

- Répondre directement (et uniquement) sur la feuille, ne pas dégrafer.
- Vous pouvez compléter vos réponses sur une feuille libre.

Classe :
 Nom :
 Prénom :

Ingénierie : PCSI

Devoir 1 - Fauteuil électrique Positélec *adapté de CCP PSI 2003*

Corrigé page 11

Présentation générale

Le système objet de l'étude est un fauteuil roulant électrique « POSITELEC 90 ». Afin de répondre au besoin d'autonomie des utilisateurs, les fauteuils roulants sont électriquement motorisés. Le diagramme de la figure 1 décrit le contexte du fauteuil. Le diagramme d'exigences (figure 2) et le diagramme de définition des blocs (figure 3) sont présentés dans les pages suivantes.

Q1. Pourquoi fait-on apparaître le « réseau EDF » dans le contexte ?

.....

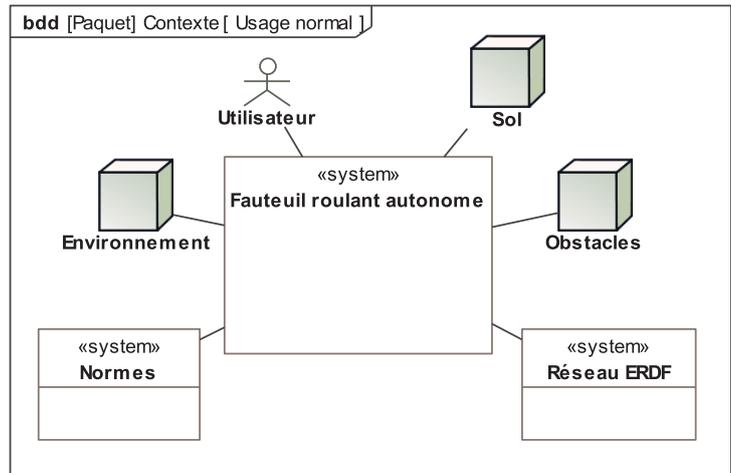


FIGURE 1 – Diagramme de contexte

.....

Q2. Le concepteur distingue le « sol » et les « obstacles », que classez-vous dans « obstacles » ? Quel contrainte cela va-t-il avoir sur le fauteuil ?

.....

