

BACCALAUREAT GENERAL  
EPREUVE DE S SI  
POLYNESIE 2016  
(Éléments de corrigé)  
Vincent CROS juin 2016

## Robot de reconnaissance et de surveillance tout-terrain

Le sujet s'intéresse aux problèmes de maintenance des circuits aérauliques qui équipent de plus en plus les locaux. On s'intéresse ici en particulier à un type de robot d'inspection de ces circuits.

On souhaite évaluer quelques performances de ce produit qui permettent de qualifier ce robot dans le cadre des missions que le constructeur propose, le travail se décompose de la manière suivante :

- L'étude du besoin et des performances de franchissement,
- L'étude de l'autonomie énergétique,
- L'étude de la capacité à transporter de matériel d'exploration,
- L'étude de la capacité à évoluer à des vitesses lentes pour des explorations minutieuses.

### 1. Besoin et performances de franchissement :

---

Objectif(s) de cette partie : Identifier les solutions technologiques et évaluer les capacités de franchissement vertical.

---

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

Eléments technologiques constitutifs susceptibles de remplir la fonction « se déplacer » :

Le robot est composé de 4 modules associés les uns aux autres, pour se déplacer il faut que l'ensemble soit capable de se mouvoir sur des terrains qui peuvent être accidentés, le déplacement est ici décomposé en 3 actions :

- La propulsion,
  - La direction,
  - A contorsion,
- La propulsion est assurée par un motoréducteur associée à un système de transmission mécanique qui agit sur l'ensemble des 4 essieux qui permettent d'entraîner en rotation les 8 roues pour garantir le déplacement. Cette fonction est implantée dans le module 3.
  - La direction est assurée par un motoréducteur qui est implanté dans le module 1.
  - La contorsion est assurée par un motoréducteur associé à un système mécanique qui permet aux différents modules de s'adapter à la forme du terrain à explorer, ce système est implanté dans le module 4.

Pour que ces actions soient possibles, il faut disposer d'énergie électrique, comme on souhaite une autonomie du robot, la solution retenue est l'implantation d'accumulateurs logées dans le module 2.

Eléments technologiques constitutifs susceptibles de remplir la fonction « renseigner l'utilisateur » :

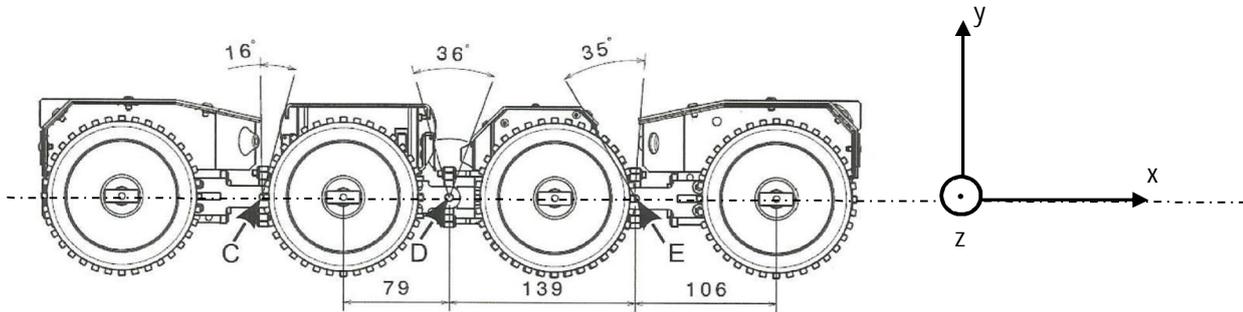
Pour que la mission d'exploration puisse être menée à bien on souhaite informer l'utilisateur de différents mesurages de grandeurs physiques, essentiellement 2 :

- La vision par le biais de 3 caméras orientées de telle manière que l'utilisateur ait le maximum d'analyse possible, les caméras 1 et 2 permettent de balayer la zone supérieure et la caméra 3 permet de balayer la zone avant,
- L'évaluation d'une distance par le biais de 2 systèmes de télémétrie, l'une de court portée et l'autre de longue portée.

Ces équipements sont implantés sur les deux modules d'extrémité du robot (module 1 et module 4), ces informations sont transmises à l'utilisateur par un système d'émission-réception radio embarqué comportant 2 canaux numériques l'un de données numériques et l'autre d'images vidéo.

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

Pour se contorsionner, il faut que les modules qui composent le robot puissent s'associer les uns aux autres par une liaison mécanique qui autorise d'une part le déplacement simultané des modules en translation et d'autre part un mouvement de rotation d'un module avec les modules amont et aval, cette dernière obligation impose que la mobilité au niveau des centres C, D et E soit la suivante :



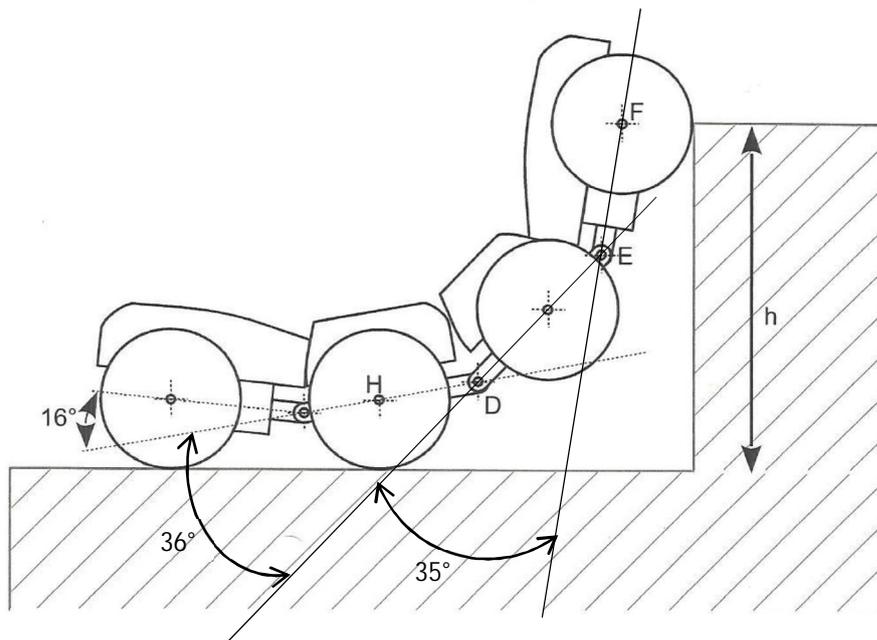
	T	R
x	0	0
y	0	0
z	0	1

Il faut donc implanter une liaison pivot d'axe : (C, z) en C, (D, z) en D et (E, z) en E.

Q3. Représenter les deux angles de rotation (36°, 35°) entre les modules sur les deux figures du document réponses DR1.

La contorsion représentée correspond à la situation extrême où les angles de débattement sont réduits à zéro, on retrouve donc les angles comme représentés ci-dessous :

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



L'angle  $\theta = 10^\circ$  entre le plan horizontal et le segment [HD] est indiqué sur le document réponses DR1. Le diamètre des roues est égal à 110 mm.

