

1 PCSI- SysML et systèmes linéaires

A. Présentation du système

Plus d'autonomie pour plus de liberté! TopChair S[®] offre aux personnes à mobilité réduite une nouvelle possibilité de se déplacer sans assistance à domicile, au travail ou en ville. Ce fauteuil roulant électrique est capable de franchir obstacles et marches sans nécessiter l'installation d'une structure fixe.

Dans la plupart des cas, la présence d'un accompagnateur n'est pas nécessaire.

- Une utilisation simple et confortable au quotidien : un seul bouton suffit pour passer du mode « route » au mode « escalier ».
- TopChair S[®] innove avec un double système de déplacement : sur ses roues en terrain plat et sur ses chenilles pour franchir des marches. Les chenilles sont en caoutchouc avec une armature très résistante en acier.
- Un asservissement de position qui permet de maintenir l'orientation du siège constante quelle que soit l'inclinaison de la chaussée.
- Un micro-processeur à haute performance pour une sécurité optimale.



Figure 1 – fauteuil roulant TopChair S[®]

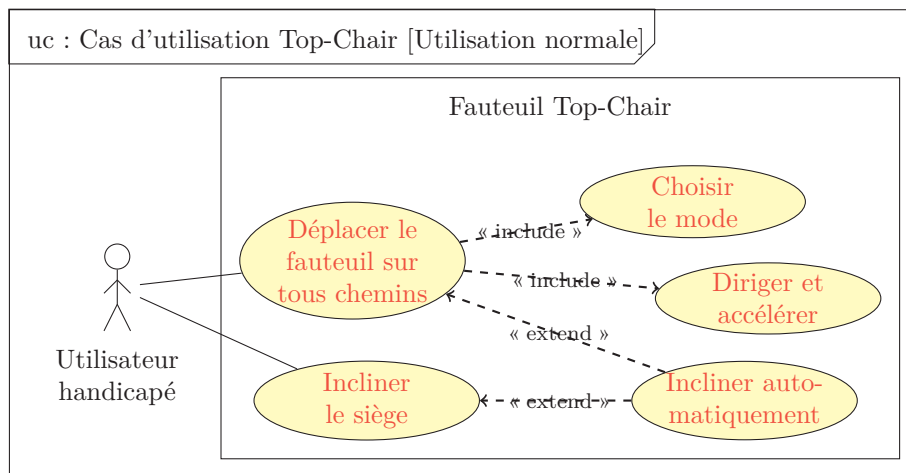


Figure 2 – Description du cas d'utilisation normale du fauteuil

A.1. Modes de fonctionnement

On distingue 3 modes principaux de fonctionnement :

- un mode « route » où le fauteuil se comporte comme un fauteuil roulant classique, les roues arrière sont motrices, les changements de direction sont obtenus en faisant varier la vitesse de rotation des roues arrière gauche et droite, les deux roues folles à l'avant s'orientant dans la direction du virage ;

- un mode « chenille » (ou chemin) où la puissance est dirigée sur les chenilles (mode utile pour se sortir des situations difficiles), les changements de direction sont obtenus en pilotant séparément chaque chenille ;
- un mode « escalier » où le programme gère les actionneurs de façon à monter/descendre les escaliers.

À la mise sous tension, pendant l'initialisation, le fauteuil analyse son état pour reconnaître dans quel mode il a été arrêté :

- si les trains avant et arrière sont sortis, il bascule en mode route,
- si les trains sont rentrés, il se place en mode chenille,
- si les trains sont rentrés et que l'accéléromètre du châssis indique une pente supérieure à 6° , il se considère en mode escalier.

L'utilisateur peut ensuite choisir le mode de déplacement le plus adapté à la nature du terrain en appuyant sur le bouton correspondant du clavier

- m_R pour le mode « route »,
- m_C pour le mode « chenille »,
- m_E pour le mode « escalier ».

La sortie du mode escalier ne peut se faire que hors de l'escalier (en bas ou en haut) et passe obligatoirement par le mode route.

Le graphe de la figure 12 page précédente du document réponse 1 précise les différents modes de fonctionnement et les liens entre chaque .

A.2. Exigences

On retrouve, sur le diagramme de la page 8 annexe 1, les différentes exigences de premier niveau du fauteuil TopChair S[©] .

A.3. Structure matérielle et logicielle

Le diagramme de définition des blocs de la figure 7 présente la structure matérielle du fauteuil TopChair S[©] .

1.0.1 Interface homme-fauteuil

L'interface homme-machine est réalisée via le joystick de commande de direction et un clavier additionnel.

Sur le clavier de commande, on retrouve toutes les actions que peut effectuer le fauteuil :

- choisir le mode de fonctionnement (chenille, route ou escalier) ;
- rentrer et sortir les trains avant et arrière ;
- incliner et redresser le siège.

Le joystick de direction comporte un bouton marche/arrêt, un avertisseur sonore et 2 boutons permettant de choisir la vitesse maximale du véhicule. Tous les paramètres du fauteuil (vitesse, accélération, angle d'inclinaison du siège, ...) sont configurables.

1.0.2 Le fauteuil et son environnement

Afin d'automatiser son fonctionnement dans les escaliers, le fauteuil a besoin de « voir » son environnement. En effet, pour actionner le train avant ou le train arrière, le fauteuil doit évaluer la situation afin d'éviter les mauvaises manœuvres (comme sortir les trains dans les escaliers).

Pour ce faire, des capteurs infrarouges sont disposés de manière à détecter ces différentes situations (figure 3). Au vu des distances à mesurer, le choix s'est porté sur des capteurs SHARP (annexe 7). L'orientation de ces capteurs est définie expérimentalement. Leur position permet de détecter au mieux les différentes situations.

La description et les schémas de l'annexe 5 présentent les différents capteurs mis en œuvre pour détecter le début et la fin de l'escalier en montée et en descente.

À ces capteurs de distance se rajoutent deux accéléromètres qui permettent de mesurer à chaque instant l'inclinaison (dans les trois directions) du châssis et du fauteuil.

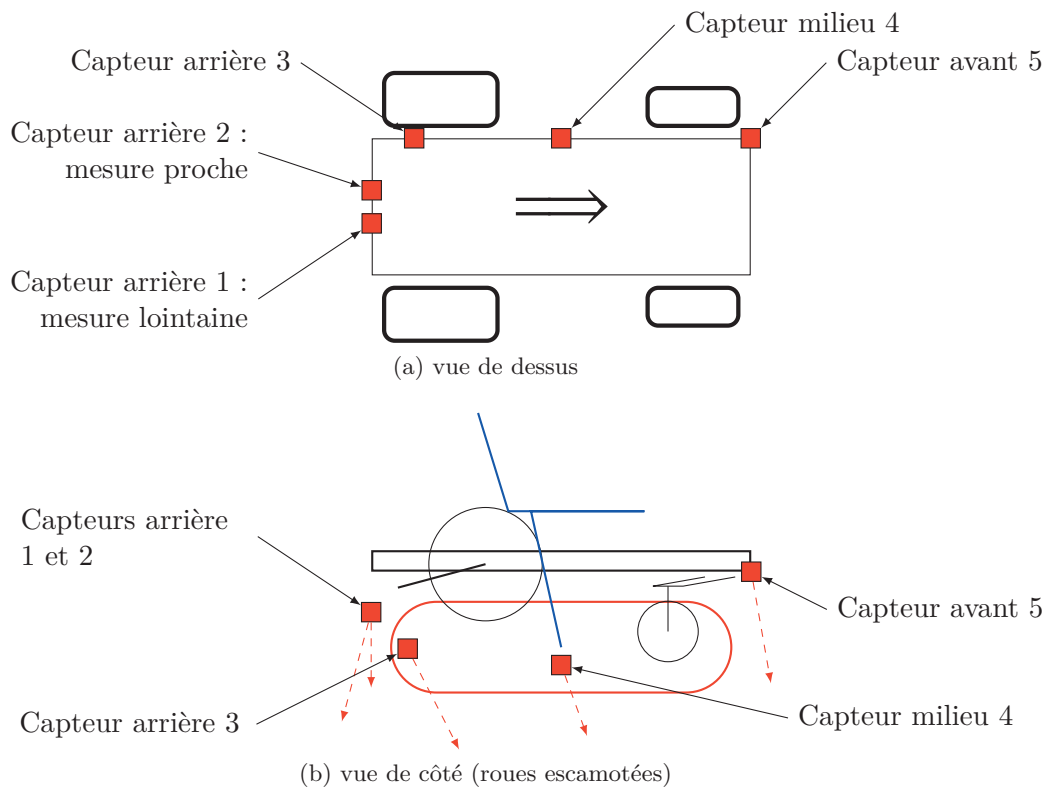


Figure 3 – disposition des capteurs de distance

1.0.3 Principe de la montée des marches

Le principe de la montée des marches est décrit dans l'annexe 6. On distingue les étapes suivantes :

- positionner le fauteuil au pied de l'escalier, en marche arrière ;
- appuyer sur le bouton « escalier » : les roues avant sont escamotées et les chenilles deviennent motrices ;
- manipuler le joystick vers l'arrière : le système détecte la première marche (capteurs infrarouges), le fauteuil est alors en position, les roues arrière sont escamotées et la montée débute ;
- le palier supérieur est atteint : le système détecte la dernière marche (capteurs infrarouges), les roues arrière sont abaissées pour stabiliser le fauteuil et le fauteuil continue la montée à l'aide des chenilles ;
- sur le palier supérieur, retour au mode « route » : les roues avant sont abaissées et les roues arrière redeviennent motrices ;
- pendant toute la montée, le siège reste horizontal.