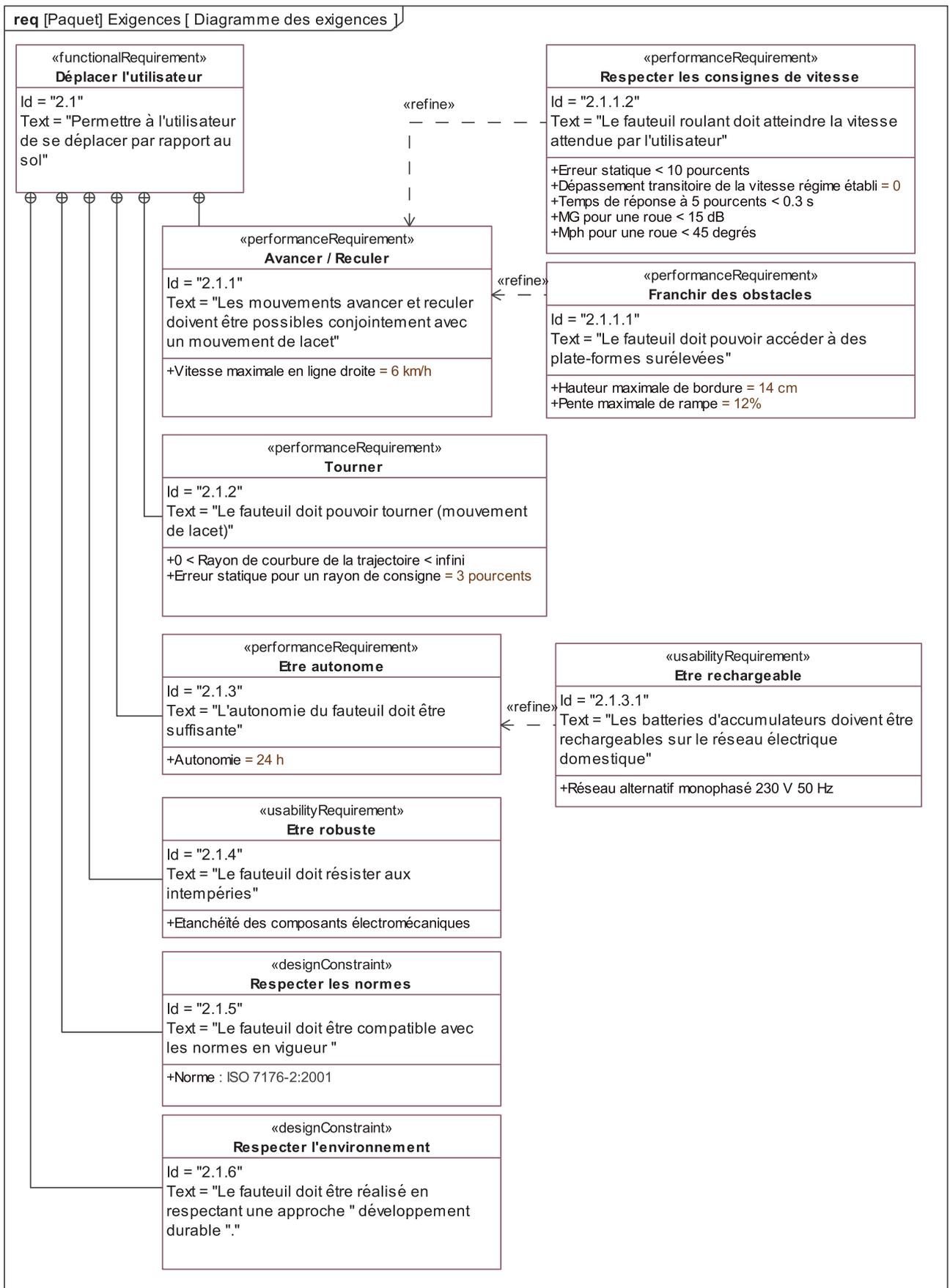


FIGURE 2 – Diagramme d'exigences

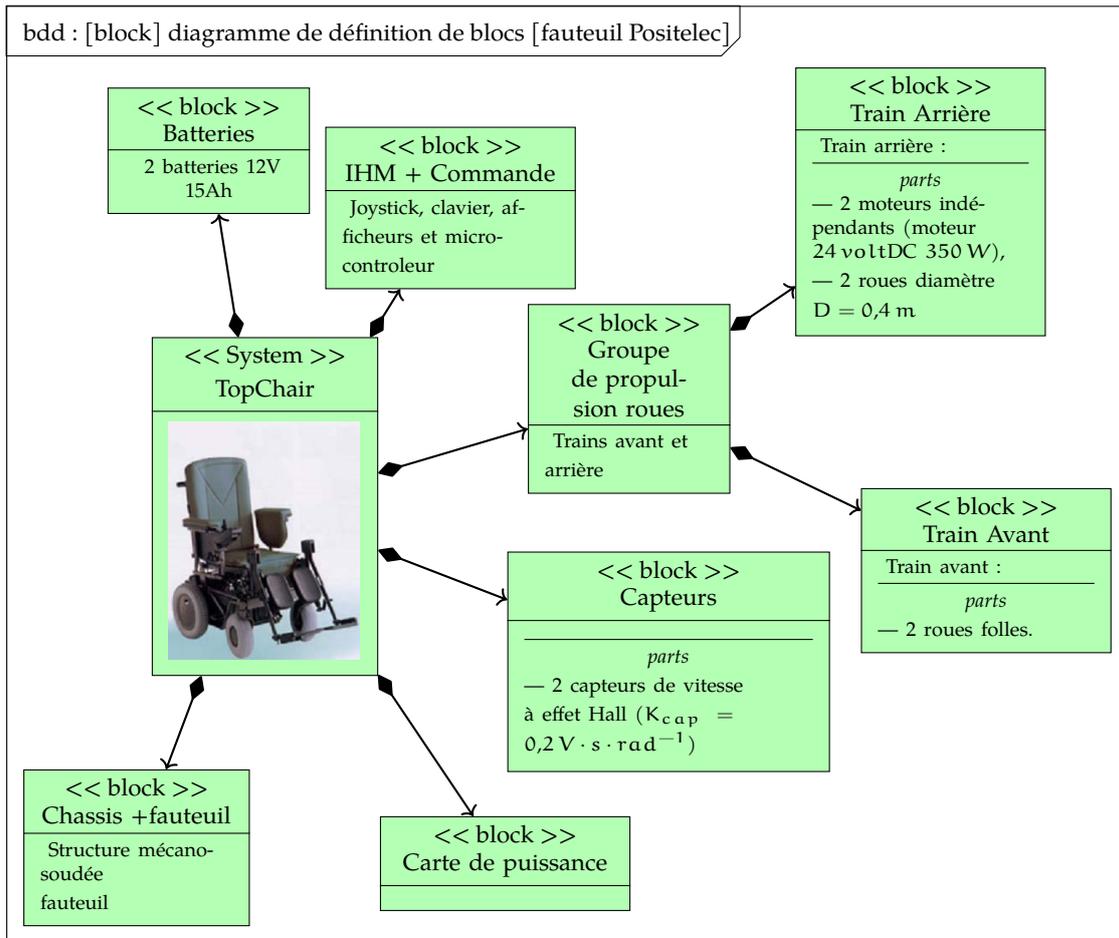


FIGURE 3 – Diagramme de définition de blocs du fauteuil Positelec

Q3. Préciser le service principal rendu par ce fauteuil. Compléter sur le diagramme des cas d'utilisation (figure 4). Le lien avec les deux autres services est-il plutôt un *extend* ou *include*, compléter le diagramme.

