

### A. 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 0.1.1 décrit le contexte du fauteuil. Le diagramme d'exigences et le diagramme de définition des blocs sont présentés en annexes.

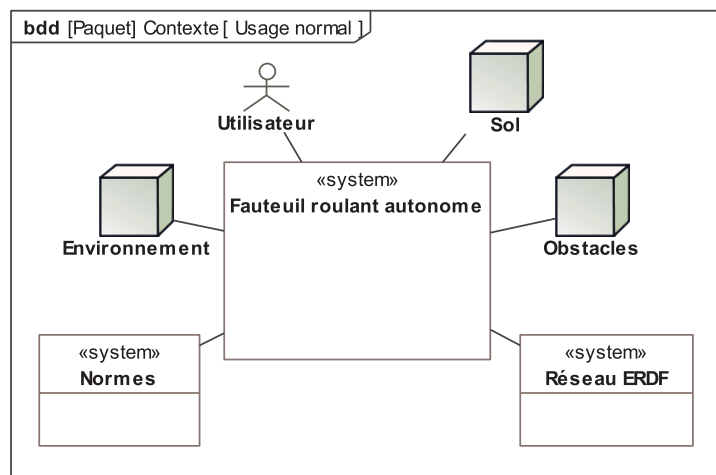


FIGURE 0.1.1 – Diagramme de contexte

**Q1.** Pourquoi fait-on apparaître le « réseau EDF » dans le contexte ? Le concepteur distingue le « sol » et les « obstacles », que classez-vous dans « obstacles » ? Quel contrainte cela va-t-il avoir sur le fauteuil ?

**Q2.** Préciser le service principal rendu par ce fauteuil. Compléter le diagramme des cas d'utilisation DR-1. Le lien avec les deux autres services est-il plutôt un *extend* ou *include*

La motricité 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.

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.

