

Durée : 3h

Devoir 1 - SYSTÈME DE COFFRE MOTORISÉ

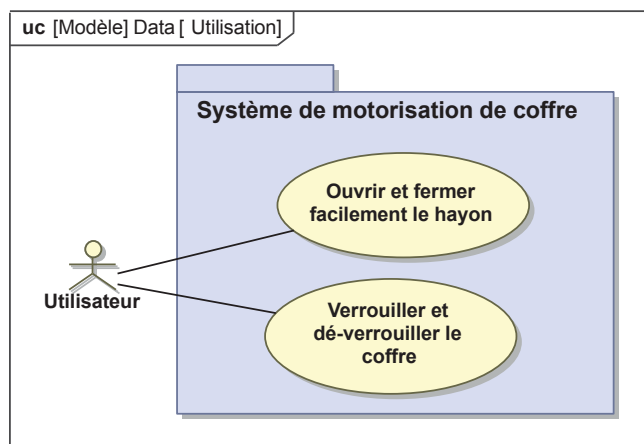
Centrale TSI 2007

Corrigé page 16

A. Présentation générale

A.1. Mise en situation

Depuis 2005, un coffre motorisé est proposé en option sur l'Audi A6 (photographie 1). Ce système développé par la société Valéo a été récompensé en 2002 par le prix de l'innovation électronique automobile EPCOS/SIA dans la catégorie « Vie à bord, confort, habitacle ».



La motorisation du hayon permet l'ouverture ou la fermeture automatique du coffre. L'ouverture s'effectue soit à l'aide de la télécommande, soit par action sur une touche située à proximité du conducteur, soit par action sur une touche située sur la poignée du hayon. La fermeture s'effectue par action sur une touche située sur la face interne du hayon. L'utilisateur a la possibilité de programmer l'angle d'ouverture du hayon pour éviter par exemple qu'il ne heurte le plafond du garage. L'utilisateur conserve naturellement la possibilité de manoeuvrer manuellement le hayon. Ce système dispose également de détecteurs d'obstacles. En position fermée, le système doit assurer le blocage du hayon avec la caisse du véhicule.

Une modélisation partielle de la phase d'utilisation est donnée par le cahier des charges de la figure 1.1.

Les différentes parties de ce sujet ont pour objectifs :

- d'analyser la structure du système ;
- de valider l'exigence 2.1 ;
- de valider en partie l'exigence 1.

B. PRÉSENTATION ET ANALYSE DU SYSTÈME

Le schéma d'implantation du système est décrit sur la figure 1.2. Ce système se compose :

- de deux unités électromécaniques (une sur chaque face latérale du hayon) permettant de manoeuvrer électriquement le hayon et renseignant les contrôleurs sur la position du hayon et sur la présence éventuelle d'obstacles ;

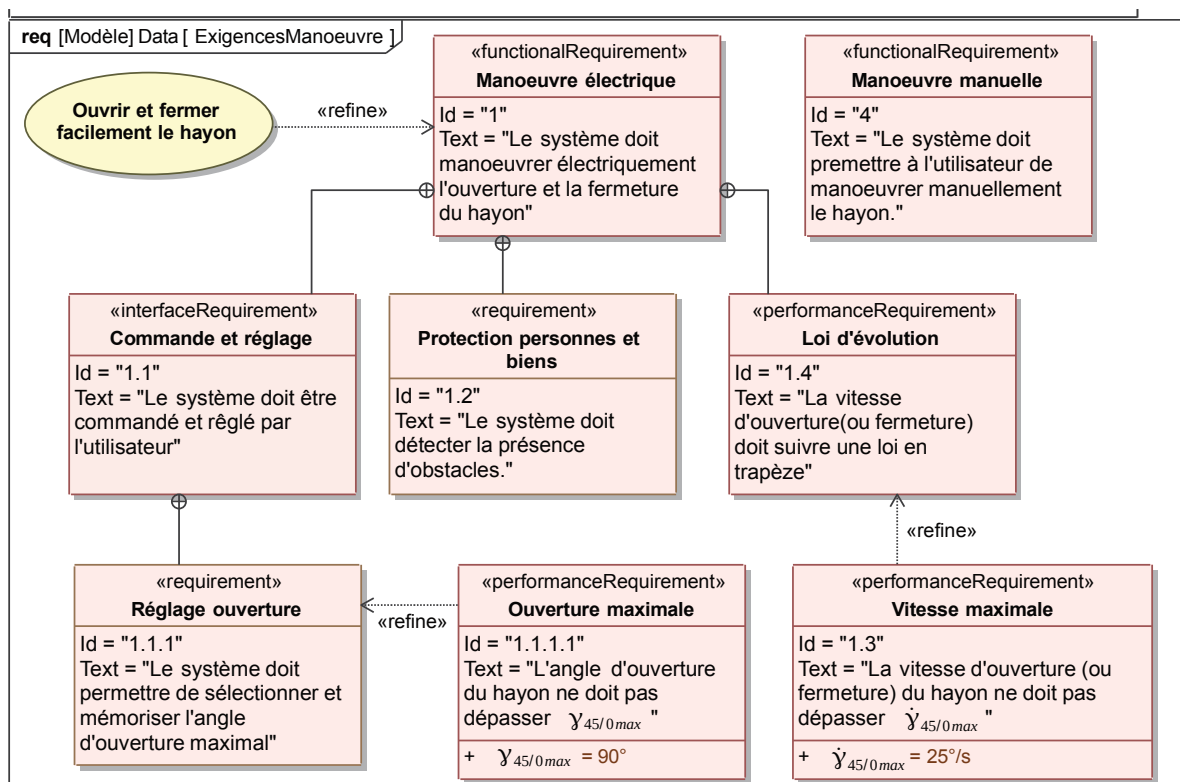
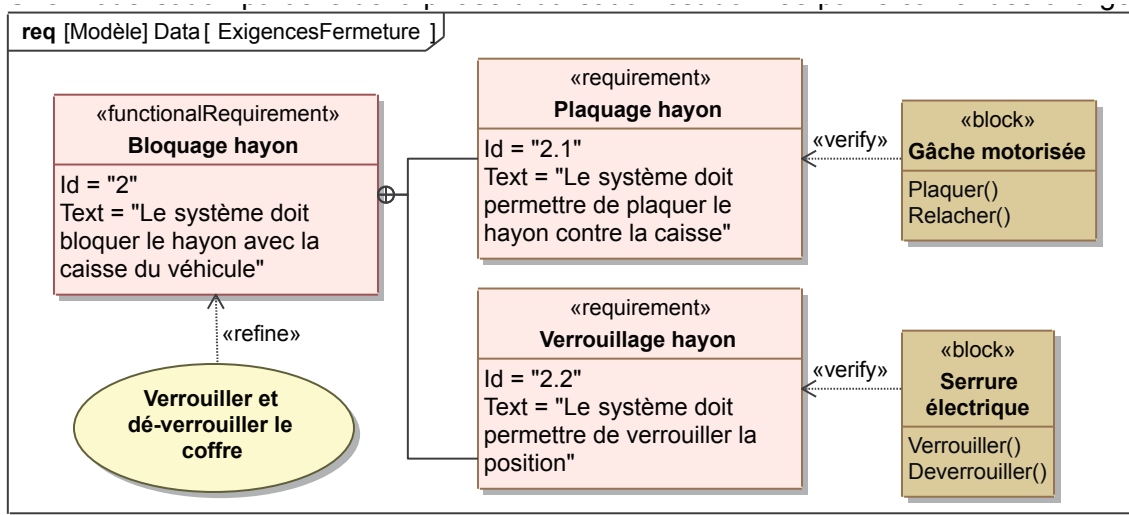


