

# TopChair S<sup>®</sup>

## Première partie

## Présentation du système

**Plus d'autonomie pour plus de liberté ! TopChair S<sup>®</sup>** 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<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>**

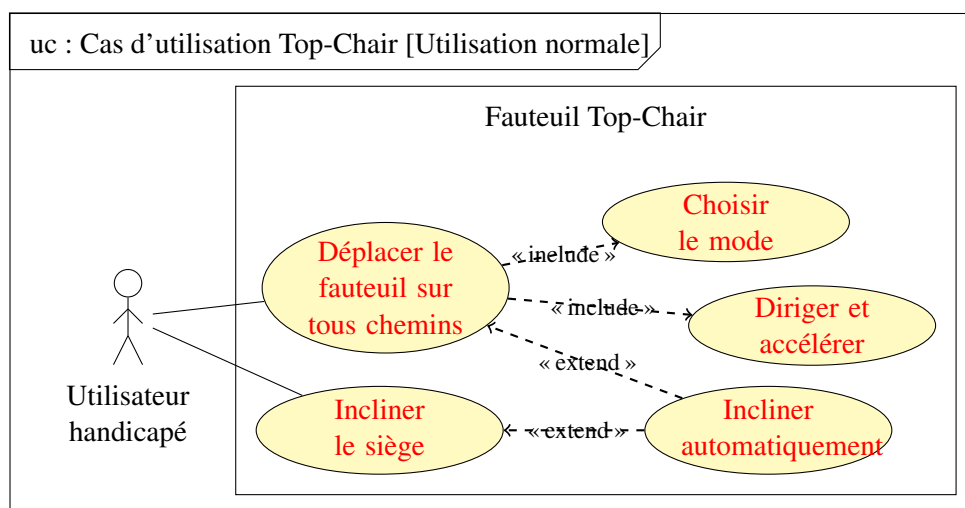


FIGURE 2 : Description du cas d'utilisation normale du fauteuil

## 1.1 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  $6^\circ$ , 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 DR 1 précise les différents modes de fonctionnement et les liens entre chaque .

## 1.2 Exigences

On retrouve, sur le diagramme de la page 1 annexe A- 1, les différentes exigences de premier niveau du fauteuil **TopChair S®** .

## 1.3 Structure matérielle et logicielle

Le diagramme de définition des blocs de la figure 7 présente la structure matérielle du fauteuil **TopChair S®** .

### 1.3.1 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.

### 1.3.2 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 A- 6.1). L'orientation de ces capteurs est définie expérimentalement. Leur position permet de détecter au mieux les différentes situations.

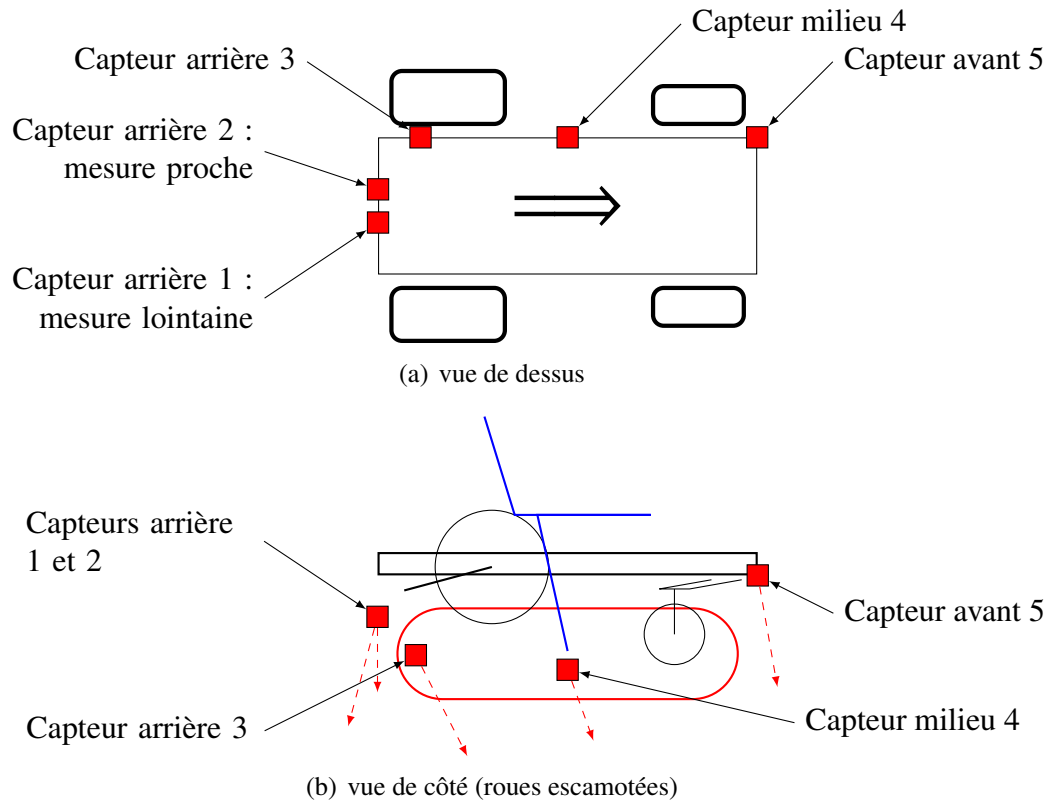


FIGURE 3 : disposition des capteurs de distance

La description et les schémas de l'annexe A- 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.

### 1.3.3 Principe de la montée des marches

Le principe de la montée des marches est décrit dans l'annexe A- 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.

# Deuxième partie

## 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.

### 2.1 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.

#### Question 1

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

**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.

**Cahier des charges (extrait) :**

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

<< requirement >>

Changement de mode

id="006"

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

<< requirement >>

Environnement

id="007"

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

#### 2.1.1 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 A- 5). Tous les capteurs de distance sont identiques, de marque SHARP et de référence GP2Y0A21YK0F (annexe A- 6.1).

L'annexe A- 6.1 présente les caractéristiques du capteur.

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

## Question 2

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 :  $V_0 = f(d)$ , tracer sur le document réponse DR 4.

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

## Question 3

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

## 2.2 Assurer une inclinaison constante - FP2 -

La capacité de monter les escaliers du **TopChair S<sup>©</sup>** 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 A- 4).

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

<< 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 3 s"

### 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**.

## Question 4

Compléter, à partir de la description du fonctionnement, sur le document réponse DR 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.

On reconnaît :

- 4- 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.

