

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2018

Série STI2D
Toutes spécialités

Série STL
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

PHYSIQUE – CHIMIE

DURÉE : 3 HEURES

COEFFICIENT : 4

*L'USAGE DE TOUT MODÈLE DE CALCULATRICE,
AVEC OU SANS MODE EXAMEN, EST AUTORISÉ.*

Ce sujet comporte 19 pages numérotées de la page 1/19 à la page 19/19.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.

Les pages 18/19 19/19 où figurent les documents réponses sont à numéroté et à rendre avec la copie, même non complétées.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Les parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément dans l'ordre choisi par la candidate ou le candidat.

ENTRETIEN D'UN GAZON

Pour l'entretien de la pelouse de son jardin, monsieur Green vient de faire l'acquisition d'un robot tondeuse autonome.

Le sujet propose l'étude, en trois parties indépendantes, de cette machine et de son environnement.



PARTIE A – ÉTUDE MÉCANIQUE DU ROBOT TONDEUSE

PARTIE B – AUTONOMIE DU ROBOT TONDEUSE

PARTIE C – ENTRETIEN DE LA PELOUSE

PARTIE A – ÉTUDE MÉCANIQUE DU ROBOT TONDEUSE

Les caractéristiques techniques du robot tondeuse sont fournies sur l'annexe 1, pages 15 et 16.

A.1 Étude du robot tondeuse sur terrain plat

A.1.1 Étude énergétique

Le but de cette partie est de vérifier que le robot tondeuse aura assez d'énergie pour rentrer à sa station de recharge après une heure de tonte.

Sur un terrain plat avec une certaine densité de pelouse, on considère que :

- la puissance moyenne demandée par le moteur de coupe est $P_{\text{coupe}} = 30,0 \text{ W}$,
- la puissance moyenne demandée par le moteur d'une roue est $P_{1\text{roue}} = 6,50 \text{ W}$,
- la vitesse moyenne de déplacement du robot tondeuse est $v = 0,42 \text{ m.s}^{-1}$,
- la durée moyenne de tonte est $\Delta t_{\text{tonte}} = 60 \text{ min}$.

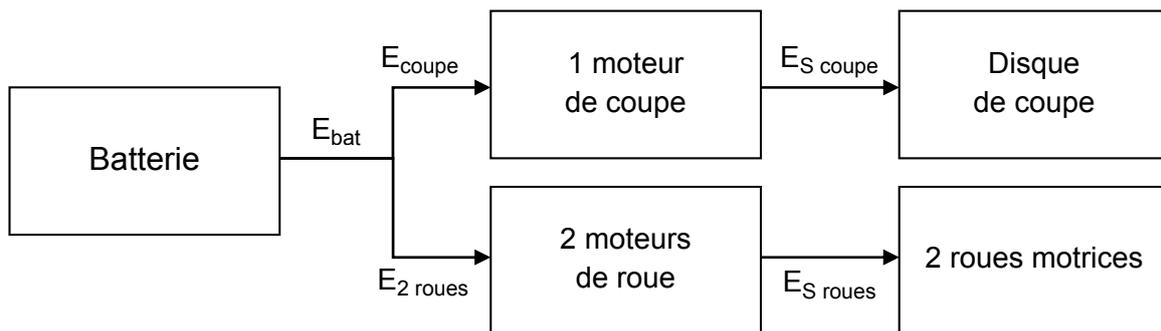


Diagramme énergétique du robot de tonte

A.1.1.a Rechercher, dans le **tableau des caractéristiques techniques** de la **page 16**, la tension, U_{bat} , délivrée par la batterie, la charge totale, Q_{bat} , et l'énergie stockée dans la batterie, E_{bat} .

A.1.1.b À l'aide d'une analyse dimensionnelle, vérifier par un calcul la cohérence de la valeur de E_{bat} avec celles de U_{bat} et de Q_{bat} .

Pour une durée de tonte de $\Delta t_{\text{tonte}} = 60$ minutes :

A.1.1.c Donner l'expression littérale de l'énergie, E_{coupe} , demandée par le moteur allié au disque de coupe en fonction de la puissance, P_{coupe} , et de la durée de tonte Δt_{tonte} . Calculer E_{coupe} (en W.h).

A.1.1.d Calculer l'énergie, $E_{2 \text{ roues}}$ (en W.h), demandée par l'ensemble des 2 moteurs de roue.

A.1.1.e En déduire que l'énergie restant dans la batterie pour retrouver la station de charge vaut $E_{\text{restant}} = 14,6$ W.h au bout 60 minutes de tonte.

A.1.1.f Lorsque le robot rentre à sa station de charge, seuls les moteurs des roues sont en fonctionnement.

Connaissant l'énergie restant dans la batterie, quelle pourrait être la durée maximale de la phase de retour du robot à sa station de charge ? Commenter.

A.1.2 Étude des intensités demandées à la batterie

Le but de cette partie est d'estimer l'intensité débitée par la batterie afin de dimensionner et de choisir ultérieurement cette batterie.

A.1.2.a Les 3 moteurs nécessitent une tension de 18,0 V.

Compléter le schéma électrique du **document réponse DR1** de la **page 18** en y ajoutant les deux moteurs de roue. Préciser sur le schéma le sens du courant dans les moteurs des roues, I_{roue} , ainsi que la tension, U , aux bornes des différents moteurs.

A.1.2.b Donner l'expression littérale du courant, I_{coupe} , demandé par le moteur de coupe en fonction de P_{coupe} et U_{bat} . Calculer I_{coupe} .