FIGURE 1.1 – Diagrammes d'exigences

- de deux contrôleurs (un par unité électromécanique) pilotant les moteurs électriques des unités en fonction des lois de commande en vitesse. Les deux contrôleurs sont reliés entre eux par un réseau LIN et seul le contrôleur maître communique avec le calculateur Gateway par le bus « confort » ;
- d'un calculateur Gateway gérant l'ensemble des composants (contrôleur maître, serrure électrique, gâche motorisée) du système de coffre motorisé en fonction des consignes de l'utilisateur et de la situation de la partie opérative ;
- d'une serrure électrique, solidaire du hayon, permettant en position fermée de verrouiller le hayon avec la gâche ;
- d'une gâche motorisée, solidaire de la caisse du véhicule, permettant en position fermée de plaquer le hayon contre la caisse en tirant la serrure.

Une description de la structure incomplète est proposée ci-après sous forme de diagramme de dé-

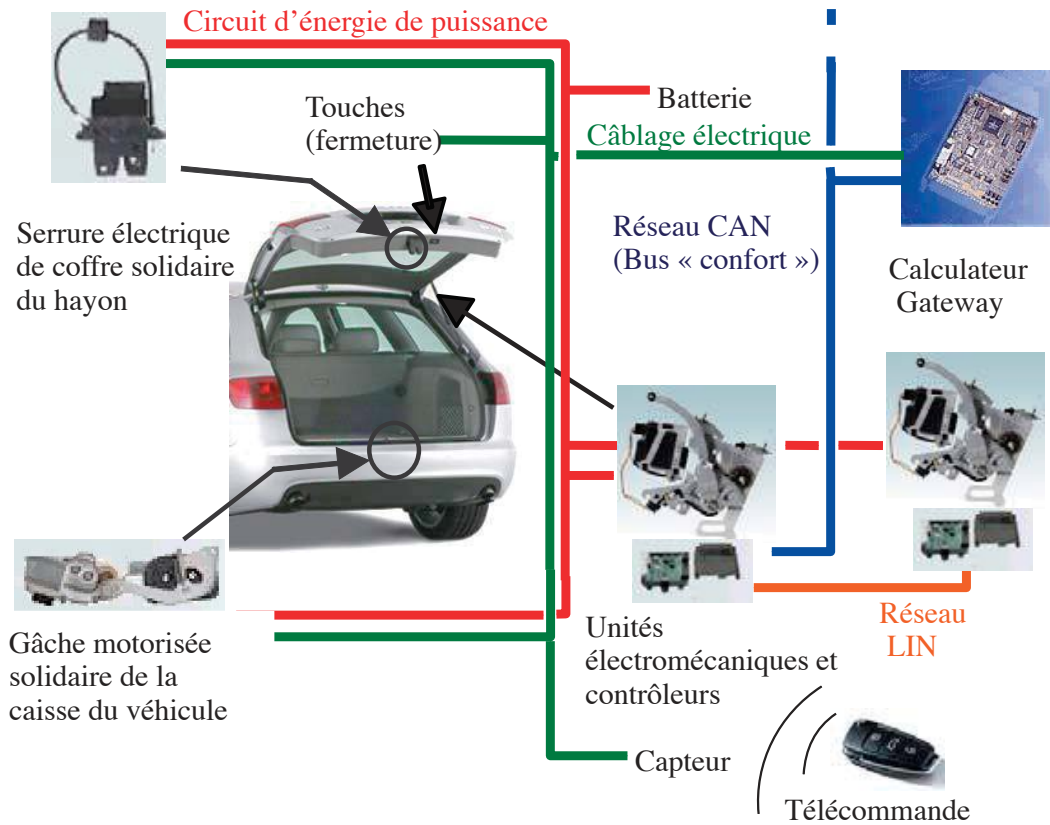


FIGURE 1.2 – Schéma d'implantation

finition de blocs –BDD– (figure 1.3) et de diagramme de blocs internes –IBD– (figure 1.4).

