

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2016

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999

Fauteuil roulant à assistance électrique



Constitution du sujet

- **texte**..... pages 3 à 14
 1. Analyse du besoin, réponse au besoin
 2. Analyse fonctionnelle
 3. Paramètres de réglages de l'assistance
 4. Réglage manuel du capteur
 5. Élaboration de la loi de commande de l'actionneur électrique
 6. Vérification de l'autonomie du fauteuil
 7. Conclusion
- **documents techniques**..... pages 15 à 19
- **documents réponses**.....pages 20 à 24

Les documents réponses DR1 à DR5 sont à rendre avec les copies.

Conseils au candidat

Vérifier que le dossier contient bien tous les documents définis ci-dessus.

La phase d'appropriation du système passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est conseillé de consacrer environ 15 minutes à cette phase de découverte.

Mise en situation

Suite à un accident de la route, monsieur M. a perdu l'usage de ses membres inférieurs. Il se déplace maintenant à l'aide d'un fauteuil roulant. Ses membres supérieurs ont aussi été atteints : il peut seulement soulever une masse de 1 à 2 kg. Il passe une partie de sa journée chez lui, mais il est souvent amené à parcourir à l'extérieur des distances assez importantes dans les rues de sa ville (plusieurs kilomètres).

Pour son bien-être, monsieur M. doit stimuler ses fonctions musculaires et se déplacer à l'aide de son fauteuil de façon autonome. Ses jambes ne pouvant pas supporter son poids, il ne lui est pas nécessaire de disposer de la fonction de verticalisation pour son fauteuil.

Le fauteuil roulant est répertorié dans la liste des produits et prestations remboursables de la sécurité sociale. Dans cette liste, on classe les fauteuils en trois catégories : les fauteuils roulants à propulsion manuelle, à propulsion par moteur électrique (simple assistance ou tout électrique) et les fauteuils verticalisateurs (voir figure 1).

Fauteuil roulant à propulsion manuelle	Fauteuil roulant à assistance électrique	Fauteuil roulant tout électrique	Fauteuil roulant verticalisateur
			

Figure 1 : types de fauteuils

Le choix et la prescription du fauteuil roulant électrique (mais parfois aussi manuel) nécessitent une évaluation par une équipe pluridisciplinaire réunissant des professionnels de la médecine physique et de réadaptation, de l'ergothérapie ou de la kinésithérapie, et parfois de l'assistance sociale.

Le cahier des charges prend en compte :

- la pathologie de la personne, ses déficiences, son incapacité, le temps passé dans son fauteuil (utilisation quotidienne ou occasionnelle) ;
- son environnement, intérieur et/ou extérieur, son lieu de vie et/ou de travail ;
- ses projets, sa vie quotidienne, ses activités sportives.

1 Analyse du besoin, réponse au besoin

Objectif de cette partie : analyser le besoin à l'origine du développement de ce type d'assistance à la mobilité.

Q1. L'équipe médicale propose à monsieur M. un fauteuil roulant à assistance électrique. **Justifier** ce choix.

La société Invacare propose un système d'assistance électrique pour fauteuil roulant : le e-motion M15. Monsieur M. pourra l'utiliser malgré la force limitée de ses bras, comme un fauteuil manuel.

Principe général

Le système e-motion M15 permet l'assistance pour le déplacement en fauteuil roulant et une rééducation thérapeutique des membres supérieurs. Il intègre des moteurs électriques dans les moyeux de roues et assiste efficacement le mouvement de poussée de l'utilisateur du fauteuil roulant. Lorsque celui-ci exerce un effort sur la main courante d'une roue, le moteur électrique démarre et entraîne la roue.

L'utilisateur demeure en mouvement et stimule les fonctions musculaires de ses bras. Les muscles et articulations sont soulagés. Il suffit de très peu d'efforts physiques de la part de l'utilisateur pour se déplacer par lui-même et accroître ainsi son rayon d'action.



Figure 2 : vue d'ensemble

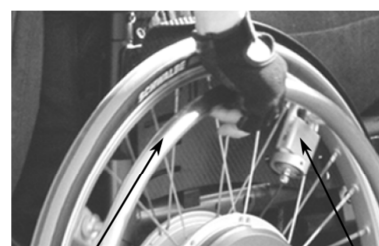


Figure 3 : détail de la roue

Caractéristiques principales :

- deux vitesses pour un confort d'assistance dans chaque situation ; en intérieur, un déplacement lent mais précis, et en extérieur, un déplacement plus rapide ;
- bonnes autonomie et durée de vie grâce aux batteries au lithium-ion ;
- assistance ajustable aux besoins de l'utilisateur par programmation ;
- roue motrice adaptable à la majorité des fauteuils courants ;
- dispositif anti-recul permettant un franchissement sûr des obstacles et des montées ;
- assistance électrique en descente lors du freinage, demandant peu d'effort ;
- moteur silencieux (pas d'engrenage).

La description technique est fournie dans les documents techniques DT1 à DT3.

Fonctionnement

Lorsque l'utilisateur actionne la main courante, un capteur d'effort placé entre la main courante et la roue détecte cette action (voir figure 3 et document technique DT4). En fonction des réglages préétablis avec la télécommande, le moteur électrique s'actionne. Il aide ainsi l'utilisateur pour faire avancer ou reculer le fauteuil.

Les roues sont indépendantes. Tous les mouvements sont donc possibles (avant, arrière, virage et même, rotation sur place).

Lorsque les batteries sont épuisées, les roues de l'e-motion M15 peuvent être actionnées manuellement comme sur tous les fauteuils roulants.

Q2. Donner deux arguments majeurs du modèle e-motion M15 qui justifient sa prescription à monsieur M.

2 Analyse fonctionnelle

Objectif de cette partie : analyser les fonctions de service et techniques du système afin de le replacer dans son environnement.

La fonction globale est décomposée selon le modèle de la figure 4.

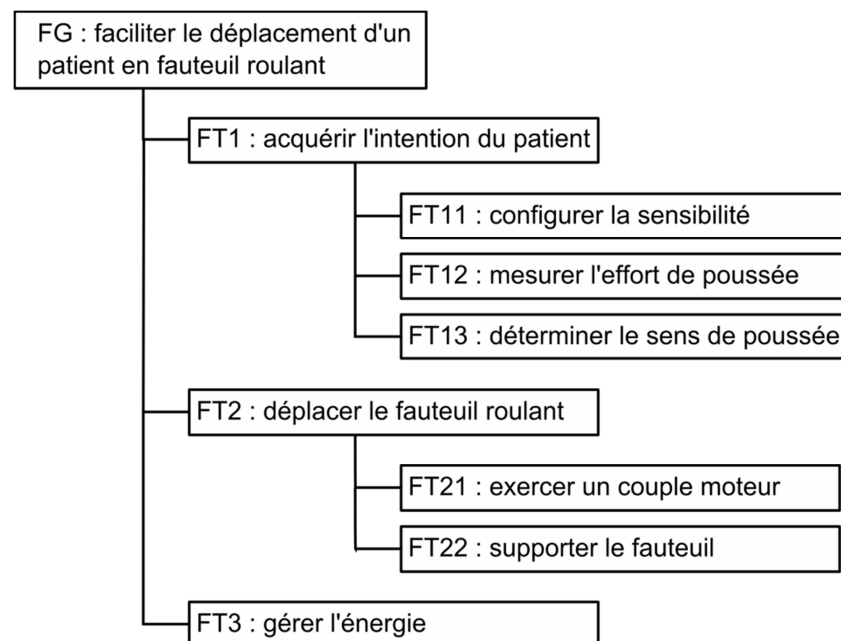


Figure 4 : diagramme FAST partiel

Q3. Lister les solutions techniques retenues pour réaliser les fonctions techniques FT12, FT21 et FT22.

Les moteurs électriques intégrés dans les roues du fauteuil fournissent un couple d'assistance adapté à l'effort que le patient applique sur la main courante. Ainsi, lorsque le patient augmente son effort, les moteurs lui apportent une assistance plus importante.

Q4. Expliquer, en quelques lignes, ce qu'il risque de se passer si les moteurs fournissent un couple trop important. **Indiquer** les réglages ou dispositifs nécessaires pour éviter ces phénomènes.

3 Paramètres de réglages de l'assistance

Objectifs de cette partie : identifier et déterminer les paramètres sur lesquels agir pour régler le fauteuil, et ainsi obtenir un fonctionnement sans risque pour le patient.

Q5. À partir de la présentation des paramètres qui peuvent être réglés avec la télécommande (voir document technique DT3), **indiquer** celui qui adapte le couple moteur afin de limiter les risques évoqués à la question Q4.

Une étude dynamique complète permet de montrer que, compte tenu de la hauteur d'assise et du facteur d'adhérence, le glissement des roues motrices ne peut pas avoir lieu. Le critère à retenir est donc celui du non-bascullement.

L'étude dynamique suivante a pour but de rechercher la valeur maximale du couple d'assistance qui peut être fourni à une roue motrice sur un sol plat, afin d'éviter le risque évoqué.

