surface vitrée", est donné ci-dessous :

Inclinaison des surfaces vitrées	50°
Contact outil de nettoyage-surface vitrée	Effort normal : 100 N à ±3%
Vitesse d'approche de la brosse sur la vitre	Inférieure à 5 mm/s

1 Vérification de l'exigence liée à l'inclinaison des surfaces vitrées

On souhaite savoir si le robot Robuglass a la capacité de se maintenir sur les vitres sans glisser. Le modèle retenu est celui de la figure ci-dessous. On suppose que le contact entre les chenilles associées au robot et la vitre est équivalent à deux contacts ponctuels en J_1 et J_4 .

On suppose qu'il y a contact avec frottement de type Coulomb entre le porteur (noté 5) et les vitres (notées 0). On notera également Z_{05}^1 , l'action normale associée au contact en J_1 et Y_{05}^1 , l'action tangentielle. De la même manière, Z_{05}^4 et Y_{05}^4 seront les actions associées au contact en J_4 .

Question 1. Déterminer une stratégie de calculs pour déterminer Z_{05}^4 et Z_{05}^1 .

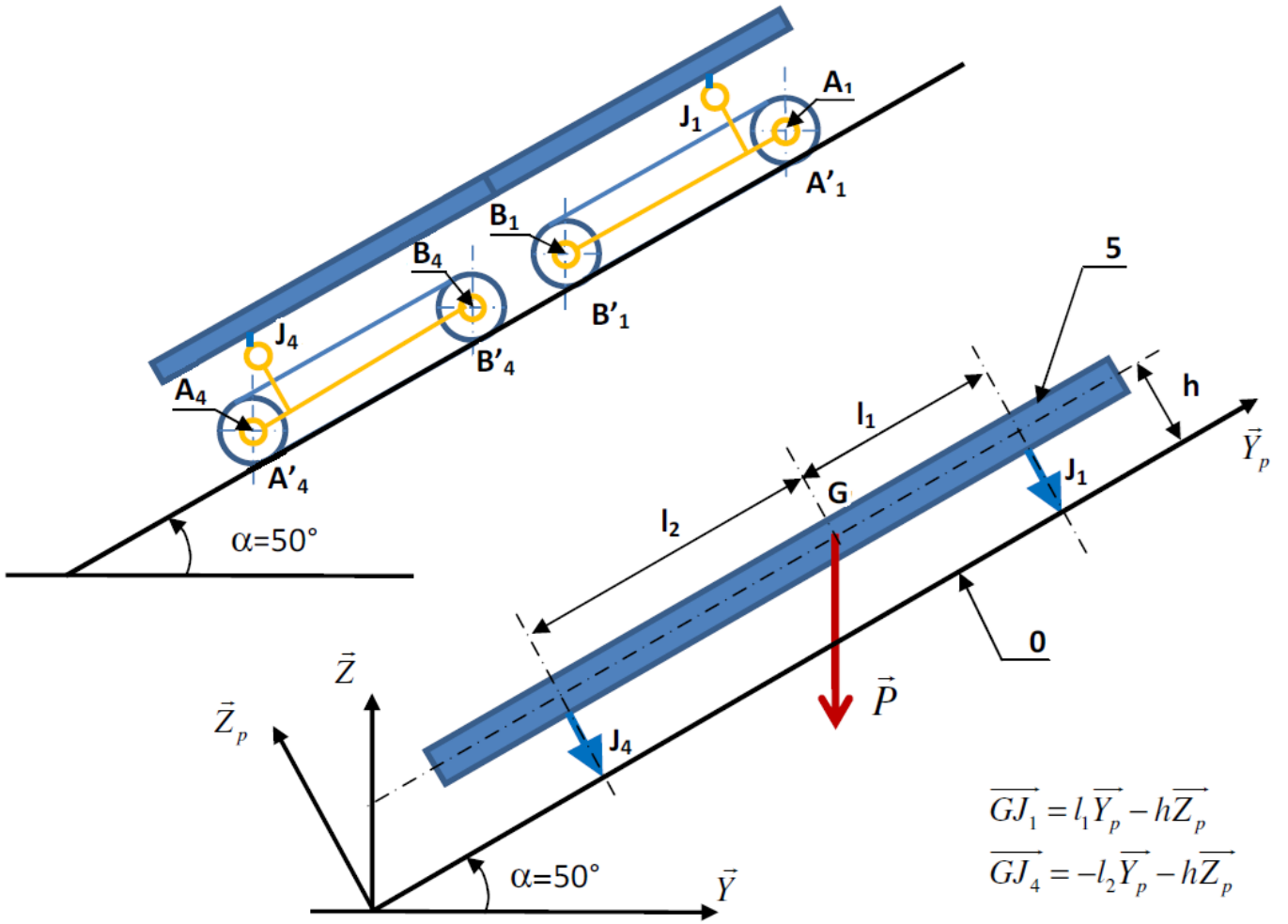
Question 2. Mener les calculs puis effectuer l'application numérique.

