

**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**

**SÉRIE SCIENTIFIQUE**

**ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

**Session 2016**

**Corrigé**

# Fauteuil roulant à assistance électrique



## 1 Analyse du besoin, réponse au besoin.

**Q1** Le fauteuil à assistance électrique est proposé à monsieur M. pour les raisons suivantes :

- Il doit pouvoir se déplacer de façon autonome ;
- ses jambes ne peuvent pas supporter son poids, la fonction verticalisateur n'est donc pas nécessaire ;
- il doit stimuler ses fonctions musculaires, un fauteuil tout électrique ne convient donc pas ;
- il ne peut exercer qu'un faible effort pour se mouvoir, ce qui exclut un fauteuil manuel.

**Q2** Le fauteuil à assistance électrique émotion M15 de la société Invacare :

- demande peu d'effort physique de la part de l'utilisateur pour se mouvoir tout en stimulant ses fonctions musculaires, c'est le cas de monsieur M. ;
- permet d'avoir un rayon d'action suffisamment important pour les sorties extérieures de monsieur M.

## 2 Analyse fonctionnelle

**Q3** FT12 : capteur de force.  
 FT21 : moteur électrique.  
 FT22 : roue.

**Q4** Si les moteurs fournissent un couple trop important, le fauteuil risque soit de basculer en arrière, soit de patiner. Le basculement du fauteuil peut entraîner une

chute du patient. Le patinage des roues peut entraîner une perte de contrôle du fauteuil et ainsi un risque de collision avec des passants en extérieur ou des meubles en intérieur.

Un système de béquille anti bascule est fourni et le niveau d'assistance est réglable par la télécommande.

### 3 Paramètres de réglages de l'assistance

**Q5** Assistance à la force physique (couple de rotation qui doit être mis à la disposition de l'utilisateur)

**Q6** En B, le contact disparaît lors du basculement. À la limite du basculement l'action est donc nulle ( $B_y = 0$ ).

Par la 2<sup>de</sup> équation on déduit  $A_y = m_S \cdot g = 65 \times 9,81 = 638 \text{ N}$ ,

et par la troisième  $A_x = A_y \cdot x_G / y_G = 638 \times 194 / 643 = 192 \text{ N}$

**Q7** l'équation des moments du principe fondamental de la dynamique donne :  $A_x \cdot R_{roue} - C_{moteur} - F_{main} \cdot R_{main} = J \cdot \dot{\omega}$ . L'inertie étant faible, on peut négliger le terme  $J \cdot \dot{\omega}$ . Ainsi, en isolant  $C_{moteur}$ , on obtient la relation proposée :

$$C_{moteur} = A_x \cdot R_{roue} - F_{main} \cdot R_{main}$$

**Q8** F vaut 15 N et à la question Q6,  $A_x \leq 192 \text{ N}$  donc

$$C_{moteur\ max} = 192 \times 0,320 - 15 \times 0,250 = 57,7 \text{ N}\cdot\text{m}$$