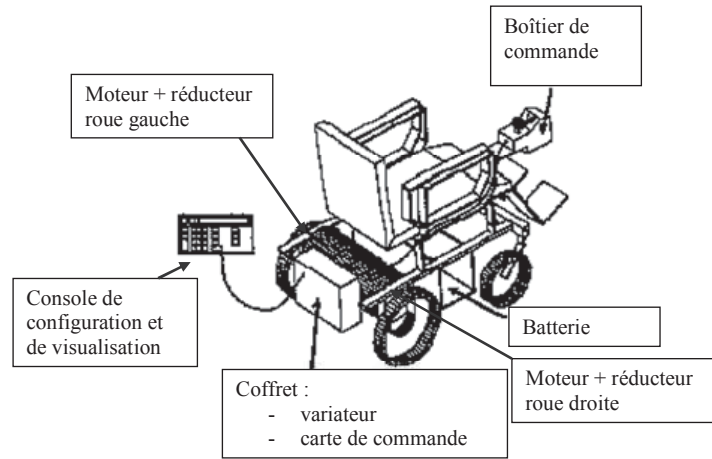


FIGURE 0.1.2 – fauteuil

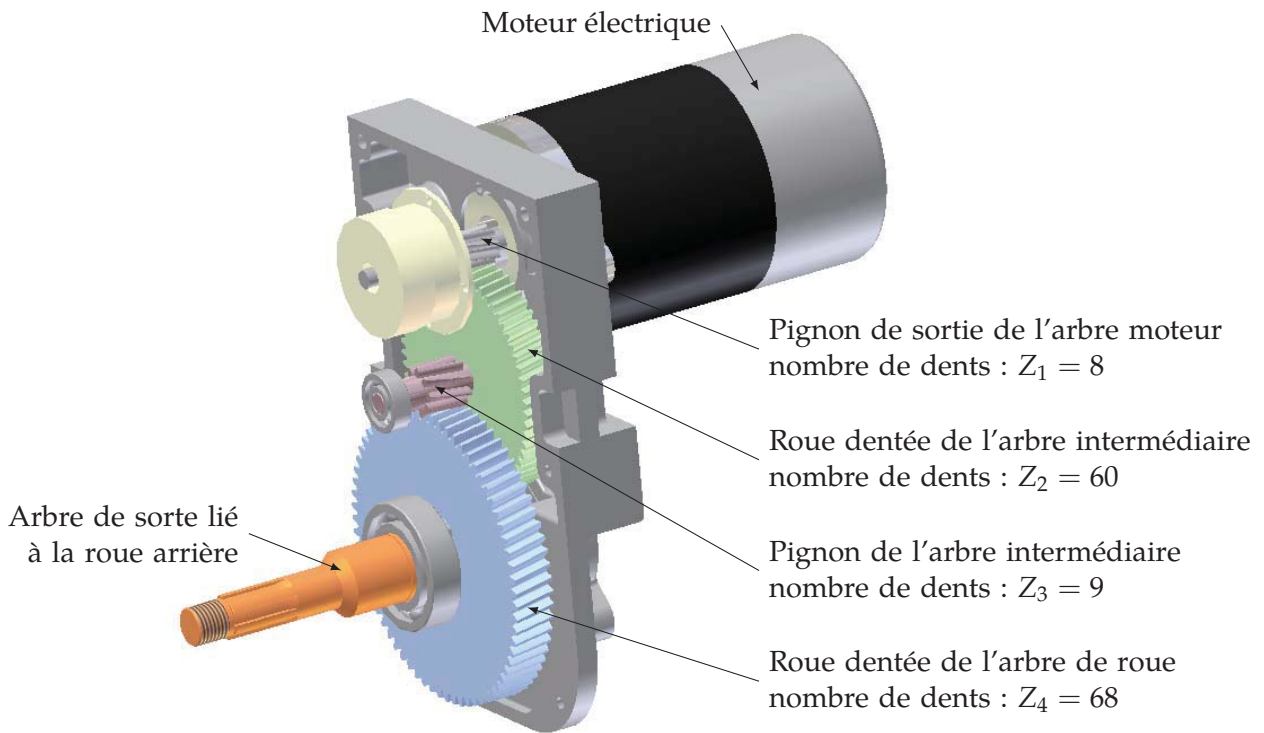


FIGURE 0.1.3 – Motorisation du fauteuil

En fonctionnement normal, un moteur transmet par l'intermédiaire de deux étages de réduction la puissance à chacune des roues (figure 0.1.3). 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 0.1.3) et  $\omega_R(t)$  la vitesse de rotation de l'arbre de roue. On note  $r$  le rapport de réduction

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

et  $R_0$  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 :

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

**Q3.** Le respect de quelle exigence nécessite la présence d'un capteur de vitesse ?

**Q4.** Que peut-on dire du choix des batteries et du moteur ?

**Q5.** La vitesse maximale du fauteuil est  $V_{max} = 6 \text{ km h}^{-1}$ , déterminer la vitesse de rotation des roues puis la vitesse de rotation de l'arbre moteur  $\omega_m(t)$  en  $\text{rad s}^{-1}$  puis  $\text{tour/min}$ .

**Q6.** Comment doivent-etre les vitesses de roues droite et gauche, pour aller tout droit, tourner à droite, tourner à gauche ?

**Q7.** Pour le système fauteuil « POSITELEC 90 », compléter les chaînes d'énergie et d'information sur le document réponse DR-2.

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

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

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

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

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

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

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

avec

—  $R = 0,18 \Omega$  ■

—  $J = 2 \times 10^{-2} \text{ kg m}^{-2}$

—  $K_t = 0,1 \text{ N m A}^{-1}$

—  $K_e = 0,1 \text{ V s rad}^{-1}$

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



avec

—  $U(p)$  la transformée de Laplace de la tension d'alimentation  $u(t)$  ;

—  $\Omega_m(p)$  la transformée de Laplace de  $\omega_m(t)$  ;

—  $\Omega_R(p)$  la transformée de Laplace de  $\omega_R(t)$  la vitesse de rotation de la roue en  $\text{rad s}^{-1}$  ;

—  $V(p)$  la transformée de Laplace de  $v(t)$  la vitesse de déplacement de la roue.

et  $I(p)$ ,  $E(p)$  et  $C_m(p)$  les transformées de Laplace respectivement de  $i(t)$ ,  $e(t)$  et  $c_m(t)$  en  $\text{m s}^{-1}$ .

Le système étant dans les conditions de Heaviside.

