

Robot lawnmowers

Robot Specifications

Guy Corbaz <guy@corbaz.org>
Nicolas Désir <ndesir@saitis.net>
Guy Thelin

Robot lawnmowers: Robot Specifications

by Guy Corbaz, Nicolas Désir, and Guy Thelin

Dedication

To the planet

Table of Contents

Preface	vi
1. Introduction	1
Objectifs du robot tondeuse	1
2. Specifications	2
General specifications générales	2
Detailed specifications	3
Résistance à l'avancement	3
Diamètre des roues	5
Couple de propulsion	6
Puissance de propulsion	6
Puissance de coupe	6
Batterie	7
3. Architecture	8
Conception mécanique	8
Châssis	8
Carrosserie	8
Propulsion	8
Coupe	8
Architecture électronique	8
Contrôleur de moteur de propulsion	9
Contrôleur de moteur de coupe	10
Lidar	10
GPS	10
Contacts de proximité	10
Batterie	10
Ordinateur embarqué	10
Capteurs de situation	10
Communication	10
Architecture informatique	10
4. Prototype	11
Hypothèses à valider	11
Tests et mesures à effectuer	11
5. Electronique	13
Commande des moteurs	13
6. Software	14
Security	14
Glossaire	15
7. Bibliography	16
8. Index	17

List of Figures

2.1. Forces sur une roue	3
2.2. Résistance totale	4
3.1. Architecture de la commande du robot	9

List of Tables

2.1. Caractéristiques de moteurs de propulsion	6
2.2. Caractéristique des moteurs de coupe	7
2.3. Capacité de la batterie	7

List of Equations

2.1. Résistance au roulement	4
2.2. Force de gravitation	4
2.3. Résistance au roulement	4
2.4. Résistance de la gravité	5
2.5. Force de gravitation	5
2.6. Résistance totale	5
2.7. Résistance maximum	5
2.8. Vitesse en fonction de la vitesse de rotation	5
2.9. Vitesse de rotation en fonction de la vitesse	5
2.10. Couple maximum par moteur	6
2.11. Puissance nécessaire	6

Preface

Maintenance of grass in agricultural crops such as vines or fruit trees, road and motorway borders, industrial zones, etc. Is mainly done with mowers, brush cutters, tractors and weed killers. Not only are these operations time-consuming and costly, but they also generate a lot of CO₂ and use pollutants. That's why we want to automate these operations with an intelligent robot that can cut grass as close to crops, trees, walls, etc. as possible, using GPS location, among other things, to avoid installing a wire of delimitation.

We want to accelerate the transition to sustainable development, which is why we distribute all the plans and software of our robot under GNU General Public License (GPL), except for ready-made items such as motors, GPS modules, LIDAR , etc. Which are under the manufacturer's license.

Chapter 1. Introduction

On parle très souvent d'agriculture de précision et d'automatisation de l'agriculture. La plupart de ces projets consistent à améliorer la manière de faire traditionnelle, sans pour autant radicalement la changer. La gestion de l'herbe dans les cultures telles que la vigne, les arbres fruitiers, ou encore les bouts de parcelles se fait de manière très traditionnelle: à savoir avec un tracteur et une tondeuse ou un gyrobroyeur, et avec des désherbants pour les endroits qui ne sont pas ou difficilement atteignables par des machines. On retrouve la même problématique dans l'entretien des bords de routes ou grandes surfaces herbeuses non agricoles.

Il existe une multitude de robots tondeuses destinés aux jardins ou surfaces de loisirs, telles que les terrains de sports ou autres. Ces appareils ne fonctionnent que sur des surfaces régulières (pas de gros trous, de taupinières, etc.) et dans des périmètres limités mécaniquement par des barrières ou électroniquement par des fils enterrés. On commence à voir émerger des appareils fonctionnant avec un GPS.

