



TRAVAUX D'INITIATIVE
PERSONNELLE ENCADRÉS T.I.P.E.

2023

La ville



Sujet :

Robot tondeuse intelligent

préparé par :

LARABECHI Doha

I**Introduction**

- *Présentation du système*
- *Problématique et objectifs*

II**Présentation fonctionnelle du système**

- *Diagramme Sys ML*

III**Analyse des solutions techniques**

- *Choix des moteur de déplacement*
- *modélisation de la chaîne d'énergie*
- *Asservissement et régulation de vitesse*
- *Mesure de la vitesse de déplacement*
- *Inspection du robot*

IV**Résultats globale****V****Conclusion**

Les villes de demain nécessitent des espaces verts propres et esthétiques avec une qualité d'air optimale. Toutefois, l'entretien de ces espaces, en particulier la tonte du gazon, peut être difficile pour les jardiniers. Ainsi, l'idée de développer un robot tondeuse permettrait d'obtenir un beau jardin sans effort.



Robot Tondeuse

Les robots tondeuses sont des tondeuses à gazon autonomes qui utilisent des capteurs et des algorithmes pour tondre l'herbe efficacement et précisément. Ils sont équipés de lames rotatives pour couper l'herbe tout en offrant une tonte régulière et uniforme.

Robot Tondeuse

Les avantages :

1. Tonte uniforme
2. Respect de l'environnement
3. Sécurité
4. Économies de coûts
5. automatisation



Problématique

comment assurer une tonte de gazon efficace dans les espaces verts en milieu urbain tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes ainsi qu'une bonne communication ? C'est une question cruciale étant donné l'importance des espaces verts en ville

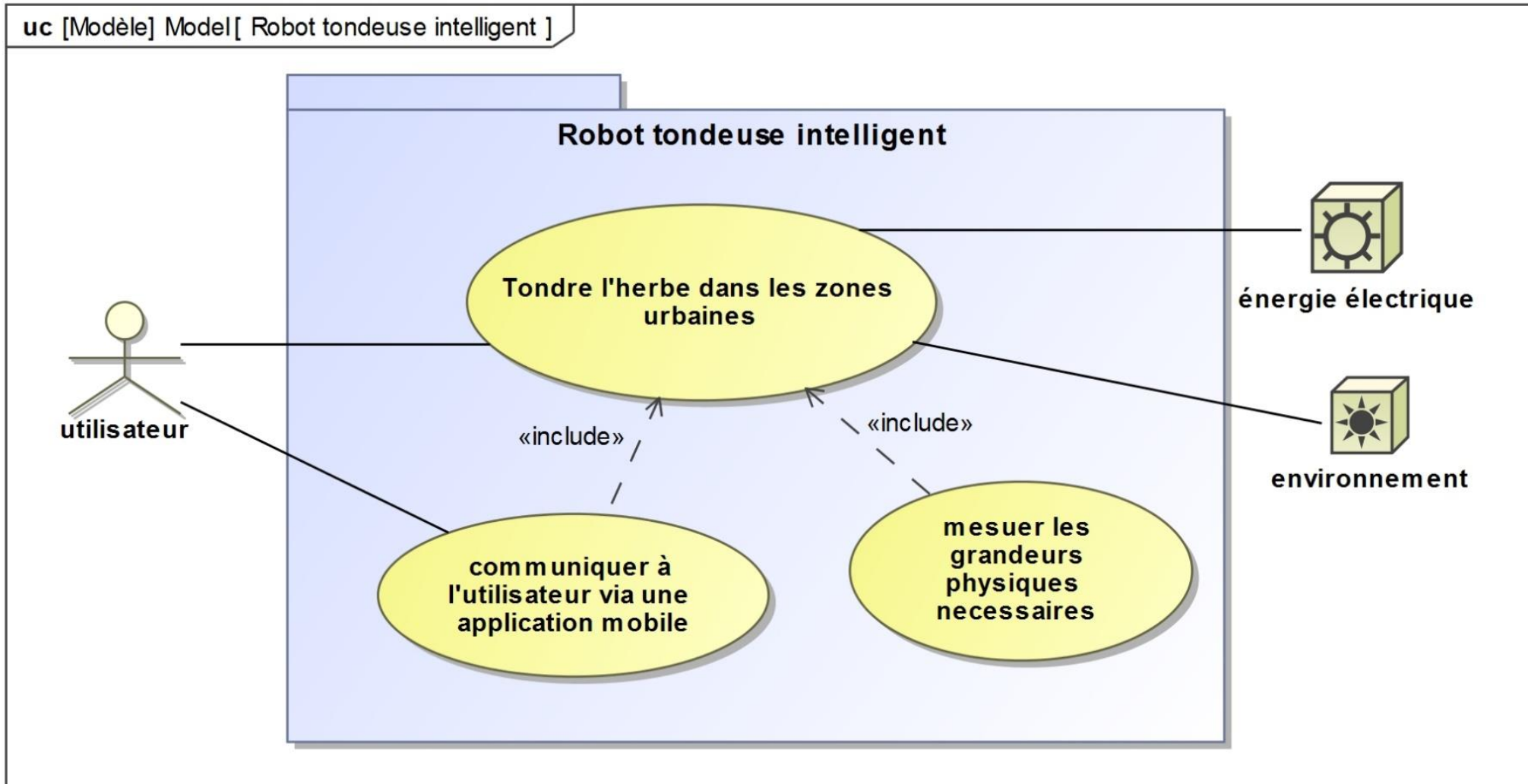


Objectifs

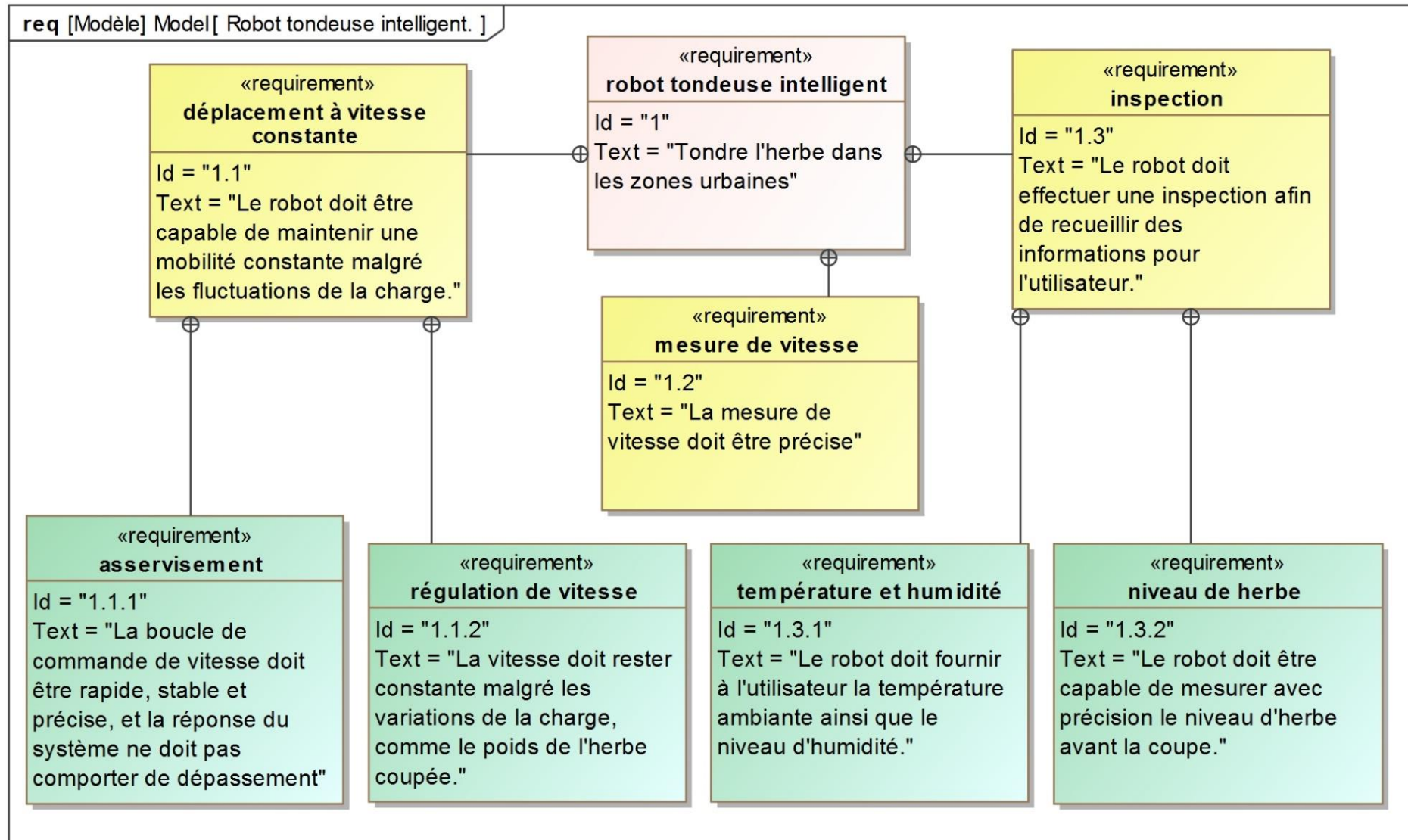
- ❑ *Dimensionnement de la chaîne d'alimentation du robot : chargeur – PV – batterie.*
- ❑ *Dimensionnement de la chaîne de conversion électromécanique du robot.*
- ❑ *Etude de régulation et asservissement de vitesse de déplacement du robot.*
- ❑ *Etude et choix de la chaîne d'acquisition : les capteurs et détecteur.*
- ❑ *Conception d'une application mobile pour la communication avec le robot tondeuse.*



