

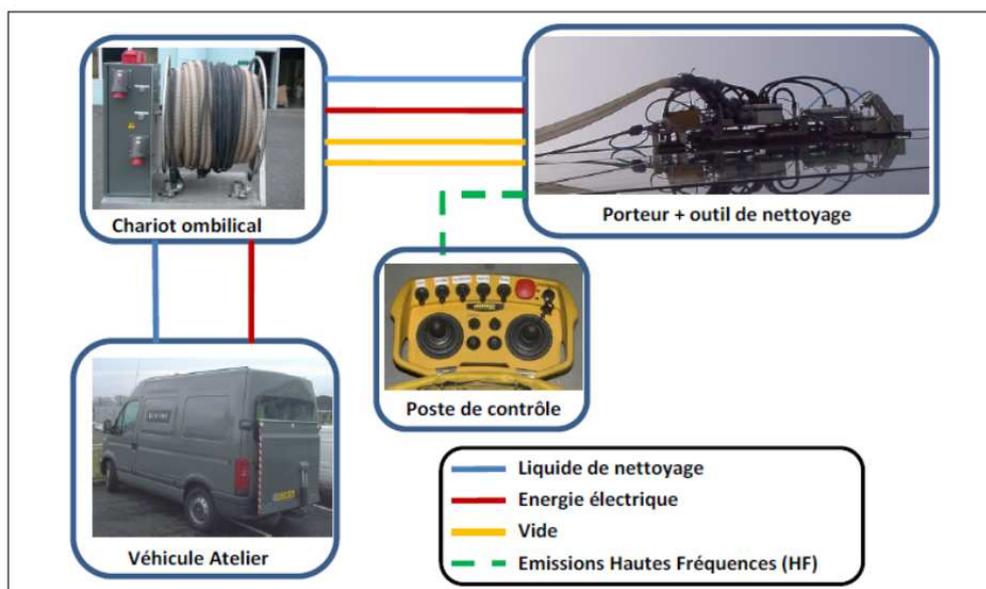
SUPPORT DE L'ANNÉE - PARTIE 1 : ROBUGLASS

1 Présentation du système complet

La société ROBOSOFT a développé un robot devant assurer de manière automatisée l'entretien de la pyramide du Louvre sans nécessiter l'intervention (difficile et périlleuse) des opérateurs directement sur l'édifice.

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.



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 (racleuse + 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.

2 Analyse du sous-système « porteur »

Le porteur est constitué d'un plateau supportant différents composants :

- **Quatre groupes propulsions** qui assurent la motricité du porteur. Chaque groupe est composé 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 et ainsi de contrôler sa vitesse de rotation. Un réducteur permet de réduire la vitesse de rotation et d'augmenter le couple au niveau de la roue motrice. Les roues motrices entraînent les chenilles. Un codeur incrémental permet la mesure de la vitesse angulaire de l'arbre moteur. Chaque groupe de motorisation est asservi en vitesse.
- **Un bloc d'aspiration** qui est composé de huit ventouses disposées sous le plateau afin d'assurer 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 entre les ventouses et les pompes à vide du chariot ombilical. Huit capteurs de pression (non visibles sur les schémas) contrôlent le vide dans chacune des ventouses.
- **Des capteurs photoélectriques** 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** 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.
- **Un boîtier d'émission réception HF** permet la communication avec le poste de contrôle.
- **Un boîtier de commande** (comportant un ordinateur) qui est 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 outil de nettoyage** embarqué sur le robot qui est équipé d'une brosse rotative, alimentée en fluide de nettoyage par l'intermédiaire d'une buse, et de deux raclettes. La projection de produit est pilotée par une électrovanne. La brosse est entraînée en rotation par un motoréducteur. Une courroie transmet la puissance du réducteur à la brosse. Ces éléments sont montés sur un bloc qui peut pivoter par rapport au porteur de manière à ce que l'effort exercé sur la surface vitrée soit plus ou moins important. Un vérin électrique permet ce pivotement. Ce vérin est principalement composé d'un motoréducteur et d'un système vis écrou permettant de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation. Les deux moteurs de l'outil de nettoyage sont alimentés par l'intermédiaire de deux contacteurs pilotés par le boîtier de commande.