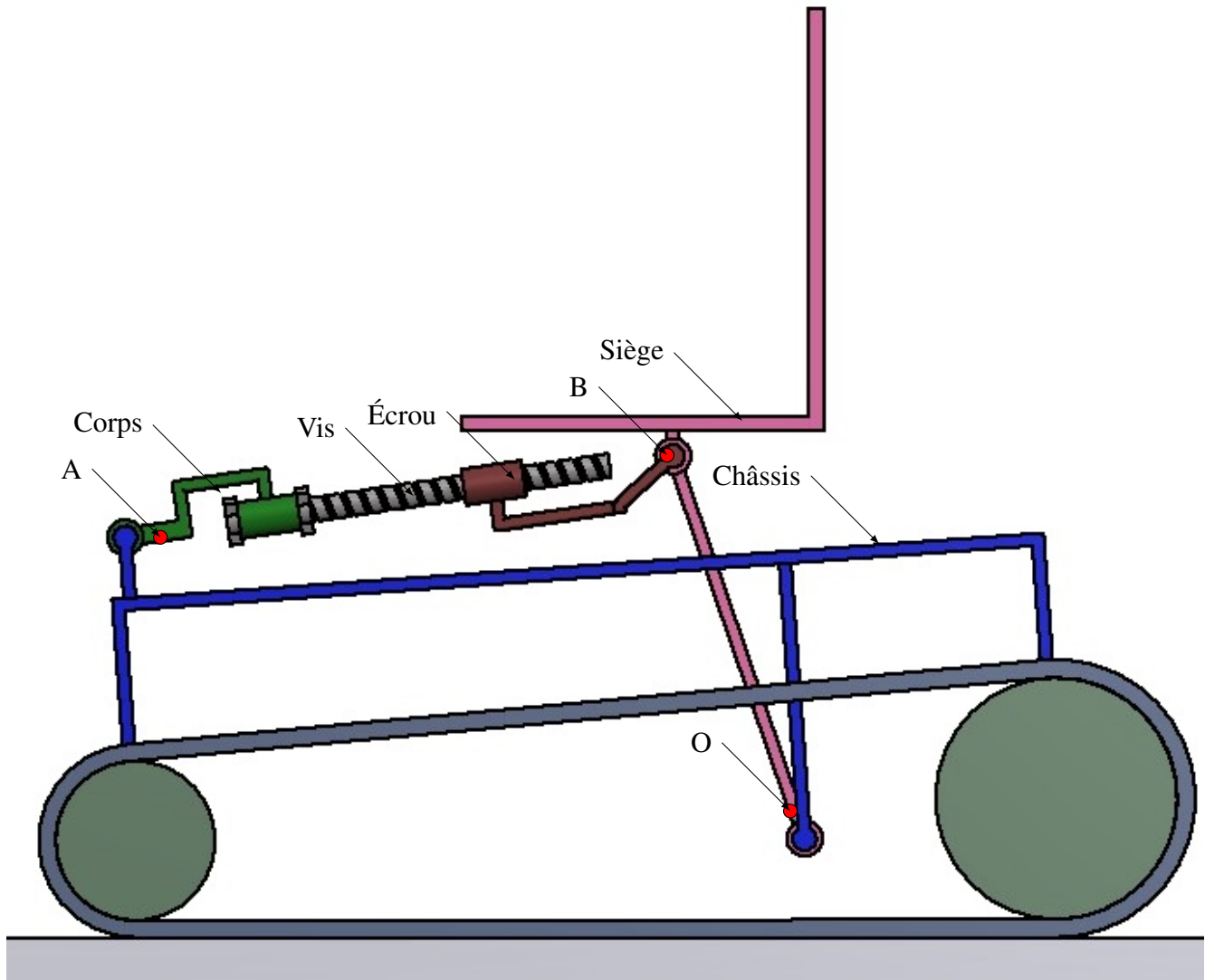


FIGURE 4 : Schéma de structure du mécanisme d'inclinaison du siège, en position horizontale (roues non représentées)

### Question 5

À partir du diagramme de définition des blocs (figure 7), de la description du fonctionnement et du schéma de la figure 4, tracer le diagramme de définition des blocs du sous-système siège.

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.

### Question 6

Compléter le tableau du document réponse DR 5, en précisant le numéro du flux d'information (de  $\text{inf}_1$  à  $\text{inf}_8$  ou d'énergie (de  $E_1$  à  $E_0$ ) de la figure 8.

**Objectif :**

Valider le système asservi d'inclinaison.

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

- la consigne 'inclinaison tapée au clavier par l'utilisateur :  $\alpha_c$ ,
- la position réelle de l'inclinaison du siège :  $\alpha_s$ ,
- l'angle de l'escalier par rapport à l'horizontale considéré comme une perturbation :  $\beta$ .

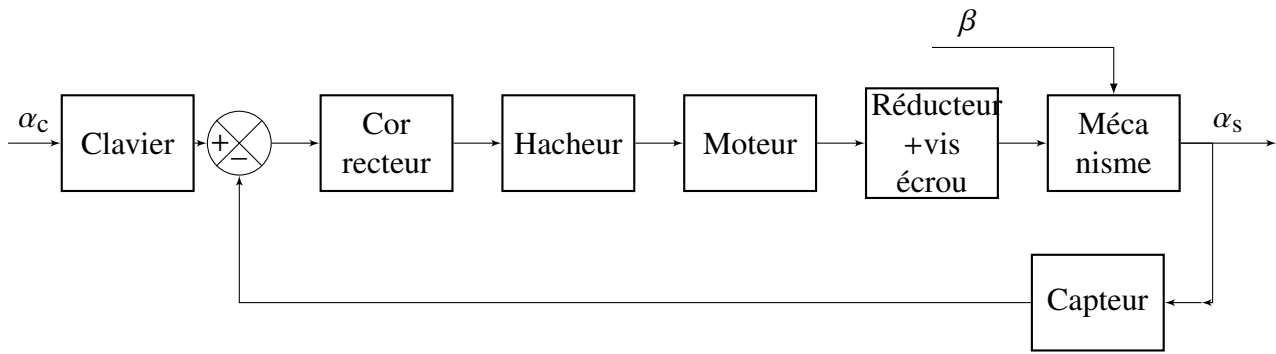


FIGURE 5 : Schéma fonctionnel de l'asservissement d'inclinaison

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  $\alpha_s$  est relevé.

Les différentes réponses temporelles sont fournies dans le document réponse.

### Question 7

Pour chacune d'elles :

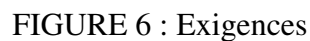
- déterminer le temps de réponse,
- l'erreur indicielle
- le dépassement relatif (s'il existe).

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

### Question 8

Quel réglage préconisez-vous pour cette asservissement.