**Q8.** Écrire dans le domaine de Laplace les quatre équations du moteur à courant continu.

**Q9.** En déduire la fonction  $M(p)$  telle que  $\Omega_m(p) = M(p) \cdot U(p)$ . Faire l'application numérique.

**Q10.** Déterminer ensuite  $H(p)$  telle que  $V(p) = H(p) \cdot U(p)$ .

On alimente le moteur 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  $U_0 = 24 \text{ V}$ .

**Q11.** À partir du tableau des transformées, déterminer la transformée de  $u(t) = U_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ .

**Q12.** En déduire  $V(p)$ , sous forme littérale puis numérique.

Pour la suite, quel que soit votre résultat, on prend pour  $V(p)$  (déterminé pour  $U_0 = 24$ ) :

$$V(p) = \frac{0,0168}{(0,0036 \cdot p + 0,01) \cdot p}$$

**Q13.** À partir du tableau des transformées inverses en annexe A-1 déterminer  $v(t)$ .

**Q14.** Tracer l'allure de  $v(t)$ , en précisant la valeur finale (en  $\text{m s}^{-1}$ ). L'exigence de vitesse maximale est-elle respectée?

Sachant que deux moteurs ne sont jamais identiques et que la tolérance de réalisation est de 5% pour  $K_e$  et  $K_t$  avec toujours  $K_e = K_t$ .

**Remarque :** La valeur numérique 0,01 de la fonction  $V(p)$  correspond au produit  $K_e \cdot K_t$  dans le cas théorique et le numérateur à  $0,0168 = K_t \cdot 0,168$ .

**Q15.** Si on suppose que le moteur droit est réalisé avec les valeurs théoriques pour  $K_e$  et  $K_t$  et que le moteur gauche à le défaut de réalisation maximal (+5%). Quelle va être la trajectoire du fauteuil si on alimente les deux moteurs avec  $U_0 = 24 \text{ V}$ ?

**Q16.** Expliquer alors l'intérêt de réaliser un asservissement de vitesse.

## B. Annexes

### A-1. Transformées de Laplace usuelles

$f(t) \cdot \mathcal{H}(t)$	$F(p)$
Dirac : $\delta(t)$	1
$\delta(t - \tau)$	$e^{-\tau \cdot p}$
Heaviside : $\mathcal{H}(t)$	$\frac{1}{p}$
$a \cdot \mathcal{H}(t)$	$\frac{a}{p}$
$a \cdot \mathcal{H}(t - \tau)$	$\frac{a}{p} \cdot e^{-\tau \cdot p}$
$a \cdot t \cdot \mathcal{H}(t)$	$\frac{a}{p^2}$
$t^n \cdot \mathcal{H}(t)$	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
$e^{-a \cdot t} \cdot \mathcal{H}(t)$	$\frac{1}{p + a}$
$\frac{1 - e^{-a \cdot t}}{a} \cdot \mathcal{H}(t)$	$\frac{1}{p \cdot (p + a)}$

