

ROBOT 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 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 (voir Annexe 1, 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 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 2, Figure 2) 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 2, Figure 3) 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 2, Figure 3) 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 2, Figure 3) (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 2, Figure 3) permet la communication avec le poste de contrôle.
- L'outil de nettoyage (Annexe 2, 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.
- Performances en rapport avec l'exigence principale « 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.

Le système étudié doit pouvoir fonctionner en mode automatique. Pour ce faire, il doit maîtriser la trajectoire du porteur sans intervention de l'opérateur. Il est nécessaire de contrôler la vitesse de rotation des chenilles. Chaque groupe de propulsion est donc **asservi en vitesse de rotation**. On se propose d'étudier cet asservissement afin d'en contrôler la capacité à vérifier les critères du cahier des charges.

Le schéma bloc de l'asservissement de l'axe moteur est représenté en Annexe 4, Figure 10. On néglige l'effet des perturbations extérieures.

Question 0. (Culture technologique)

Donner, pour les chaînes d'information, le rôle et le principe de fonctionnement des composants suivants : codeur incrémental, capteur inductifs.

Donner, pour les chaînes d'énergie, le rôle et le principe de fonctionnement des composants suivants : réducteur, moteur à courant continu.

Question 1. Expliquer ce qui dans le schéma bloc permet d'affirmer que le système étudié est bien un système asservi.

Question 2. Déterminer la relation à imposer entre k_a et k_p pour garantir que le système soit bien asservi sur la vitesse de rotation de l'axe moteur. Préciser lequel de ces deux paramètres est ajustable.

On modélise le comportement du moteur électrique par les équations suivantes :

Equations électriques et mécaniques	Caractéristiques
$u(t) - e(t) = Ri(t)$	R : résistance de l'induit
$e(t) = k_e \omega_m(t)$	k_e : constante de force contre électromotrice
$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$	k_i : constante de couple
$C_m(t) = k_i i(t)$	J : inertie de l'axe moteur
	$u(t)$: tension d'alimentation du moteur
	$i(t)$: courant dans le moteur
	$e(t)$: tension contre électromotrice
	$\Omega_m(t)$: taux de rotation de l'arbre moteur
	$C_m(t)$: couple disponible sur l'arbre moteur

Question 3. Exprimer les transformées de Laplace de ces équations, sachant que les conditions initiales sont nulles. On notera $A(p)$ la transformée de Laplace de la fonction temporelle $a(t)$.

Question 4. En déduire la fonction de transfert du moteur électrique $H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$. La mettre sous sa forme canonique en spécifiant toutes les caractéristiques.

On prendra par la suite pour fonction de transfert du moteur : $H_m(p) = \frac{k_m}{1 + \tau_m p}$

Dans un premier temps, le dispositif de correction est un gain proportionnel : $k_c(p) = k_c$.

Question 5. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $F_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_c(p)}$.

Question 6. Mettre $F_1(p)$ sous forme canonique et exprimer le gain statique noté k_1 et la constante de temps notée τ_1 en fonction de : $k_m, k_c, k_a, k_v, \tau_m$.

Un système est précis en réponse à un échelon si l'écart en sortie du comparateur tend vers 0 en régime établi : $\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = 0$.

Question 7. Pour une entrée de type échelon : $\Omega_c(p) = \frac{1}{p}$, déterminer l'expression de $\varepsilon(p)$ et conclure sur la précision du système.

On choisit à présent un dispositif de correction sous la forme d'un intégrateur : $k_c(p) = \frac{k_c}{p}$.

Question 8. Déterminer la nouvelle expression de la fonction de transfert en boucle fermée $F_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_c(p)}$ en fonction de $k_m, k_c, k_a, k_v, \tau_m$. Vous identifierez le gain statique noté k_2 , la pulsation propre non amortie notée ω_0 et le coefficient d'amortissement noté z en fonction de : $k_m, k_c, k_a, k_v, \tau_m$.

Question 9. En utilisant la même démarche qu'en 7, caractériser à nouveau la précision du système en réponse à un échelon : $\Omega_c(p) = \frac{1}{p}$.

Question 10. Déterminer la valeur de k_c en fonction des autres paramètres garantissant que la réponse se fera sans dépassement de la consigne tout en étant le plus rapide.