## A- 1 Diagramme d'exigence





## A- 2 Diagramme de définition des blocs

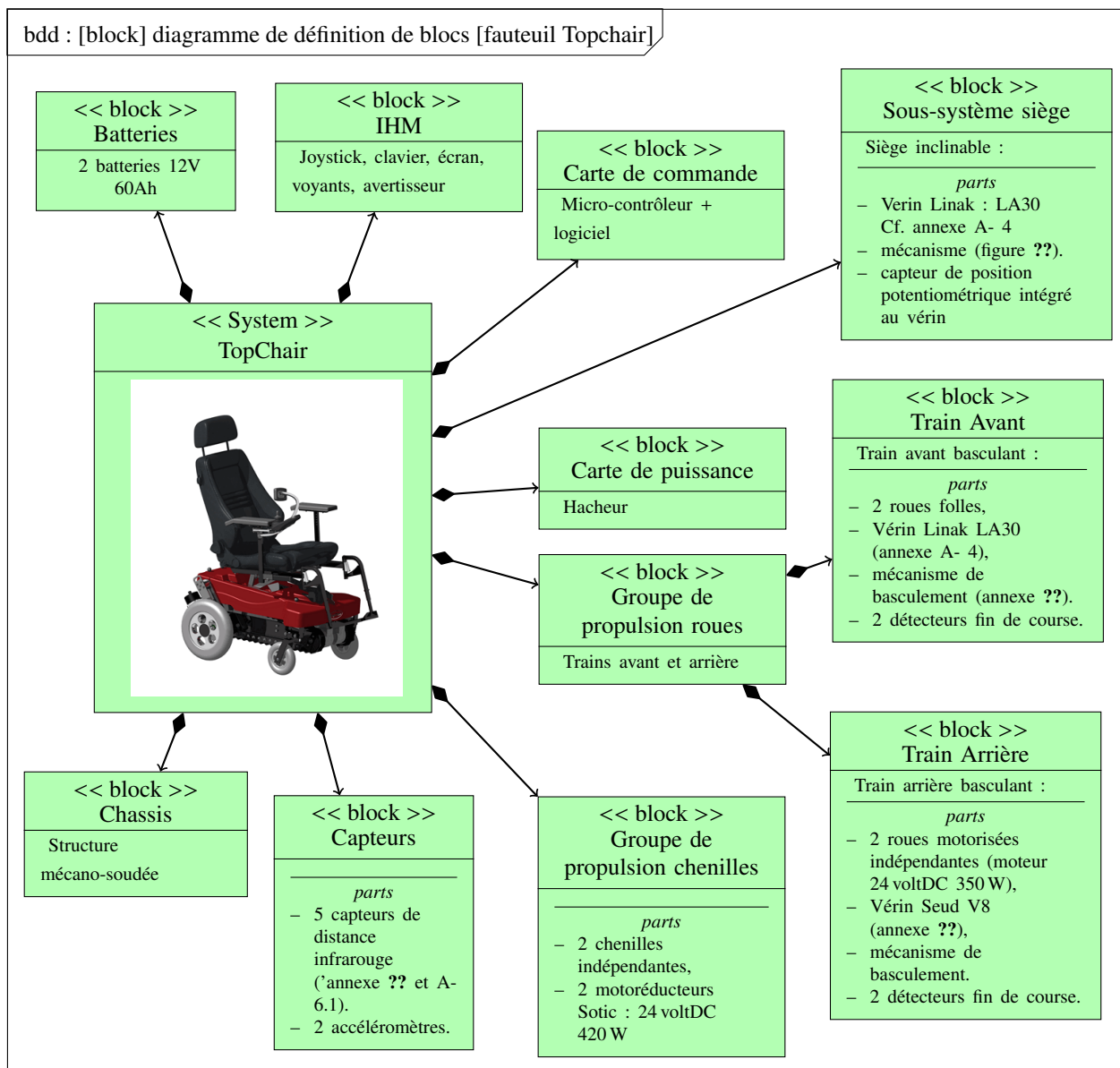


FIGURE 7 : diagramme de définition de blocs du fauteuil TopChair

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

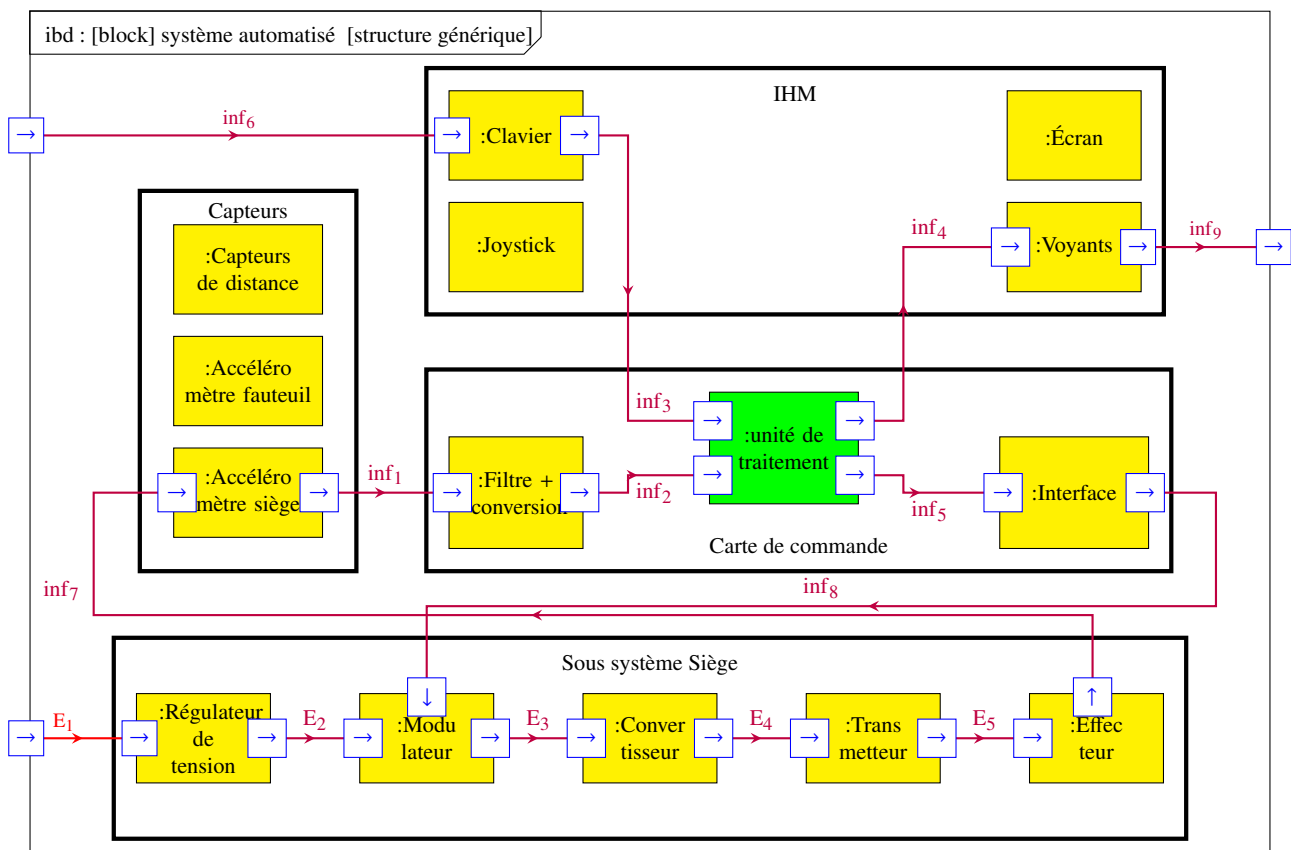


FIGURE 8 : Diagramme des blocs internes limité aux blocs IHM, carte de commande, capteurs et sous-système siège. Seuls les flux relatifs à l'asservissement d'inclinaison du siège sont représentés.