Question 3. Dans la théorie du frottement de Coulomb, quelle relation existe-t-il entre l'effort normal noté Z_{ij} et l'effort tangentiel noté Y_{ij} transmissible par une liaison ponctuelle à la limite du glissement (on note le coefficient de frottement f entre les solides i et j).

Question 4. En déduire la valeur maximum des composantes tangentielles Y_{05}^1 et Y_{05}^4 si chacun des contacts est "à la limite du glissement" sachant que le coefficient de frottement vaut $f = 0,7$. Calculer alors dans cette situation l'effort tangentiel global $Y_{05}^1 + Y_{05}^4$.

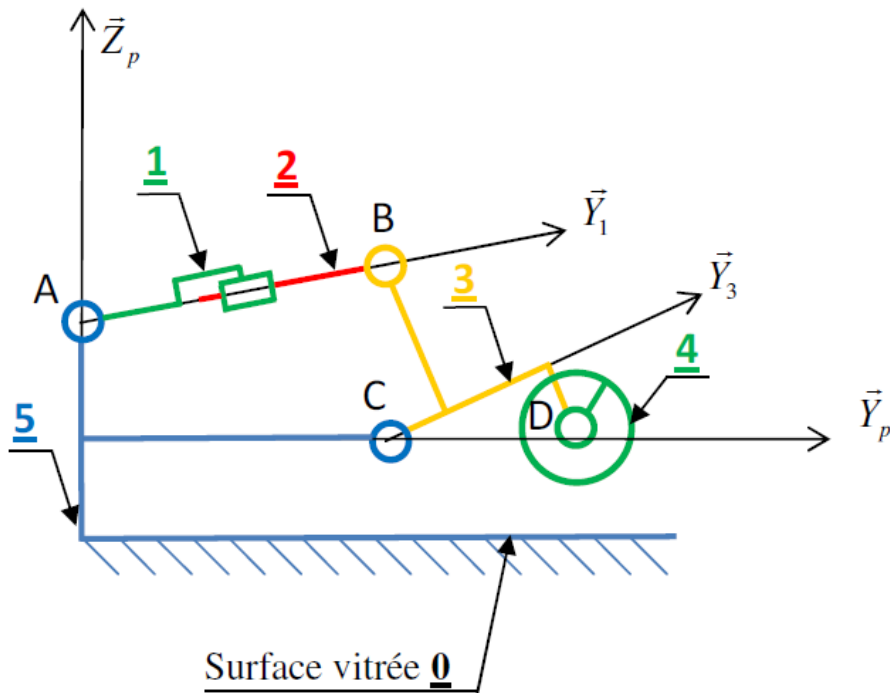
Question 5. Écrire le théorème des résultantes en projection sur \vec{Y}_p appliqué à l'ensemble du porteur. Conclure quant à la vérification du critère du cahier des charges en lien avec l'inclinaison à respecter.

Question 6. Quels éléments, non pris en compte dans les questions précédentes, permettent d'améliorer l'adhérence du porteur ?