B. Étude

Nous allons nous intéresser à quelques éléments caractéristiques du fauteuil roulant TopChair S[®]. Toutes les parties sont indépendantes et des résultats intermédiaires permettent de poursuivre l'étude.

B.1. Validation des exigences

Objectif :

Établir la succession des modes de fonctionnement permettant de valider l'exigence id="006"

L'utilisateur doit être capable de changer de mode de fonctionnement en fonction du terrain sur lequel il se trouve mais pour des raisons de sécurité, il ne peut pas tout commander, on se propose de décrire à travers un diagramme d'états-transitions, le processus de changement de mode.

Q1. Compléter le diagramme d'états transitions en précisant sur chaque lien les conditions de changement d'état.

<< requirement >>
Changement de mode

id="006"
text="Le changement de mode doit se faire en toute sécurité"

Objectif :

identifier et caractériser les constituants permettant de respecter l'exigence id="007".

L'exigence id="007" précise que le fauteuil doit être capable de détecter son environnement et sa position. Cette exigence peut se décomposer en deux exigences :

- la capacité de détecter sa position dans les marches (en bas, en haut, dans les marches)
- la capacité de détecter l'inclinaison du fauteuil et siège

Les exigences techniques à respecter sont décrites dans l'extrait du cahier des charges.

<< requirement >>
Environnement

id="007"
text="Le fauteuil doit être capable de détecter son environnement et sa position "

Cahier des charges (extrait) :

- détecter un obstacle (marche) dans l'intervalle 20 cm - 60 cm,
- la précision attendue doit être inférieure à 1 cm.

1.0.4 Le capteur de distance

Le fauteuil utilise plusieurs capteurs de distance (figure 3 page 3) pour évaluer à chaque instant la position du fauteuil par rapport aux marches. Ils permettent la détection de la première et de la dernière marche (annexe 5). Tous les capteurs de distance sont identiques, de marque SHARP et de référence GP2Y0A21YK0F (annexe 7).

L'annexe 7 présente les caractéristiques du capteur.

Nous allons identifier les éléments permettant de valider la capacité de détection de la position dans les marches.

Q2. À partir de la documentation fournie :

1. Ce capteur permet-il de respecter le cahier des charges ?
2. Quel sont les deux défauts principaux de ce capteur ?
3. Proposer un modèle linéaire donnant la tension de sortie du capteur en fonction de la distance :
 $V_0 = f(d)$, superposer à la caractéristique du capteur, sur le document réponse 4, votre modèle.

Le document réponse 3 propose une décomposition plus fine de cette exigence.

Q3. À partir de description du fonctionnement du fauteuil dans les marches et du principe de la détection des marches (annexe 5), compléter le diagramme des exigences du document réponse 3 en précisant par un lien « satisfy » quels sont les capteurs de position qui participent à la détection des marches.

B.2. Assurer une inclinaison constante - FP2 -

La capacité de monter les escaliers du TopChair S[®] nécessite, pour le confort et la sécurité du passager, de maintenir l'inclinaison du siège par rapport à l'horizontale constante pendant la montée ou la descente, en conservant la possibilité pour celui-ci de régler l'inclinaison de son assise.

Le choix fait par le concepteur est de réaliser un asservissement de la position angulaire du siège à l'aide d'un vérin à vis (annexe 4).

Le document réponse 2 décrit la structure fonctionnelle d'orientation du siège.

Description du fonctionnement

L'utilisateur commande l'inclinaison du siège en tapant sur le clavier de commande la consigne de position angulaire. Le microcontrôleur génère, en fonction de l'écart entre la position angulaire réelle du siège et la consigne, les signaux de pilotage « Redresser siège » et « Incliner siège ». La position angulaire du siège est mesurée par un accéléromètre. Ces signaux, transmis à la carte de puissance, permettent de piloter le moteur à courant continu du vérin électrique et d'incliner le siège grâce à la cinématique du mécanisme. L'énergie nécessaire est fournie par une batterie.

Q4. Compléter, à partir de la description du fonctionnement, sur le document réponse 2, les éléments grisés des chaînes d'information et d'énergie du sous-système d'inclinaison du siège.

Le mécanisme simplifié d'inclinaison du siège est représenté sur la figure 4.

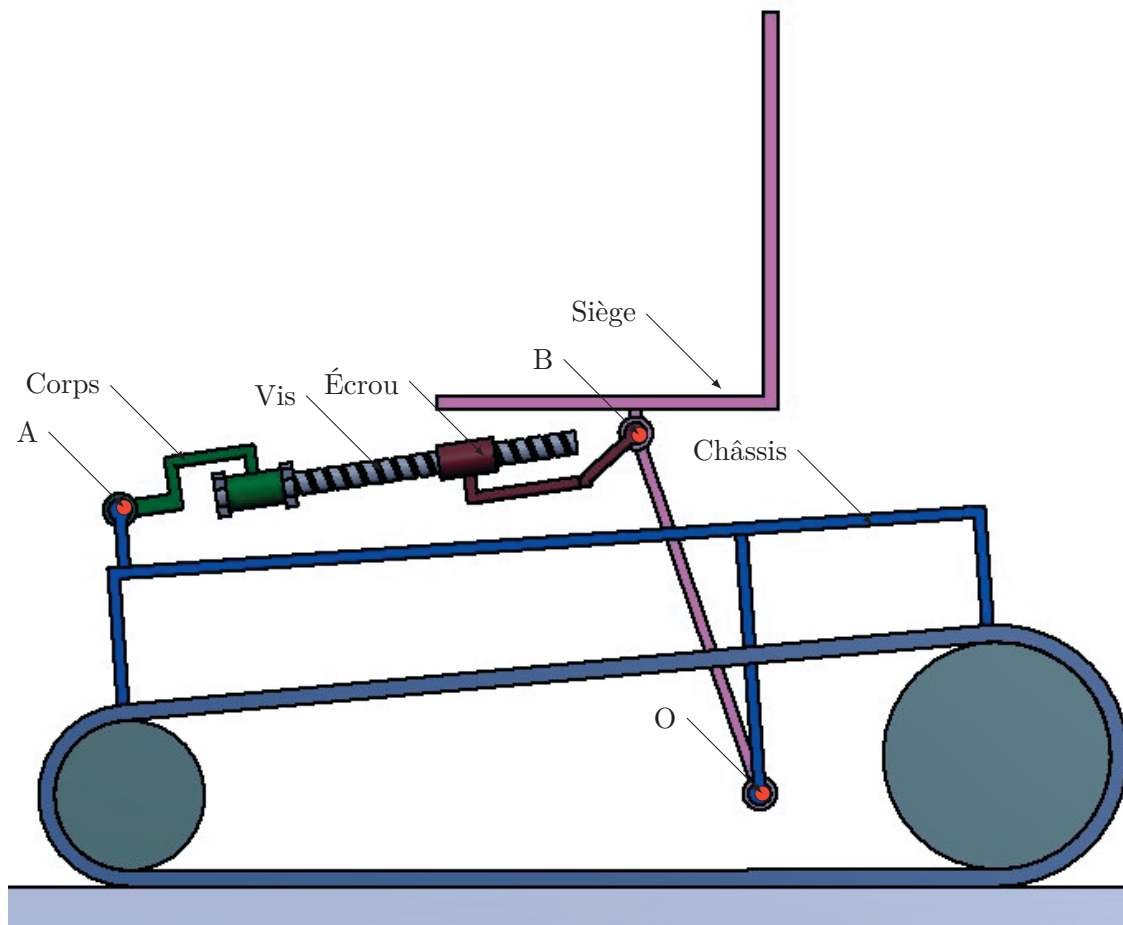


Figure 4 – Schéma de structure du mécanisme d'inclinaison du siège, en position horizontale (roues non représentées)

<< requirement >>

Comportement

id="042"

Text=" la position angulaire doit être précise à 5 % près et le fauteuil ne doit pas osciller autour de sa position finale mais on peut admettre un seul dépassement inférieur à 10%.

