

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

## SPECIALITE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

22/10/2020

**Devoir Maison : durée prévue = 2 heures**

*Aucun document n'est autorisé*

*Calculatrices autorisées, conformément à la circulaire n° 99-181 du 16 novembre 1999.*

## Robot de reconnaissance et de surveillance tout-terrain



### Constitution du sujet

**Texte** ..... Pages 1 à 9

*Introduction*

*Architecture du robot*

*Le pilotage*

1. *Besoin de franchissement*
2. *Bilan énergétique du robot*
3. *Performances limites*
4. *Synthèse*

**Document technique** ..... DT

**Le sujet comporte 11 questions.**

## Introduction

La maîtrise et la qualité de l'air dans un bâtiment nécessitent d'avoir un réseau aéraulique (réseau de ventilation, traitement de l'air, climatisation,...) en bon état de fonctionnement. Un dysfonctionnement de celui-ci peut entraîner une contamination de l'air ou bien une surconsommation d'énergie.

Plusieurs entreprises ont développé des robots pour évaluer l'état des conduites dans les bâtiments, en vérifiant notamment le niveau d'empoussièrement et en diagnostiquant les problèmes d'étanchéité.

Une entreprise française souhaite étendre sa gamme de produits robotisés en proposant un robot capable de réaliser des opérations d'inspection sur tout type de terrains.

Ce robot doit être capable d'inspecter des canalisations, des gaines mais aussi tout type d'obstacles que l'on peut rencontrer dans un bâtiment. Ces capacités de franchissement doivent permettre d'élargir son champ d'application à des opérations de reconnaissance et de surveillance.

## Architecture du robot

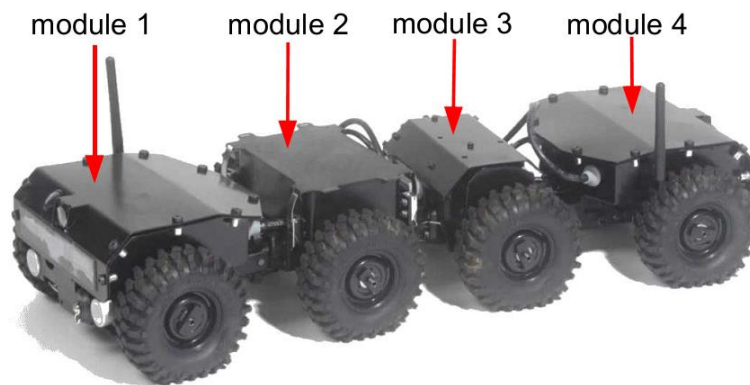


Figure 1 : Robot constitué de quatre modules

Le robot est constitué de 4 modules (figure 1) :

- le module 1, doté d'un moto-réducteur, permet au robot de changer de direction ;
- le module 2, équipé d'une batterie d'accumulateurs, permet de subvenir aux besoins énergétiques du robot ;
- le module 3, équipé d'un moto-réducteur, assure la propulsion du robot en délivrant, par le biais d'une transmission, une énergie mécanique de rotation aux quatre essieux ;
- le module 4, équipé d'un moto-réducteur, permet au robot de s'arquer ou de se cabrer (figure 2).



Figure 2 : Robot cabré (à gauche), robot arqué (à droite)

Les modules 1 et 4 sont équipés à l'identique avec divers éléments, indiqués sur la figure 3, permettant de faire l'acquisition de différentes grandeurs physiques.

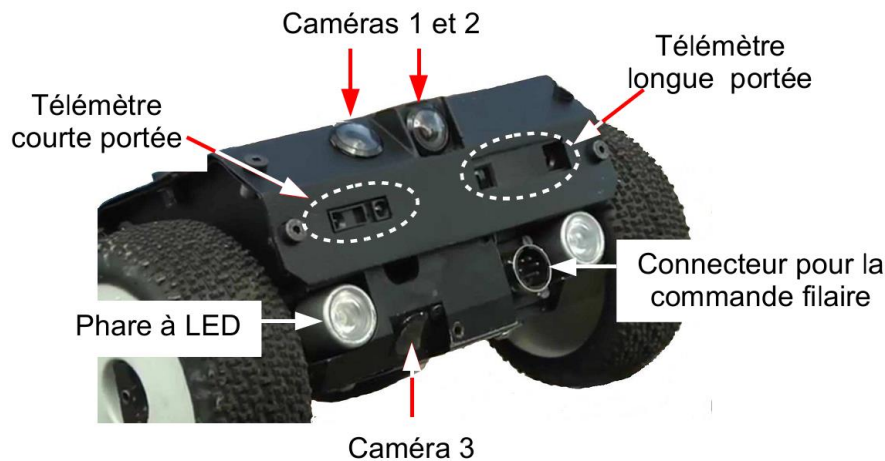


Figure 3 : Equipement avant et arrière

La figure 4 représente les échanges d'information mis en œuvre lors du pilotage du robot.