Avec $l_1 = 100 \text{ mm}$, $l_2 = 300 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$, $M = 24 \text{ kg}$

2 Vérification de l'exigence liée au contact entre l'outil de nettoyage et la surface vitrée



$$\begin{aligned}\overline{AB} &= \lambda(t)\overline{Y}_1 \\ \overline{AC} &= a\overline{Y}_p - b\overline{Z}_p \\ \overline{CB} &= c\overline{Y}_3 + d\overline{Z}_3 \\ \overline{CD} &= e\overline{Y}_3 - f\overline{Z}_3 \\ \overline{ID} &= r_4\overline{Z}_p \\ \theta_1 &= (\overline{Y}_p, \overline{Y}_1) \\ \theta_3 &= (\overline{Y}_p, \overline{Y}_3) \\ a &= 360 \text{ mm} \\ b &= 120 \text{ mm} \\ c &= 40 \text{ mm} \\ d &= 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

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 (ensemble {1,2} de la figure ci-dessus) 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. Dans un premier temps, aucune régulation n'est envisagée ni en vitesse ni en effort. Nous allons valider, ou non, la faisabilité d'utiliser le vérin dans ces conditions.

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.
- Course disponible : 100 mm.
- Sans régulation, le vérin peut exercer un effort de 130 N.

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

On considèrera dans cette partie que la brosse ne tourne pas par rapport au support d'outil 3.

NOTA : sur le schéma le point I n'apparaît pas puisque le contact n'existe pas dans cette configuration.

2.1 Vérification des performances d'un point de vue cinématique.

Question 7. Écrire la fermeture géométrique du cycle CABC sous forme vectorielle en fonction de a , b , c , d et λ .

Question 8. Projeter l'expression obtenue à la question précédente sur \vec{Y}_p et \vec{Z}_p .

Question 9. Déterminer l'expression de λ en fonction de θ_3 et des constantes géométriques.

Question 10. On considère que la brosse est en contact avec le sol pour : $\theta_3 = 0$ rad. Pour cette valeur de θ_3 , en déduire l'expression de λ en fonction uniquement des longueurs a , b , c et d . Effectuer l'application numérique.

Question 11. En position haute, la longueur λ vaut 380 mm. En déduire la course nécessaire entre ces deux positions extrêmes. Le vérin est-il adapté ?

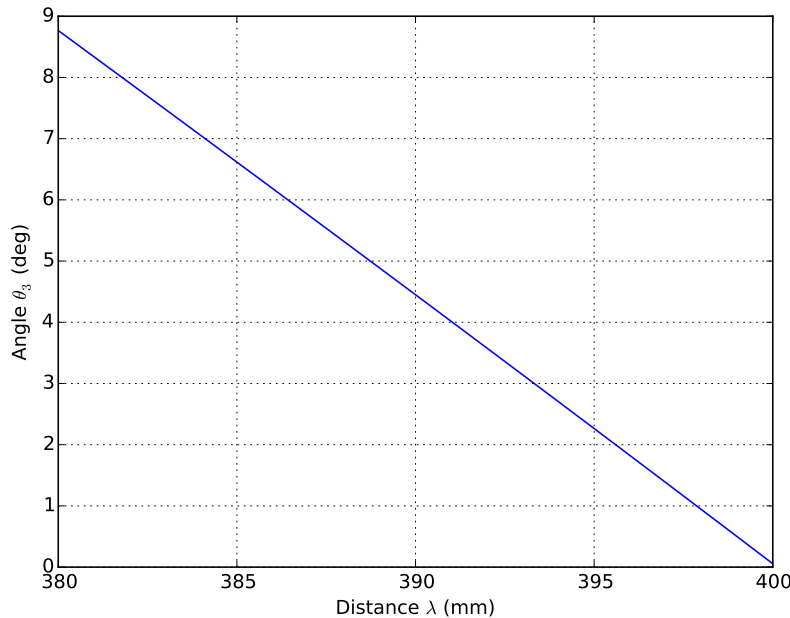
Afin de préserver la surface vitrée d'une part, et de ne pas perturber l'équilibre du robot d'autre part, il est nécessaire de limiter la vitesse de l'outil lorsque celui-ci impacte la vitre au point I . La norme de la composante normale à la surface vitrée du vecteur $\vec{V}_{I,3/0}$ (vitesse du point I dans le mouvement de 3 par rapport à 0) doit rester inférieure à 5 mm/s. Comme le porteur est fixe par rapport à la surface vitrée, on a $\vec{V}_{I,3/0} = \vec{V}_{I,3/5}$. Il faudra donc vérifier que la vitesse $v_z = \vec{V}_{I,3/0} \cdot \vec{Z}_p$ reste inférieure à 5 mm/s.