Le temps de réponse doit être inférieur à 3s"

On reconnaît :

- le châssis
- le corps du vérin électrique modélisé qui pivote en A par rapport au châssis.
- la vis du vérin électrique qui est entraînée en rotation par rapport au corps du vérin par le moteur (non représenté)
- le mouvement de rotation de la vis entraîne en translation l'écrou.
- l'écrou lié en B au siège permet l'inclinaison de celui-ci en le faisant pivoter autour de O.

La figure 8 décrit le diagramme des blocs interne limité aux blocs IHM, carte de commande, capteurs et sous-système siège. Seuls les flux relatifs à l'asservissement d'inclinaison du siège sont représentés.

Q5. Compléter le tableau du document réponse DR-5, en précisant le numéro du flux d'information (de inf_1 à inf_8 ou d'énergie ($debE_1$ à E_0) de la figure 8.

Objectif :
Valider le système asservi d'inclinaison.

La motorisation de l'inclinaison est assurée par un vérin électrique (annexe A-4) entraîné par une moteur électrique à courant continu.

Le modèle de connaissance du moteur est décrit par les quatre équations différentielles ci-dessous.

Équation électrique :

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + E(t)$$

avec

- $u(t)$: la tension d'alimentation du moteur,
- $i(t)$: le courant,
- $E(t)$: la force contre-électromotrice,
- $C_m(t)$: le couple moteur,
- $C_r(t)$: le couple résistant.

Équation de la dynamique en rotation :

$$J_m \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \cdot \omega_m(t)$$

- R : la résistance de l'induit,
- L : l'inductance,

Deux équations de couplage électromécanique

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

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

- K_e : la constante de vitesse,
- K_t : la constante couple,
- f : la constante de frottement visqueux
- J_m : le moment d'inertie du rotor.

B.3. Étude simplifiée

On considère que le moteur est à vide sans efforts extérieurs : $C_r(t) = 0$. On considère aussi que l'inductance et le frottement visqueux sont négligeable : $f = 0$ et $L = 0$.

Q6. Compte tenu de ces hypothèses et des quatre équations écrire l'équation différentielle qui relie $u(t)$ la tension d'alimentation du moteur et $\omega_m(t)$ et ses dérivées (répondre sur la page vierge 5 du document réponse).

On considère les valeurs numériques suivantes :

Constante de couple : $K_t = 1,5 \text{ Nm A}^{-1}$

Constante de vitesse : $K_e = 1,5 \text{ V/(rad/s)}$

Moment d'inertie du rotor et de l'ensemble mobile : $J_m = 30 \text{ kg/m}^2$

Résistance : $R = 3 \Omega$

Q7. Mettre l'équation différentielle sous la forme :

$$T_r \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} + \omega_m(t) = K \cdot u(t)$$

puis déterminer T_r et K en fonction des différents paramètres. Faire l'application numérique (répondre sur la page vierge 5 du document réponse).

On considère que le moteur est alimenté par la tension constante $u(t) = U_0 = 24 \text{ V}$.

Q8. Montrer que $\omega_m(t) = K \cdot U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_r}} \right)$ est solution de l'équation différentielle. Déterminer la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ atteinte par le moteur en régime permanent (lorsque $t \rightarrow \infty$) (répondre sur la page vierge 5 du document réponse).

Le diagramme fonctionnel de la figure 5 décrit la structure du système asservi. Dans ce schéma, On retrouve

- la consigne d'inclinaison tapée au clavier par l'utilisateur : α_c ,
- la position réelle de l'inclinaison du siège : α_s ,
- l'angle de l'escalier par rapport à l'horizontale considéré comme une perturbation : β .

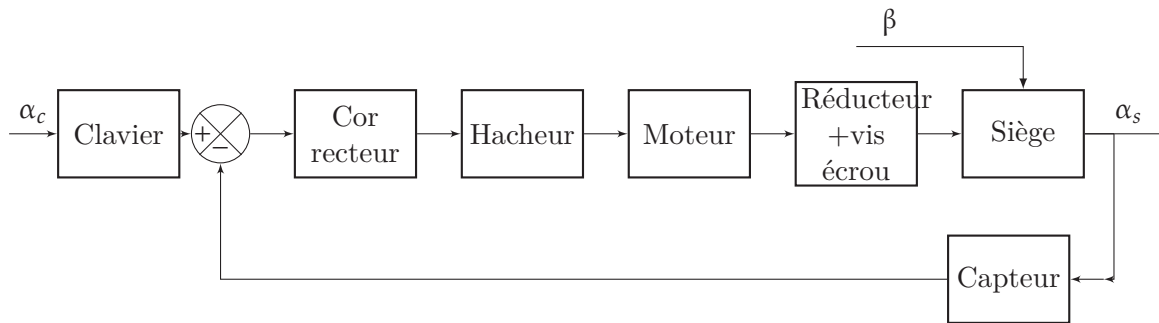


Figure 5 – Schéma fonctionnel de l'asservissement d'inclinaison

Q9. Préciser sur le document réponse DR-6 les constituants qui réalisent les fonctions suivantes : Acquérir, Dialoguer, Transmettre, Convertir, Distribuer, Traiter. Quel capteur proposez-vous pour mesurer l'inclinaison du fauteuil ?

Il reste pour valider le comportement à régler le correcteur afin de respecter le cahier des charges. Le concepteur a installé un correcteur qui possède deux paramètres de réglage, un gain K et un coefficient a .

Il a réalisé plusieurs essais avec des valeurs différentes de a et K avec le protocole suivant :

- le fauteuil est placé sur un sol horizontal ($\beta = 0$),
- un échelon de consigne de $\alpha_c = -5^\circ$ est appliqué au système (cette consigne correspond à un cas d'utilisation fréquent ou l'utilisateur souhaite être légèrement incliné en arrière lorsqu'il est assis),
- l'évolution temporelle de α_s est relevé.

Les différentes réponses temporelles sont fournies dans le document réponse.

Q10. Pour chacune d'elles :

- déterminer le temps de réponse,
- l'erreur indicielle
- le dépassement relatif (s'il existe).

Vous préciserez aussi, si le réglage correspondant, permet de vérifier les exigences.

Q11. Quel réglage préconisez-vous pour cet asservissement ?

