



Royaume du Maroc
Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la
Recherche Scientifique et de l'Innovation

Lanceur de ballon de football intelligent

Épreuve de TIPE

Session 2024

Préparé par : **EL FAZZIKI Achraf**

Numéro d'inscription au CNC : **OJ082T**

Encadrée par : **A. OUAANABI** et **Y.RAHOU**

Plan de la présentation :

- ▶ **Introduction**
- ▶ **Problématique**
- ▶ **La mise en œuvre du cahier des charges**
- ▶ **Objectifs :**
 - ▷ **Objectif 1 : Dimensionnement et choix de moteur de déplacement**
 - ▷ **Objectif 2 : Asservissement de la vitesse de déplacement du robot**
 - ▷ **Objectif 3 : Détection des obstacles**
- ▶ **Conclusion**

Introduction au système :

Expression de besoin



Figure 1 : Un système de lancement de ballon qui nécessite une action manuelle.



Figure 2 : les joueurs ne sont pas sécurisés contre les ballons aléatoires.

Introduction au système :

Solution

- La solution est approuvée évidente , simple et sécurisée : un lanceur de ballon de football intelligent !



Figure 3 : Exemple d'un lanceur de ballon de football intelligent *up-trainer*

Introduction au système :

Problématique retenue



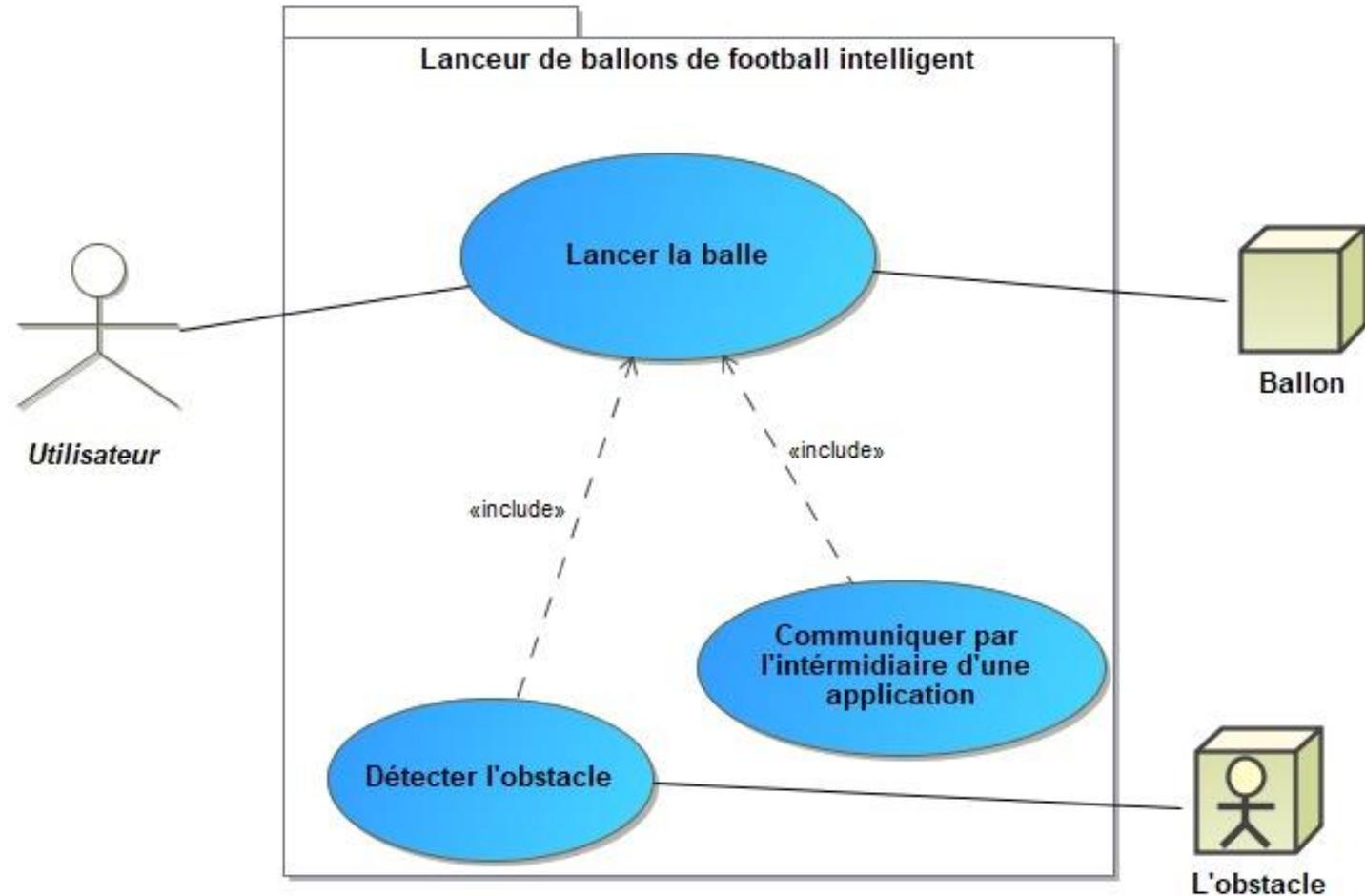
Comment concevoir un système de lancement de balles qui garantit la **stabilité** du robot, l'**orientation précise** des balles, tout en assurant la **sécurité** des personnes ?