Étude du basculement éventuel du fauteuil

Hypothèses :

- le repère lié au sol est supposé galiléen ;
- le mécanisme admet un plan de symétrie parallèle à $(\vec{x}, \vec{y})$;
- le système isolé S est un demi-fauteuil avec son demi-passager ;
- G est le centre d'inertie du système S ; en G s'applique le poids $\vec{P}_S$;
- le mouvement du fauteuil est une translation suivant $\vec{x}$ d'accélération $\vec{a}(G/\text{sol}) = a \vec{x}$;
- en A , l'action est modélisée par $\vec{R}(\text{sol} \rightarrow \text{roue motrice}) = \vec{R}_A = A_x \vec{x} + A_y \vec{y}$ compte tenu de l'adhérence pneu / sol et puisque la roue arrière est motrice ;
- en B , l'action est supposée verticale, puisque la roue avant n'est pas motrice, soit $\vec{R}(\text{sol} \rightarrow \text{roue avant}) = \vec{R}_B = B_y \vec{y}$;
- le frottement de l'air et la résistance au roulement sont négligés devant les autres actions mécaniques.

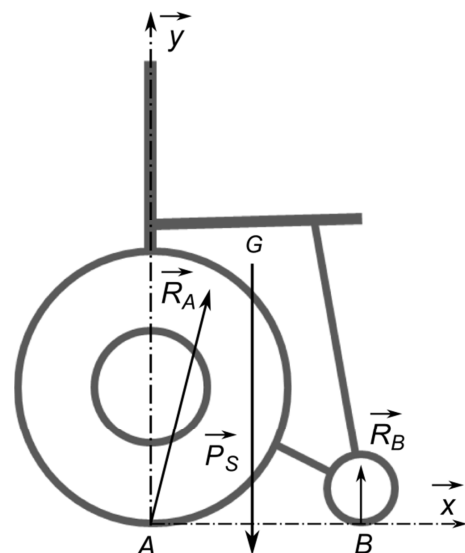


Figure 5 : modélisation du demi fauteuil chargé

Données :

- masse du système S : $m_S = 65 \text{ kg}$;
- $\vec{AG} = x_G \vec{x} + y_G \vec{y}$, avec $x_G = 194 \text{ mm}$ et $y_G = 643 \text{ mm}$;
- empattement du chariot : $AB = 336 \text{ mm}$;
- rayon de roulement de la roue : $R_{roue} = 320 \text{ mm}$;
- accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Q6. Montrer que le principe fondamental de la dynamique appliqué en G au système donne les trois équations suivantes :

$$A_x = m_S \cdot a$$

$$A_y - m_S \cdot g + B_y = 0$$

$$y_G \cdot A_x - x_G \cdot A_y + (AB - x_G) \cdot B_y = 0$$

Préciser la valeur de l'action en B lorsque le fauteuil est à la limite du basculement. **En déduire** alors les valeurs de A_x et A_y .

Étude de la roue motrice

On souhaite à présent connaître la relation entre le couple fourni par le moteur et la composante horizontale de l'action du sol sur la roue motrice. On s'intéresse pour cela à la dynamique de la roue motrice.

Hypothèses :

- le repère lié au sol est supposé galiléen ;
- le système isolé RM est la partie tournante de la roue motrice ;
- O est le centre d'inertie du système RM ; en O s'applique le poids $\vec{P}_{RM}$ et la résultante de l'action du fauteuil $\vec{R}(ch\hat{a}ssis \rightarrow RM) = \vec{R}_O$;
- la partie du moteur électrique fixée au châssis exerce sur le système RM un couple noté C_{moteur} ;
- en A, l'action est modélisée comme précédemment ;
- en C, l'utilisateur exerce une action mécanique supposée horizontale vers l'avant $\vec{R}(utilisateur \rightarrow RM) = F_{main} \vec{x}$;
- l'inertie de la roue est négligée compte tenu des efforts en jeu ;
- le frottement de l'air et la résistance au roulement sont négligés devant les autres actions mécaniques.

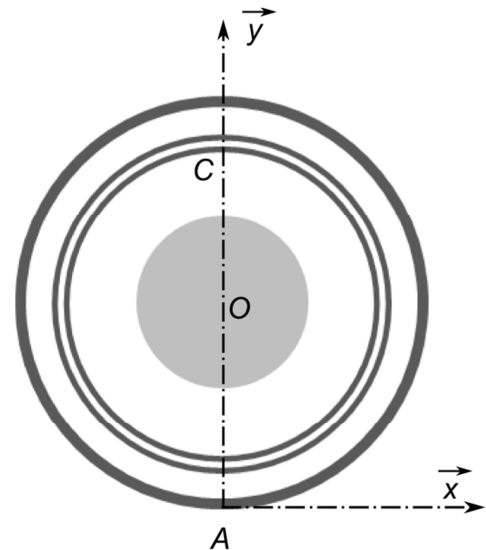


Figure 6 : géométrie de la roue motrice

Données :

- rayon de roulement de la roue : $R_{roue} = OA = 320 \text{ mm}$;
- rayon de la main courante : $R_{main} = OC = 250 \text{ mm}$.

Q7. Montrer que $C_{moteur} = A_x \cdot R_{roue} - F_{main} \cdot R_{main}$.

Q8. En déduire le couple maximal que peut fournir le moteur sans risque de basculement pour $F_{main} = 15 \text{ N}$.

Le moteur électrique peut fournir un couple maximal de 30 N·m, bien inférieur à la valeur trouvée précédemment.

Pourtant,

- la télécommande permet de régler une limite plus basse que 30 N·m, ce réglage s'étalant de 30 % à 100 % par tranche de 10 % ;
- un système anti-basculé est proposé dans le kit (voir figure 2 et document technique DT2).

Q9. Préciser dans quelles situations ces deux dispositifs peuvent être utiles.

4 Réglage manuel du capteur

Objectif de cette partie : choisir le réglage du capteur d'effort pour l'adapter aux capacités du patient.

Le capteur d'effort, placé entre la jante et la main courante est représenté sur les documents DR1 et DT4. Le déplacement de la main courante par rapport à la jante pousse le levier du capteur. Ce levier bascule plus ou moins en fonction des deux ressorts en élastomère qui le soutiennent. Il est possible de régler la plage de mesure de ce capteur en comprimant ces ressorts grâce à une molette (voir figure 7).

L'utilisateur peut fournir un effort limité à 15 N tangentielllement à la main courante :

$$\vec{R}(\text{utilisateur} \rightarrow \text{main courante}) = F_{main} \vec{x}.$$

Pour cet effort, on souhaite ajuster le réglage manuel du capteur afin d'utiliser toute sa plage de mesure. Lorsque l'utilisateur exerce 15 N sur la main courante, le levier doit arriver au contact de la butée.

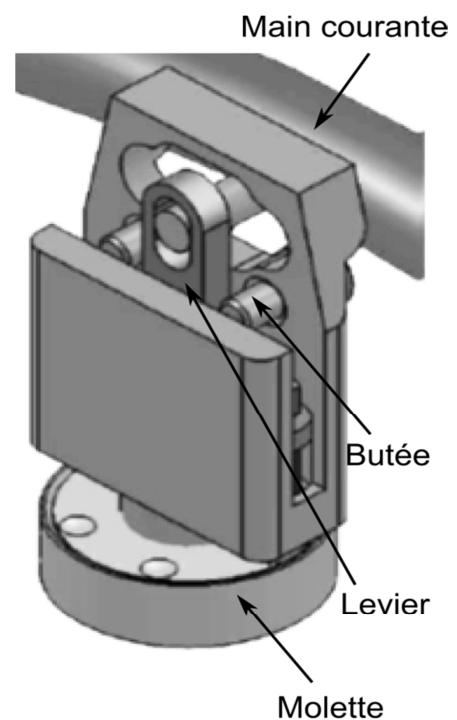


Figure 7 : détail du capteur d'effort

Q10. Rechercher graphiquement sur le document réponse DR1 (échelle 2 : 1) le déplacement maximal Δx_{max} de l'ergot, induit par la rotation de la main courante.

Les lamelles (voir document technique DT4) ayant une certaine souplesse, la main courante peut se déplacer légèrement en rotation autour de l'axe de la roue.

Q11. Préciser la relation entre le déplacement de l'extrémité d'une lamelle ressort et celui du capteur d'effort.