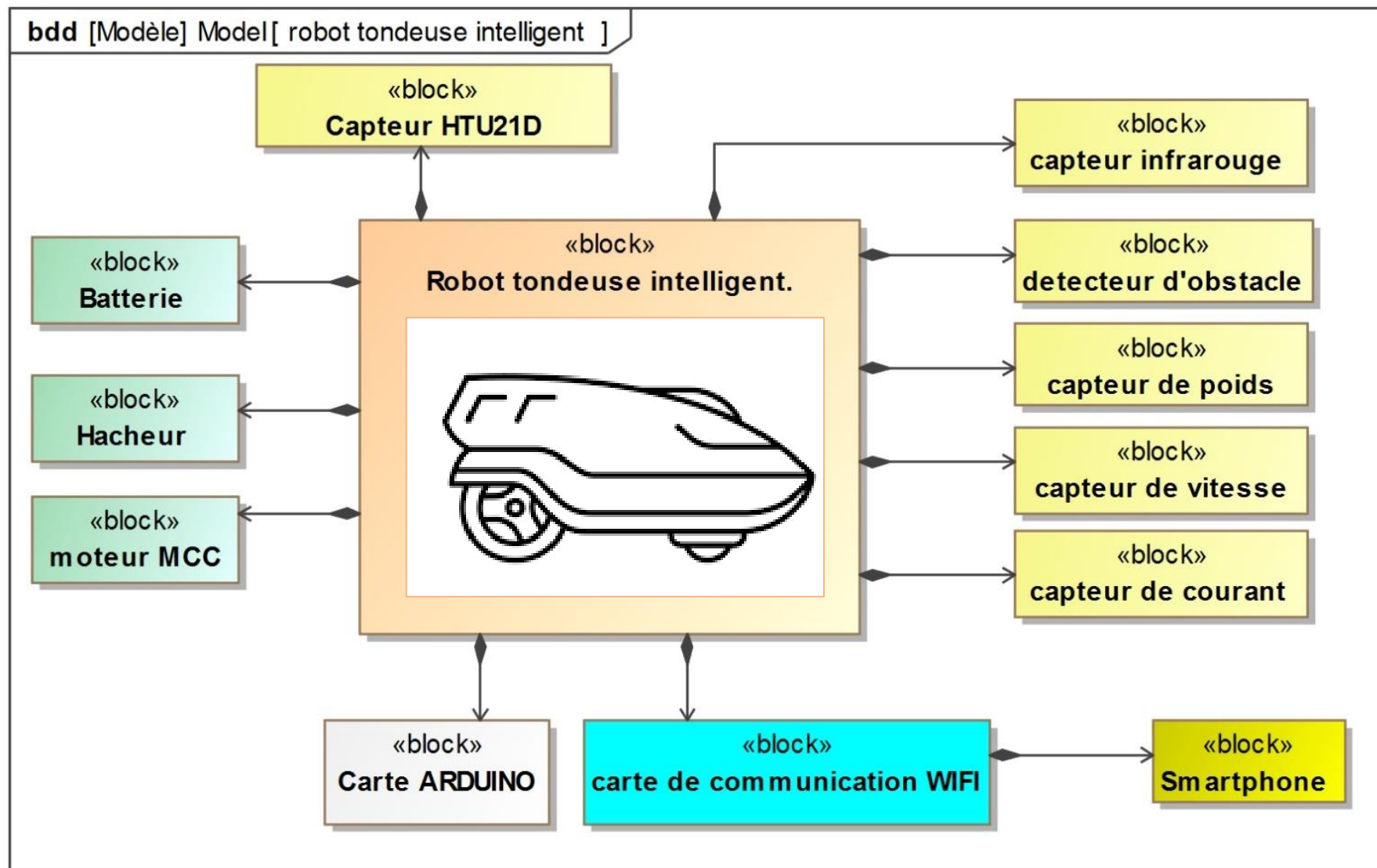
1 Diagramme Sys ML : Cas d'utilisation uc



2 Diagramme Sys ML : exigences Req



3 Diagramme Sys ML : BDD

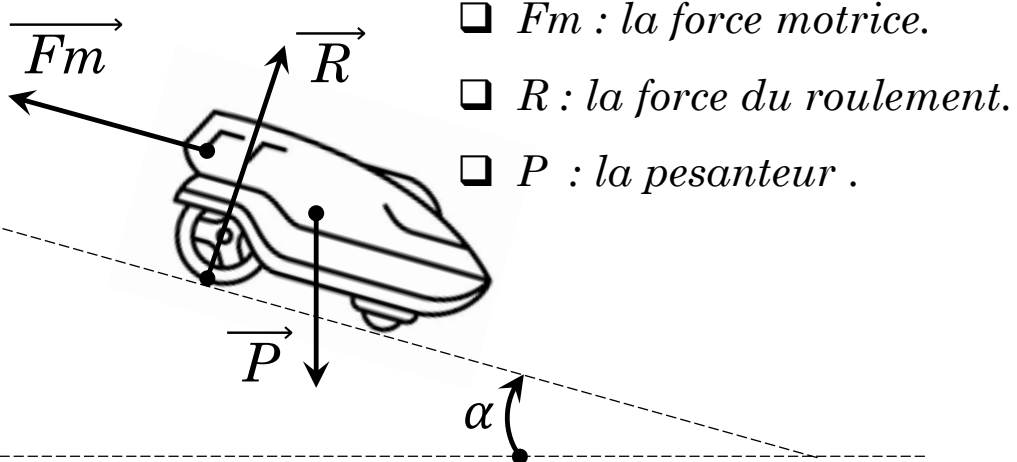


1- Choix des moteur de déplacement

Caractéristiques de robot

Poids totale (Kg)	20 kg
Vitesse (m/s)	9 Km/h
Diamètre de roue du rebot	25 cm
Pente maximale	$\alpha = 10^\circ$

Projection des efforts extérieurs



Bilan de travail des forces

- $W_p = - m. g. \sin(\alpha) . d$
- $W_F = Fm. d$
- $W_R = 0$

Estimation de la force motrice

D'après le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_c = \sum W_{F_{EX}}$$

$$\frac{1}{2} m (v_f^2 - v_o^2) = Fm. d - m. g. \sin(\alpha) . d = 0$$

Donc la force motrice :

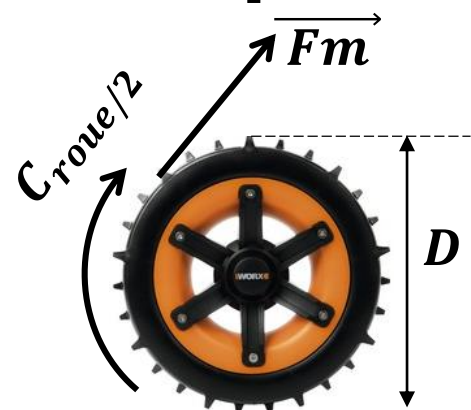
$$Fm = m. g. \sin(\alpha)$$

$$Fm = 34 \text{ N}$$

1- Choix des moteur de déplacement

Estimation du couple moteur

- ❖ Le couple à l'arbre des deux roues



$$C_{roue/2} = \frac{F_m}{2} \cdot \frac{D}{2}$$



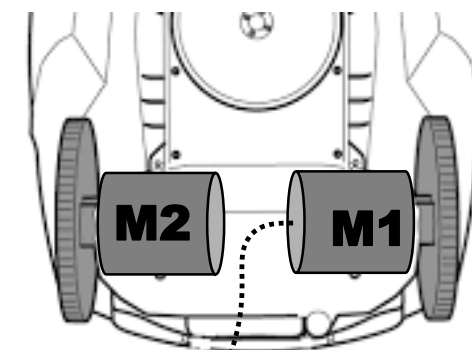
$$C_{roue/2} = 2.13 \text{ Nm}$$

- ❖ Choix de moteur M540 E 24 V

Tension nominal	24 V
Le couple nominal	0.2 Nm
La vitesse de rotation	2500 tr/min
Le courant nominal	0.5 A

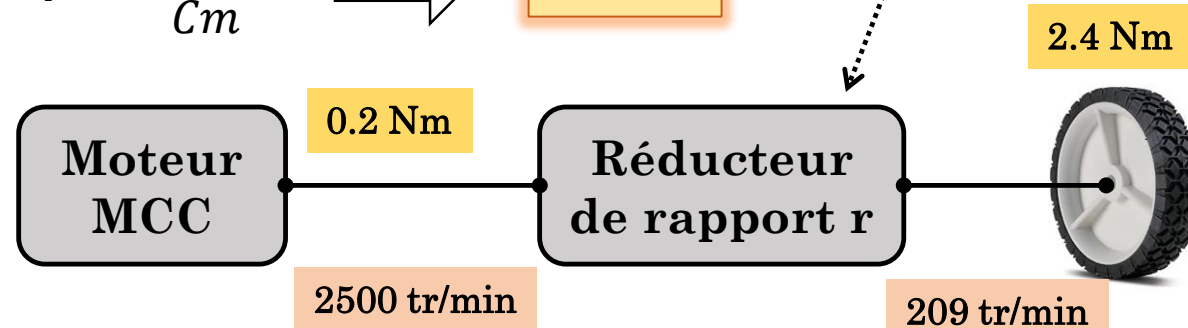
Constante de couple	0.071 Nm/A
La résistance d'induit	1.55 Ω
Inductance d'induit	3.39 mH
Le moment d'inertie	0.27 Kg.cm ²

Il est nécessaire d'avoir deux moteurs à courant continu, chacun entraînant une roue.