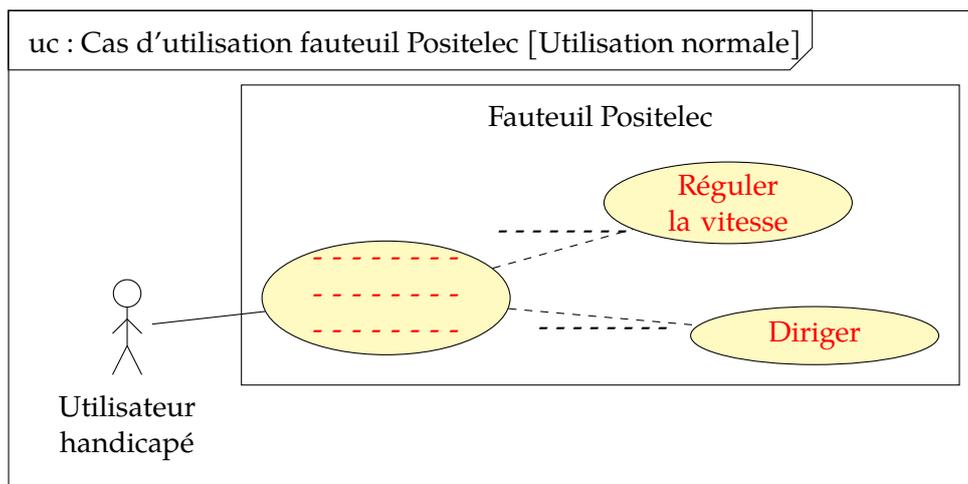
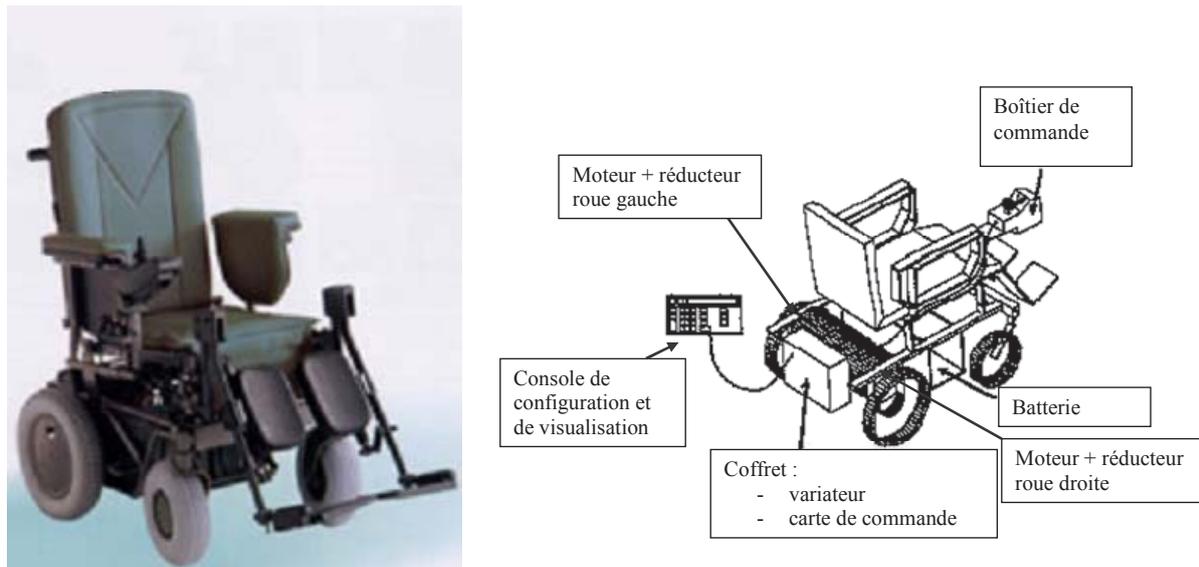


