

MP, DM de SI

Pour le jeudi 25 septembre 2025

Ce DM est une partie d'une épreuve de concours, il comporte :

- ✓ Un sujet, pages 2, 3, 9, 13, 14 et 15.
- ✓ Un document réponses, page 8.
- ✓ Des annexes, pages 1 et 2.

Ne pas aborder les questions 34 et 35 page 15

WHING : Wheelchair Initiative New Generation

Partie I - Présentation et analyse du système



Figure 1 - Vue du WHING

Le projet WHING (Wheelchair Initiative New Generation) a été initié par l'Association Française contre les Myopathies (AFM) en décembre 2004. Il a pour objet d'imaginer, de réaliser et proposer aux utilisateurs un fauteuil verticalisateur à déplacement motorisé de nouvelle génération avec, comme objectifs associés :

- d'intégrer de nouvelles technologies ;
- de mieux prendre en compte les besoins spécifiques des utilisateurs ;
- d'utiliser une conception modulaire.

À la suite d'un appel d'offre, c'est la société DRK (filiale de Segula Technologie) qui a été retenue pour assurer le développement du produit dont la commercialisation a débuté en avril 2014 (**figure 1**).

Pour répondre aux exigences du cahier des charges, le produit proposé comporte de nombreuses innovations dont certaines font l'objet de brevets qui lui permettent de se démarquer de ses concurrents :

- les positions préprogrammées (**figure 2**) ;

Le fauteuil dispose de 4 positions de base préprogrammées qui sont paramétrées en sortie d'usine. Ces 4 positions sont accessibles par l'intermédiaire du boîtier de commande et peuvent être redéfinies par l'utilisateur.

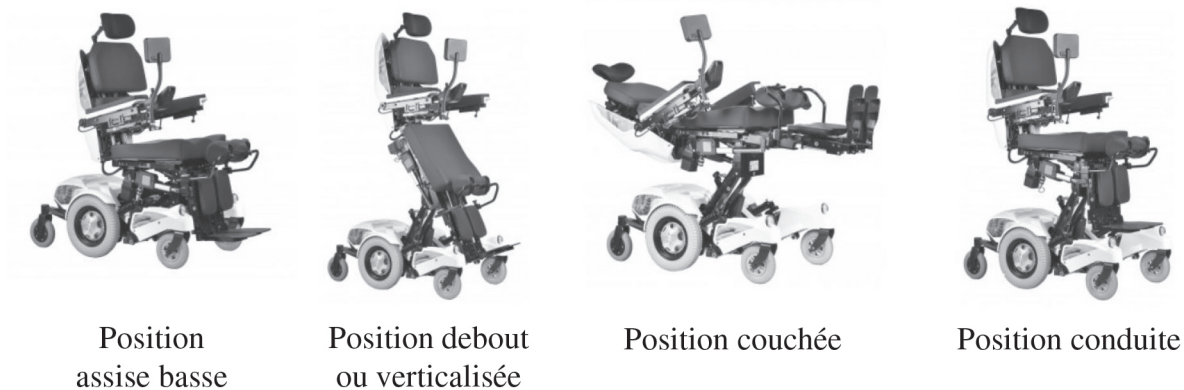


Figure 2 - Positions préprogrammées du fauteuil

- une base roulante à six roues indépendantes (**figure 3**) ;

Les roues centrales motrices autorisent un faible rayon de giration, la base roulante forte de ses 6 roues indépendantes et amorties assure la stabilité et la motricité du fauteuil quel que soit le profil du terrain rencontré.