Annexes

A-1. Diagramme d'exigence

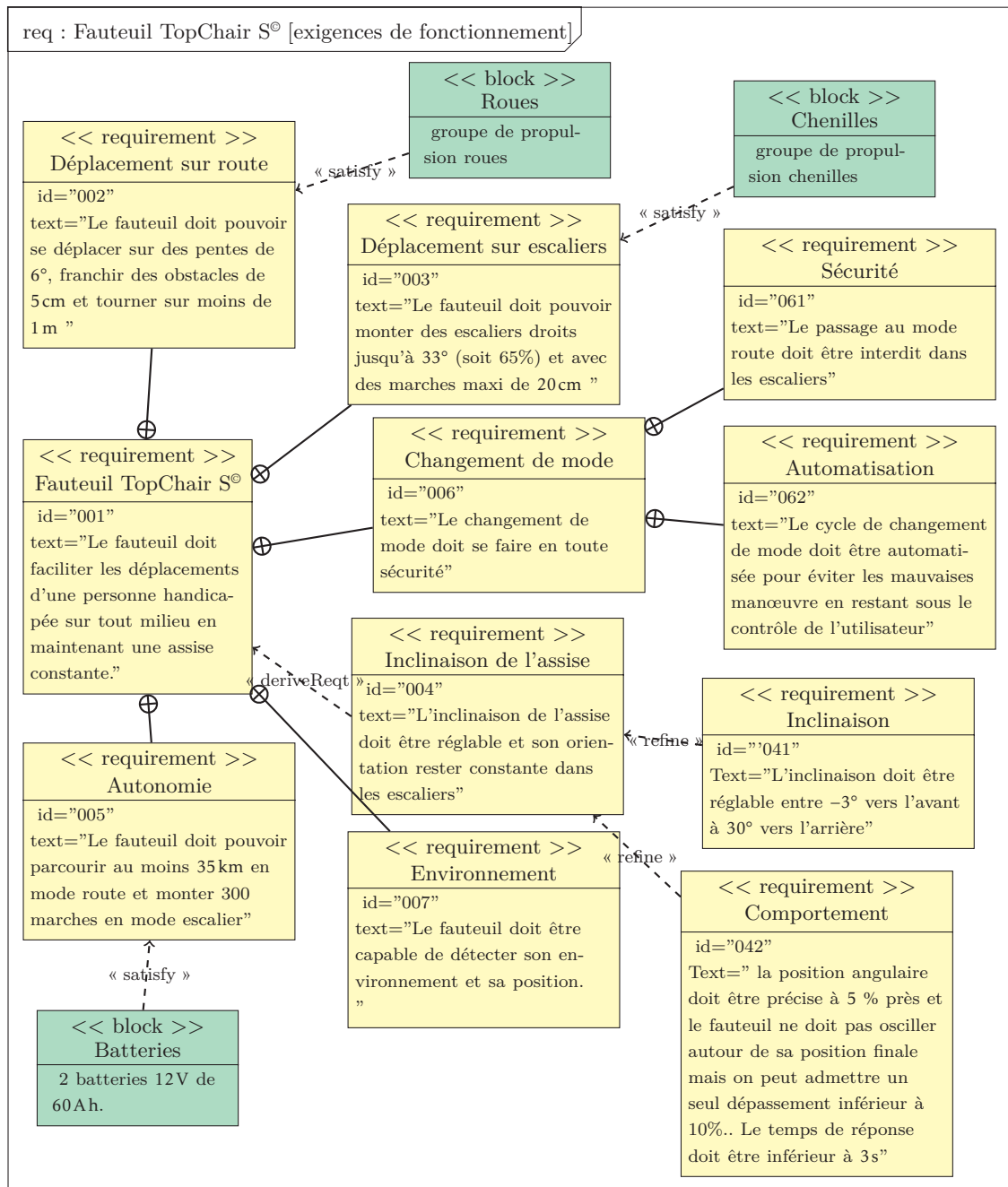


Figure 6 – Exigences

A-2. Diagramme de définition des blocs

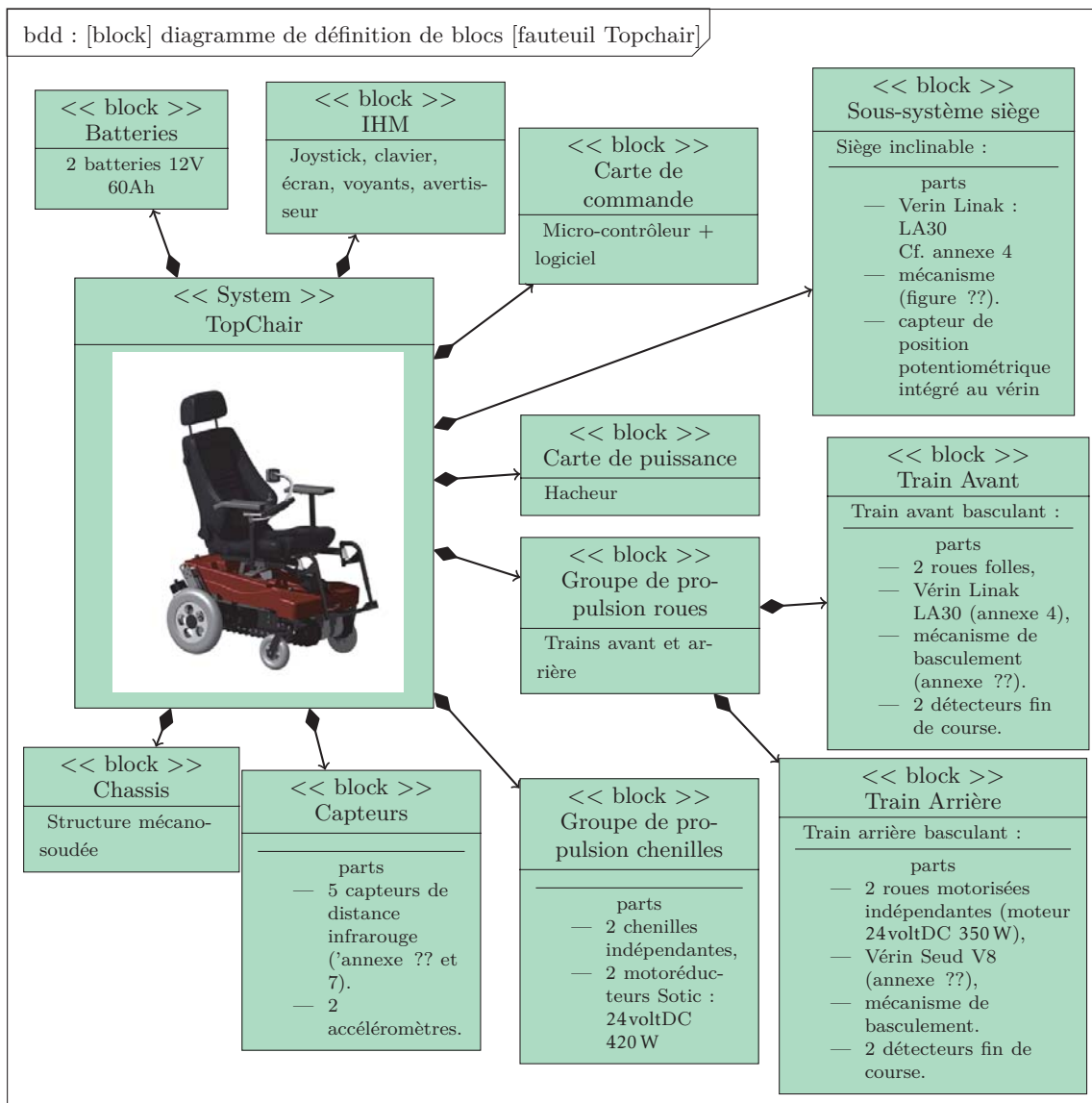


Figure 7 – diagramme de définition de blocs du fauteuil TopChair

A-3. Diagrammes des blocs internes limité à la chaîne asservie d'inclinaison

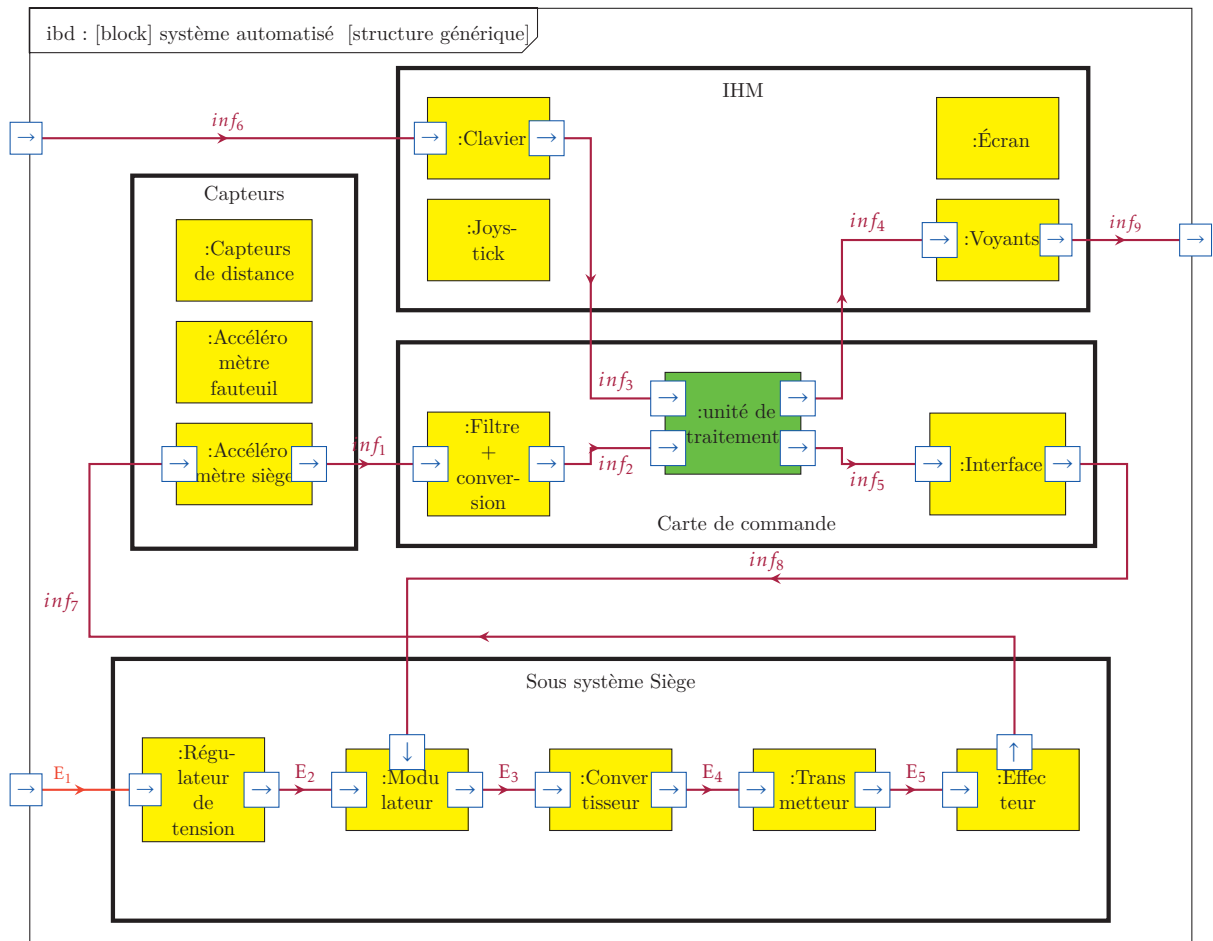


Figure 8 – Diagramme des blocs internes limité aux blocs IHM, carte de commande, capteurs et sous-système siège. Seuls les flux relatifs à l’asservissement d’inclinaison du siège sont représentés.