FIGURE 4 – Description du cas d'utilisation normale du fauteuil à compléter

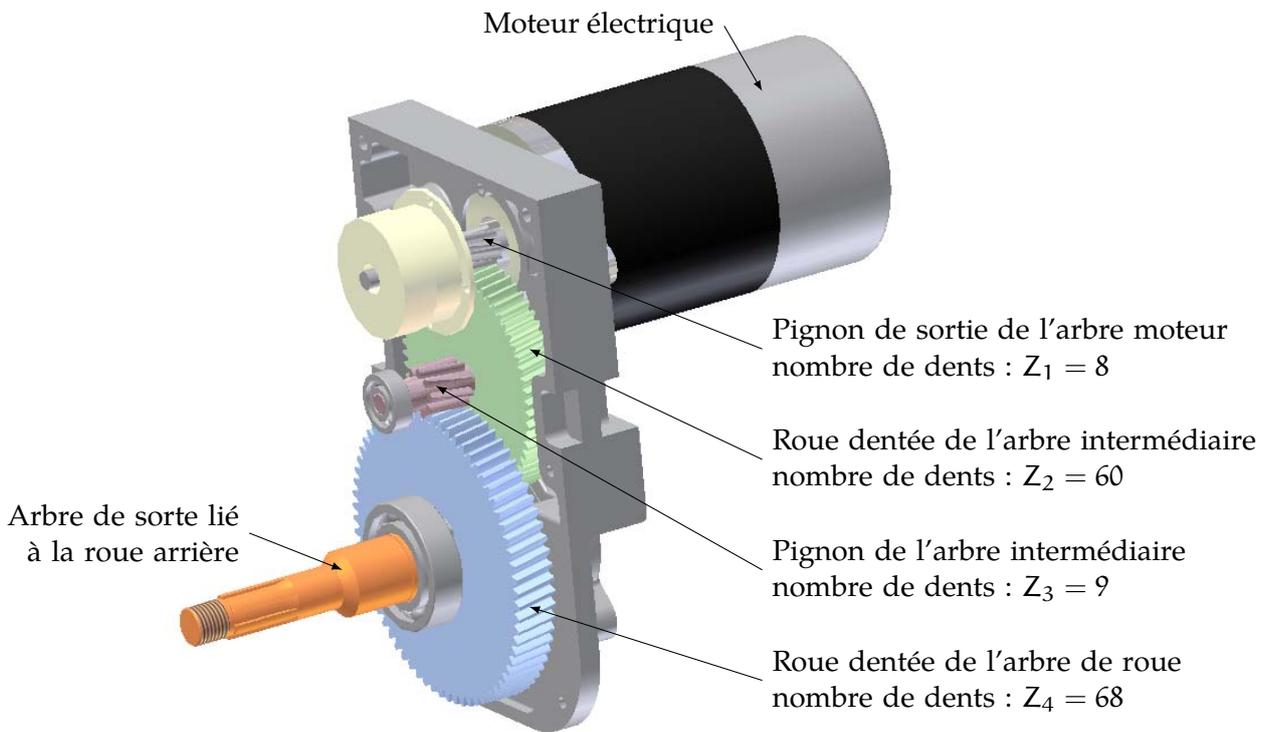
La motorisation est assurée par deux moteurs électriques à courant continu commandant séparément une des deux roues arrière afin de diriger le fauteuil. Les roues avant sont montées « folles » (libres dans leurs mouvements).

L'asservissement de la vitesse et la commande de puissance des moto réducteurs sont effectués par

une carte électronique appelée variateur. Les moto réducteurs sont équipés de freins électromécaniques à manque de courant, commandés en tout ou rien.



(a) Constituants principaux du fauteuil



(b) Motorisation du fauteuil

FIGURE 5 – Description du fauteuil et de la motorisation

Le boîtier de commande supporte cinq éléments nécessaires à la conduite :

- un bouton Marche-Arrêt,
- un joystick qui permet de se diriger,
- un potentiomètre qui sert à moduler la vitesse,
- un afficheur lumineux de type « bargraph » qui indique l'autonomie de la batterie,
- un afficheur de panne.

La carte de commande à microcontrôleur est chargée de la commande du variateur, de la gestion des

pannes, de la configuration et de l'aide au dépannage. Elle est disposée dans un coffret qui renferme aussi la partie puissance, près des moteurs, à l'arrière du fauteuil.

La configuration et l'aide au dépannage sont assurées par une mini console de visualisation. L'utilisateur doit venir le connecter à l'arrière du coffret variateur.

En fonctionnement normal, un moteur transmet par l'intermédiaire de deux étages de réduction la puissance à chacune des roues (figure 5b). Lorsque les moteurs ne sont pas alimentés, le fauteuil est par sécurité automatiquement freiné par le frein à manque de courant.

On note $\omega_m(t)$ la vitesse de rotation de l'arbre du moteur (Cf. figure 5b) et $\omega_R(t)$ la vitesse de rotation de l'arbre de roue. On note r le rapport de réduction.

$$r = \frac{\omega_R(t)}{\omega_m(t)} = \frac{3}{170}$$

On note R_0 le rayon de la roue

$$R_0 = 0,4 \text{ m}$$

Un capteur de vitesse à effet Hall mesure la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du moteur. Ce capteur délivre une tension proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur :

$$u_c(t) = K_{cap} \cdot \omega_m(t) \text{ avec } K_{cap} = 0,2 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Q4. Le respect de quelle exigence (figure 2) nécessite la présence d'un capteur de vitesse ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Q5. Que peut-on dire du choix des batteries et du moteur ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Q6. La vitesse maximale du fauteuil est $V_{max} = 6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, déterminer la vitesse de rotation des roues puis la vitesse de rotation de l'arbre moteur $\omega_m(t)$ en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ puis tour/min .