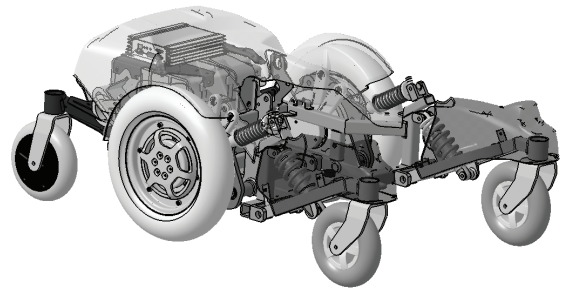


Figure 3 - Base roulante

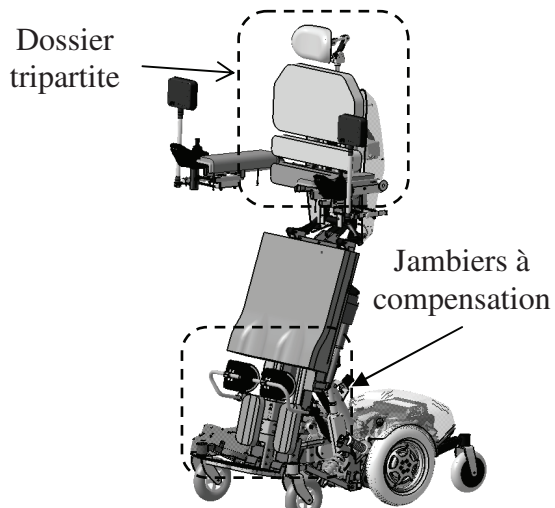


Figure 4 - Innovations du système

- un dossier tripartite et des jambiers indépendants à compensation (**figure 4**).

Ces éléments innovants participent à l'amélioration du confort de la personne à mobilité réduite (PMR) au quotidien, quelle que soit la position utilisée.

Analyse du système : modélisation SysML

Objectif : appréhender la constitution et le fonctionnement du système objet de notre étude à la lecture de la modélisation SysML.

- Q1.** Définir, à la lecture du diagramme des exigences partiel fourni en **annexe 1**, les performances attendues du système en terme de vitesse, de charge admissible et de temps de verticalisation.
- Q2.** Déterminer au moyen du diagramme de définition des blocs, fourni en **annexe 2**, le nom des deux parties constituant le système WHING.
- Q3.** Déterminer pour chacune des parties identifiées précédemment le nombre et le type d'actionneurs qui la constituent.
- Q4.** Préciser, en vous basant sur l'**annexe 2**, la technologie des capteurs associés aux actionneurs de l'assise.

II.3-Étude du mécanisme de basculement de l'assise

Objectif : vérifier les performances du système réalisant le basculement de l'assise lors de la verticalisation de la PMR.

L'identification des pièces est celle de l'annexe 8. Dans cette étude, le vérin d'élévation (1 + 2) est supposé totalement déployé. Le pontet (5) se trouve à sa hauteur maximale évitant ainsi d'éventuelles collisions entre la structure repose-pied et le sol lors de la verticalisation. La base roulante est horizontale et seul le vérin de basculement d'assise (6 + 7) est actionné. Le modèle d'étude est celui de la figure 10.