TABLE 0.1.3 – Transformées de Laplace usuelles

## A-2. Diagramme d'exigences

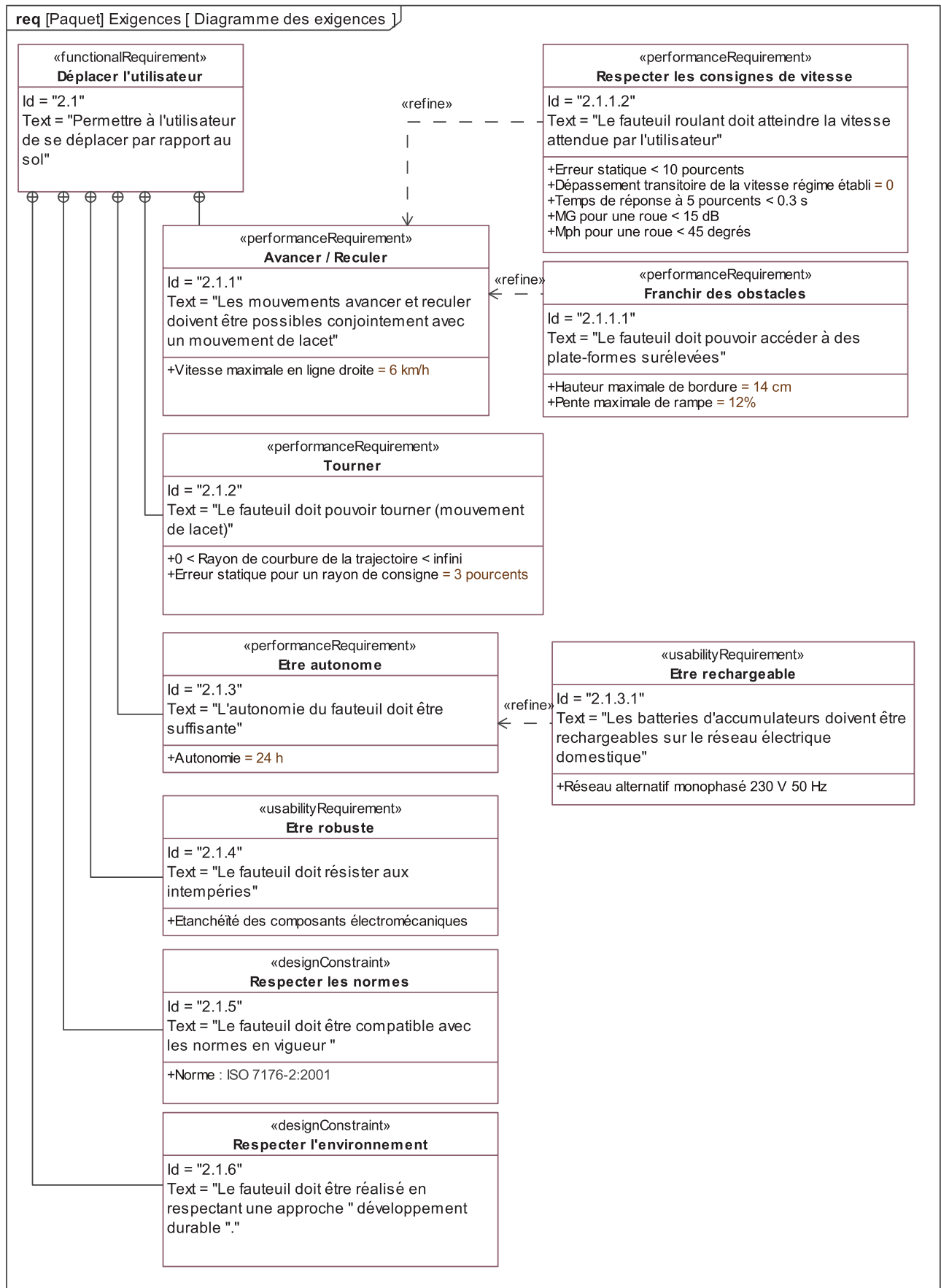


FIGURE 0.1.4 – Diagramme d'exigence

### A-3. Diagramme de définition de blocs

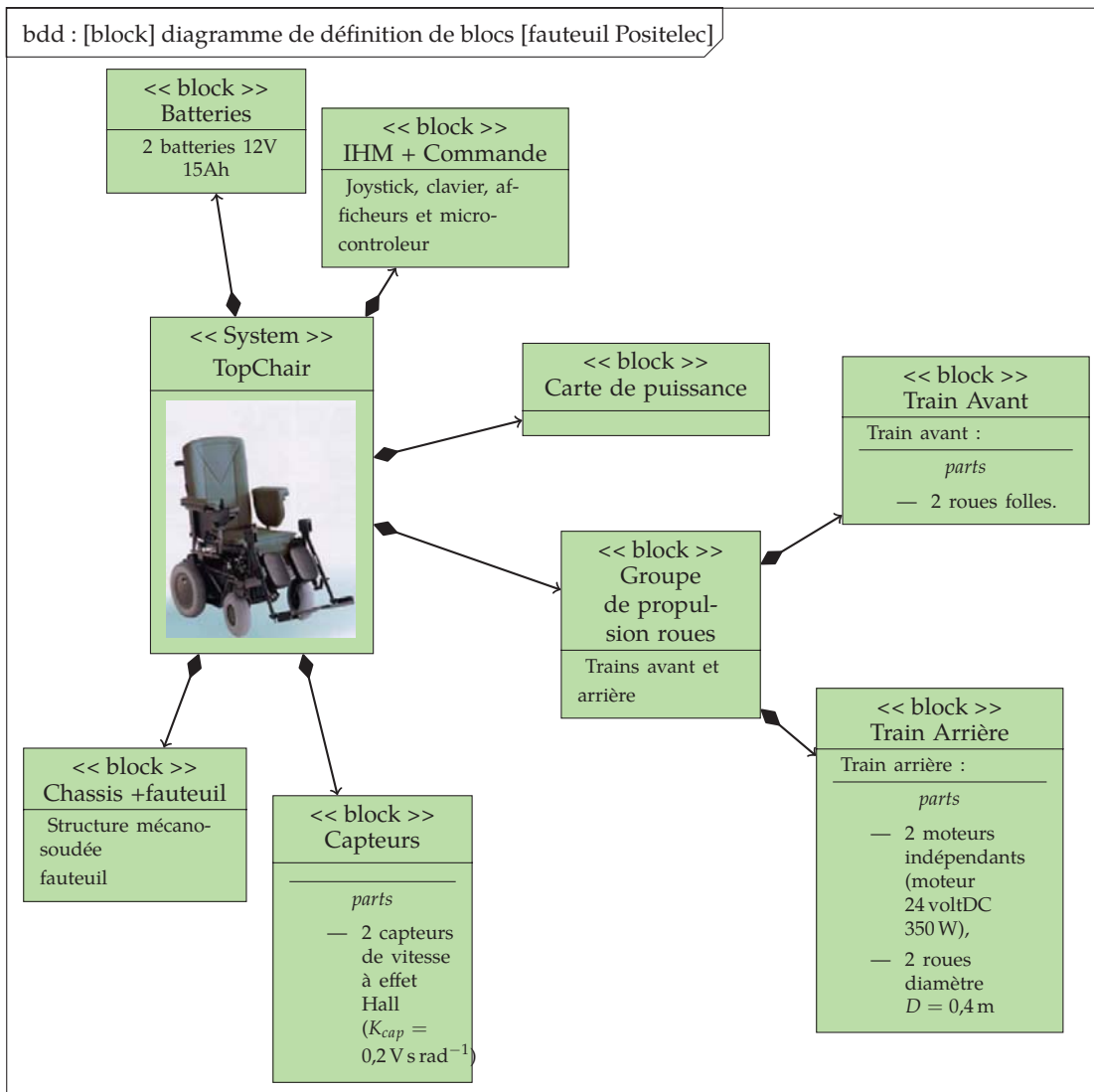