## 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 :  $32 \text{ mm s}^{-1}$  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

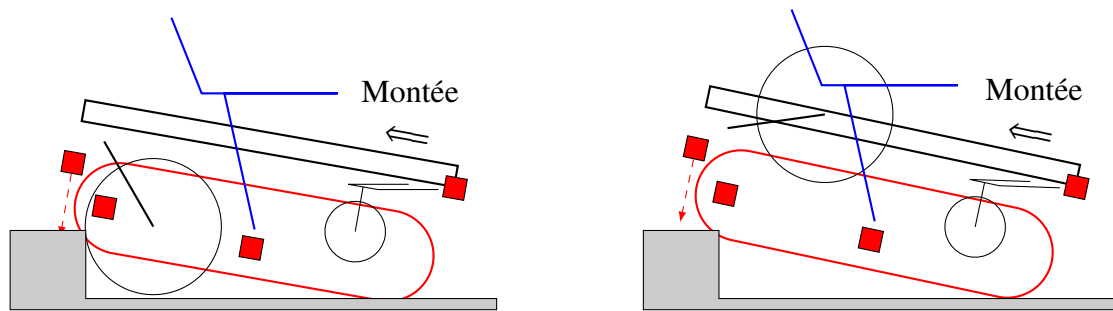
La description ci-dessous se rapporte à la figure 9 page suivante.

**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.

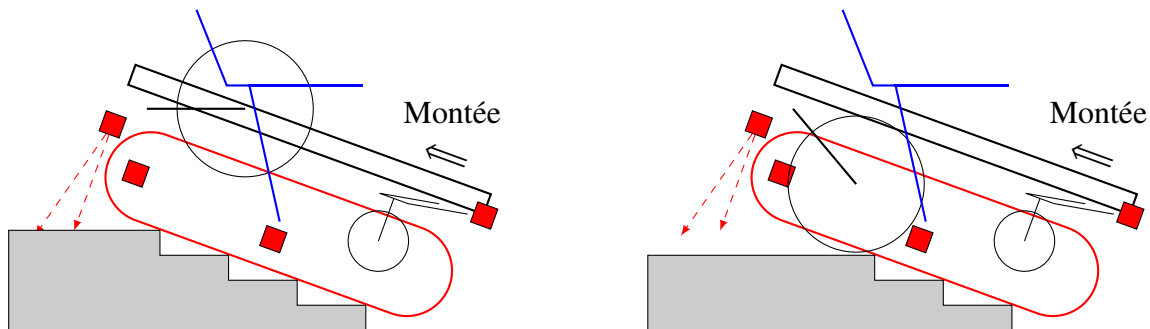
**Détection de la dernière marche à la montée :** les capteurs arrière 1 et 2 permettent de détecter la fin de l'escalier à la montée. On compare les mesures de ces 2 capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.

**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).

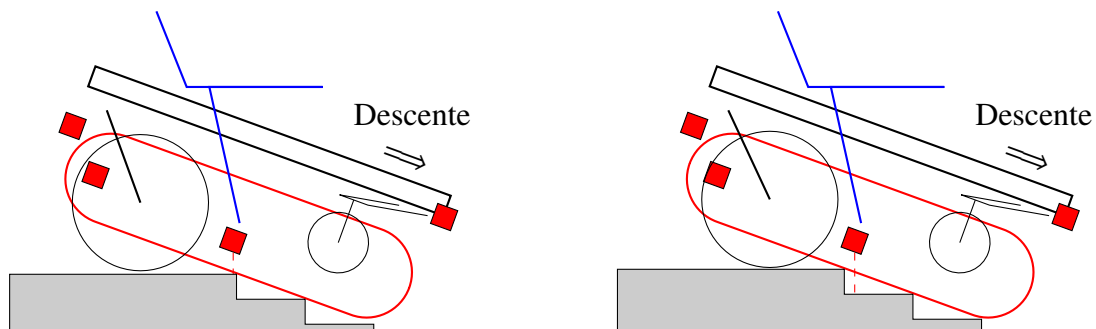
**Détection de la dernière marche à la descente :** les capteurs arrière 3 et milieu permettent de détecter la fin de l'escalier à la descente. On compare les mesures de ces 2 capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.



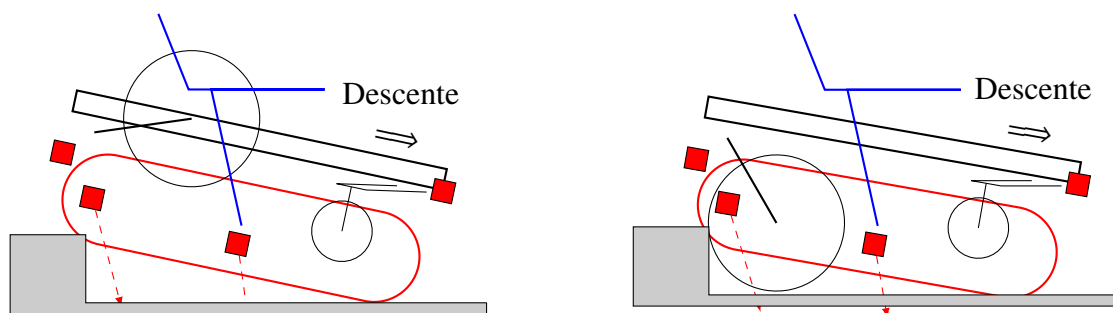
(a) détection de la première marche à la montée