Étude dynamique de la main courante

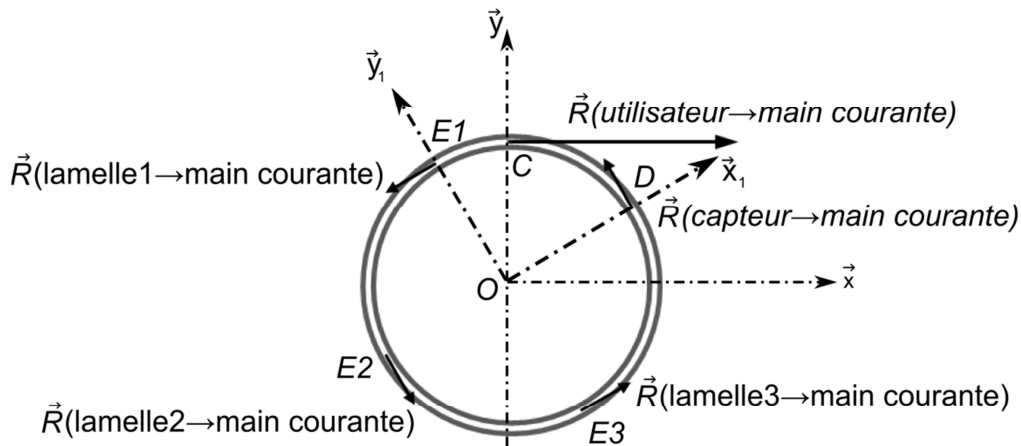


Figure 8 : modélisation d'une main courante

Hypothèses :

- le repère lié au sol est supposé galiléen ;
- le système isolé est la main courante ;
- la main courante est fixée à la roue en E_1 , E_2 , E_3 et D par trois lamelles ressort identiques et par le capteur d'effort (voir document technique DT4) ;
- les efforts transmis par les lamelles sur chaque point E_i sont $\vec{R}(\text{lamelle } i \rightarrow \text{main courante})$; ils sont supposés d'intensité identique F_{lamelle} et de direction tangentielle à la main courante ;
- l'effort transmis par le capteur en D est noté $\vec{R}(\text{capteur} \rightarrow \text{main courante})$; sa norme est F_{capteur} et sa direction est, elle aussi, supposée tangentielle ;
- en C , l'utilisateur exerce une action mécanique supposée tangentielle et vers l'avant : $\vec{R}(\text{utilisateur} \rightarrow \text{main courante})$ de norme $F_{\text{main}} = 15 \text{ N}$;
- les effets d'inertie de la main courante sont négligés compte tenu des efforts en jeu.

Données :

- rayon de la main courante, $R_{\text{main}} = OD = OE_i = OC = 250 \text{ mm}$;
- module d'élasticité des lamelles, $E = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$;
- moment quadratique des lamelles, $I_{Gz} = 9,6 \times 10^{-14} \text{ m}^4$;
- longueur des lamelles, $L = 0,06 \text{ m}$;
- flèche maximale d'une lamelle, 3 mm, ceci, quel que soit le résultat des questions Q10 et Q11.

Q12. Montrer que : $F_{\text{capteur}} = F_{\text{main}} - 3 \cdot F_{\text{lamelle}}$.

Pour déterminer l'effort supporté par le capteur, il faut donc connaître l'effort supporté par chaque lamelle. Celui-ci est connu à partir de la déformation de la lamelle.

Q13. Choisir, dans le tableau du document technique DT5, un modèle de flexion des lamelles qui corresponde à son mode de fixation et de chargement. À partir des relations proposées par le modèle choisi, **déterminer** la valeur de $F_{lamelle}$ pour une flèche de 3 mm.

Q14. Déterminer $F_{capteur}$ pour cette flèche de 3 mm, puis **choisir** à partir des courbes d'essais du document réponse DR2 le réglage du capteur le plus adapté.

Q15. Conclure sur l'utilité de ce réglage manuel. **Préciser** dans quel sens il faudra le modifier lorsque l'utilisateur améliorera ses performances musculaires.

5 Élaboration de la loi de commande de l'actionneur électrique

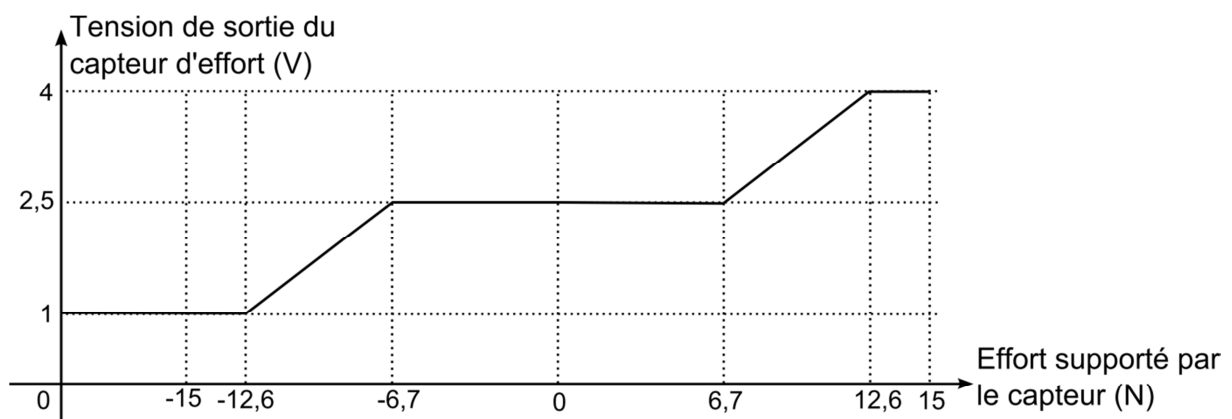
Objectif de cette partie : élaborer la loi de commande de l'actionneur électrique.

Pour la suite de l'étude, quels que soient les résultats trouvés précédemment, la position de réglage du capteur est la n°5 et l'effort maximal supporté par le capteur est de 12,6 N.

Identification des éléments de la chaîne d'acquisition

Q16. Compléter la chaîne d'acquisition fournie dans le document réponse DR2 en indiquant la grandeur physique à mesurer, ainsi que le nom du constituant permettant d'acquérir la grandeur physique.

La figure 9 présente la courbe caractéristique du capteur d'effort pour la position de réglage n°5.



Q17. À l'aide de la figure 9, préciser la valeur de la tension de sortie V_{C0} pour un effort nul, la valeur de l'effort seuil F_{seuil} à partir duquel la tension de sortie évolue, ainsi que la valeur de la tension de sortie V_{Cmax} pour l'effort maximal supporté par le capteur.

Q18. Indiquer, en complétant le document réponse DR2, le type d'information fourni à la sortie du capteur d'effort, puis à l'entrée du microcontrôleur. **En déduire** la fonction nécessaire en entrée de ce dernier.

On donne les caractéristiques techniques du convertisseur analogique/numérique :

- pleine échelle : 5 V ;
- mot de sortie codé sur 10 bits.

Q19. Calculer la valeur q du quantum (résolution) de ce convertisseur. **Déterminer** la valeur décimale des mots NV_{C0} et NV_{Cmax} , images des tensions V_{C0} et V_{Cmax} relevées à la question Q17.

Génération de la loi de commande

L'allure souhaitée de la loi de commande de l'actionneur électrique est donnée figure 10. Elle permet de recréer l'intermittence du mouvement habituel d'un fauteuil à propulsion manuelle.

Les données traitées par le microcontrôleur permettent de générer cette courbe où apparaissent : le temps de démarrage, le temps de ralentissement et le couple d'assistance maximal Ca_{max} . Les temps de démarrage et de ralentissement ont été réglés respectivement à 0,5 s et 4 s.

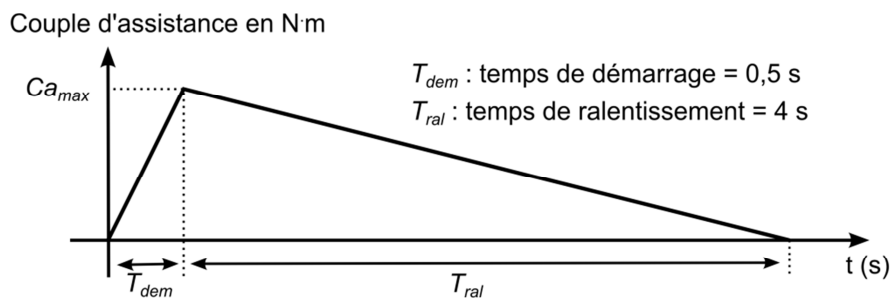
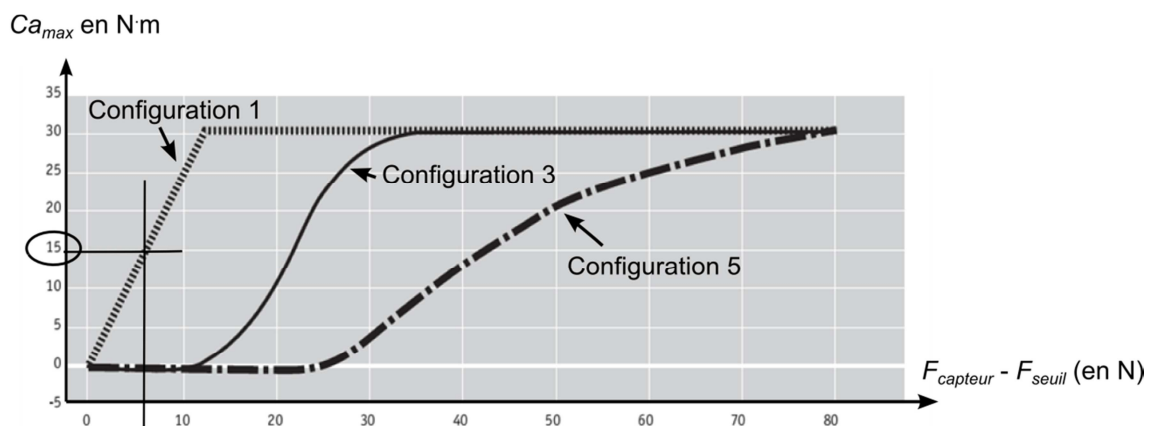


Figure 10 : allure du couple d'assistance fourni par le moteur en fonction du temps

La valeur de Ca_{max} dépend de la configuration du niveau d'assistance choisie avec la télécommande et de l'effort du patient sur la main courante (voir figure 11).



$$15 - 3 \times 0,8 - 6,7 = 5,9 \text{ N}$$

Figure 11 : configuration des niveaux d'assistance

La configuration 1 est choisie, le capteur d'effort est réglé au niveau 5 et Monsieur M. fournit un effort de 15 N.