Il est difficilement possible d'utiliser ces tondeuses de jardin dans un environnement agricole, car elles ne sont pas adaptées à un environnement plus rude et des surfaces irrégulières.

Objectifs du robot tondeuse

Ce robot tondeuse s'inscrit dans une logique de développement durable. Les objectifs sont:

- Supprimer l'utilisation d'herbicides polluants et dangereux pour la santé et la nature.
- Diminuer les émissions de CO₂ en n'utilisant pas de carburant fossiles et non renouvelables.
- Diminuer les coûts d'exploitations.

Afin de pouvoir rapidement s'insérer dans une logique de développement durable, les plans et logiciels du robot sont distribués sous licence GNU General Public License (GPL), sauf les éléments que nous achetons tout faits, tels que les moteurs, LIDAR, circuits électroniques, etc. qui sont sous la licence du fabricant¹.

Le robot pourra également être vendu complètement assemblé, ou sous forme de kit soit complet soit partiel. Le kit partiel comprenant, par exemple, des éléments usinés spécifiquement pour le robot.

Tous les plans et logiciels sont librement disponibles sur Internet.

¹Ces éléments peuvent être sous licence propriétaire.

Chapter 2. Specifications

This chapter describes the general and detailed specifications of the robot lawnmower.

General specifications générales

general specifications are the following:

- Weight: 25 kg ($\pm 20\%$)
- Cutting width: 60cm
- Vitesse de travail maximum: 1,8 km/h, soit 0.5 m/s.
- Vitesse de déplacement: 1,8 km/h
- Surface traitable minimum: 20'000 m²
- Délimitation de la surface à traiter par GPS (RTK Real Time Kinematic). L'installation d'un fil est exclue.
- Garde au sol (distance au sol du châssis): min 10cm
- Autonomie: 4h minimum.
- Navigation autonome et évitement des obstacles.
- Stratégie d'optimisation de la coupe de l'herbe afin d'utiliser au mieux la batterie.
- Hauteur d'obstacle franchissable minimum: 10cm.
 - Pente franchissable maximum: 45°.
- Vitesse de rotation des couteaux: 3000t/m
- Sécurité et protection des utilisateurs et des animaux.
 - Les utilisateurs et les animaux ne doivent pas pouvoir entrer en contact avec les couteaux.
 - La machine doit s'arrêter lorsque quelqu'un s'approche trop.
 - Les couteaux doivent s'arrêter lorsque la machine s'incline trop (soulèvement pas quelqu'un par ex.).
 - La machine doit complètement s'arrêter et se mettre en alarme si elle se renverse.
 - La machine doit complètement s'arrêter et se mettre en alarme si elle est bloquée.
- Security and remote access
 - System must be protected against unauthorized remote access.
 - Only user who need to access the robot will be allowed to access it.
 - Robot owner must be tracked: if the owner sell his robot to someone else, a mechanism has to be put in place to track this transaction. All access right and ownership parameters have to be transmitted to the new owner.
- Accès à distance
 - Activation/désactivation du robot.
 - Information sur l'état.

- Informations sur la position.
- Programmation de la zone de fonctionnement.
- Accès via une application sur un mobile.
- Accès via un site Internet.
- Recharge
 - Deux types de stations de charge
 - Station de recharge raccordée au réseau électrique.
 - Station de recharge avec panneaux solaires et éolienne (étape suivante).
 - Temps de recharge avec raccordement au réseau: max 4h
 - Temps de recharge avec stations solaire et éolienne: max 6h
 - Le robot rentre tout seul sur sa station de recharge.
 - Lorsque le robot est raccordé à sa station de recharge, il arrête tous les consommateurs électriques inutiles.