FIGURE 0.1.5 – diagramme de définition de blocs du fauteuil Positelec

## C. Documents réponse

### DR-1. Cas d'utilisation à compléter

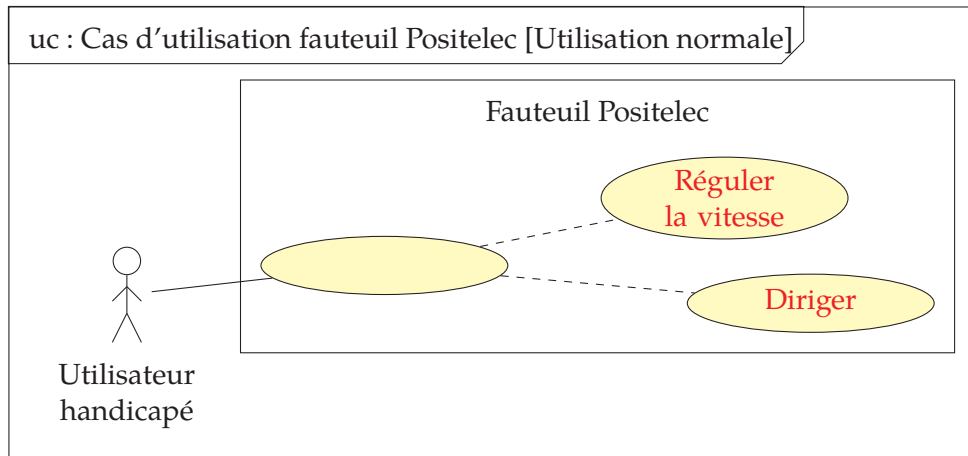