Q20. Dans cette situation, et en s'aidant des réponses apportées aux questions Q14 et Q17, **expliquer** pourquoi le couple d'assistance Ca_{max} est de 15 N·m.

La loi de commande étant générée par un microcontrôleur, l'allure réelle du signal de commande a une forme en paliers (voir figure 12).

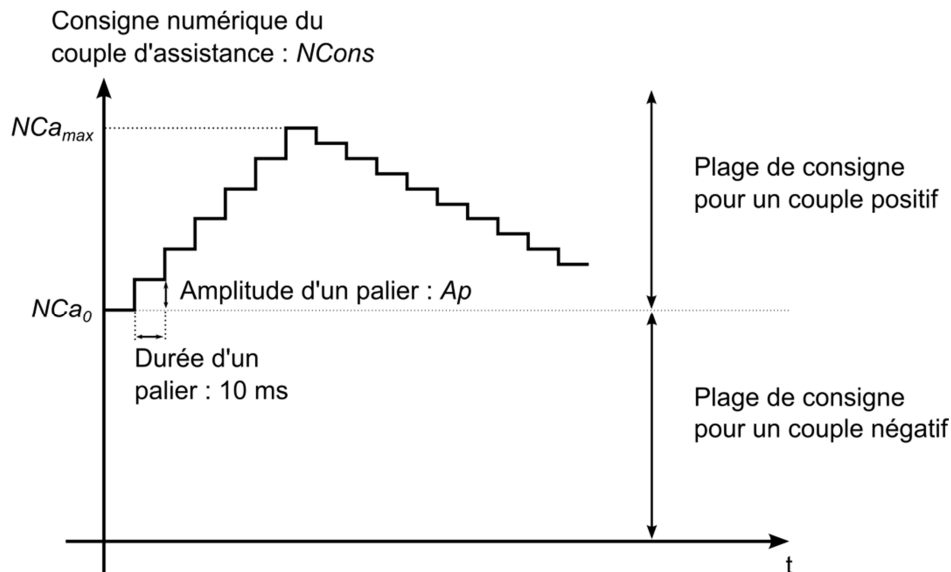


Figure 12 : allure de la loi de commande du moteur en fonction du temps

La consigne de couple est générée en forme de rampe avec x paliers au bout desquels le temps de démarrage et le couple d'assistance Ca_{max} sont atteints. La durée d'un palier est fixée à 10 ms.

L'offset NCa_0 visible sur la figure 12 est nécessaire pour coder un couple positif ou un couple négatif (freinage ou marche arrière) avec une consigne de commande positive.

Phase de démarrage : détermination des paramètres de commande

Le patient possédant une bonne coordination de ses bras, le temps de démarrage peut être court, la valeur est réglée à 0,5 s.

Pour la configuration 1 du niveau d'assistance, la courbe donnant la valeur de la consigne de couple maximal en fonction du mot numérique correspondant à l'effort du patient est donnée figure 13.

Quels que soient les résultats trouvés dans la partie précédente, la valeur numérique correspondant au mot image de l'effort maximal fourni par le patient est $NV_{Cmax} = 819$.

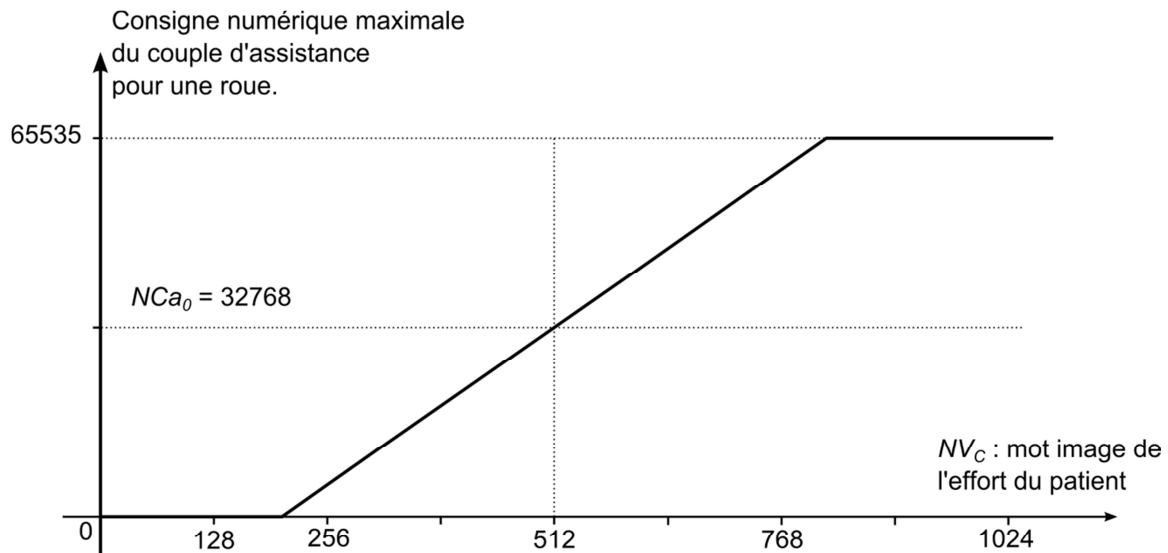


Figure 13 : consigne numérique maximale du couple d'assistance pour une roue

Q21. Déterminer le nombre de paliers Np_{dem} nécessaires pour obtenir le temps de démarrage défini figure 10. **Relever** la valeur maximale $N_{Ca_{max}}$ du mot numérique de consigne de couple d'assistance N_{Ca} pour l'effort maximal fourni par le patient. **En déduire** la valeur entière de l'amplitude Ap .

Phase de démarrage : génération de la rampe de démarrage

Pour générer la rampe de démarrage, la valeur du mot de consigne de couple N_{Cons} doit évoluer de la valeur N_{Ca_0} (correspondant à une consigne de couple 0) à la valeur maximale $N_{Ca_{max}}$ par incrément de Ap toutes les 10 ms.

Q22. Compléter au choix, la partie de l'organigramme ou de l'algorithme relatif à la gestion de la rampe de démarrage du document réponse DR3.

6 Vérification de l'autonomie du fauteuil sur un terrain plat selon la norme en vigueur ; analyse des écarts entre le modèle simulé et le cahier des charges

Objectif de cette partie : déterminer la portée du fauteuil en utilisation extérieure.

Les études précédentes ont permis d'élaborer un modèle multi-physique qui permet de simuler le fonctionnement du fauteuil en fonction des réglages précédemment déterminés (voir document réponse DR4).

Pour pouvoir prédire les performances du système de façon précise, ce modèle doit tenir compte des inerties des composants et de toutes les pertes mécaniques : résistance au roulement, résistance de l'air, etc.

La résistance de l'air est modélisée par un effort, dit de trainée, $F_{air} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$, avec :

- ρ , masse volumique de l'air ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- S , surface résistante à l'air (m^2) ;
- C_x , coefficient de pénétration dans l'air ;
- v , vitesse relative de l'air ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Q23. Sur le document réponse DR4, **donner** la relation définissant le couple de résistance au roulement C_r pris en compte dans le modèle, et **indiquer** la valeur des gains $K3$ et $K4$ du modèle permettant le calcul de la force de trainée avec l'unité adaptée.

Le modèle multi-physique du document réponse DR4 a permis d'obtenir les résultats du document réponse DR5 pour un fonctionnement sur sol plat à vitesse maximale de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (selon les conditions d'essai de la norme ISO 7176-4). Ces résultats font apparaître un régime transitoire suite à la première impulsion de couple du patient, puis un régime stabilisé dès l'impulsion suivante.

Q24. Estimer, à partir du relevé, la vitesse moyenne du fauteuil V_{moy} en régime stabilisé.

On définit un cycle comme étant le temps entre deux actions du patient sur la main courante du fauteuil (voir la première courbe du document réponse DR5).

Pour les questions suivantes, les tracés jugés utiles seront laissés apparents sur le document réponse DR5.

Q25. À partir des résultats de la simulation en régime stabilisé, **relever** l'angle de rotation de la roue pour un cycle θ_{cycle} . **En déduire** la distance d_{cycle} parcourue pour 1 cycle (rappel : le rayon de la roue est $R_{roue} = 320 \text{ mm}$).