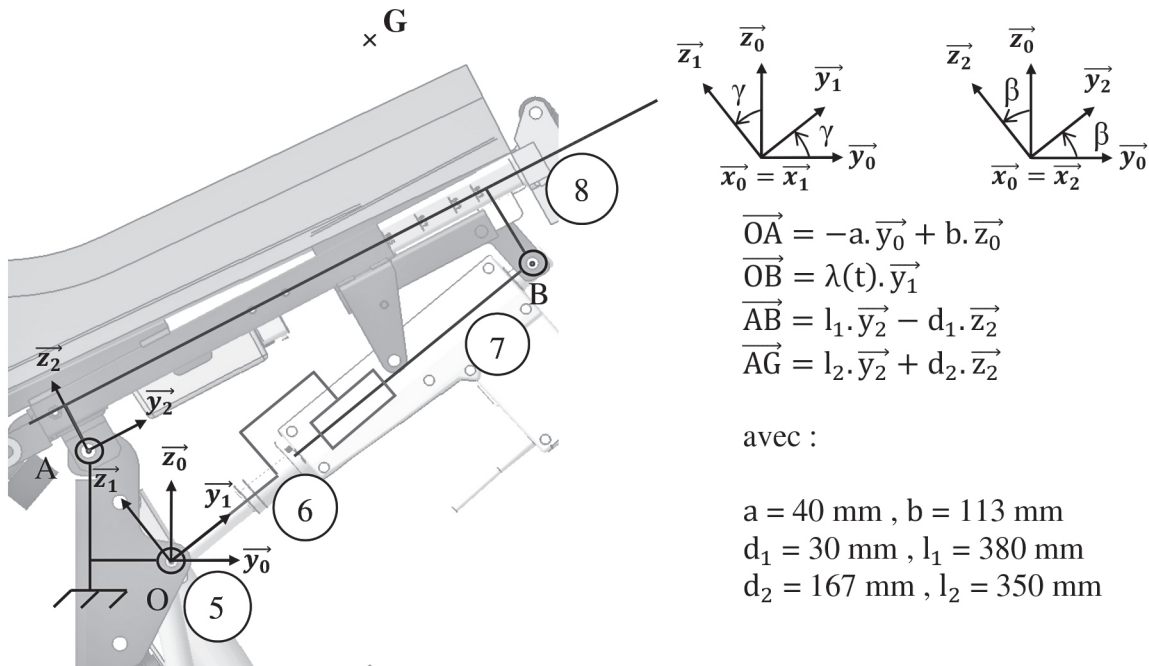


Figure 10 - Modèle du mécanisme de basculement d'assise

Q19. Déterminer les relations issues de la fermeture géométrique liant les paramètres γ , β et $\lambda(t)$. En déduire l'expression de γ en fonction de β .

Hypothèses :

- le modèle d'étude est supposé plan ;
- les liaisons sont parfaites ;
- la masse M de l'ensemble {PMR + Assise (8)} est de 207 kg ;
- le mouvement étant lent, une étude statique est menée.

Une simulation numérique (figure 11, page 10) a permis de déterminer l'évolution de la vitesse de rotation ainsi que l'effort au sein de la liaison pivot entre 7 et 8 en B en fonction de l'inclinaison β du siège.

Partie III - Changement de motorisation

Objectif général : évaluer les apports d'une nouvelle motorisation pour l'utilisation du WHING.

III.1-Détermination du couple des moteurs-roues.

Objectif : vérifier que les groupes motoréducteurs des roues motrices permettent le démarrage du WHING sur une pente de 15°.

L'exigence Id = "1.4.5" (**annexe 1**) indique que le fauteuil doit être capable de gravir une pente pour monter dans un véhicule de transport. La pente maximale est de 15°. Les caractéristiques du moteur-roue sont données dans le diagramme de définition des blocs en **annexe 2**.

Pour valider cette exigence, le cadre de l'étude est le suivant :

Les hypothèses d'étude sont :

- le référentiel $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au sol est supposé galiléen ;
- le WHING se déplace en ligne droite dans une phase de montée, le problème est considéré comme un problème plan. Les effets dynamiques sont négligés car la vitesse de déplacement du fauteuil est faible ;
- le référentiel $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ est lié au WHING avec $\vec{x}_0 = \vec{x}_1$;
- $\vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{z}_0$ est l'action de la pesanteur et G le centre de gravité de l'ensemble {fauteuil + PMR} ;
- le modèle adopté est équivalent à un seul moteur fournissant un couple C_m avec l'action de la pesanteur ramenée au centre de gravité égale à $\frac{P}{2}$;
- le contact des roues avec le sol se fait avec frottement, on note f le facteur de frottement de valeur 0,45 ;
- la résistance au roulement modélise la déformation du pneumatique.

La résistance au roulement illustrée à la **figure 12**, se traduit par un décalage du point d'application de l'action mécanique de contact vers l'avant du fauteuil (dans le sens de l'avancement). La résultante des forces passe en un point A à une distance δ de l'axe de rotation. Cette distance est par définition le coefficient de résistance au roulement.

La **figure 13** et le **tableau 1**, page 14, donnent le paramétrage de l'étude en phase de montée d'une pente et les dimensions du WHING.

Sur la **figure 13**, page 14, les points A_S , B_S et C_S correspondent aux points d'application des actions mécaniques du sol sur les roues avant, motrices et arrière du fauteuil.