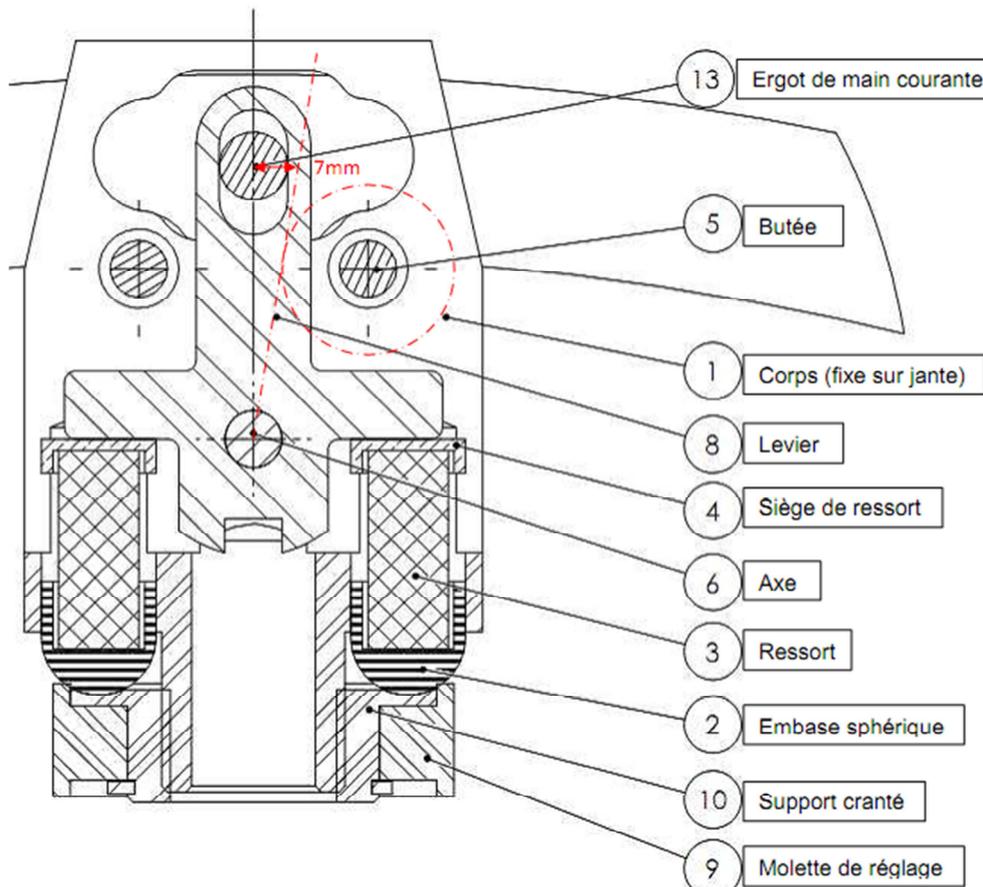
**Q9** Dans certains cas, la valeur du couple limite diminue et pourrait être plus petite que 30 N·m :

- dans le cas où le fauteuil avance en montée, les valeurs de  $x_G$  et  $y_G$  sont alors modifiés par l'inclinaison de la pente ;
- dans le cas où l'utilisateur exerce une force  $F_{main}$  bien supérieure à 15 N·m ;
- et dans le cas où l'utilisateur est bien plus léger.

Il faut alors limiter le couple et/ou utiliser le système anti bascule.

## 4 Réglage manuel du capteur

**Q10** En position extrême, la distance  $d$  entre l'axe du levier et l'axe de la butée est la somme du rayon de la butée  $R_{butée}$  et de la demi largeur du levier. L'axe du levier se retrouve tangent au cercle de centre celui de l'axe de la butée et de rayon  $d$ . Une fois la position de l'axe tracée, on mesure sur l'horizontale  $\Delta x_{maxi}$ . Ici 7 mm à l'échelle 2 donc 3,5 mm en réalité.



**Q11** La main courante se déplace en rotation autour de l'axe de la roue. Les points  $E_i$  et  $D$  se déplacent sur un cercle de rayon celui de la main courante. Leurs déplacements sont donc identiques (en longueur).

**Q12** Au point  $O$ , l'équation des moments donne :

$$F_{capteur} \cdot R_{main} - F_{main} \cdot R_{main} + 3 \cdot F_{lamelle} \cdot R_{main} = J \cdot \dot{\omega}$$

L'inertie de la roue est négligeable donc l'équation devient :

$$F_{capteur} \cdot R_{main} - F_{main} \cdot R_{main} + 3 \cdot F_{lamelle} \cdot R_{main} = 0$$

En divisant par le rayon on obtient :

$$F_{capteur} - F_{main} + 3 \cdot F_{lamelle} = 0$$

Et, en isolant  $F_{capteur}$  on obtient la relation proposée :  $F_{capteur} = F_{main} - 3 \cdot F_{lamelle}$ .

**Q13** La lamelle est encastree d'un coté et libre de l'autre. L'effort est concentré sur l'extrémité libre. Le modèle est le 3<sup>ème</sup>. Pour ce modèle  $f = \frac{FL^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}}$  donc la raideur est