Le porteur peut fonctionner selon deux modes : automatique ou manuel. En mode automatique, le robot procède en deux allers-retours par travée (une montée en s'alignant sur le joint gauche sans application de l'outil de nettoyage ni projection de produit, une descente en s'alignant sur le joint de gauche avec application de l'outil et le même exercice en s'alignant sur le joint droit). C'est l'opérateur qui change le robot de travée. En mode manuel, l'opérateur pilote le porteur comme il le souhaite.

Q - 1 : Compléter le diagramme de contexte du système « Porteur ».

Q - 2 : Compléter le diagramme de cas d'utilisation.

Q - 3 : Compléter le diagramme d'exigences en indiquant les blocs qui assurent certaines exigences.

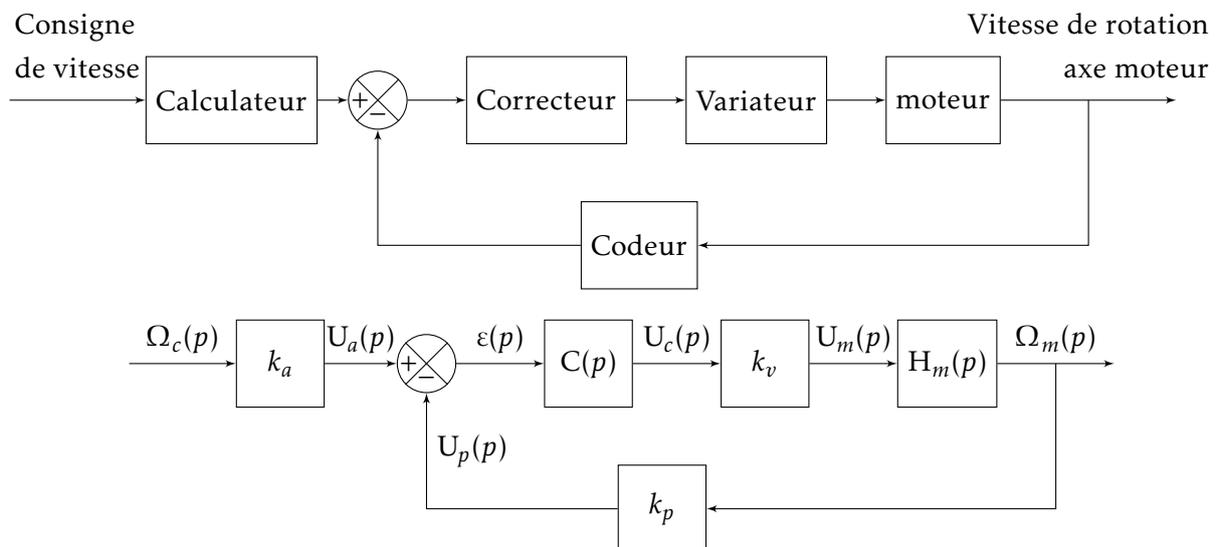
Q - 4 : Compléter le diagramme de bloc interne du porteur en indiquant les flux entre les différents blocs et précisant leur nature (en rouge les flux d'énergie, en vert les flux d'informations, en bleu les flux de matière par exemple).

Q - 5 : Sous forme de tableau et d'un point de vue chaîne fonctionnelle (chaîne d'énergie et chaîne d'information), donner les fonctions des composants suivants : Boîtier de commande, Ventouse, Capteur de pression, Moteur CC, Variateur, Contacteur, Réducteur, Roue motrice, Chenille, Transmission poulie courroie, Brosse, Boîtier d'émission réception HF, Électrovanne.

3 Étude de la commande du moteur de propulsion

Pour fonctionner en mode automatique, le système doit maîtriser la trajectoire du porteur sans intervention de l'opérateur. Pour cela 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 ci-dessous. On néglige l'effet des perturbations extérieures.



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

Équations électriques et mécaniques	Caractéristiques
$u_m(t) - e(t) = R \cdot i(t)$	R : résistance de l'induit
$e(t) = k_e \cdot \omega_m(t)$	k_e : constante de force contre électromotrice
$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t)$	k_i : constante de couple
$c_m(t) = k_i \cdot i(t)$	J : inertie de l'axe moteur
	$u_m(t)$: 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

Q - 6 : Expliquer ce qui dans le schéma bloc permet d'affirmer que le système étudié est bien un système asservi.

Q - 7 : 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.

Q - 8 : Exprimer les transformées de Laplace des équations caractéristiques du moteur, sachant que les conditions initiales sont nulles.