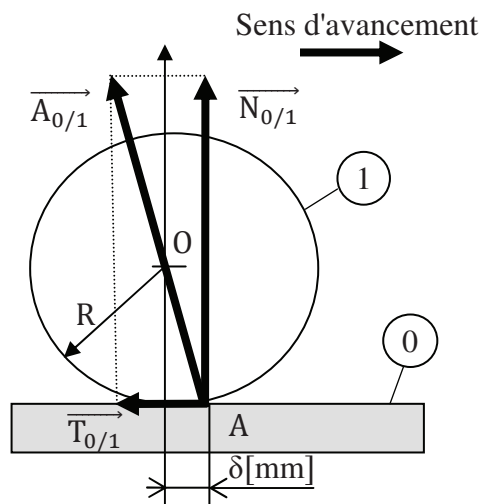


Figure 12 - Illustration de la résistance au roulement

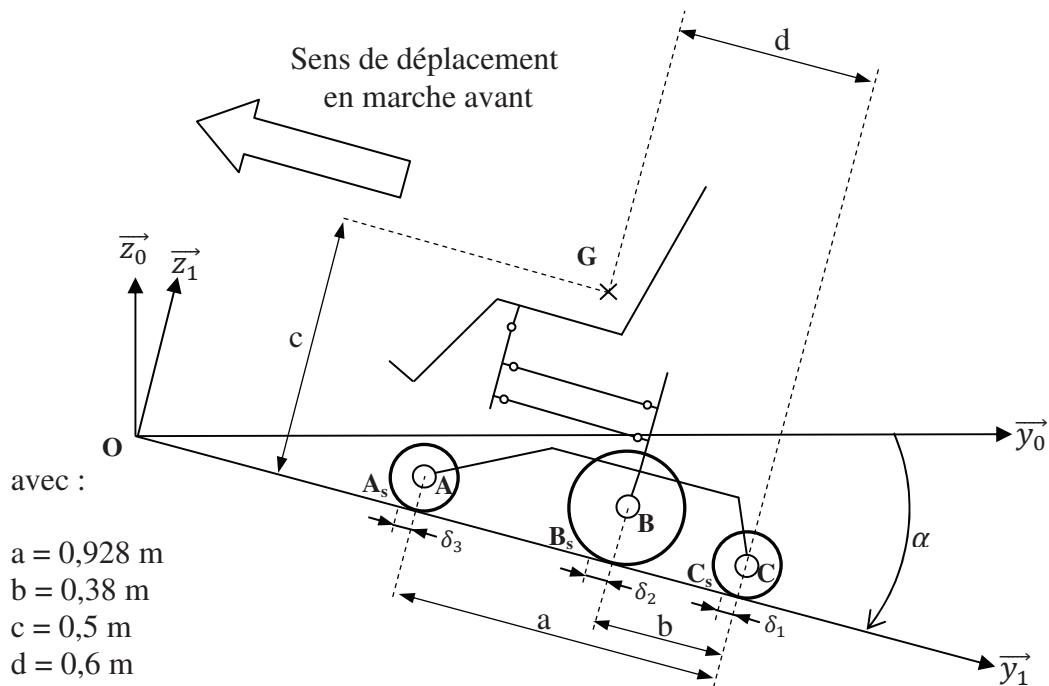


Figure 13 - WHING + PMR (non représentée) sur un plan incliné

| | |
|--|---|
| Diamètre roue arrière | $D1 = 0,180 \text{ m}$ |
| Diamètre moteur-roue | $D2 = 0,336 \text{ m}$ |
| Diamètre roue avant | $D3 = 0,200 \text{ m}$ |
| Masse (fauteuil : 167 kg et PMR : 120 kg) | $m = 287 \text{ kg}$ |
| Pente du sol | $\alpha = 15^\circ$ attention α est négatif sur la figure 13 |
| Coefficient résistance au roulement d'une roue arrière | $\delta_1 = 0,001 \text{ m}$ |
| Coefficient résistance au roulement d'une roue motrice | $\delta_2 = 0,004 \text{ m}$ |
| Coefficient résistance au roulement d'une roue avant | $\delta_3 = 0,002 \text{ m}$ |
| Rapport de réduction du moteur-roue | $i = 8,78$ |
| Rendement du réducteur | $\eta = 0,9$ |

Tableau 1 - Tableau de données

Q29. Porter sur le **document réponse DR 6** :

- l'action de la pesanteur ;
- les actions de contact du sol sur les roues. Pour un point A, la composante normale sera notée \vec{N}_A et la composante tangentielle \vec{T}_A . Le sens d'une composante tangentielle est différent si la roue est motrice ou folle ;
- le couple \vec{C}_{red} , couple à la sortie du réducteur du moteur-roue.