Question 11. Déterminer la valeur de k_c en fonction des autres paramètres garantissant le système le plus rapide possible.

ANNEXE 1

Diagramme de contexte

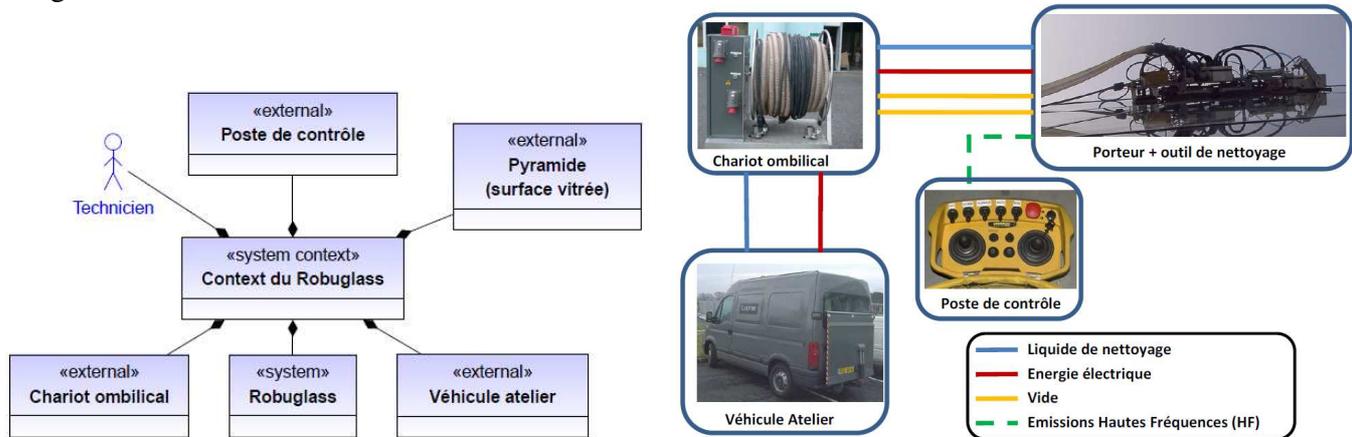


Figure 1

Diagramme des cas d'utilisation

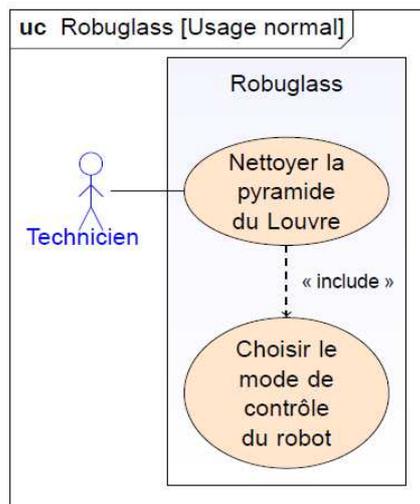


Diagramme d'exigences

