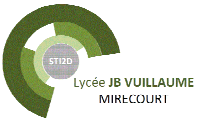



Innovation technologique, Ingénierie et développement durable		1° STI2D
	Évaluation SEQUENCE 1	
	<b>Étude du Robot Tondeuse</b> Document Questions	

NOM: ..... Prénom: .....	Note : /100 → /20
<b>Durée : 3 H 00</b> <b>Compétences visées :</b> CO1 CO2 CO3 CO5.2 <b>Connaissances visées :</b> 1. Principes de conception des produits et développement durable 2. Approche fonctionnelle et structurelle des produits 3. Approche comportementale des produits 5. Solutions constructives	

### COEFFICIENT : 4

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

**Ce sujet comporte 16 pages numérotées de la page 1/16 à la page 16/16.**

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

**Les pages 15/16 et 16/16 où figurent les documents réponses sont 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.

### Mise en situation

La tondeuse robot permet la tonte en autonomie complète d'une pelouse dont la surface maximum de la zone de tonte peut avoisiner 2200 m<sup>2</sup>. Pour une surface supérieure, plusieurs zones de tonte peuvent être définies.

Chaque zone de tonte est délimitée par un fil électrique périphérique tendu à même le sol et alimenté par un boîtier électronique (commutateur de périmètre). La mise en service du commutateur de périmètre permet l'établissement d'un champ magnétique reconnaissable par la tondeuse robot.



Les zones de tonte interdites (parterre de fleurs, piscine, bassins, etc.) sont également délimitées par un champ magnétique. Les obstacles pleins (arbres, murs, etc.) sont eux directement évités par la tondeuse robot (détecteurs dans les pare-chocs).



Après une initialisation lors de la première mise en service, la tondeuse robot commence par tondre la périphérie de la zone de tonte avant de tondre de manière aléatoire le reste de la zone délimitée.

La durée de tonte dépend de la surface et de la configuration de la zone de tonte. Cette durée peut être programmée après avoir effectué un ou plusieurs essais.

Le procédé « mulching » permet de broyer l'herbe coupée avant qu'elle ne retombe et évite le ramassage et le stockage des déchets de tonte tout en assurant un engrais naturel.

La tondeuse robot est munie de deux roues motrices arrières et de deux roues "libres" à l'avant tournant librement sur elles-mêmes de type "jockey".

Les deux roues motrices arrières sont toutes les deux motorisées de manière indépendante ce qui permet de faire tourner la tondeuse sur elle-même en faisant tourner les deux moteurs dans un sens différent (système "char").

Les roues motrices sont montées dans un berceau dont la position par rapport au châssis de la tondeuse est réglable de manière à augmenter ou diminuer la hauteur de tonte.

La coupe est assurée par une lame motorisée ce qui permet d'obtenir une largeur de tonte de 24 cm.

## 1) PARTIE 1 : Étude fonctionnelle du robot

À partir du document **technique DT1**, répondre aux questions suivantes :

DT1

**Q1** : Quelle est la problématique à laquelle doit répondre le robot tondeuse ?

/1

Comment entretenir son terrain de manière autonome ?

DT1

**Q2** : Quelle est la mission du produit ?

/1

Tondre l'herbe du terrain et se recharger en toute autonomie, tout en satisfaisant les besoins ergonomiques

DT1

**Q3** : Quels sont les **éléments extérieurs** que le robot doit prendre en considération pour remplir sa mission ?

/1

Les obstacles, le vide, la limite du terrain à tondre

DT1

**Q4** : Quel est le **service rendu** par le système dans sa **phase de tonte** du terrain ? Indiquez 3 contraintes liées à celle-ci.

/2

Tondre l'herbe du terrain. /0,5

Hauteur maximum de l'herbe de 10 cm, hauteur de coupe réglable par 2cm, pente maximum de 45° /1,5

DT1

**Q5** : Quelles sont les actions sur lesquelles l'utilisateur peut interagir avec le produit ?

/1

Déplacer la tondeuse et lancer le cycle de tonte.

DR1

**Q6** : **Complétez** les liens manquants du diagramme d'exigence sur le document **réponse DR1**.

## 2) PARTIE 2 : Étude structurelle du robot

**Q7** : À partir du document **technique DT2**, indiquez par leur identifiant (Id) les éléments nécessaires à la réalisation des actions suivantes :

DT2

Gérer le système	Alimenter	Tondre	Détecter
10	9	6-7	4-5

/2

**Q8** : Quels sont les éléments utilisés pour la fonction "Déplacer le Robot" ?

/2

1-2-3-8

**Q9** : Complétez alors le diagramme de définition de bloc sur le document **réponse DR2**.

DR2

**Q10** : En fonction des éléments de votre étude et de la documentation **technique DT1**, complétez le diagramme de bloc interne de la fonction "Déplacement du Robot" sur le document **réponse DR3**

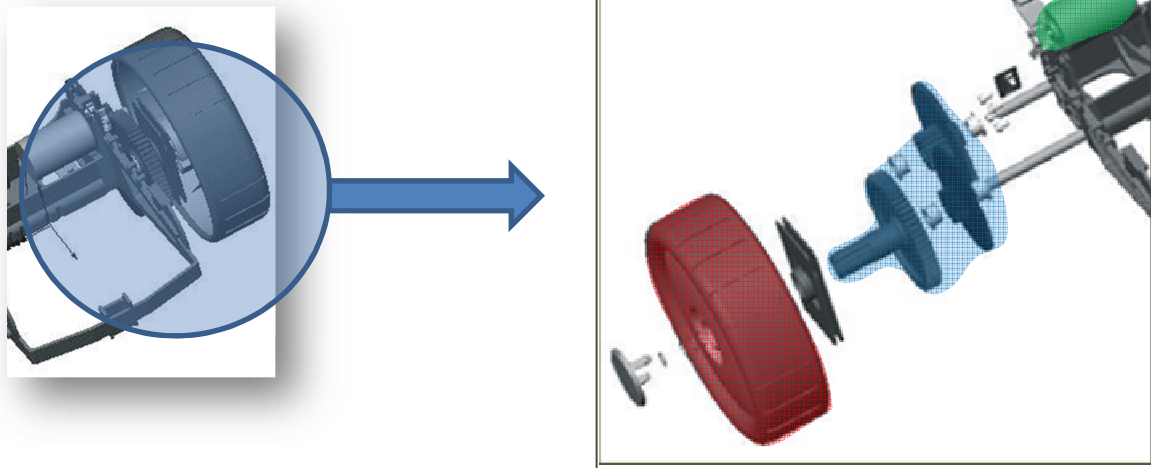
DT1

DR3

## 3) PARTIE 3 : Étude du déplacement du robot

**Q11** : Entourez sur la vue "éclatée" de droite :

- En **rouge** le(s) élément(s) de transmission du **déplacement** du robot
- En **vert** le(s) élément(s) de **conversion** d'énergie
- En **bleu** le(s) élément(s) de **réduction** de vitesse



**Q12** : A partir du document **technique DT4**, exprimez puis calculez les rapports de réduction de chaque étage notés r1, r2 et r3 :

/6

DT4

$$r1 = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s} = \frac{Z_{\text{pignon 1}}}{Z_{\text{roue 1}}} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{18}{86} = 0,209$$

expression : /1 calcul : /1

$$r2 = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s} = \frac{Z_{\text{pignon 2}}}{Z_{\text{roue 3}}} = \frac{Z_3}{Z_6} = \frac{22}{58} = 0,366$$

$$r3 = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s} = \frac{Z_{\text{pignon 3}}}{Z_{\text{roue 2}}} = \frac{Z_5}{Z_4} = \frac{18}{80} = 0,219$$

**Q13** : Exprimez puis calculez alors le rapport de réduction global du bloc réducteur **noté r** (arrondi à 3 décimales). Le mettre sous forme d'une **fraction** arrondie à l'entier (ex : 1/51) :

$$r = r_1 \times r_2 \times r_3 = \mathbf{0,0178} \text{ soit un rapport de réduction d'environ } \mathbf{1/56}$$

/2

**Q14** : Le **diamètre** de la roue notée **D** étant de **18 cm** et connaissant la vitesse linéaire de déplacement du robot (voir DT3), exprimez puis calculez la vitesse de **rotation** de la roue notée **N<sub>roue</sub>** en tr/min puis en rad/s noté **ω<sub>roue</sub>** :

/4

$$V = \frac{\pi \cdot N \cdot D}{60} \text{ donc } N_{roue} = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 0,42}{\pi \cdot 0,18} = \mathbf{44,56 \text{ tr.min}^{-1}}$$

$$\omega_{roue} = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_{roue}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 44,56}{60} = \mathbf{4,66 \text{ rad.s}^{-1}}$$

**Q15** : Connaissant le rapport global de réduction **r** et **N<sub>roue</sub>** exprimez puis calculez la vitesse de rotation du moteur noté **N<sub>mot</sub>** en tr/min (*prendre  $r = 1/55$  et  $N_{roue} = 50$  si pas de réponse en Q13 et Q14*) :

$$r = \frac{N_{roue}}{N_{mot}} \text{ donc } N_{mot} = \frac{N_{roue}}{r} = \frac{44,56}{\frac{1}{56}} = 44,56 \cdot 56 = \mathbf{2495}$$

/4

$$N_{mot} = \mathbf{2495 \text{ tr.min}^{-1}}$$

**Q16** : Pour une vitesse du moteur **N<sub>mot</sub> = 2500 tr/min**, placez sur la caractéristique de la **vitesse du moteur** le point **P1** correspondant à cette vitesse (axe des ordonnées à gauche).