A.1.2.c Parmi les intensités suivantes, quelle est celle qui correspond à l'intensité, $I_{2 \text{ roues}}$, demandée par l'ensemble des 2 roues motrices ?

$$I_{2 \text{ roues}} = 0,72 \text{ A} \quad I_{2 \text{ roues}} = 0,36 \text{ A} \quad I_{2 \text{ roues}} = 1,38 \text{ A} \quad I_{2 \text{ roues}} = 2,77 \text{ A}$$

A.1.2.d Calculer l'intensité du courant fourni par la batterie lorsque le robot tond.

A.1.3 Étude des forces en action sur le robot

A.1.3.a Le rendement des moteurs des roues vaut $\eta = 90\%$. Calculer la puissance de sortie, $P_{S\ 2\text{ roues}}$, sur l'ensemble des 2 roues.

Le robot tondeuse se déplace linéairement sur un terrain horizontal à la vitesse constante $v = 0,42\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On donne, pour un mouvement rectiligne :

$$P = F \times v$$

avec P : puissance en watts (W),
 F : force en newtons (N),
 v : vitesse en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

A.1.3.b Montrer que la force d'entraînement du robot tondeuse, F_{tondeuse} , vaut environ 28 N.

A.1.3.c Sur le **document réponse DR2** de la **page 18**, représenter au centre de gravité, G , les forces ci-dessous avec l'échelle $1\text{ cm} \Leftrightarrow 20\text{ N}$. Expliquer votre raisonnement et détailler vos calculs.

- le poids, \vec{P} , du robot tondeuse,
- la réaction normale au sol, \vec{N} ,
- la force d'entraînement du robot tondeuse, $\vec{F}_{\text{tondeuse}}$,
- les forces de frottements résistants, \vec{f} .

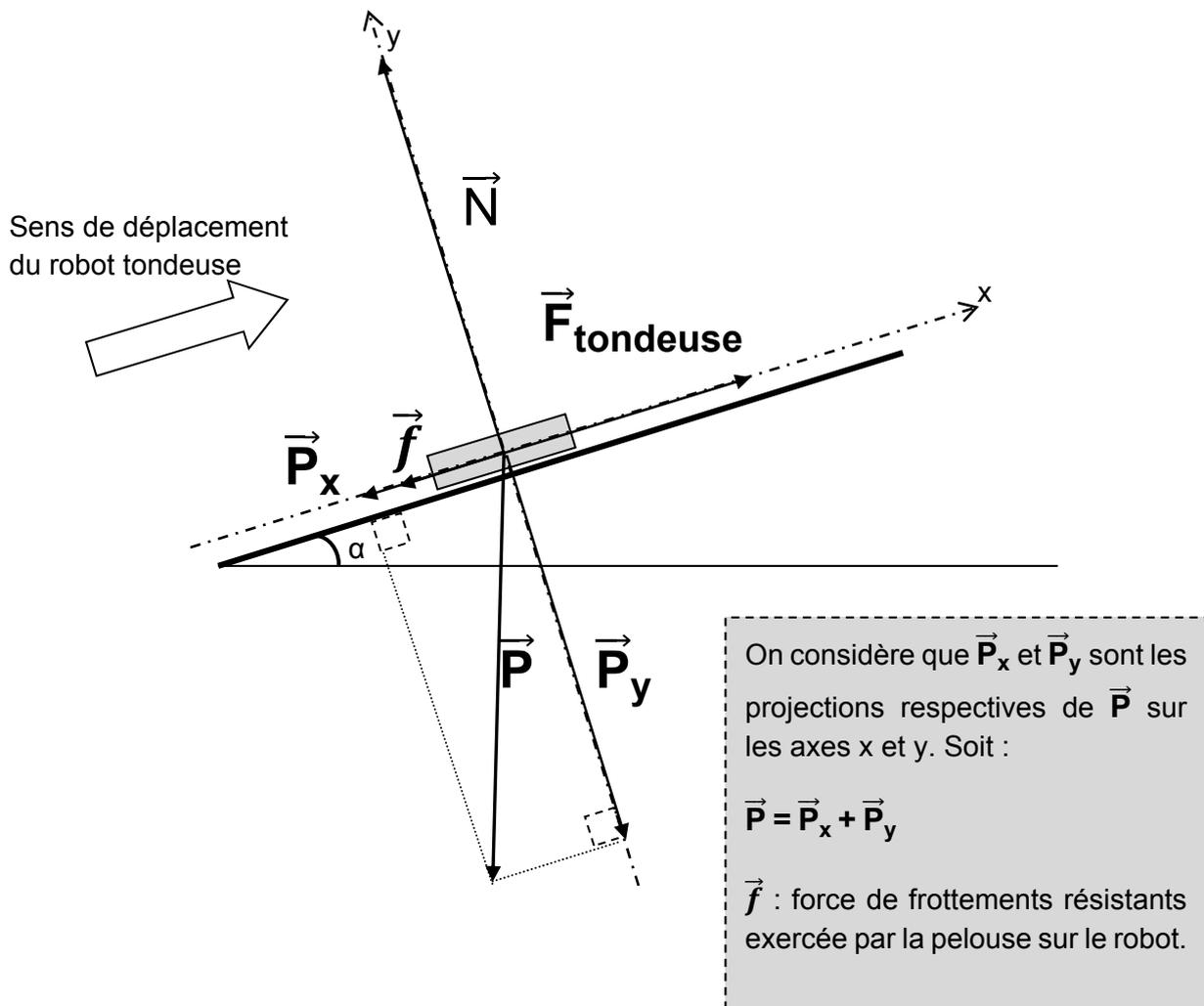
On donne $g = 9,81\text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

A.2 Étude du robot tondeuse sur terrain incliné

Une partie du terrain de monsieur Green possède une pente de $\alpha = 20^\circ$. Monsieur Green se demande si la batterie du robot tondeuse est suffisante pour que le robot tonde pendant une heure sur son terrain en pente.