•

xxx

Detailed specifications

Résistance à l'avancement

La résistance à l'avancement dépend de deux facteurs:

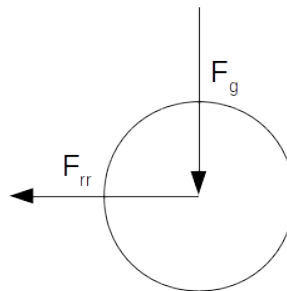
- La résistance à l'avancement des roues
- La pente à franchir

Les calculs ci-dessous donnent un ordre de grandeur des forces, couples et puissances en jeux. Cependant, ces valeurs seront à vérifier sur les prototypes.

Résistance des roues à l'avancement

D'après [wiki01], les calculs de résistance au roulement peuvent être simplifiés si le véhicule n'avance pas vite, ce qui est notre cas. N'ayant pas trouvé le coefficient de résistance au roulement pour un pneu sur l'herbe, nous prenons celui du sable, 0.3.

Figure 2.1. Forces sur une roue



La résistance au roulement est donnée par:

Equation 2.1. Résistance au roulement

$$F_{rr} = C_{rr} \cdot F_g$$

Equation 2.2. Force de gravitation

$$F_g = m \cdot g$$

ou:

F_{rr} : force de résistance au roulement en N.

C_{rr} : coefficient de résistance au roulement.

m : masse du véhicule (la tondeuse pour nous) en Kg.

g : constante de gravitation, en m/s^2 .

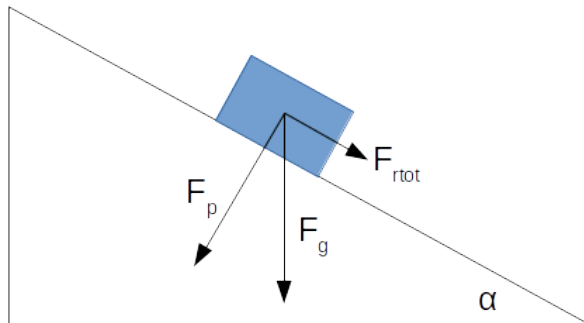
Avec nos spécifications, F_{rr} est, pour un véhicule à plat, toutes les roues sont identiques.¹ et que le poids est uniformément réparti:

$$F_{rr} = C_{rr} \cdot m \cdot g = 20 \cdot 9,81 \cdot 0,3 = 58,8 N \approx 60 N$$

Résistance totale

En tenant compte de la pente, le calcul est un peu plus complexe: il faut rajouter les composantes dues à la gravitation. De plus, la force de résistance au roulement diminue avec l'augmentation de la pente.

Figure 2.2. Résistance totale



La résistance totale est due à la force de gravité et à la résistance au roulement, soit:

$$F_{rtot} = F_{rr} + F_{rg}$$

ou

F_{rr} est la force de résistance au roulement.

F_{rg} est la force de résistance due à la gravitation.

F_{rtot} est la force de résistance totale: celle que les moteurs doivent vaincre.

A partir du diagramme Figure 2.2, "Résistance totale" et du triangle des forces, on calcule:

Equation 2.3. Résistance au roulement

$$F_{rr} = C_{rr} \cdot F_p = C_{rr} \cdot F_g \cdot \cos(\alpha)$$

¹On démontre aisément que cette force ne dépend pas du nombre de roues mais seulement du revêtement du sol et des roues.

Equation 2.4. Résistance de la gravité

$$F_{rg} = F_g \cdot \sin(\alpha)$$

Equation 2.5. Force de gravitation

$$F_g = m \cdot g$$

en remplaçant les termes, on obtient:

Equation 2.6. Résistance totale

$$F_{rtot} = C_{rr} \cdot F_g \cdot \cos(\alpha) + F_g \sin(\alpha) = F_g (C_{rr} \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) = m \cdot g \cdot (C_{rr} \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha))$$

A partir des spécification générales, on calcule facilement la force de résistance totale dans l'herbe, pour une pente maximum de 45°.

Equation 2.7. Résistance maximum

$$F_{rtot} = 20 \cdot 9,81 \cdot (0,3 \cdot 0,7 + 0,7) = 177,5N \approx 180N$$

Note

Les valeurs calculées ci-dessus correspondent aux forces maximum aux quelles le robot pourrait être confronté.