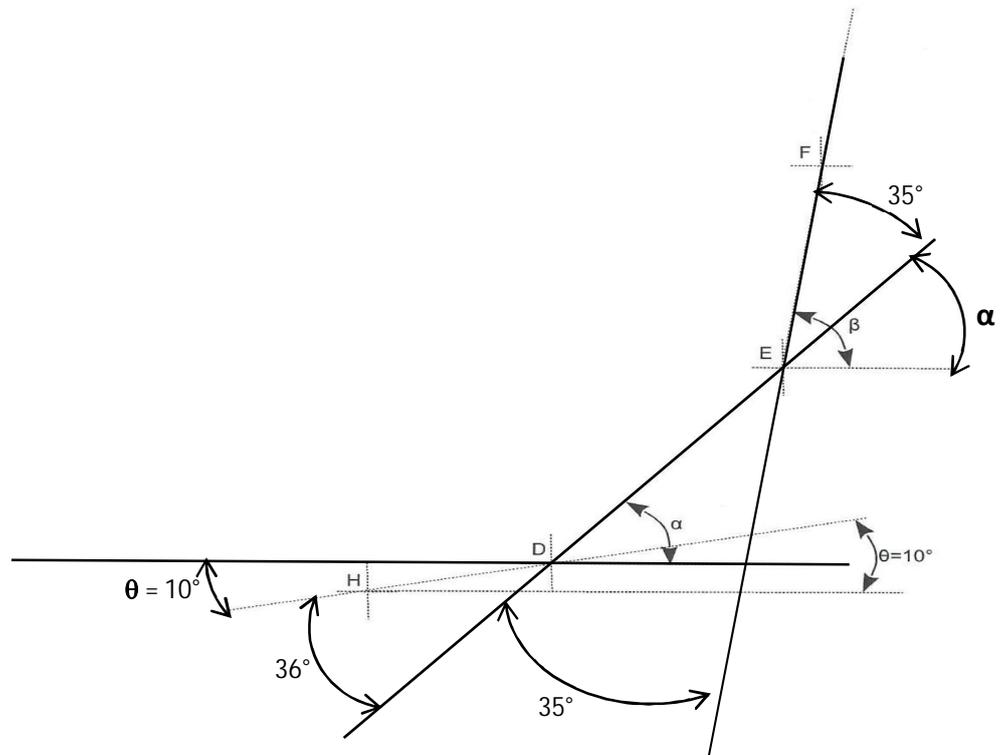
Q4. Calculer la valeur des angles  $\alpha$  et  $\beta$  représentés sur le document réponses DR1 puis calculer la hauteur de franchissement garantie  $h$ . Evaluer l'écart avec la valeur annoncée par le constructeur et proposer si besoin, une solution simple qui permettrait de répondre au cahier des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

En utilisant la propriété des angles opposés par le sommet, on peut présenter sur la figure ci-dessous la position des différents angles mis en jeux.

On constate que :

$$\alpha = \theta + 36^\circ = 46^\circ$$

$$\beta = \alpha + 35^\circ = 81^\circ$$



La hauteur de franchissement peut être exprimée de la façon suivante :

$$h = \frac{\text{Droue}}{2} + HD \cdot \sin(10^\circ) + DE \cdot \sin \alpha + EF \cdot \sin \beta$$

$$h = 55 + 79 \cdot 0,174 + 139 \cdot 0,719 + 106 \cdot 0,986 = 273,4 \text{ mm}$$

Dans ces conditions l'écart est :

$$\varepsilon = 300 - 273,4 = 26,6 \text{ mm soit une erreur d'environ } 9 \%$$

Pour diminuer cet écart, on pourrait songer aux actions suivantes :

- Augmenter le diamètre des roues,
- Augmenter les valeurs des segments [HD], [DE] et [EF],
- Agir sur les 2 propositions simultanément,

Dans tous les cas, la solution ou les solutions retenues seront énergivores.

## 2. Bilan énergétique du robot

Objectif(s) de cette partie : Estimer l'autonomie du robot lors d'un déplacement type, vérifier la pertinence du choix du point de fonctionnement du motoréducteur. Déterminer la trame émise par le robot qui déclenchera une alarme indiquant une charge insuffisante de la batterie.

Les données :

La batterie est constituée de 4 cellules MP 176065 associées en série, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Capacité nominale (en A.h)	Tension nominale (en V)	Tension en fin de charge (en V)	Tension de coupure (en V)
6,8	3,75 V	4,2 V $\pm$ 0,05V	2,5V

Caractéristiques pour une décharge à courant constant de 1,4 A à 20° C.

Le cahier des charges est le suivant :

Le robot doit avoir une autonomie de 2 heures et être télé opérable sur une distance de 300 m.

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

La figure 9 présente l'évolution de l'intensité délivrée par la batterie du robot lors d'une séquence d'observation vidéo et de déplacement à vitesse maximale, sur une distance de 5 m.

Soit  $I_{x moy}$  l'intensité moyenne correspondant à la phase x.

$$I_{1 moy} = 3,7 \text{ A} \quad I_{2 moy} = 7,2 \text{ A} \quad I_{3 moy} = I_{5 moy} = 3,5 \text{ A} \quad I_{4 moy} = 7 \text{ A} \quad I_{6 moy} = 5,3 \text{ A}$$

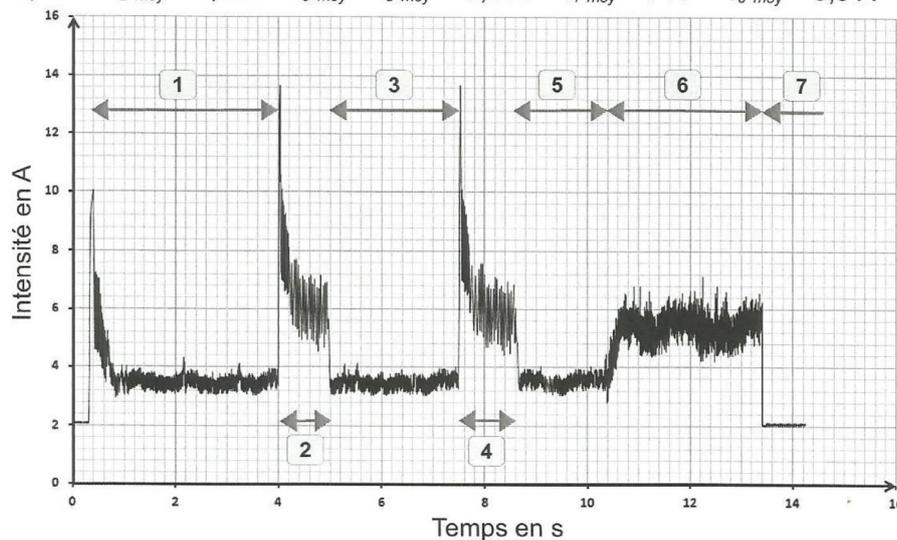


Figure 9 : intensité délivrée par la batterie en fonction du temps durant l'essai

On relève pour  $t = 0$  s, un courant  $I_0 = 2$  A environ, cette valeur correspond à la consommation des divers circuits de contrôle commande du robot, ainsi qu'à la consommation du système de prise de vue et du système d'émission-réception du robot. Lorsque le robot ne se déplace pas on consomme une puissance  $P_0 = 15,2 = 30$  W.

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

Les cellules sont associées en série, dans ces conditions l'énergie stockée, reste égale à  $W_{bat} = 6,8$  A.h.

