

**Q1. Énumérer**, pour ces deux fonctions techniques, les constituants réalisant les solutions technologiques retenues par le constructeur.

FT « Se déplacer » : Roues + motoréducteur + transmission

FT « Renseigner l'utilisateur » : Télémètres + Caméras + transmetteur sans fil

**Q2. Indiquer** quelle doit être la mobilité dans les liaisons, de centre C,D et E, permettant au robot de se cabrer.

Il faut un degré de liberté en rotation suivant l'axe z => Liaison pivot d'axe z

**Q3. Représenter** les deux angles de rotation ( $36^\circ$ ,  $35^\circ$ ) entre les modules sur les deux figures du document réponses DR1.

Voir DR1

**Q4. Calculer** la valeur des angles  $\alpha$  et  $\beta$  représentés sur le document réponses DR1 puis **calculer** la hauteur de franchissement garantie  $h$ . **Évaluer** l'écart avec la valeur annoncée par le constructeur et **proposer** si besoin, une solution simple qui permettrait de répondre au cahier des charges.

$$\alpha = 36 + 10 = 46^\circ ; \beta = \alpha + 35 = 46 + 35 = 81^\circ ;$$

$$h = HD\sin(10) + DE\sin(\alpha) + EF\sin(\beta) = 79\sin(10) + 139\sin(46) + 106\sin(81) = 218,4 \text{ mm}$$

=> Ne respecte pas le cahier des charges (on veut 300mm).

$$\text{Ecart} = (\text{Valeur approchée} - \text{Valeur réelle}) / \text{Valeur réelle} = (218,4 - 300) / 300 = 27,2\%$$

Solutions possibles : Augmenter la taille des roues ou l'espace entre les roues.

**Q5. Relever** sur la figure 9 la valeur du courant électrique  $I_0$  lorsque le robot ne se déplace pas. **Justifier** qualitativement la valeur trouvée.

$I_0 = 2A$ . Cette valeur est la plus faible car dans ce mode de fonctionnement le robot ne consomme pas d'énergie pour alimenter les motoréducteurs de déplacement ou de cabrage. Il y a uniquement les capteurs à alimenter.

**Q6. Calculer** l'énergie nominale stockée par la batterie  $W_{bat}$ . **Calculer** l'énergie consommée  $W_{cons}$  lors du déplacement type décrit précédemment (phase 1 à phase 6).

$$U_{bat} = 15V \text{ et } C_{bat} = 6,8Ah \text{ (les cellules sont montées en série)} \Rightarrow W_{bat} = U_{bat} * C_{bat} = 15 * 6,8$$

$$\mathbf{W_{bat} = 102 Wh}$$

Durée de la phase 1 :  $t_1 = 3,6s$ , Durée de la phase 2 :  $t_2 = 1s$  ; Durée de la phase 3 :  $t_3 = 2,5s$  ;

Durée de la phase 4 :  $t_4 = 1,1s$  ; Durée de la phase 5 :  $t_5 = 1,8s$  ; Durée de la phase 6 :  $t_6 = 3s$

$$W_{cons} (Wh) = \frac{U_{bat}}{3600} (I_{1moy} * t_1 + I_{2moy} * t_2 + I_{3moy} * t_3 + I_{4moy} * t_4 + I_{5moy} * t_5 + I_{6moy} * t_6)$$

$$\mathbf{W_{cons} = 0,247 Wh}$$

**Q7. Calculer** l'autonomie du robot  $t_{auto}$  (en minutes) s'il n'effectue que des parcours types (figure 9), ainsi que la distance  $d$  qu'il est possible d'effectuer pour un déplacement type. **Justifier** l'écart observé entre les données du constructeur et les résultats du calcul proposé.

$$\text{Puissance consommée par le robot : } P_{cons} = U_{bat} * I_{moy} = U_{bat} * \frac{I_{1moy} + I_{2moy} + I_{3moy} + I_{4moy} + I_{5moy} + I_{6moy}}{6}$$

$$\Rightarrow P_{cons} = 75,5 \text{ W}$$

$$\text{Temps d'autonomie : } t_{auto} = W_{bat} / P_{cons} = 102 / 75.5 \Rightarrow \mathbf{t_{auto} = 1,35h = 81 \text{ min}}$$

$$\text{Le robot parcourt 5 mètres en 13,6s donc la distance qu'il peut parcourir est : } d = 5 \frac{81 * 60}{13,6} \Rightarrow \mathbf{d = 1,79 \text{ km}}$$

$$\text{Ecart en autonomie : } \text{Ecart} = (81-120) / 120 = 32,5\%$$

⇒ Dans la réalité le robot n'enchaîne pas des phases 1 à 6 mais a des temps de scrutations ce qui diminue la consommation totale ; De plus, dans la réalité la décharge n'est pas à courant constant (on voit des pics de courants sur le chronogramme)

$$\text{Ecart en distance : On veut 300m donc } \text{Ecart} = (1790 - 300) / 300 = 497\%$$