Q30. Appliquer le principe fondamental de la statique à l'ensemble WHING + PMR isolé et écrire les 3 équations dans la base R_I en fonction des données littérales. L'équation de moment sera exprimée au point B_S .

Q31. Isoler la roue arrière, puis la roue avant et déterminer une équation issue du principe fondamental de la statique (PFS) donnant la composante normale de l'action du sol sur la roue, en fonction des paramètres géométriques et de la composante tangentielle.

Q32. Isoler la roue motrice et déterminer une équation issue du PFS donnant $\overrightarrow{C_{red}}$ en fonction des données géométriques, de $\overrightarrow{N_{BS}}$ et de $\overrightarrow{T_{BS}}$.

En supposant que le contact du sol sur la roue motrice se fait à la limite de glissement, on obtient un système de 7 équations à 7 inconnues.

La résolution de ce système donne les résultats suivants : $\overrightarrow{N_{BS}} \cdot \overrightarrow{z_1} = 1\,140\text{ N}$ et $\overrightarrow{T_{BS}} \cdot \overrightarrow{y_1} = -350\text{ N}$.

Q33. Justifier que la composante $\overrightarrow{T_{BS}} \cdot \overrightarrow{y_1}$ est négative.

À partir des valeurs de $\|\overrightarrow{N_{BS}}\|$ et $\|\overrightarrow{T_{BS}}\|$, déterminer la valeur de $\|\overrightarrow{C_m}\|$ et conclure vis-à-vis des exigences du cahier des charges.

III.2-Amélioration des performances du système

Objectif : estimer les différents apports d'une nouvelle motorisation.

La nouvelle motorisation utilise des moteurs-roues AC Brushless à rotor extérieur comme ceux de la **figure 14**. Il s'agit de moteurs triphasés à aimants permanents à formes d'ondes sinusoïdales, complètement intégrés dans le moyeu de la roue. En s'appuyant sur l'étude de l'ancienne motorisation (**Partie III.1**), le choix s'est porté sur le moteur "Smart Pie Plus " 12 pouces ; le nouveau diamètre des roues D_2 est alors de 30,5 cm.