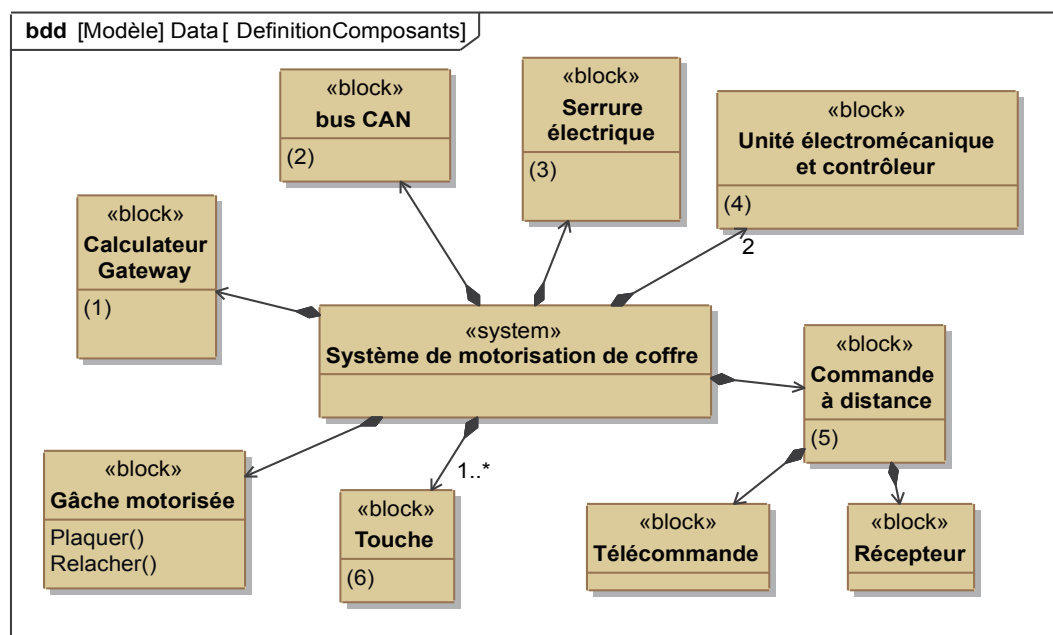


FIGURE 1.3 – Diagramme de définition des Blocs

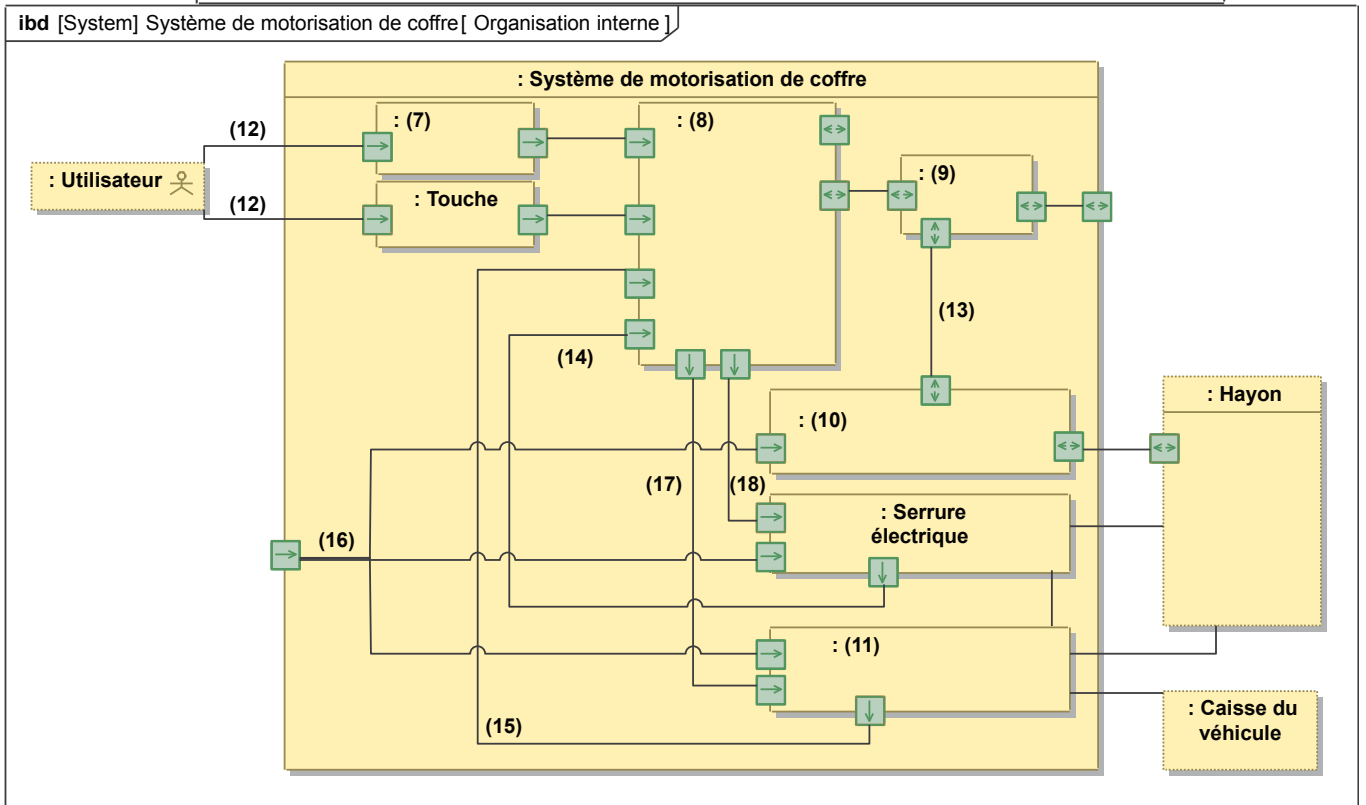


FIGURE 1.4 – diagramme de blocs internes

Q1. Compléter le tableau en faisant correspondre les indices (i) du BDD et de l'IBD aux intitulés.

Indices	Nom de bloc, opération de bloc (agir()) ou flux (nom :type)
	Consignes unités électromécaniques :information
	Traiter() Mémoriser()
	Énergie électrique :énergie
	Unité électromécanique et contrôleur [x2]
	Ordre serrure : information
	Calculateur Gateway
	Consigne de l'utilisateur : information
	Verrouiller() Déverrouiller()
	Bus CAN
	Position du hayon : information
	Gâche motorisée
	Acquérir()
	Ordre gâche
	Commande à distance
	Communiquer()
	Manœuvrer électriquement()
	État de la partie opérative serrure : information
	État de la partie opérative gâche : information

Q2. D'après cette description, combien recense-t-on de chaînes d'information ? De chaînes d'énergie ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

C. ÉTUDE DE L'EXIGENCE 2.1

Objectif : dimensionner le ressort utilisé pour le système de gâche motorisée en phase de fermeture du hayon.

Dès que la serrure électrique est verrouillée avec la gâche 6, le système de gâche motorisée (figure 1.5) tire la gâche 6 afin de plaquer le hayon contre la caisse en comprimant le joint périphérique d'étanchéité. Pour limiter la puissance du moteur électrique de la gâche motorisée, on ajoute un ressort d'assistance de raideur k (figure 1.6).

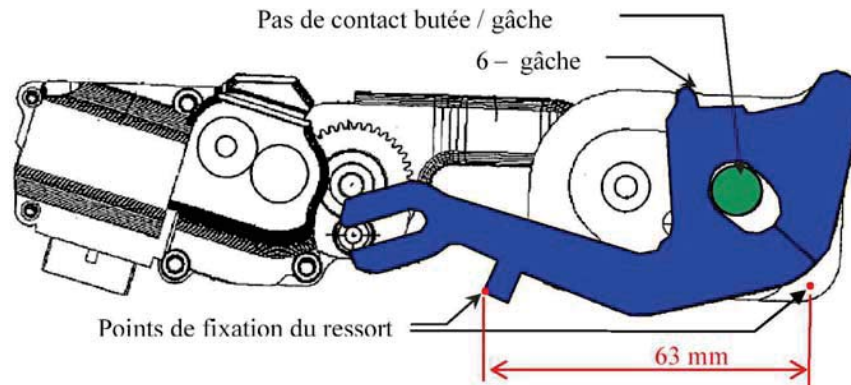


FIGURE 1.5 – Vue d'ensemble de la gâche motorisée en position tirée - ou coffre fermé - (document Valéo)

Hypothèses de calcul :

- La gâche 6 est en mouvement plan sur plan par rapport à la caisse 0 et tous les efforts appliqués sur 6 sont des glisseurs.
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites c'est-à-dire sans jeu ni de frottement
- Les actions mécaniques dues à la pesanteurs sont négligées par rapport aux autres actions mécaniques mises en œuvre.