Pour déterminer l'énergie consommée lors du déplacement type, il faut sommer les énergies successivement consommées durant chacune des 6 phases :

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 1 :

$$I_{1\text{moy}} = 3,7 \text{ A pendant une durée } t_1 = 3,6 \text{ s, soit } \mathbf{W_1 = I_{1\text{moy}} \cdot t_1 = 13,32 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 2 :

$$I_{2\text{moy}} = 7,2 \text{ A pendant une durée } t_2 = 1 \text{ s, soit } \mathbf{W_2 = I_{2\text{moy}} \cdot t_2 = 7,20 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 3 :

$$I_{3\text{moy}} = 3,5 \text{ A pendant une durée } t_3 = 2,5 \text{ s, soit } \mathbf{W_3 = I_{3\text{moy}} \cdot t_3 = 8,75 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 4 :

$$I_{4\text{moy}} = 7 \text{ A pendant une durée } t_4 = 1,1 \text{ s, soit } \mathbf{W_4 = I_{4\text{moy}} \cdot t_4 = 7,70 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 5 :

$$I_{5\text{moy}} = 3,5 \text{ A pendant une durée } t_5 = 1,8 \text{ s, soit } \mathbf{W_5 = I_{5\text{moy}} \cdot t_5 = 6,30 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

Calcul de l'énergie consommée durant la phase 6 :

$$I_{6\text{moy}} = 5,3 \text{ A pendant une durée } t_6 = 3 \text{ s, soit } \mathbf{W_6 = I_{6\text{moy}} \cdot t_6 = 15,90 \text{ A} \cdot \text{s}}$$

$$\text{Soit une consommation } \mathbf{W_{\text{con}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 = 59,17 \text{ A} \cdot \text{s} = 16,44 \text{ mA} \cdot \text{h}}$$

Q7. Calculer l'autonomie du robot  $t_{\text{auto}}$  (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.

En se basant sur la valeur de  $W_{\text{con}}$  on peut déterminer l'autonomie  $t_{\text{auto}}$  de la manière suivante :

L'énergie stockée  $W_{\text{bat}} = 6,8 \text{ A.h} = 6,8 \cdot 3600 = 24480 \text{ A.s}$ , l'énergie consommée pour un parcours type est de  $W_{\text{cons}} = 59,17 \text{ A.s}$ , dans ces conditions :

$$\mathbf{t_{\text{auto}} = \frac{W_{\text{bat}}}{W_{\text{con}}} = \frac{24480}{59,17} = 413,72 \text{ s soit environ } 6,9 \text{ min}}$$

Un déplacement type correspond à une distance parcourue de  $d_{\text{type}} = 5 \text{ m}$  et durée  $t_{\text{type}} = 13 \text{ s}$ , donc la distance  $d$  sera de :

$$\mathbf{d = d_{\text{type}} \cdot \frac{t_{\text{auto}}}{t_{\text{type}}} = 5 \cdot \frac{413,72}{13} = 159,12 \text{ m donc environ } 160 \text{ m}}$$

L'écart sur l'autonomie et la distance parcourue sont respectivement de :

$$\mathbf{\epsilon_{\text{auto}} = \frac{120 - 6,9}{120} = 94 \%}$$

$$\mathbf{\epsilon_{\text{distance}} = \frac{300 - 160}{300} = 47 \%}$$

On peut considérer que le calcul proposé correspond à une utilisation extrême du robot, à savoir un déplacement à vitesse maximum d'environ  $0,38 \text{ m/s}$ , un déplacement sur des pentes de  $30 \%$ , des braquages droites et gauches etc. Il est donc normal que les valeurs constatées soient loin des données du constructeur.

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

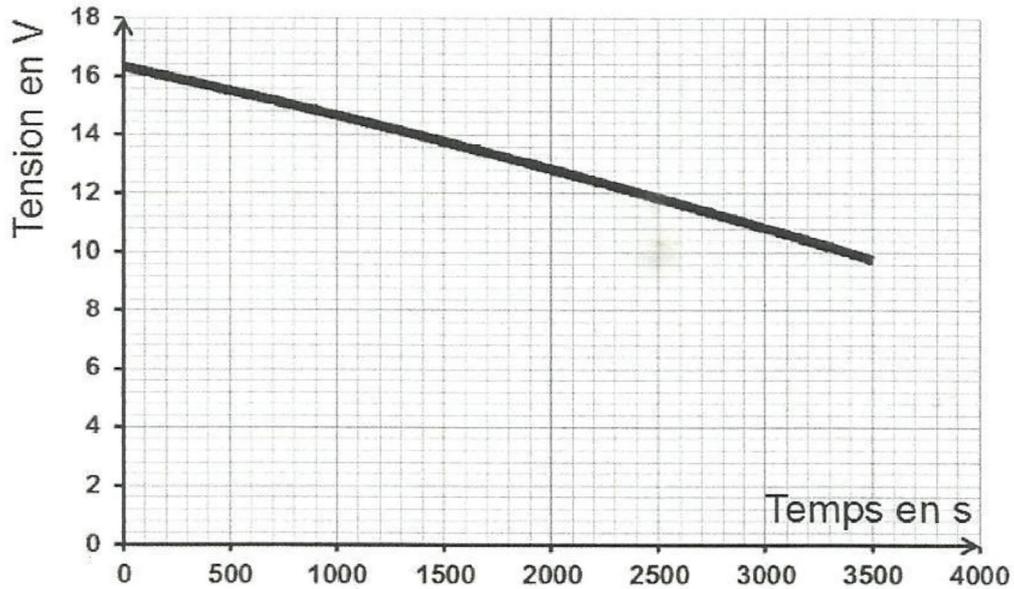


Figure 11 : décharge de la batterie fournie par la modélisation

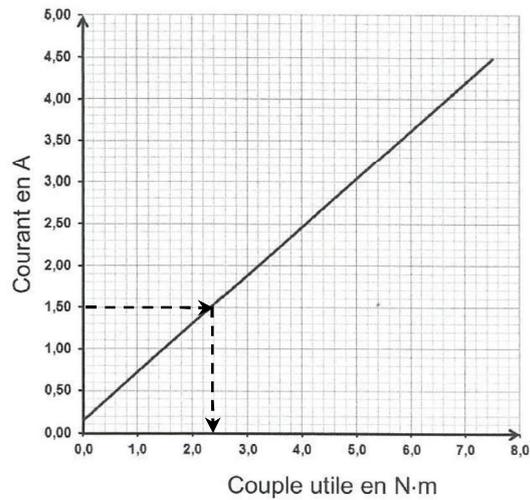
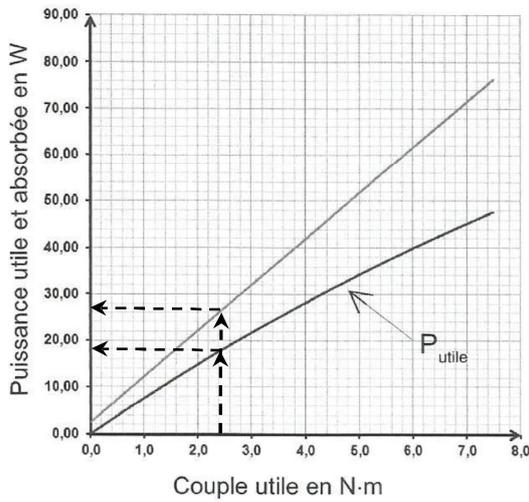
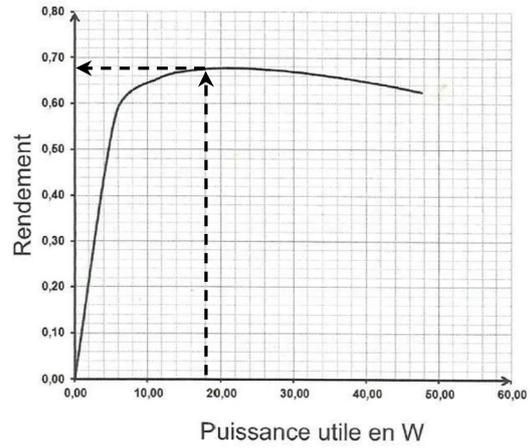
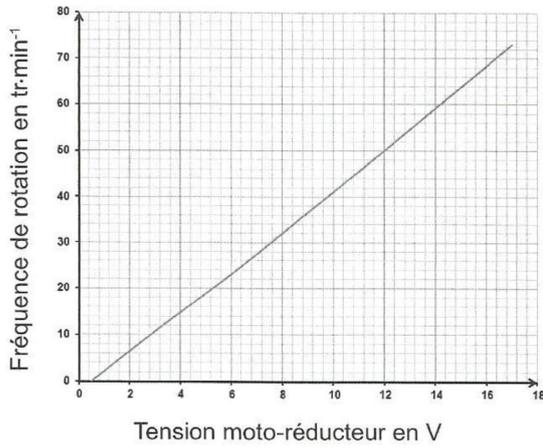
A la lecture du relevé correspondant à la modélisation de la décharge à courant constant on lie une autonomie de 3500 s soit environ 58 min.