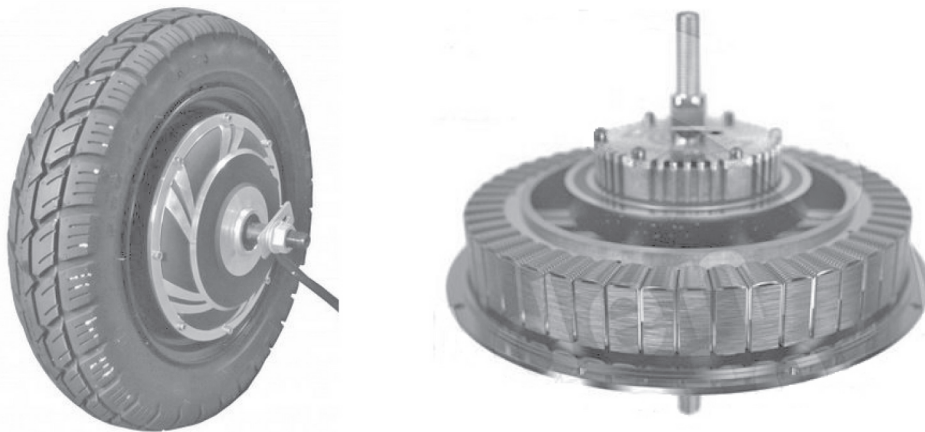


Figure 14 - Moteur-roue AC brushless

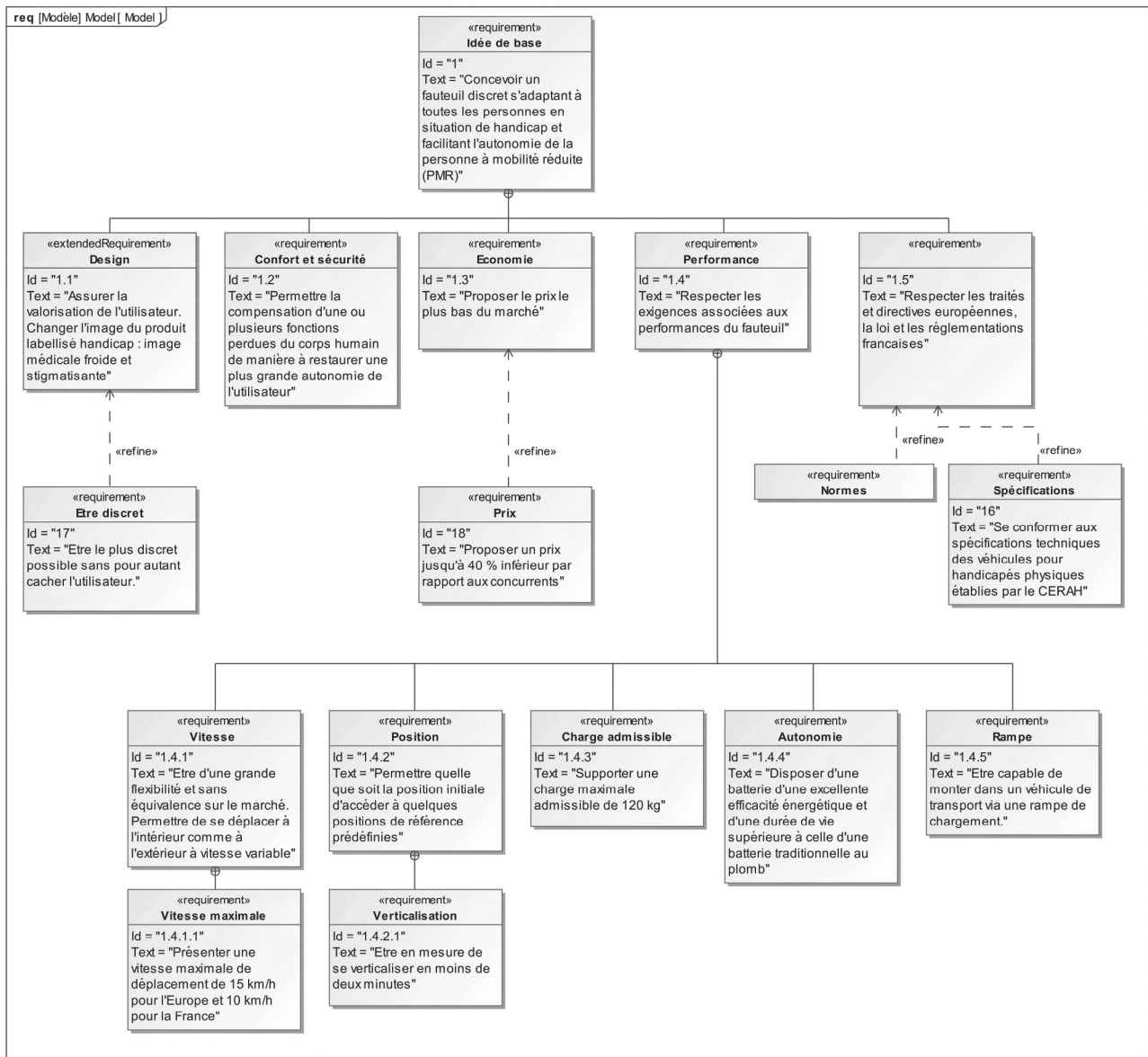
Q34. Donner des avantages et des inconvénients de l'utilisation de la machine synchrone brushless en variation de vitesse, par comparaison avec les machines asynchrones et les machines à courant continu.

Dans la documentation donnée en **annexe 13**, on constate que l'utilisation de la machine synchrone brushless permet de réaliser ce que l'on appelle un entraînement direct.