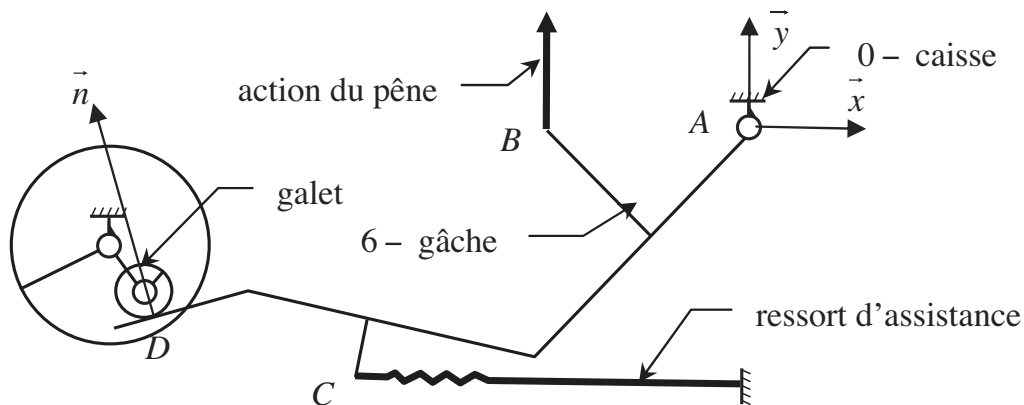


FIGURE 1.6 – Schéma cinématique du mécanisme

Données : $\vec{AB} = x_B \cdot \vec{x} + y_B \cdot \vec{y}$; $\vec{AC} = x_C \cdot \vec{x} + y_C \cdot \vec{y}$; $\vec{AD} = x_D \cdot \vec{x} + y_D \cdot \vec{y}$.

Les actions du pêne, du ressort et du galet s'écrivent respectivement :

$$\left\{ \mathcal{T}_{\text{pene} \rightarrow 6} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{pene} \rightarrow 6} = Y \cdot \vec{y} \\ \vec{M}_{B, \text{pene} \rightarrow 6} = \vec{0} \end{array} \right\}_B ; \left\{ \mathcal{T}_{\text{ressort} \rightarrow 6} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{ressort} \rightarrow 6} = X \cdot \vec{x} \\ \vec{M}_{C, \text{ressort} \rightarrow 6} = \vec{0} \end{array} \right\}_C ;$$

$$\text{Pour un fonctionnement sans ressort : } \left\{ \mathcal{T}_{\text{galet} \rightarrow 6} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{galet} \rightarrow 6} = F' \cdot \vec{n} \\ \vec{M}_{D, \text{galet} \rightarrow 6} = \vec{0} \end{array} \right\}_D$$

$$\text{Pour un fonctionnement avec ressort : } \left\{ \mathcal{T}_{\text{galet} \rightarrow 6} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{galet} \rightarrow 6} = F \cdot \vec{n} \\ \vec{M}_{D, \text{galet} \rightarrow 6} = \vec{0} \end{array} \right\}_D$$

où $\vec{n} = n_x \cdot \vec{x} + n_y \cdot \vec{y}$.

Q3. Tracer le graphe d'actions mécaniques du mécanisme limité aux solides {0-caisse, pêne, galet, 6-gâche} en prenant en compte les hypothèses données.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q4. Préciser les torseurs cinématiques et les torseurs d'actions mécaniques transmissibles en vous limitant aux liaisons avec la gâche 6, compléter le schéma par les autres actions.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

On note F' la norme de la résultante de l'action du galet sur la gâche 6 en l'absence de ressort.

Q5. Dans le cas d'un fonctionnement sans ressort, faire une étude de l'équilibre statique de 6 pour déterminer une relation donnant F' en fonction de Y et des dimensions du système. Quelle équation suffit-il d'écrire pour avoir directement la relation entre F' et Y ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q6. Dans le cas d'un fonctionnement avec un ressort, déterminer une relation entre F , Y , X et les dimensions du système.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q7. Calculer l'expression de l'effort exercé par le ressort d'assistance pour diminuer de 30% l'action exercée par le galet sur la gâche par rapport à la solution sans ressort.

.....

.....



.....

Q8. Faire l'application numérique pour $\vec{AB} = -30 \cdot \vec{x}$, $\vec{AC} = -68 \cdot \vec{x} - 40 \cdot \vec{y}$, $\vec{AD} = -92 \cdot \vec{x} - 28 \cdot \vec{y}$ (longueurs exprimées en mm) et $Y = 216 \text{ N}$

.....

Q9. En déduire la raideur du ressort d'assistance sachant que sa longueur à vide $l_0 = 45 \text{ mm}$.

.....

D. VALIDATION PARTIELLE DE L'EXIGENCE 1

L'objectif de cette partie est d'analyser les chaînes d'information et d'énergie qui permettent l'ouverture du hayon.

Une unité électromécanique est présentée sur la figure 1.7. Elle est constituée d'un moteur électrique relié par l'intermédiaire d'un embrayage à un réducteur à trains épicycloïdaux transmettant la vitesse de rotation adéquate au mécanisme de transformation de mouvement.

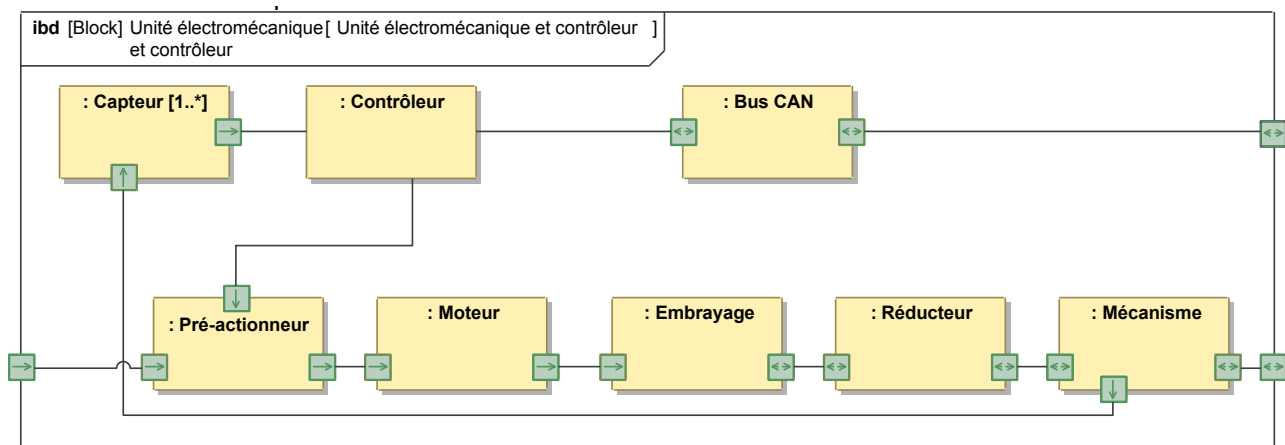


FIGURE 1.7 – Composants de l'unité électromécanique

Le schéma cinématique de l'unité électromécanique reliée au hayon et à la caisse du véhicule est présenté sur la figure 1.8.