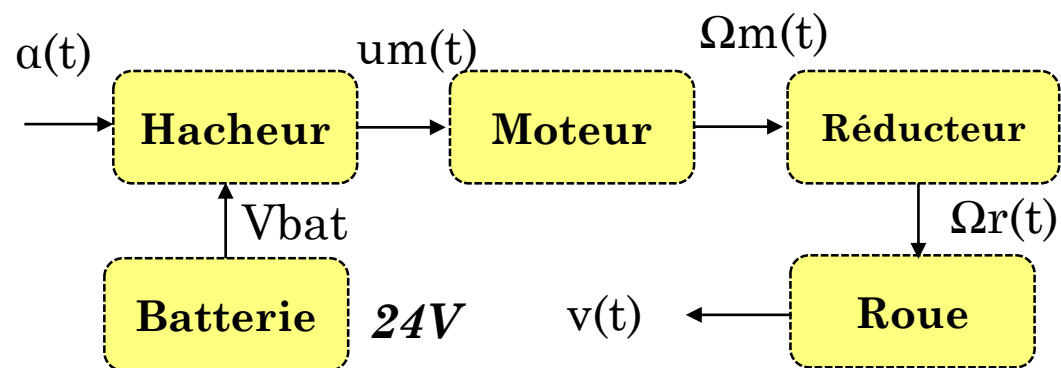
- ❖ Le rapport de réduction

$$r \cong \frac{C_{roue/2}}{C_m} \Rightarrow r \cong 12$$



2- modélisation de la chaîne d'énergie

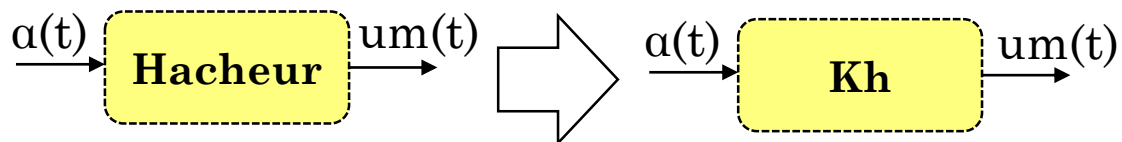
schéma de la chaîne d'énergie



modélisation du hacheur

Le hacheur pilote la machine à courant continu.

Il suffit d'installer un hacheur série (1Q).



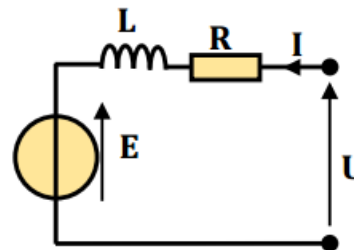
$$U_m = \alpha \cdot V_{bat}$$

$$\alpha=0 \rightarrow U_m=0V$$

$$\alpha=1 \rightarrow U_m=24V$$

$$K_h = 24$$

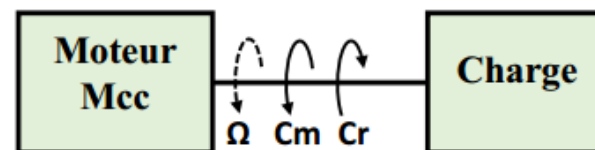
Modélisation de la machine à courant continu



Modèle électrique

$$u(t) = e(t) + R i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$e(t) = K \Omega_m(t)$$

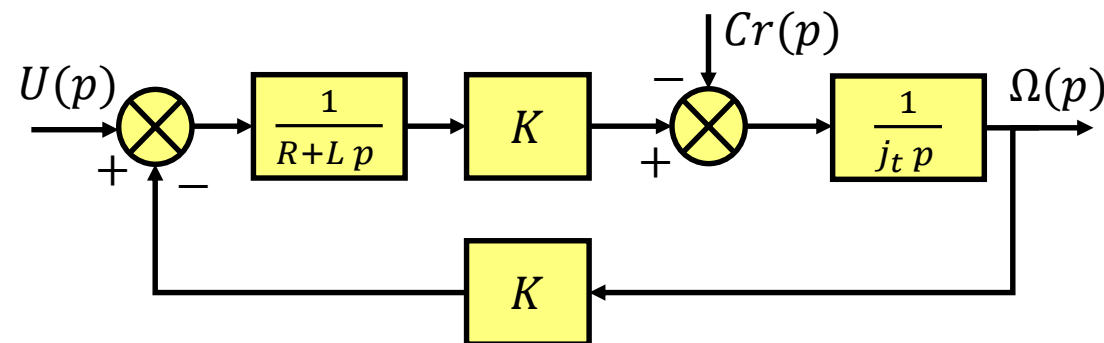


Modèle mécanique

$$j_t \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$$

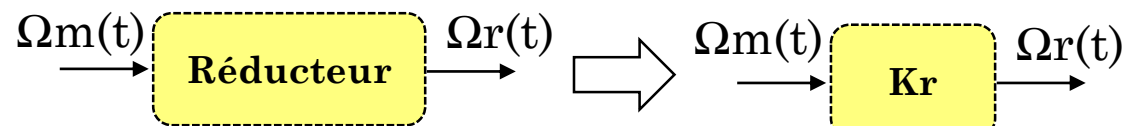
$$C_m(t) = K i(t)$$

Modèle de la machine à courant continu:



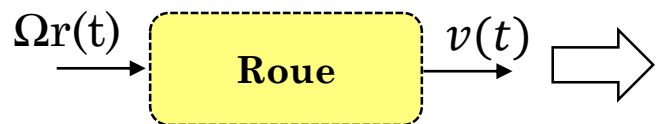
2- modélisation de la chaîne d'énergie

Modélisation du réducteur



On a : $Kr = \frac{\Omega_r}{\Omega_m} \Rightarrow Kr = \frac{1}{r} \Rightarrow \boxed{Kr = 0.084}$

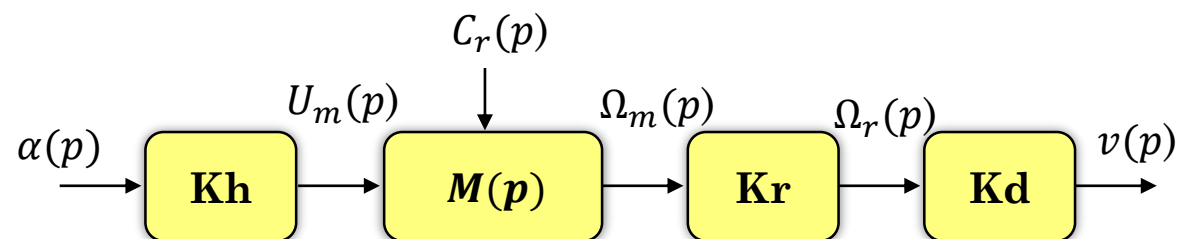
Modélisation du roue



On a : $v(t) = \frac{D}{2} \cdot \Omega(t) \Rightarrow Kd = \frac{D}{2}$

$\Rightarrow \boxed{Kd = 0.125}$

schéma bloc chaîne directe



Moment d'inertie totale ramené à l'arbre moteur

$jt = jm + jr + \frac{jch}{r^2}$ avec $jm = 0.27 \text{ Kgcm}^2$

moment d'inertie des masses en translation :

$jch = \frac{m}{2} \cdot \frac{D^2}{4} \Rightarrow jch = 0.156 \text{ Kg.m}^2$

Alors :

$\boxed{jt = 1.08 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2}$

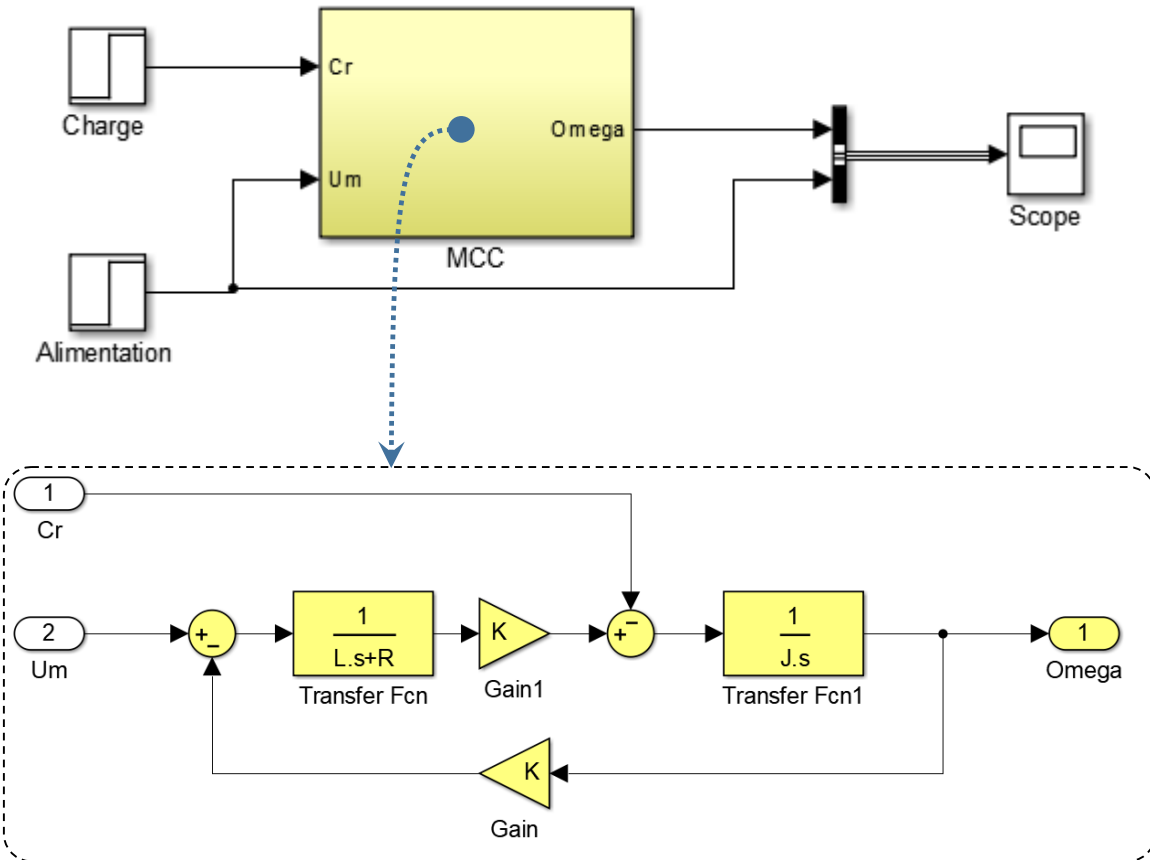
3 – Asservissement et régulation de vitesse