⇒ Le cahier des charges est rempli

**Q8. Comparer** l'autonomie trouvée par la modélisation avec l'autonomie calculée précédemment. **Donner** une explication à cette différence sachant dans la modélisation (figure 11) la décharge de la batterie a été supposée à courant constant.

Si on prend en compte que la tension doit rester supérieure à 15V :  $\mathbf{t_{auto} = 850s = 14,17min}$

Si on prend en compte que la tension doit rester supérieure à 10V :  $\mathbf{t_{auto} = 3520s = 58,3min}$

⇒ Dans les deux cas l'autonomie trouvée en simulation est inférieure à celle calculée à partir des relevés expérimentaux.

⇒ Cela vient du fait que dans les calculs expérimentaux on a considéré que la tension restait constante à 15V

**Q9. Déterminer**, à partir de la figure 9 et de la valeur de  $I_0$ , la valeur de l'intensité ( $I_{etabli}$ ) absorbée en ligne droite, sur le plat par le moteur-réducteur de propulsion en régime établi. **Déterminer** le rendement du moto-réducteur à partir des différentes caractéristiques données dans le document technique DT1. **Justifier** le choix de ce point de fonctionnement.

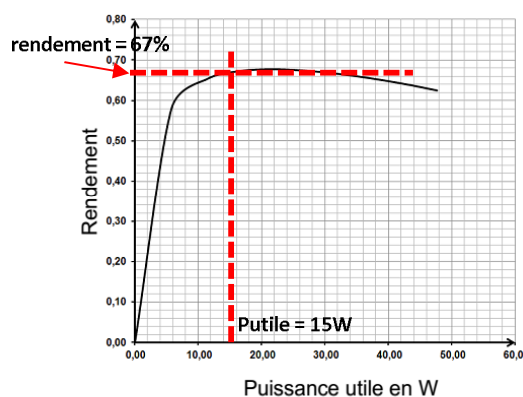
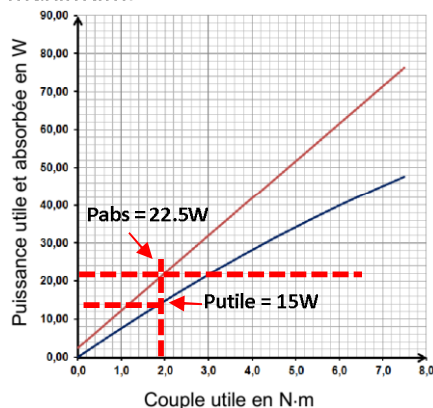
$$I_0 = 2A ; I_{3moy} = I_{5moy} = 3,5A \Rightarrow I_{etabli} = I_{3moy} - I_0 = 3,5 - 2 \Rightarrow \mathbf{I_{etabli} = 1,5A \text{ sous } U_{bat} = 15V}$$

Cela entraîne une puissance électrique consommée de  $P_{absorbée} = 1,5 * 15 = 22,5 \text{ W}$

Dans DT1, pour cette valeur de puissance consommée on lit une puissance utile (puissance moteur) de  $P_{mot} = 15W$

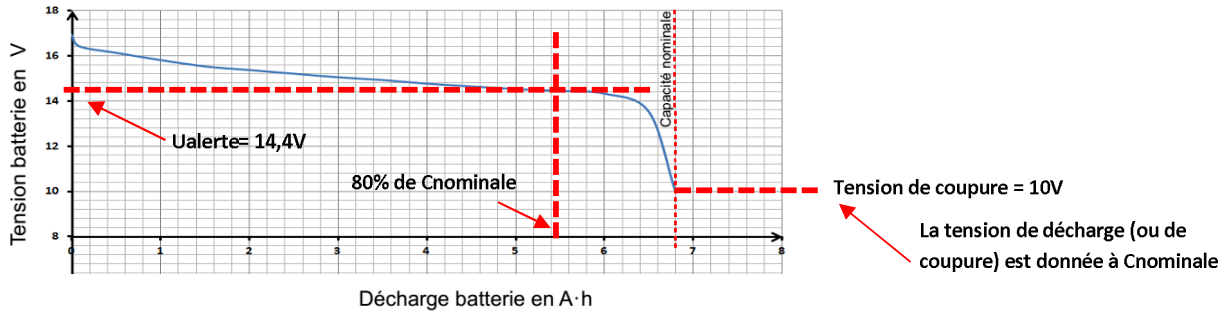
On en déduit le **rendement** :  $\mathbf{\eta = 67\%}$

On se trouve dans l'intervalle où se situe le rendement maximal du moteur ainsi la consommation est optimisée au maximum.