Les consignes de mouvements de l'utilisateur (repère 1) sont transmises à l'ordinateur de contrôle par l'intermédiaire de la console de commande (repère 2). L'ordinateur de contrôle génère une trame de commande afin qu'elle soit transmise au robot par la station émettrice (repère 3).

Pour rendre le pilotage optimal, certaines informations sur l'état du robot (position arquée ou cabrée, vitesses de déplacements, autonomie, ...) sont renvoyées (repère 4) vers l'ordinateur de contrôle. Ces informations sont affichées sur l'écran de l'ordinateur pour les rendre exploitables par l'utilisateur (repère 6).

Les vidéos prises par les différentes caméras embarquées, sont quant à elles transmises en mode continu sur un canal spécifique (repère 5) vers la station puis vers l'ordinateur.

## Le pilotage

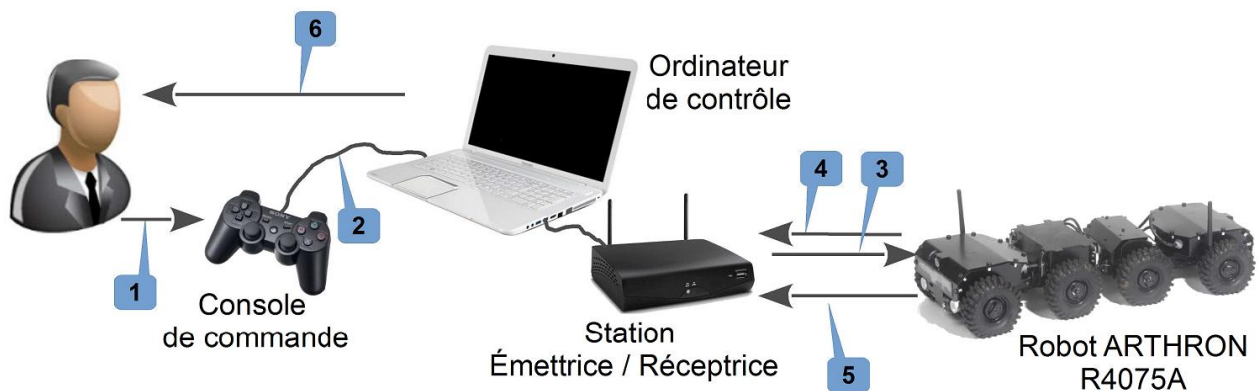


Figure 4 : Eléments permettant le pilotage et flux d'informations

Afin de savoir si ce robot possède toutes les qualités requises pour effectuer la mission pour laquelle il est prévu, il est nécessaire de s'interroger sur :

- les performances de franchissement d'obstacles ;
- l'autonomie énergétique ;
- la capacité à transporter du matériel d'exploration.

## 1. Besoin de franchissement

---

*Objectif(s) de cette partie : identifier les solutions technologiques.*

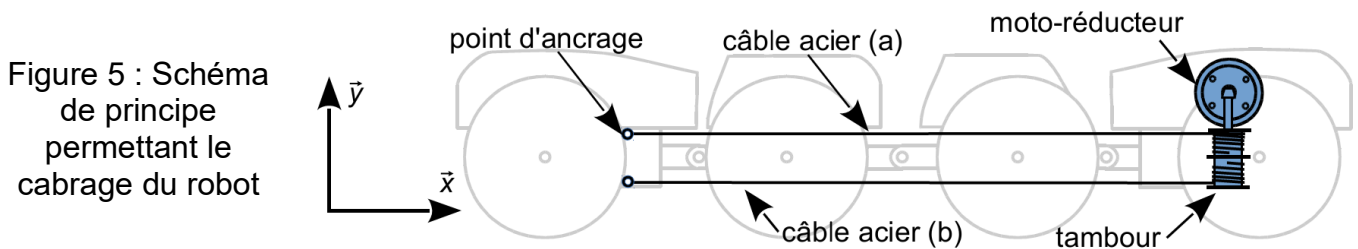
---

Le robot a pour fonction principale d'explorer un lieu. Pour cela, deux fonctions techniques sont nécessaires :

- se déplacer ;
- renseigner l'utilisateur.

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

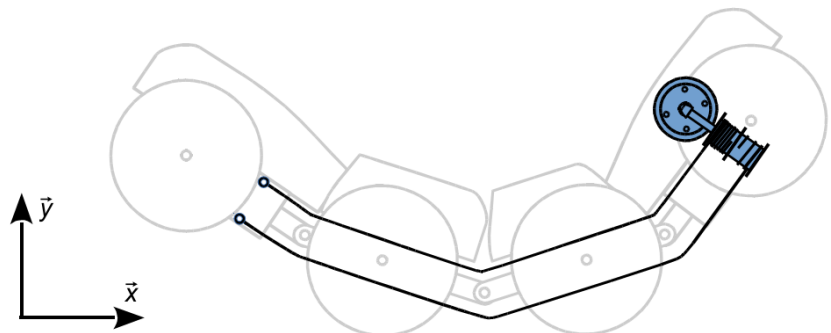
Le constructeur souhaite que le robot soit capable de franchir une marche de 300 mm de hauteur.