Objectif

- ❑ La réalisation d'une simulation en boucle ouverte pour évaluer les performances de l'asservissement.
- ❑ Effectuer le calcul des paramètres du correcteur pour asservir et ajuster la vitesse du robot.
- ❑ Simulation de la boucle fermée.

simplification de modèle de la MCC

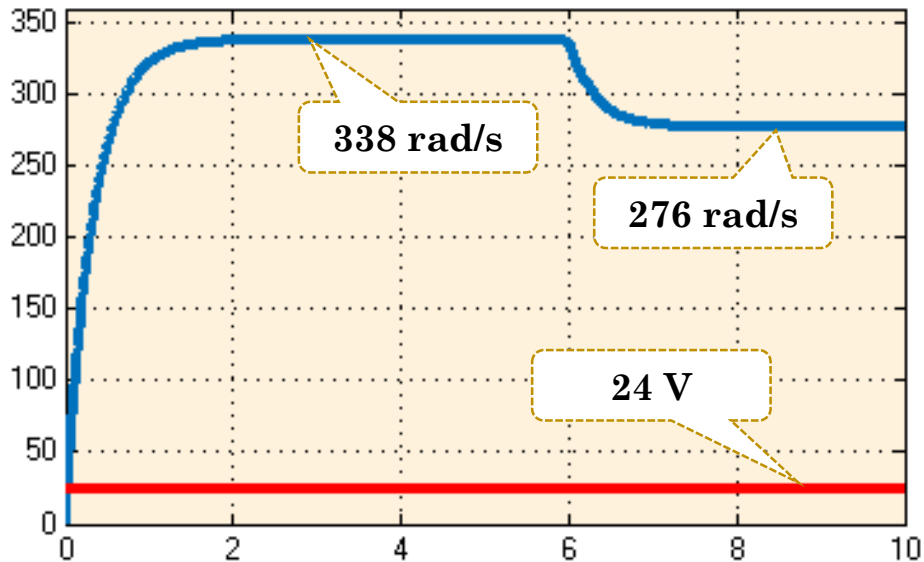
❖ Schéma de simulation



3 – Asservissement et régulation de vitesse

simplification de modèle de la MCC

❖ Simulation de la MCC



Le temps de réponse à 5%	0.98 s
Comportement	Stable
La vitesse à vide	3227 tr/min
La vitesse à plein charge	2635 tr/min

❖ Modèle simplifier

Dans le but de faciliter l'analyse, le comportement de la machine simulée à une comportement d'un système 1^{er} ordre, pouvant ainsi être représenté par le modèle suivant :

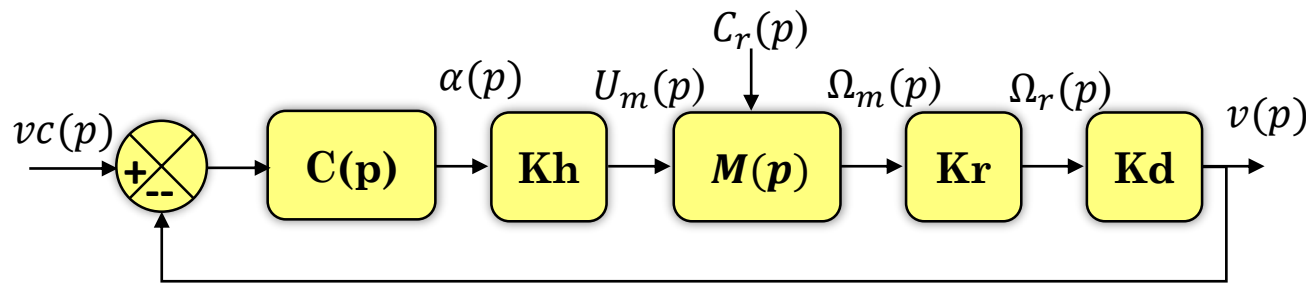
$$M(p) = \frac{K_m}{1 + T_m p}$$

Gain statique	$K_m = 14.083$
Constante de temps	$T_m = 0.33 \text{ s}$

3 – Asservissement et régulation de vitesse

Calcul les paramètre de correcteur

❖ Schéma d'asservissement de vitesse de robot



❖ Exigence d'asservissement et choix de correcteur

Stabilité	Le système doit être stable
Rapidité	Système doit être rapide que en B.O
Précision	L'erreur statique doit être nulle
dépassement	Le dépassement doit être nulle

Il est possible de satisfaire la plupart des exigences mentionnées en utilisant un correcteur de type PI.

❖ Méthode et calcul du correcteur PI

❑ *Fonction de transfert de correcteur :*

$$C(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right)$$

❑ *Fonction de transfert en B.O:*

Compensation de pôles : on choisi T_i égal à la constante de temps de la boucle ouvertes :

$$FTBO(p) = K_p \frac{1+T_i p}{T_i p} \frac{K_o}{1+T_m p}$$

$$FTBO(p) = K_p \frac{K_o}{T_m p}$$

$$K_o = K_h \cdot K_m \cdot K_r \cdot K_d$$

❑ *Fonction de transfert en B.F:*

$$\triangleright FTBF(p) = \frac{FTBO}{1+FTBO}$$

$$FTBF(p) = \frac{1}{1+T_{bf} p}$$

$$\text{Avec } T_{bf} = \frac{T_m}{K_o K_p}$$

3 – Asservissement et régulation de vitesse

❖ Méthode et calcul du correcteur PI

Ensuite, nous pouvons calculer la valeur de K_p de manière à ce que le système soit cinq fois plus rapide que la boucle ouverte :

$$t_{bf5\%} = \frac{t_{b05\%}}{5} \rightarrow 3 \cdot \frac{T_m}{K_o K_p} = 3 \frac{T_m}{5}$$

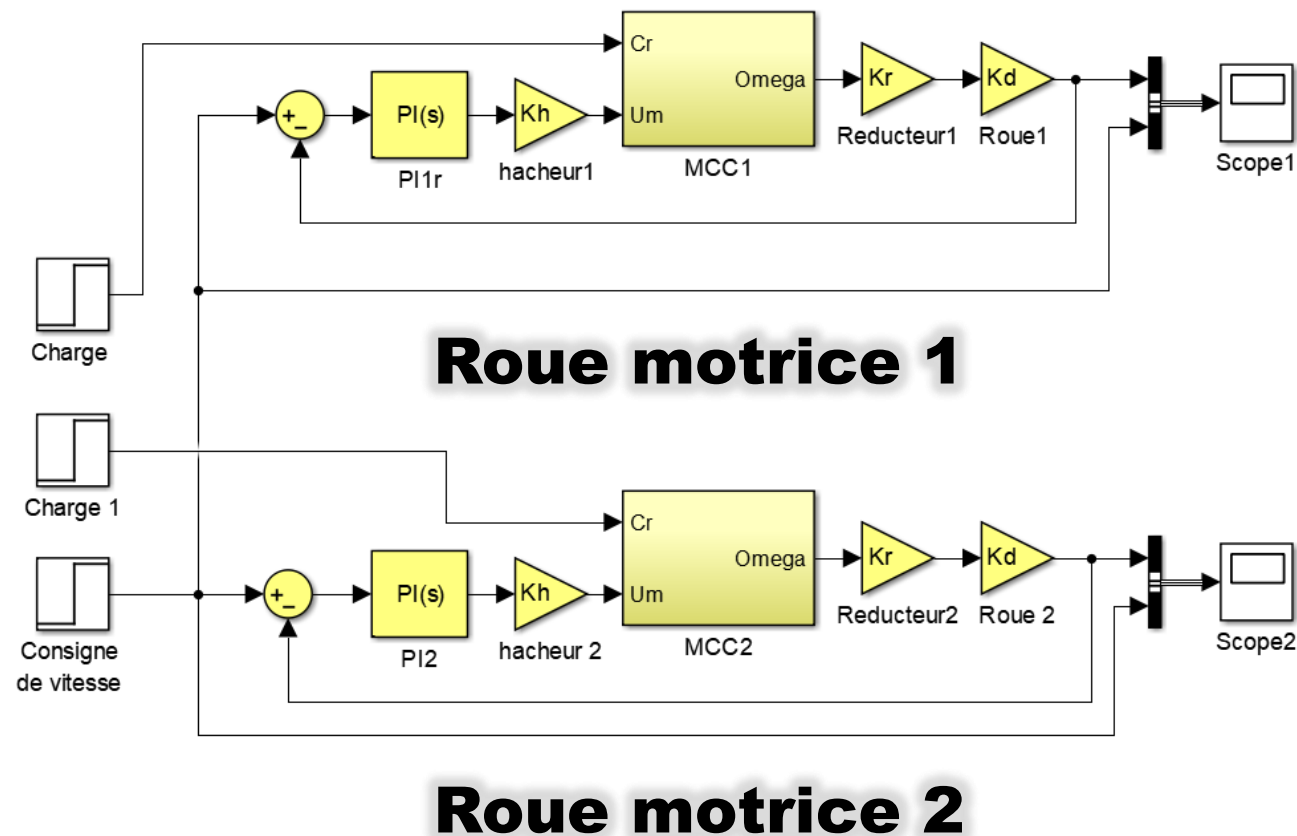
$$K_p = \frac{5}{K_o}$$

$$K_p = 1.41$$

$$T_i = 0.33 \text{ s}$$

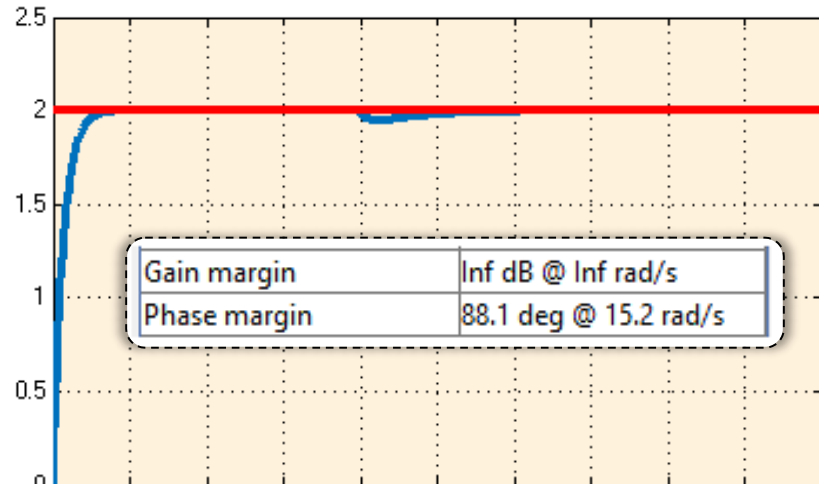
$$C(p) = 1.41 \left(1 + 3.03 \frac{1}{p} \right)$$