La force résultante des frottements résistants, \vec{f} , entre le robot et la pelouse sont considérées constantes et égales à 28 N.

On considère également que la vitesse de déplacement rectiligne du robot tondeuse reste constante et vaut $0,42\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



- A.2.1** En vous aidant du graphique ci-dessus (1,0 cm représente 20 N), mesurer la composante du poids, \vec{P}_x .
- A.2.2** Donner la relation entre F_{tondeuse} , f et P_x . Expliquer.
- A.2.3** En déduire la valeur de la force d'entraînement F_{tondeuse} .
- A.2.4** Une énergie de 61,4 W.h est nécessaire pour que le robot tonde pendant une heure sur un terrain en pente de 20° , puis retourne à sa station de charge. La batterie étant initialement chargée à son maximum, le robot peut-il effectuer cette tâche ?

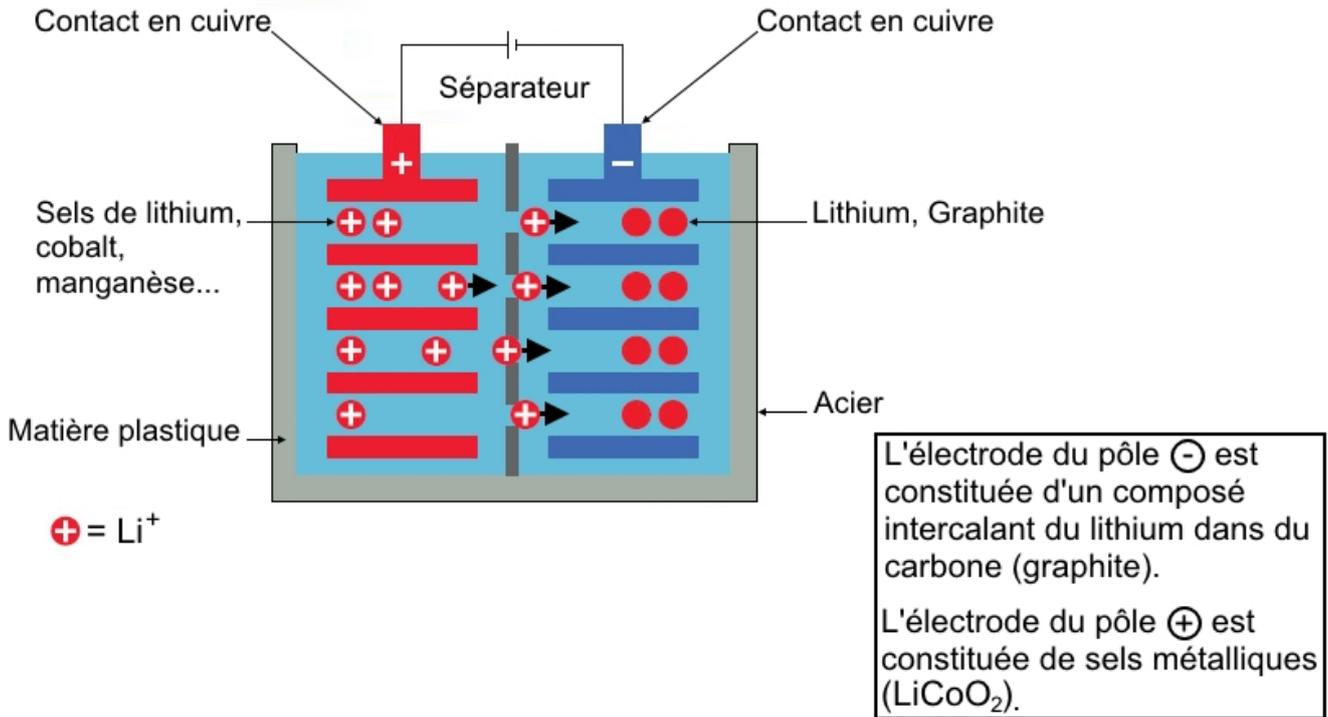
PARTIE B – AUTONOMIE DU ROBOT TONDEUSE

B.1 Étude de la batterie

B.1.1 Étude chimique de la batterie

On donne le schéma de l'accumulateur Li-Ion **en charge** :

Une batterie Lithium-ion



Source : <http://www.aiservice.fr/depannage-formation-informatique-paris-2-75002-batterie-au-silicium-qui-se-recharge-en-10-minutes-zhou-chongwu>

B.1.1.a Quels sont les porteurs de charge responsables du passage du courant dans l'électrolyte ?

B.1.1.b Quels sont les porteurs de charge responsables du passage du courant dans les fils du circuit électrique ?

B.1.1.c Représenter le sens de déplacement de tous les porteurs de charge lors de la décharge de la batterie sur le **Document réponse DR3** de la **page 19**.

B.1.1.d Recopier sur votre copie et compléter les demi-équations électroniques lors de la décharge de la batterie :

à l'électrode du pôle ⊖ :Li =Li⁺ +

à l'électrode du pôle ⊕ : CoO₂ + Li⁺ + = CoLiO₂

B.1.1.e Comment s'appelle la réaction qui a lieu sur l'électrode du pôle ⊖ lors de la décharge ?

B.1.2 Étude des caractéristiques techniques de la batterie

Sur les anciens modèles de robots tondeuses, les batteries avaient les caractéristiques suivantes : Ni-MH / 18,0 V / 2,20 A.h.