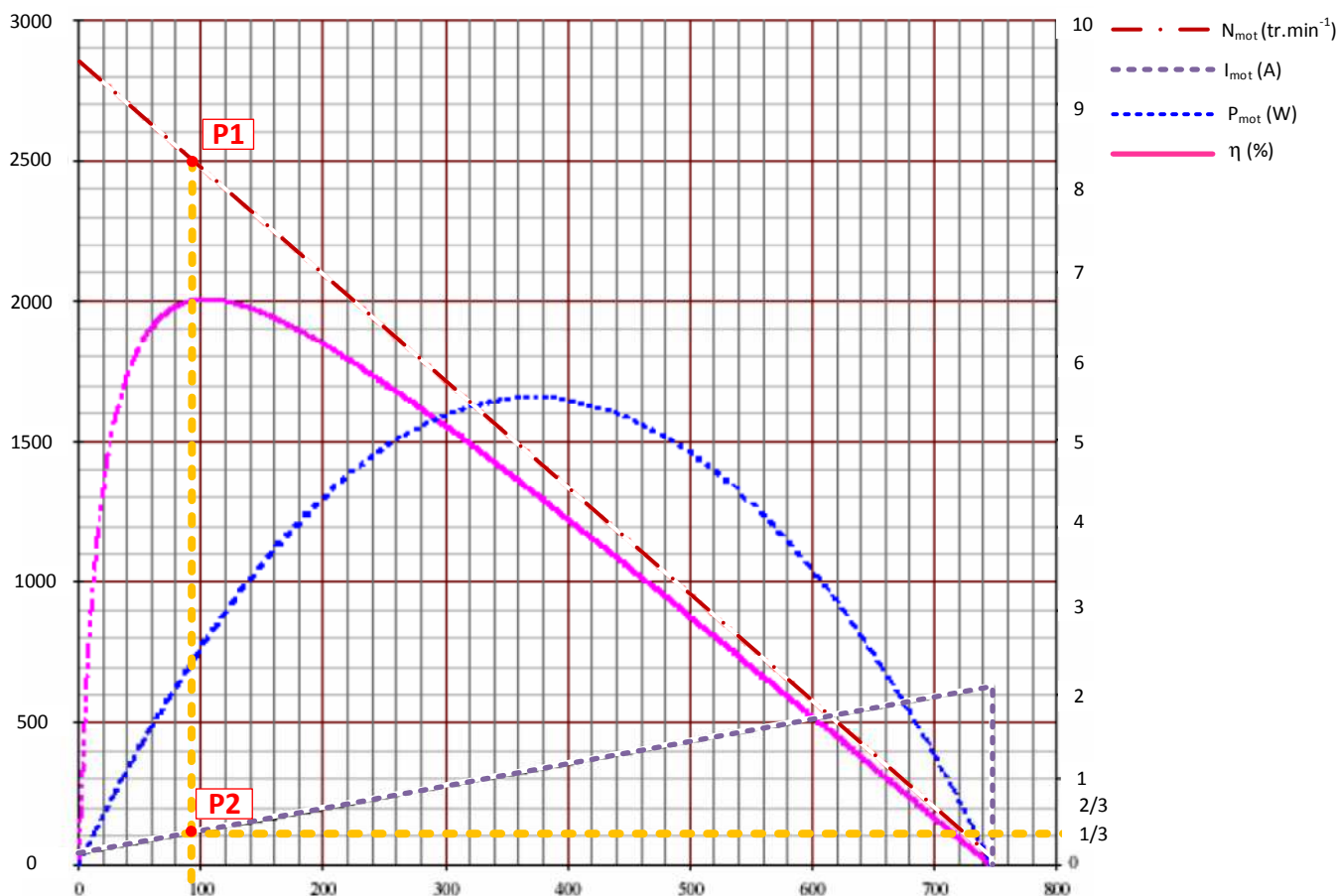
/1

Tracez la **droite verticale** à partir de ce point (P1) pour croiser en bas la **caractéristique du courant**. Notez **P2** le point d'intersection avec celle-ci.

/1

À partir de **P2** tracez la droite **horizontale** afin de déterminer la valeur du **courant I<sub>mot</sub>** (axe des ordonnées à droite).

/1

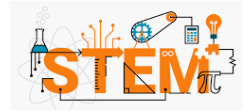


**Q17** : En déduire alors d'après le graphique la valeur du courant  $I_{\text{mot}}$  consommé par le moteur :

/1

$$I_{\text{mot}} = 1/3 \text{ A} = \mathbf{0,33A}$$

#### 4) PARTIE 4 : Étude de l'autonomie du robot



**Q18** : A partir de la documentation **technique DT5** de la batterie, **complétez** les valeurs suivantes en indiquant les unités des grandeurs :

DT5

Tension de la batterie :  $U_{\text{bat}} = \dots\dots\dots$  **18 V**

/1

Capacité de la batterie :  $Q_{\text{bat}} = \dots\dots\dots$  **3500 mAh**

**Q19** : A partir de ces deux données ( $U_{\text{bat}}$  et  $Q_{\text{bat}}$ ), exprimez puis calculez l'énergie disponible avec cette batterie :

/1

$$E_{\text{max}} = \dots \quad U_{\text{bat}} \cdot Q_{\text{bat}} = 18 \cdot 3,5 = \mathbf{63 \text{ Wh}}$$

**Q20** : Avec une puissance de coupe  $P_{\text{coupe}}$  de **30W**, exprimez puis calculez le courant nécessaire à la tonte de l'herbe noté  $I_{\text{coupe}}$  :

/2

$$P_{\text{coupe}} = U_{\text{bat}} \cdot I_{\text{coupe}} \quad I_{\text{coupe}} = \frac{P_{\text{coupe}}}{U_{\text{bat}}} = \frac{30}{18} = \mathbf{1,66 \text{ A}}$$

**Q21** : Avec une puissance de déplacement  $P_{\text{dep}}$  de 6,5W, **exprimez** puis **calculez** le courant nécessaire au déplacement du robot noté  $I_{\text{mot}}$  pour **un moteur**. Calculez alors le courant total consommé noté  $I_{\text{dep}}$  lors du déplacement en **ligne droite du robot**. Détaillez vos calculs !

/3

$$\text{Pour un moteur : } P_{\text{dep}} = U_{\text{bat}} \cdot I_{\text{mot}} \quad I_{\text{mot}} = \frac{P_{\text{dep}}}{U_{\text{bat}}} = \frac{6,5}{18} = \mathbf{0,36 \text{ A}}$$

Comme il y a **deux moteurs**, le courant nécessaire au déplacement est :

$$I_{\text{dep}} = 2 \cdot I_{\text{mot}} = 2 \cdot 0,36 = \mathbf{0,72A}$$

**Q22** : Avec une consommation en courant de **0,8 A** pour le déplacement et **1,5 A** pour la coupe de l'herbe, en déduire le temps d'autonomie de coupe du robot noté **Aut** si l'on ne souhaite pas **dépasser plus de 80%** de décharge de la capacité de la batterie.

Détaillez l'ensemble de vos calculs et de votre raisonnement !