Pour franchir des marches avec plus de facilité, le robot va devoir se cabrer. Cette fonction est rendue possible grâce à un moto-réducteur qui entraîne en rotation un tambour, sur lequel s'enroulent et se déroulent deux câbles en acier. Lors de la rotation du tambour, le câble (a) s'enroule pendant que le câble (b) se déroule de la même longueur.

La tension du câble et les articulations entre les modules permettent au robot de se cabrer (figure 6).

Figure 6 : Robot cabré



Pour franchir une marche, le robot se cabre, et continue d'avancer. Arrivé en contact avec la marche, il bascule sur les roues arrière optimisant ainsi la capacité de franchissement.

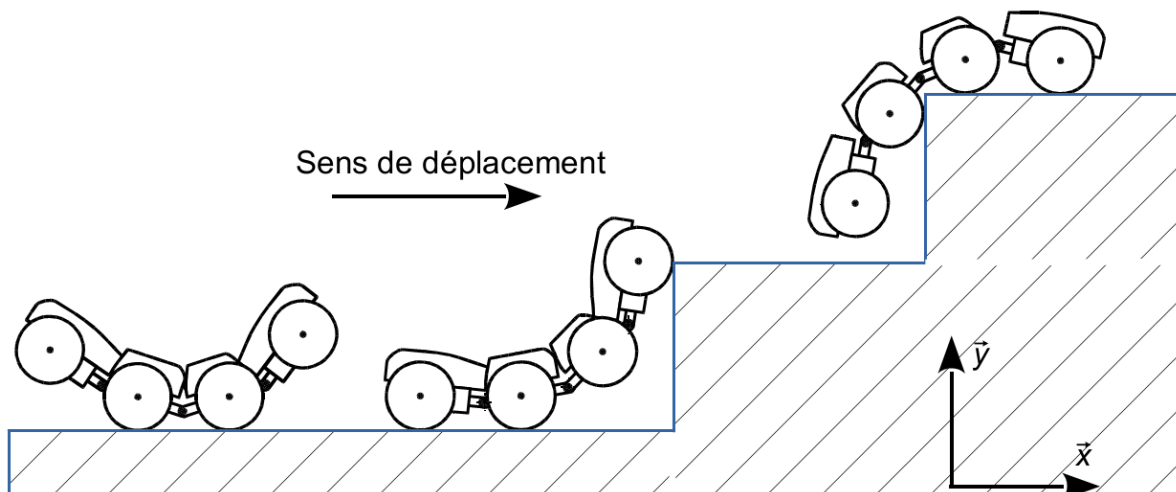


Figure 7 : Etapes de franchissement d'une marche

La rotation des modules les uns par rapport aux autres est limitée par des butées. Les angles maximaux de rotation des modules les uns par rapport aux autres sont indiqués figure 8.

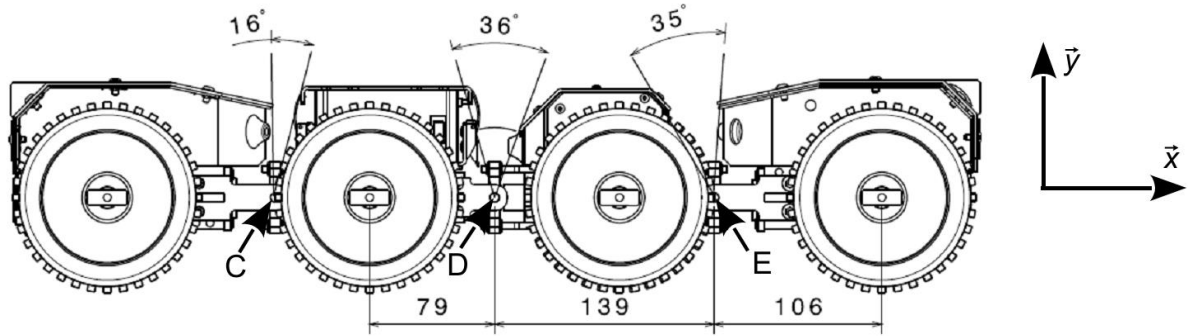


Figure 8 : Angles maximaux de rotation des modules les uns par rapport aux autres

*Remarque :* Les points C, D et E sont les centres respectifs des liaisons entre les modules 1 et 2, 2 et 3, 3 et 4. Quand la structure du robot est horizontale, les points C, D et E sont alignés avec le centre des roues.

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

## 2. Bilan énergétique du robot

---

**Objectif(s) de cette partie :** **estimer** l'autonomie du robot lors d'un déplacement type.

---

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. La distance totale parcourue lors de cet essai est de 5 mètres. Plusieurs phases sont à distinguer :

- 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° ;
- phase 7, le robot est en phase d'observation statique (vidéo, télémétrie, ...).