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Q7. Détailler le calcul qui permet d'obtenir le rapport de réduction $r = \frac{\omega_R(t)}{\omega_m(t)} = \frac{3}{170}$.

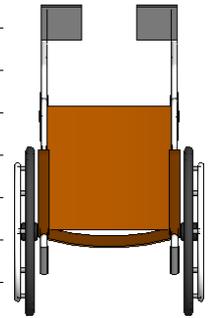
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....

Q8. Comment doivent-être les vitesses de roues droite et gauche, pour aller tout droit, tourner à droite, tourner à gauche ?

.....

Q9. Le moteur droit tourne à la vitesse $\omega_{mD}(t) = 2000 \text{ tr/min}$ et le moteur gauche à la vitesse $\omega_{mG} = 1500 \text{ tr/min}$, La distance entre les deux roues arrière est $d = 65 \text{ cm}$. Quelle est la trajectoire du fauteuil.



Q10. Pour le système fauteuil « POSITELEC 90 », compléter les chaînes d'énergie et d'information sur la figure 6.

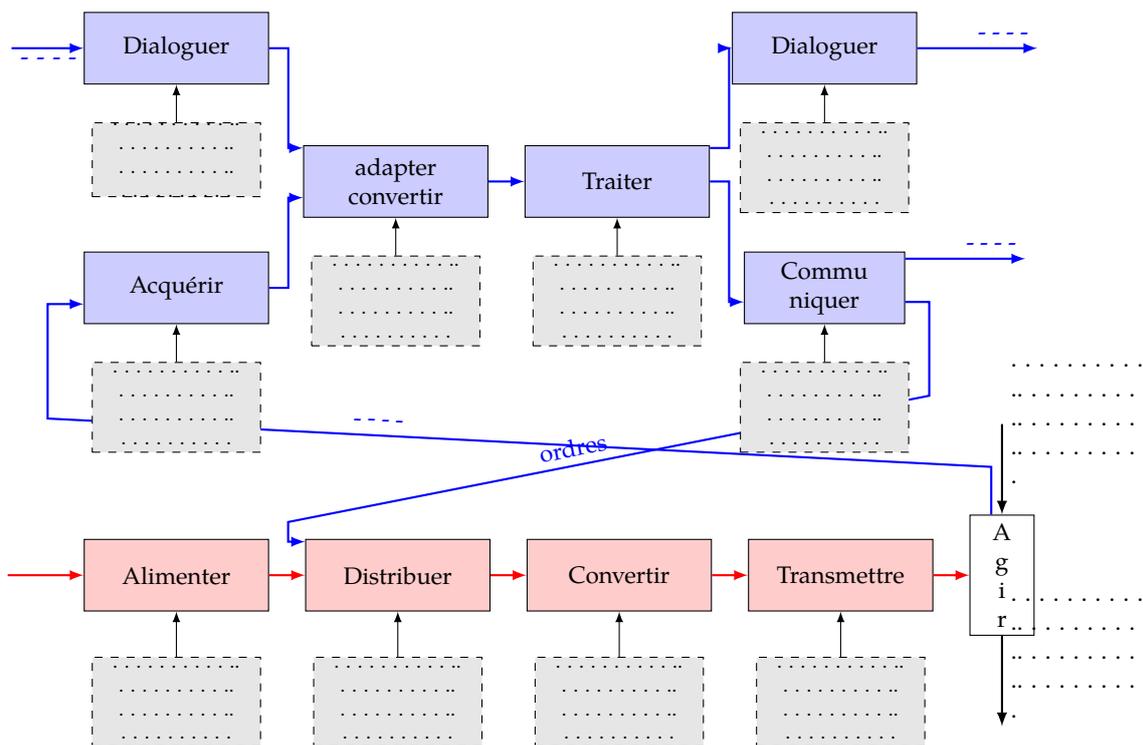


FIGURE 6 – Description des chaînes d'information et d'énergie

Dans une première version du fauteuil, le concepteur n'avait pas prévu d'asservissement de vitesse et souhaitait piloter directement le moteur avec une tension de commande $u(t)$.

On se propose donc de vérifier si cette solution est possible pour un fauteuil.