/3

$$\text{Calcul du courant consommé : } I = I_{\text{mot}} + I_{\text{coupe}} = 0,8 + 1,5 = \mathbf{2,3 \text{ A}}$$

$$\text{Calcul de la capacité disponible : } Q_{80\%} = 0,8 \cdot Q_{\text{bat}} = 0,8 \cdot 3,5 = \mathbf{2,8 \text{ Ah}}$$

$$\text{Calcul de l'autonomie : } \mathbf{Aut} = Q_{80\%} / I = 2,8 \text{ Ah} / 2,3 \text{ A} = 1,22 \text{ H} = \mathbf{73 \text{ min soit } 1 \text{ H } 13 \text{ min}}$$

**Q23** : Ce temps est-il acceptable par rapport au cahier des charges du robot tondeuse ? **Justifiez** en comparant la valeur donnée sur le document **technique DT3**.

/1

DT3

Oui, car dans la documentation DT3 Le temps estimé d'autonomie de tonte (coupe + déplacement) est estimé entre 50 et 80 min.

**Q24** : Quelle est alors pour un cycle de décharge la **distance** notée "**d**" parcourue par le robot pour une **autonomie de 1H15'** ? /2

$$V = 42 \text{ cm/sec} = 3600 \cdot 0,42 = 1512 \text{ m/h}$$

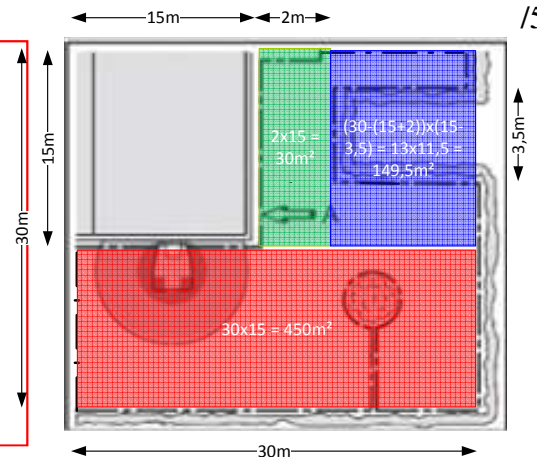
$$d = V \cdot t = 1512 \cdot 1,25 = 1890 \text{ m}$$

**Q25** : En recherchant le diamètre de la lame (document **technique DT3**), **exprimez** puis **calculez** la **surface** tondue notée "**S**" pour un cycle de décharge : /2

$$S = \text{Largeur de coupe} \times \text{distance} = 0,24 \text{ m} \cdot 1890 \text{ m} = 453 \text{ m}^2$$

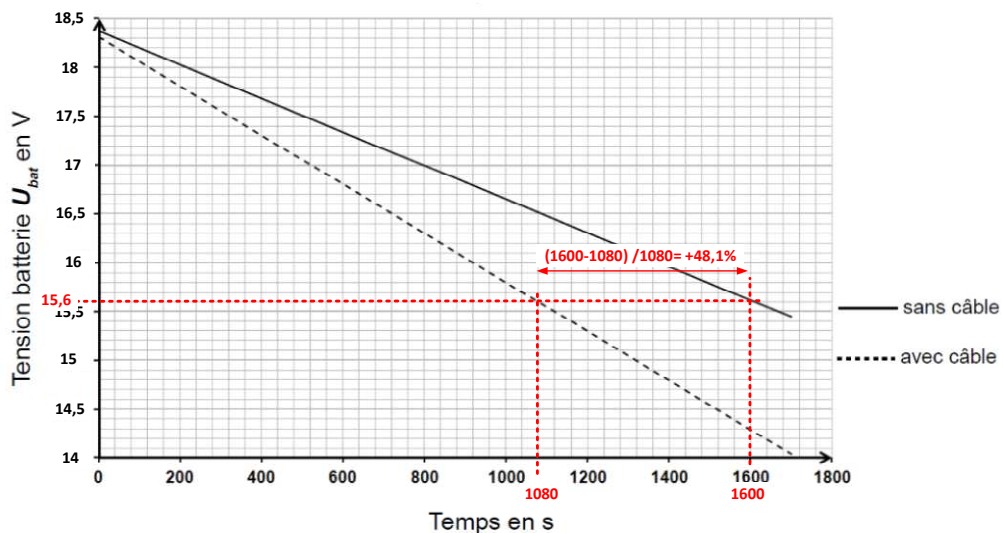
**Q26** : Le robot peut-il tondre en un cycle de décharge la propriété suivante ? **Détaillez** votre raisonnement et vos calculs. /5

- $S_1 = 30 \cdot 15 = 450 \text{ m}^2$  /3.5
- $S_2 = 2 \cdot 15 = 30 \text{ m}^2$
- $S_3 = (30 - [15+2]) \cdot (15-3,5) = 13 \cdot 11,5 = 149,5 \text{ m}^2$
- Soit  $S = S_1 + S_2 + S_3 = 630 \text{ m}^2$
- Le robot n'est pas capable en un cycle de décharge de tondre tout le terrain (453 m<sup>2</sup> maximum) sachant qu'il passe en plus plusieurs fois au même endroit ! /1.5



**Amélioration de l'autonomie** : Afin d'augmenter l'autonomie du Robot, il est décidé d'équiper celui-ci de capteurs capables d'identifier automatiquement les zones d'herbes à tondre.

Deux relevés de tension de la batterie en fonction du temps ont été effectués : l'un avec le système de limitation du terrain (avec câble), l'autre par le nouveau système de détection de la zone à tondre (sans câble) :



On considère que la **tension minimale** permettant le **fonctionnement** du robot est de **15,6 V**. En dessous de cette tension, le risque d'entrer en décharge profonde devient trop important.

**Q27** : En utilisant la courbe de mesure, déterminez, en pourcentage, la conséquence de la commande **filaire** sur l'autonomie du Robot. **Détaillez** votre raisonnement et vos calculs ! /2

Pour  $U = 15,6V$  on lit : Temps (avec câble) = 1080s et Temps (sans câble) = 1600s

Soit un **rapport** de différence de :  $(1600-1080)/1080 = 48\%$

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



**Q28** : En déduire alors l'autonomie du Robot équipé de cette nouvelle technologie ainsi que la surface estimée pouvant être tondue en un cycle de décharge (*prendre 40% si pas de réponse en Q25*).  
**Détaillez** votre raisonnement et vos calculs !

Données à prendre en compte :

Autonomie avec câble : **1 H 15**

Surface estimée avec câble : **450 m<sup>2</sup>**

/2

Nouvelle autonomie = Aut + Aut . 48% = 1,25 + 1,25 . 0,48 = 1,85 H = **1H51'** (soit **111'**)

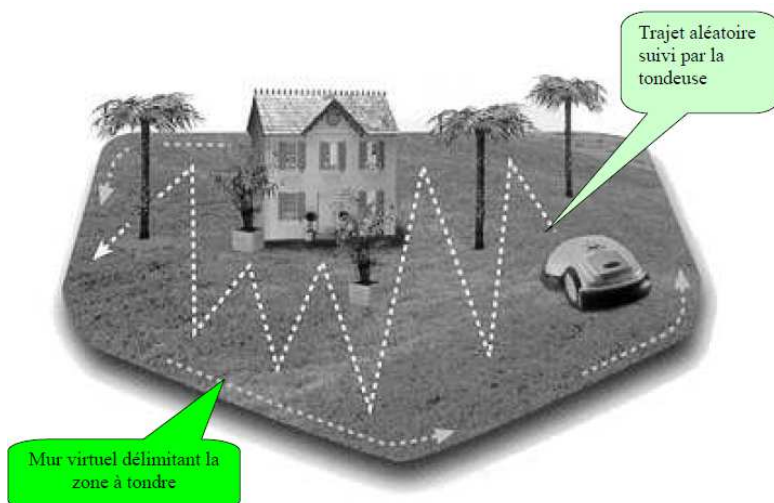
Nouvelle surface = S + S.48% = 450 + 450 . 0,48 = **666 m<sup>2</sup>**

## 5) PARTIE 5 : Étude de la programmation du robot



### Stratégie de déplacement :

Le robot tondeuse une fois posé sur le sol, et activé en mode "tonte", doit détecter la **présence de la boucle magnétique** délimitant le terrain mais également **les obstacles** sur son chemin.