A-4. Vérin de basculement du train avant et vérin d'inclinaison du siège

Fabricant LINAK

- Modèle LA30 - 302200-40250125
- Entraxe : 439 mm,
- course : 250 mm,
- effort : 2 500 N,
- pas : $p_a = 6$ mm,
- alimentation : 24 V DC, intensité moyenne à pleine charge : 7 A,
- moteur à courant continu à aimants permanents 24 V,
- tige Inox,
- encombrement réduit et construction robuste,
- indice de protection : IPx0 / IP66,
- couleur : noir,
- vitesse max : 32 mm s^{-1} pour un pas de 6 mm,
- faible niveau sonore,
- transmission entre moto-réducteur et vis par engrenages coniques acier.



A-5. Principe de la détection du début et de la fin d'un escalier

La description ci-dessous se rapporte à la figure 9 page suivante.

Détection de la première marche à la montée : le capteur arrière 2 permet de détecter le nez de la première marche à la montée. Lorsque le capteur détecte une distance plus faible qu'un seuil programmé (30 cm), le train arrière rentre.

Détection de la dernière marche à la montée : les capteurs arrière 1 et 2 permettent de détecter la fin de l'escalier à la montée. On compare les mesures de ces 2 capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.

Détection de la première marche à la descente : le seul capteur du milieu permet de détecter l'entrée dans un escalier par le haut, le capteur détecte le nez de marche. On compare la valeur mesurée avec un seuil programmé (10 cm).

Détection de la dernière marche à la descente : les capteurs arrière 3 et milieu permettent de détecter la fin de l'escalier à la descente. On compare les mesures de ces 2 capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.