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

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

Durant cet essai, la valeur de la tension aux bornes de la batterie est considérée constante et égale à 15 V. La batterie est constituée de 4 cellules MP 176065, branchées en série. Les principales caractéristiques électriques d'une cellule MP 176065 sont :

- tension nominale 3,75 V
- tension de fin de charge  $4,2 \pm 0,05 \text{ V}$
- capacité nominale 6,8 A·h
- tension de coupure 2,5 V

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

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

La décharge de la batterie est supposée se faire à courant constant.

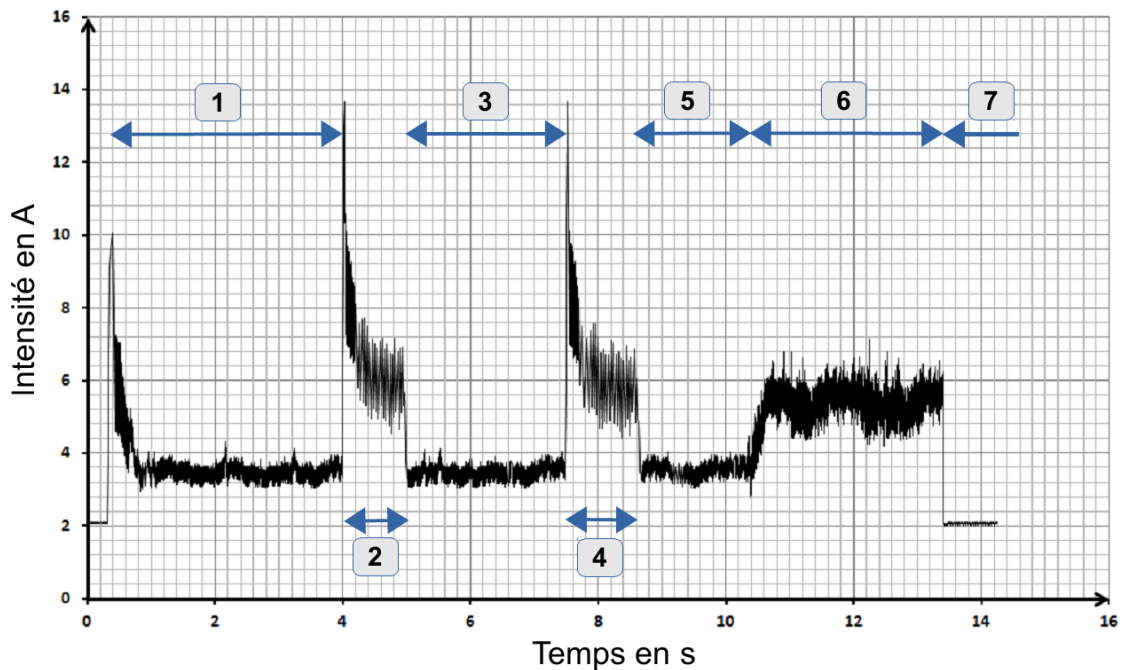


Figure 9 : Intensité délivrée par la batterie en fonction du temps durant l'essai

**Q3. Calculer** l'énergie nominale stockée par la batterie  $W_{\text{bat}}$ . **Calculer** l'énergie consommée  $W_{\text{cons}}$  lors du déplacement type décrit précédemment (phase 1 à phase 6).

**Q4. 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.

Pour affiner l'estimation de l'autonomie, le modèle multi-physique de la figure 10 a permis d'obtenir l'allure de la décharge de la batterie figure 11 en tenant compte des différentes variations du courant observées figure 9.