Introduction au système :

Analyse fonctionnelle



Diagramme de cas d'utilisation :

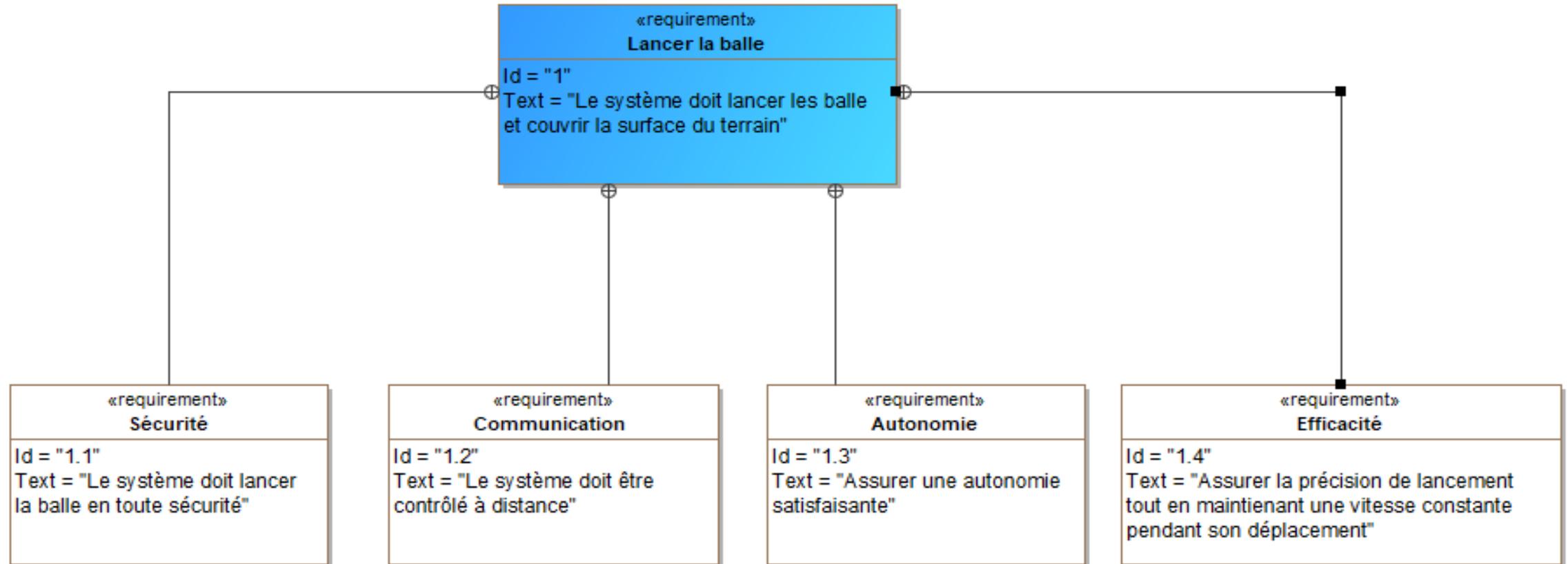


Introduction au système :