Diamètre des roues

Le diamètre des roues est conditionné par la garde au sol du châssis de la tondeuse robot. On choisit des roues de 30cm de diamètre: cela permet de garantir la distance au sol minimum requise dans les spécifications générales et laisse un peu de marge pour la disposition des moteurs électriques de propulsion. Par ailleurs des roues d'un diamètre de 30cm permettent l'utilisation de pneus gonflés (à faible pression) ce qui rend le déplacement plus facile en terrain légèrement accidenté comme c'est le cas dans les cultures.

La relation entre la vitesse de rotation est le rayon de la roue est données par:

Equation 2.8. Vitesse en fonction de la vitesse de rotation

$$V = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \omega$$

ou:

V: vitesse en m/s

r: rayon de la roue en m

ω : vitesse de rotation en rad/s

On peut calculer la vitesse de rotation à partir de la vitesse linéaire de la manière suivante:

Equation 2.9. Vitesse de rotation en fonction de la vitesse

$$\omega = \frac{V}{r}$$

soit, dans notre cas:

$$\omega = \frac{0,5}{0,15} = 3,33 \text{ rad/s} = 1,05 \text{ t/s} = 63 \text{ t/min}$$

Couple de propulsion

Le couple nécessaire dépend directement du diamètre des roues et de la force maximum de résistance. La puissance, elle, dépend du couple et de la vitesse de rotation des roues, ou de la vitesse d'avancement et de la force de résistance.

La force totale nécessaire au déplacement est de 180N. Cependant, elle est répartie de manière uniforme sur les 4 roues motrices. Elle est donc de 45N par roue

Equation 2.10. Couple maximum par moteur

$$T = F_{rr} \cdot r = 45 \cdot 0,15 = 6,75Nm$$

Ceci représente le couple total. Pour 4 moteurs, le couple par moteur est de **6,75Nm** au maximum.

Puissance de propulsion

La puissance nécessaire à propulser la tondeuse, en fonction des spécification de base est:

Equation 2.11. Puissance nécessaire

$$P = F_{tot} \cdot V = 180 \cdot 0,5 = 90W$$

Avec 4 moteurs de propulsion, chaque moteur doit avoir une puissance de 22,5W \approx 25W par moteur.

Table 2.1. Caractéristiques de moteurs de propulsion

Libellé	Valeur	Commentaire
Puissance	25W	
Couple	6,75Nm	
Vitesse de rotation	60t/min	avec réducteur
Alimentation	12 ou 24 V	

Puissance de coupe

La puissance de coupe est plus difficile à estimer. Nous avons procédé à du reverse engineering sur des tondeuses existantes. Pour un couteau à 4 lames de 30cm de diamètre, il faut un moteur électrique de 100W tournant à 3000t/min.

Pour une largeur de coupe de 60cm, on a le choix entre deux hélices de 30cm de diamètre chacune, ou 3 hélices de 20cm de diamètre. Afin de diminuer l'encombrement longitudinal, nous choisissons trois hélices de 20cm de diamètre.

A partir des données de reverse engineering ci-dessus, et en appliquant une règle de trois, nous avons besoin de 60W par moteur d'hélice, ce qui fait un total de **180W**.

Caution

Cette méthode de calcul est empirique et les puissances nécessaires devront être mesurées et validées lors de la réalisation du prototype.

On pourra, par exemple, diminuer la vitesse d'avancement du robot si l'herbe est trop dense: de cette manière, on limitera la puissance consommée.

Table 2.2. Caractéristique des moteurs de coupe

Libellé	Valeur	Commentaire
Puissance	60W	
Couple		
Vitesse de rotation	3000 t/min	Avec un diamètre des couteaux plus faible, une vitesse de rotation plus élevée est probablement nécessaire.
Alimentation	12 ou 24 V	

Batterie

Pour estimer la capacité de la batterie, on part de l'autonomie du robot, 4h, et de la puissance électrique totale nécessaire, à savoir la puissance de coupe et la puissance de propulsion.