Le comportement du moteur est décrit par les équations suivantes :

— Le moteur est alimenté par la tension $u(t)$, on note R la résistance du moteur (en ohm) et $e(t)$ la force électromotrice :

$$u(t) = R \cdot i(t) + e(t)$$

— $e(t)$ dépend de la vitesse de rotation du moteur $\omega_m(t)$, on note K_e la constante de vitesse :

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t).$$

— Le couple moteur $c_m(t)$ dépend lui du courant $i(t)$, on note K_t la constante de couple :

$$c_m(t) = K_t \cdot i(t)$$

— La loi mécanique de comportement du moteur entraînant la roue s'écrit, on note J le moment d'inertie équivalent :

$$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t)$$

Q11. Écrire l'équation différentielle reliant $\omega_m(t)$ et $u(t)$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

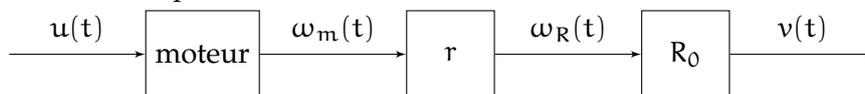
.....

.....

.....

.....

Le système peut-être décrit par le schéma fonctionnel suivant :



avec

- $u(t)$ la tension de commande du moteur ;
- $\omega_m(t)$ la vitesse de rotation du moteur en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
- $\omega_R(t)$ la vitesse de rotation de la roue en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
- $v(t)$ la vitesse de déplacement.

Q12. Écrire l'équation entre $v(t)$ et $u(t)$.

Mettre cette équation sous forme canonique : $\tau \cdot \frac{dv(t)}{dt} + v(t) = K \cdot u(t)$.

Préciser τ et K .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

On alimente le moteur avec une tension constante $u(t) = U_0$ et à l'instant initial ($t = 0$) $v(0) = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Q13. Justifier que $v(t) = K \cdot U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ est solution de l'équation différentielle de la question Q12.

.....

Compte-tenu de la fabrication en série des moteurs, ceux-ci ne sont pas nécessairement identiques. On peut ainsi se retrouver avec le cas extrême suivant.

— Moteur droit :

- $R = R_D = 0,18 \Omega$
- $J = 2 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- $K_t = K_{tD} = 0,1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$
- $K_e = K_{eD} = 0,1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$

— Moteur gauche :

- $R = R_G = 0,2 \Omega$
- $J = 2 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- $K_t = K_{tG} = 0,09 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$
- $K_e = K_{eG} = 0,09 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$

On alimente le moteur droit avec la tension maximale des batteries, on a donc $u(t) = U_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ avec $\mathcal{H}(t)$ la fonction de Heaviside et $U_0 = 24 \text{ V}$. L'allure de la vitesse $v(t)$ est représentée sur la figure 7.

Q14. Déterminer le temps de réponse à 5% et le gain $G = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} (\omega_m(t))}{U_0}$.