REMARQUE : On notera $A(p)$ la transformée de Laplace de la fonction temporelle $a(t)$.

Q - 9 : En déduire la fonction de transfert du moteur électrique $H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$. La mettre sous sa forme canonique en spécifiant toutes les caractéristiques.

On prendra par la suite pour fonction de transfert du moteur :

$$H_m(p) = \frac{k_m}{1 + \tau_m \cdot p}$$

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

Q - 10 : Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $F_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_c(p)}$

Q - 11 : 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_p , k_v et τ_m .

Un système est précis en réponse à un échelon si l'écart en sortie du comparateur tend vers 0 en régime établi :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = 0$$

Q - 12 : Pour une entrée de type échelon : $\Omega_c(p) = \frac{\omega_0}{p}$, déterminer l'expression de $\varepsilon(p)$ et conclure sur la précision du système.

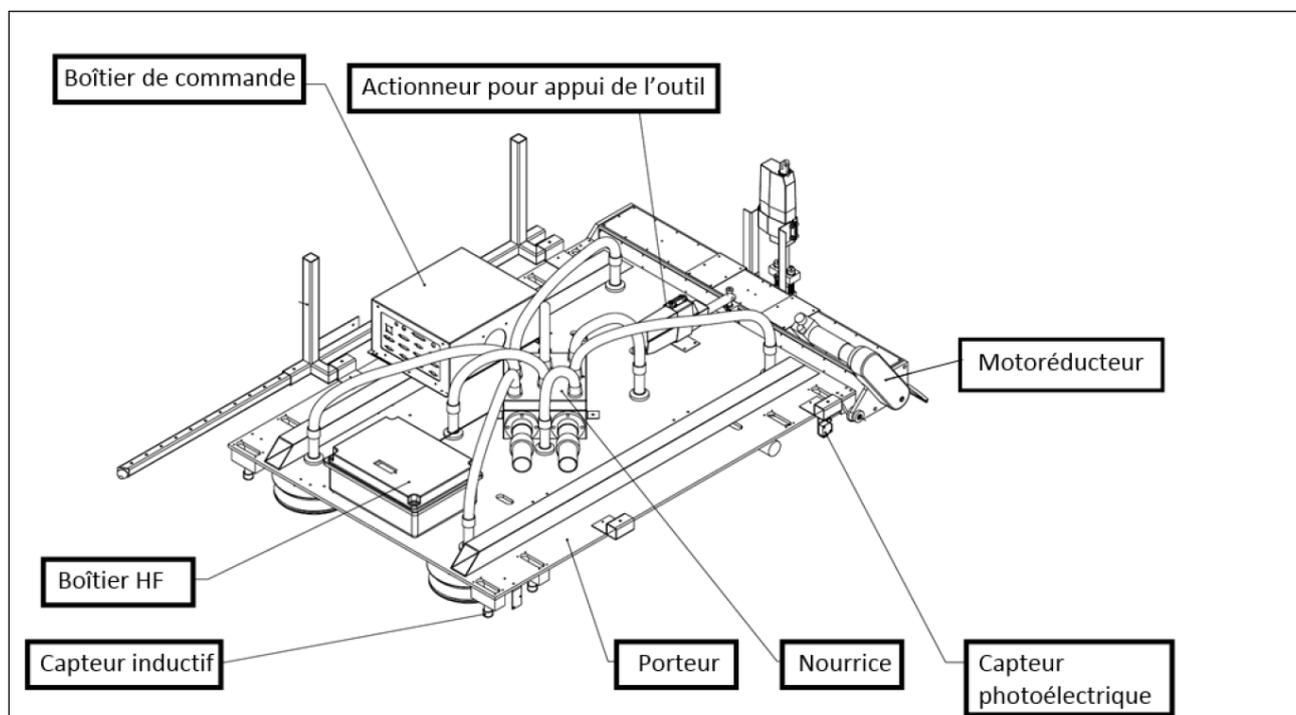
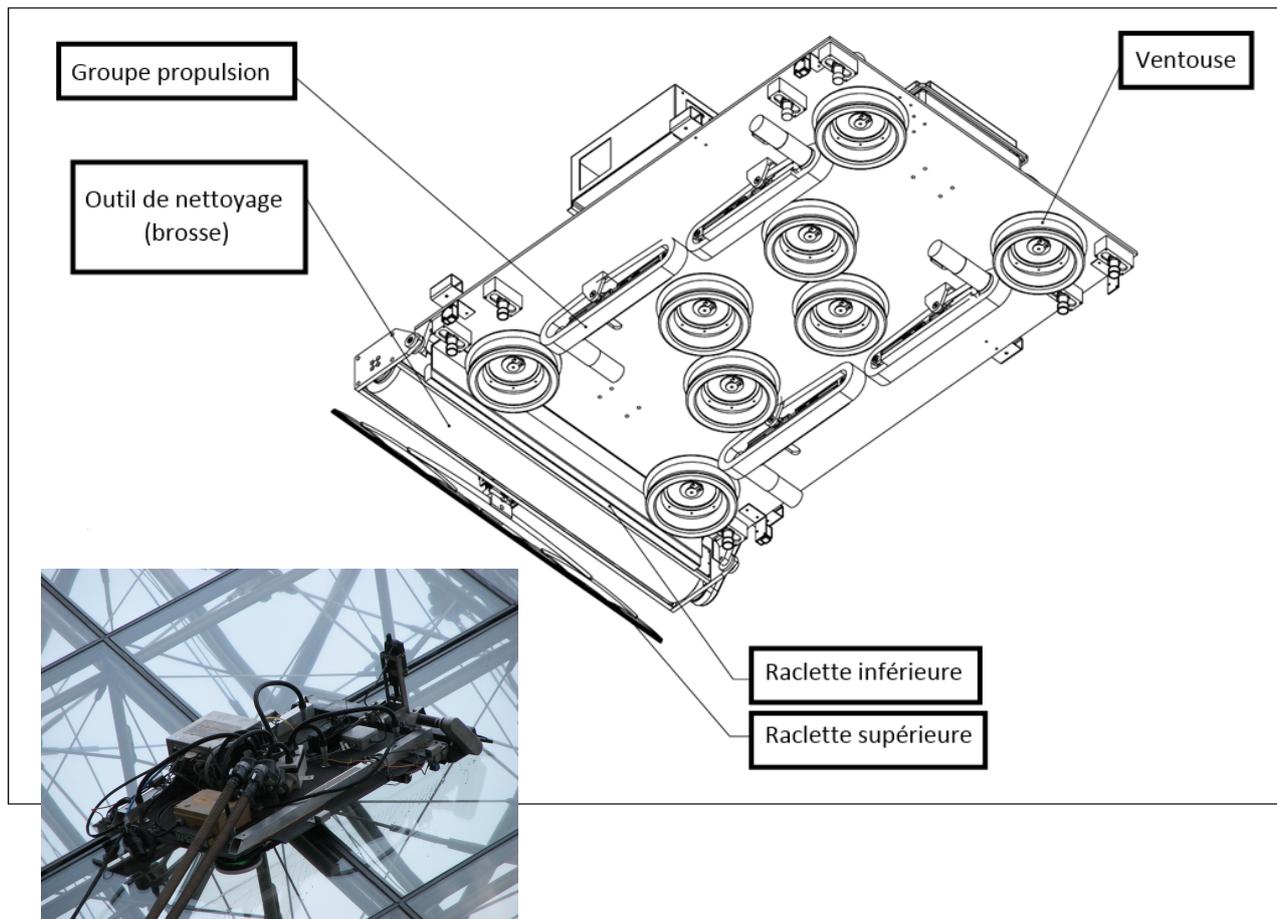
On choisit à présent un dispositif de correction sous la forme d'un intégrateur : $C(p) = \frac{k_c}{p}$.