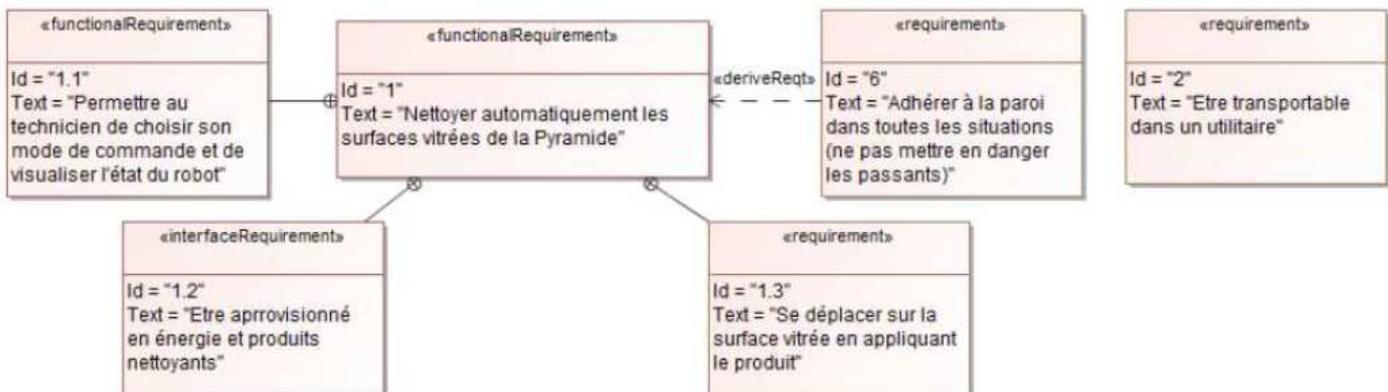


Diagramme de définition de blocs

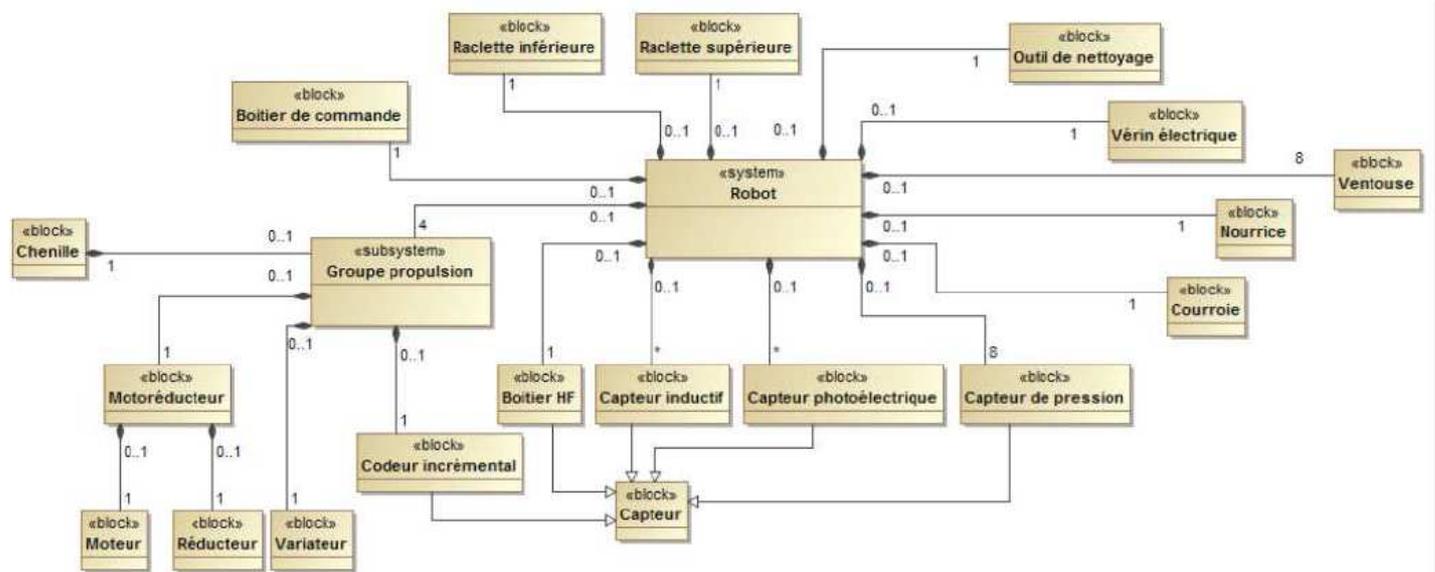
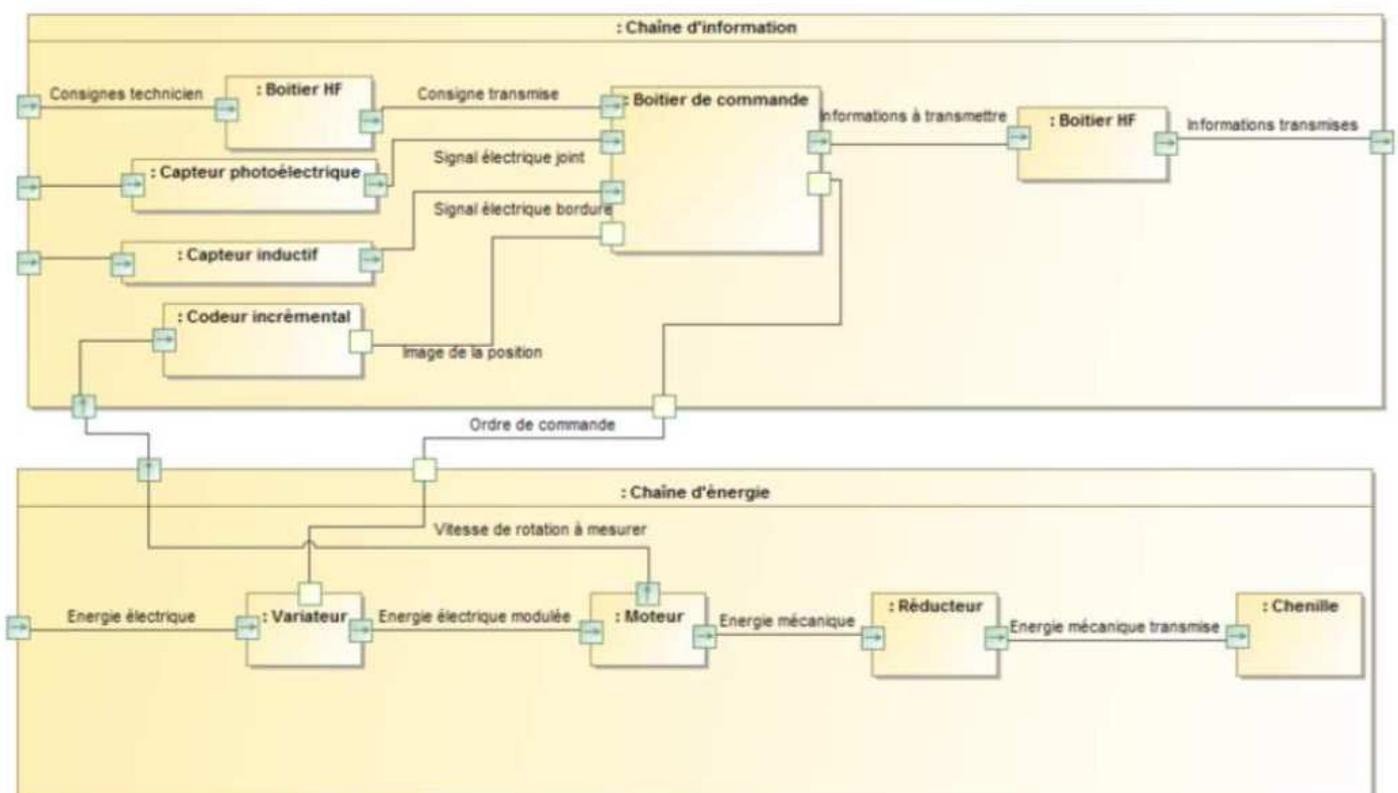