Il démarre son cycle de tonte en roulant en **ligne droite** jusqu'à rencontrer la boucle périphérique ou un obstacle. Celle-ci rencontrée, le robot "**rebondit**" alors suivant un angle prédéfini. De même si un obstacle est rencontré sur son chemin par les capteurs de contact situés sur chaque élément du parechoc :

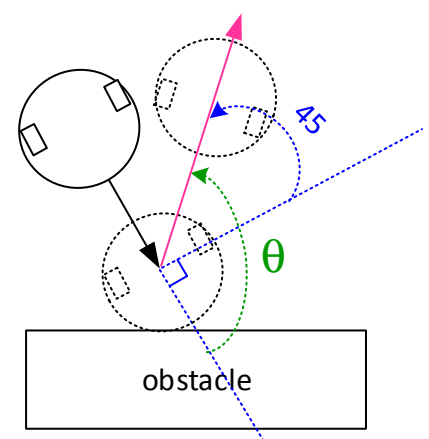
"**Rebondir**" signifie : arrêter le robot, le faire reculer **pendant 2 secondes**, opérer une rotation sur lui-même d'un certain angle, puis reprendre sa course en avant.

**Q29** : En fonction de la trajectoire voulue suivante lors d'une détection d'obstacle, **calculez** l'angle de rotation du robot nécessaire noté  $\theta$  :

Angle droit = **90°**

$\theta = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ$

/2



**Q30** : En considérant qu'une temporisation en rotation de 350 ms permet d'effectuer un angle de rotation du robot de 90°, combien de temps noté **TempoAngle** est-il nécessaire au robot pour effectuer la rotation  $\theta$  (*prendre  $\theta = 130^\circ$  si pas de réponse à Q27*) ? **Détaillez** votre raisonnement.

/2

350 ms  $\rightarrow$  90°

?  $\rightarrow$  135°

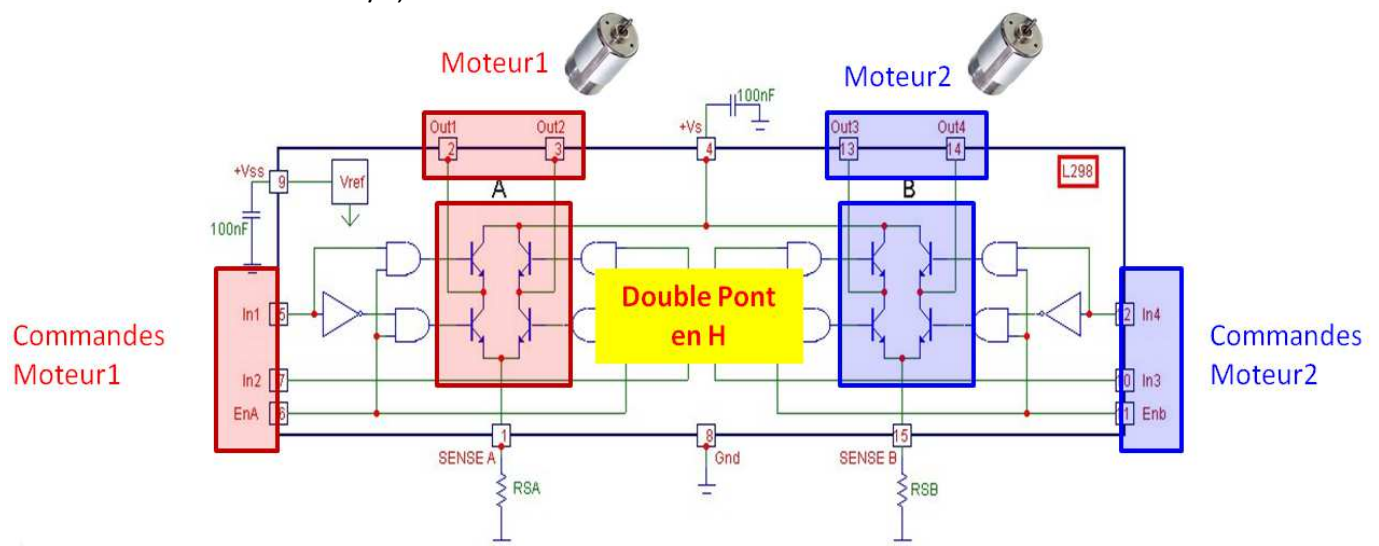
donc **TempoAngle** = 350 . 135 / 90 = **525 ms**

**Q31** : Si l'on considère **4 commandes** possibles (**AVANT** ↻, **ARRIERE** ↻, **ROUE LIBRE** ↻ et **ARRET** ■) pour chaque moteur, indiquez l'état de chacun d'entre eux pour réaliser les actions suivantes de déplacement :

/5

ACTION	MOTEUR GAUCHE	MOTEUR DROIT
ARRET (FREIN)	■	■
AVANT	↻	↻
PIVOTER à GAUCHE	↻	↻
PIVOTER à DROITE	↻	↻
RECULER	↻	↻

Les moteurs sont pilotés par une interface de puissance type "double pont en H" permettant la commande de moteurs 24V/7,5A :



Sa table de vérité est la suivante :

ACTION	MOTEUR GAUCHE			MOTEUR DROIT		
	ENA	IN1	IN2	ENB	IN3	IN4
ARRET	1	0	0	1	0	0
AVANT	1	1	0	1	1	0
PIVOT à GAUCHE	1	0	1	1	1	0
PIVOT à DROITE	1	1	0	1	0	1
ARRIERE	1	0	1	1	0	1
ROUE Libre	0	X	X	0	X	X



**Q32** : indiquez les différentes commandes (0 ou 1) à transmettre à l'interface de puissance pour permettre au robot de réaliser le circuit d'évitement suivant (avec ENA = ENB =1) ainsi que l'action de mouvement réalisée : /6

**Point A** : Action → **AVANCE** /0,5

IN1 : ☐ 1 IN2 : ☐ 0 IN3 : ☐ 1 IN4 : ☐ 0 /1

**Point B** : Action → **RECULE**

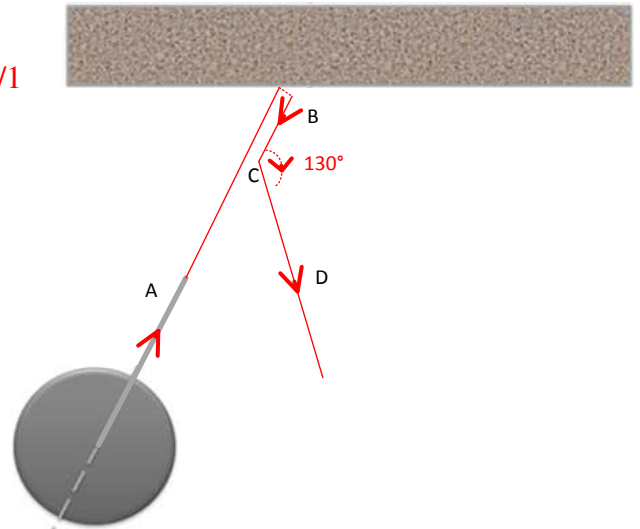
IN1 : ☐ 0 IN2 : ☐ 1 IN3 : ☐ 0 IN4 : ☐ 1

**Point C** : Action → **ROTATION DROITE**

IN1 : ☐ 1 IN2 : ☐ 0 IN3 : ☐ 0 IN4 : ☐ 1

**Point D** : Action → **AVANCE**

IN1 : ☐ 1 IN2 : ☐ 0 IN3 : ☐ 1 IN4 : ☐ 0



**Q33** : Proposez un algorithme permettant de programmer cette stratégie de déplacement : /7

**Programme principal Loop()**

**detect\_magnetique** ⇐ booléen identifiant la détection magnétique (0 : pas de détection)

**detect\_obstacle** ⇐ booléen identifiant la détection d'obstacle (0 : pas de détection)

Robot ⇐ **Avancer Tout\_Droit**

/1

**SI** **detect\_magnetique = 1 OU detect\_obstacle = 1** **ALORS**

/2

Robot ⇐ **Reculer Tout\_Droit**

/1

Temporiser 2000 ms

/1

Robot ⇐ **Pivoter à Droite**

/1

Temporiser 525 ms

/1

**FIN**

## 6) PARTIE 6 : Étude environnementale

**Q34** : Quels sont les avantages en lien avec les piliers du développement durable de ce produit ? /6

DT6

**Écologique** : Pas de rejet de CO2 (moteur électrique), l'herbe n'est pas ramassée et sert d'engrais au sol, très peu de pollution sonore.