Les écarts peuvent être liés au fait que lors du calcul pour un parcours type nous avons considéré que la tension batterie restait constante et égal à 15 V. que par ailleurs, le fait de considérer que le courant prélevé serait constant n'est pas réaliste au regard de l'essai effectué pour un parcours type.

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

En régime établi le courant  $I_{\text{établi}}$  peut être déterminé de la manière suivante :

$$I_{\text{établi}} = I_{3\text{moy}} - I_0 = 3,5 - 2 = 1,5 \text{ A}$$



Si le courant absorbé est de 1,5 A, alors le couple utile  $C_u$  sera égal à 2,4 m·N,

Dans ces conditions la puissance utile  $P_u$  est égale à 18 W et la puissance absorbée  $P_{abs}$  à 27 W.

Le rendement  $\eta$  sera égal à  $\eta = \frac{18}{27} = 67\%$ , valeur qui correspond au rendement maximum de fonctionnement.

Si la puissance utile  $P_u = 18$  W et que le couple  $C_u = 2,4$  m·N alors la vitesse de rotation  $N_u$  se détermine de la manière suivante :

$$P_u = C_u \cdot \Omega_u = C_u \cdot \frac{\pi}{30} \cdot N_u \text{ donc } N_u = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_u}{C_u} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{18}{2,4} = 71,62 \text{ tr/min}$$

Le choix de ce point de fonctionnement est celui qui correspond à un fonctionnement au rendement maximum, donc le cas le plus favorable vis-à-vis de l'autonomie du robot.

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

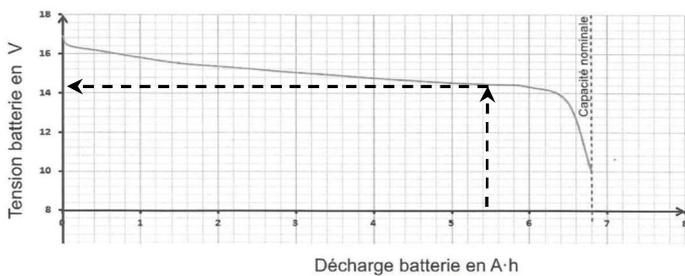


Figure 12 : décharge batterie fournie par le constructeur

La charge nominale est égale à 6,8 A.h, pour 80 % de cette charge nominale la valeur sera égale à  $Q_{80\%} = 0,8 \cdot 6,8 = 5,44 \text{ A} \cdot \text{h}$

Pour cette valeur, la tension  $U_{bat}$  relevée sur la courbe est de :

$$U_{bat} = 14,4 \text{ V}$$

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

La tension nominale de la batterie est égale à  $U_{\text{batt}} = 4 \cdot 3,75 = 15 \text{ V}$ , une incertitude de 0,2 % correspondra à une tension de 30 mV. Dans ces conditions pour une étendue de mesure de 15 V il faudra  $N_{\text{valeur}}$  avec  $N_{\text{valeur}} = \frac{15}{0,03} = 500$ , on prendra donc 512 valeurs, soit une résolution de 9 bits.

Autre manière de déterminer la résolution du convertisseur :

L'incertitude doit être inférieure ou égale à 0,2 % soit 1/500, il nous faut trouver la valeur de n telle que :

$$2^n = 500 \text{ soit } \log(2^n) = \log 500 \text{ donc } n = \frac{\log 500}{\log 2} = 8,96,$$

Comme n doit être élément des entiers naturels alors on prendra la valeur supérieure soit  $n=9$ .

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 en retour lorsque la batterie aura atteint une décharge de 80 %.

Selon les informations du document DT2, la trame se compose de 5 octets comme suit :

STX	CMD	DATA_0	DATA_1	ETX
\$ 02				\$ 03

**STX** : début de la trame ( Start transmission ) ;

**ETX** : fin de la trame ( End transmission ) ;

**CMD, DATA\_0, DATA\_1**, dépendent de la demande de l'utilisateur.

Pour demander l'état de la batterie on fait appel au tableau suivant :

### 3 Les demandes d'informations

La valeur CMD varie selon la nature de la demande. Les valeurs DATA\_0 (octet de faible fort) et DATA\_1 (octet de poids fort) émises par défaut sont \$00.

Nature de la demande	Trame émise par la commande	Trame émise en retour par le robot
Lecture des paramètres de la batterie	02 12 00 00 03	02 12 (valeur batterie) 03

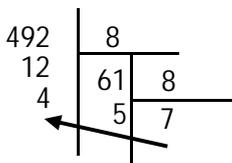
Donc la trame de demande d'état de la batterie sera la suivante :

STX	CMD	DATA0	DATA1	ETX
\$ 02	\$12	\$00	\$ 00	\$ 03

Une décharge de 80 % correspond à une tension de 14,4 V, un incrément correspond à une tension  $U_{\text{inc}}$  de  $U_{\text{inc}} = \frac{15}{512} = 0,00293 \text{ V}$   
 Conclusion 14,4 V correspond à la valeur  $N_{14,4}$  telle que :

$$N_{14,4(10)} = \frac{14,4}{0,00293} = 492_{(10)}$$

D'où la conversion en octal :



Donc sur deux octets la tension 14,4 V correspondra à  $0754_{(8)}$ , on utilisera DATA0 et DATA1 pour indiquer cette valeur.

STX	CMD	DATA0	DATA1	ETX
\$ 02	\$12	\$54	\$ 07	\$ 03

### 3. Performances limites

Objectif(s) de cette partie : Elaborer partiellement un modèle multi-physique puis utiliser les résultats de ce modèle pour déterminer l'influence de la masse embarquée ainsi que celle du câble de commande en mode filaire sur l'autonomie.