(b) détection de la dernière marche à la montée



(c) détection de la première marche à la descente



(d) détection de la dernière marche à la descente

FIGURE 9 : principe de la détection des marches

## A- 6 Principe de la montée des marches

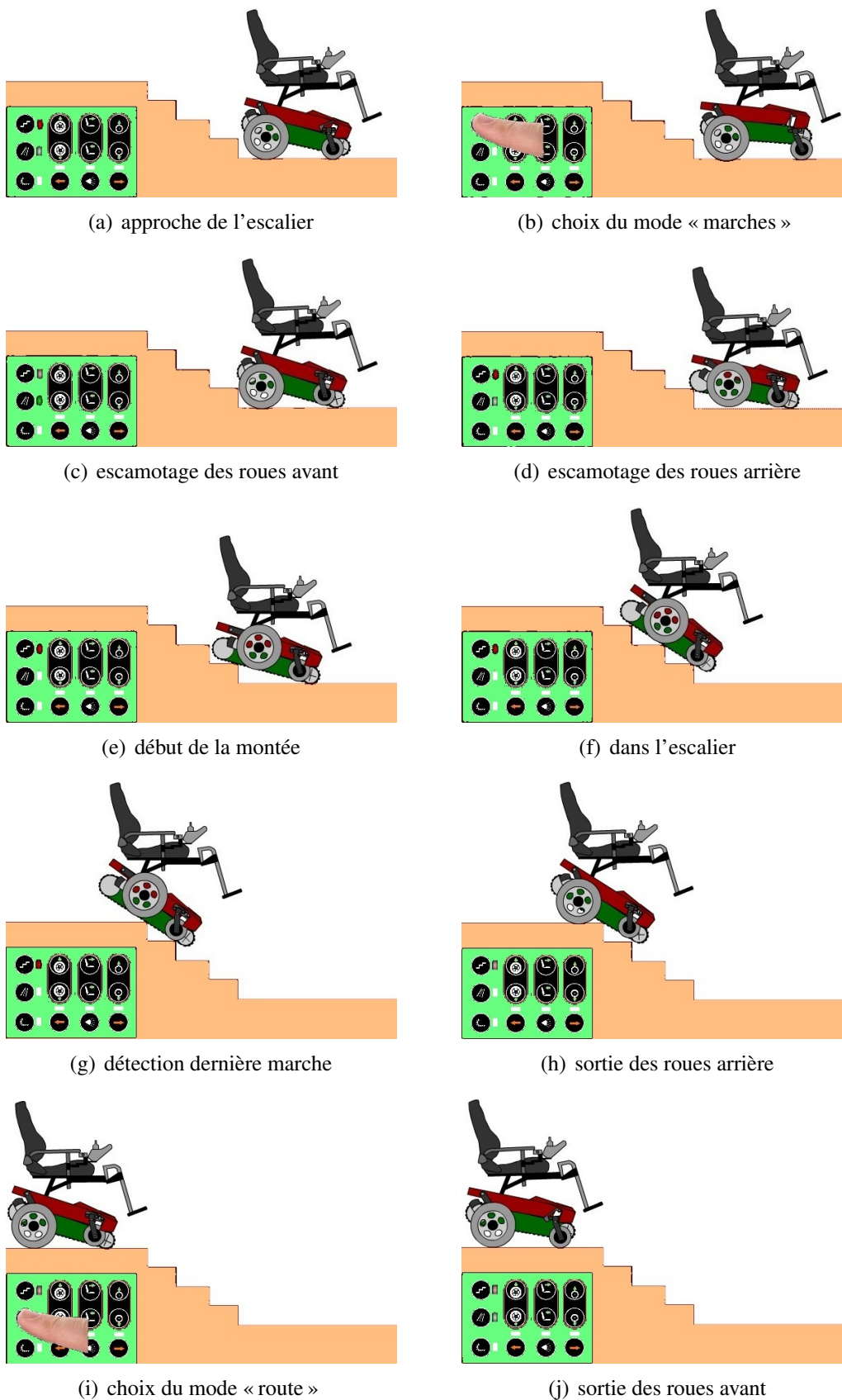


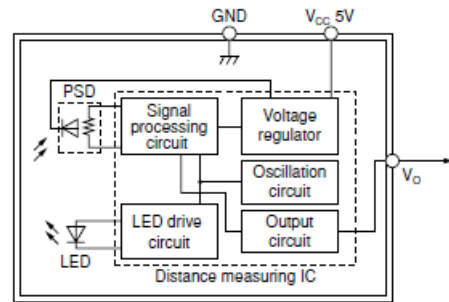
FIGURE 10 : montée des marches

## A- 6.1 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.

### Schémas blocs



### Applications

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

### Caractéristiques électro-optique mesurées par réflexion sur une feuille blanche

Paramètre	Symbole	Conditions	Min.	Typ.	Max	Unité
Distance de mesure	$\Delta L$		20	-	150	cm
Tension de sortie	$V_o$	pour $L = 150$ cm	0,25	0,4	0,55	V
Variation de la tension de sortie	$\Delta V_o$	Pour une distance variant de $L = 150$ 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 $L$