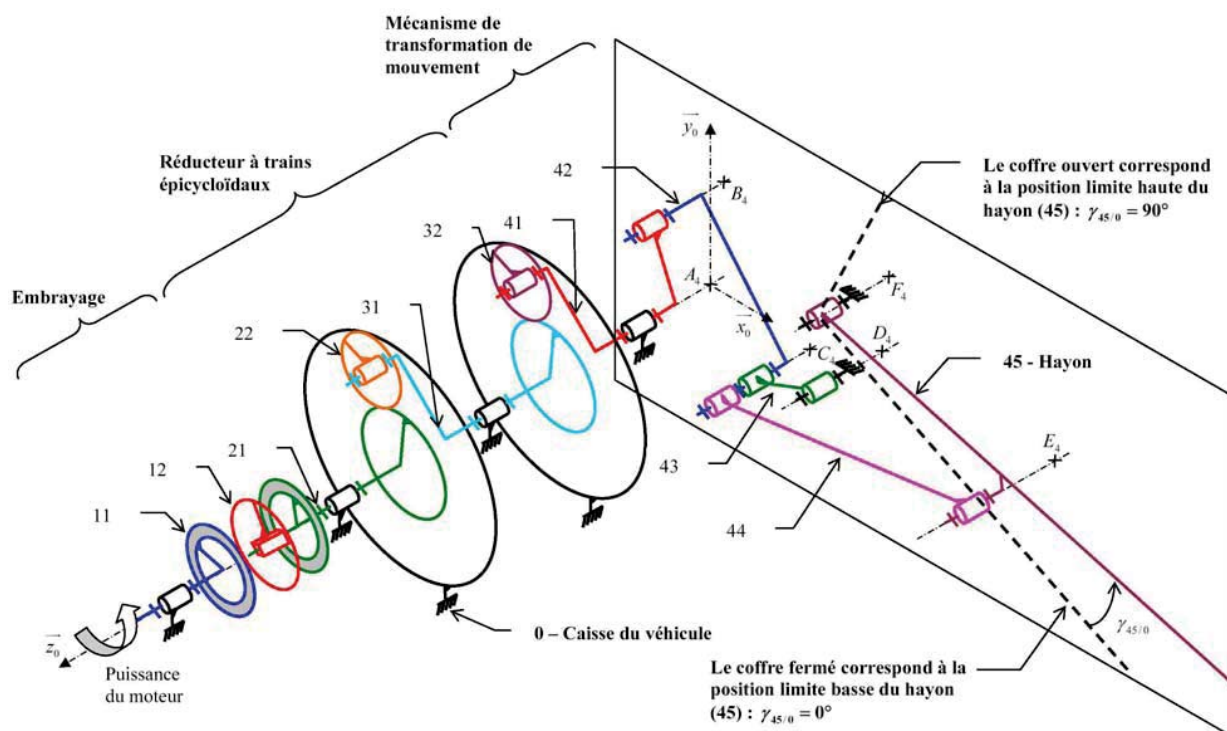


FIGURE 1.8 – Schéma cinématique de l'unité électromécanique

D.1. LOI D'ÉVOLUTION DE L'OUVERTURE

Objectif : Déterminer le délai total d'ouverture du hayon.

La figure 1.9 présente la loi d'évolution en trapèze de la vitesse d'ouverture du hayon imposée par le cahier des charges.

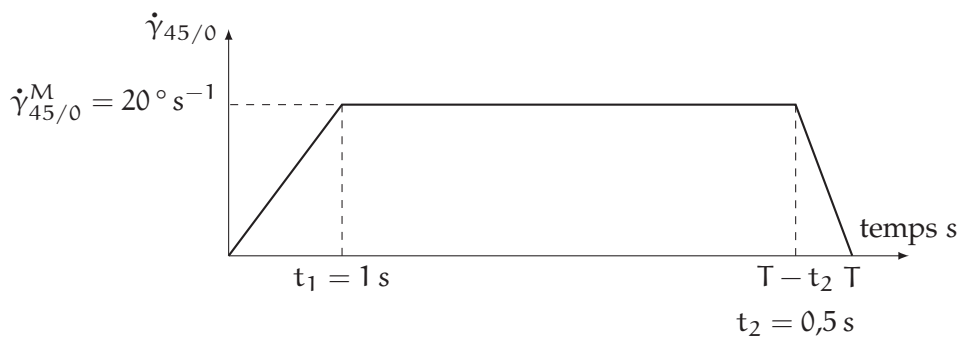


FIGURE 1.9 – Évolution de la vitesse d'ouverture du hayon

Q10. Tracer l'allure temporelle de la courbe représentative de $\gamma_{45/0}(t)$ sachant que $\gamma_{45/0}(0) = 0$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
Q11. Préciser les expressions analytiques de $\gamma_{45/0}(t_1)$, $\gamma_{45/0}(T - t_2)$, $\gamma_{45/0}(T)$ en fonction de t_1 , t_2 , T et $\dot{\gamma}_{45/0}^M = \dot{\gamma}_{45/0}^{\max}$.

.....

Q12. Calculer le délai d'ouverture T du hayon pour une ouverture $\gamma_{45/0}(T) = 90^\circ$

.....

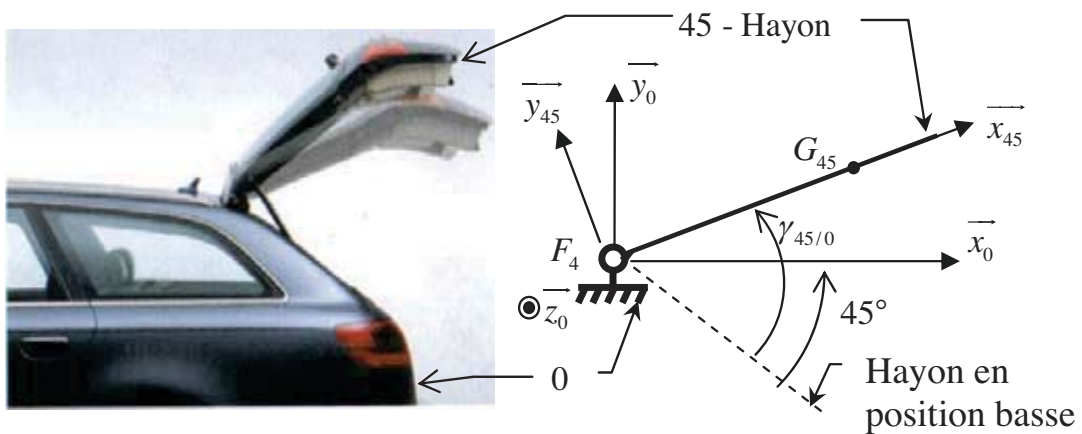


FIGURE 1.10 – Vue du hayon en position haute (extrait d’une brochure commerciale) et modèle cinématique du hayon.

D.2. LOI D’ENTRÉE-SORTIE GÉOMÉTRIQUE DU MÉCANISME DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENT

Le mécanisme de transformation de mouvement (figure 1.11) est constitué de deux systèmes à quatre barres.