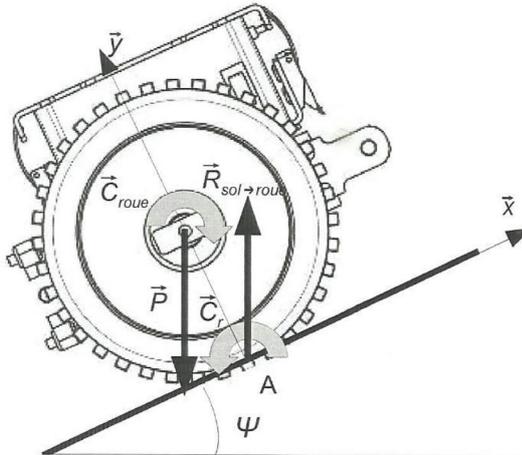


Figure 14 : robot sur un plan incliné d'un angle  $\Psi$

Hypothèses de travail :

- h1, le couple moteur  $C_{mot}$  du module 3 est supposé également réparti sur chacune des huit roues ;
- h2, la traînée aérodynamique est négligée ;
- h3, le robot se déplace à vitesse constante ;
- h4, le poids du robot est également réparti sur les huit roues ;
- h5, les frottements dans les essieux et la résistance au déplacement, également répartis sur chacune des roues, sont modélisés aux points de contact avec le sol.

La roue est en équilibre sous l'action :

- d'un couple de transmission  $\vec{C}_{roue}$  sur l'essieu ;
- d'un couple résistant  $\vec{C}_r$  au point A ;
- du poids ( $1/8^e$  du poids du robot)  $\vec{P}$  ;
- de la réaction du sol  $\vec{R}_{sol \rightarrow roue}$  en A.

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  $C_r$ .

La masse du robot est de 10 kg.

A l'équilibre nous pouvons appliquer le principe fondamental de la statique des solides indéformables de la manière suivante :

$$\{\tau_{en A}(\text{des actions extérieures à la roue})\} = 0$$

$$\{\tau_{en A}(\text{des actions extérieures à la roue})\} = \begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{en A}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} \end{cases}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

$$\vec{P} + \vec{R}_{sol \rightarrow roue} = \vec{0} \text{ donc } \vec{R}_{sol \rightarrow roue} = -\vec{P} = \begin{cases} \frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi \\ \frac{m \cdot g}{8} \cdot \cos \Psi \\ 0 \end{cases}$$

$$\sum \vec{M}_{en A}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0}$$

$$\vec{C}_{roue} + \vec{C}_r + \vec{R} \wedge \vec{P} = \vec{0}$$

$$\vec{C}_{roue} = \begin{cases} 0 \\ 0 \\ -C_{roue} \end{cases}, \quad \vec{C}_r = \begin{cases} 0 \\ 0 \\ C_r \end{cases}, \quad \vec{R} = \begin{cases} 0 \\ R \\ 0 \end{cases}, \quad \vec{P} = \begin{cases} -\frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi \\ -\frac{m \cdot g}{8} \cdot \cos \Psi \\ 0 \end{cases}, \quad \vec{R} \wedge \vec{P} = \begin{vmatrix} 0 & -\frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi & i \\ R & -\frac{m \cdot g}{8} \cdot \cos \Psi & j \\ 0 & 0 & k \end{vmatrix} = \begin{cases} 0 \\ 0 \\ R \cdot \frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi \end{cases}$$

Conclusion :

$$-C_{roue} + C_r + R \cdot \frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi = 0 \text{ donc } C_{roue} = C_r + R \cdot \frac{m \cdot g}{8} \cdot \sin \Psi$$

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

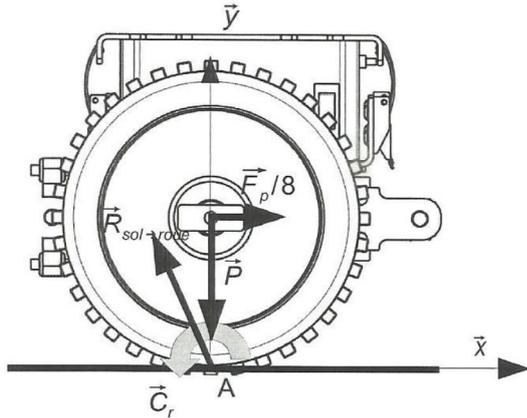


Figure 16 : robot sur un plan horizontal

Il suffit d'écrire ici uniquement l'équation en couple :

$$\vec{C}_r + \vec{R} \wedge \frac{\vec{F}_p}{8} = \vec{0} \text{ donc } \vec{C}_r = -\vec{R} \wedge \frac{\vec{F}_p}{8}$$

$$\vec{R} \begin{pmatrix} 0 \\ R \\ 0 \end{pmatrix}, \frac{\vec{F}_p}{8} \begin{pmatrix} F_p \\ 8 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{R} \wedge \frac{\vec{F}_p}{8} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -R \cdot \frac{F_p}{8} \end{pmatrix}$$

Conclusion :

$$C_r = R \cdot \frac{F_p}{8} = 0,055 \cdot \frac{35}{8} = 0,24 \text{ m}\wedge\text{N}$$

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

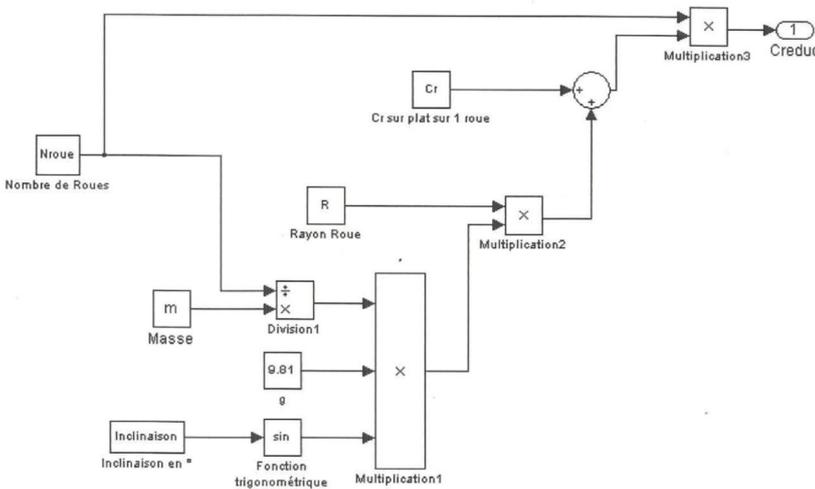


Figure 17 : bloc de calcul du couple  $C_{reduc}$

L'hypothèse h1 est prise en compte grâce au bloc « Multiplication3 » qui effectue la multiplication des deux variables d'entrées, à savoir  $N_{roue} * C_{roue}$ .

L'hypothèse h4 est prise en compte grâce au bloc « Division1 » qui effectue la division de l'entrée « masse » par la variable  $m/N_{roue}$

Q16. Relever, sur la courbe issue de la simulation figure 18, les valeurs des trois intensités caractéristiques du courant absorbé par le motoréducteur  $I_{mot}$ . 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.