On note $\vec{V}_{B,2/1} = v_{21} \vec{Y}_1$ la vitesse de sortie de tige du vérin.

On rappelle que la brosse est en contact avec le sol pour : $\theta_3 = 0$ rad et donc dans cette situation on a $\vec{Z}_3 = \vec{Z}_p$.

Question 12. Montrer que $v_z = e \cdot \dot{\theta}_3$ lorsqu'il y a contact entre 4 et 0.

À partir des résultats obtenus à la question 9, on pourrait alors tracer la courbe suivante qui représente l'évolution de θ_3 en fonction de λ :



Question 13. On donne également $e = 100$ mm. Effectuer les applications numériques afin de déterminer v_z et conclure.

2.2 Vérification des performances d'un point de vue statique.

L'objectif est de déterminer l'effort développé par le vérin pour appliquer une force de contact de 100 N sur la vitre. On négligera les effets du poids sur l'ensemble des pièces de l'outil. On notera les actions mécaniques d'un solide i sur un

solide j :

$$T\{i \rightarrow j\} = \begin{cases} \vec{F}_{i \rightarrow j} \\ \vec{M}_{K,i \rightarrow j} \end{cases}$$

On notera F_{mot} , l'action motrice liée au vérin telle $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}^{mot} = F_{mot} \vec{Y}_1$.

On considère que l'action de 5 sur 4 peut se modéliser par une force appliquée au point I et donnée par : $\vec{F}_{5 \rightarrow 4} = Y_{54} \vec{Y}_p + Z_{54} \vec{Z}_p$ où $Y_{54} = -20$ N et Z_{54} sera à déterminer. On supposera que le problème peut être résolu sous les hypothèses de statique plane.

On rappelle également que lorsqu'il y a contact, on a $\vec{Z}_3 = \vec{Z}_p$ et donc $\theta_3 = 0$.

Question 14. Isoler l'ensemble $\{1, 2\}$, en déduire le support de l'action $\vec{F}_{3 \rightarrow 2}$.

Question 15. Isoler le solide 2 et en déduire $\vec{F}_{3 \rightarrow 2}$ en fonction de F_{mot} .

Question 16. Isoler ensuite l'ensemble $\{3, 4\}$ puis déterminer Z_{54} en fonction de F_{mot} et des données du problème.

Question 17. En utilisant les résultats issus de la fermeture géométrique de la question 8, déterminer l'expression puis la valeur numérique de θ_1 lorsque $\theta_3 = 0$.

Question 18. On donne $r_4 = 40$ mm et $f = 45$ mm. Faire l'application numérique pour $F_{mot} = 130$ N. Le vérin est-il adapté pour une utilisation sans régulation d'effort ?