Analyse fonctionnelle



Diagramme des exigences :

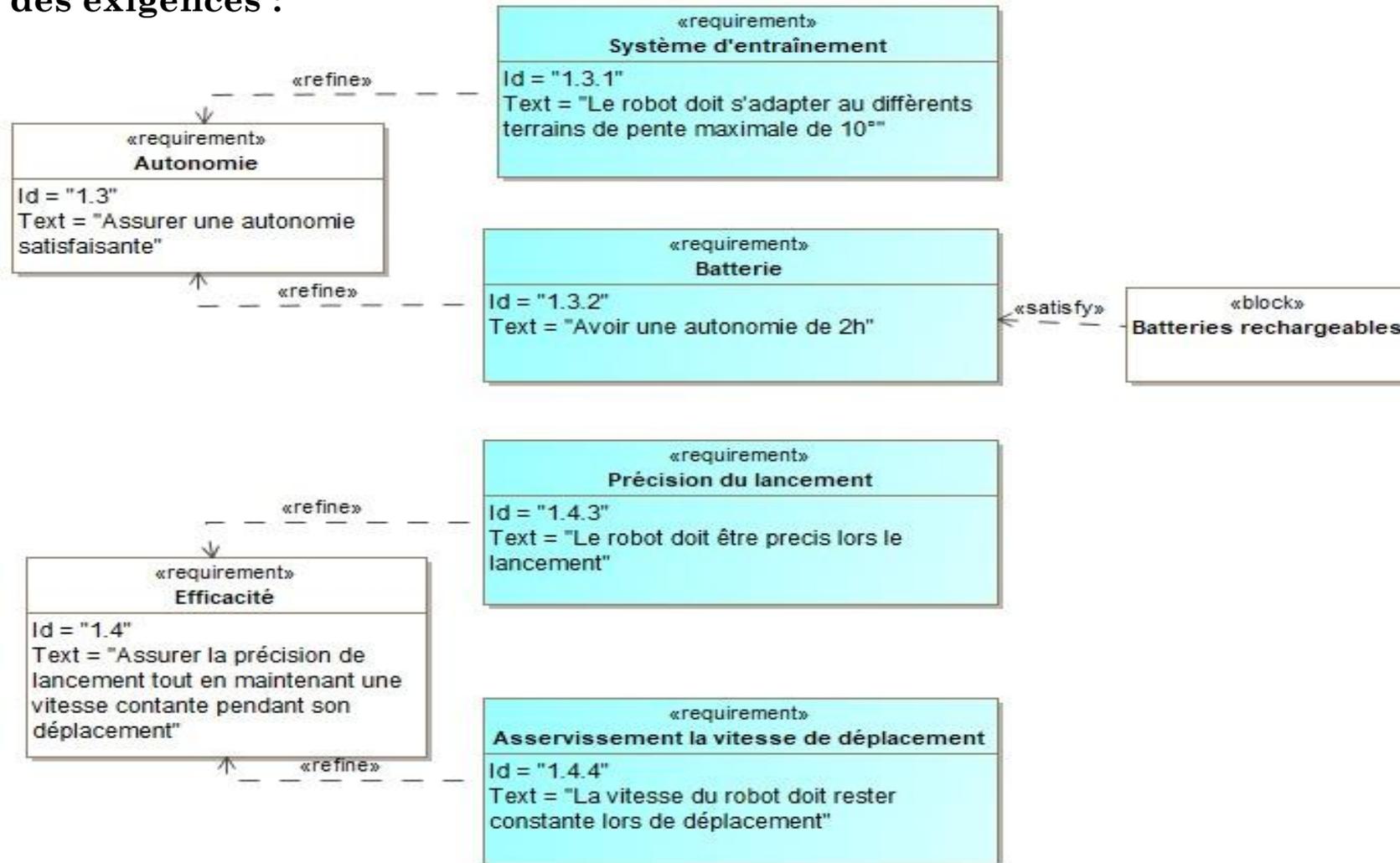


Introduction au système :

Analyse fonctionnelle



Diagramme des exigences :