Diagramme de définition des blocs internes



ANNEXE 2

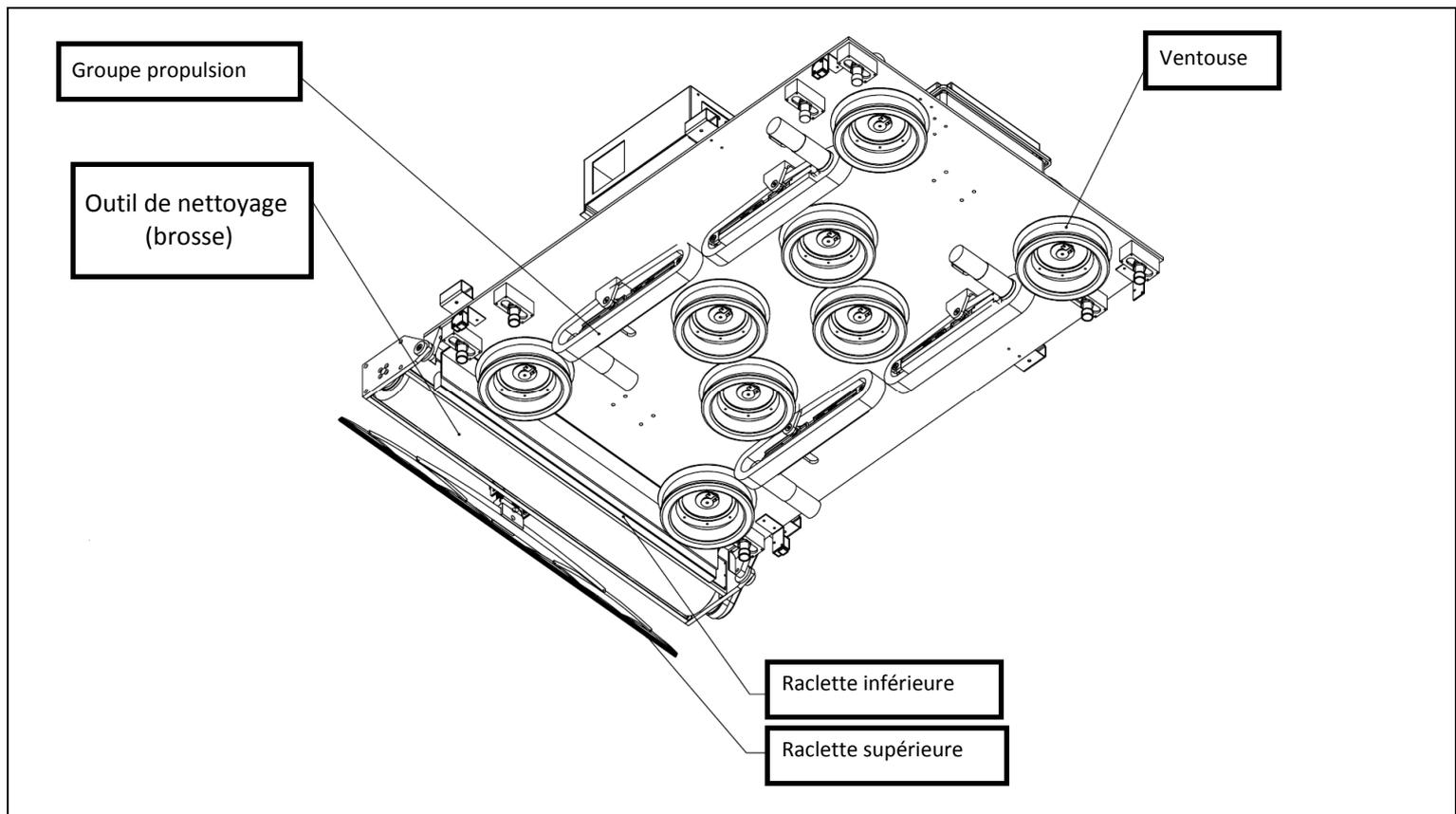