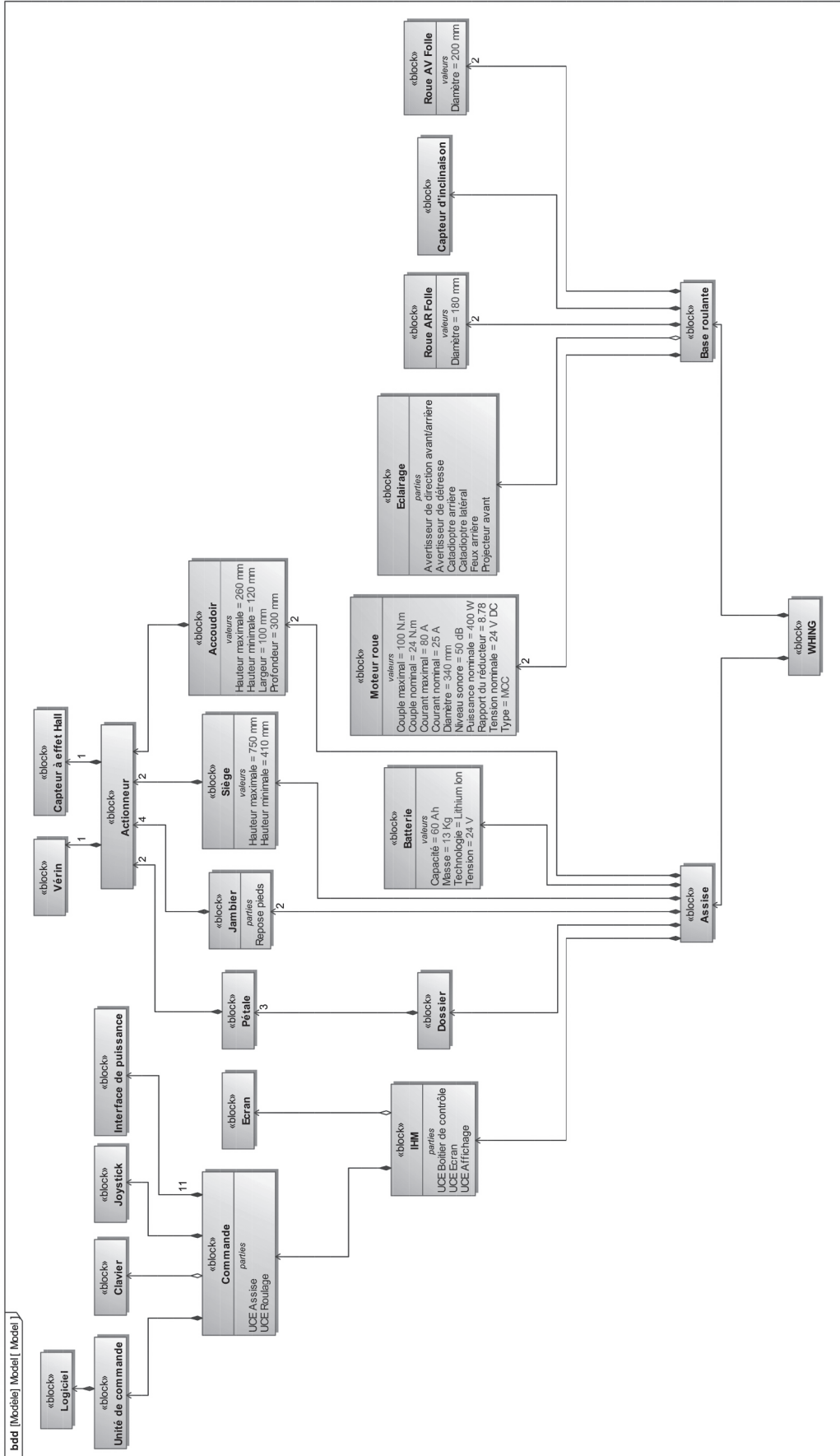
Q35. Définir ce qu'est un entraînement direct en vous aidant de la documentation. Quels en sont les avantages supposés ?

Afin de maîtriser la dynamique du fauteuil, il est nécessaire de contrôler celle des moteurs, ce qui passe par le contrôle des couples électromagnétiques C_{em} de ces derniers.