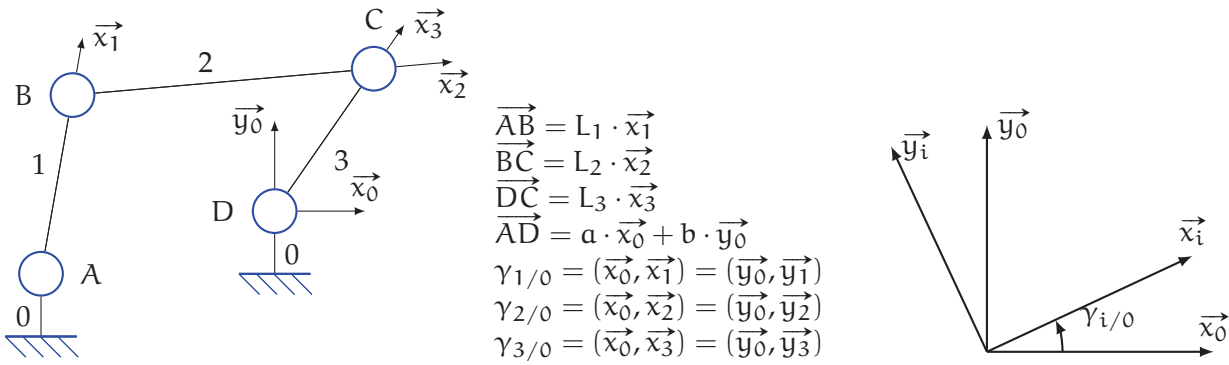


FIGURE 1.11 – Mécanisme à quatre barre

Q13. À partir d’une fermeture géométrique, écrire les équations scalaires qui modélisent géométriquement le mécanisme à quatre barres proposé figure 1.11 en utilisant les paramètres fournis.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

D.3. RAPPORT DES VITESSES DU RÉDUCTEUR À TRAINS ÉPICYCLOÏDAUX

Objectif : Déterminer le rapport des vitesses entre l’entrée et la sortie du réducteur.

Rappel :

La formule de Willis est rappelée ci-dessous :

$$\frac{\omega_{PlaS/PS}}{\omega_{PlaE/PS}} = \frac{\omega_{PlaS/PS/Bati} - \omega_{PS/Bati}}{\omega_{PlaE/Bati} - \omega_{PS/Bati}} = (-1)^p \frac{\prod Z_{menantes}}{\prod Z_{menees}} = \frac{1}{\lambda}$$

ou

$$\omega_{PlaE/Bati} - \lambda \cdot \omega_{PlaS/Bati} + (\lambda - 1) \cdot \omega_{PS/Bati} = 0$$

avec : PlaS = Planétaire de sortie; PlaE = Planétaire d’entrée; PS = Porte satellites;

Les deux étages du réducteur de la figure 1.12 sont identiques, et seul le premier train épicycloïdal est représenté et paramétré dans le plan (x_0, \vec{y}_0) de la figure 1.12. Les pignons 21 et 22 ont respectivement Z_{21} et Z_{22} dents.

Données :

- $\vec{AB} = (R_{21} + R_{22}) \cdot \vec{x}_{31}$; $\vec{AI} = R_{21} \cdot \vec{x}_{31}$; $\vec{IB} = \vec{B} \vec{J} = R_{22} \cdot \vec{x}_{31}$.
- $\vec{\Omega}_{21/0} = \omega_{21/0} \cdot \vec{z}_0$; $\vec{\Omega}_{31/0} = \omega_{31/0} \cdot \vec{z}_0$; $\vec{\Omega}_{22/31} = \omega_{22/31} \cdot \vec{z}_0$;
- On note Z_0 le nombre de dents de la couronne 0.



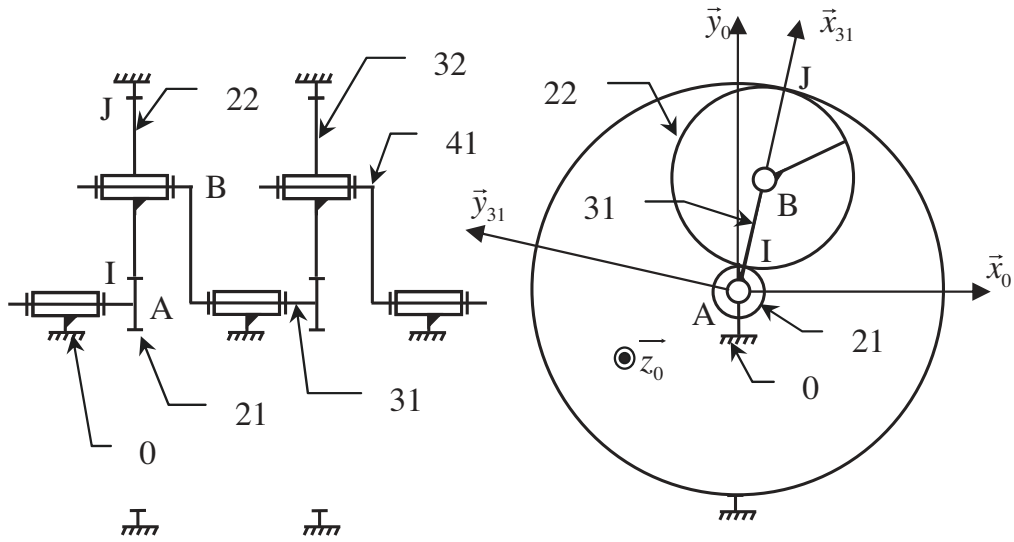


FIGURE 1.12 – Schéma technologique du réducteur

Q14. Déterminer le nombre de dents Z_0 de la couronne 0. Déterminer le rapport des vitesses du réducteur $r_1 = \frac{\omega_{31/0}}{\omega_{21/0}}$ en fonction de Z_{21} et Z_{22} .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q15. En déduire le rapport des vitesses du réducteur $r_2 = \frac{\omega_{41/0}}{\omega_{21/0}}$ en fonction de Z_{21} et Z_{22} .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q16. Faire l'application numérique pour $Z_{21} = 10$ et $Z_{22} = 90$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Cette dernière donnée permet d'avoir une connaissance complète de la chaîne mécanique : il est désormais possible de prévoir la variation angulaire en sortie du moteur pour une variation d'ouverture du hayon lorsque l'embrayage transmet toute l'énergie.

E. ÉTUDE DE L'ASSERVISSEMENT DE VITESSE

Deux moteurs à courant continu, placés de chaque côté, participent simultanément à l'action sur le hayon. Chacun des moteurs est géré par un module de commande (contrôleur) associé à une interface de communication. Le synoptique est représenté Figure 1.7.

Objectif : Valider la solution retenue pour la motorisation de l'ouvrant, dans le cadre d'une commande d'ouverture.