- Autonomie: 4h
- Puissance totale: $90W + 180W = 270W$

Des batteries 12V ou 24V sont envisageables. Les capacité nécessaires sont:

Table 2.3. Capacité de la batterie

Tension nominale	Puissance	Courant	Capacité
12V	270W	22.5A	90Ah
24V	270W	11.25A	45Ah

Warning

Dans les estimations ci-dessus, nous n'avons pas tenu compte du rendement des moteurs, circuits électroniques, etc. Par contre, nous avons calculé la capacité nécessaire en utilisant la puissance maximum en continu, ce qui ne sera pas toujours le cas.

Chapter 3. Architecture

Le robot tondeuse est constitué de différents éléments mécaniques, électroniques et logiciels. Les différents paragraphes ci-dessous donnent les détails de chaque élément.

Conception mécanique

A faire

Châssis

A faire

Roues

La tondeuse dispose de 4 roues de 30cm de diamètre.

Carrosserie

A faire

Propulsion

La propulsion est assurée par quatre moteurs électriques de 25W chacun au minimum (voir the section called “Puissance de propulsion” et the section called “Couple de propulsion”). Les caractéristiques des ces moteurs sont:

- Puissance: 22,5W
- Couple: 6,75 Nm
- Vitesse de rotation: 33 t/min

Par ailleurs, le moteur comportera un encodeur, pour mesurer le nombre de tours effectués, ainsi qu'un réducteur.

Moteur

Moteur brushless à encodeur

Réducteur

Encodeur

L'encodeur permet de compter le nombre de tours effectivement réalisés par le moteur. En connaissant le rapport de réduction du réducteur ainsi que le diamètre des roues, on en tire rapidement la distance parcourue.