Monsieur Green se renseigne sur les caractéristiques des deux types de batteries en se demandant s'il pourrait remplacer sa batterie Lithium-Ion par une ancienne batterie Ni-MH qui coûte moins cher.

Il trouve sur internet les **documents 1 et 2 de l'annexe 2, page 17**.

B.1.2.a L'énergie de la batterie Li-Ion vaut 57,6 W.h lorsqu'elle est complètement chargée. À partir du **document 2** de la **page 17**, donner un encadrement de la masse de la batterie Li-Ion.

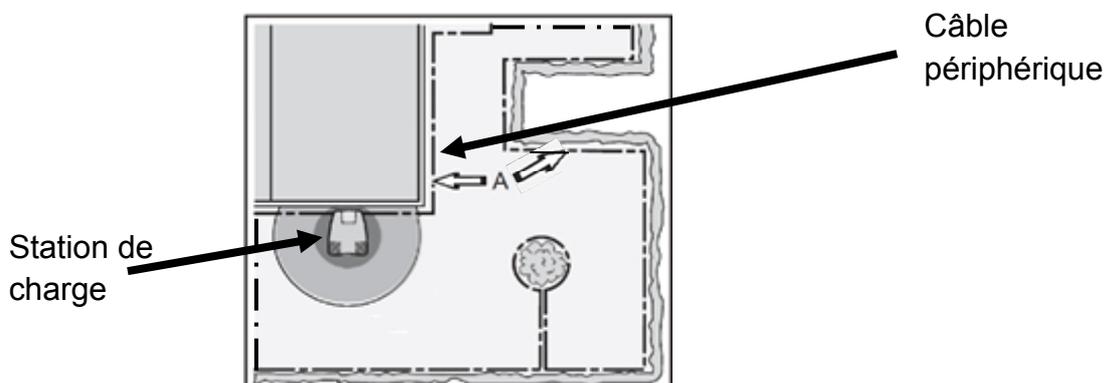
B.1.2.b L'énergie nécessaire au robot dépend de sa masse, donc de celle de sa batterie. Expliquer, sans calcul, un des intérêts d'une batterie Li-Ion par rapport à une batterie Ni-MH.

B.1.2.c À partir des deux documents de la **page 17**, donner deux autres raisons pour lesquelles les batteries Ni-MH ont été remplacées par des batteries Li-Ion.

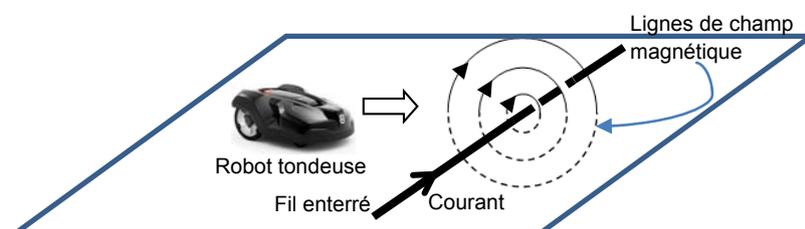
B.2 Délimitation de la zone de tonte

Le robot tond de façon aléatoire jusqu'au moment où il se rapproche du câble périphérique. Il capte alors le champ magnétique émis par le câble (signal A) et rebrousse chemin.

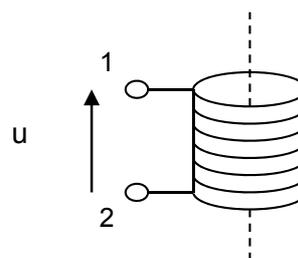
Plan de la zone de tonte, délimitée par un câble périphérique :



Déplacement du robot à proximité du câble :