**Économique** : Utilise de l'énergie électrique au lieu de l'essence (moins coûteux), pas de déplacement nécessaire pour emmener l'herbe tondue.

**Sociétal** : Permet de dégager du temps libre, ne gêne plus les voisins (bruit), pelouse toujours entretenue.

**Q35** : A partir du document technique DT6, indiquez quelle est la phase la plus impactante dans le cycle de vie du produit. Quelle étape du cycle de vie ayant un impact n'est pas prise en compte ? /2

DT6

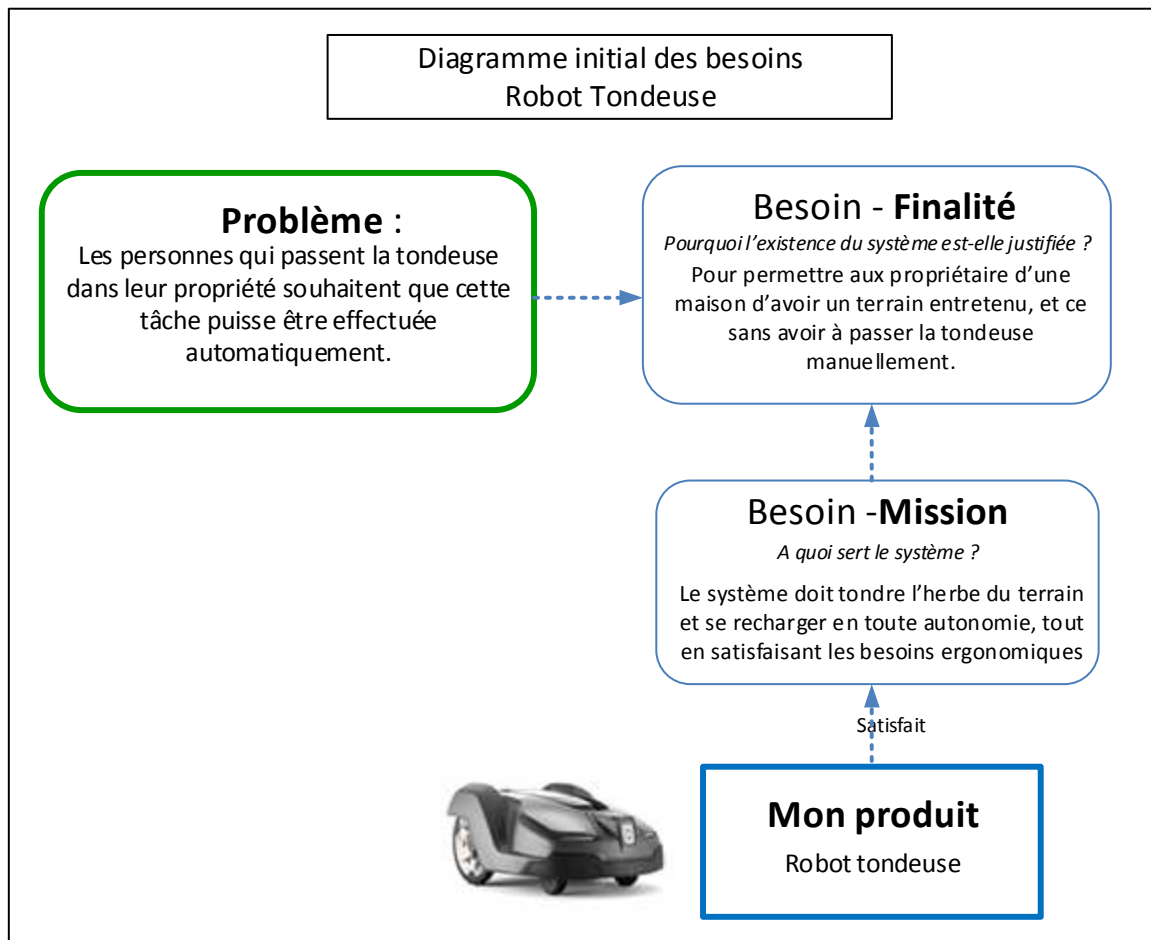
La fabrication de la batterie est le plus impactant : 35% de son impact environnemental.

La fin de vie du produit n'est pas prise en compte, alors que la batterie n'est recyclée qu'à 50%