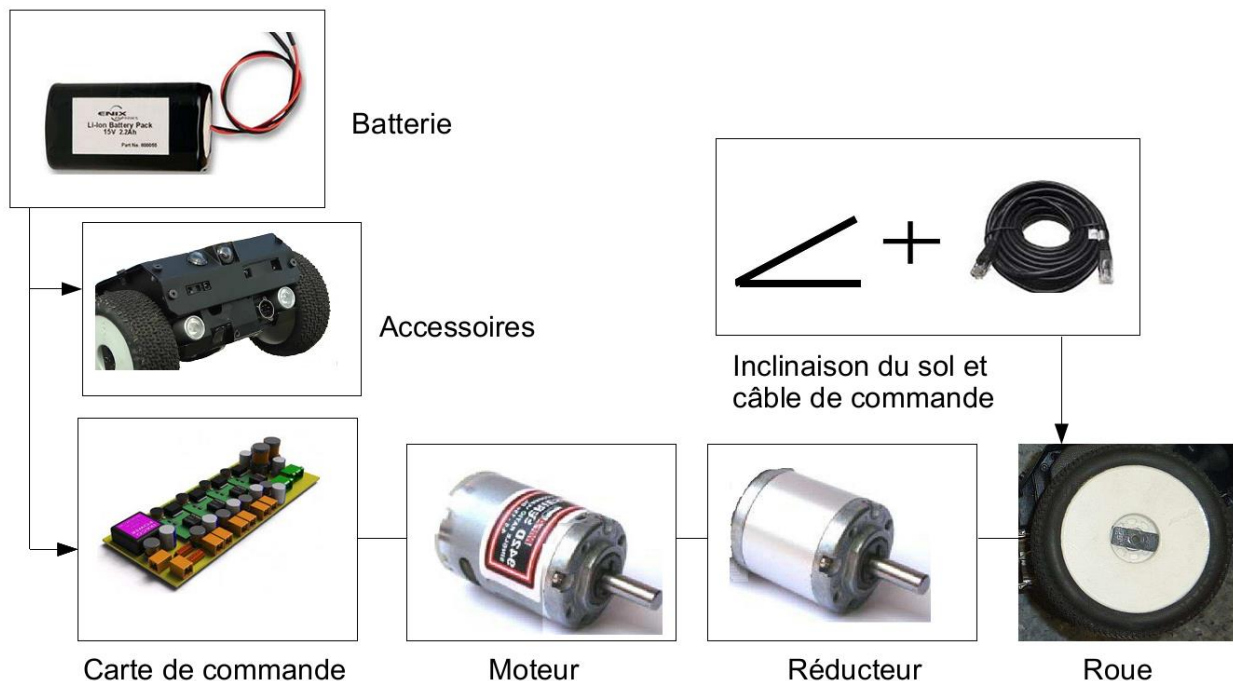


Figure 10 : Modèle multi-physique de la chaîne de propulsion



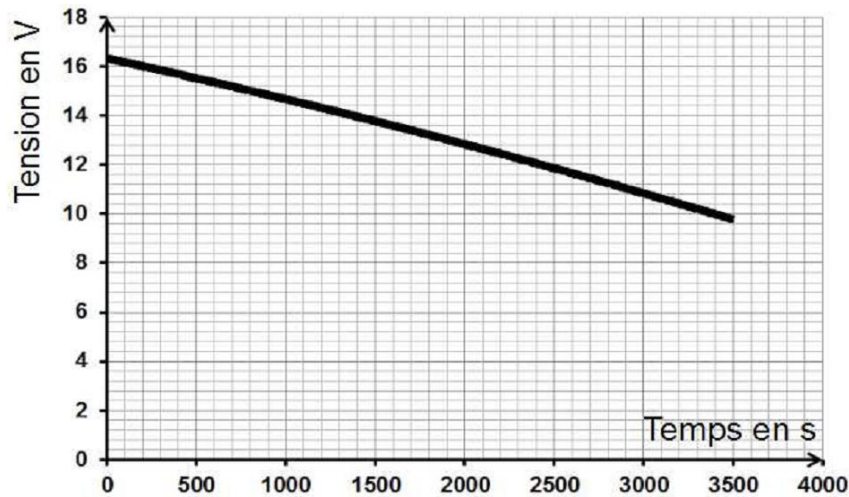


Figure 11 : Décharge de la batterie fournie par la modélisation

**Q5. 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 de la batterie a été supposée à courant constant.

Pour anticiper le pilotage de l'engin, l'utilisateur est informé du niveau de charge de la batterie sur l'écran de l'ordinateur de contrôle par une alarme visuelle et sonore. Le seuil d'alerte correspond à une décharge de la batterie de 80 % de sa capacité nominale.

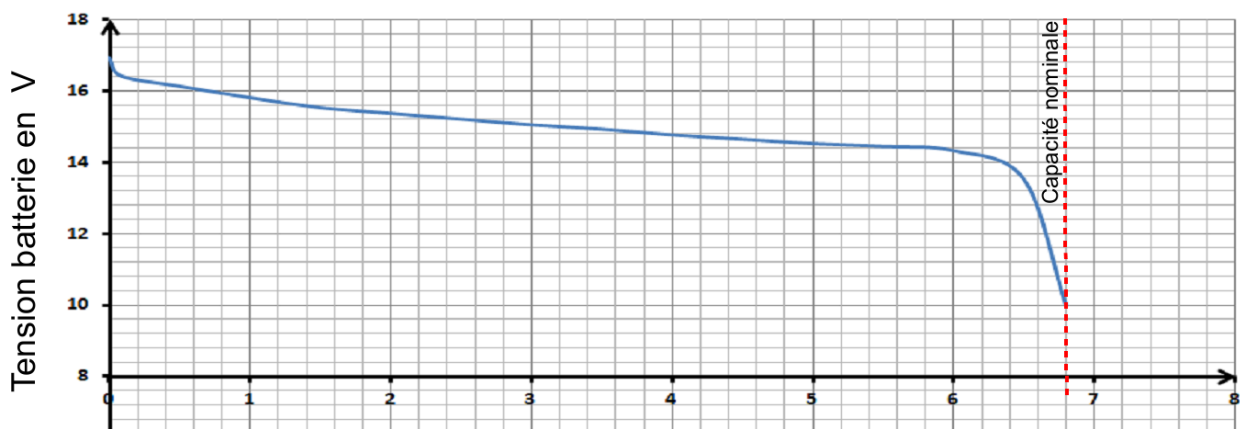


Figure 12 : Décharge batterie fournie par le constructeur

**Q6.** À partir de la caractéristique de décharge figure 12, **déterminer** la valeur de la tension batterie  $U_{\text{bat}}$  correspondant au seuil d'alerte.