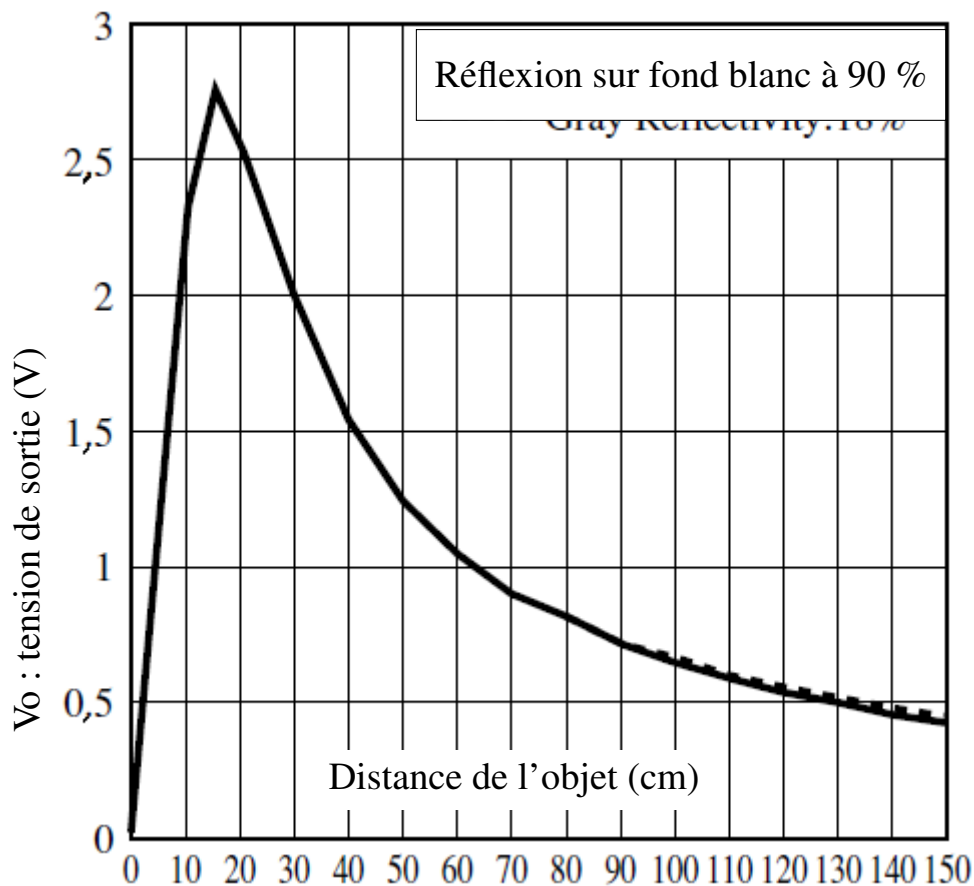


FIGURE 11 : tension de sortie  $V_o$  en fonction de la distance  $d$

# Documents réponses

## DR 1 Modes de fonctionnement

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

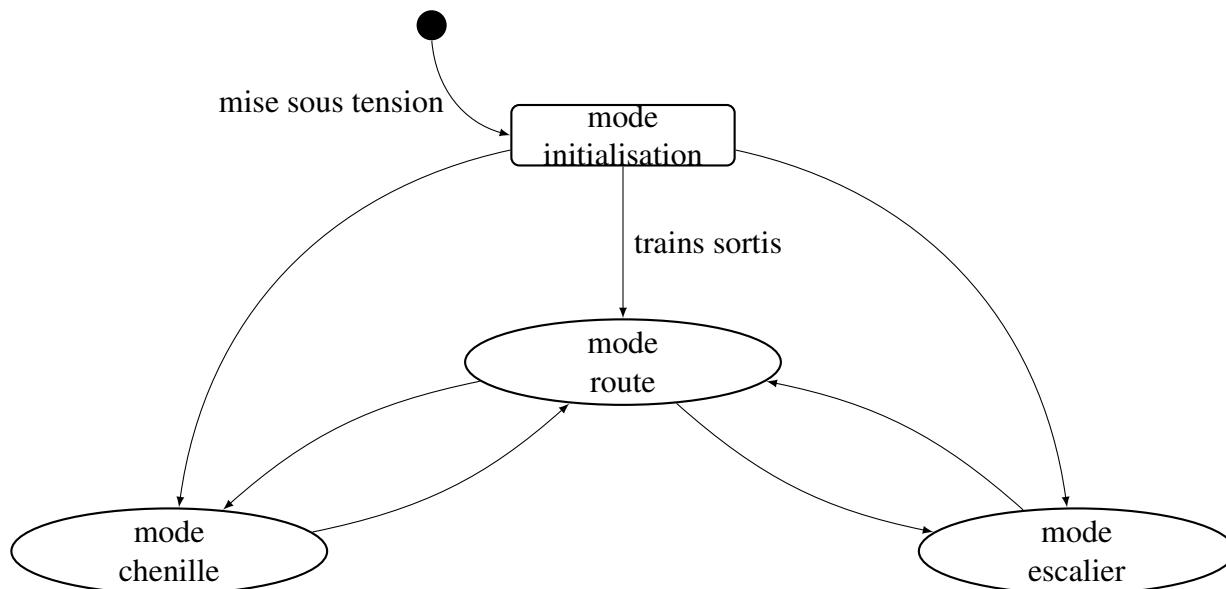
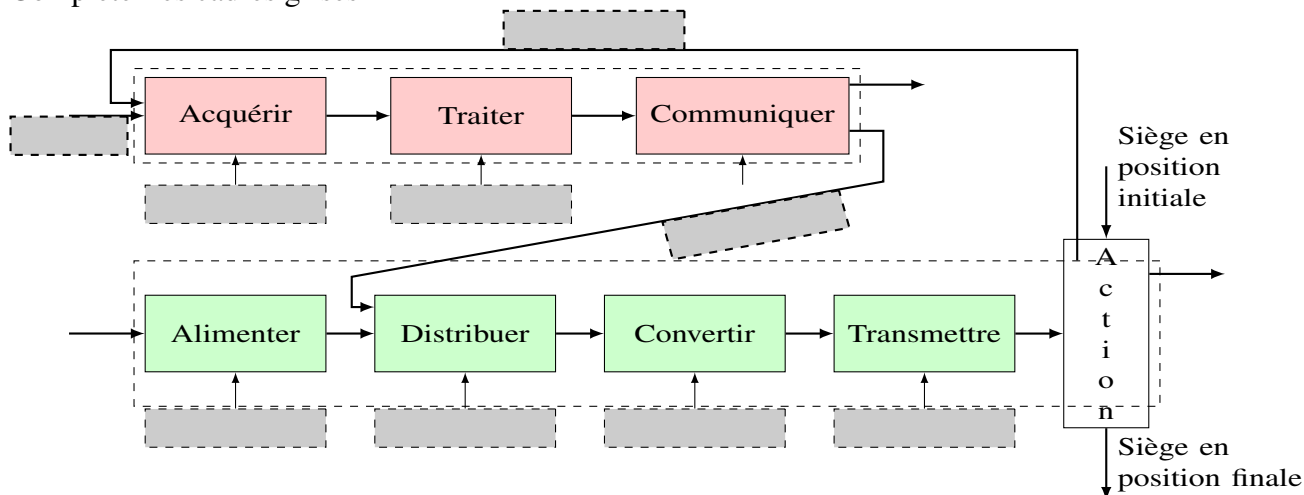


FIGURE 12 : Machine d'état incomplète précisant les différents modes de fonctionnement