*Remarque : On peut répondre à cette question de plusieurs manières, par exemple sans passer par la tension mais avec la courbe du courant...*

**Q10.** À partir de la caractéristique de décharge figure 12, **déterminer** la valeur de la tension batterie  $U_{bat}$  correspondant au seuil d'alerte.



$C_{nominale} = 6,8Ah$  donc  $C_{alerte} = 80\%$  de  $6,8Ah \Rightarrow C_{alerte} = 5,44Ah$

On en déduit  $U_{bat}(alerte) = 14,4V$

**Q11.** Déterminer la résolution du convertisseur permettant d'atteindre une précision de 0,2 % de la tension nominale de la batterie.

$U_{nominale} = 15V$  ; On veut un quantum de  $q = 0,3 * \left( \frac{0,2}{100} * 15 \right) = 9mV$

Il faut donc un CAN avec un quantum de 9 mV (avec une tension de référence de 0-5V)

$\Rightarrow$  Il faut pouvoir coder :  $\frac{5}{2^n} 9mV \Rightarrow 2^n \geq 555.5$  donc  $n \geq 10$  bits. (résolution du CAN de 10 bits)

**Q12.** En utilisant le protocole de communication du robot présenté sur le document technique DT2, **déterminer** quelle devra être la trame émise par la station émettrice pour connaître l'état de charge de la batterie ainsi que la trame émise en retour par le robot lorsque la batterie aura atteint une décharge de 80 %.

**Trame émise : 02 12 00 00 03 (trame de lecture des paramètres de la batterie)**

DATA\_0      DATA\_1

Trame de retour : 02 12 (XX XX) 03

DATA\_0 : Octet de poids faible

DATA\_1 : Octet de poids fort

Il y a une coquille dans le document constructeur ce qui rend confus pour savoir qui est le poids fort / poids faible entre DATA\_0 et DATA\_1 !

J'ai choisi cette solution...

Charge à 80%  $\Rightarrow U_{bat} = 14,4 V$  donc  $N = \frac{2^{10}}{5} * 0,3 * 14,4 = 883,8 = 884 = 0374h$

$\Rightarrow$  **Trame de retour : 02 12 74 03 03**

**Q13.** En étudiant l'équilibre de la roue au point A, **exprimer**  $C_{roue}$  en fonction de  $m$  (masse du robot), de  $g$  (accélération de la pesanteur), de  $\psi$  (angle d'inclinaison du plan), de  $R$  (rayon de la roue) et de  $C_r$ .

Théorème du moment dynamique à vitesse constante au point A :  $\vec{C}_r + \vec{C}_{roue} + \vec{r}_{A \rightarrow C} \wedge \vec{P} = \vec{0}$

$\Rightarrow C_r \vec{z} + C_{roue} \vec{z} + \vec{r}_{A \rightarrow C} \wedge \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow C_r + C_{roue} = - \frac{r \sin(\psi)}{R} m g$

$\Rightarrow$   **$C_{roue} = C_r + R m g \sin(\psi)$  (à diviser par 8 si nécessaire mais dans le sujet on pose  $P = \text{poids} / 8$ )**

**Q14.** Établir l'expression de  $C_r$  en fonction de  $F_p$  et de  $R$  puis **calculer** sa valeur numérique.

Théorème du moment dynamique au point A :  $\vec{C}_r + \overline{M_A(P)} + \overline{M_A(F_p/8)} + \overline{M_A(R_{sol\grave{a}treue})} = \vec{0}$

$$\Rightarrow C_r \vec{z} + \vec{r} \wedge \frac{\vec{F}_p}{8} - \vec{0} \Rightarrow C_r = R \frac{F_p}{8} = 0$$