Annexe 1 - Diagramme des exigences partiel

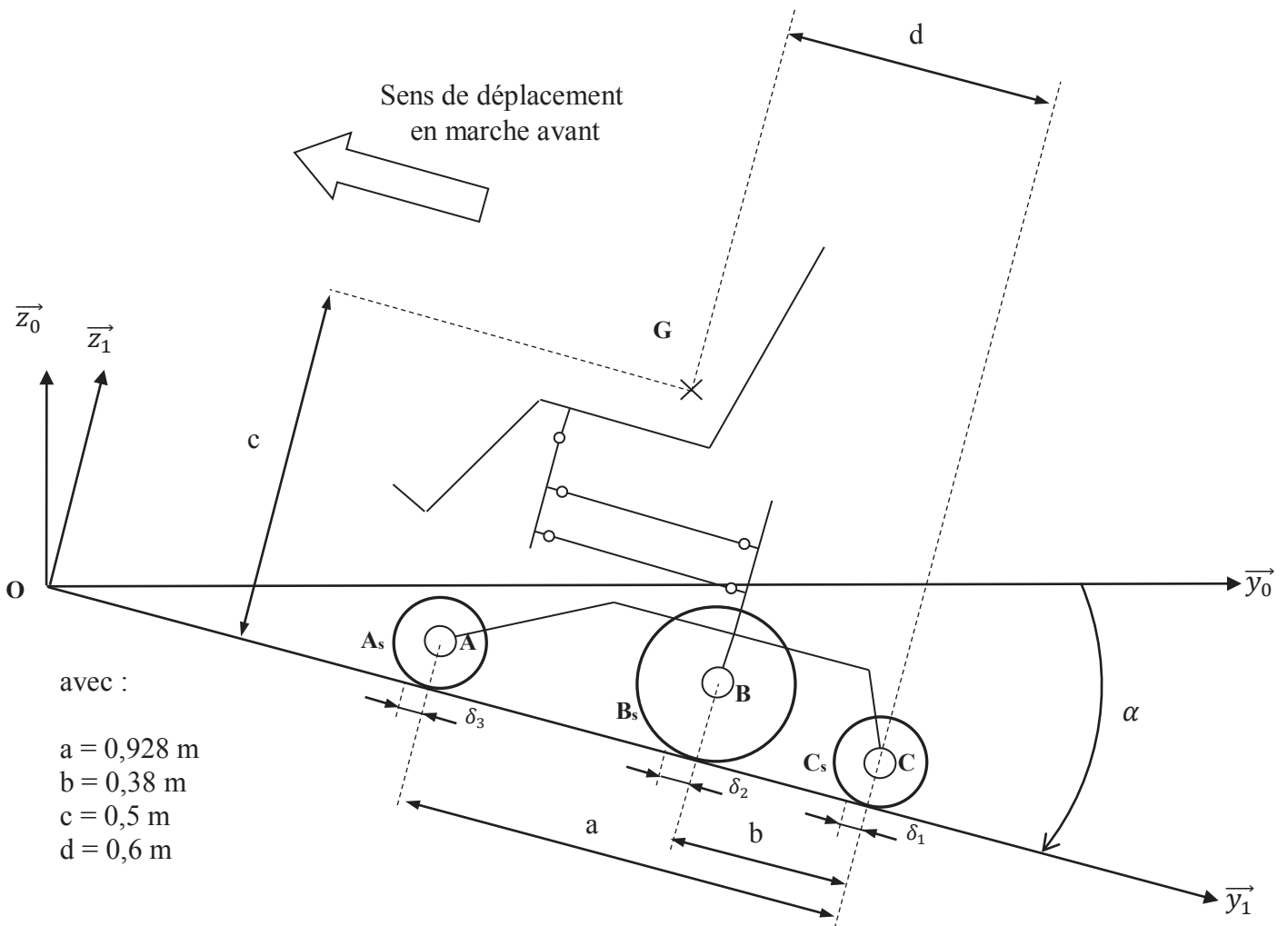


Annexe 2 - Diagramme de Définition des Blocs du système



Document réponse DR 6

Question 29 :



Fauteuil en phase de montée