Q26. Relever la charge électrique E_{cycle} nécessaire pour réaliser un cycle en A·h.

Les conditions de vie de Monsieur M. nécessitent une autonomie de 25 km.

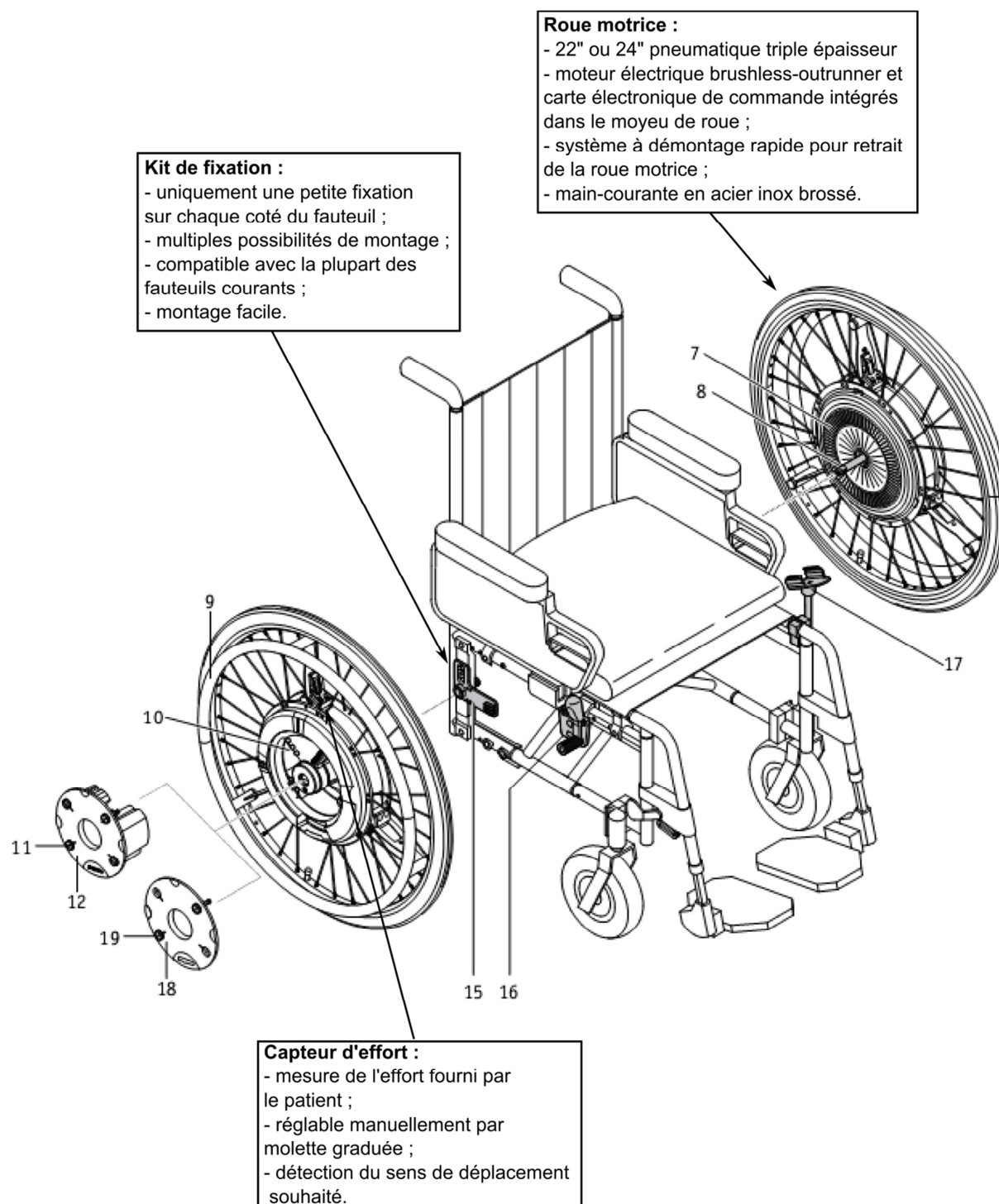
Q27. Sachant que la capacité de la batterie est de 6 A·h, **calculer** la portée D en mètres du fauteuil dans ces conditions et **vérifier** si cette portée simulée est compatible avec celle exigée.

7 Conclusion

Q28. Au regard des différents réglages effectués et des résultats obtenus par simulation, **indiquer** si la configuration du fauteuil correspond à l'usage de monsieur M. **Argumenter** en quelques lignes.

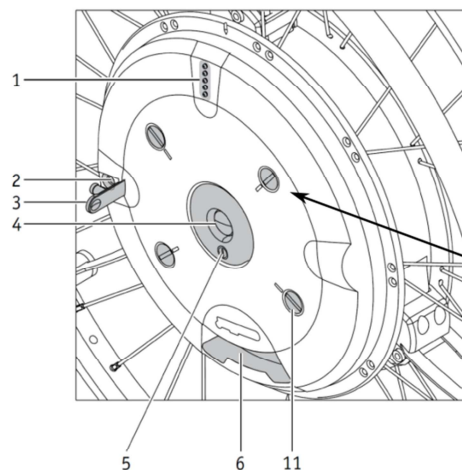
Document technique DT1

Constitution du système (deux roues motrices avec kit de fixation)



Document technique DT2

Constitution du système (batterie et accessoires)

**Module batterie :**

- autonomie 25 km sur la base de l'ISO 7176-4 ;
- longue durée de vie grâce à la technologie lithium-ion ;
- faible poids ;
- amovible par système à démontage rapide ;
- intégré dans la roue motrice.

Chargeur automatique :

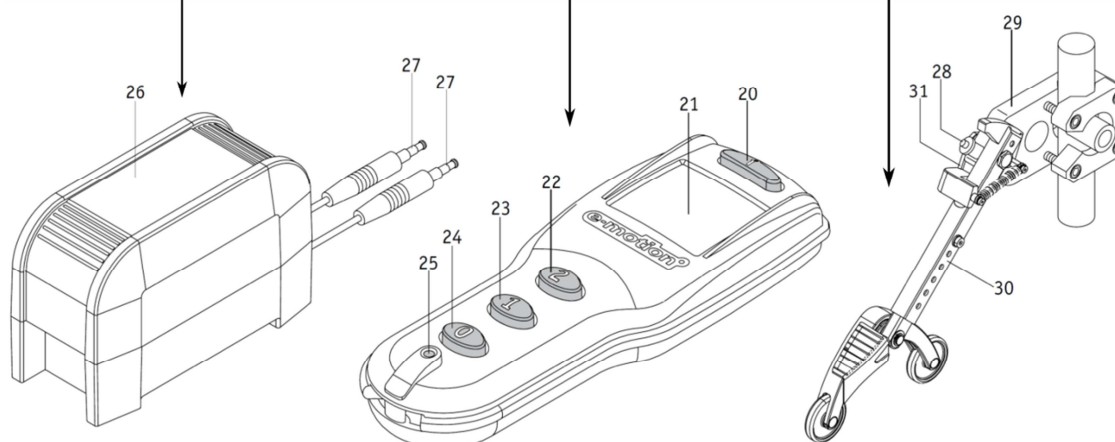
- adaptation automatique à la tension secteur (100-240 V) ;
- charge et coupure automatique ;
- niveau de charge indiqué via des LEDS sur la roue du e-motion ;
- durée de charge environ 6 h.

Télécommande :

- marche/arrêt ;
- niveau d'assistance ;
- activation du système anti-recul ;
- programmation des paramètres de conduite ;
- consultation du niveau de charge des batteries ;
- affichage des codes de diagnostic défaut.

Dispositif anti bascule avec fonction béquille :

- amovible à démontage rapide ;
- réglable en hauteur et en longueur ;
- fonction escamotage automatique pour franchir les trottoirs et les paliers de portes ;
- quatre appuis au sol pour faciliter le retrait des roues motrices.

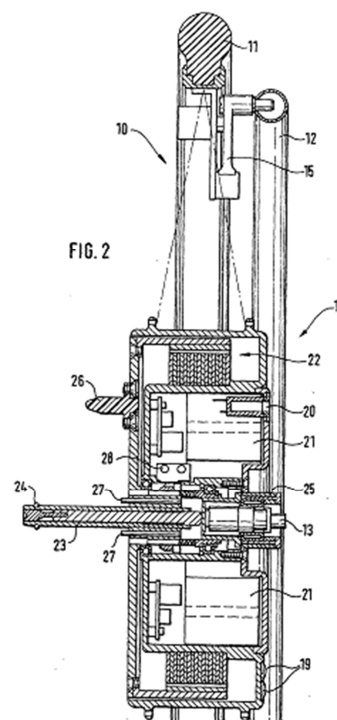
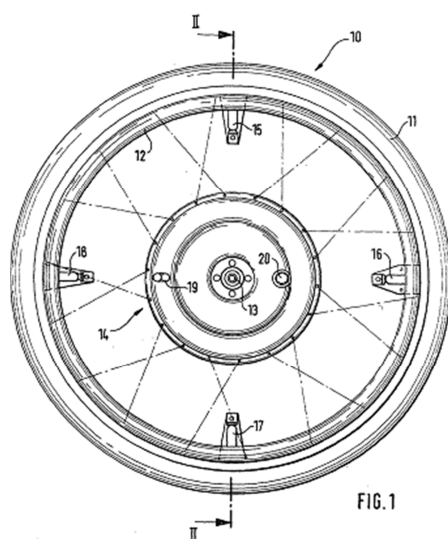


Document technique DT3

Extrait du brevet d'invention EP 0 945 113 B1

Les roues motrices comportent en leur moyeu une batterie (21), un moteur électrique (22) de type brushless-outrunner, et l'électronique de commande.