## DR 2 Chaînes d'information et d'énergie

Compléter les cadres grisés



DR 3 Exigences

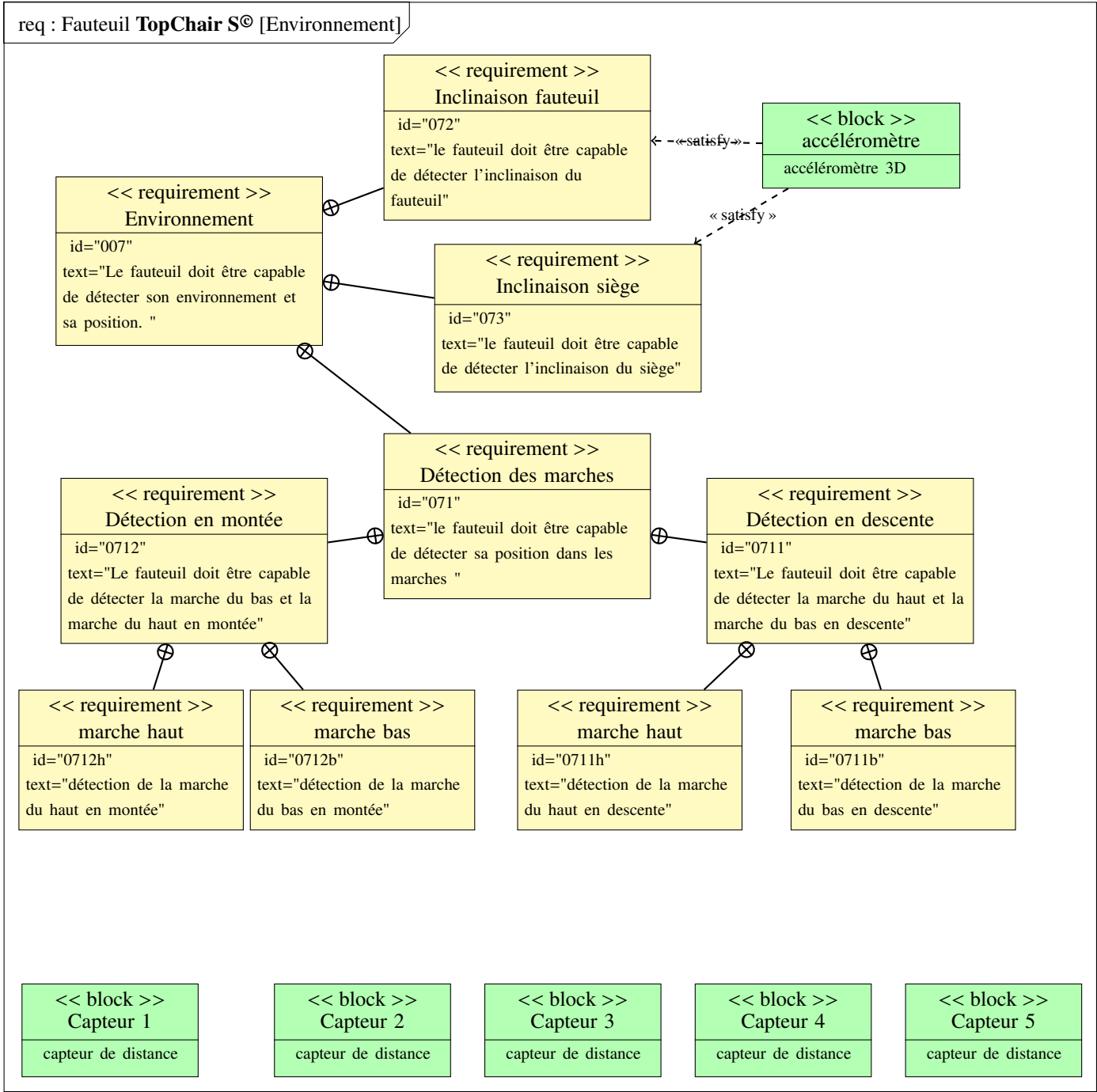


FIGURE 13 : Décomposition de l'exigence : id="007"