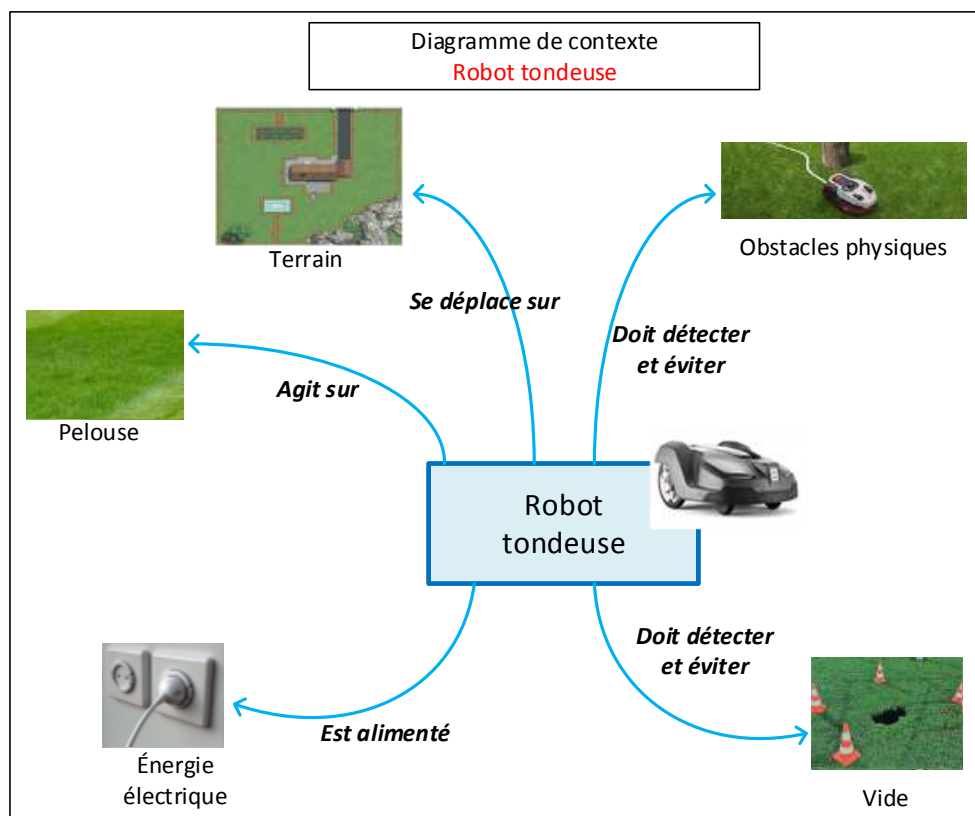
## ANNEXE : Dossier Technique

### DT1 : Analyse SysML du produit

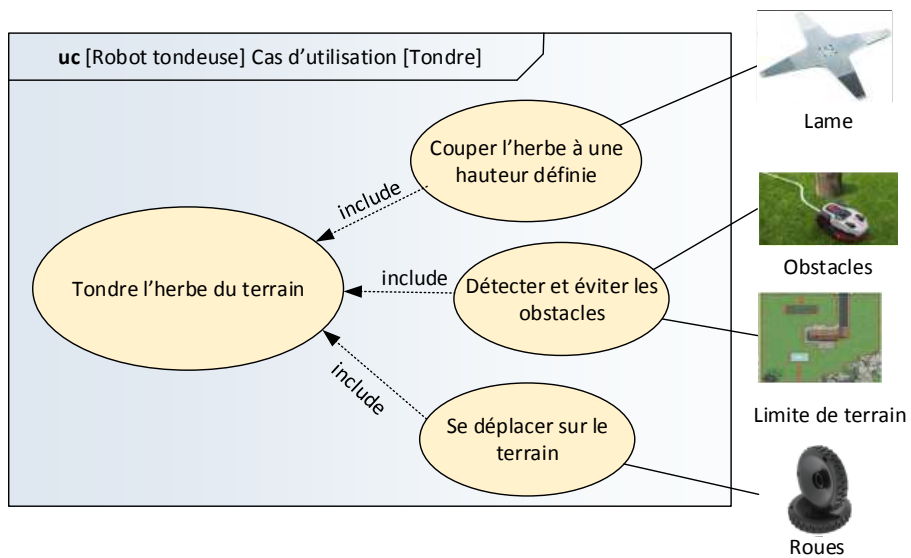
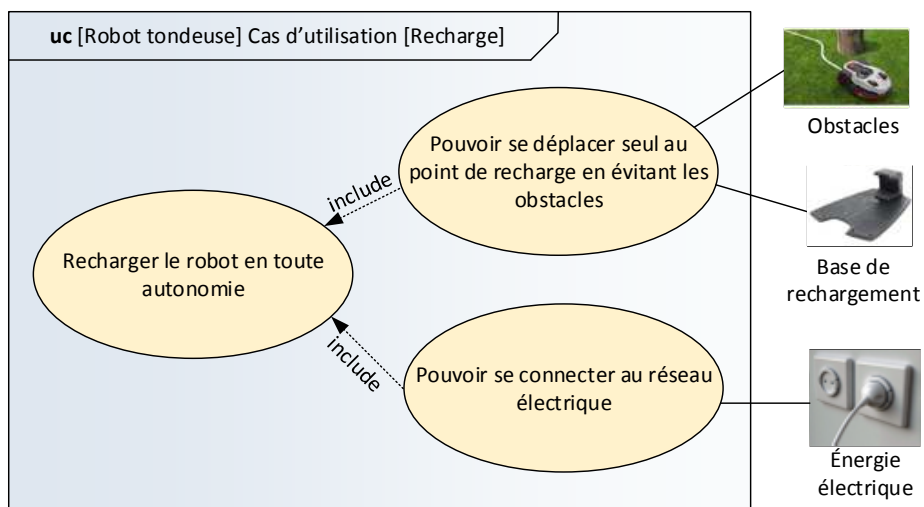
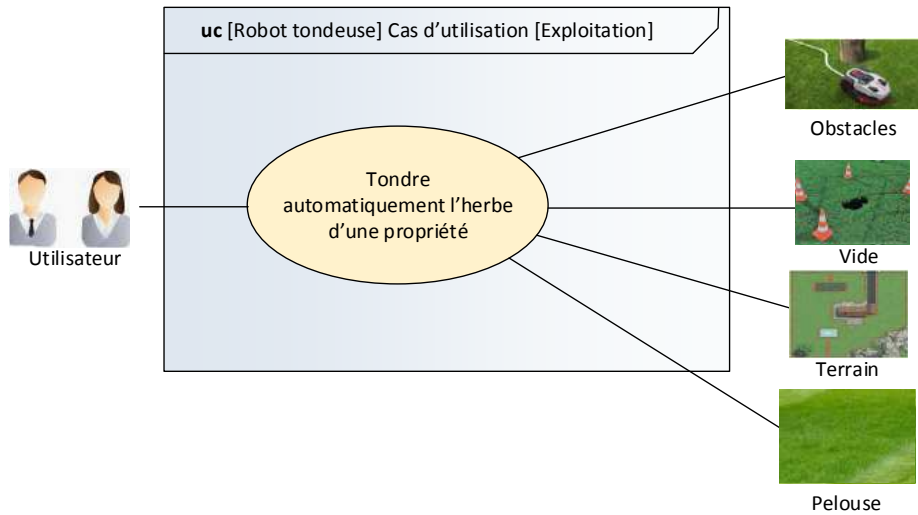
#### Diagramme initial des Besoins :



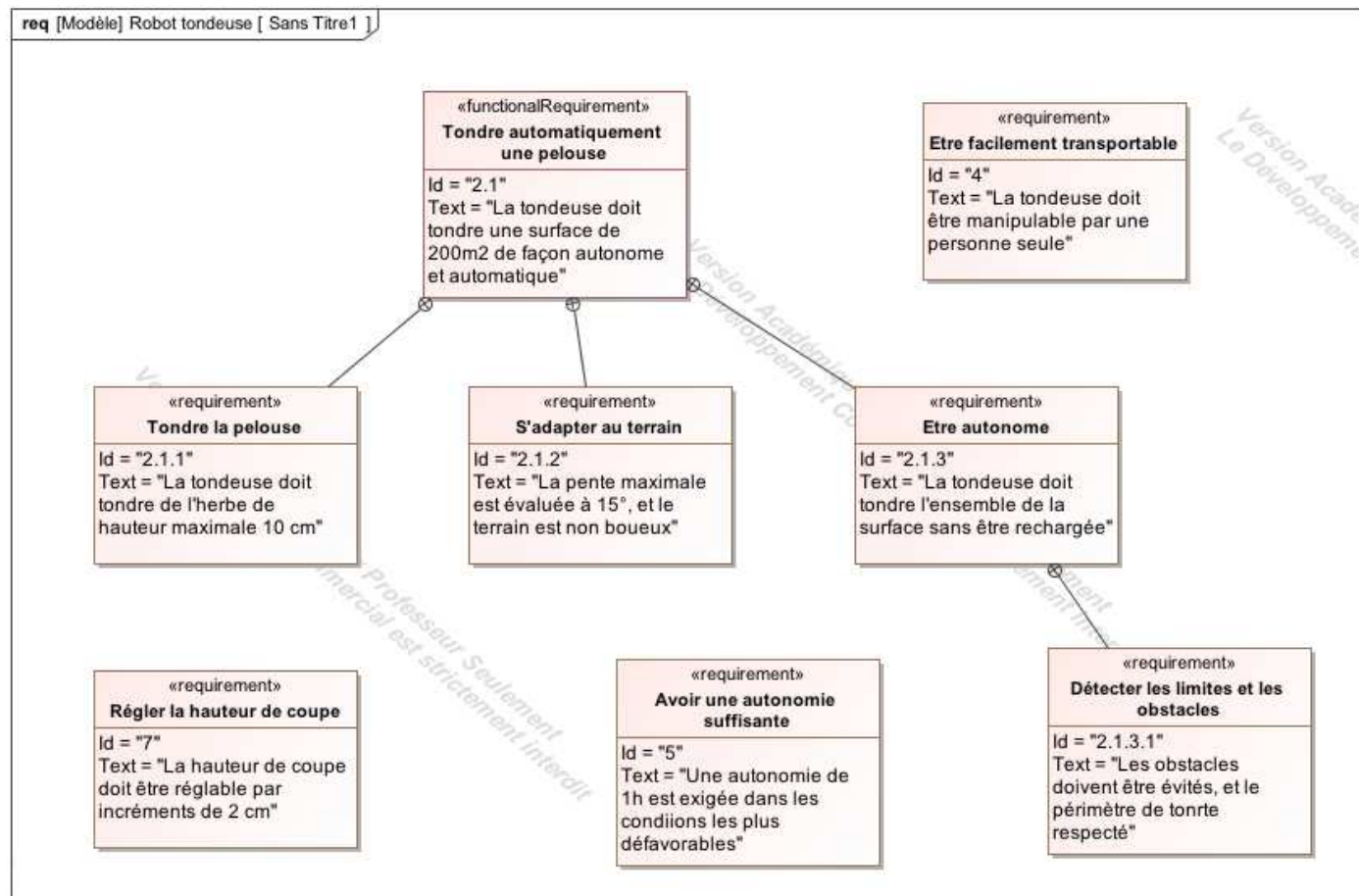
#### Diagramme de contexte :