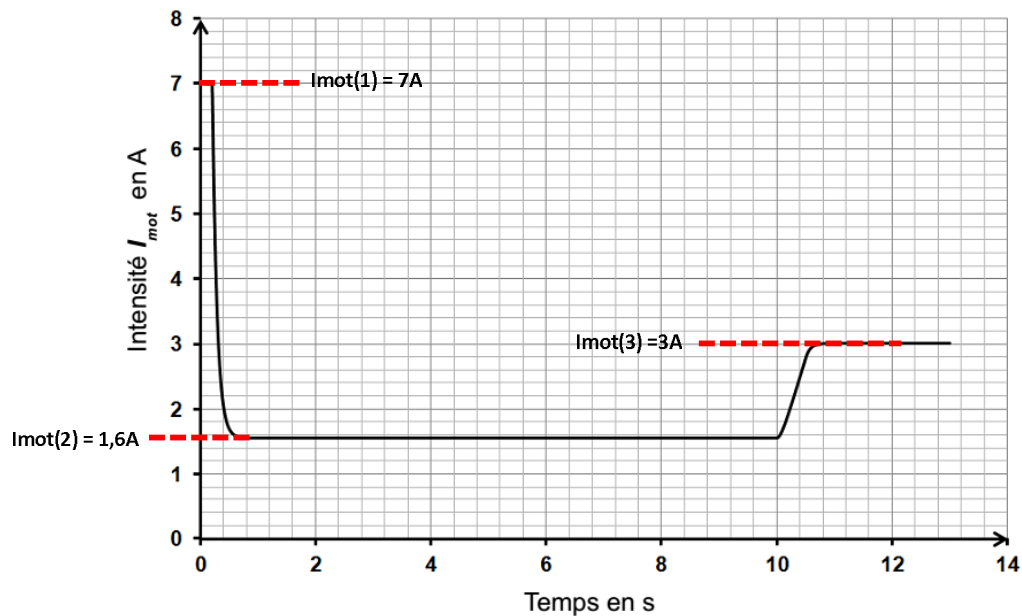
$$\Rightarrow \mathbf{Cr = R*Fp/8}$$

$$\mathbf{AN : Cr = (0.11/2)*35/8 = 0.24 Nm}$$

**Q15.** En analysant le modèle de la figure 17, **expliquer** comment les hypothèses h1 et h4 ont été traduites.

Les hypothèses sont prises en compte par la multiplication par 8 à l'aide du bloc de multiplication « Multiplication3 ».

**Q16.** Relever, sur la courbe issue de la simulation figure 18, les valeurs des trois intensités caractéristiques du courant absorbé par le moto-réducteur  $I_{mot}$ . **Comparer** ces trois valeurs aux résultats obtenus à partir du relevé de la figure 9, **exprimer** les écarts en pourcent et **conclure** sur la validité du modèle.



**Imot(1) = 7A => Appel de courant (accélération)**

**Imot(2) = 1,6A => Déplacement à vitesse constante et  $\psi = 0^\circ$**

**Imot(3) = 3A => Déplacement à  $\psi = 30^\circ$**

$Imot(1) = 7A \Leftrightarrow$  Pic de la phase 1 ( $I = 10A$ ) => Ecart =  $(7 - 10)/10 = 30\%$

$Imot(2) = 1,6A \Leftrightarrow$  Phases 3 et 5 ( $I = 3,5A$ ) => Ecart =  $(1.6 - 3.5) / 3.5 =$  de 54,2%

$Imot(3) = 3A \Leftrightarrow$  Phase 6 ( $I = 5,3A$ ) => Ecart de  $(3 - 5.3) / 5.3 = 43,4\%$

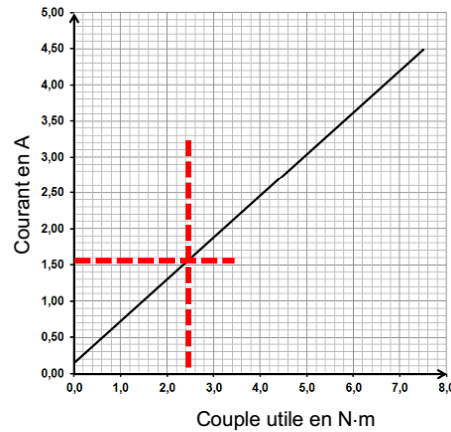
$\Rightarrow$  L'évolution des valeurs est cohérente mais les valeurs ne sont pas identiques avec les relevés expérimentaux.

$\Rightarrow$  Le modèle permet de rendre compte de l'évolution dynamique du courant mais pas des valeurs statiques avec précision.