DR 4 Capteur de distance

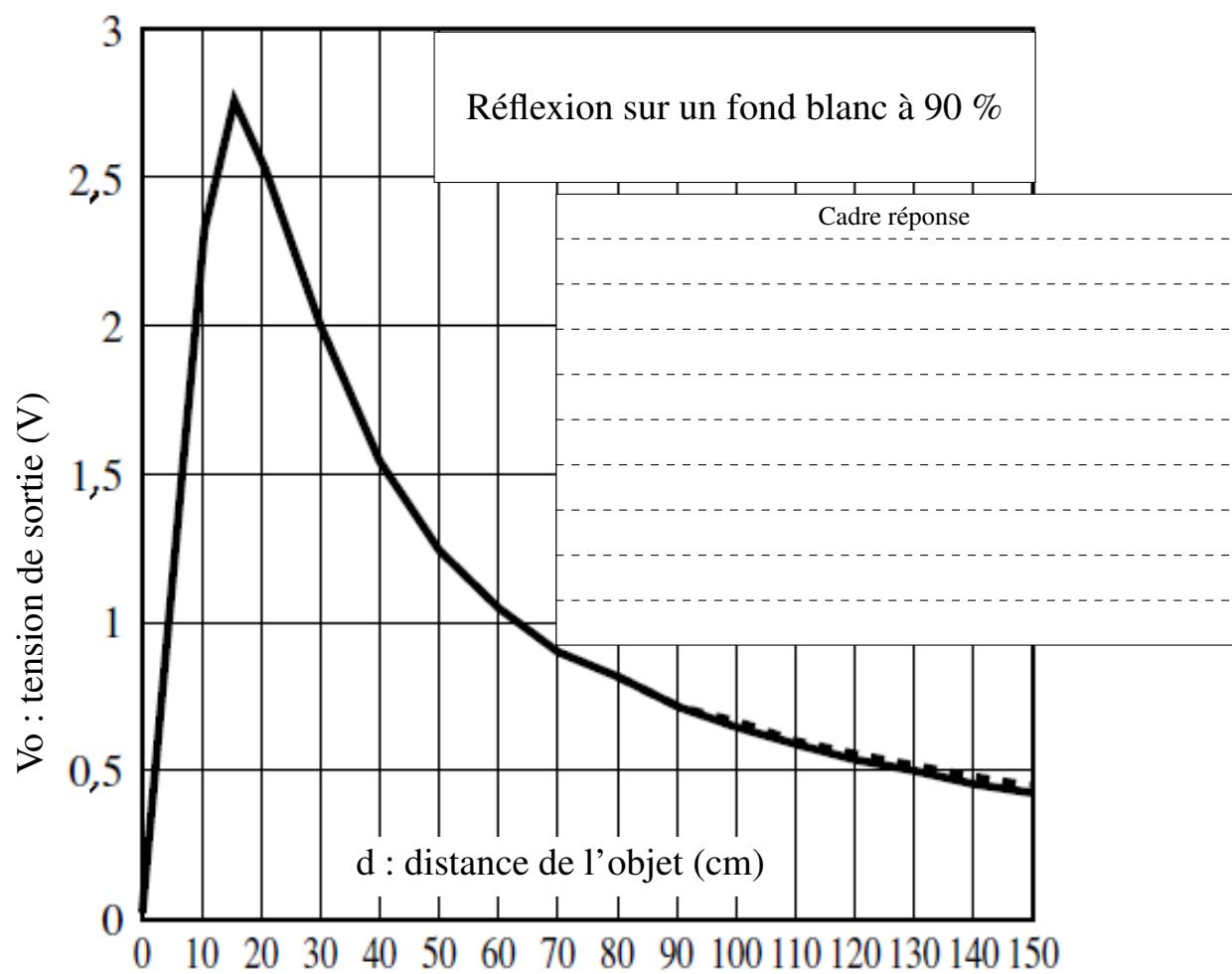


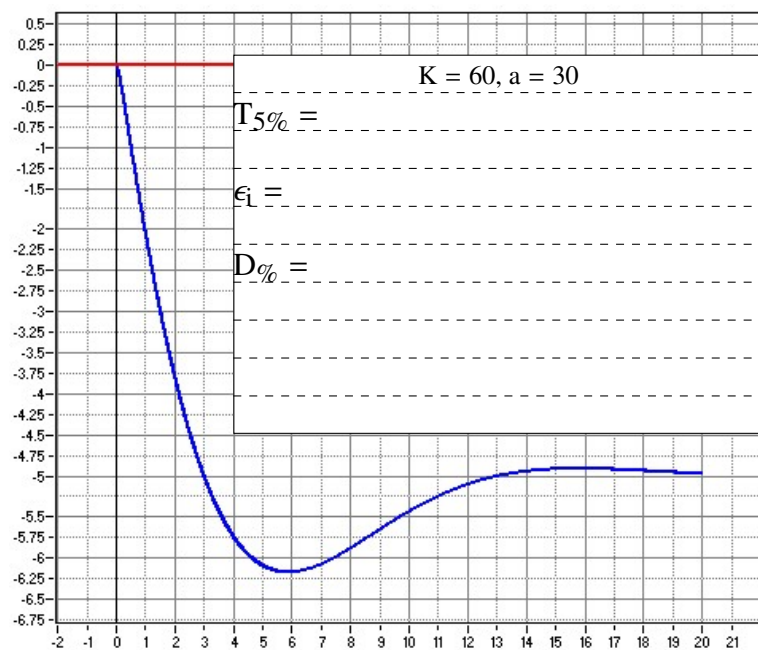
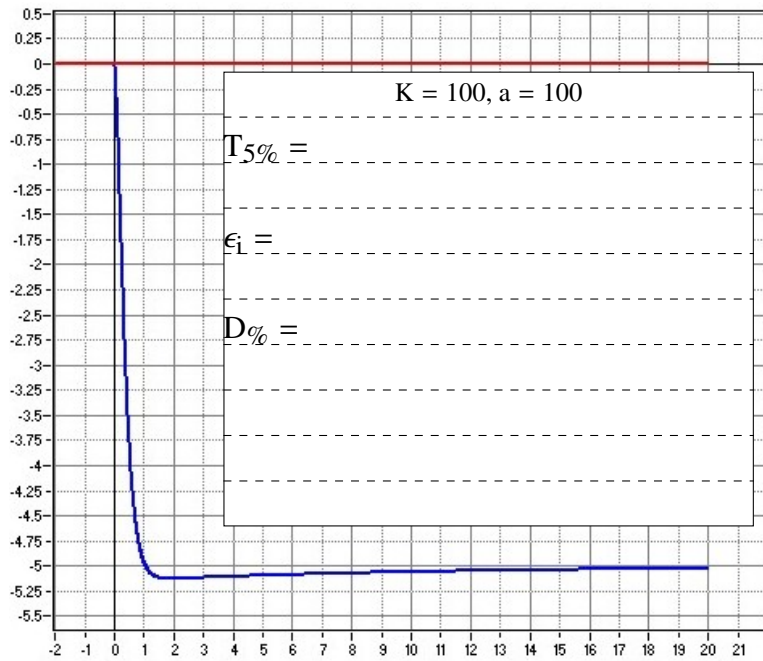
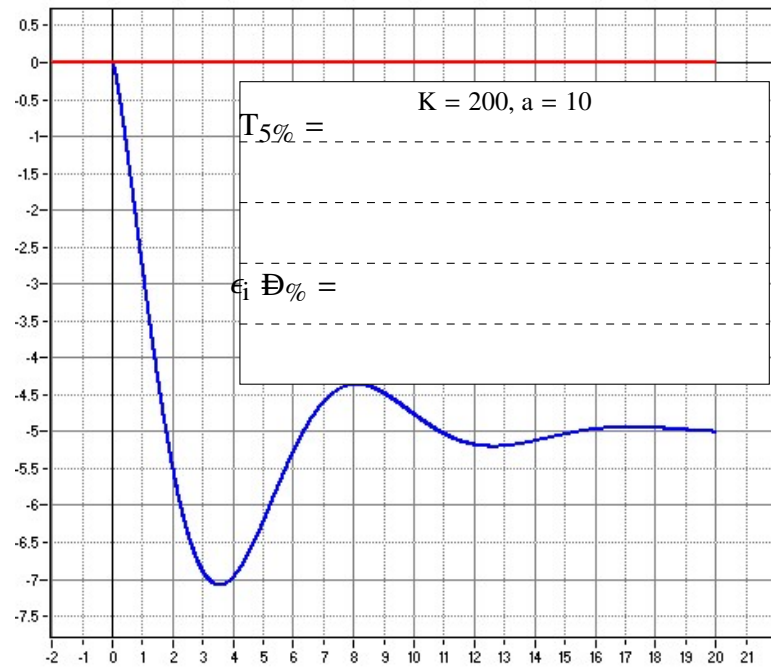
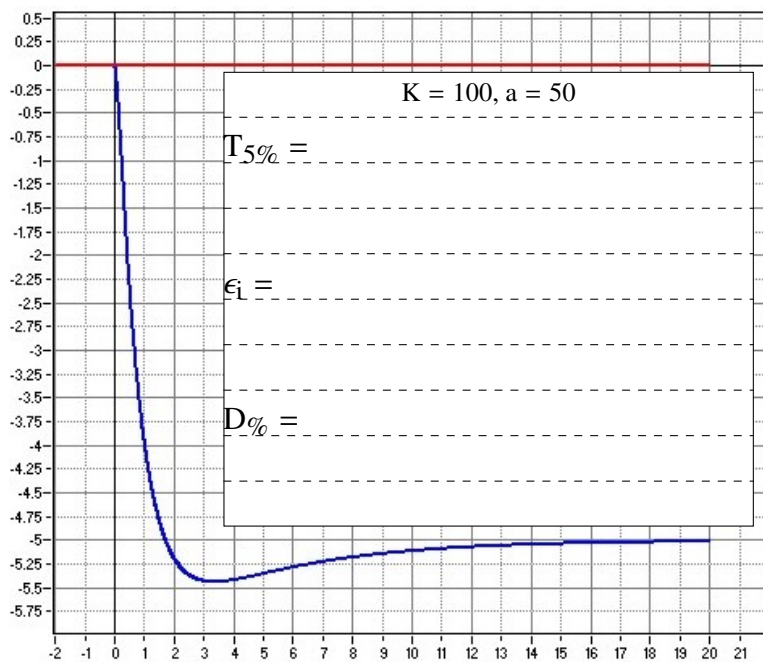
FIGURE 14 : tension de sortie Vo en fonction de la distance d

DR 5 Signaux et Énergies

Signal filtré et converti	
visualisation	
consigne adaptée	
voyant éclairé	
consigne opérateur	inf <sub>6</sub>
inclinaison du siège	

mesure de l'inclinaison	
Énergie de la batterie	E <sub>1</sub>
Énergie mécanique (allongement de la vis)	
Énergie électrique stabilisée	
Énergie mécanique (rotation du moteur)	
Énergie électrique modulée	

## DR 6 Réponses temporelles



Conclure :