### 3. Performances limites

*Objectif(s) de cette partie : élaborer partiellement un modèle multi-physique.*

Afin de construire un modèle multi-physique du système de transmission de mouvement on se propose d'étudier l'équilibre du robot sur un plan incliné d'un angle  $\psi$  (figure 13).

Hypothèses de travail :

- h1, le couple moteur  $C_{\text{mot}}$  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  $\vec{R}_{sol \rightarrow roue}$  roue en A.

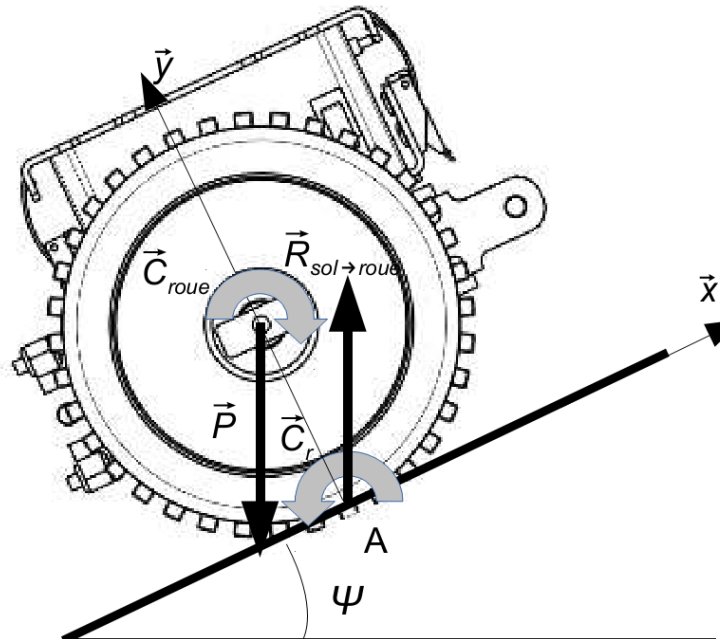


Figure 13 : Robot sur un plan incliné d'un angle  $\psi$

La masse du robot est de 10 kg.

**Q7.** 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  $C_r$ .

Afin de renseigner le modèle avec la valeur de  $C_r$ , on réalise une expérience. Cet essai consiste à appliquer un effort  $F_p$  sur le châssis lorsque la transmission est désaccouplée des roues (seules les roues sont entraînées en rotation sous l'action de l'effort  $F_p$ ) comme indiqué figure 14. Cet effort est mesuré à l'aide d'un dynamomètre. Il est supposé uniformément réparti sur chacune des 8 roues (figure 15). La mesure se fait pour un déplacement à vitesse constante du robot sur le plat.