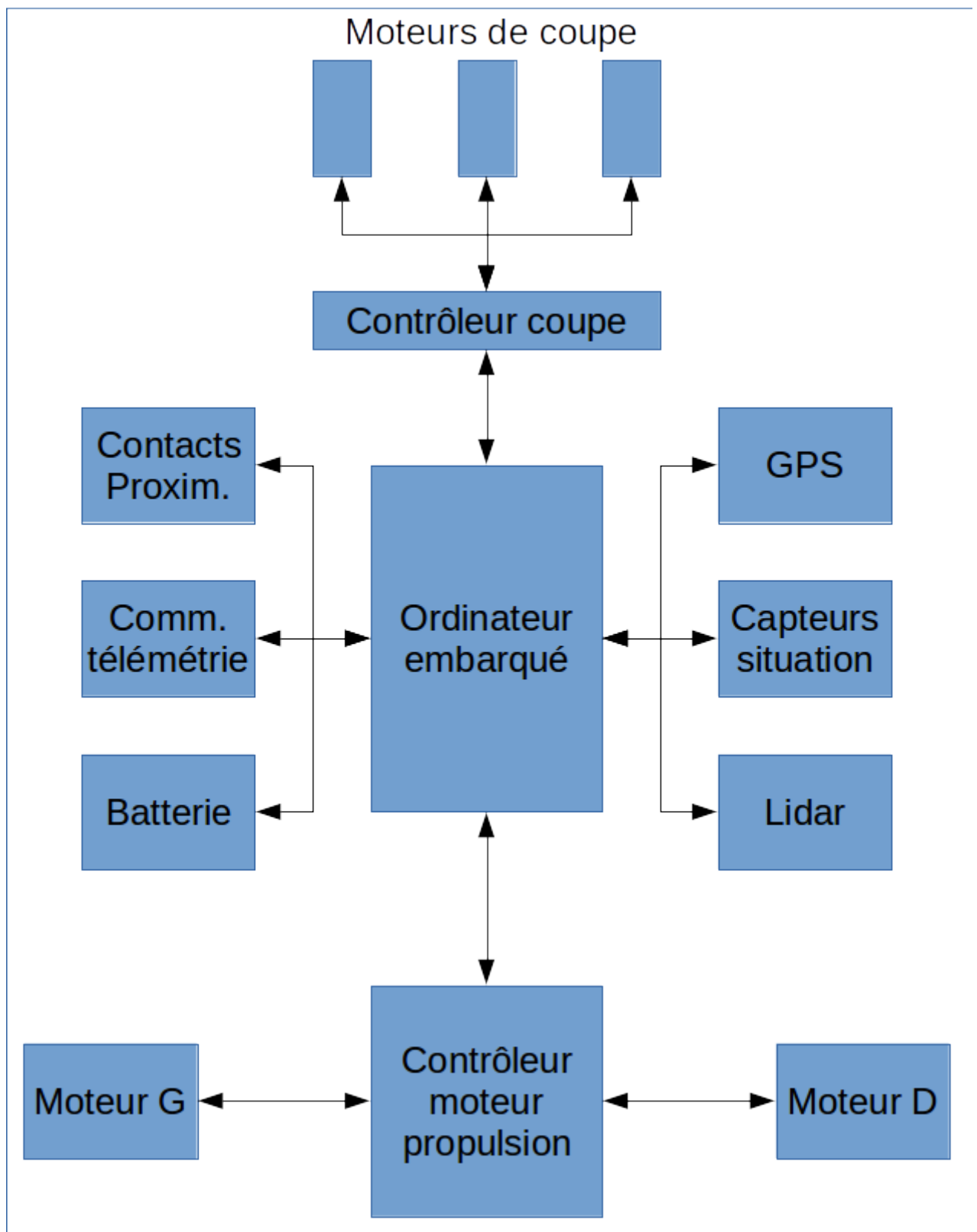
Coupe

Moteur brushless à encodeur.

Architecture électronique

L'électronique de commande est constituées de plusieurs blocs distincts, comme le montre le schéma ci-dessous.

Figure 3.1. Architecture de la commande du robot



Contrôleur de moteur de propulsion

A faire

Contrôleur de moteur de coupe

A faire

Lidar

A faire

GPS

A faire

Contacts de proximité

A faire

Batterie

A faire

Ordinateur embarqué

A faire

Capteurs de situation

Accéléromètre, gyroscope, magnétomètre

Communication

WiFi, GSM

Architecture informatique

Le logiciel du robot tondeuse fonctionne sur un Raspberri Pi III. Il est constitué des deux importantes briques suivantes:

- Le système d'exploitation Linux Ubuntu
- L'environnement de robotique ROS (Robot Operating System).

Chapter 4. Prototype

Ce chapitre concerne la réalisation du prototype. Il décrit les hypothèses à valider ainsi que les tests et mesures à effectuer.

Hypothèses à valider

Les hypothèses à valider sont:

1. Lidar
 - a. Possibilité d'utiliser le lidar pour la navigation, en se basant sur des repères au sol connus (arbres, poteaux, murs, etc.).
 - b. xxx
2. GPS
 - a. Vérifier la précision du GPS RTK.
 - b. Étudier la possibilité d'utiliser le réseau GNSS Suisse et étranger dans le futur.
 - c. Valider la méthode de délimitation du terrain.
 - d. xxx
3. Propulsion
 - a. xxx
4. Coupe
 - a. Valider la vitesse de rotation des couteaux
 - b. Valider la possibilité de varier la vitesse de rotation en fonction du type d'herbe, afin d'économiser de l'énergie.
 - c. xxx
5. Accès à distance
 - a. xxx
6. Situation
 - a. xxx

Tests et mesures à effectuer

Les tests et mesures à effectuer sont:

1. Lidar
 - a. Mesurer la précision du LIDAR
 - b. xxx
 - c. xxx

- d. xxx
- e. xxx
- 2. GPS
 - a. Mesurer la précision du GPS
 - b. xxx
- 3. Propulsion
 - a. Mesurer la courbe de puissance en fonction de l'utilisation
 - b. xxx
- 4. Coupe
 - a. Mesurer la puissance consommée par les moteurs en cours d'utilisation
 - b. Tester la qualité de coupe à différentes vitesses de rotation.
 - c. xxx
- 5. Accès à distance
 - a. xxx
- 6. Situation
 - a. Tester les accéléromètres
 - b. Tester les magnétomètres, principalement leurs interactions avec les moteurs.
 - c. Tester les gyroscopes
 - d. xxx

Chapter 5. Electronique

Commande des moteurs

Nous utilisons le module VESC[ben2016] pour la commande des moteurs (<http://vedder.se>).

Chapter 6. Software

Security

Security is a critical feature that must be implemented in the robot, as it will be connected to the Internet to be remotely accessible, for software upgrade, remote maintenance, remote operations, etc.

Glossaire

GPS RTK	La Cinématique temps réel (Real Time Kinematic, en anglais ou RTK) est une technique de positionnement par satellite basée sur l'utilisation de mesures de la phase des ondes porteuses des signaux émis par les systèmes GPS, GLONASS ou Galileo. Une station de référence fournit des corrections en temps réel permettant d'atteindre une précision de l'ordre du centimètre. Dans le cas particulier du GPS, le système est alors appelé Carrier-Phase Enhancement ou CPGPS.
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping, signifie localisation et cartographie simultanées.
GPL	GNU General Public License

Chapter 7. Bibliography

Bibliographie

[wiki01] *Résistance au roulement*. Wikipedia.

[ROS01] *Robot Operating System*. ROS.

[Joseph2017] *ROS Robotics Projects*. Build a variety of awesome robots that can see, sense, move, and do a lot more using the powerful Robot Operating System. Packt Publishing Ltd.. Joseph Lentin. 978-1-78355-471-3. Copyright © 2017.

[Carol2016] *ROS Robotics By Example*. Bring life to your robot using ROS robotic application. Packt Publishing Ltd.. Carol Fairchild and Dr.. Thomas L. Harman. 978-1-78217-519-3. Copyright © 2016.

[ben2016] *VESC – Open Source ESC*.

Chapter 8. Index

Index

A

- A valider, 11
- Accès à distance
 - Spécification, 2
- Architecture
 - Électronique, 8
 - Informatique, 10
- Autonomie
 - Spécification, 2

B

- Batterie, 7
 - Capacité, 7

C

- Capacité de la batterie, 7
- Carrosserie, 8
- Châssis, 8
- Conception mécanique, 8
- Coupe, 8
 - Puissance, 6
- Cutting width
 - Specifications, 2

D

- Diamètre des roues, 5

E

- Electronique, 13
- Encodeur
 - Propulsion, 8

G

- Garde au sol
 - Spécification, 2

H

- Hauteur franchissable
 - Spécification, 2

L

- Limites de surface
 - Spécification, 2

M

- Moteur
 - Commande, 13
 - Propulsion, 8

N

Navigation
Spécification, 2

P

Propulsion, 8
Couple, 6
Puissance, 6
Prototype, 11

R

Recharge
Spécification, 3
Réducteur
Propulsion, 8
Résistance à l'avancement, 3
Roues, 3
Totale, 4
Roues, 8

S

Sécurité
Spécification, 2
Security, 14
Software, 14
Spécification
Spécification, 2
Specifications, 2
Detailed, 3
General, 2
Surface traitable
Spécification, 2

T

Temps de recharge
Spécification, 3

V

Vitesse de déplacement
Spécification, 2
Vitesse de rotation des couteaux
Spécification, 2
Vitesse de travail
Spécification, 2

W

Weight
Specifications, 2