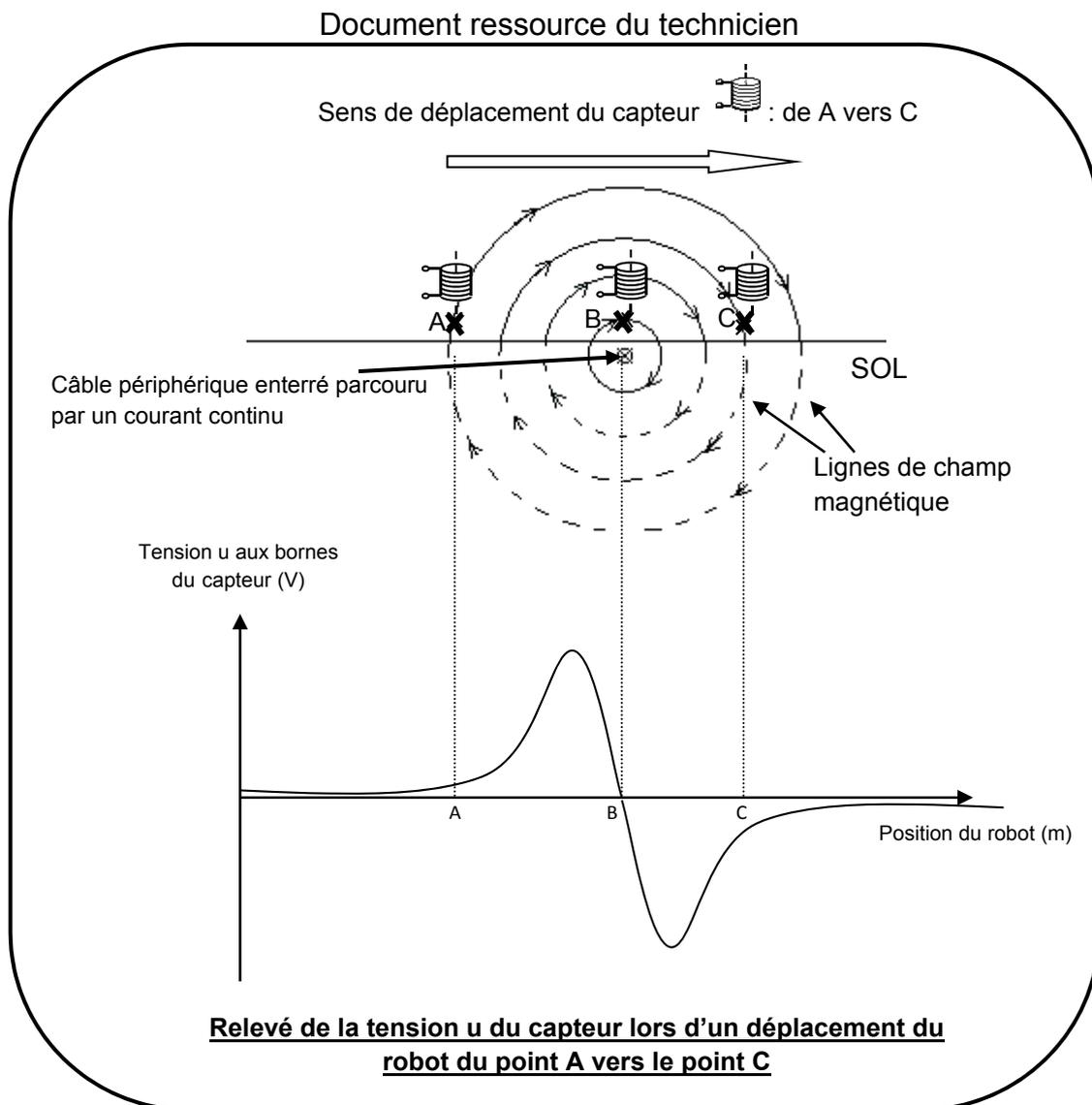


Le capteur utilisé pour détecter le champ magnétique, \vec{B} , est un capteur inductif (une bobine) qui sera modélisé par le symbole ci-contre :



B.2.1 Étude des signaux émis par la station de charge

Monsieur Green souhaiterait installer seul le robot tondeuse, sa station de charge et le câble périphérique. Le technicien lui indique le principe de fonctionnement du capteur de champ magnétique.



B.2.1.a À l'aide du document ressource du technicien ci-dessus et de vos connaissances, justifier l'existence d'un champ magnétique, \vec{B} , à proximité du câble périphérique.

B.2.1.b Sur le schéma du **document réponse DR4** de la **page 19**, tracer les vecteurs champ magnétique aux points A, B et C, sachant que les intensités des champs magnétiques aux différents points sont :

$$B_{(A)} = 10,0 \text{ mT}, B_{(B)} = 50,0 \text{ mT}, B_{(C)} = 20,0 \text{ mT}.$$

On prendra comme échelle : 1,0 cm pour 10,0 mT.

B.2.1.c Que signifie le T dans mT ?

B.2.2 Capture des signaux émis par la station de charge

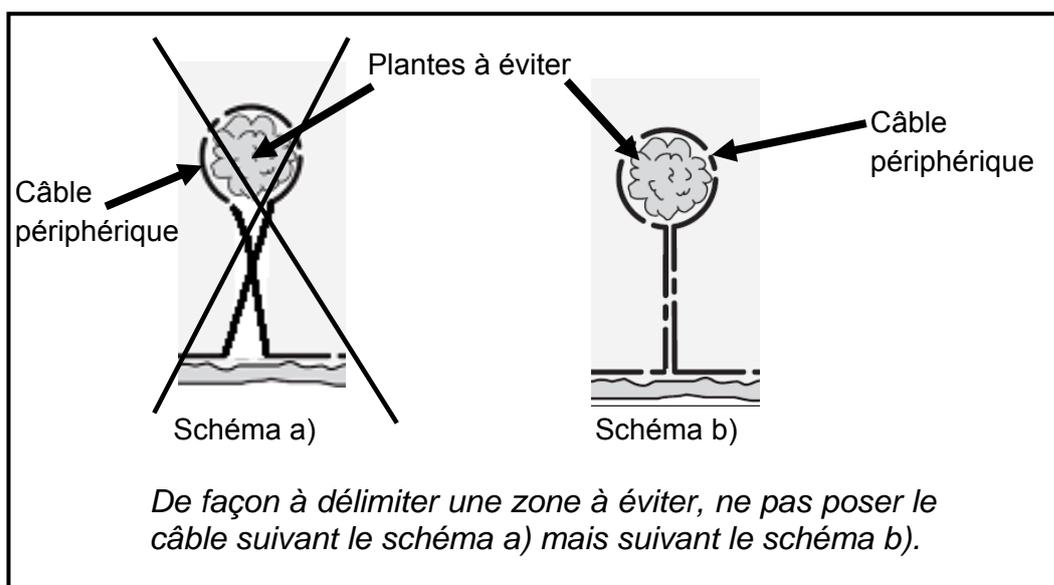
À l'aide du document ressource du technicien de la **page 10**, et de la documentation ci-dessous, répondre aux questions qui suivent.

	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3
Direction et sens du champ magnétique par rapport au capteur			
Tension du capteur	$u > 0 \text{ V}$	$u < 0 \text{ V}$	$u = 0 \text{ V}$

B.2.2.a Justifier clairement que la tension, u , du capteur est positive en A, nulle en B, négative en C (A, B et C représentent les trois positions représentées sur le document ressource du technicien de la **page 10**).