Simulation de schéma d'asservissement



3 – Asservissement et régulation de vitesse

Résultats de simulation



❑ Roue motrice RM1

- $v_c = 2\text{m/s}$ à $t = 0$
- $Cr = 0.12\text{ Nm}$ à $t = 2\text{ s}$

Le temps de réponse à 5%	0.19 s
Comportement	Stable
Dépassement	0
Erreur statique	0

❑ Roue motrice RM2

- $v_c = 2\text{m/s}$ à $t = 0$
- $Cr = 0.2\text{ Nm}$ à $t = 3\text{ s}$

Le temps de réponse à 5%	0.19 s
Comportement	Stable
Dépassement	0
Erreur statique	0

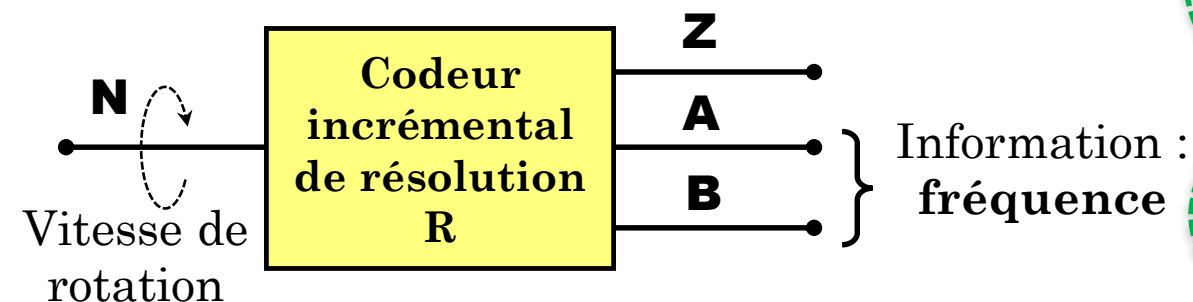
Conclusion :

- *Le cahier des charges a été validé.*
- *Sur le plan technique, le robot tondeuse se déplace à une vitesse constante, même avec les variations de charge qu'il supporte.*
- *La direction est contrôlée en utilisant des changements de vitesse des roues RM1 et RM2.*

4- Mesure de la vitesse de déplacement

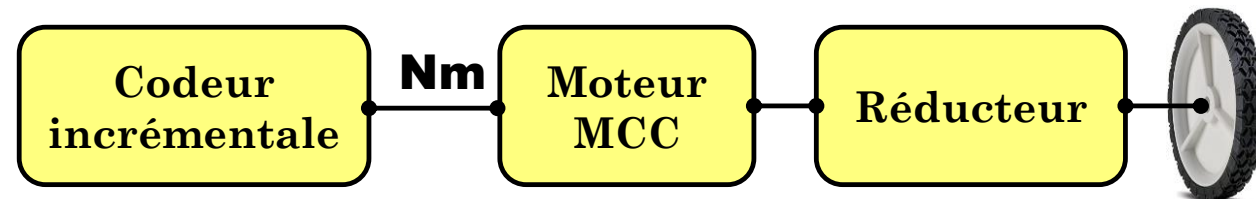
Capteur utilisé : codeur incrémental

Le codeur incrémental se spécialise dans des applications qui nécessitent l'utilisation de données de position pour mesurer avec précision l'angle, le déplacement ou la vitesse de rotation d'un objet.



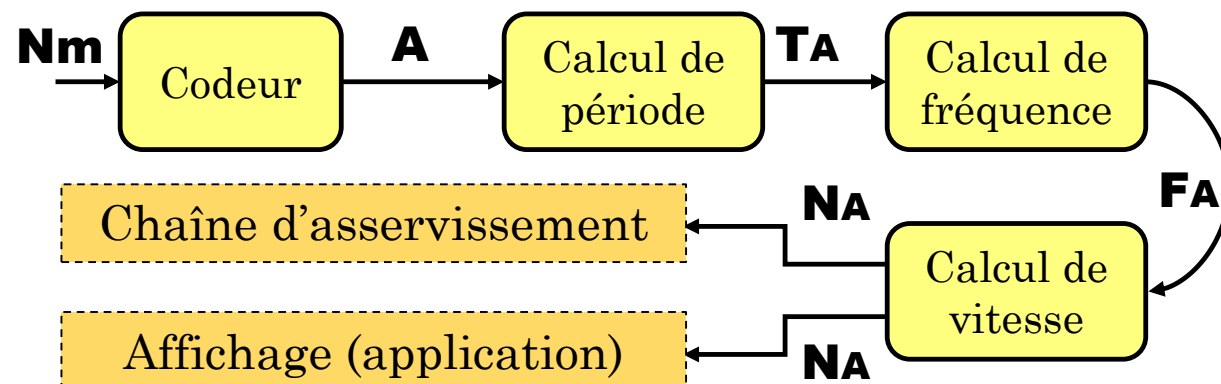
$$F_A(\text{hz}) = F_B(\text{hz}) = R \cdot \frac{N(\text{tr/min})}{60}$$

Choix : XCC1406PR01R



Alimentation	5 V
Diamètre	40 mm
Résolution	100 pt/tour

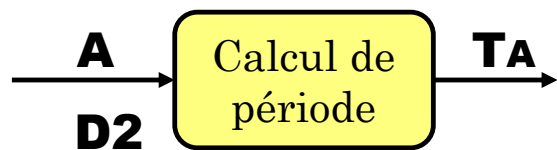
Schéma bloc de mesure



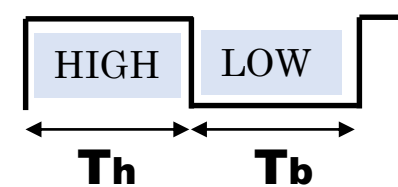
4- Mesure de la vitesse de déplacement

Explication de bloc « calcul de période »

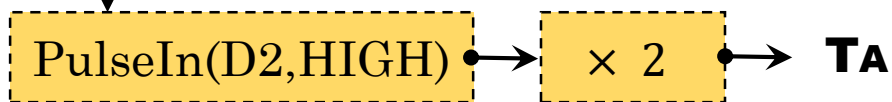
Les calculs sont faite avec la carte ARDUINO.
La broche A du codeur connectée à D2.



❖ Le signal d'entrée (A) fournit par le codeur

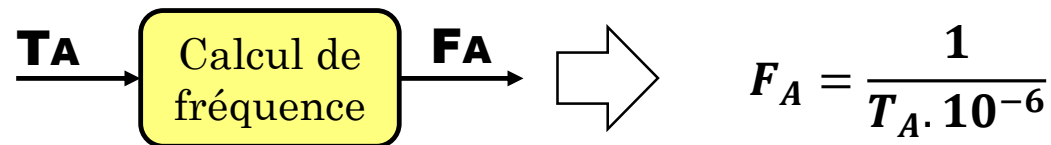


Une fonction est utilisée pour évaluer la durée d'un état d'un signal: `PulseIn()`

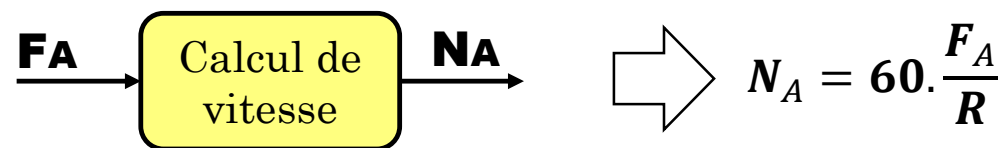


TA: La durée mesurée est exprimée en us.