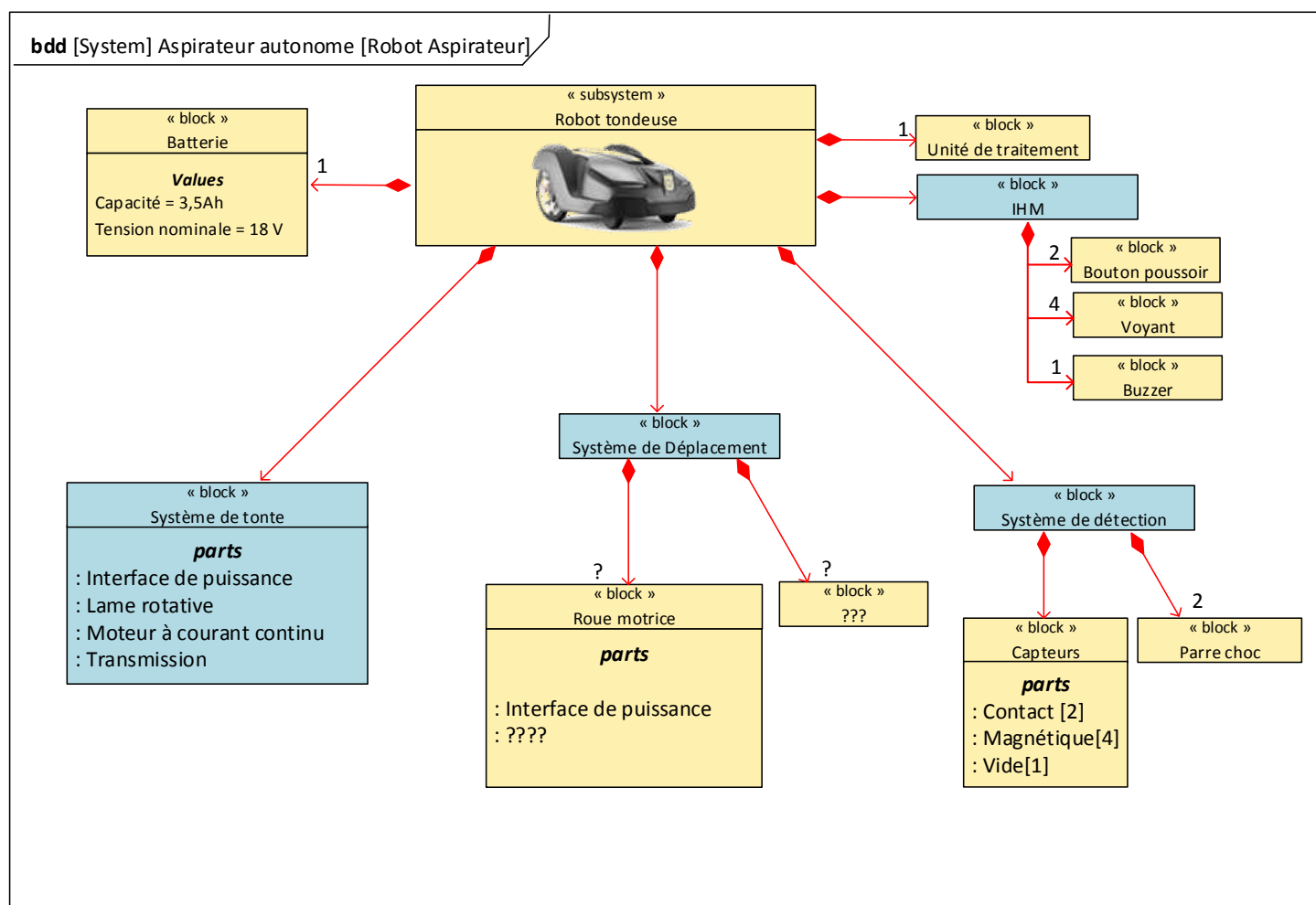
## Diagrammes de cas d'utilisation :



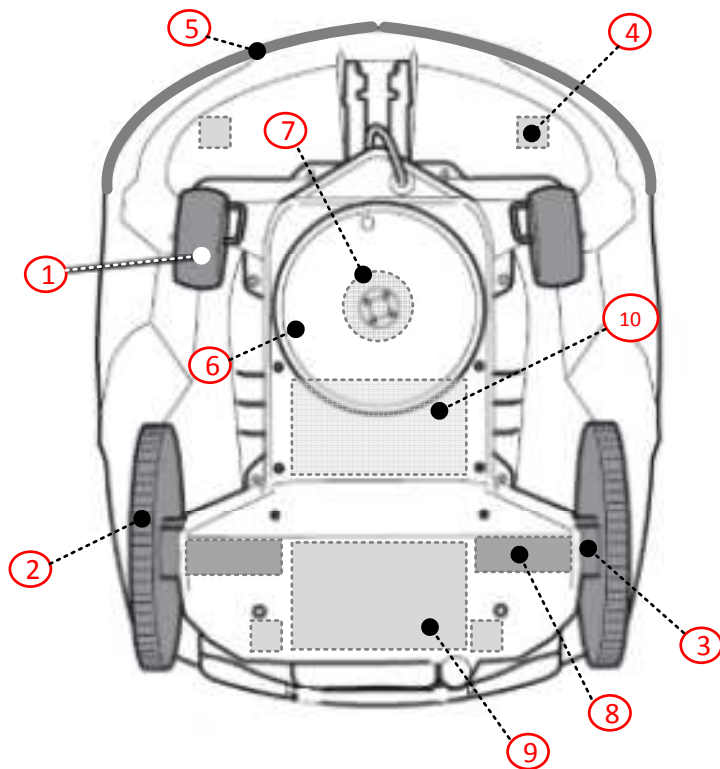
## Diagramme d'exigence :



## Diagrammes de définition de blocs :



## DT2 : Éléments du Robot tondeuse

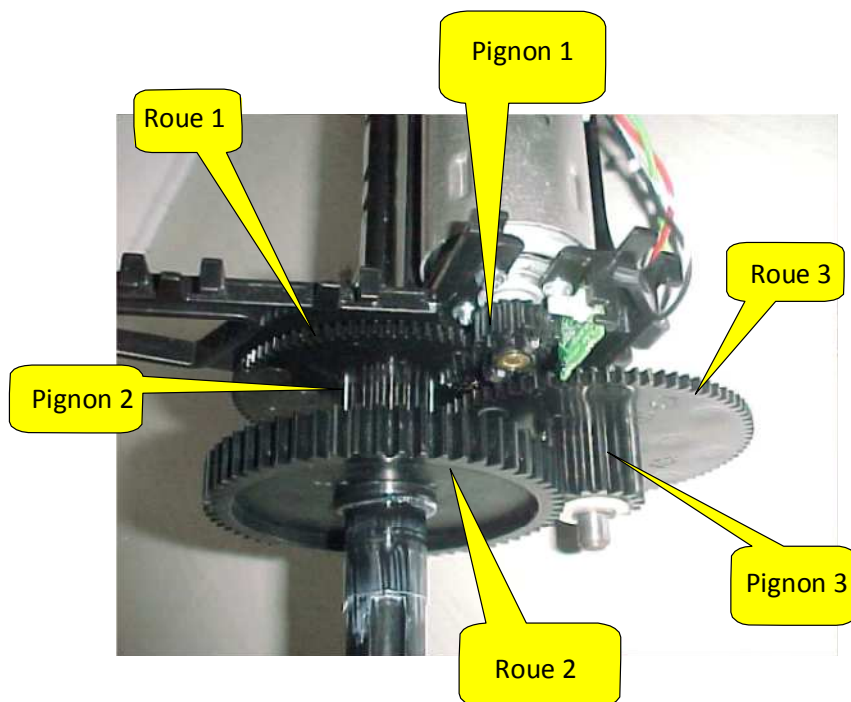


Id	Référence	Quantité
1	Roue libre	2
2	Roue motrice	2
3	Réducteur	2
4	Capteur magnétique	4
5	Capteur de choc	2
6	Lame de tonte	1
7	Moteur de lame	1
8	Moteur de roue	2
9	Batterie	1
10	Carte électronique	1

## DT3 : Caractéristiques techniques

Masse	11,8 kg
Capacité de travail (+/- 20 %)	0 à 2 200 m <sup>2</sup>
Surface tondue par heure	92 m <sup>2</sup> .h <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
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

#### DT4 : Caractéristiques du bloc réducteur

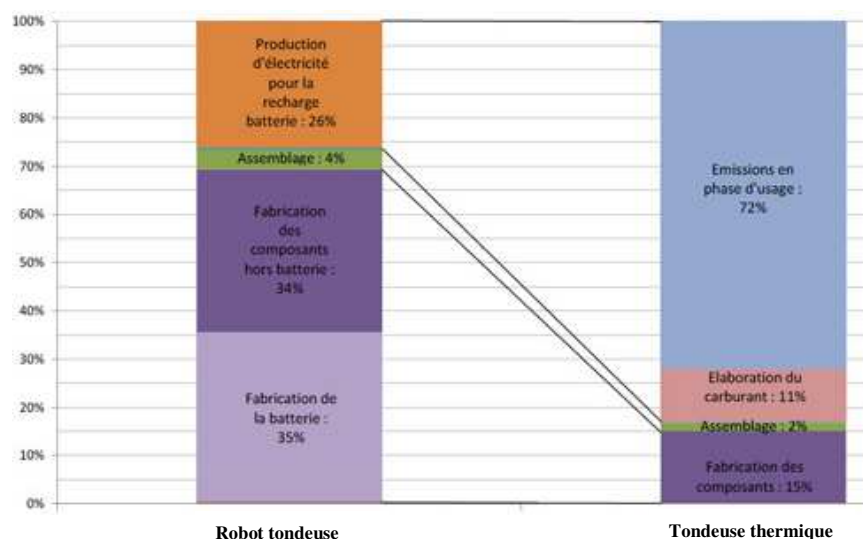


	Nombre de dents Z
Pignon 1	Z1 = 18
Roue 1	Z2 = 86
Pignon 2	Z3 = 22
Roue 2	Z4 = 80
Pignon 3	Z5 = 18
Roue 3	Z6 = 58