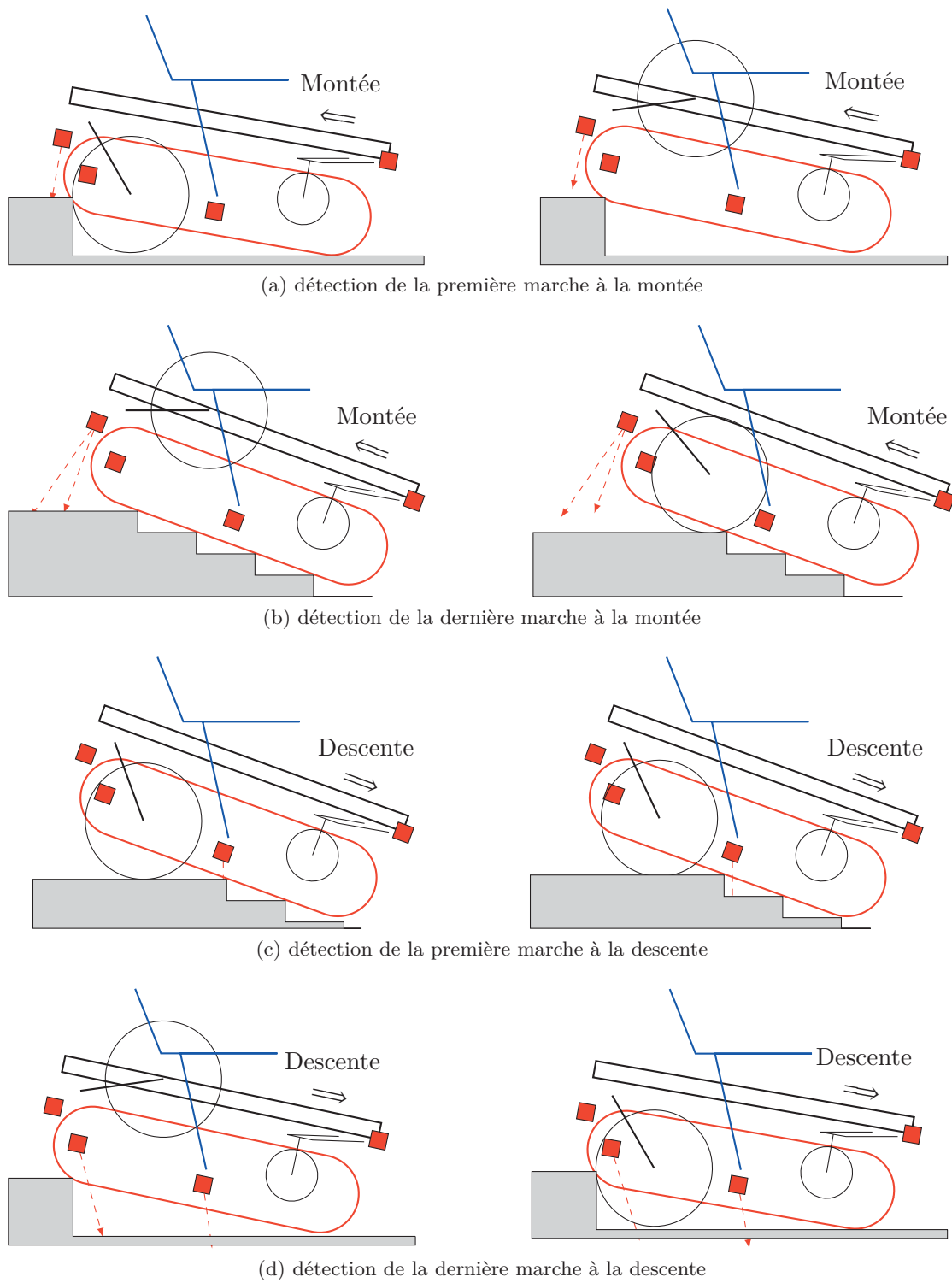


Figure 9 – principe de la détection des marches

A-6. Principe de la montée des marches

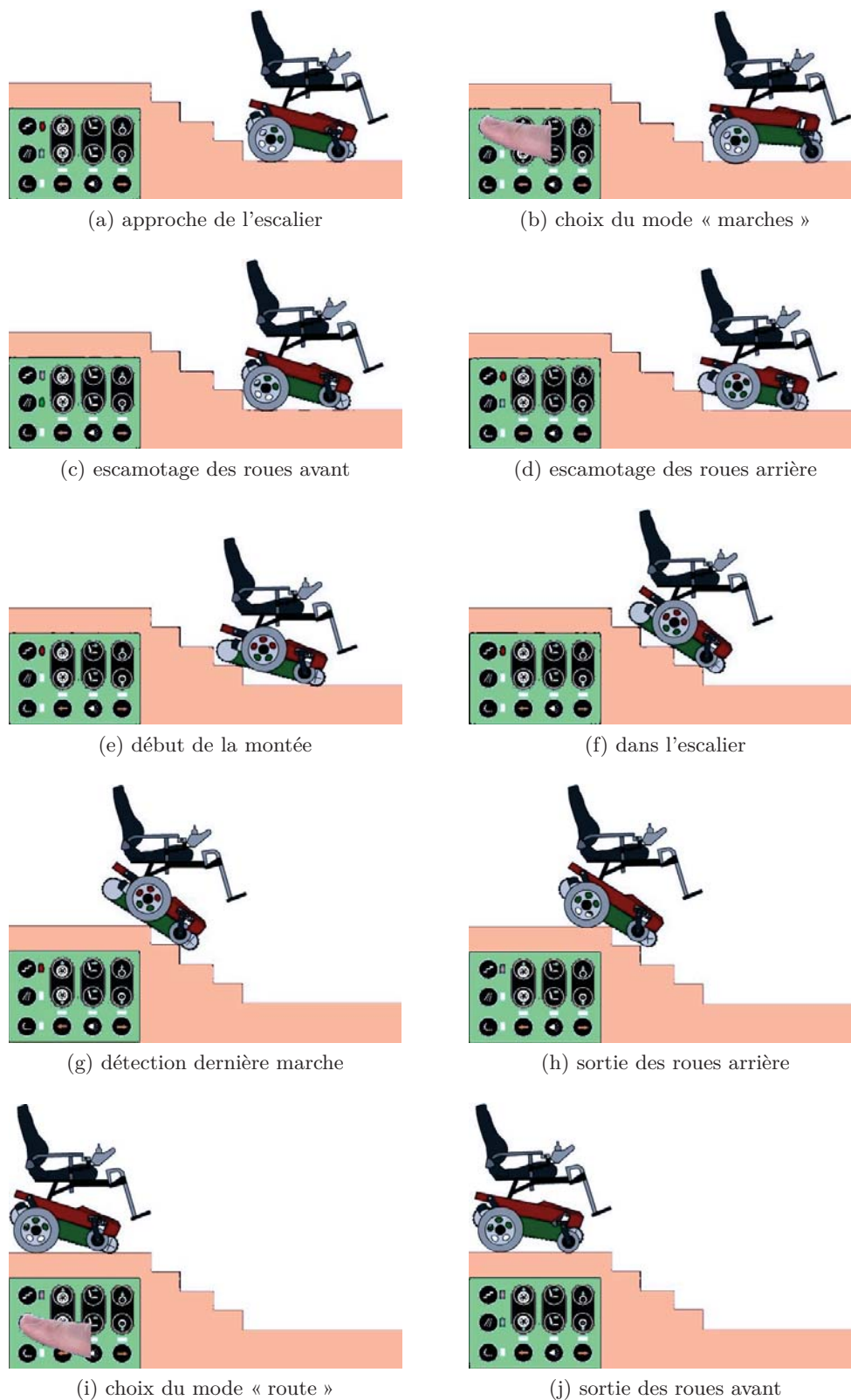


Figure 10 – montée des marches

A-7. Capteurs de distance : SHARP GP2Y0A21YK0F

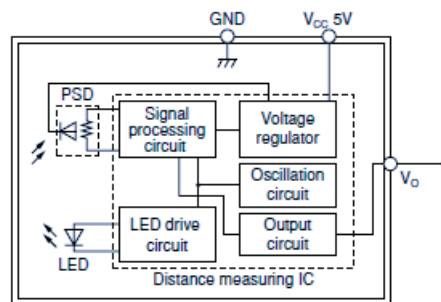
Caractéristiques

- lumière non visible : infrarouge ;
- faible influence de la couleur de l'objet et de sa réflectivité grâce à la méthode de mesure ;
- grande amplitude de mesure ;
- aucun circuit de contrôle nécessaire, la sortie peut être reliée directement à un micro-processeur.

Applications

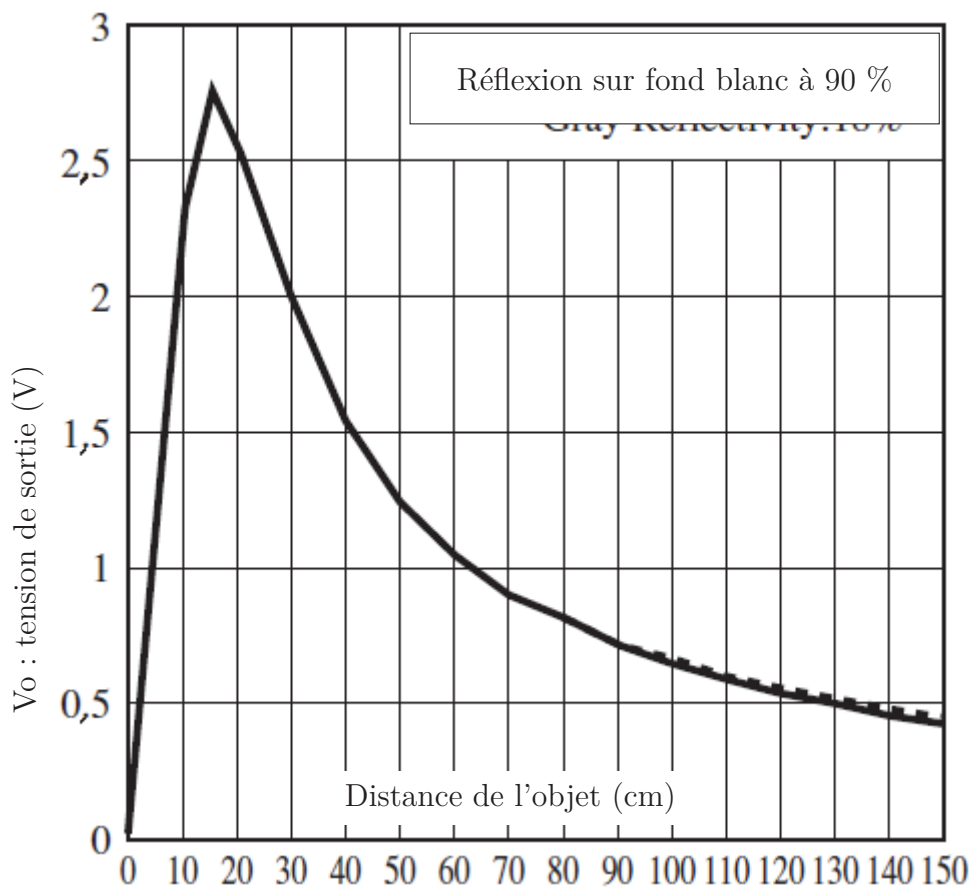
- utilisable aussi bien pour la détection de personnes que d'objets variés.

Schémas blocs



Caractéristiques électro-optique mesurées par réflexion sur une feuille blanche

Paramètre	Symbole	Conditions	Min.	Typ.	Max	Unité
Distance de mesure	ΔL		20	-	150	cm
Tension de sortie	V_o	pour $L = 150\text{ cm}$	0,25	0,4	0,55	V
Variation de la tension de sortie	ΔV_o	Pour une distance variant de $L = 150\text{ cm}$ à 20 cm	1,8	2,05	2,3	V
Dissipation moyenne de courant	I_{cc}	-	-	33	50	mA

 Tension de sortie V_o en fonction de la distance L

 Figure 11 – tension de sortie V_o en fonction de la distance d

nom prénom	classe

Documents réponses

DR-1. Modes de fonctionnement

Compléter la le diagramme d'états transition en précisant sur chaque lien les conditions d'évolution.

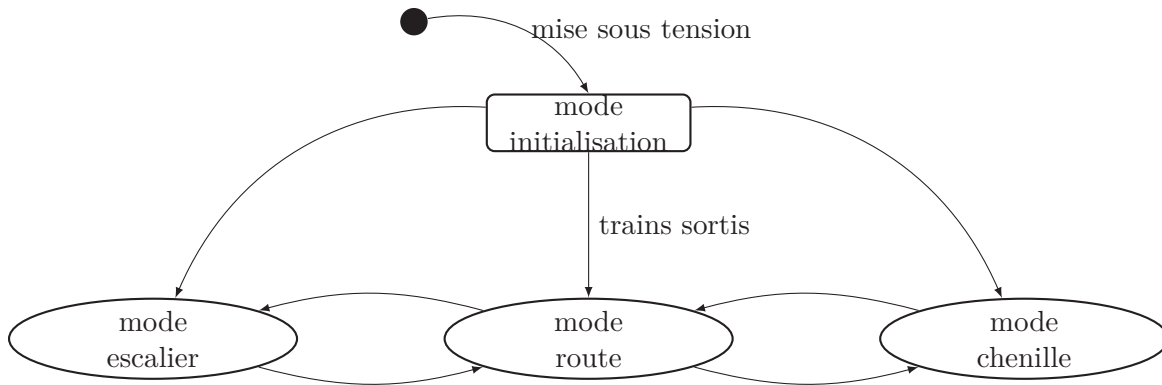


Figure 12 – Machine d'état incomplète précisant les différents modes de fonctionnement