FIGURE 0.1.6 – Description du cas d'utilisation normale du fauteuil

### DR-2. Chaîne d'énergie et d'information à compléter

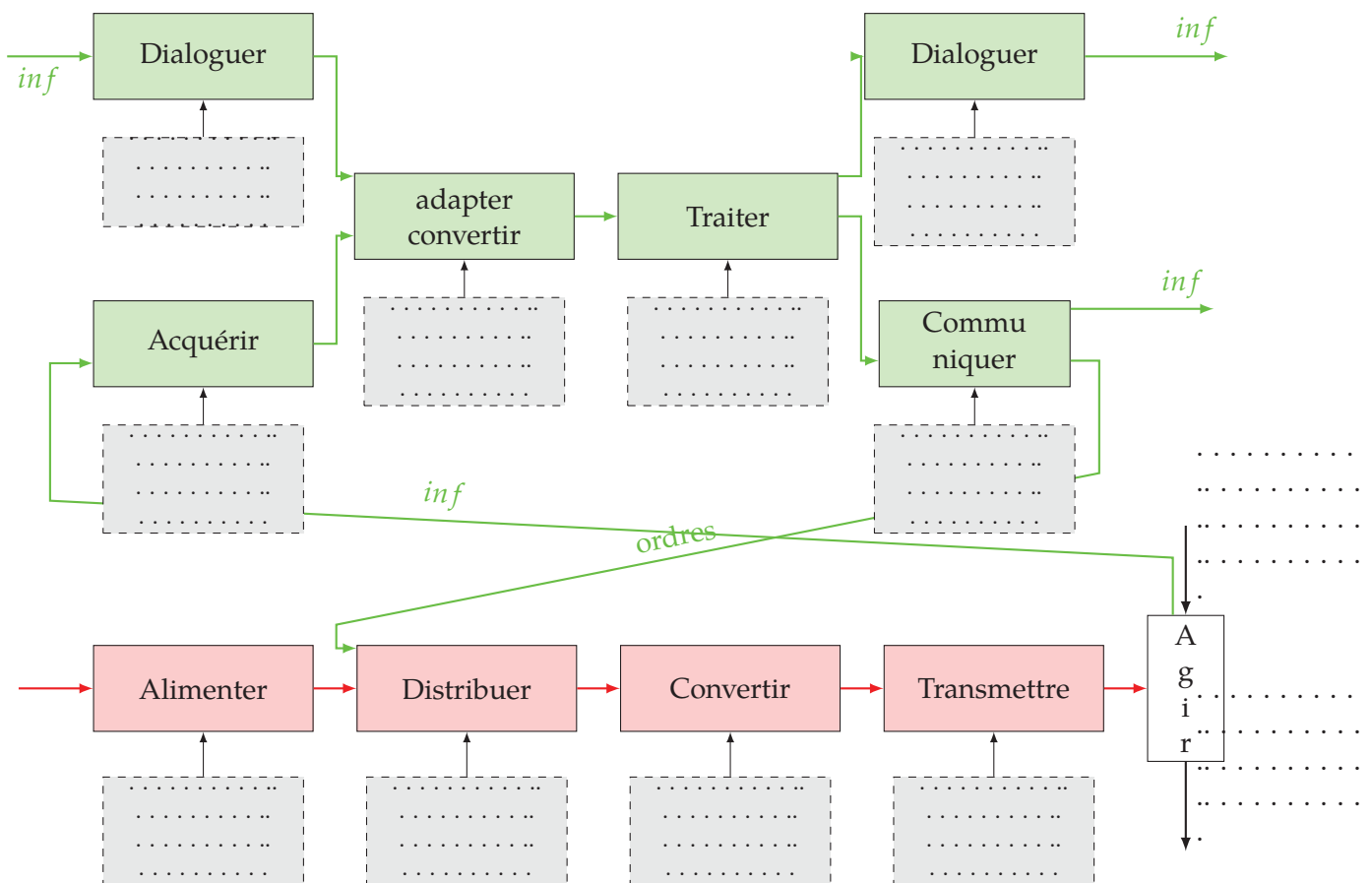


FIGURE 0.1.7 – Description des chaînes d'information et d'énergie