Soit  $I_{x, moy}$  l'intensité moyenne correspondant à la phase  $x$ .  
 $I_{1, moy} = 3,7 \text{ A}$   $I_{2, moy} = 7,2 \text{ A}$   $I_{3, moy} = I_{5, moy} = 3,5 \text{ A}$   $I_{4, moy} = 7 \text{ A}$   $I_{6, moy} = 5,3 \text{ A}$

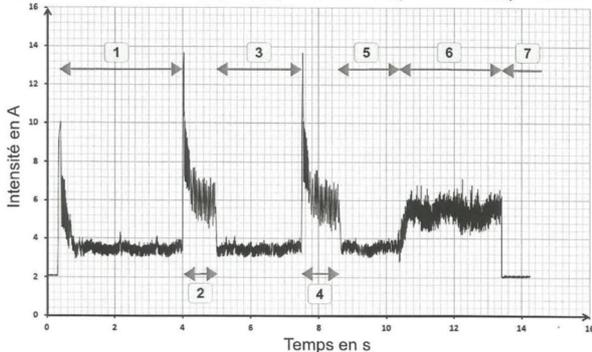


Figure 9 : intensité délivrée par la batterie en fonction du temps durant l'essai

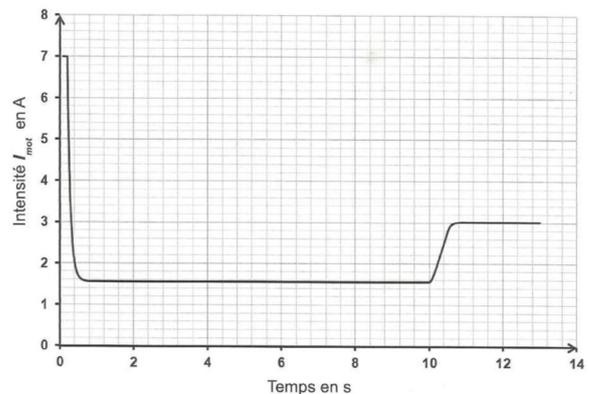


Figure 18 : intensité absorbée par le moto-réducteur de propulsion en fonction du temps

- phase 1, démarrage et déplacement sur un plan horizontal ;
- phase 2, avance et braquage à droite ;
- phases 3 et 5, déplacement en ligne droite sur un plan horizontal ;
- phase 4, avance et braquage à gauche ;
- phase 6, déplacement en ligne droite sur un plan incliné à  $30^\circ$  ;
- phase 7, le robot est en phase d'observation statique (vidéo, télémétrie...).

Sur la figure 9, on peut relever les valeurs suivantes :

Remarque, pour toutes les phases,  $I_{mot} = I_{cons} - I_0$ , avec  $I_0 = 2 \text{ A}$ .

- Au début de la phase 1,  $I_{mot} = 10 - 2 = 8 \text{ A}$ ,
- Pendant les phases 3 ou 5,  $I_{mot} = 3,5 - 2 = 1,5 \text{ A}$ ,
- Pendant la phase 6,  $I_{mot} = 5,3 - 2 = 3,3 \text{ A}$ ,

Sur la figure 18, on peut relever les valeurs suivantes :

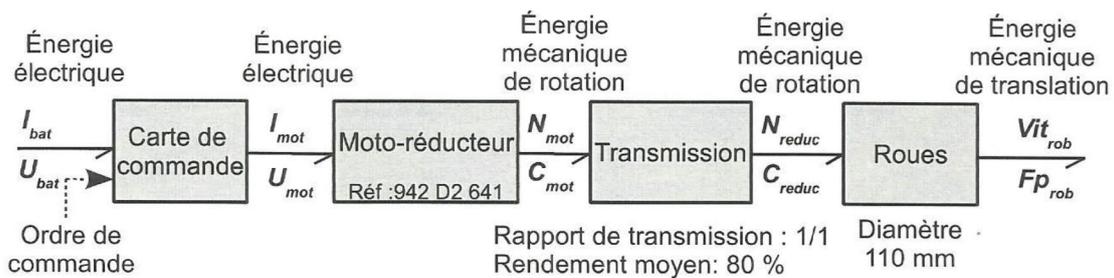
- Pour  $0 \leq t \leq 0,2 \text{ s}$ ,  $I_{mot} = 7 \text{ A}$ .
- Pour  $0,8 \leq t \leq 10 \text{ s}$ ,  $I_{mot} = 1,6 \text{ A}$ .
- Pour  $t \geq 10 \text{ s}$ ,  $I_{mot} = 3 \text{ A}$ .

Analyse des écarts entre les valeurs des essais et de la simulation :

- Pour le démarrage, l'écart absolu est de 1 A, soit une erreur relative est de  $\epsilon = \frac{8-7}{8} = 12,50 \%$
- Pour le déplacement horizontal, l'écart absolu est de 0,1 A, soit une erreur relative est de  $\epsilon = \frac{1,6-1,5}{1,6} = 6,25 \%$
- Pour le déplacement sur une pente de 30 %, l'écart absolu est de 0,3 A, soit une erreur relative est de  $\epsilon = \frac{3,3-3}{3} = 9,09 \%$

On constate que les écarts restent importants et qu'en conséquence il faudrait affiner la modélisation.

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



On reprend les informations issues de la question Q9 :

$I_{mot} = 1,5 \text{ A}$ , alors le couple utile  $C_{mot}$  sera égal à  $2,4 \text{ m}\cdot\text{N}$ , la puissance utile  $P_u$  est égale à  $18 \text{ W}$  et la puissance absorbée  $P_{abs}$  à  $27 \text{ W}$ .

Le rendement  $\eta$  sera égal à  $\eta = \frac{18}{27} = 67 \%$ ,  $N_u = 71,62 \text{ tr/min}$

Le rapport de transmission est de 1/1 mais le rendement est de 80 %, dans ces conditions :

Le couple ramené à la roue  $C_{roue} = C_{reduc} = 0,8 \cdot C_{mot} = 1,92 \text{ m}\cdot\text{N}$  car la vitesse angulaire ne change pas.

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.

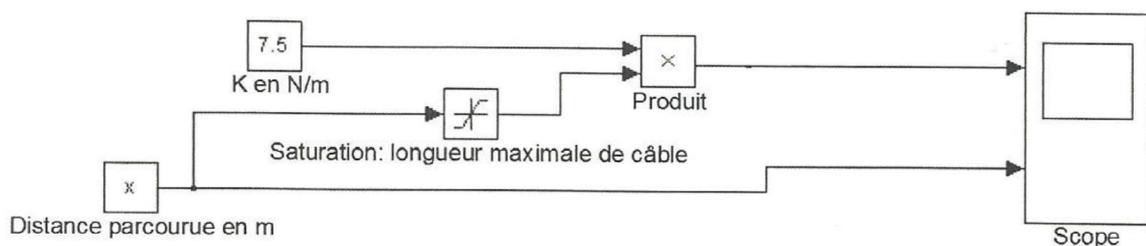


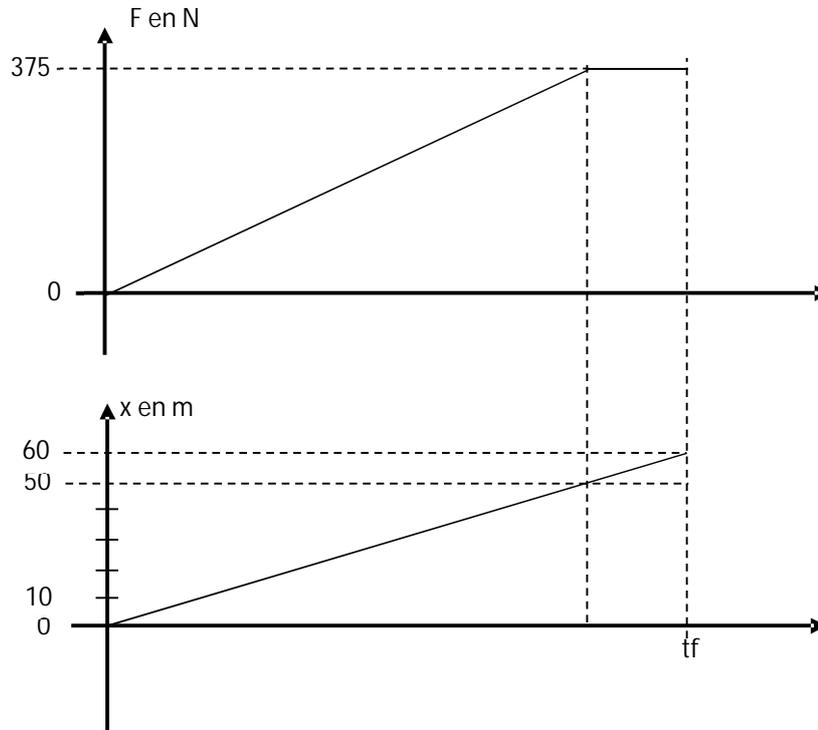
Figure 20 : calcul de l'effort exercé par le câble de commande