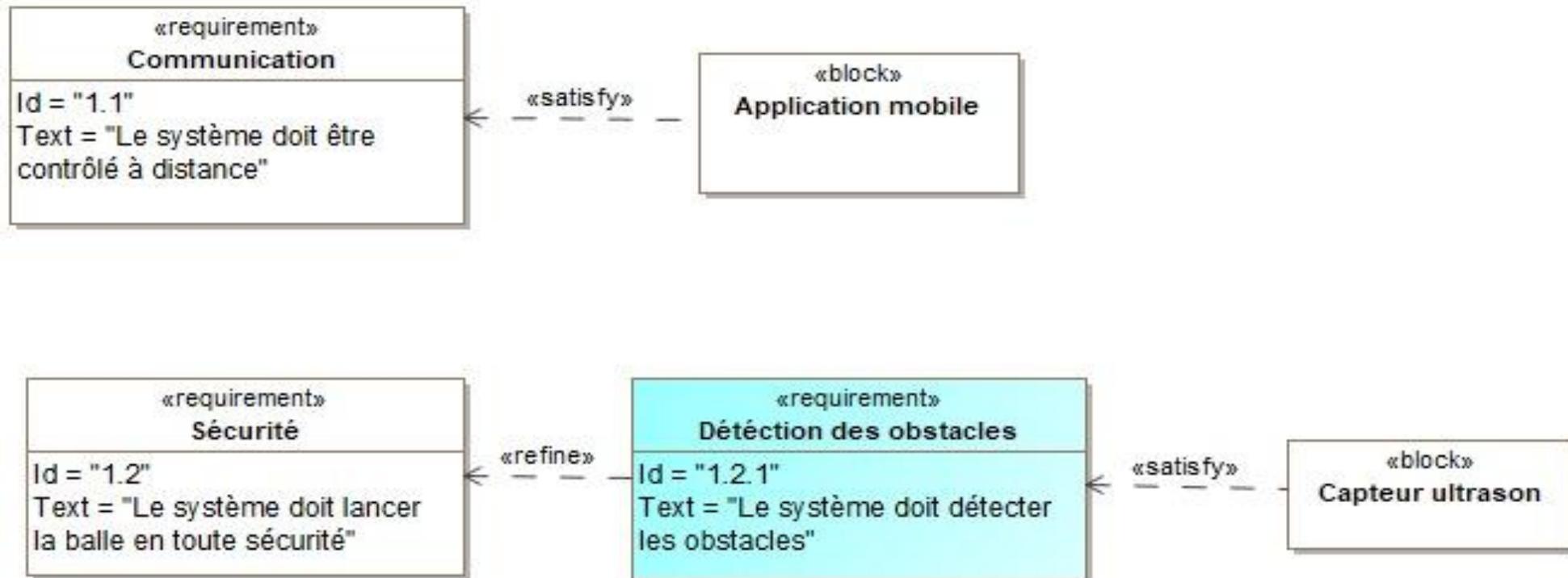


Introduction au système :

Analyse fonctionnelle



Diagramme de définition des blocs :



1^{er} Objectif :



Dimensionnement et choix de
moteur de déplacement

Dimensionnement et choix de moteur de déplacement :

Hypothèses et modélisation

- Compte tenu de la symétrie du robot , on se ramène à une étude dans le plan .
- On suppose que les roues ne glissent jamais sur le terrain .