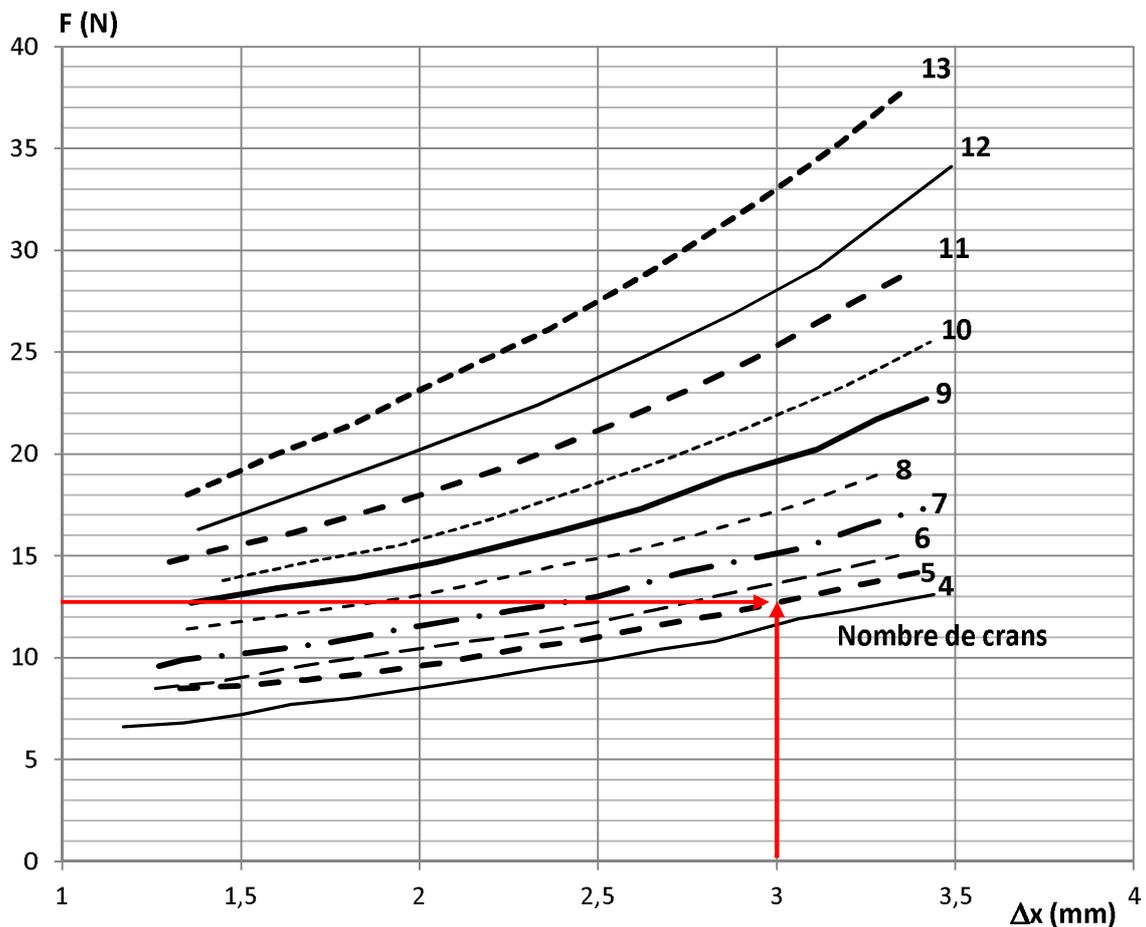
$$K = \frac{3 \cdot E \cdot I_{Gz}}{L^3} = \frac{3,2 \times 10^{11} \cdot 9,6 \times 10^{-14}}{0,06^3} = 267 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}.$$

Si la flèche est de 3 mm alors l'effort encaissé par une lamelle est :

$$F_{\text{lamelle}} = 267 \times 0,003 = 0,8 \text{ N}$$

**Q14** D'après la relation de Q12,  $F_{\text{capteur}} = 15 - 3 \times 0,8 = 12,6 \text{ N}$

Sur les courbes d'essai, il faut choisir le réglage qui permet d'obtenir au moins 12,6 N lorsque  $\Delta x = 3 \text{ mm}$ . Ici le réglage est le 5. Avec le réglage 4, le levier arrivera en butée avant 12,6 N et avec le réglage 6, le levier ne parcourra pas toute la plage autorisée.



**Q15** Ce réglage permet d'adapter la plage de mesure du capteur à l'effort que peut produire l'utilisateur. Si l'utilisateur améliore ses performances alors il faudra passer à un réglage plus élevé que le 5 car l'effort sur le capteur sera supérieur à 12,6 N.

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

**Q16** Voir DR2.

**Q17**  $V_{CO} = 2,5 \text{ V}$  pour un effort nul,  $F_{seuil} = 6,7 \text{ N}$ , et  $V_{Cmax} = 4 \text{ V}$  pour l'effort maxi (12,6 N).