Critère : La vitesse de rotation du moteur permettant de respecter la vitesse d'ouverture du hayon imposée par le cahier des charges est $\omega = 115 \text{ rad s}^{-1}$.

Pour obtenir le comportement visé lors de l'ouverture du coffre (figure 1.13a), on modélise la loi de commande suivante au niveau de chaque moteur (figure 1.13b).

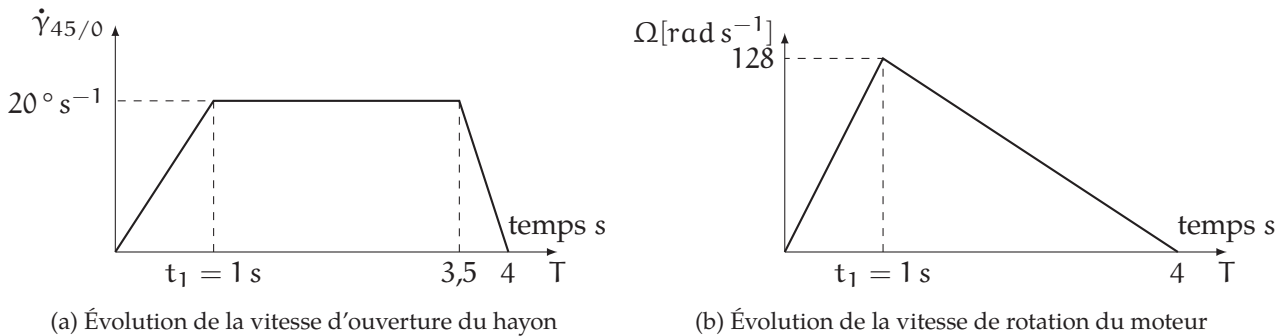


FIGURE 1.13 – Évolution des vitesses

E.1. IDENTIFICATION

Afin d'identifier le système, on a relevé la loi d'évolution de la vitesse dans les conditions suivantes :

- $t = 0 \text{ s}$, application d'un échelon de tension $U_m = 12 \text{ V}$, $C_r = 0 \text{ N m}$;
- $t = 0,1 \text{ s}$, application d'une perturbation $U_m = 12 \text{ V}$, $C_r = 0,2 \text{ N m}$.

Le tracé correspondant est décrit sur la figure 1.14.

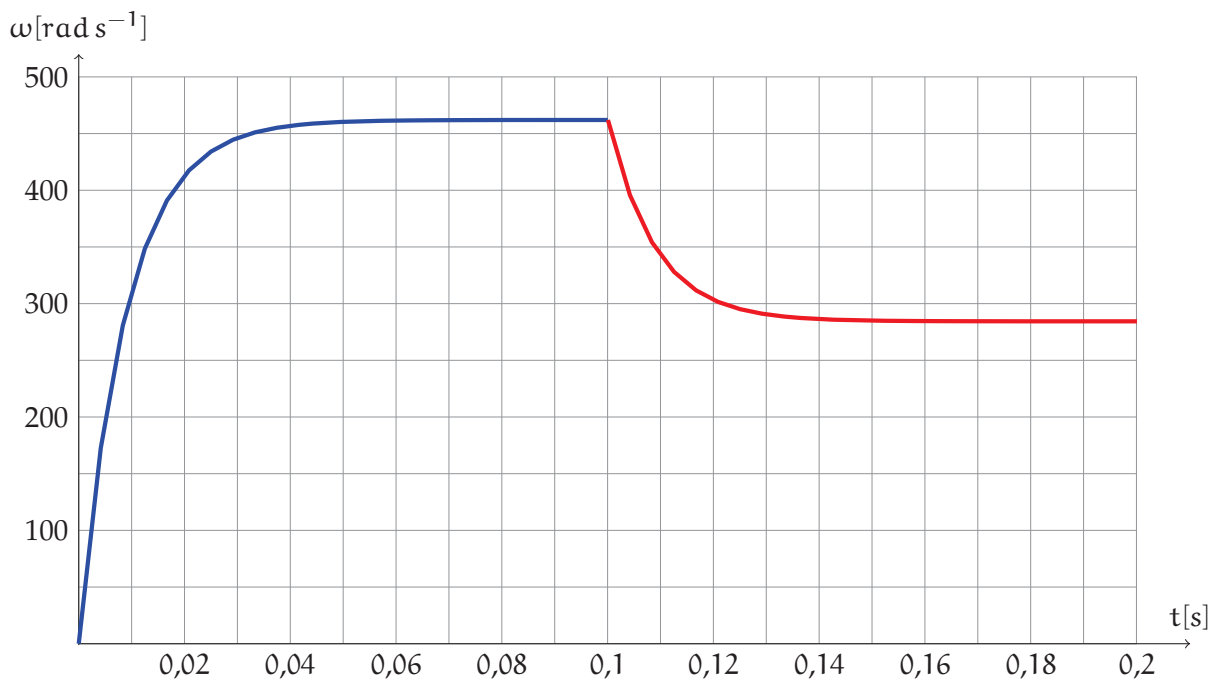
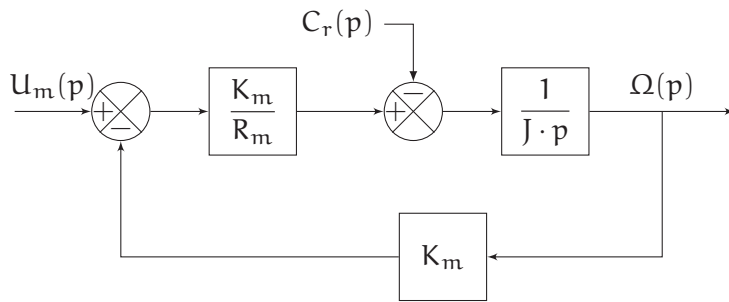


FIGURE 1.14 – Relevé de la vitesse moteur pour les conditions de l'essai

Remarque : Le délai d'attente avant d'appliquer la perturbation est suffisamment grand pour qu'on puisse considérer indépendamment les deux portions de réponse.

On veut montrer que le schéma-bloc de la figure 1.15 permet de modéliser le moteur en donnant une réponse conforme à l'allure du relevé expérimental (l'inductance du moteur est négligée). Soient les fonctions de transfert : $T_1(p) = \frac{\Omega(p)}{U_m(p)}$ et $T_2(p) = \frac{\Omega(p)}{C_r(p)}$.



(a) Schéma blocs

$K_m = 0,025 \text{ V}/(\text{rad/s})$
 $R_m = 0,5 \Omega$
 $J = 10 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$

(b) Données

FIGURE 1.15 – Modèle du moteur

Q17. À partir du schéma-bloc de la figure 1.15, déterminer les fonctions de transfert $T_1(p)$ et $T_2(p)$ sous forme canonique.

.....

Q18. Calculer les valeurs numériques des paramètres caractéristiques de $T_1(p)$.

.....