Annexes

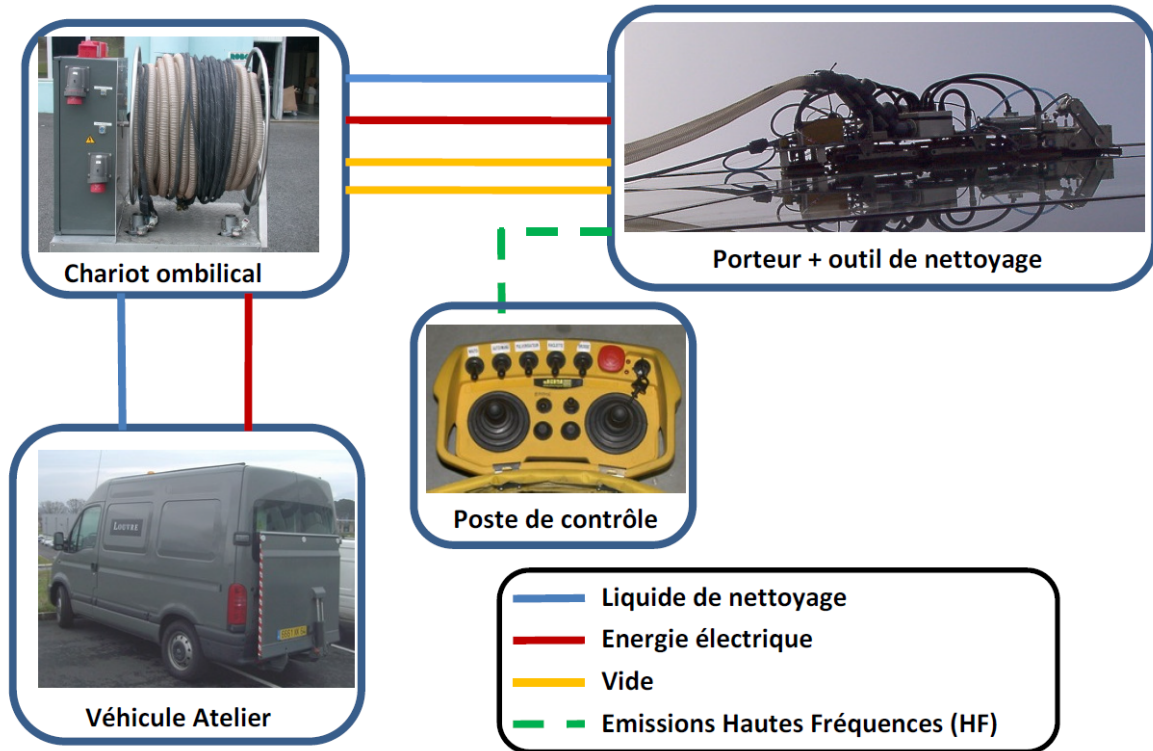


Figure 1: Éléments principaux associés au Robuglass

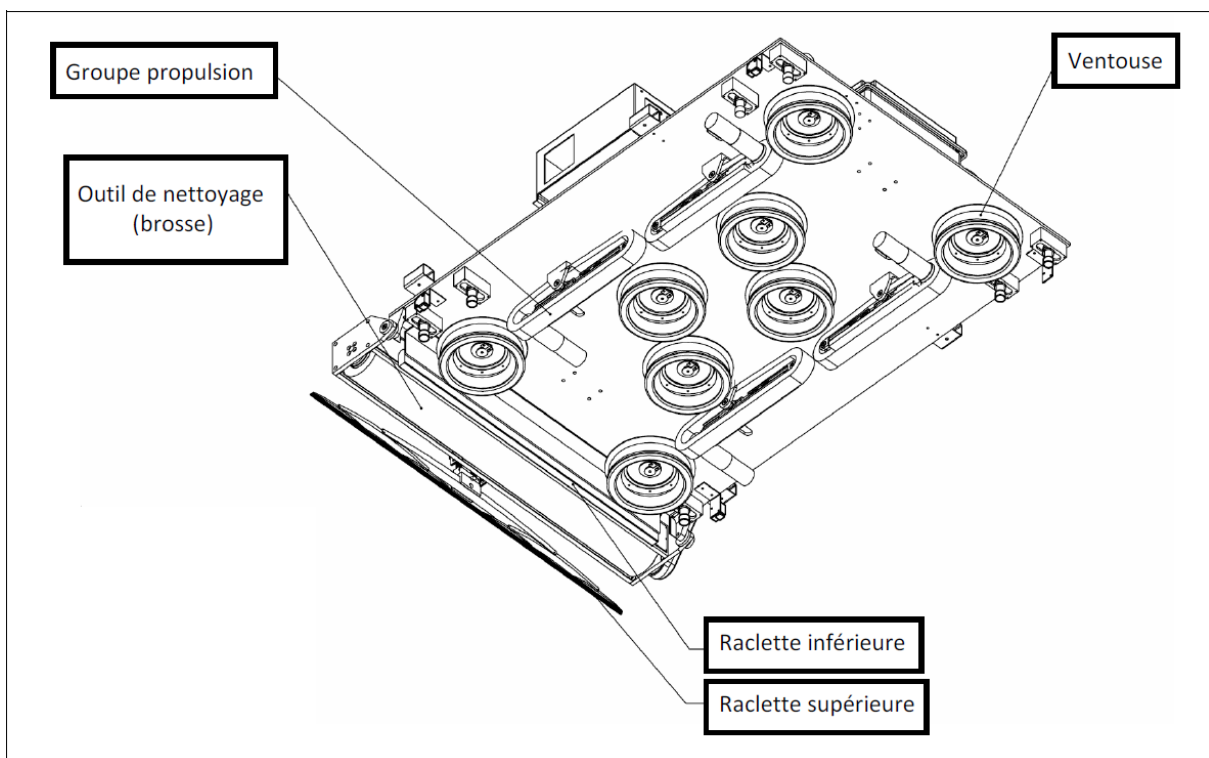