**Q18** Voir DR2. La fonction nécessaire en entrée du microcontrôleur est : « convertir une information analogique en information numérique ».

$$\text{Q19 } q = \frac{V_{max}}{2^n - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} \quad q = 4,88 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$\text{et } \begin{array}{ll} V_{CO} = 2,5 \text{ V} & \text{donc } NV_{CO} = V_{CO}/q = 2,5/4,88 \times 10^{-3} & NV_{CO} = 512 \\ V_{Cmax} = 4 \text{ V} & NV_{Cmax} = V_{Cmax}/q = 4/4,88 \times 10^{-3} & NV_{Cmax} = 819 \end{array}$$

**Q20** Lorsque monsieur M. exerce un effort de 15 N, d'après la question Q12, le capteur supporte un effort de 12,6 N. Avec le réglage 5 du capteur, le seuil est de 6,7 N, et donc  $F_{capteur} - F_{seuil} = 5,9 \text{ N}$ . La lecture du graphe de la figure 11 indique alors un couple d'assistance de 15 N·m.

**Q21** On veut un temps de démarrage de 0,5 s, avec des paliers de 10 ms, il faut donc  $N_{p_{dem}} = 0,5/0,01$  soit 50 paliers.

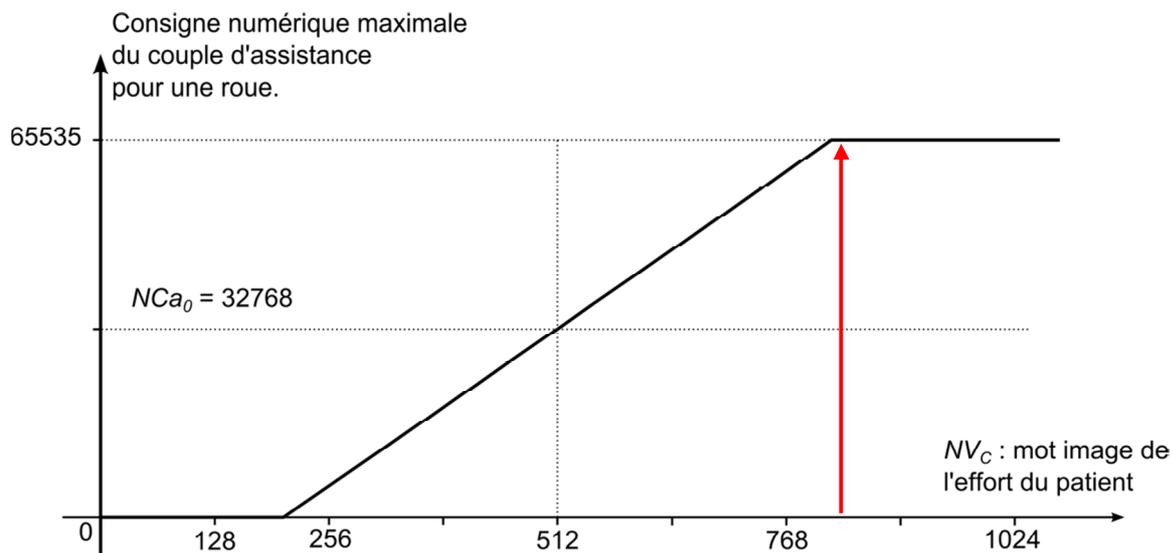


Figure 13 : consigne numérique maximale du couple d'assistance pour une roue  
 Pour  $NV_{Cmax} = 819$ ,  $NC_{AMAX} = 65535$   
 L'amplitude d'un palier est  $A_P = (65535 - 32768)/50 = 655$

**Q22** Voir 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

**Q23** Voir DR4.

**Q24** La vitesse moyenne est d'environ 5,9 km/h.

**Q25** Voir DR5. Angle de rotation roue pour 1 cycle :  $\theta_{\text{cycle}} = 23 \text{ rad}$ .

Pour 1 cycle, la distance parcourue est  $d_{\text{cycle}} = \theta_{\text{cycle}} \times r_{\text{roue}} = 23 \times 0,32 = 7,36 \text{ m}$ .

**Q26** Charge électrique pour un cycle :  $E_{\text{cycle}} = 1,8 \text{ mA}\cdot\text{h} = 1,8 \times 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{h}$ .