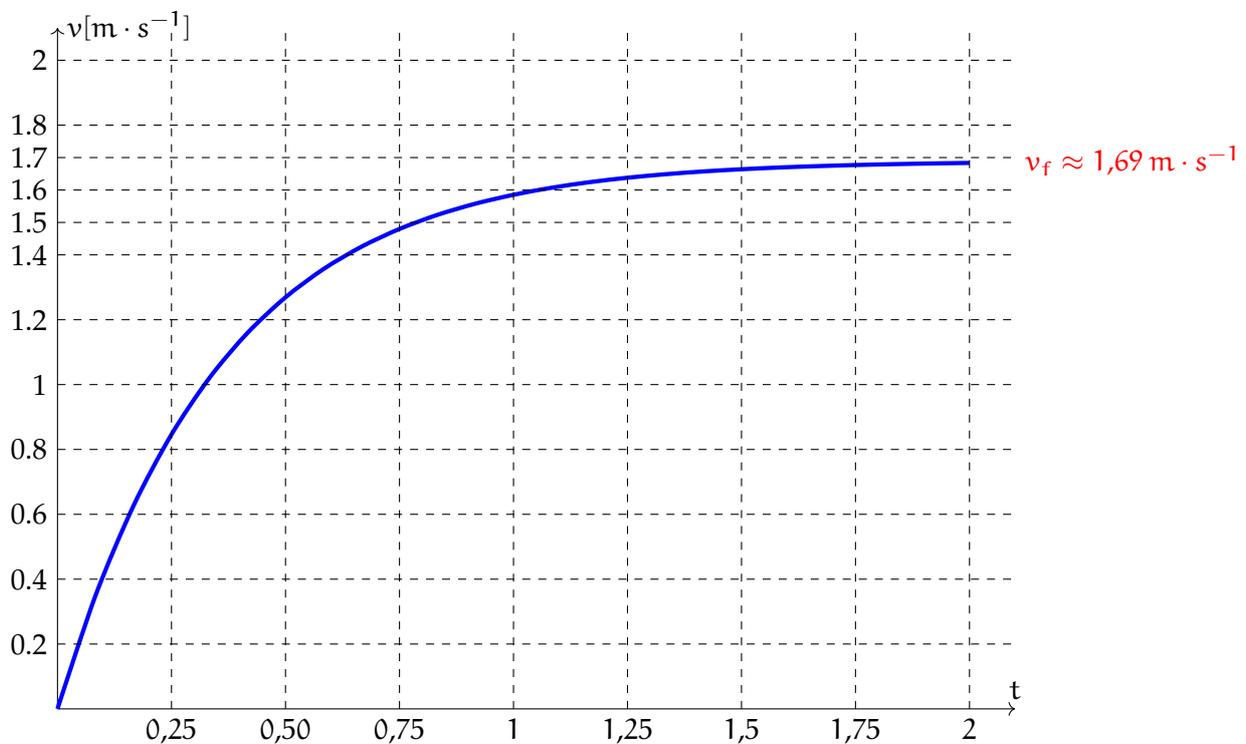


FIGURE 7 – Réponse temporelle du moteur droit pour $u(t) = U_0 = 24 \text{ V}$

On considère maintenant le moteur gauche.

Q15. Déterminer les valeurs τ et K pour le moteur gauche.

.....

.....

Q16. Tracer l'allure de $v(t)$ pour le moteur gauche, en précisant la valeur finale (en $m \cdot s^{-1}$) sur la figure 7. Vous préciserez sur cette courbe : la valeur finale, le temps de réponse à 5% et la valeur de la fonction pour $t = \tau$ et $t = 3 \cdot \tau$.

Q17. En l'absence d'asservissement, le chariot ira-t-il tout droit ?

Finalement le fabricant a choisit de réaliser un asservissement de vitesse.
 La structure de cet asservissement est décrite sur la figure 8 avec $v_c(t)$ la consigne de vitesse et $v(t)$ la vitesse du fauteuil.

Q18. Compléter sur le schéma de l'asservissement (figure 8) les éléments suivants : Régulateur, Capteur, Adaptateur.

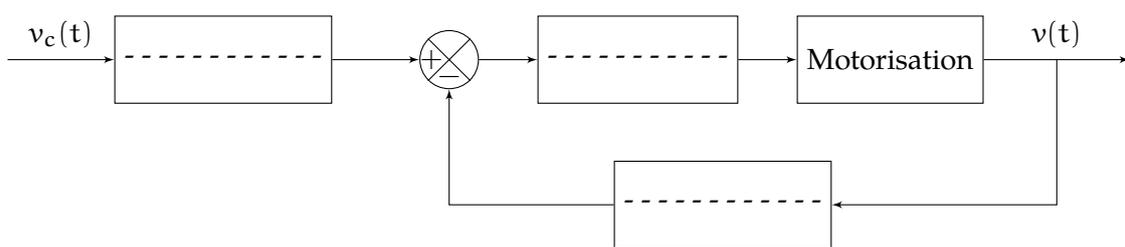


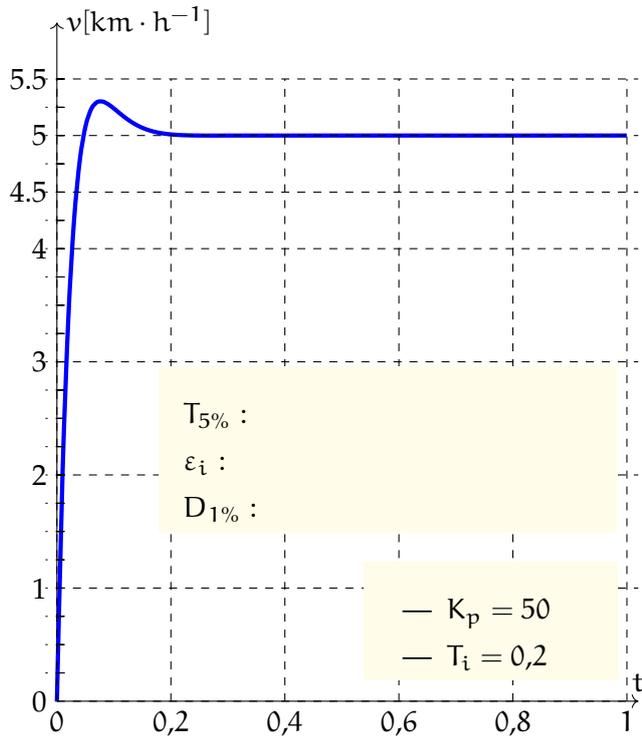
FIGURE 8 – Structure de l'asservissement de vitesse

Le régulateur possède deux paramètres de réglage du comportement de l'asservissement de vitesse K_p et T_i . Plusieurs essais de réglages ont été réalisées, ils sont regroupés sur la figure 9.