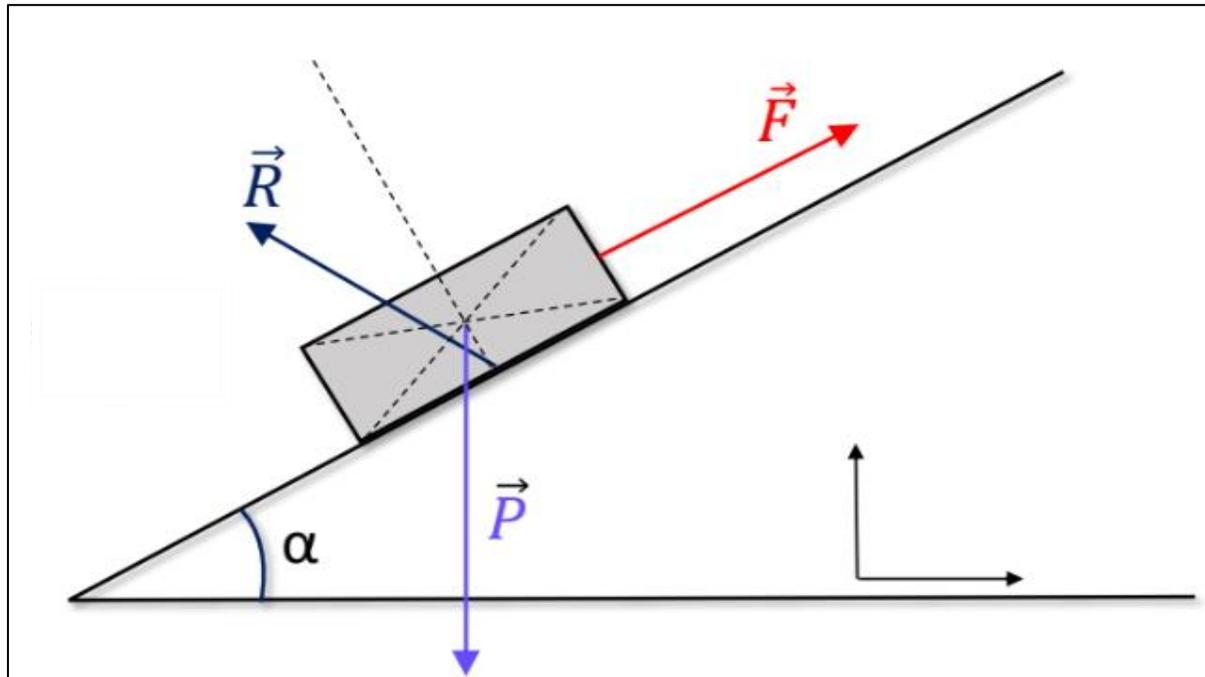


Figure 2.1 : Représentation des forces appliquées sur Le robot.

Données nécessaires

- la masse : 40 kg
- la vitesse : 10 Km/h
- le diamètre de la roue : $d = 140$ mm
- la pente maximale : $\alpha = 10^\circ$

Dimensionnement et choix de moteur de déplacement :

La force moteur

Bilan de travail des forces

- $W_p = -m.g.\sin(\alpha).d$
- $W_f = F.d$
- $W_r = 0$

Théorème de l'énergie cinétique

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

$$E_c(t) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \Delta V(t)^2$$

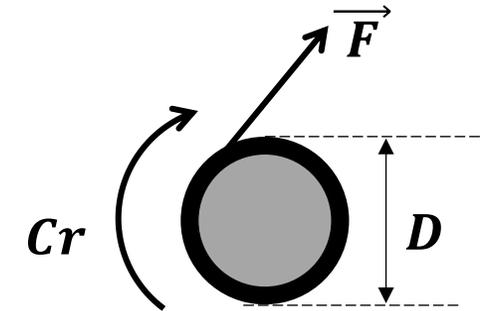
$$\rightarrow \frac{1}{2} m (V_f^2 - V_0^2) = F.d - m.g.\sin(\alpha).d = 0$$

Donc la force moteur : $F = m.g.\sin(\alpha)$

Le couple à l'arbre du roue

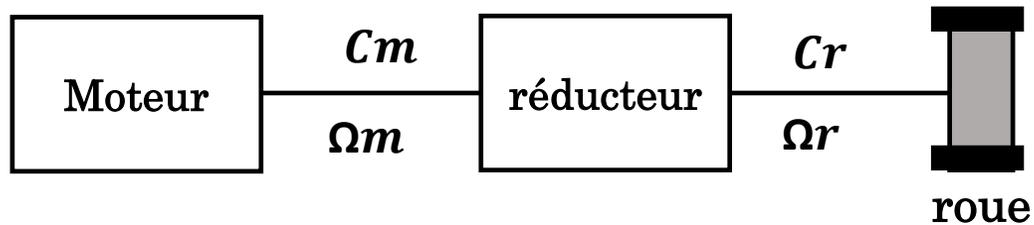
$$C_r = F \cdot \frac{D}{2}$$

$$C_r = 4,86 \text{ Nm}$$



Dimensionnement et choix de moteur de déplacement : couple moteur

Chaîne cinématique



➤ Vitesse à l'arbre de la roue :

$$v = 2 \text{ m/s} \Rightarrow \Omega r = \frac{2v}{D} = 28,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$
$$\Rightarrow Nr = 272 \text{ tr/min}$$