**Q27** Portée du fauteuil :  $D = \frac{C_{\text{bat}}}{E_{\text{cycle}}} \times d_{\text{cycle}} = \frac{6}{1,8 \times 10^{-3}} \times 7,36$

$$D = 24533 \text{ m}$$

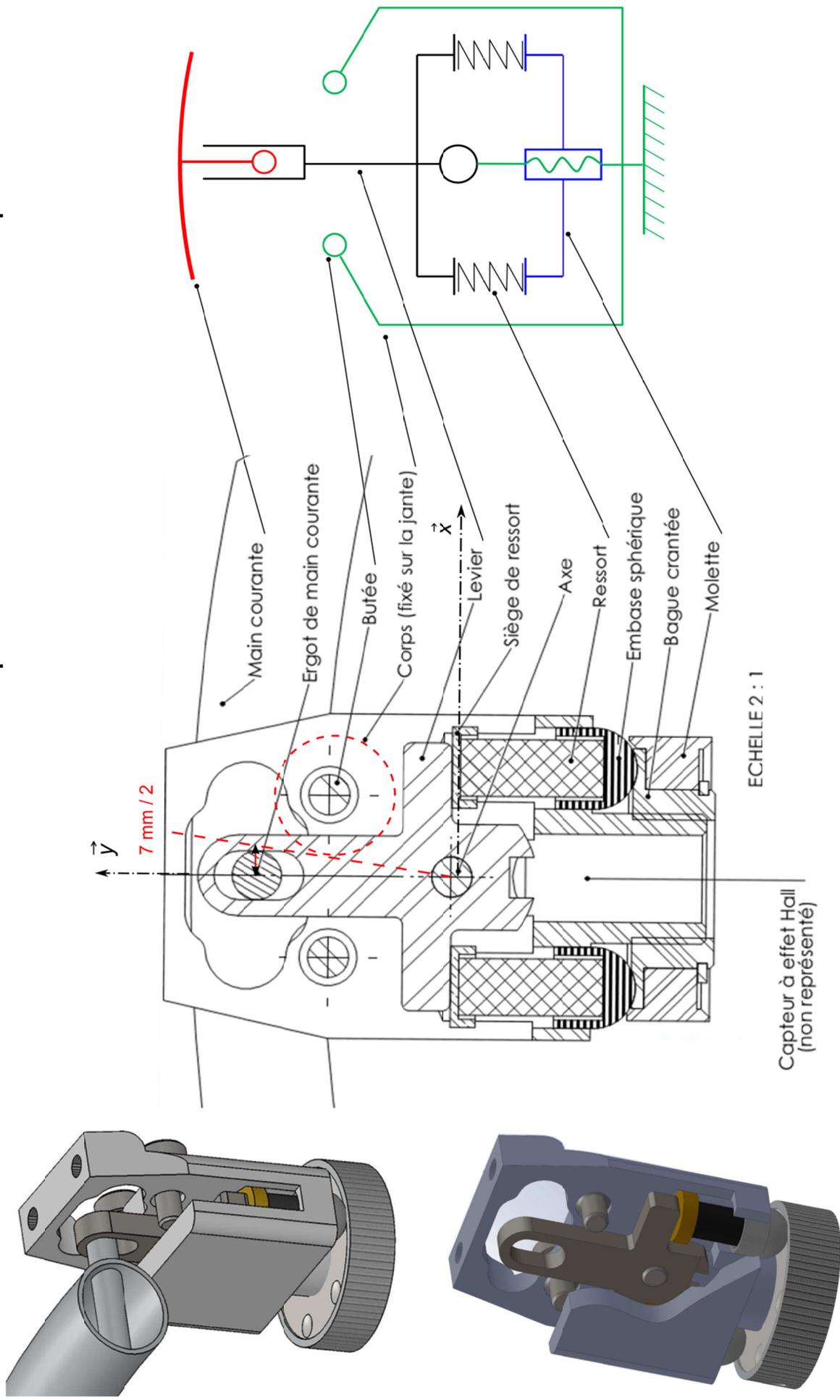
La portée simulée est de 24533 m pour une donnée constructeur de 25000 m. L'écart est très faible (< 2 %) et valide la donnée constructeur.

## 7 Conclusion

**Q28** Les réglages effectués, adaptent les capteurs aux performances de monsieur M. Cela lui permet d'utiliser son fauteuil en toute sécurité et avec confort sur une distance de près de 25 km. Il peut donc « parcourir à l'extérieur des distances assez importantes dans les rues de sa ville ».