Dans la suite on prendra les fonctions de transfert suivantes :

$$T_1(p) = \frac{\Omega(p)}{U_m(p)} = \frac{38,5}{1 + 8,9 \times 10^{-3} \cdot p} = \frac{K_d}{1 + \tau \cdot p}; \text{ et } T_2(p) = \frac{\Omega(p)}{C_r(p)} = \frac{-888}{1 + 8,9 \times 10^{-3} \cdot p} = \frac{K_c}{1 + \tau \cdot p}.$$

Pour l'étude de la réponse temporelle, on prendra : $U_m(p) = \frac{12}{p}$ et $C_r(p) = \frac{0.2}{p} e^{-0,3 \cdot p}$.

Q19. Calculer la valeur finale de $\omega(t)$ en l'absence de perturbation.

.....

Q20. Calculer la valeur finale de $\omega(t)$ après l'apparition de la perturbation.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q21. Déterminer graphiquement (faire apparaître les tracés) à partir du relevé de la vitesse du moteur (figure 1.14), les différents paramètres K_d , τ et les deux valeurs finales.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q22. À partir des résultats précédents, conclure quant à la validité du modèle proposé.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

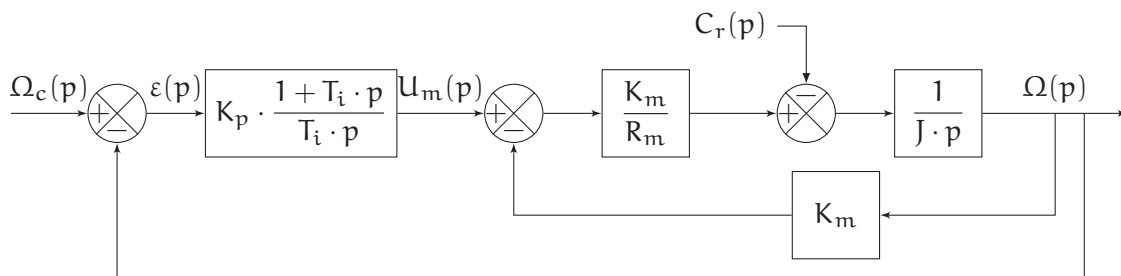
.....

.....

E.2. CORRECTION DU SYSTÈME

On souhaite que l'apparition d'un couple perturbateur ne provoque pas d'écart de vitesse afin de permettre aux deux moteurs de rester synchronisés en position.

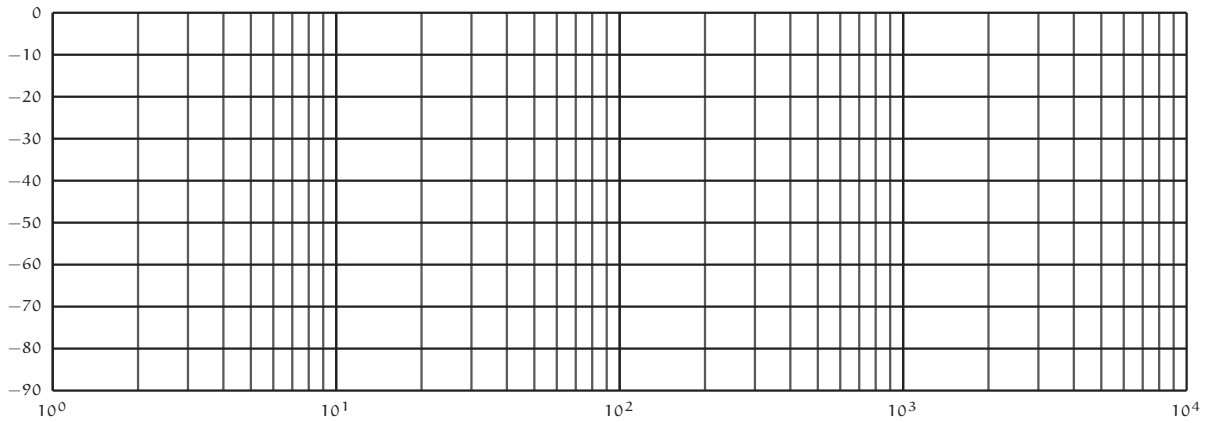
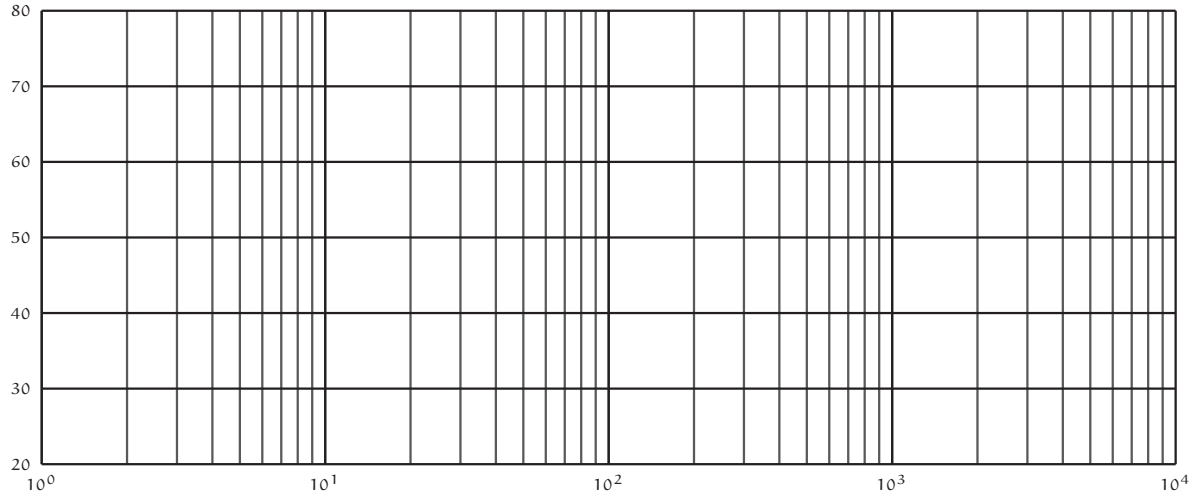
La solution retenue met en œuvre un correcteur Proportionnel et Intégral (P.I.).



Le correcteur est réglé avec les paramètres suivants : $K_p = 4 \cdot K_m$ et $T_i = \tau$

FIGURE 1.16 – Modèle du système avec correction

Q23. Tracer les diagrammes asymptotiques de Bode du correcteur.



Q24. Déterminer $BO(p) = \frac{\Omega(p)}{\varepsilon(p)}$ puis $T_3(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)}$ pour $C_r(p) = 0$. Mettre sous forme canonique.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Q25. Déterminer $T_4(p) = \frac{\Omega(p)}{C_r(p)}$ pour $\Omega_c(p) = 0$. Déterminer la valeur finale pour $C_r(p) = \frac{0.2}{p}$.
 Conclure sur l'intérêt du correcteur P.I.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....