On fera comme hypothèse que le déplacement s'effectue à vitesse constante, dans ce cas la distance parcourue s'exprimera de la manière suivante :

$$x(t) = V_0 \cdot t, \text{ avec } V_0 = \frac{60}{t_f}$$

$t_f$  représente le temps correspondant au déroulage des 60 m de câble.

Voici l'allure des courbes relevées par le bloc « scope » :



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

Pour faire cette détermination il faut tenir compte des données suivantes :

- Le courant nominal absorbé par le motoréducteur est limité à 70 % du courant de démarrage.
- La masse du robot est de 10 kg.

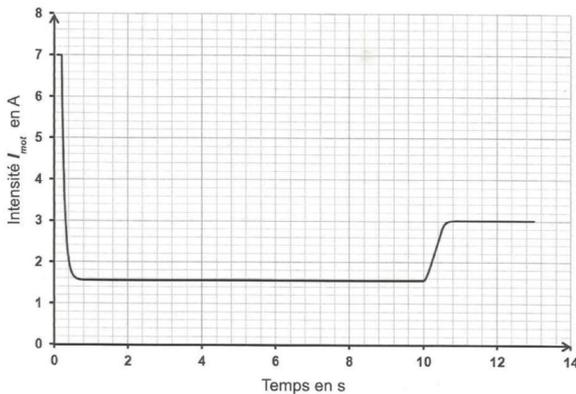


Figure 18 : intensité absorbée par le moto-réducteur de propulsion en fonction du temps

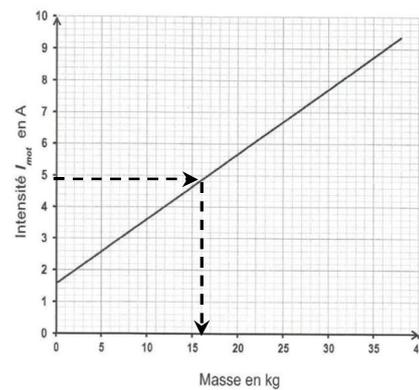


Figure 21 : courant absorbé par le moto-réducteur en fonction de la masse sur un plan incliné à 45°

Sur la figure 18, on relève que le courant de démarrage est égal à  $I_D = 7$  A, si on limite le courant  $I_{mot} = 0,7 \cdot I_D = 0,7 \cdot 7 = 4,9$  A, alors on peut relever sur la figure 21, que, pour un courant  $I_{mot} = 4,9$  A, la masse transportable est égale à  $m_{Trans} = 16$  kg.

En conclusion le robot serait capable de transporter des équipements optionnels dont la masse totale n'excède pas 6 kg, soit une marge d'environ 60 %.

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

Pour faire cette détermination il faut tenir compte des données suivantes :

- La distance limite de télécommande est de 300 m.
- La tension minimale de fonctionnement est de 13,6 V.

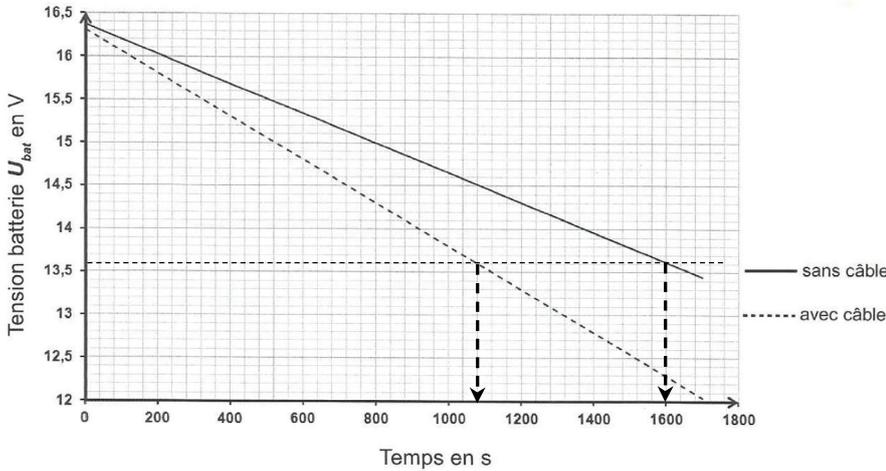


Figure 22 : courbes de décharge de la batterie issues du modèle

Sur la figure 22 on relève que :

Pour un parcours sans câble, l'autonomie est de 1600 s.

Pour un parcours avec câble, l'autonomie est réduite à 1080 s.

Conclusion en pourcentage les conséquences de la commande filaire est de :

$$\varepsilon = \frac{1600 - 1080}{1600} = 0,325$$

Conclusion, la commande filaire engendre une réduction de 32,5 % d'autonomie.

#### 4. Vitesses d'exploration

Objectif(s) de cette partie : Déterminer le réglage de vitesse de déplacement du robot qui permet une exploration minutieuse de l'environnement et élaborer la commande du moteur à partir de la consigne de vitesse fournie par l'utilisateur.

Q21. A l'aide du document technique DT1 et de la figure 19, calculer la vitesse de déplacement du robot  $V_{it_{rob}}$  (en m/s) lors de cet essai. Vérifier que le robot a la capacité d'effectuer une exploration minutieuse. Déterminer la consigne de vitesse la plus adéquate dans cette phase de fonctionnement.

Pour faire cette analyse il faut tenir compte des données suivantes :

- La vitesse d'un homme en déplacement est évaluée à 4 km/h.
- La vitesse relative à une exploration minutieuse est 5 fois plus faible.
- Lors d'un essai à 33 % de la vitesse maximale, la tension mesurée aux bornes du motoréducteur  $U_{mot} = 4,95$  V.