➤ Vitesse à l'arbre moteur :

Les vitesses plus rencontrées au marché :

$Nm = 3000 \text{ tr/min}$

➤ Le rapport de réduction :

$$r = \frac{Nm}{Nr} = 11$$

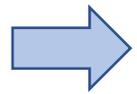
Le couple moteur

Puisque $Cr = 4,86 \text{ Nm}$ et $r = 11$

Alors :

$$Cm \approx \frac{Cr}{r} = 0.4 \text{ Nm}$$

Dimensionnement et choix de moteur de déplacement : couple moteur



Pour remplir le fonctionnement, on choisit alors le moteur **M543E 1270** de caractéristiques suivantes :

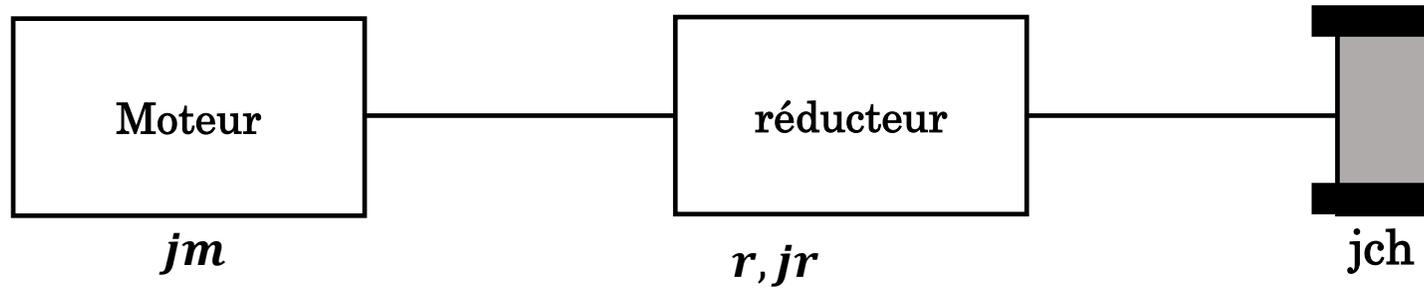


Electrical specification

Specification	Units	M540E 0741	M543E 1270	M586TE 0585
Maximum Voltage	VDC	60	60	60
Typical Voltage	VDC	24	36	24
Maximum Continuous Output Power	Watts	52	94	60
Maximum No-load speed	rpm	6000	4700	6000
Typical speed @rated torque	rpm	2250	2250	3250
Rated torque	Nm	0.2	0.4	0.2
Maximum peak torque	Nm	1.1	1.44	1.05
Typical no-load current	Amps	0.5	0.30	0.5
Rotor inertia	Kgcm ²	0.270	0.530	0.388
Mechanical time constant	ms	8.4	8.0	10.2
Torque constant	Nm/A	0.071	0.121	0.056
Voltage constant	V/1000 rpm	7.41	12.7	5.8
Terminal resistance	ohms	1.55	2.2	1.15
Rotor inductance	mH	3.39	6.4	1.4



Dimensionnement et choix de moteur de déplacement : moment d'inertie total



➤ moment d'inertie totale ramené à l'arbre moteur :

$$j_t = j_m + j_r + \frac{j_{ch}}{r^2}$$

avec $j_m = 0.53 \text{ Kg.cm}^2$ et : $j_{ch} = m \cdot \frac{D^2}{4} \Rightarrow j_{ch} = 0.196 \text{ Kg.m}^2$

Alors : $j_t = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$

2^{ème} Objectif :



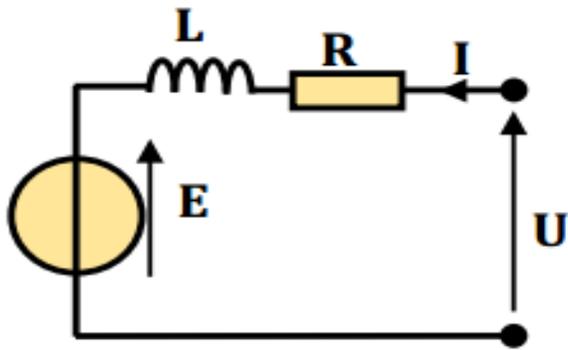
Asservissement de la vitesse
de déplacement du robot

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot : le modèle de la MCC

➤ Exigence de l'asservissement :

vitesse de déplacement est constante vaut 10Km/h malgré les perturbations (variation de la pente, roulement du sol), avec de bonnes qualités d'asservissement : maximum de rapidité, de précision et de stabilité.