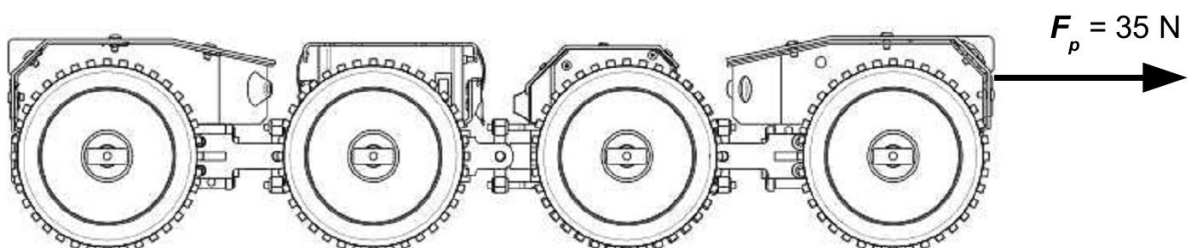


Figure 14 : Effort de traction  $F_p$



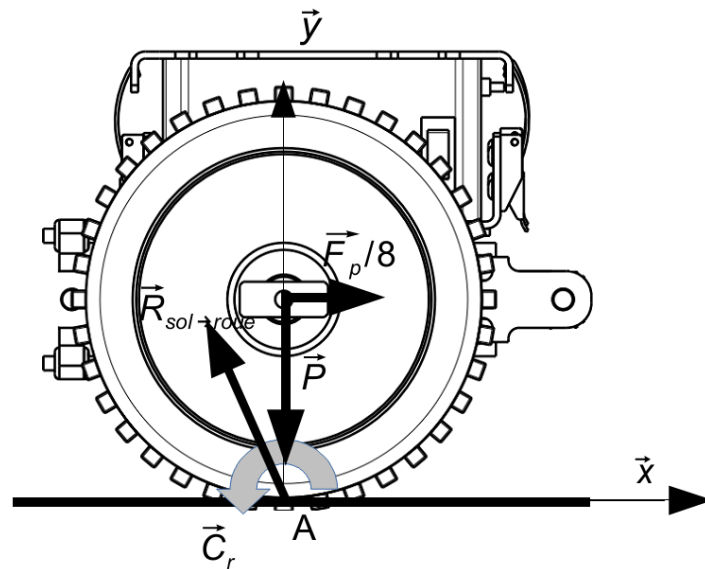


Figure 15 : Robot sur un plan horizontal

**Q8. Établir** l'expression de  $C_r$  en fonction de  $F_p$  et de  $R$  puis **calculer** sa valeur numérique.

La figure 16 représente le modèle de calcul du couple  $C_{\text{reduc}}$  exercé, à vitesse constante, par le système de transmission sur l'ensemble des roues.

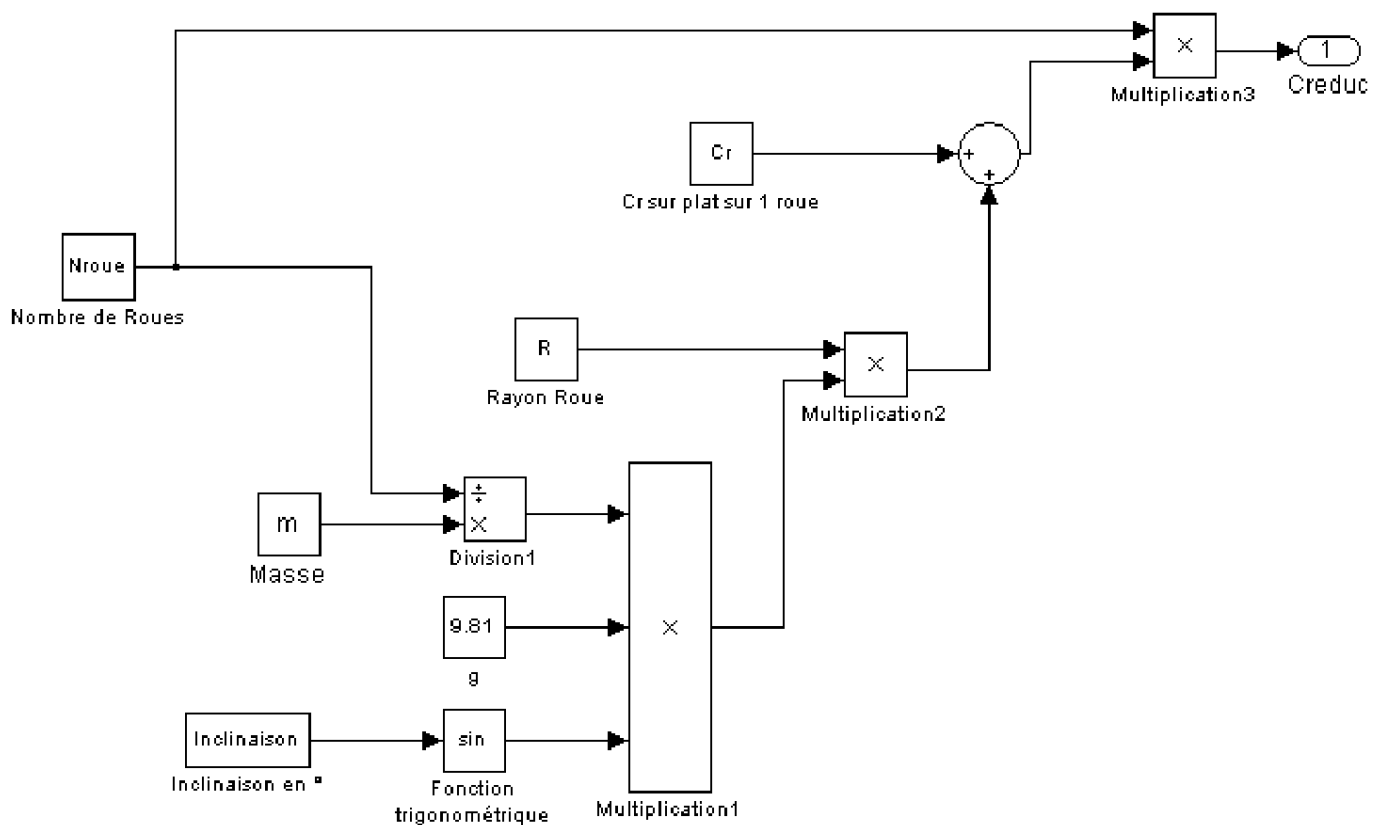


Figure 16 : Bloc de calcul du couple  $C_{\text{reduc}}$

La figure 17 présente l'allure du courant absorbé par le moto-réducteur de propulsion, obtenue à partir du modèle multi-physique complet pour un déplacement sur le plat et le franchissement d'une pente de  $30^\circ$  à partir de  $t = 10$  s.