**Q17.** À partir du courant absorbé par le moto-réducteur sur le plat  $I_{mot}$  et des courbes caractéristiques du moto-réducteur fournies sur le document technique DT1, déterminer le couple à la sortie du moto-réducteur  $C_{mot}$ . Puis, à l'aide des caractéristiques données figure 19, **déterminer** le couple transmis à la roue  $C_{roue}$ .

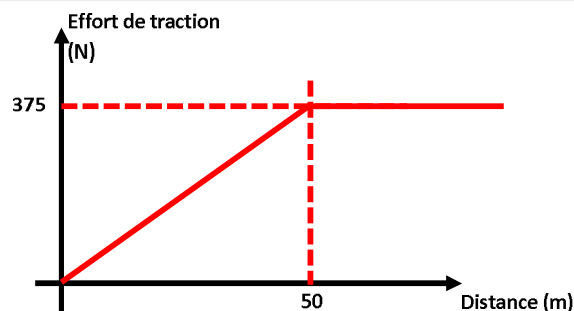
$$I_{mot(plat)} = 1,6A$$

⇒ Sur DT1 on lit pour  $I_{mot} = 1,6A$   $C_u$  (couple utile) = 2,5Nm donc  **$C_{mot} = 2,5Nm$**



On en déduit le couple transmis aux roues :  $C_{roue} = \frac{C_{mot} * \eta}{r} = \frac{2,5 * 0,8}{1} \Rightarrow$   **$C_{roue} = 2Nm$  (pour les deux roues)**

**Q18.** Le bloc « Scope » permet de tracer l'allure de la courbe représentant l'effort de traction du câble en fonction de la distance parcourue,  $F = f(x)$ . Pour valider cette partie du modèle, **représenter**, sur feuille de copie, l'allure de la courbe attendue pour un déplacement de 60 m. **Placer** sur la courbe les valeurs caractéristiques.

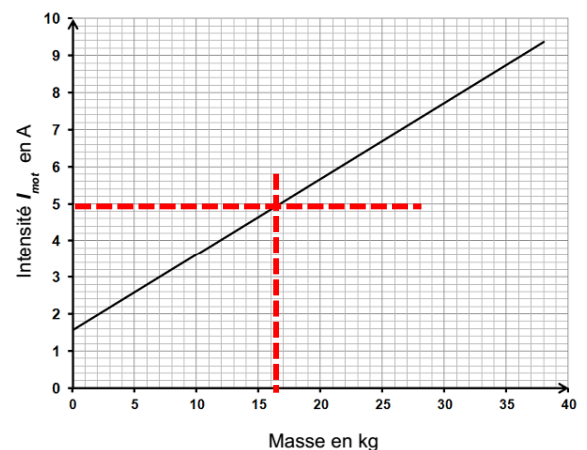


**Q19.** À l'aide de la figure 18 et de la figure 21, **déterminer** la masse embarquée maximale par le robot. **Conclure** sur la capacité à transporter des équipements optionnels.

$$\text{Courant de démarrage } I = 7A \text{ donc } I_{mot(max)} = 0,7 * 7 = 4,9A$$

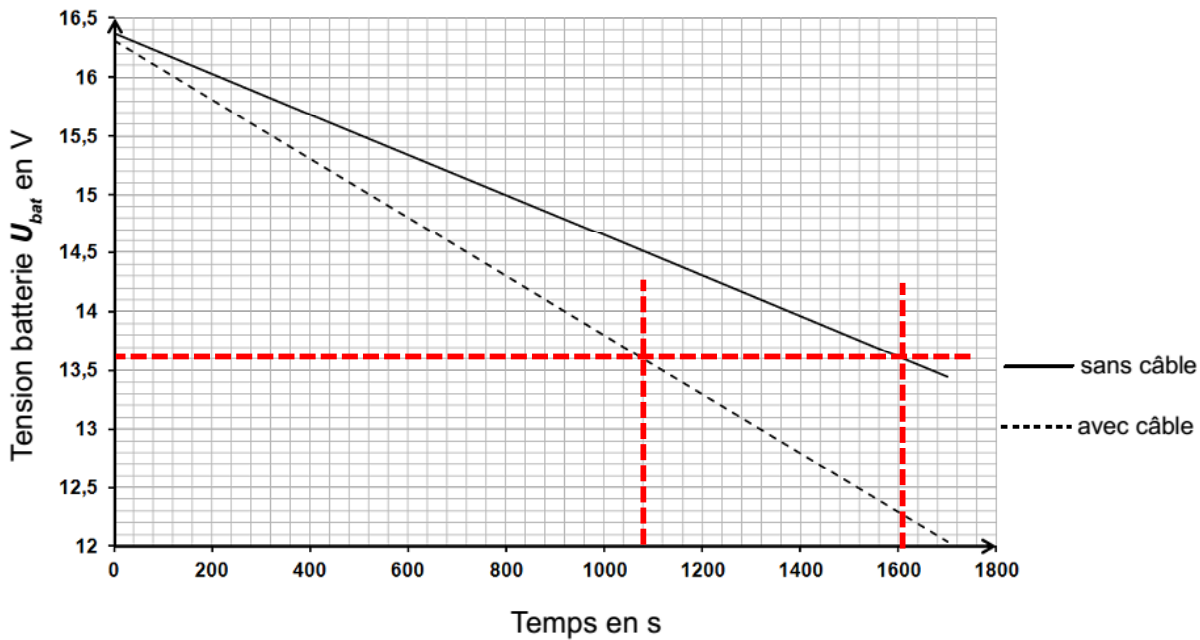
- ⇒ Masse totale de 16 kg
- ⇒ **Soit 6 kg transportable**