Document réponse DR1

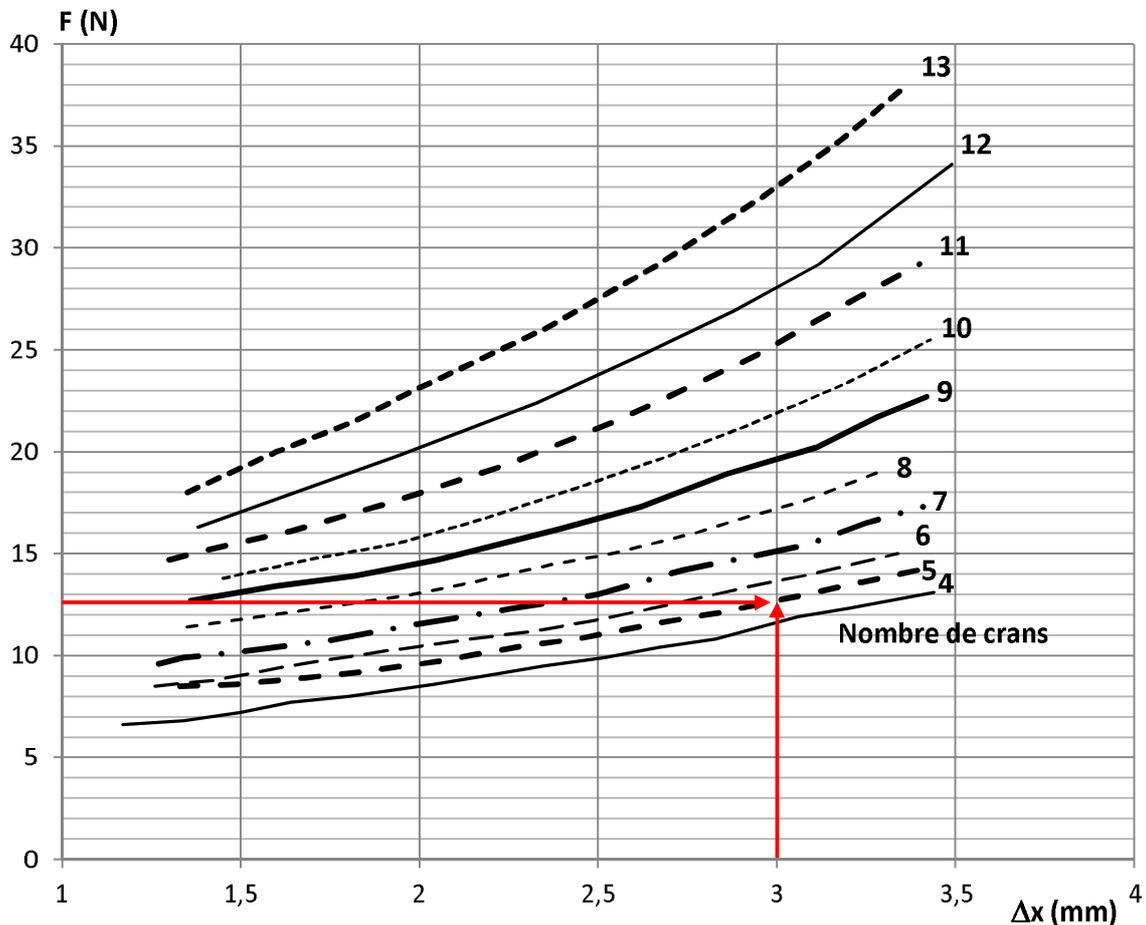
Dessin du capteur d'effort fixé sur la roue et actionné par la main courante



ECHELLE 2 : 1

## Document réponse DR2

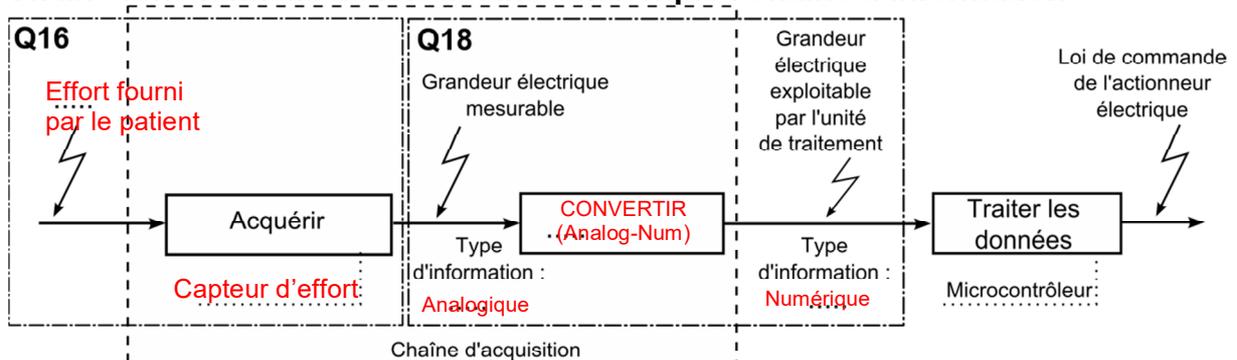
Courbes d'essai mécanique du capteur de force en fonction du réglage de sa molette crantée.