Figure 2: Éléments principaux associés au porteur

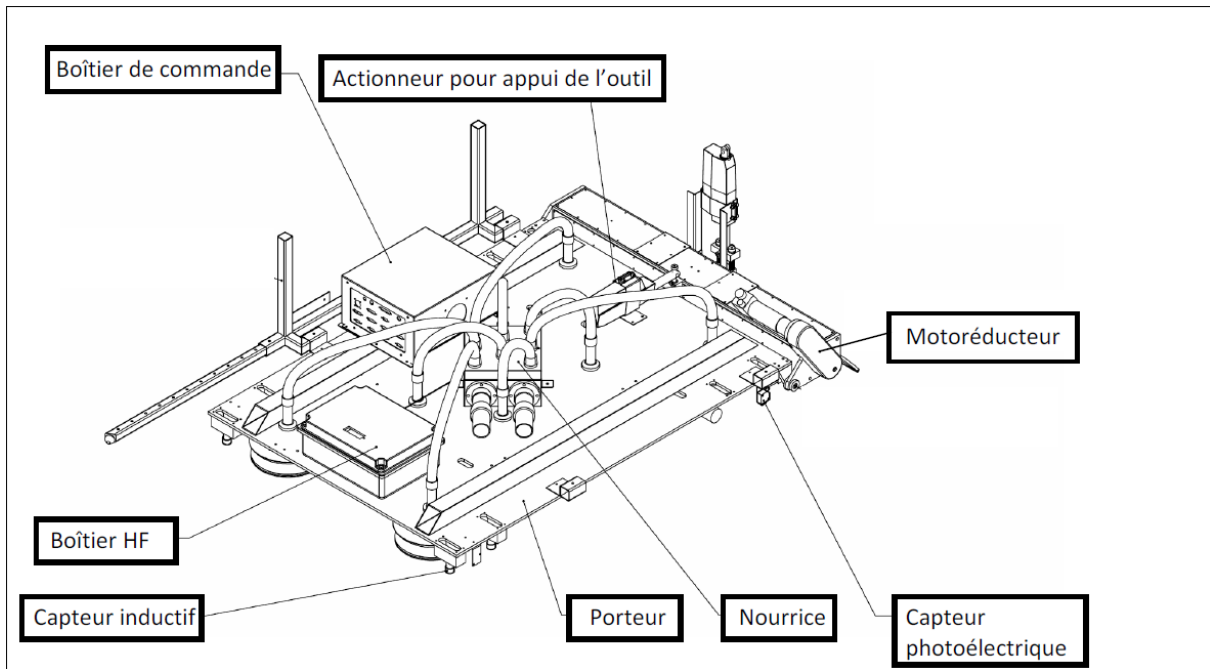


Figure 3: Éléments principaux associés au porteur