Cette valeur suffit amplement pour embarquer de l'équipement optionnel.



**Q20.** En utilisant la courbe figure 22, **déterminer**, en pourcentage, la conséquence de la commande filaire sur l'autonomie.

Pour  $U = 13,6V$  on lit : Temps (avec câble) = 1080s ; Temps (sans câble) = 1600s soit un **écart de 48%**



L'autonomie du robot avec un câble sera donc 48% plus faible que sans câble.

**Q21.** À l'aide du document technique DT1 et de la figure 19, **calculer** la vitesse de déplacement du robot  $V_{it_{rob}}$  (en  $m \cdot s^{-1}$ ) lors de cet essai. **Vérifier** que le robot a la capacité d'effectuer une exploration minutieuse. Si oui **déterminer** la consigne de vitesse la plus adéquate dans cette phase de fonctionnement.

Pour  $U_{mot} = 4,95V$  on lit sur DT1 une vitesse de rotation du moteur de  $N = 19$  tr/min soit  $\Omega_{mot} = 1,99$  rad/s

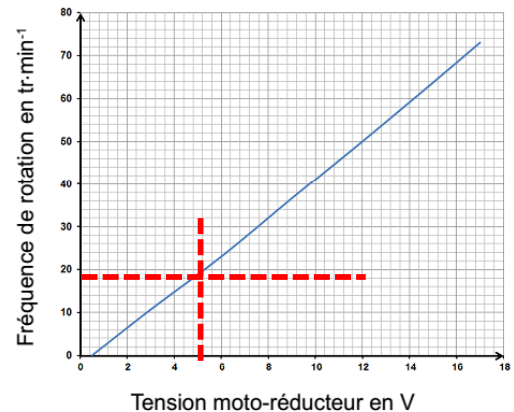
$$\Rightarrow V = \Omega * R = 1,99 * (0.11/2) = 0.109 \text{ m/s}$$

La vitesse souhaitée étant de (4/5) (km/h) soit 0.22m/s le cahier des charges est respecté.

Consigne de 0%  $\Rightarrow 0$  m/s

Consigne de 33%  $\Rightarrow 0,109$  m/s

Consigne de 66%  $\Rightarrow V = 66 * 0.109 / 33 = 0.218$  m/s



C'est avec la consigne de 66% qu'on s'approche au mieux de la valeur souhaitée.

**Q22. Compléter**, sur le document réponse DR2, l'algorithme permettant d'obtenir les différents rapports cycliques en fonction de la commande en vitesse.

Consigne de 0%  $\Rightarrow X = 0$

Consigne de 33%  $\Rightarrow X = 33 * 1023 / 100 = 337$

Consigne de 66%  $\Rightarrow X = 66 * 1023 / 100 = 675$

Consigne de 100%  $\Rightarrow X = 2^{10} - 1 = 1023$

Voir DR2

**Q23.** Au regard des différents points abordés tout au long de ce sujet, **argumenter**, en quelques lignes, le choix du concepteur d'utiliser un minimum de moteurs pour piloter le robot en ayant toutes les roues motrices.

On a vu que le motoréducteur permet de commander le déplacement du robot et la montée d'un obstacle d'une hauteur inférieure à 300mm. Le motoréducteur en soit n'est pas le responsable mais **il faudra changer la structure du robot.**

Concernant **l'autonomie** du robot, on a vu que celle-ci **ne permet pas de respecter le cahier des charges (2h) lorsque le robot enchaîne des phases de type 1 à 6** mais les **vitesses de déplacement souhaitées sont atteintes.** L'autonomie sera augmentée dans la réalité car le robot n'enchaîne pas les phases 1 à 6 mais fait des pauses pour scruter son environnement.