Protocole d'essai utilisé :

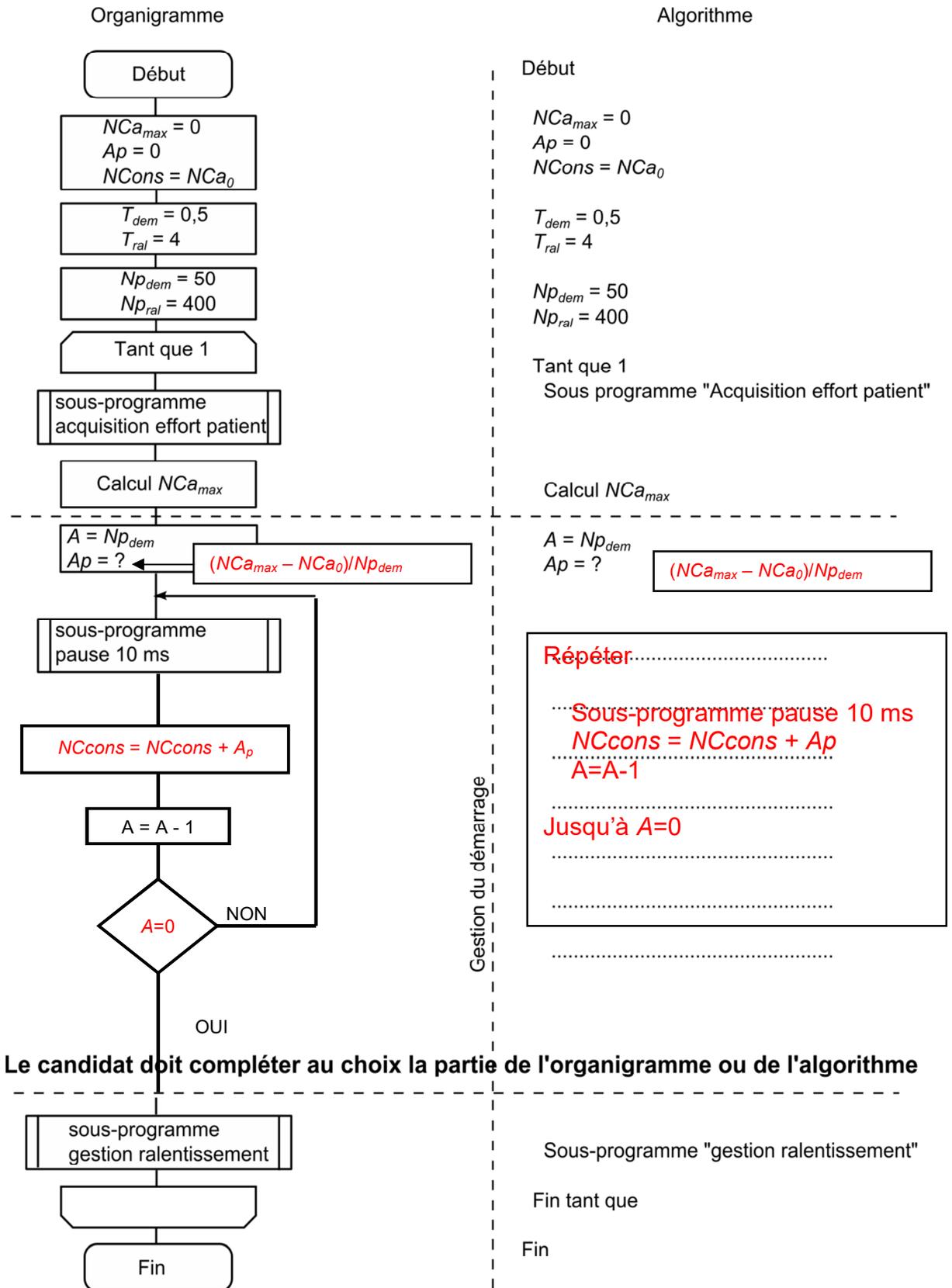
- le capteur est monté sur une machine de traction.
- la force de traction  $F$  est perpendiculaire au levier (au repos). La mesure de  $F$  a une précision de 0,1N.
- le déplacement  $\Delta x$  est mesuré au point d'application de la force et dans la direction perpendiculaire au levier (au repos). Sa précision est de 0,01mm