DR-2. Chaînes d'information et d'énergie

Compléter les cadres grisés

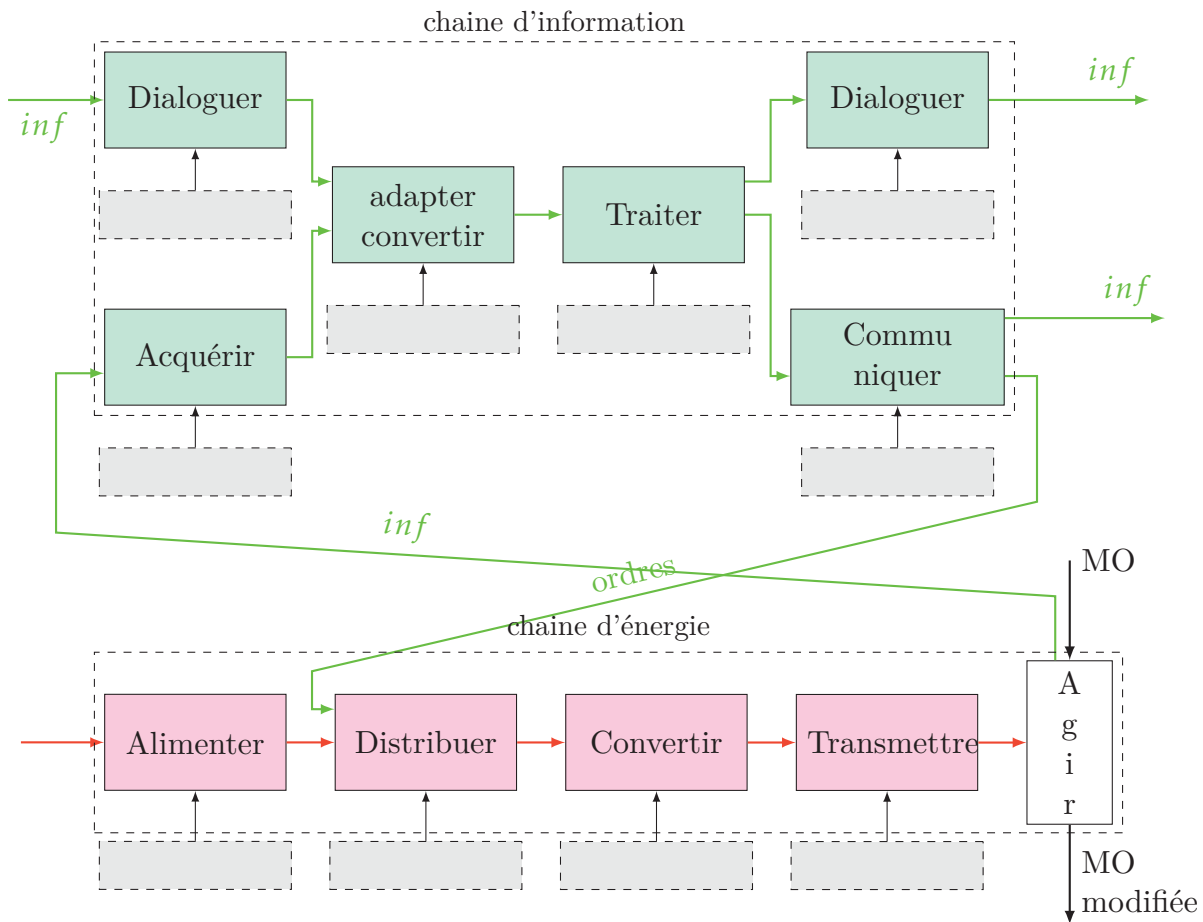


Figure 13 – Chaînes d'information et d'énergie

DR-3. Exigences

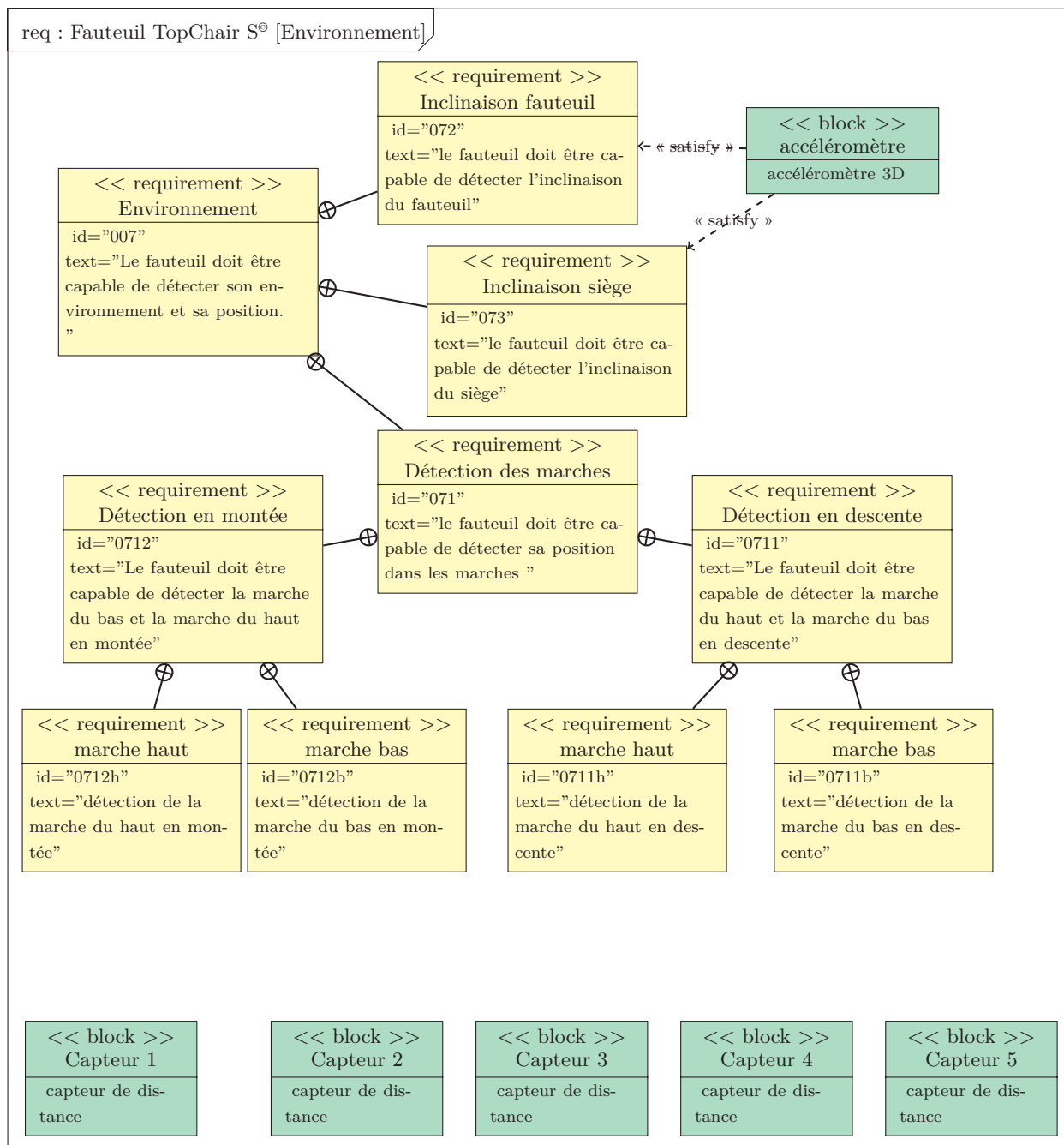
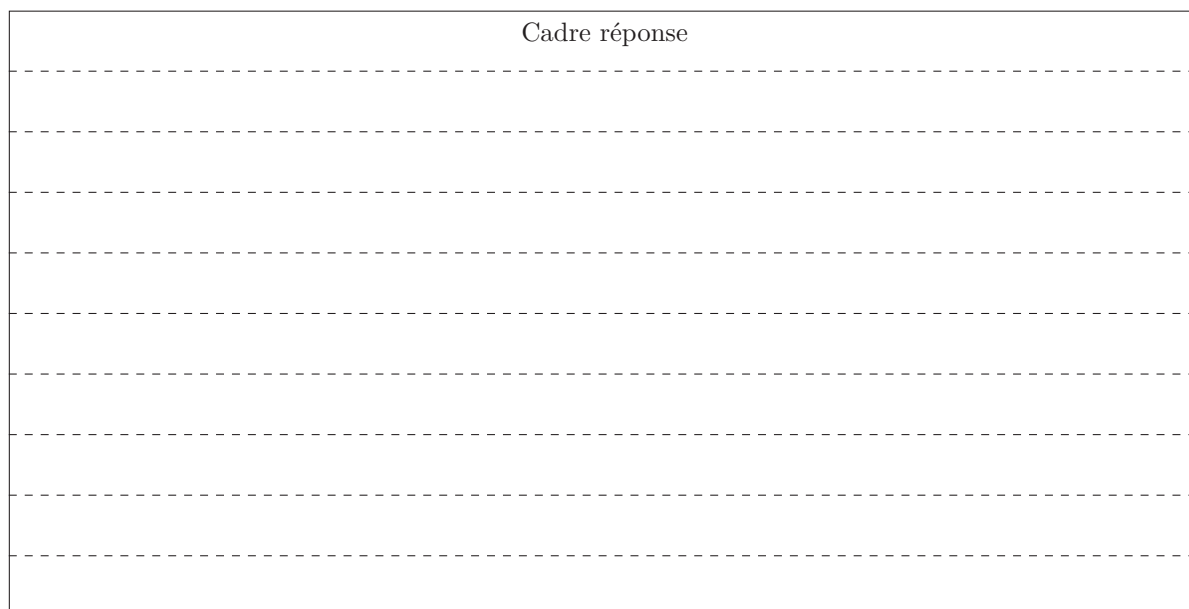
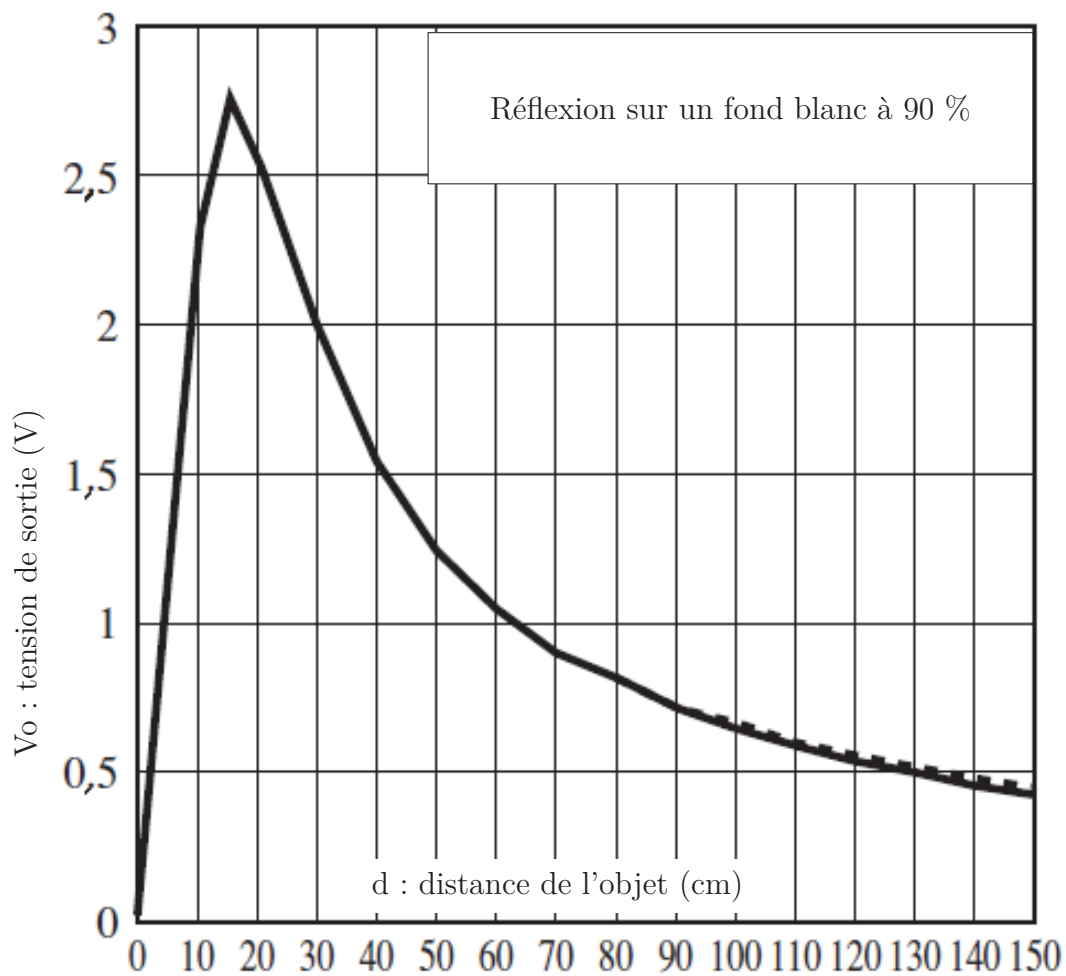