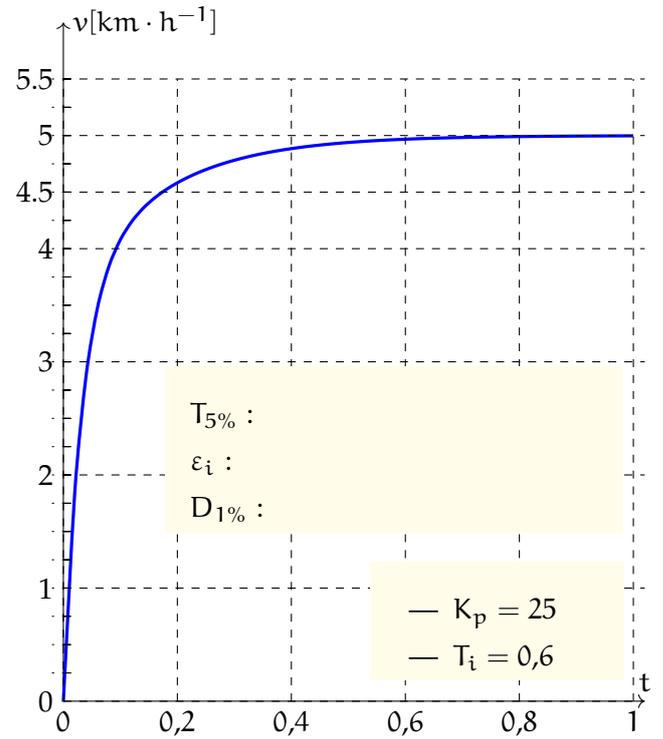
Q19. Pour chacun de ses essais, déterminer le temps de réponse à $T_{5\%}$, l'erreur indicielle et le premier dépassement relatif (s'il existe).

Q20. Quel (s) réglage(s) permet (tent) de respecter les exigences ?

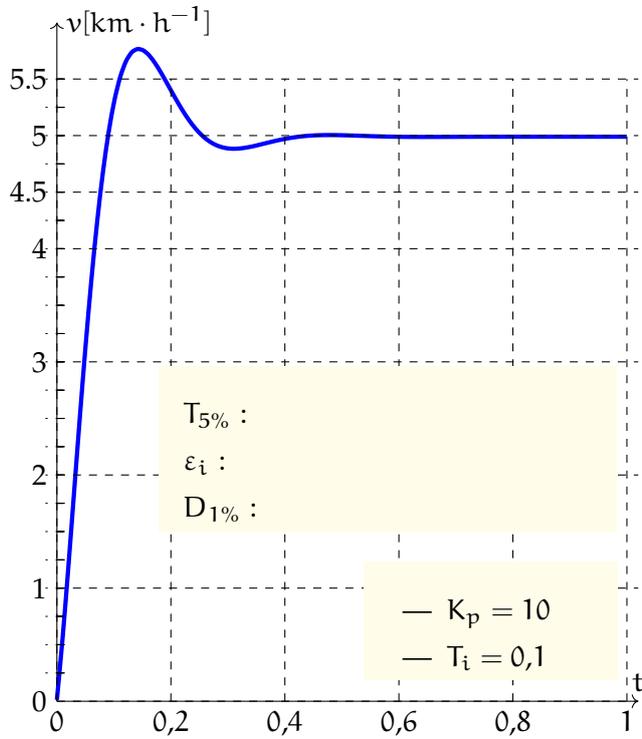
.....



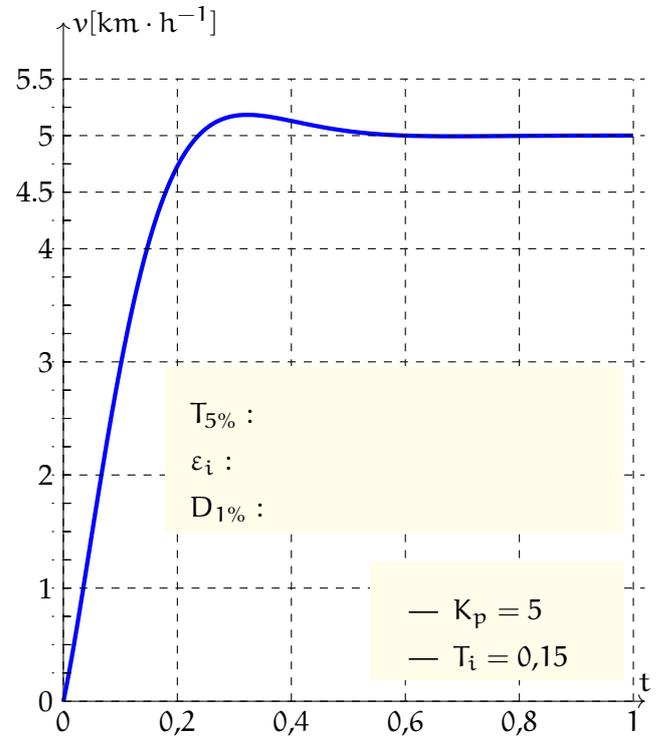
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURE 9 – Différents essais de réglage du régulateur