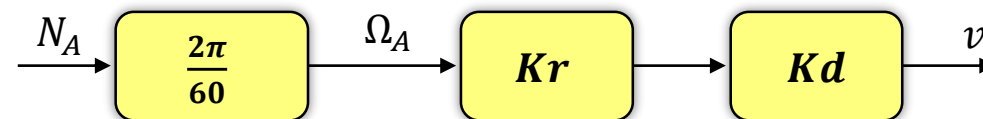
Explication de bloc « calcul de fréquence »



Explication de bloc « calcul de vitesse »



Explication de bloc « calcul de vitesse linéaire »



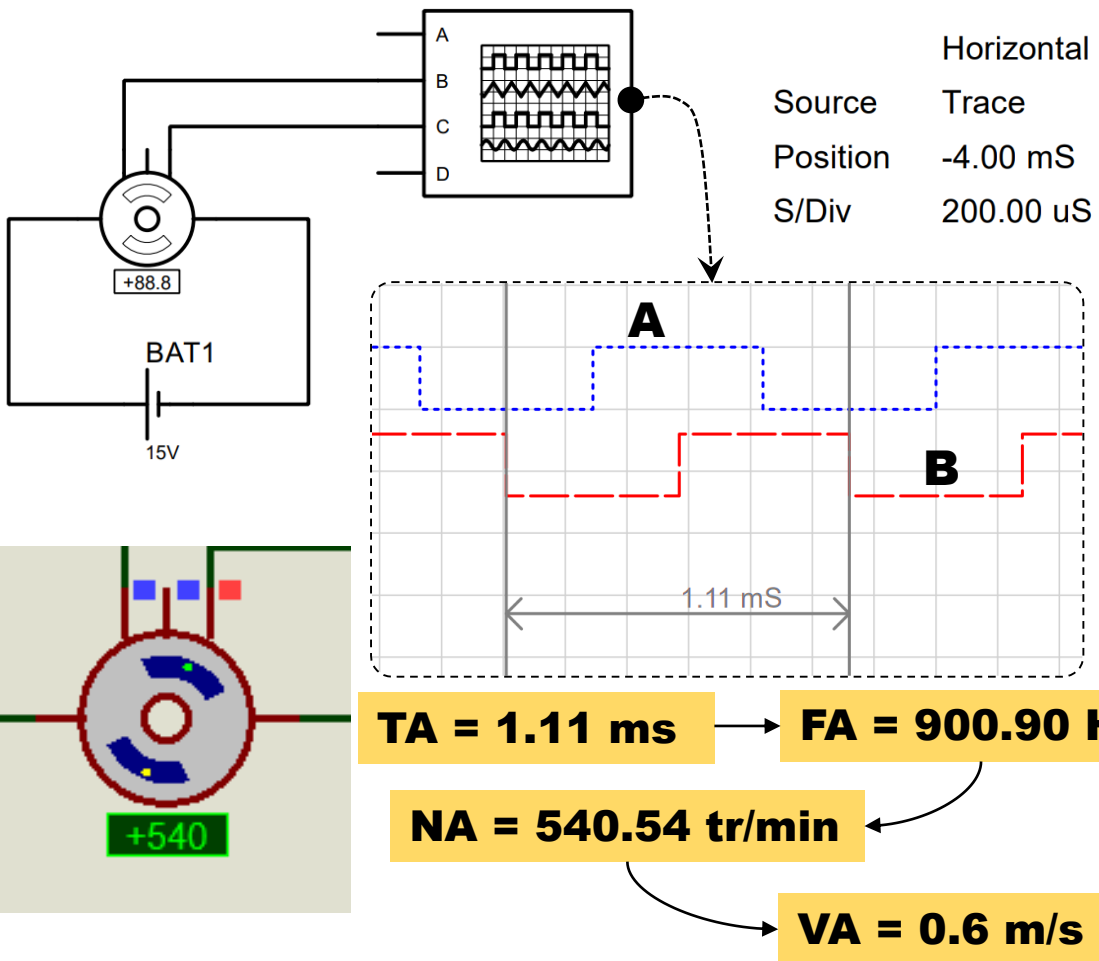
D'où :

$$v = \frac{2\pi \cdot Kr \cdot Kd}{R} \cdot F_A$$

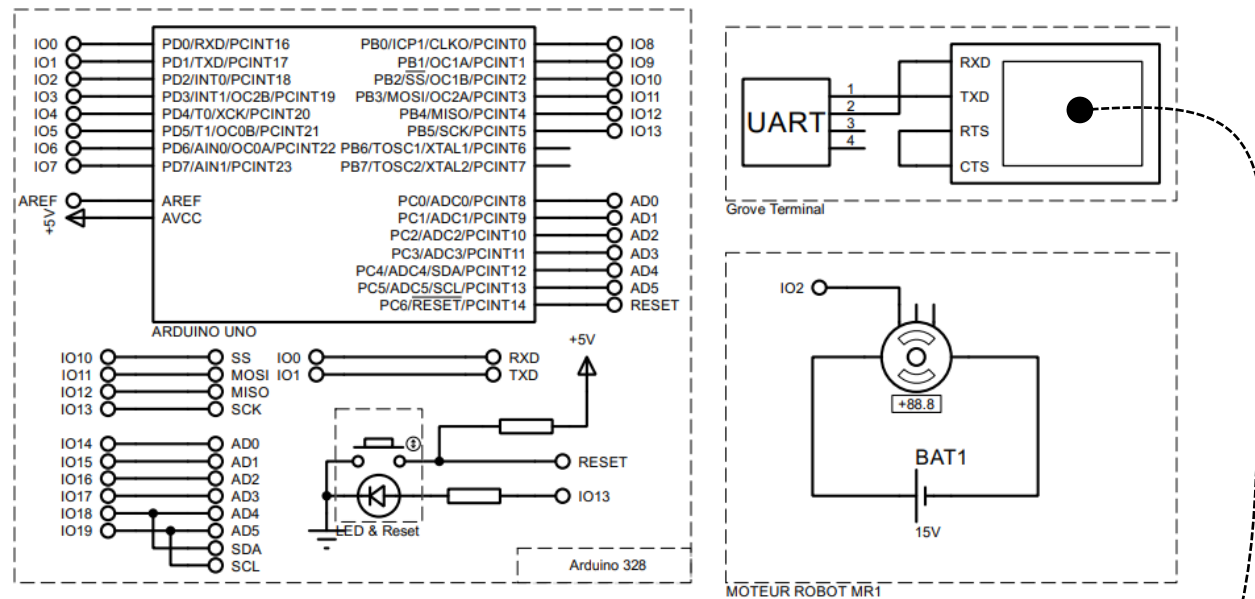
4- Mesure de la vitesse de déplacement

Simulation et résultats

❖ Codeur incrémentale



❖ Algorithme dans une carte Arduino



```
Virtual Terminal - VT1
- la periode TA : 1111 us
- la frequence FA : 900.09 Hz
- la vitesse NA : 540.05 tr/min
- la vitesse lineaire NA : 0.59 m/s
```

4- Mesure de la vitesse de déplacement

Simulation et résultats

❖ Programme C Arduino

❑ Configuration

```
*main.ino x
1
2 #define codeur 2
3
4 int Th,Tb;
5 float R=100;
6 float Ks;
7
8
9 void setup() {
10
11   Serial.begin(9600);
12   pinMode(codeur,INPUT);
13
14   Ks = 0.000659734;
15
16 }
17
```

- Le codeur connecté à la broche D2.
- La vitesse de communication : 9600 b/s.
- La broche 2 en entrée.

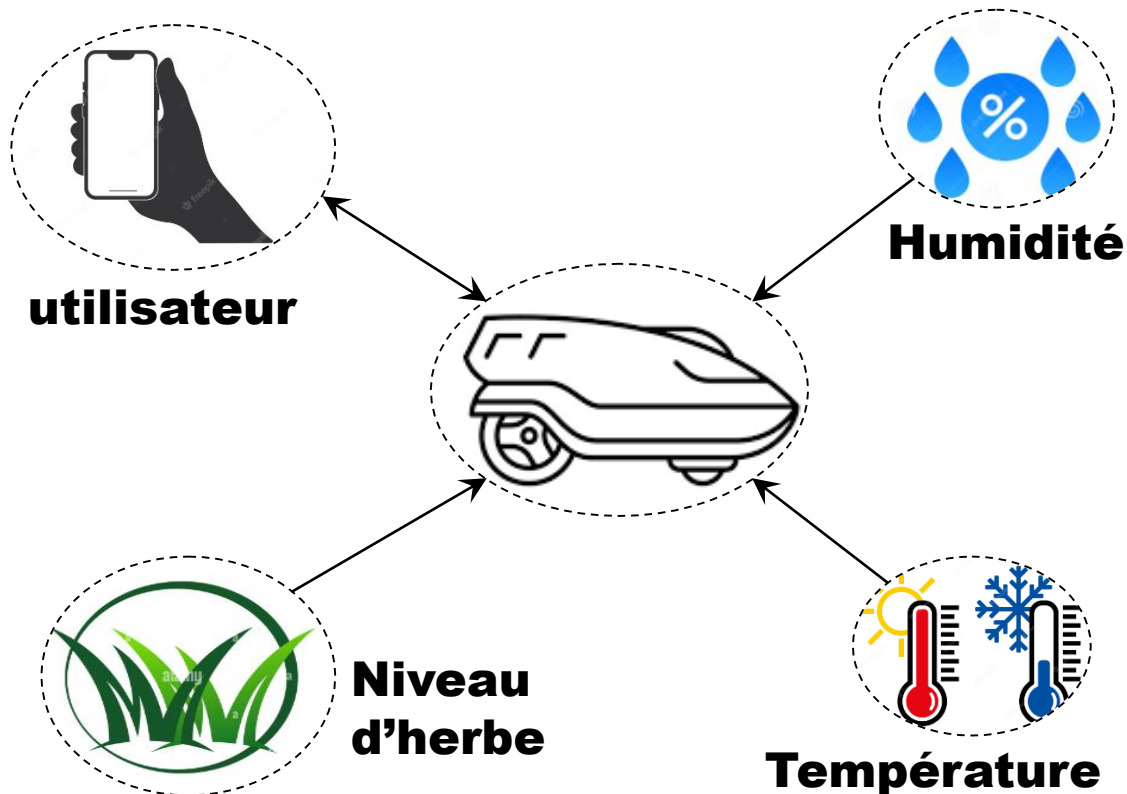
❑ programme

```
*main.ino x
18 void loop() {
19   Th=pulseIn(codeur,HIGH);
20   Tb=pulseIn(codeur,LOW);
21
22   int TA=Th + Tb ;
23   float FA=1/(TA*0.000001);
24   float NA=(60*FA)/R;
25   float VA=Ks*FA;
26
27   Serial.print(" - la periode TA : ");Serial.print(TA);Serial.println(" us");
28   Serial.print(" - la frequence FA : ");Serial.print(FA);Serial.println(" Hz");
29   Serial.print(" - la vitesse NA : ");Serial.print(NA);Serial.println(" tr/min");
30   Serial.print(" - la vitesse lineaire NA : ");Serial.print(VA);Serial.println(" m/s");
31
32   delay(200);
33   Serial.println();
34 }
35
```

- Calcul la durée de l'état haut T_h et de l'état bas T_b .
- Calcul la fréquence F_a , la fréquence de rotation et la vitesse linéaire.
- Affichage des mesures à chaque 200 ms.