Concernant la **distance maximale** pouvant être parcourue, le **cahier des charges est respecté** (1,7km alors qu'on veut 300m).

Les modèles numériques quant à l'autonomie montrent également que les critères du cahier des charges ne sont pas respectés sur ce point.

De plus, si on ajoute une masse au robot ou que le robot doit tirer un câble, les temps d'autonomie sont encore diminués.

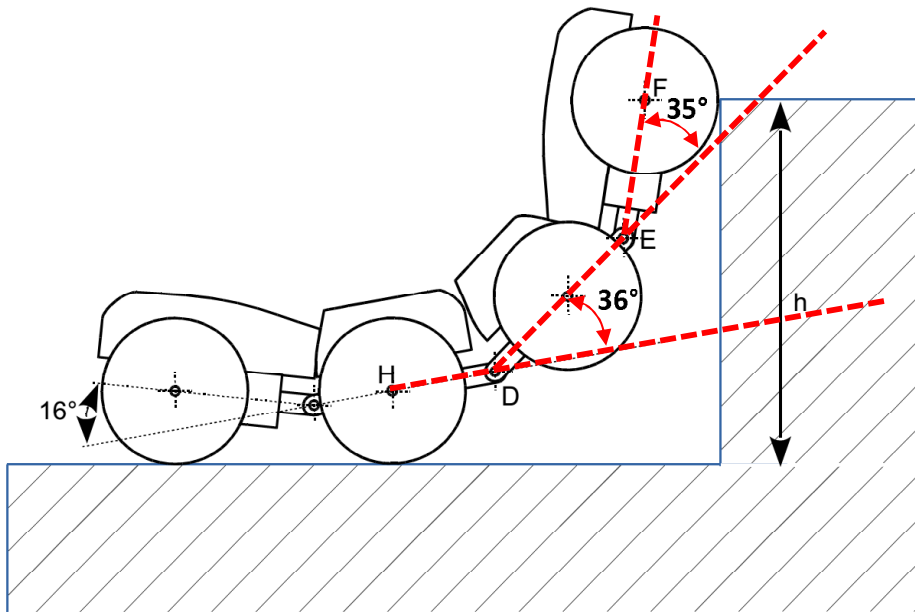
Tous ces paramètres ne permettent pas à priori de valider le choix du constructeur. Cela est étonnant, il y a peut-être une erreur quelque part...

Cependant, en augmentant la capacité de la batterie le cahier des charges pourrait être respecté et le choix de n'utiliser qu'un seul motoréducteur validé (coût moins élevé).

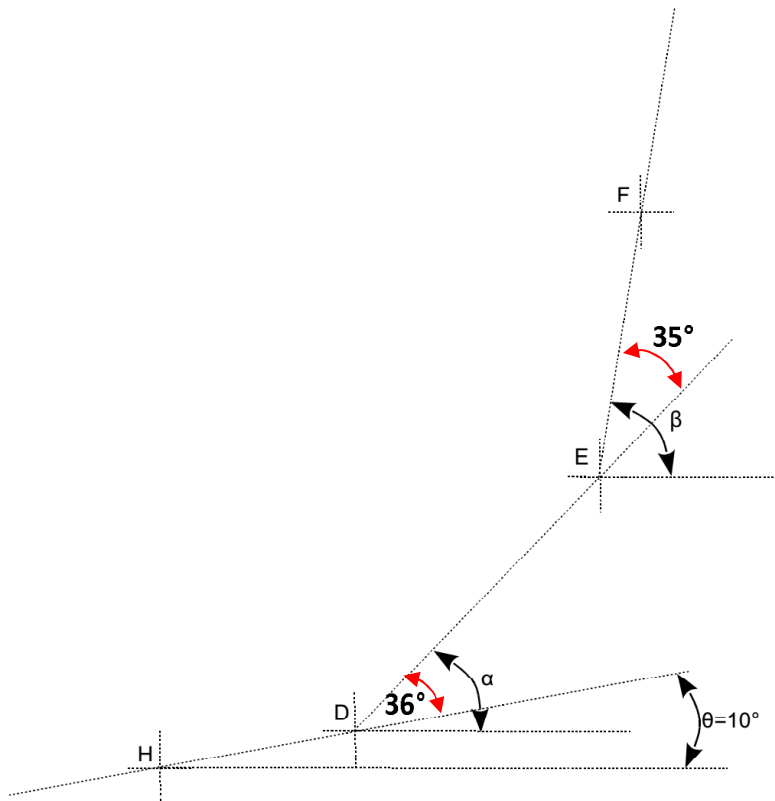
Document réponse DR1. Hauteur de franchissement

Q3

Remarque : les points H et F correspondent aux centres respectifs des liaisons entre les roues et les modules 2 et 4 .