#### DT5 : Caractéristiques de la batterie



#### DT6 : Étude environnementale



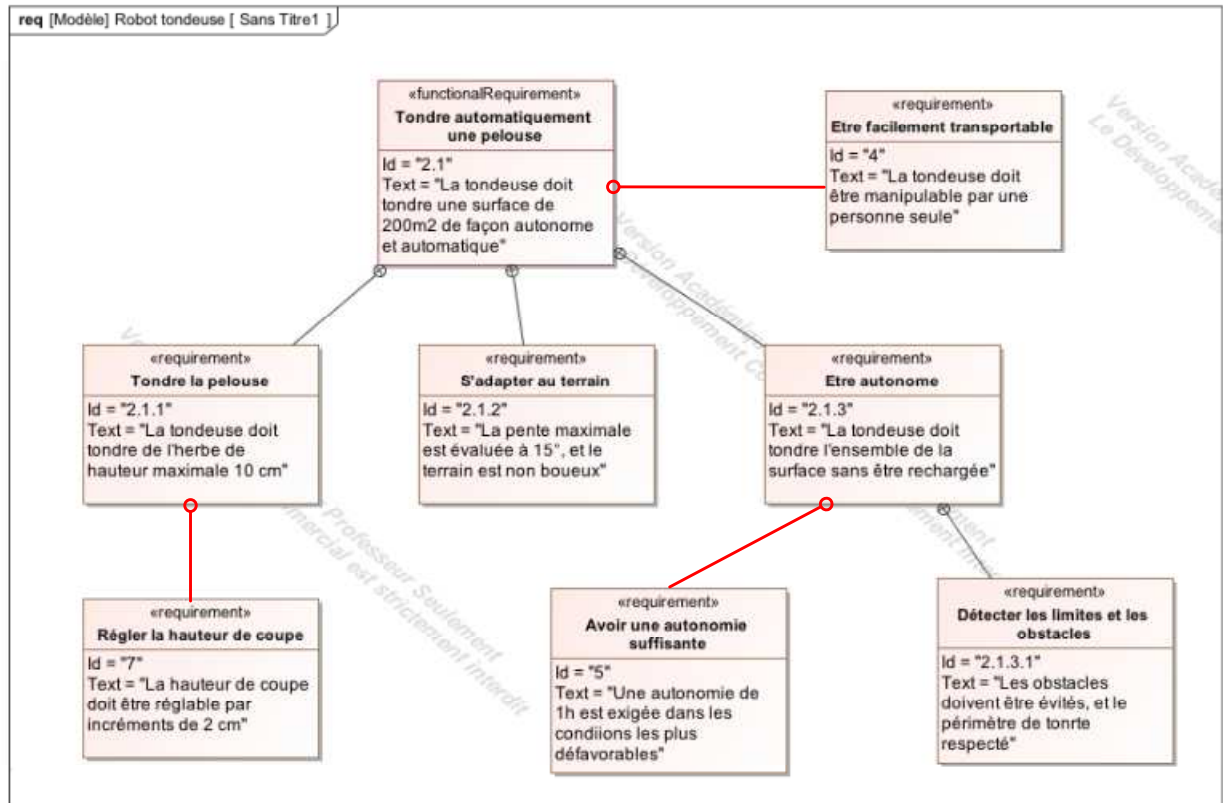
Type	Recyclage	
	Taux (% w)*	Métaux lourds (% w)**
Plomb-acide	65%	environ 100%
Ni-Cd	75%	
Autres compositions chimiques (Ni-MH, Li-ion, ...)	50%	-

Seuil de recyclage en fonction de la technologie de batterie



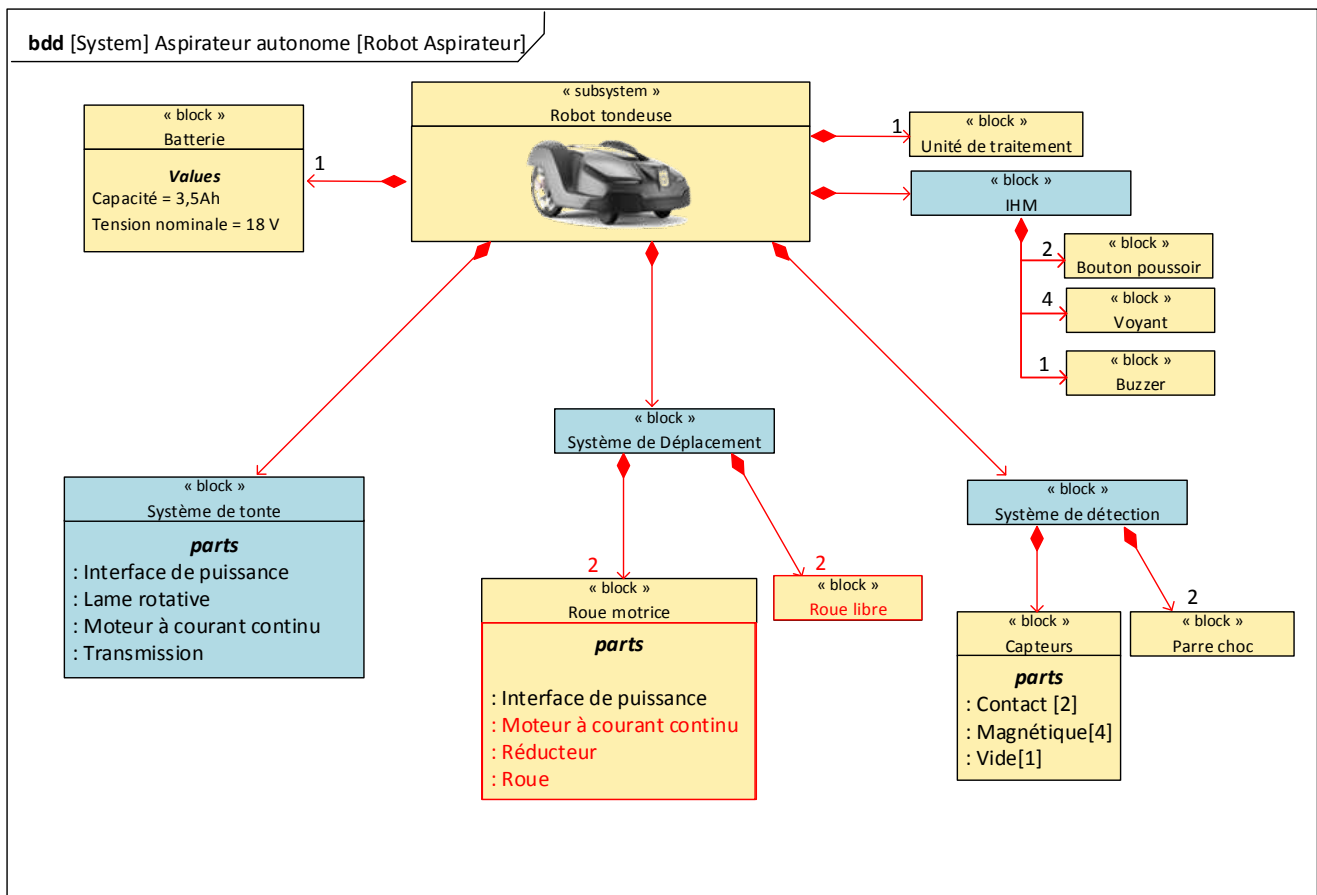
## ANNEXE : Documents réponse

### DR1 : Question Q6



/3

### DR2 : Question Q9



/5