Figure 2

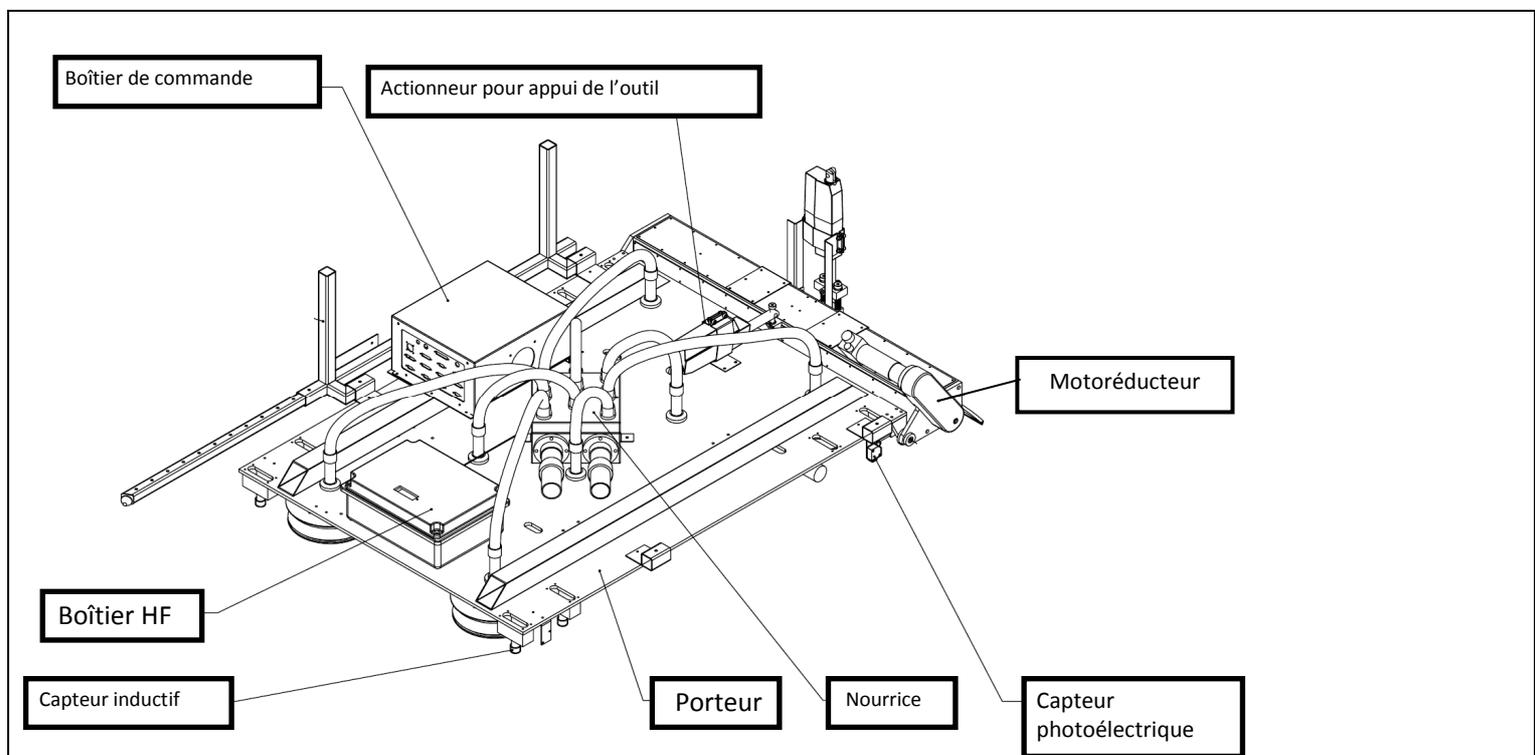


Figure 3

ANNEXE 4