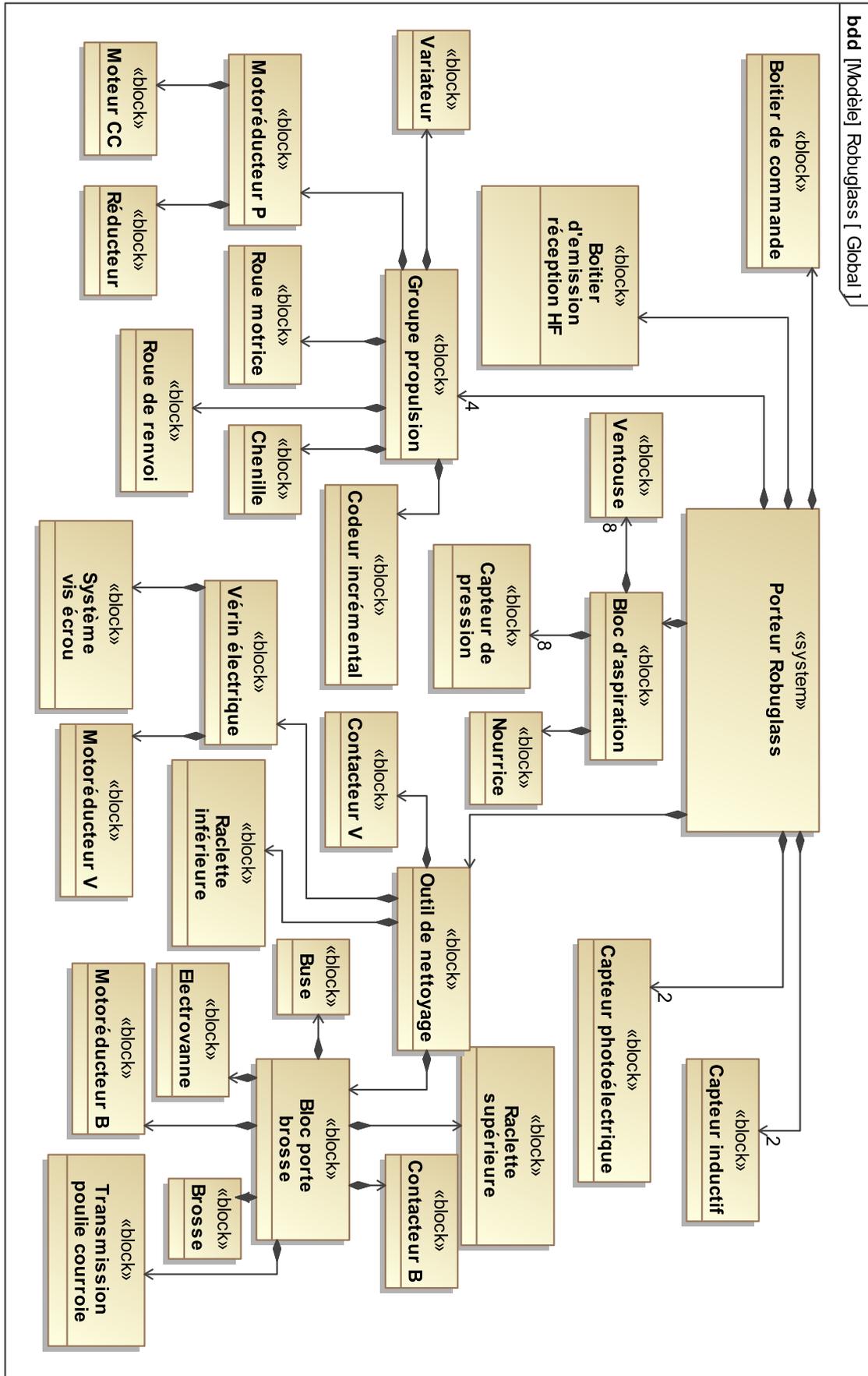
Q - 13 : Déterminer la nouvelle expression de la fonction de transfert en boucle fermée : $F_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_c(p)}$