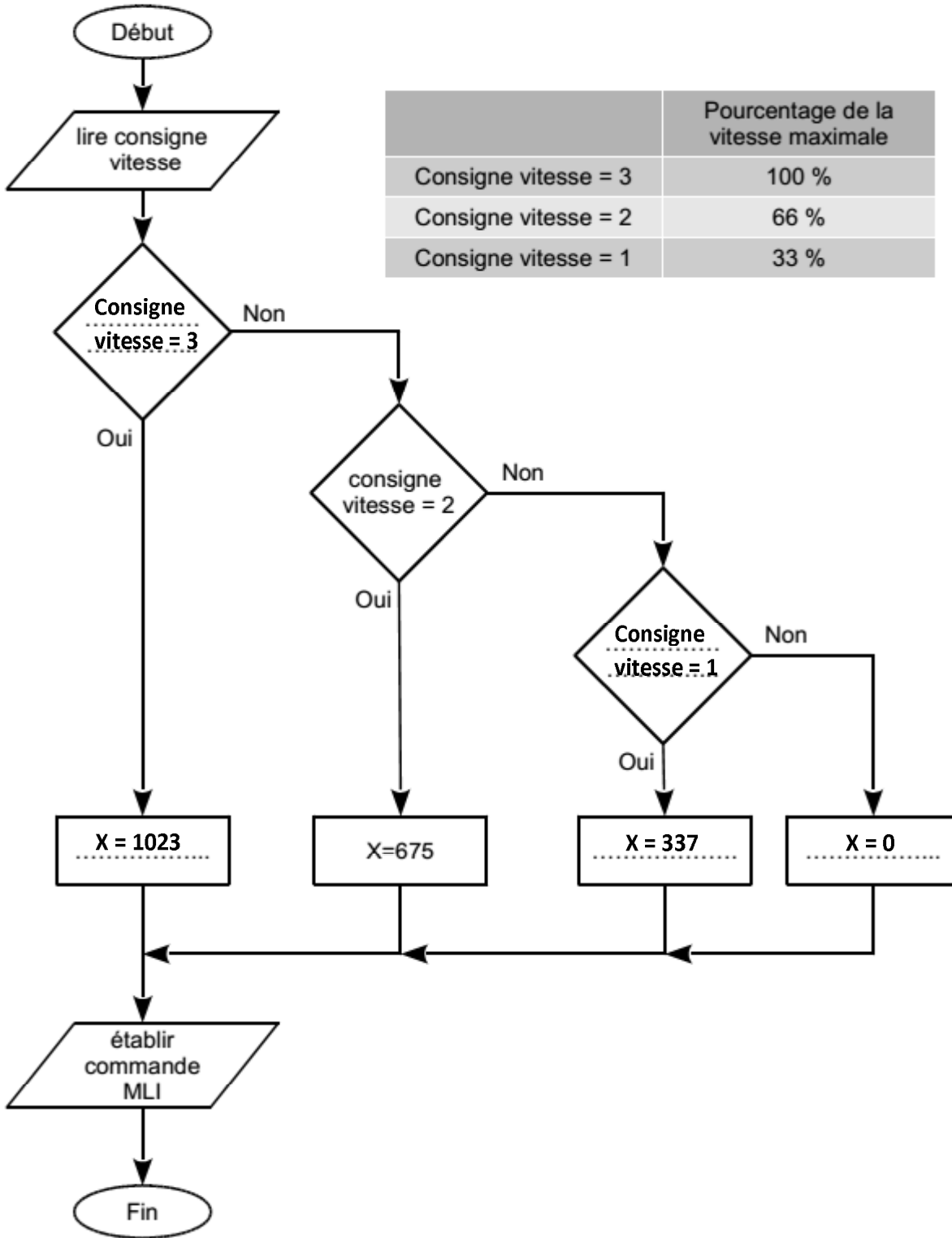


Q4





Q22



	Pourcentage de la vitesse maximale
Consigne vitesse = 3	100 %
Consigne vitesse = 2	66 %
Consigne vitesse = 1	33 %