5- Inspection du robot

Le robot tondeuse offre à l'utilisateur la possibilité de sélectionner une inspection pour mesurer la température, l'humidité et le niveau d'herbe.



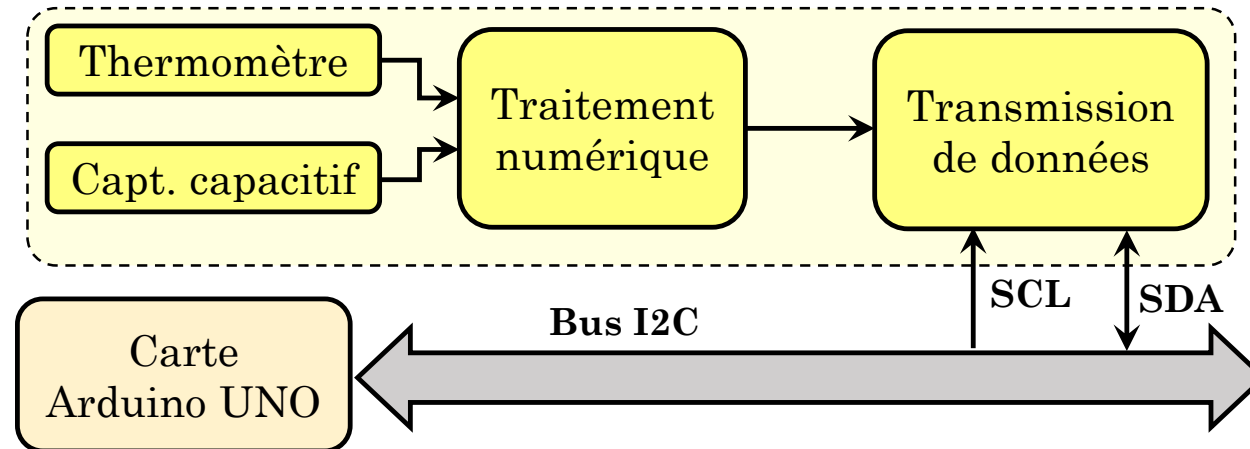
A- mesure de la température et de l'humidité

Le capteur utilisé est HTU21B qui permet de mesurer la température et l'humidité à la fois.



HTU21 D	Vcc	Alimentation	5 V
	GND	E.M Humidité	0-100% RH
	SDA	E.M température	- 40°C à 105°C
	SCL		

❖ Constitutions du capteur HTU21D



5- Inspection du robot

A- mesure de la température et de l'humidité

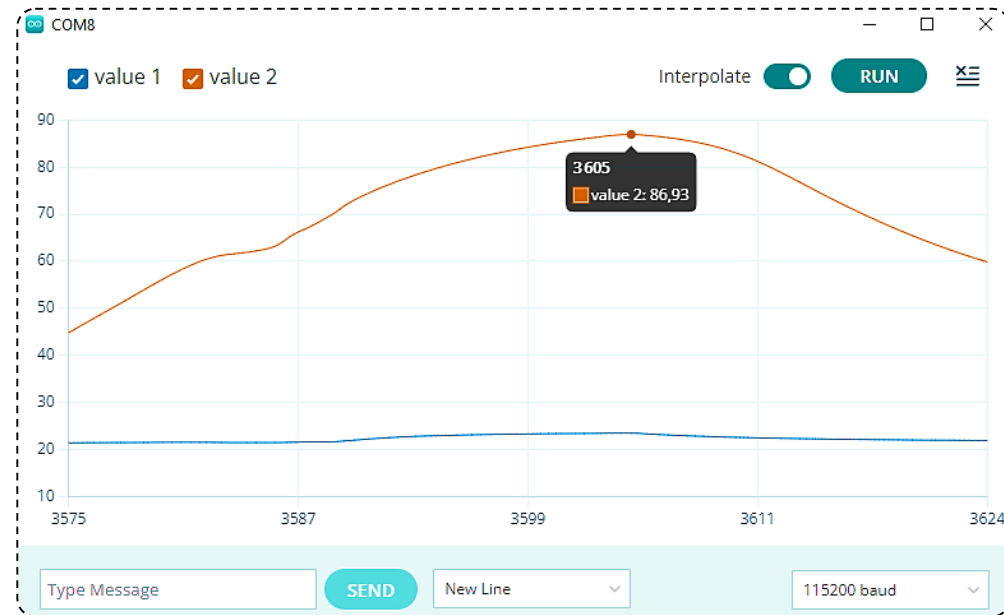
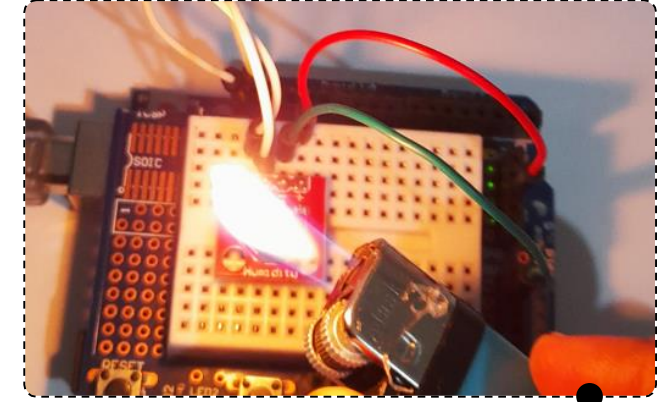
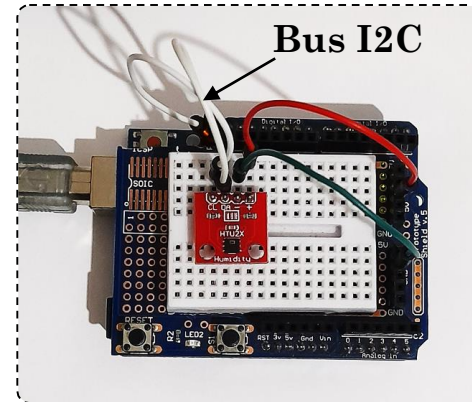
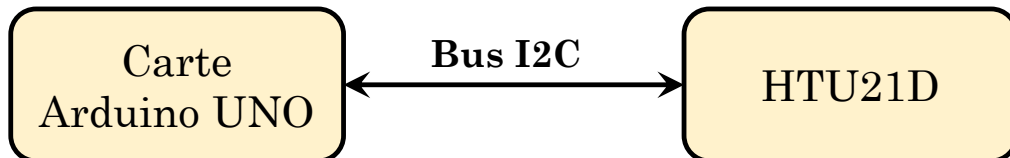
❖ Gestion de capteur HTU21D

Pour fonctionner le capteur, il faut télécharger bibliothèque : `#include (HTU21D.h)`

❑ Configuration

<code>sensor.begin()</code>	Initialisation
<code>sensor.getTemperature()</code>	Lire la température
<code>sensor.getHumidity()</code>	Lire l'humidité

❖ Expérience N°1:



5- Inspection du robot

A- mesure de la température et de l'humidité

❖ Programme C Arduino

❑ Configuration

```
*main.ino x
1
2 #include <HTU21D.h>
3
4 HTU21D sensor;
5
6 void setup() {
7     Serial.begin(9600);
8     sensor.begin();
9 }
```

- Appel la bibliothèque de gestion de capteur
- Déclaration des variables
- Initialisation de capteur
- Définir la vitesse de communication.

❑ programme

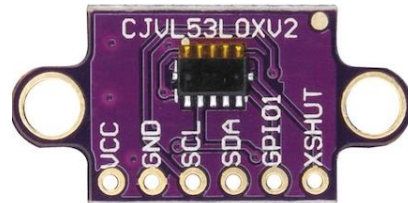
```
*main.ino x
10
11 void loop() {
12     if(sensor.measure()) {
13         float temperature = sensor.getTemperature();
14         float humidite = sensor.getHumidity();
15
16         Serial.print("Temperature (°C): ");
17         Serial.println(temperature);
18
19         Serial.print("Humidity (%RH): ");
20         Serial.println(humidite);
21     }
22
23     delay(5000);
24 }
25
```

- mesure de la température
- mesure de l'humidité
- Affichage des mesures

5- Inspection du robot

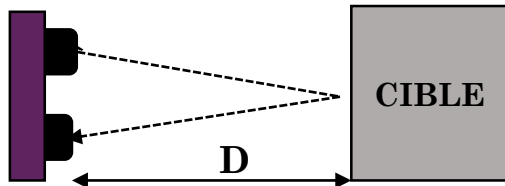
B- mesure le niveau d'herbe

Le robot permet de mesurer le niveau d'herbe en utilisant le capteur VL53L0X.



Le capteur VL53L0X est un dispositif infrarouge de mesure de distance à temps de vol (Δt) (TOF).