Figure 14 – Décomposition de l'exigence : id="007"

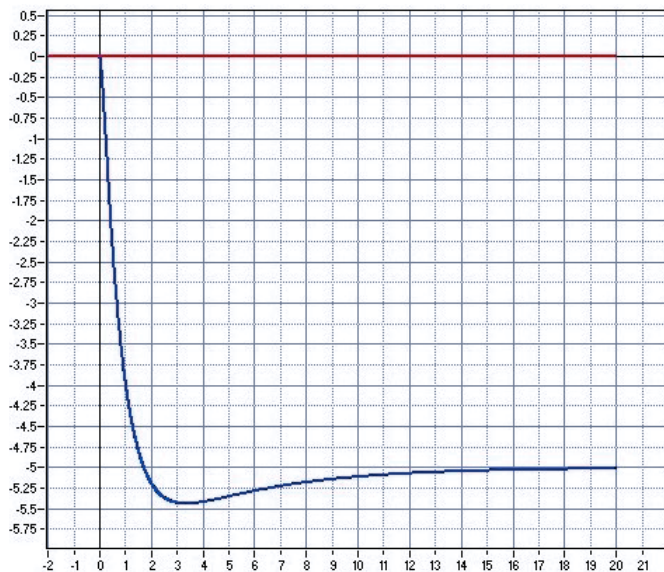
DR-4. Capteur de distance

Figure 15 – tension de sortie V_o en fonction de la distance d

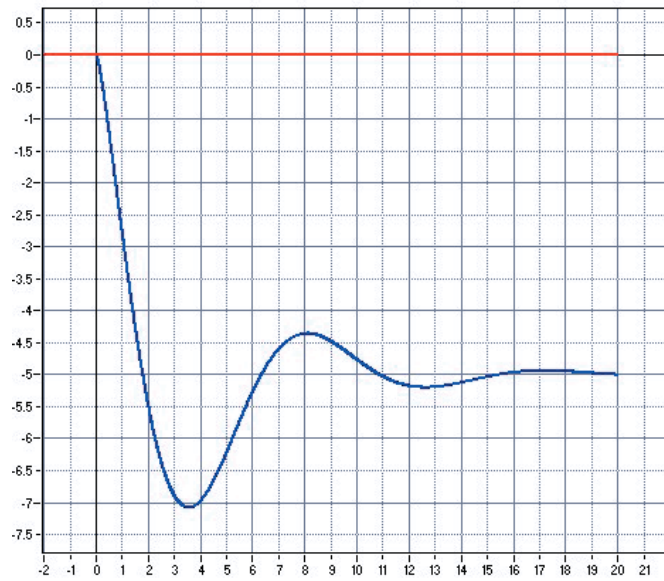
DR-7. Étude du moteur

Page de réponse libre

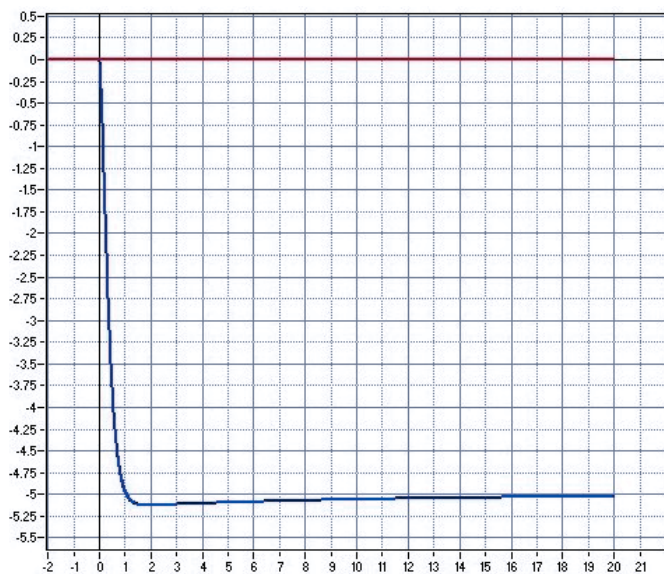
DR-8. Réponses temporelles


 $K = 100, a = 50$
 $T_{5\%} =$ -----

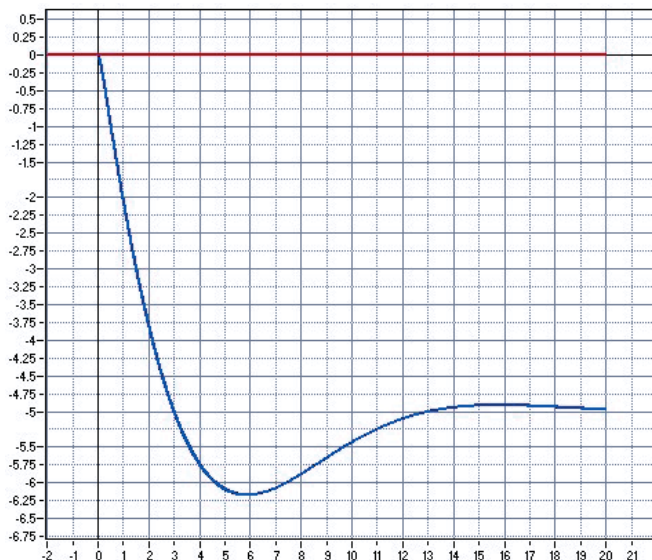
 $\epsilon_i =$ -----

 $D_{\%} =$ -----

 $K = 200, a = 10$
 $T_{5\%} =$ -----

 $\epsilon_i =$ -----

 $D_{\%} =$ -----

 $K = 100, a = 100$
 $T_{5\%} =$ -----

 $\epsilon_i =$ -----

 $D_{\%} =$ -----

 $K = 60, a = 30$
 $T_{5\%} =$ -----

 $\epsilon_i =$ -----

 $D_{\%} =$ -----

Conclure :