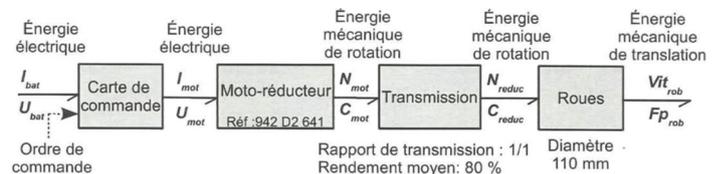
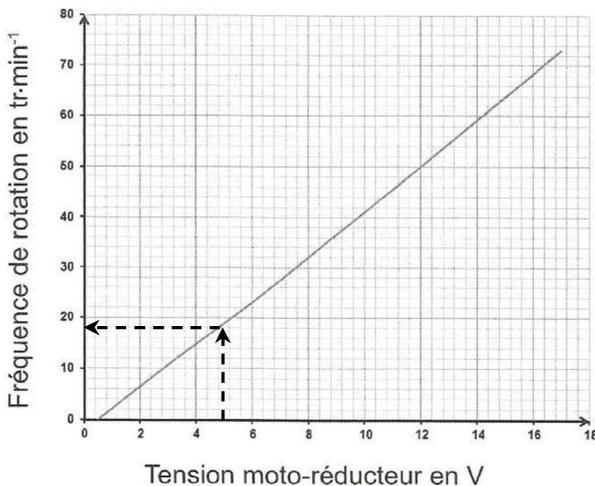


Figure 19 : structure de la chaîne d'énergie des roues motrices

Sur la courbe de gauche on relève pour une tension  $U_{mot} = 4,95$  V, une vitesse  $N_{mot} = 18$  tr/min, comme la transmission est de 1/1 alors  $N_{reduc} = N_{mot} = 18$  tr/min, on détermine la vitesse du robot  $V_{it_{rob}}$  de la manière suivante :

$$V_{it_{rob}} = R \cdot \Omega_{roue} = R \cdot \frac{\pi}{30} \cdot N_{reduc} = 0,055 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot 18 = 0,104 \text{ m/s}$$

Soit  $V_{it_{rob}} = 0,373 \text{ km/h}$ .

Par ailleurs pour un mission minutieuse la vitesse de déplacement doit être :  $V_{it_{rob}} = \frac{1}{5} \cdot V_{it_{humain}} = 0,8 \text{ km/h} = 0,222 \text{ m/s}$

Donc il faut augmenter la vitesse du motoréducteur de telle sorte que :

$$N_{\text{reduc}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{V_{\text{it}_{\text{rob}}}}{R} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{0,222}{0,055} = 38,6 \text{ tr/min}$$

Pour vitesse de 18 tr/min la tension correspondait à 4,95 V, comme la courbe est affine, il en résulte que pour une vitesse de 38,6 tr/min alors la tension  $U_{\text{mot}}$  sera de :

$$U_{\text{mot}} = \frac{38,6}{18} \cdot 4,95 = 10,61 \text{ V}$$

Comme pour  $U_{\text{mot}} = 4,95 \text{ V}$  la commande est de 33 %, alors pour une tension  $U_{\text{mot}} = 10,61 \text{ V}$ , la commande sera de :

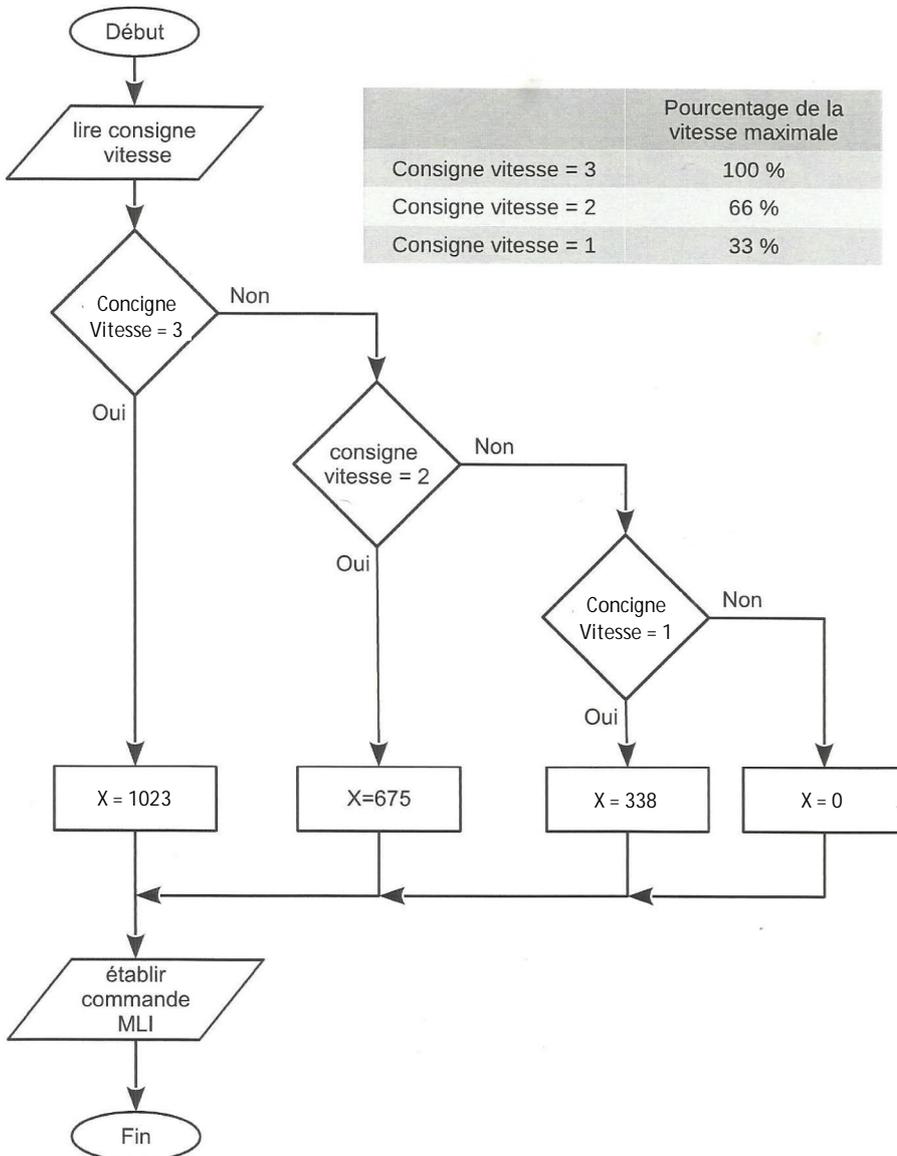
$$\text{Cde} = \frac{10,61}{4,95} \cdot 33 = 70,74 \%$$

Comme la commande en vitesse évolue par palier de 33 %, la commande la plus proche sera de 66 %, donc le robot sera capable de réaliser une exploration minutieuse dans un temps correct.

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

Document réponse DR2. Algorithme

Q22



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

Lorsque  $X = 675_{10}$  alors le rapport cyclique est de 66 %, dans ces conditions en considérant que la relation est linéaire nous pouvons déterminer :

- Pour 100 %
 
$$X = 675 \cdot \frac{100}{66} = 1022,7$$
 soit  $X = 1023_{10} = (2^{10} - 1)$
- Pour 33 %
 
$$X = 675 \cdot \frac{33}{66} = 337,5$$
 soit  $X = 338_{10}$

On peut maintenant compléter l'algorithme ci-contre.

## 5. Synthèse

---

Objectif(s) de cette partie : Justifier la solution technologique réalisant la motorisation.

---

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 moteur pour piloter le robot en ayant toutes les roues motrices.

Le choix de scinder en trois la fonction déplacer le robot, semble être une assez bonne idée, ce choix permet effectivement de n'utiliser que 3 motoréducteurs mais engendre probablement une complexité mécanique.

La structure du système de commande de direction n'est pas abordé, on peut imaginer qu'il correspondrait au système de commande relatif à la contorsion.

La structure du système de commande de la contorsion est astucieux, simple et probablement efficace.

Le système de commande de la propulsion compte tenu de la fonction de contorsion, impose que toutes les roues soient motrices. Le choix de n'installer qu'un seul motoréducteur permet de simplifier la commande, par contre le système de transmission mécanique aux quatre essieux doit être assez compliqué. Les dimensions relativement réduites du robot doivent permettre aux différentes roues de déraiper en situation de changement de direction.