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



**Document réponse DR3**

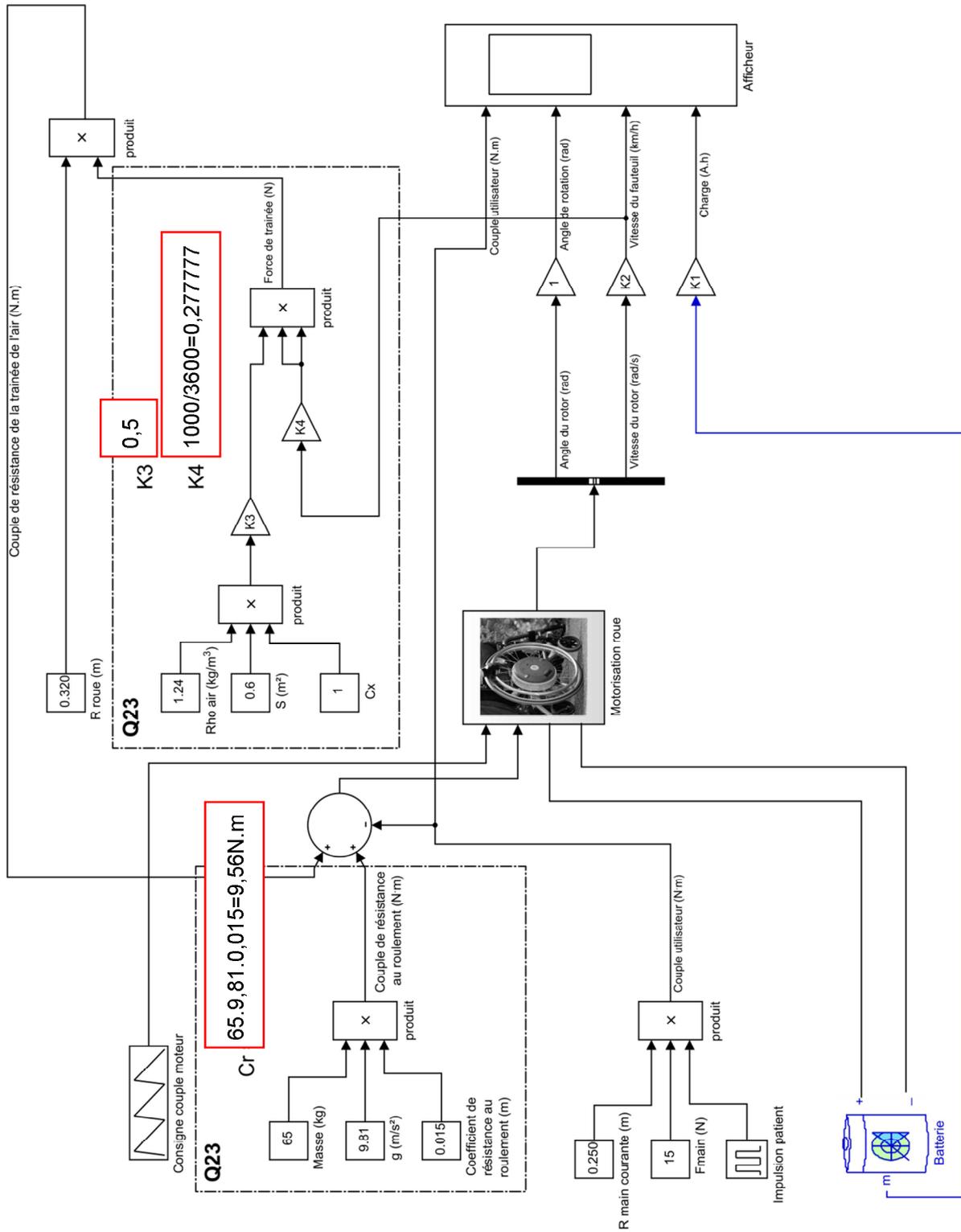
**Organigramme de gestion de la loi de commande de l'actionneur électrique.**



**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