En périphérie, la main courante (12) n'est pas directement solidaire du pneu (11), mais est fixée sur la jante par l'intermédiaire de 3 lamelles souples (16, 17 et 18) et d'un capteur d'effort (15).



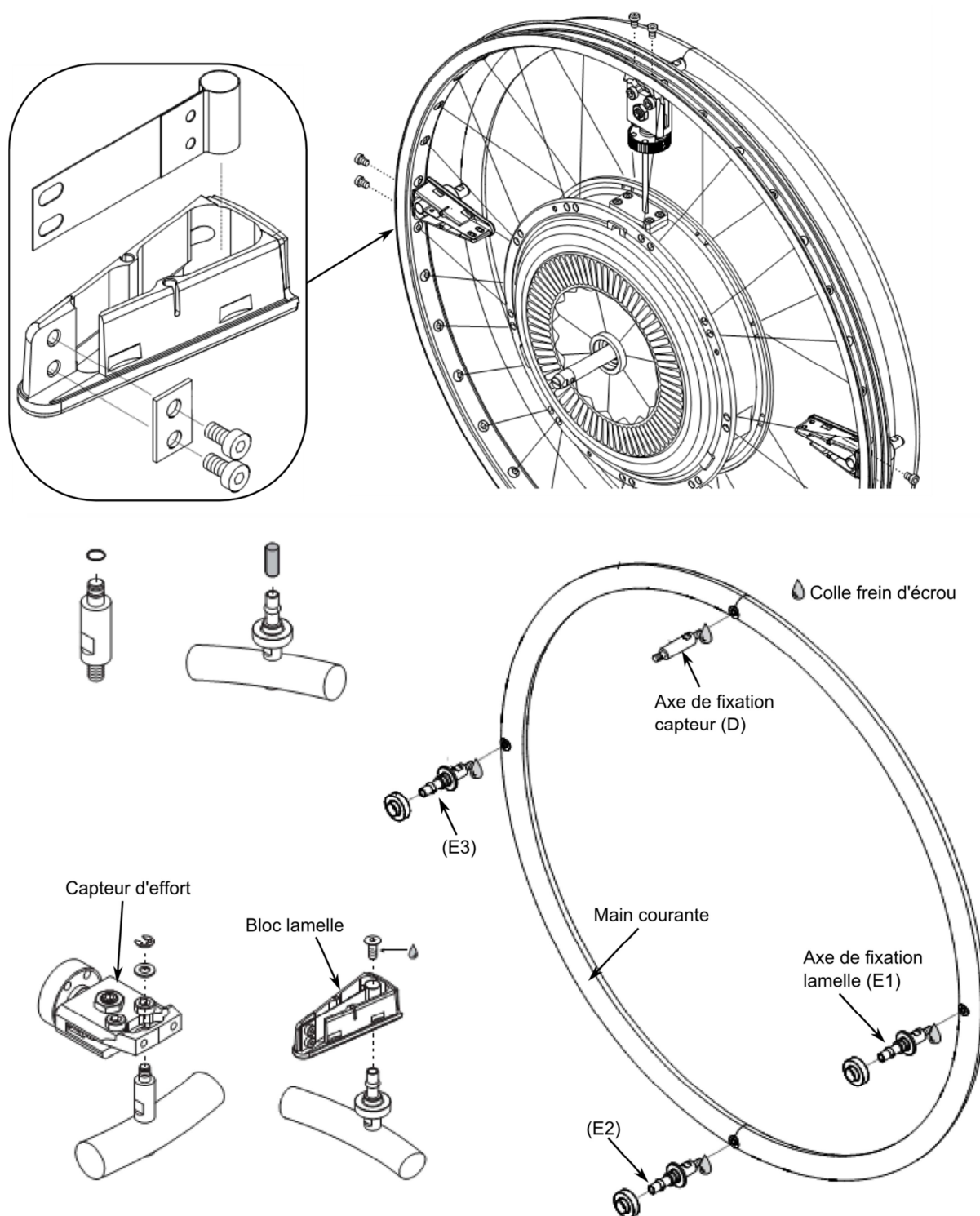
Extrait de la documentation de programmation

La tenue de route de votre **e-motion** peut être adaptée de nombreuses manières à vos besoins. Veuillez vous adresser, à ce sujet, à votre revendeur spécialisé ou à votre thérapeute. Vous trouvez ci-dessous un bref aperçu des paramètres réglables.

Paramètre	Description
Assistance à la force physique , les deux roues	Déterminer la force du moteur (couple de rotation) qui doit être mise à la disposition de l'utilisateur.
Réceptivité/sensibilité , roue motrice gauche ou droite, réglable indépendamment	Compense des différences de force entre le bras gauche et droit.
Temps de démarrage moteur, les deux roues	Adaptation pour les utilisateurs ayant un mouvement de poussée asynchrone.
Temps de ralentissement moteur, les deux roues	Détermine le temps durant lequel le moteur continue à marcher après l'introduction de la force. Particulièrement important lors d'une conduite en montée.
Intensité sonore signaux sonores	Réglable en 5 niveaux.
Temps Arrêt automatique	De 5 – 120 minutes.

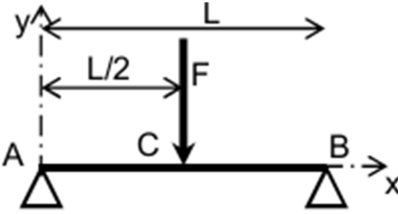
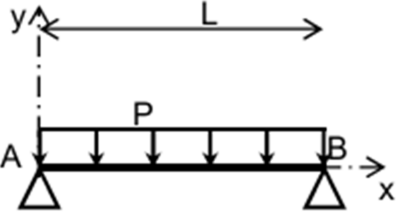
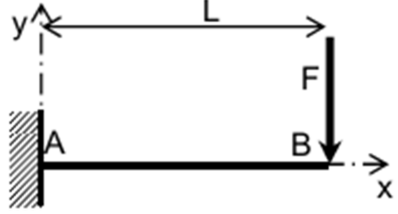
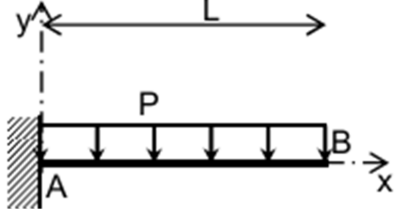
Document technique DT4

Montage du capteur d'effort et des lamelles ressort sur la jante et la main courante