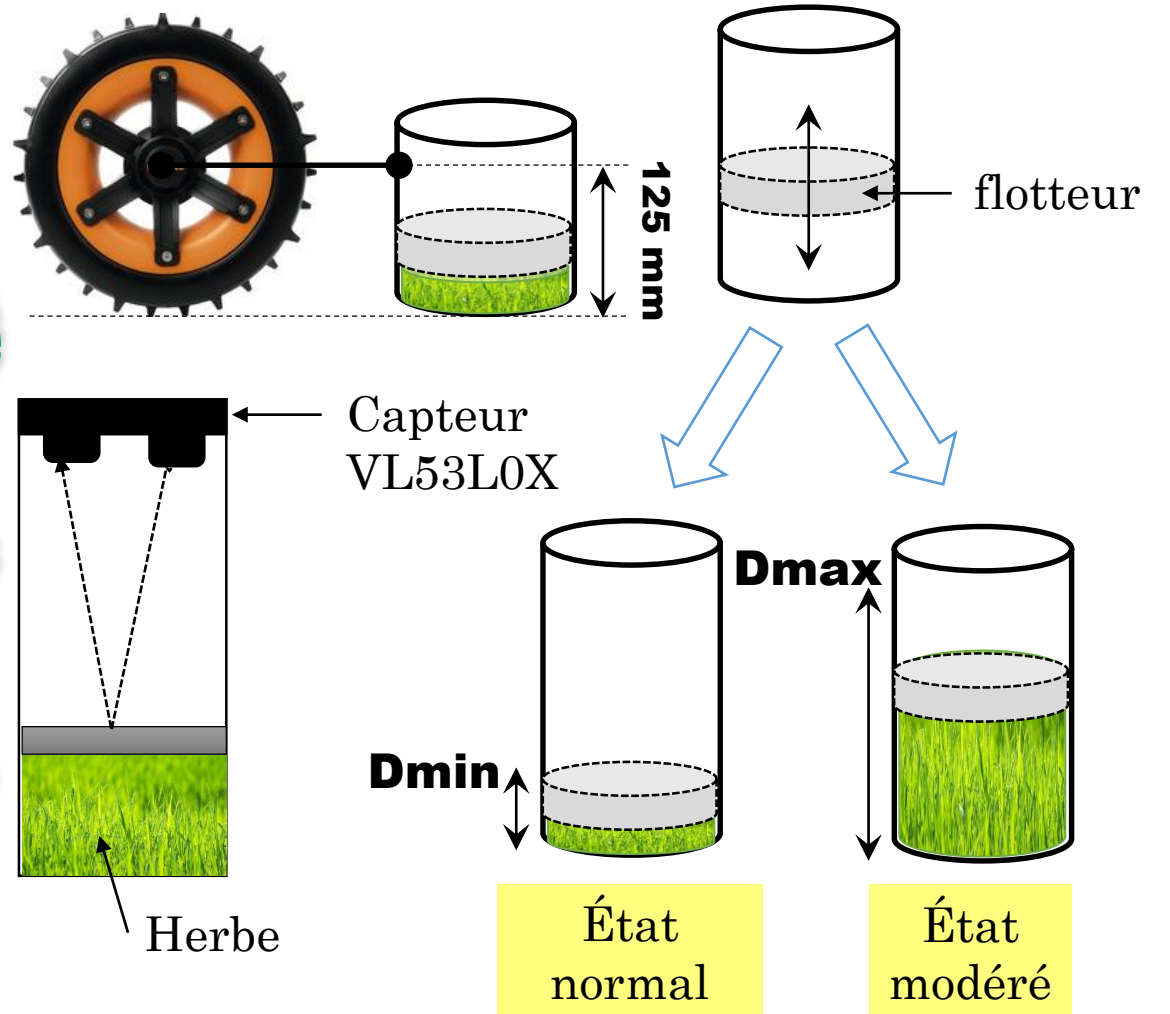
Plage de mesure	max 2m
Précision	$\pm 3\%$ à $\pm 5\%$
Résolution :	1 mm
Interface de communication	I2C
Tension d'alimentation	2,6 V à 5 V



$$D = \Delta t \cdot \frac{C}{2}$$

$$C = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

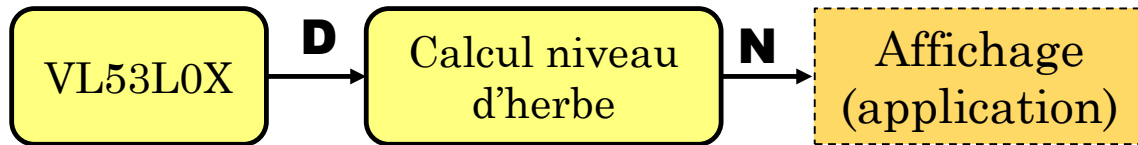
❖ Technique proposé pour mesurer l'herbe



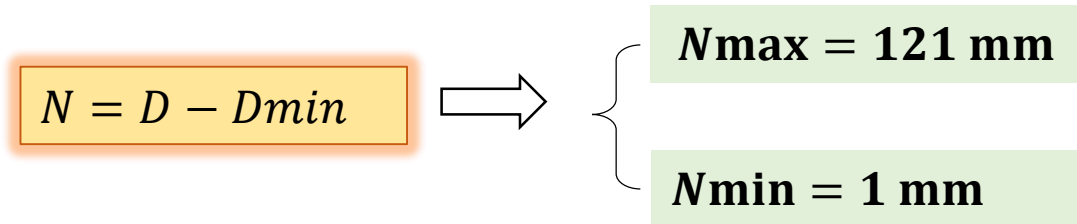
5- Inspection du robot

B- mesure le niveau d'herbe

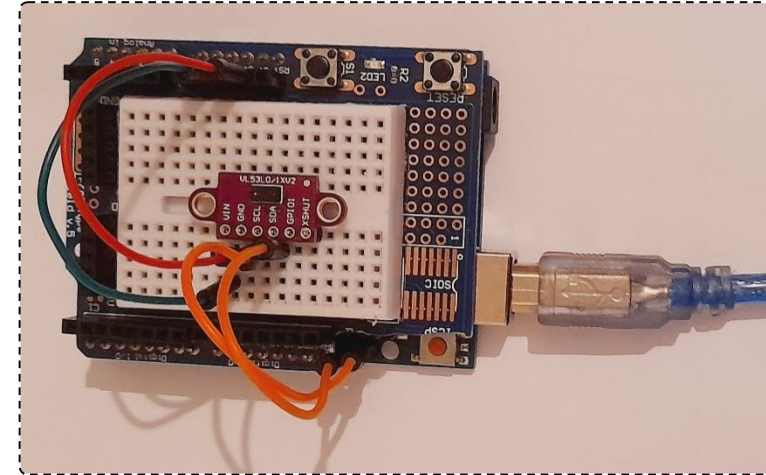
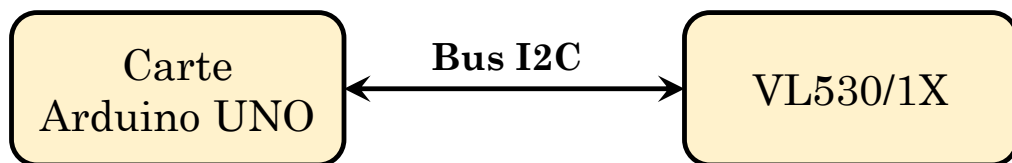
❖ mesurer le niveau d'herbe



- Si on suppose que $D_{min} = 4 \text{ mm}$.



❖ Expérience N°2



```

COM9
le niveau d'herbe : 50 mm
le niveau d'herbe : 50 mm
le niveau d'herbe : 51 mm
le niveau d'herbe : 50 mm
le niveau d'herbe : 50 mm
le niveau d'herbe : 51 mm
le niveau d'herbe : 50 mm
  
```

5- Inspection du robot

A- mesure de la température et de l'humidité

❖ Programme C Arduino

□ Configuration

```
*main.ino x
1  #include <Wire.h>
2  #include <VL53L0X.h>
3
4  VL53L0X sensor1;
5  int Dmin=4;
6
7  void setup()
8  {
9    Serial.begin(9600);
10   Wire.begin();
11
12   sensor1.setTimeout(500);
13   sensor1.init();
14   sensor1.startContinuous();
15 }
16
```

- Appel la bibliothèque de gestion de capteur
- Déclaration des variables
- Initialisation de capteur
- Définir la vitesse de communication.

□ programme

```
*main.ino x
16
17 void loop()
18 {
19   float D= sensor1.readRangeContinuousMillimeters();
20   float N=D-Dmin;
21
22   Serial.print(N);
23
24   Serial.println();
25 }
26
```

- mesure de la distance D
- Calcul de niveau d'herbe
- Affichage des mesures

Conclusion

Au cours de notre travail sur le TIPE "Robot tondeuse intelligent", nous avons fait preuve d'une grande ambition et d'un esprit d'équipe solide avec mon binôme. J'ai réalisé de ma part plusieurs points importants, tels que le choix de moteur de déplacement, asservissement de vitesse et l'étude des capteurs (température , humidité et mesure le niveau de l'herbe). Notre collaboration nous a permis d'atteindre ces objectifs de manière efficace et satisfaisante.



**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**

- https://www.bosch-diy.com/fr/fr/all-about-diy/tondeuses-robots_avantages-inconv%C3%A9nients-co%C3%BBts
- <https://www.monenergie.be/blog/combien-denergie-une-tondeuse-a-gazon-robotisee-consomme-t-elle/>
- <https://www.bestofrobots.fr/blog/robot-tondeuse/>
- <https://www.lesechos.fr/pme-regions/actualite-des-marches-publics/les-nouvelles-technologies-investissent-les-espaces-verts-149159>
- <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>
- <https://github.com/pololu/vl53l0x-arduino>
- <https://lastminuteengineers.com/electronics/arduino-projects/>
- <https://remotexy.com/en/help/indications/text/>
- <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0004.html>