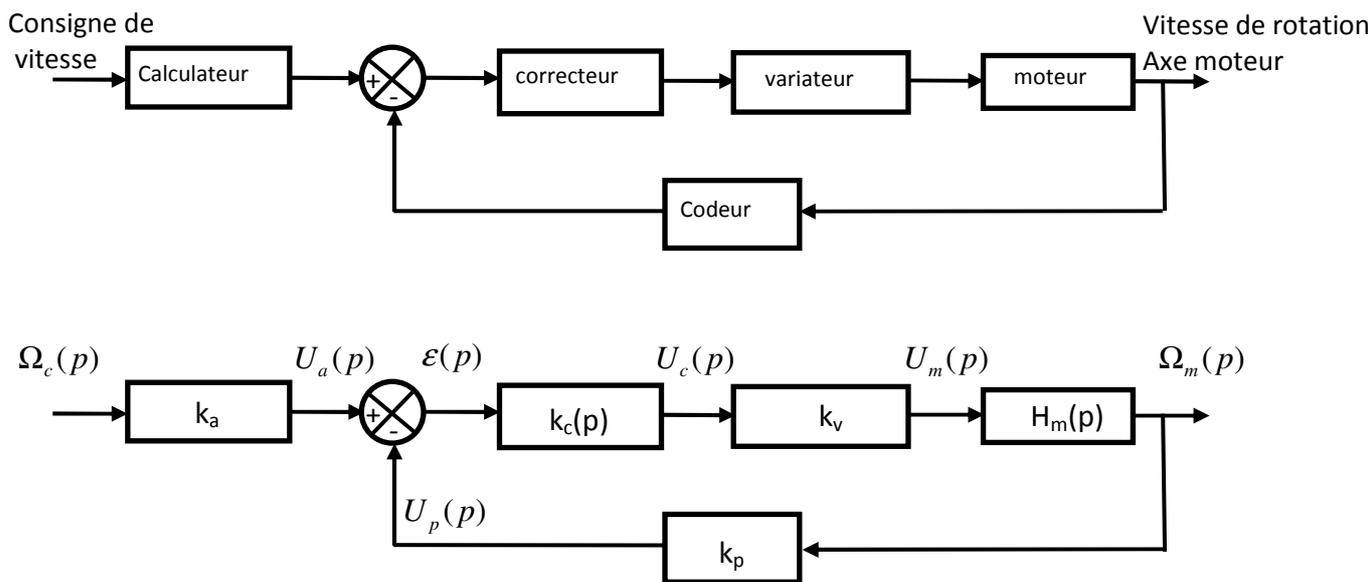


Figure 10

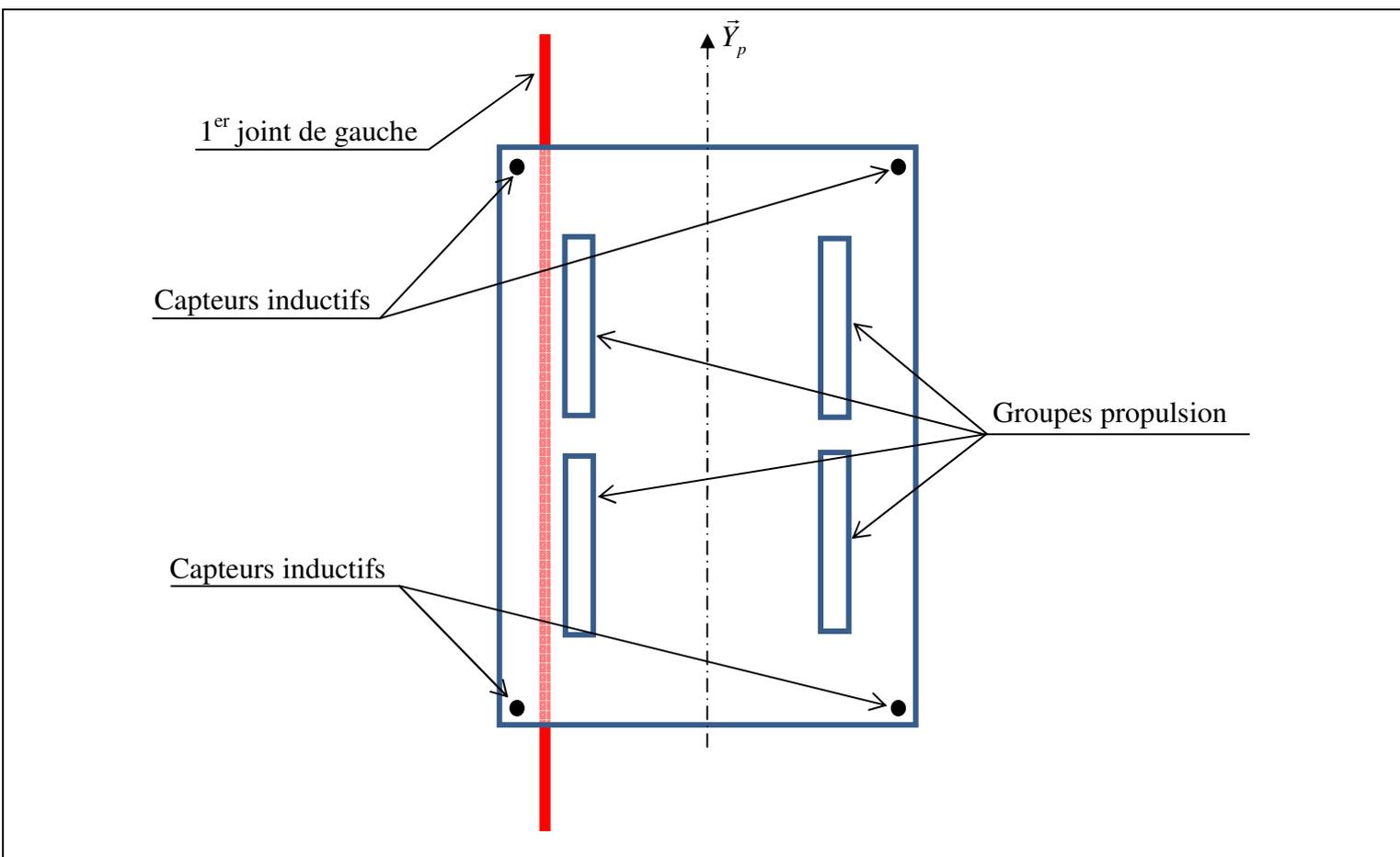


Figure 11