B.2.2.b Monsieur Green souhaiterait poser seul le câble périphérique. Le technicien indique une erreur à éviter dans la note suivante. Expliquer pourquoi la pose du câble suivant le schéma a) risque d'immobiliser le robot à proximité du massif des plantes à éviter.

Notes du technicien :



PARTIE C – ENTRETIEN DE LA PELOUSE

C.1 Traitement contre la mousse

Monsieur Green veut également traiter sa pelouse contre la mousse. Il trouve sur internet les informations suivantes :

Une croissance excessive de mousse constitue un problème majeur sur les gazons ; la cause principale étant la faible croissance du gazon même. Le plus souvent, cette croissance déficiente est due à un taux d'acidité inadapté.

Dans un sol trop acide, les racines de l'herbe ne sont pas capables d'absorber les substances nutritives présentes. De plus, les substances nutritives se lessivent très vite, parce qu'elles sont moins bien retenues dans un sol acide. Un pH entre 6,0 et 7,0 est idéal. Un apport annuel en calcaire en guise d'entretien permet de rétablir le taux d'acidité optimal du sol pour assurer une bonne croissance du gazon. L'herbe pourra de nouveau absorber les substances nutritives et barrer ainsi la route à la mousse.

Source : d'après <http://www.dcm-info.be/fr/hobby/conseil/14/les-deux-etapes-pour-lutter-durablement-contre-la-mousse/>

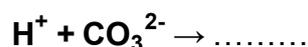
Monsieur Green décide donc de mettre du carbonate de calcium de formule $\text{CaCO}_{3(s)}$ sur sa pelouse afin de diminuer l'acidité de son terrain.

C.1.1 Le pH d'une solution aqueuse est lié à la concentration d'un ion spécifique. De quel ion s'agit-il ?

Le carbonate de calcium est un solide ionique formé par les ions calcium Ca^{2+} et les ions carbonates CO_3^{2-} . Les ions CO_3^{2-} font partie du couple acide-base $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$.

C.1.2 Les ions carbonates CO_3^{2-} correspondent-ils à la forme acide ou à la forme basique de ce couple ?

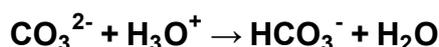
C.1.3 Recopier, compléter et équilibrer la demi-équation chimique suivante :



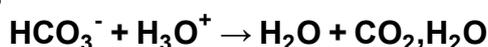
C.1.4 Les ions carbonate CO_3^{2-} réagissent avec les ions oxonium H_3O^+ . L'eau fait partie du couple acide-base $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$.

Écrire la demi-équation chimique du couple $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$.

C.1.5 Montrer que le bilan de la réaction du carbonate de calcium avec les ions oxonium peut s'écrire :



De plus, les ions hydrogénocarbonate HCO_3^- réagissent avec les ions oxonium H_3O^+ selon l'équation chimique suivante :

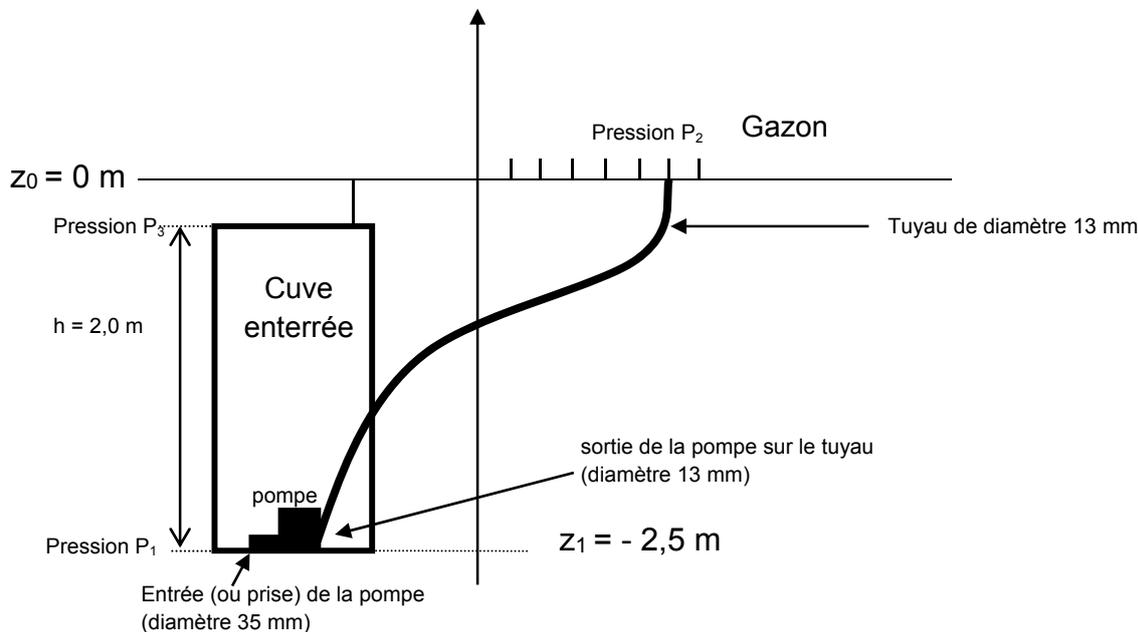


C.1.6 À partir des équations ci-dessus, justifier que le carbonate de calcium diminue l'acidité du sol.

C.2 Récupération de l'eau de pluie

Afin d'arroser son gazon, monsieur GREEN décide d'utiliser l'eau de pluie récupérée dans une cuve enterrée suivant le schéma ci-dessous. Il se demande quelle est la puissance minimale à choisir pour la pompe.