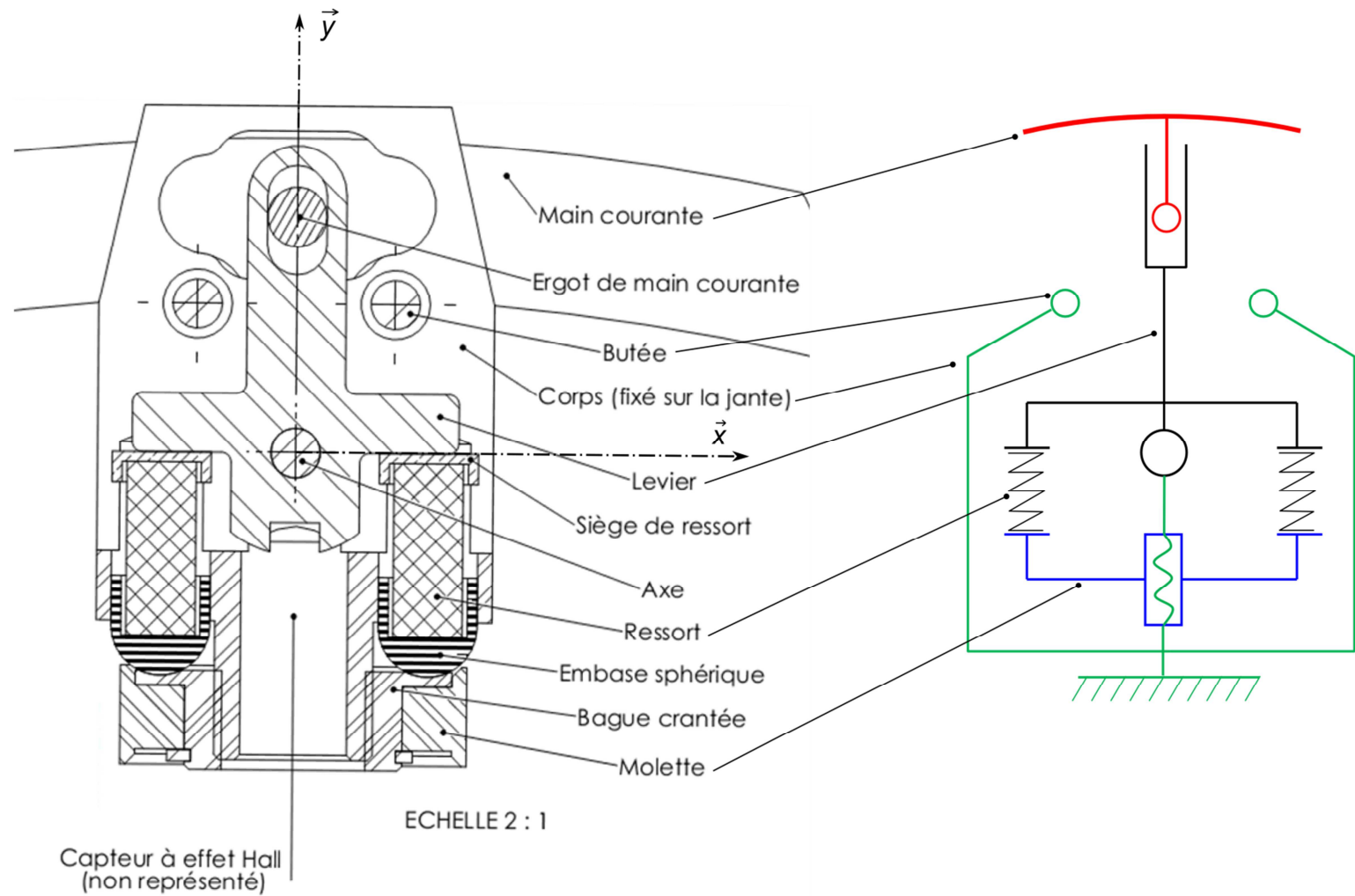
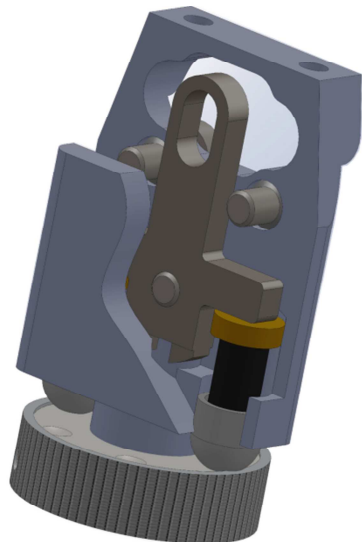
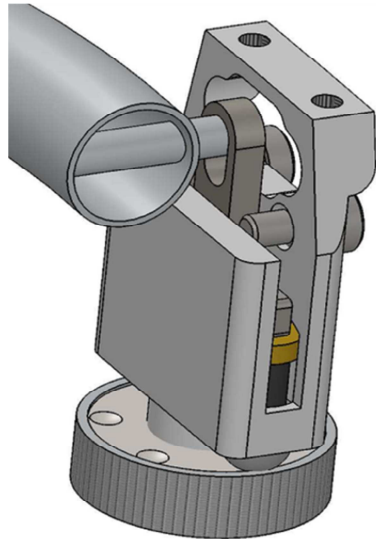
Document technique DT5

Modèles de résistance des matériaux à la flexion

N°	Modèle	Moment fléchissant	Flèche maximale	Raideur
1		De A à C $Mf = \frac{F \cdot x}{2}$ De C à B $Mf = \frac{F \cdot (L-x)}{2}$	au point C $f = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{Gz}}$	$K = \frac{F}{f}$
2		De A à B $Mf = \frac{P \cdot x \cdot (L-x)}{2}$	Au point milieu ($x = L/2$) $f = \frac{5 \cdot P \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{Gz}}$	$K = \frac{P \cdot L}{f}$
3		De A à B $Mf = F \cdot (x-L)$	Au point B $f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}}$	$K = \frac{F}{f}$
4		De A à B $Mf = \frac{P \cdot (x-L)^2}{2}$	Au point B $f = \frac{P \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I_{Gz}}$	$K = \frac{P \cdot L}{f}$

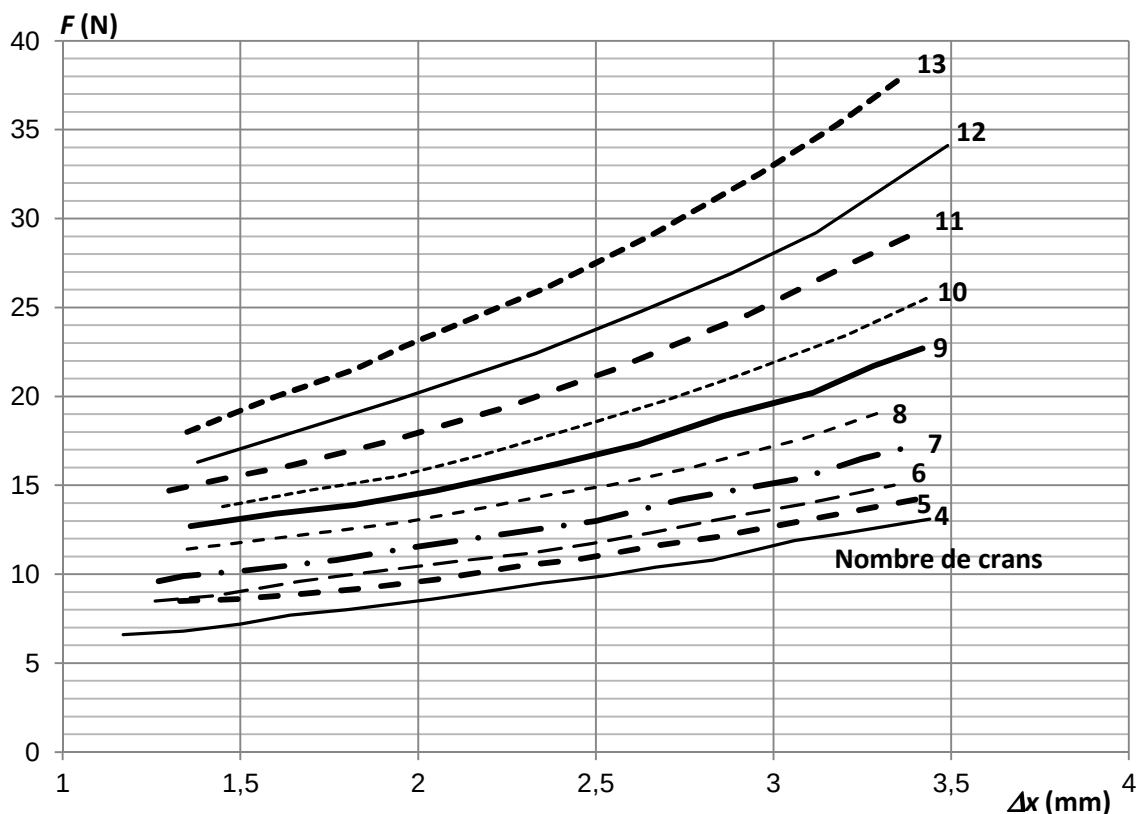
Document réponse DR1

Capteur d'effort fixé sur la roue et actionné par la main courante



Document réponse DR2

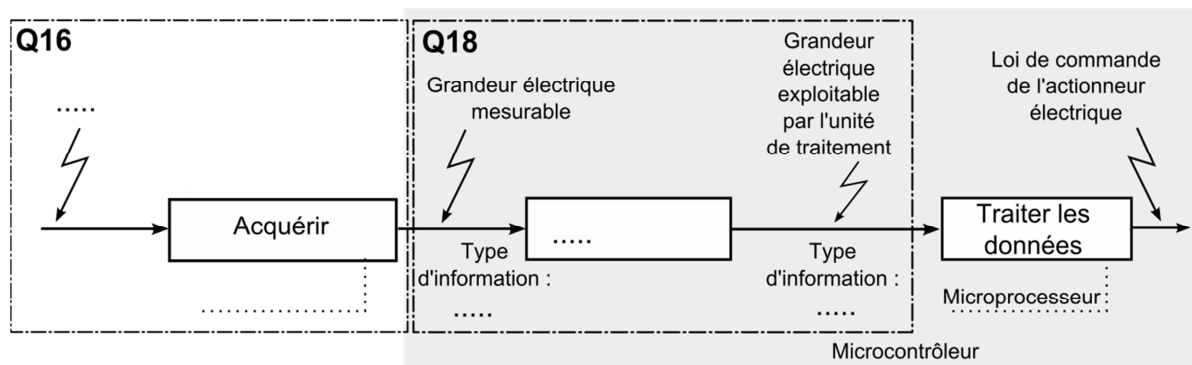
Courbes d'essai mécanique du capteur de force en fonction du réglage de sa molette crantée



Protocole d'essai utilisé :