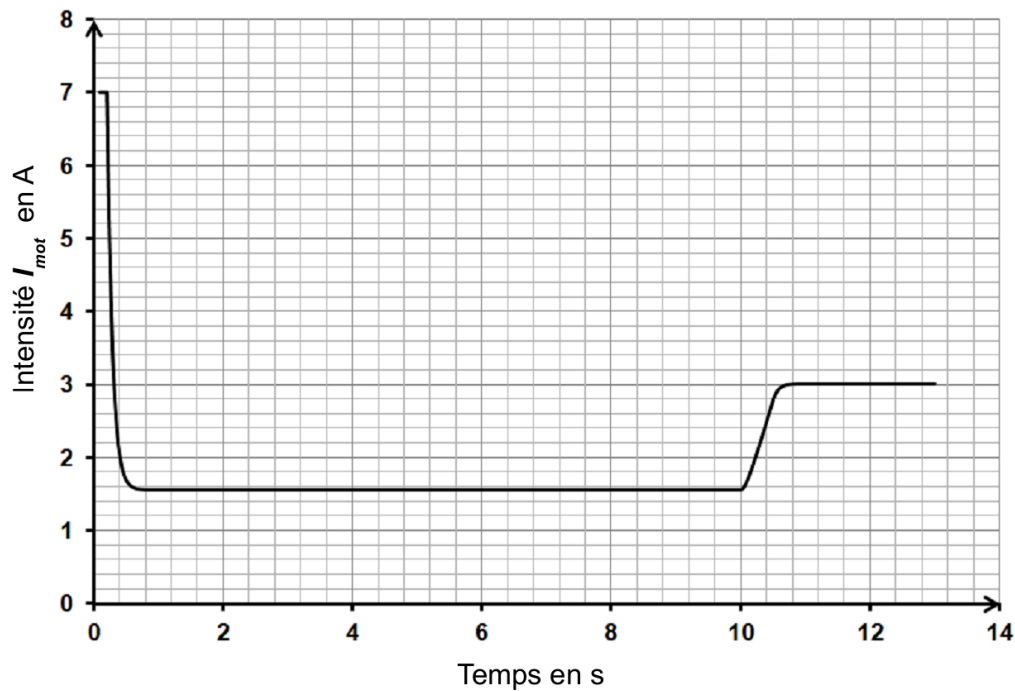


Figure 17 : Intensité absorbée par le moto-réducteur de propulsion en fonction du temps

**Q9. Relever**, sur la courbe issue de la simulation figure 17, 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.

Le moto-réducteur de propulsion 942 D2 641 est implanté dans une chaîne d'énergie dont la structure est illustrée sur la figure 18.

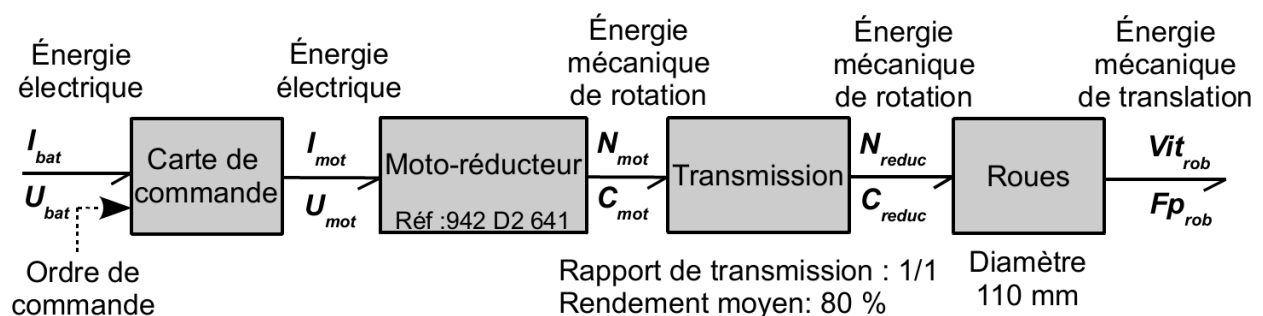


Figure 18 : Structure de la chaîne d'énergie des roues motrices

**Q10.** 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 DT, **déterminer** le couple à la sortie du moto-réducteur  $C_{mot}$ . À l'aide des caractéristiques données figure 18, **déterminer** le couple transmis à la roue  $C_{roue}$ .

### 3. Synthèse

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

**Q11.** 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.

## Caractéristiques du moto-réducteur 942 D2 641