Schéma d'une installation :



À l'aide d'un tuyau de diamètre 13 mm, monsieur Green aimerait assurer un débit de $50 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ pour l'arrosage de son jardin. La cuve est de forme cylindrique, de rayon 60 cm et de hauteur 2,0 m.

C.2.1 Convertir le débit volumique $D_v = 50 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

C.2.2 La surface de la section du tuyau vaut $S = 1,33 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. En déduire que la vitesse, v_2 , de sortie de l'eau est, dans ce cas, d'environ de $6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

C.2.3 Exprimer la pression, P_1 , à l'entrée de la pompe (ou prise) en fonction de la pression, P_3 , en haut de la cuve et de la hauteur d'eau, h . Préciser les unités.

Pour la suite, on rappelle que 1 bar vaut $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ et que la masse volumique de l'eau vaut $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. On prendra $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

C.2.4 On considère que la cuve est pleine. On donne la pression au niveau de la surface de l'eau dans la cuve : $P_3 = 1,00 \text{ bar}$. Démontrer que P_1 vaut 1,20 bar.

C.2.5 Dans une revue scientifique, on trouve la relation de dimensionnement de la pompe :

$$\frac{P_u}{D_v} = \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + P_2 - P_1$$

La vitesse de l'eau en entrée de la pompe est de 0,87 m.s⁻¹.

Avec la nomenclature suivante :

P_u : puissance utile de la pompe (en W)	v₂ : vitesse de l'eau en sortie de pompe (en m.s ⁻¹)
D_v : débit volumique désiré pour l'utilisation (en m ³ .s ⁻¹)	z₁ : altitude en entrée de pompe (en m)
ρ : masse volumique de l'eau en kg.m ⁻³ (ρ = 1 000 kg.m⁻³)	z₂ : altitude de point d'utilisation de l'eau (en m) On donne z₂ = z₀ = 0 m
v₁ : vitesse de l'eau en entrée de pompe (en m.s ⁻¹)	g : constante de pesanteur (g = 9,81 N.kg ⁻¹)
P₁ : pression de l'eau en entrée de pompe (en Pa)	P₂ : pression de l'eau au point d'utilisation (en Pa). On donne : P₂ = 1,0 bar

À l'aide de l'équation de la revue scientifique, vérifier qu'une pompe de puissance utile 20 W serait dimensionnée pour remonter l'eau de la cuve.

Annexe 1 : présentation du robot de tonte

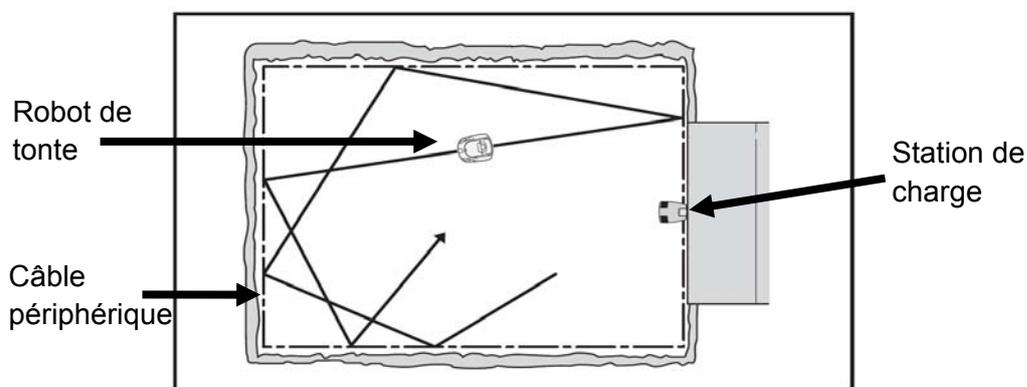
D'après le manuel technique « Husqvarna Automower »

Le robot tond automatiquement la pelouse. Il alterne en continu entre tonte et charge. Le terrain à tondre est délimité par un câble électrique périphérique posé et fixé au sol.

Trajectoire de déplacement :

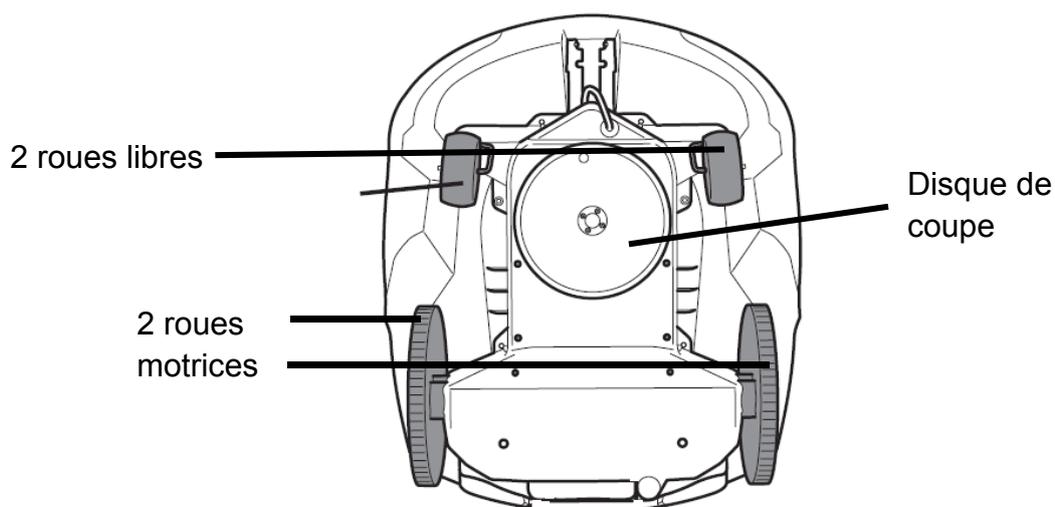
La trajectoire de déplacement du robot de tonte est aléatoire. Elle est en fait déterminée par le robot de tonte lui-même. Une trajectoire de déplacement n'est jamais répétée. Le système de coupe du robot de tonte permet une tonte uniforme de la pelouse sans ligne de tonte.