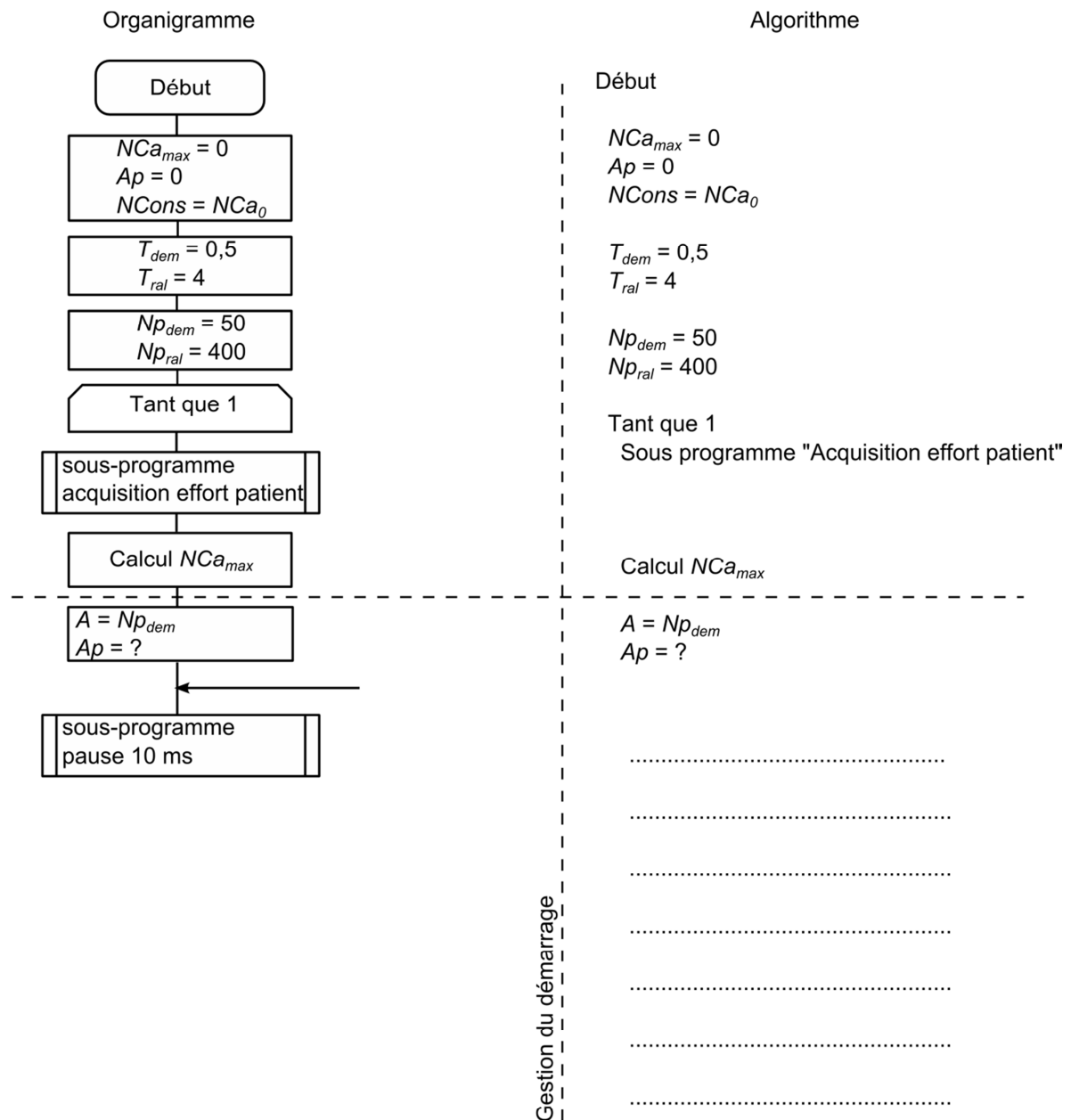
- le capteur est monté sur une machine de traction ;
- la force F est perpendiculaire au levier (au repos) ;
- le déplacement Dx est mesuré au point d'application de la force et dans la direction perpendiculaire au levier (au repos).

Chaîne fonctionnelle de l'assistance électrique : chaîne d'information



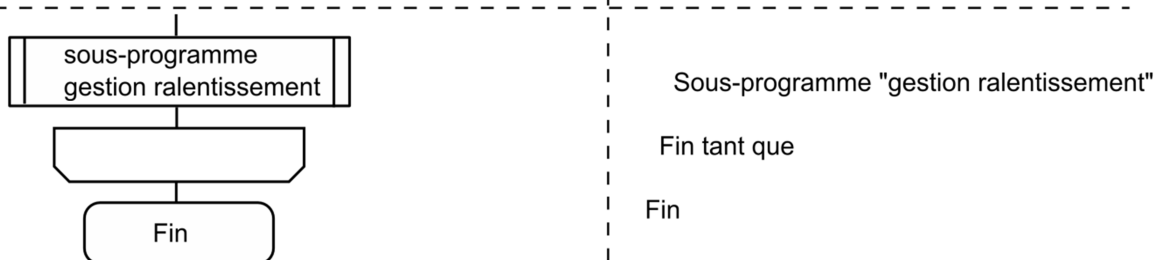
Document réponse DR3

Gestion de la loi de commande de l'actionneur électrique



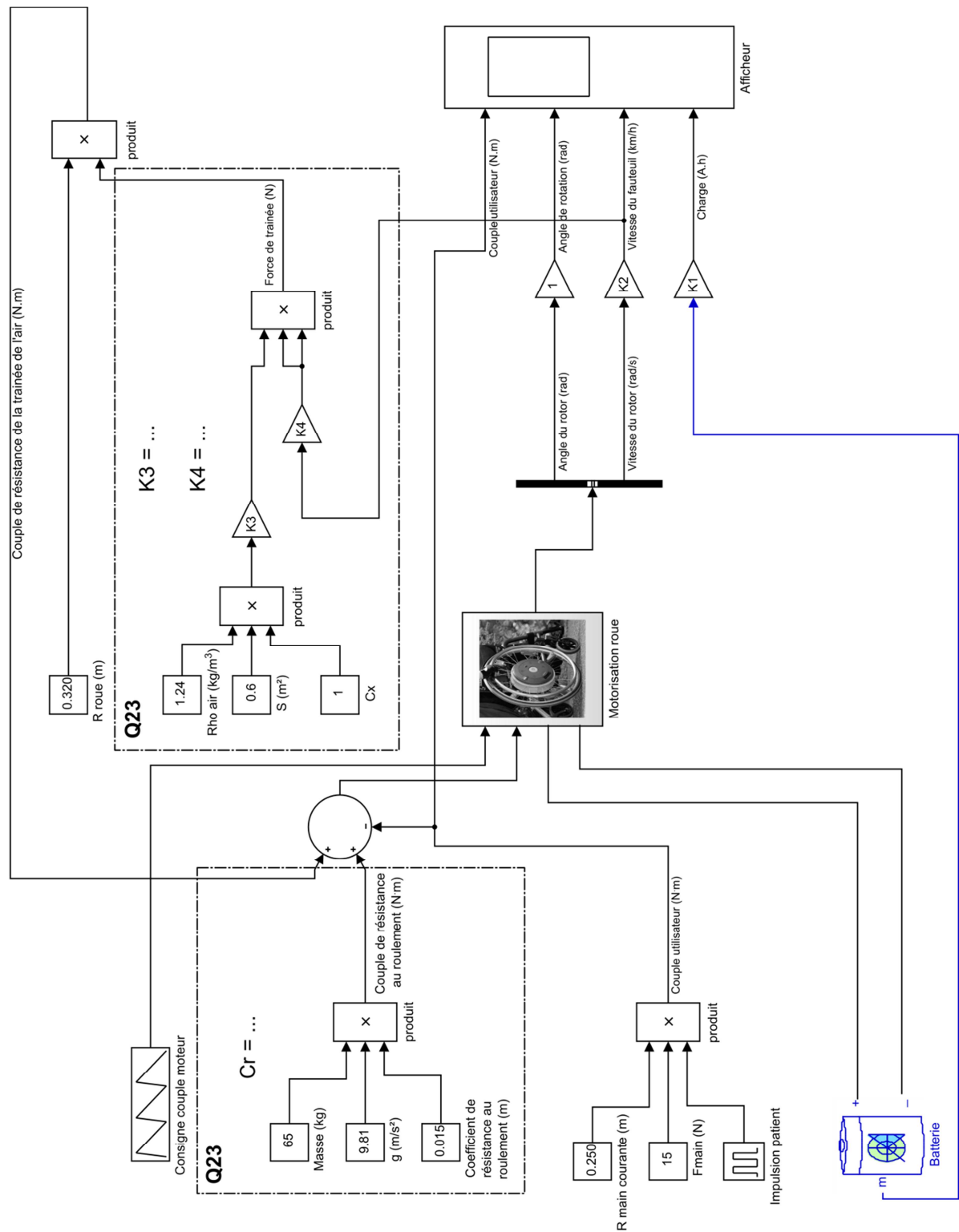
Gestion du démarrage

Le candidat doit compléter au choix la partie de l'organigramme ou de l'algorithme



Document réponse DR4

Modélisation multi-physique



Document réponse DR5

Résultat de la simulation du fonctionnement du fauteuil sur sol plat