Q - 14 : En utilisant la même démarche que précédemment, caractériser à nouveau la précision du système en réponse à un échelon.

Q - 15 : En fonction des autres paramètres, déterminer la valeur de k_c garantissant que la réponse se fera sans dépassement de la consigne tout en étant le plus rapide possible.

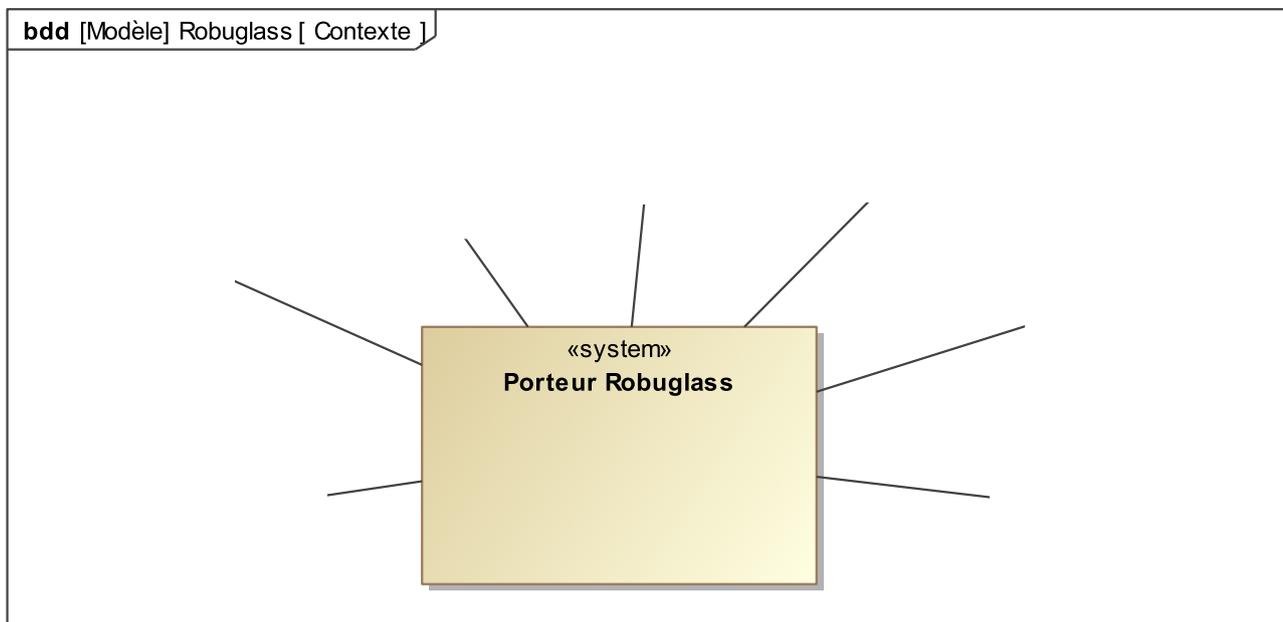