Schéma du déplacement aléatoire du robot tondeuse sur un terrain délimité par son câble périphérique et sa station de charge



Motorisation du robot tondeuse

Vue de dessous du robot tondeuse



Le robot tondeuse est composé de 3 moteurs : un moteur pour chaque roue motrice et un moteur pour le disque de coupe.

Caractéristiques techniques du robot de tonte

Masse	11,8 kg
Capacité de travail (+/- 20 %)	0 à 2 200 m ²
Surface tondue par heure	92 m ² .h ⁻¹
Temps de charge	60 min
Temps de tonte par charge (autonomie)	50 à 80 min
Largeur de coupe	24 cm
Hauteur de coupe en continu	2 à 6 cm
Vitesse d'avancement	42 cm.s ⁻¹
Système de tonte	aléatoire
Batterie	Ion – Lithium 18 V / 3,2 A.h / 57,6 W.h
Nombre de batterie	1
Pente maximum (en milieu de terrain)	40 %
Pente près du câble périphérique	10 %
Dimensions (L*I*h)	72*56*31 cm

Annexe 2

Document 1 : comparatif entre les batteries Ni-MH et Li-Ion

La première différence concerne la puissance fournie par ces deux batteries car un élément Li-Ion équivaut à trois éléments Ni-MH. La seconde différence, qui constitue l'un des principaux attraits du Li-Ion, est l'absence de l'effet mémoire contrairement au Ni-MH. En effet, pour durer, les batteries Ni-MH ne doivent être rechargées que lorsqu'elles sont presque vides alors que les batteries Li-Ion gagnent en longévité lorsqu'elles sont chargées à souhait.

D'après : <http://www.libertalia.org/informatique/pc-portables/quelles-sont-les-differences-entre-les-technologies-li.html>

Document 2 :

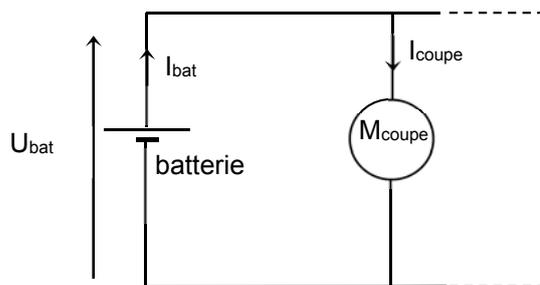
Parameter	Lead Acid	NiCd	Ni-MH	Alkaline	Li-Ion	Li-Polymer
Cell voltage (V)	2,0	1,2	1,2	1,5	3,6	3,7
Relative cost	Low	Moderate	High	Very low	Very high	Very high
Internal resistance	Low	Very low	Moderate	Varies	High	Low
Self discharge (%/month)	2 % to 4 %	15 % to 30 %	18 % to 20 %	0,3 %	6 % to 10 %	5 %
Cycle life (charge cycles to reach 80% of rated capacity)	500 to 2 000	500 to 1 000	500 to 800	Low	1 000 to 1 200	> 1 000
Overcharge tolerance	High	Medium	Low	Medium	Very low	Very low
Energy density by volume (W.h/L)	70 to 110	100 to 120	135 to 180	220	280 to 320	≈ 400
Energy density by weight (W.h/kg)	30 to 45	45 to 50	55 to 65	80	90 to 110	130 to 200

Source : <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/dec/new-battery-charging-solutions-for-Li-ion-cells>

Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

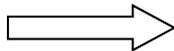
(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

Document réponse DR1 (Question A.1.2.a)



Document réponse DR2 (Question A.1.3.c)

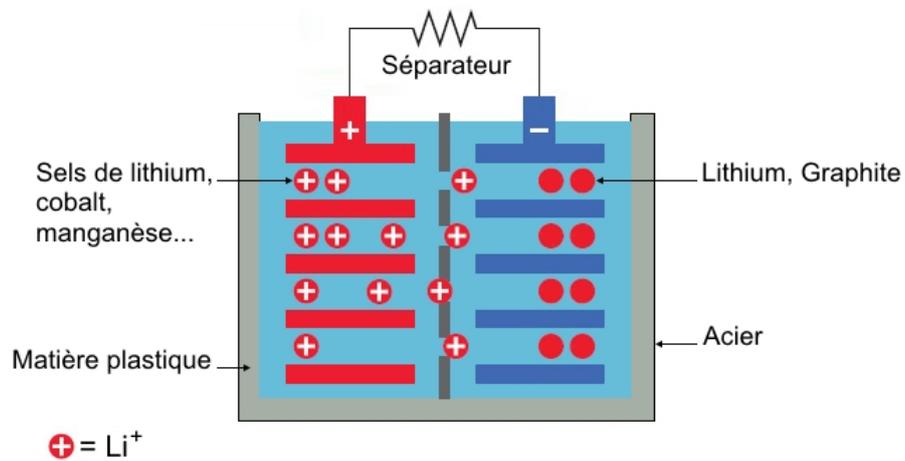
Sens de déplacement du robot



Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

Document réponse DR3 (Question B.1.1.c)



Document réponse DR4 (Question B.2.1.b)