4 Documents annexes



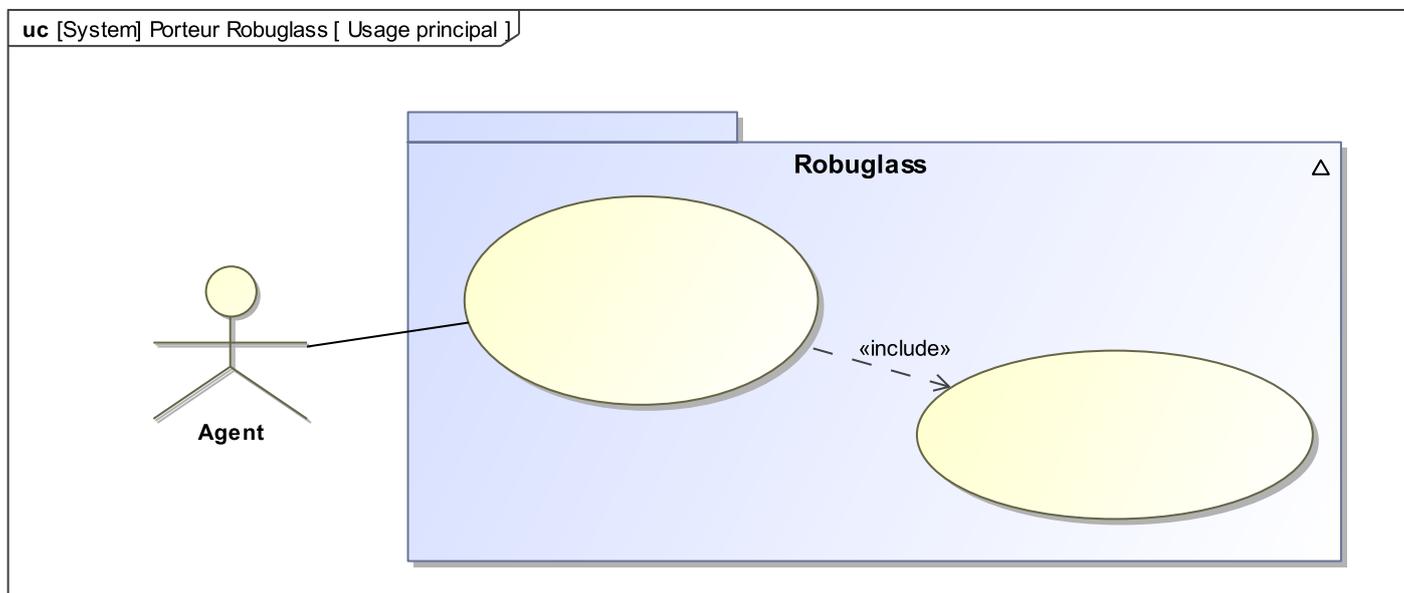


5 Document réponse

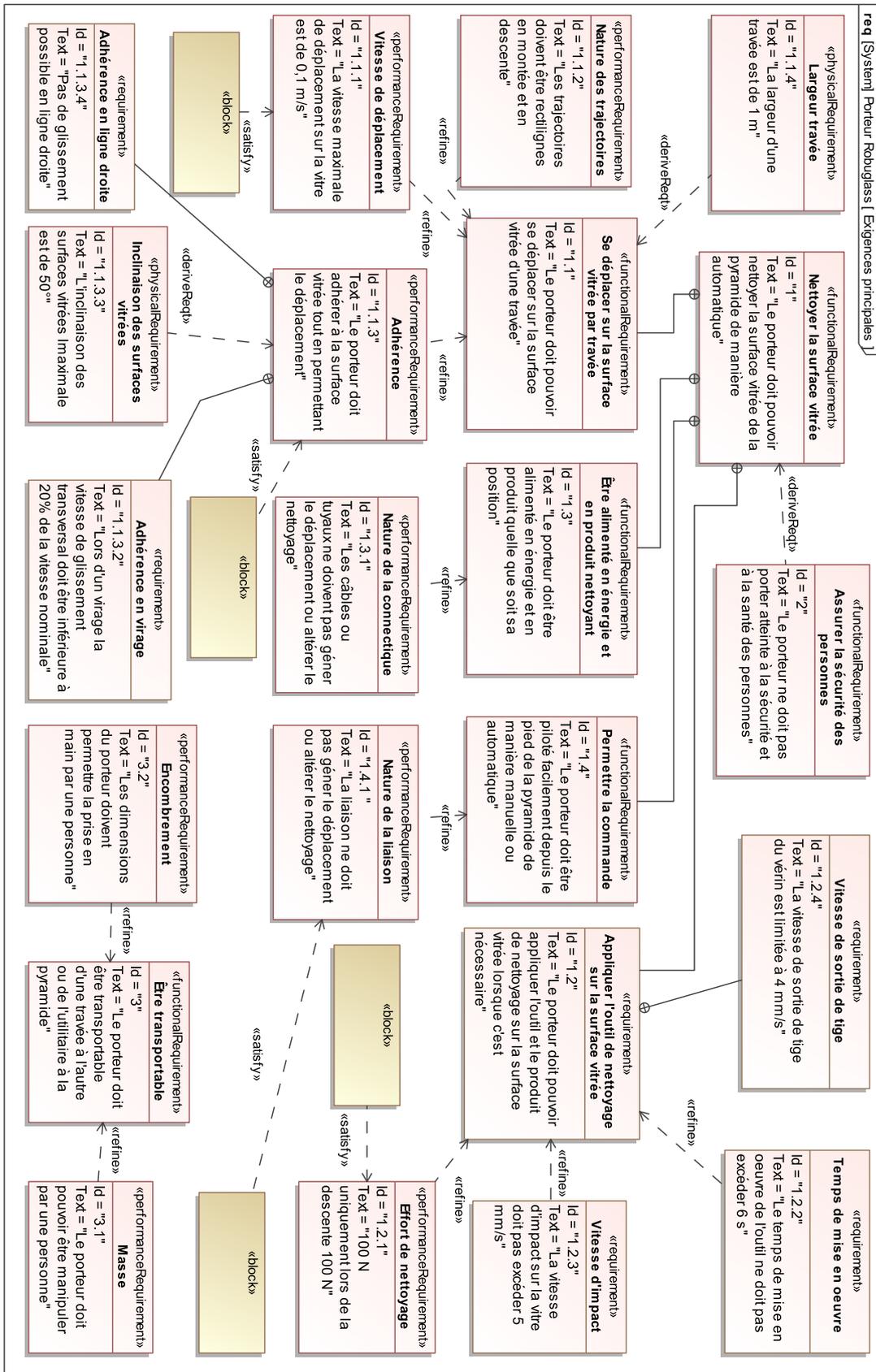
Q-1 diagramme de contexte (bdd) du porteur Robuglass



Q-2 diagramme de cas d'utilisation (uc) du porteur Robuglass



Q-3 diagramme d'exigence (req) du porteur Robuglass



Q-4 diagramme de blocs internes (ibd) du porteur Robuglass