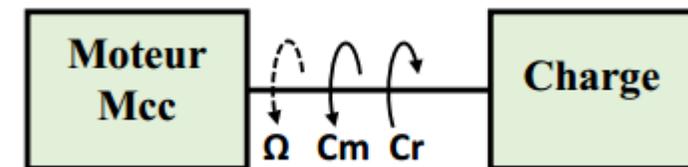
➤ Le modèle de la machine à courant continu :



Les équations mises en jeu sont données par :

$$\left\{ \begin{array}{l} u(t) = e(t) + R i(t) + L \frac{di(t)}{dt} \\ e(t) = K \Omega(t) \\ j_t \frac{d\Omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) \\ C_m(t) = K i(t) \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{ll} R = 2,2\Omega, & L = 6,4 \text{ mH} \\ K = 0,121 & j_t = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2 \end{array}$$



Asservissement de la vitesse de déplacement du robot : le modèle de la MCC

➤ Le modèle de la machine à courant continu :

Par transformation de Laplace aux équation précédente, on obtient :

$$U(P) = E(P) + R.I(P) + L.P.I(P)$$

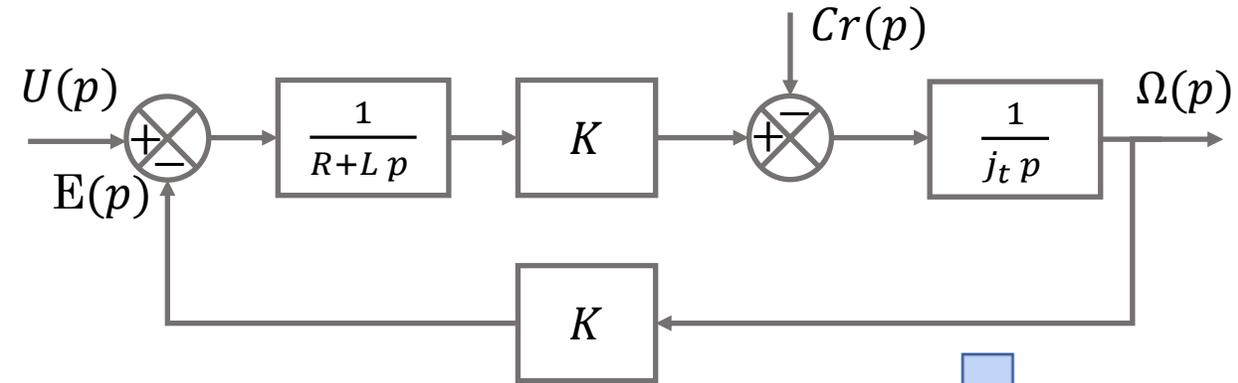
$$E(P) = K.\Omega(P)$$

$$J_t.P.\Omega(P) = C_m(P) - C_r(P)$$

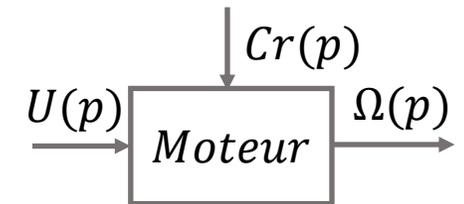
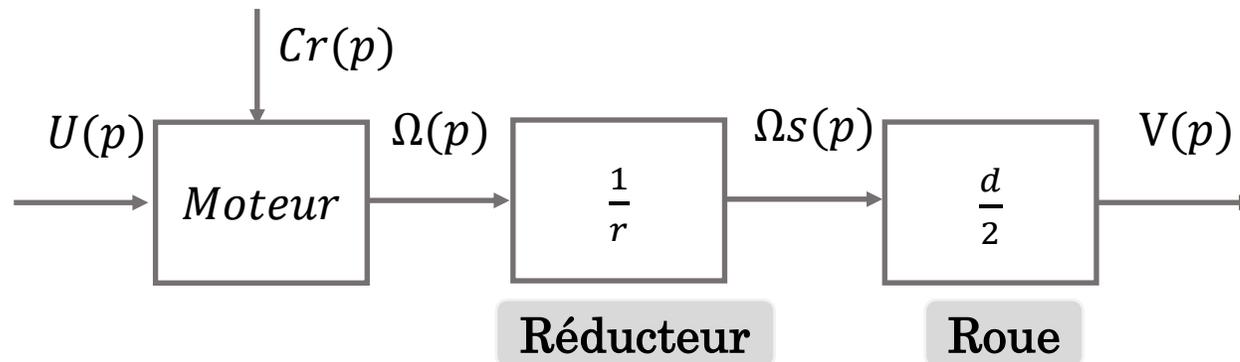
$$C_m(P) = K.I(P)$$

on tire le modèle

suivant :

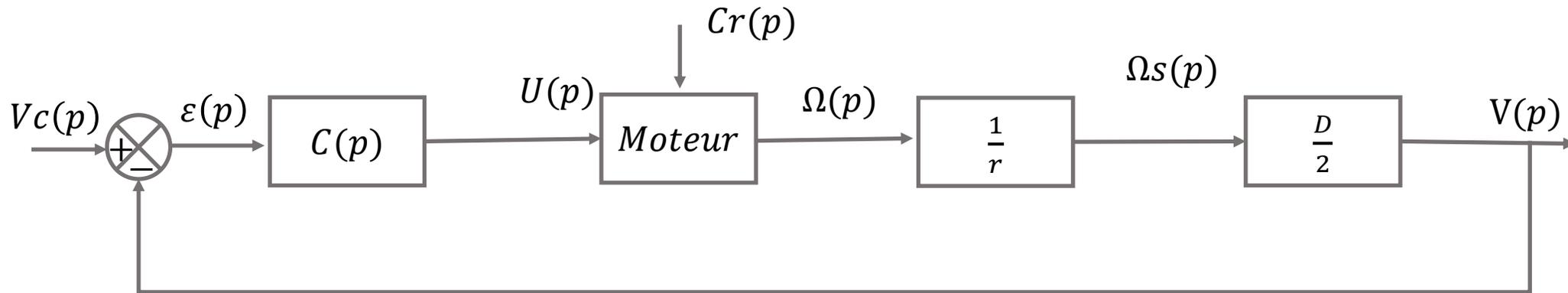


➤ Le modèle de la chaine cinématique :

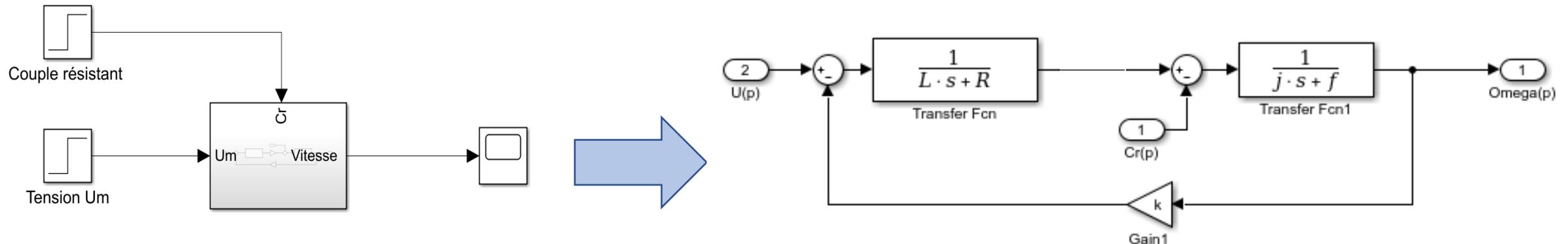


Asservissement de la vitesse de déplacement du robot : le modèle de la MCC

➤ Schéma d'asservissement :



➤ Schéma bloc du moteur à courant continu :



Asservissement de la vitesse de déplacement du robot : le modèle de la MCC

➤ Résultats de la machine en BO :

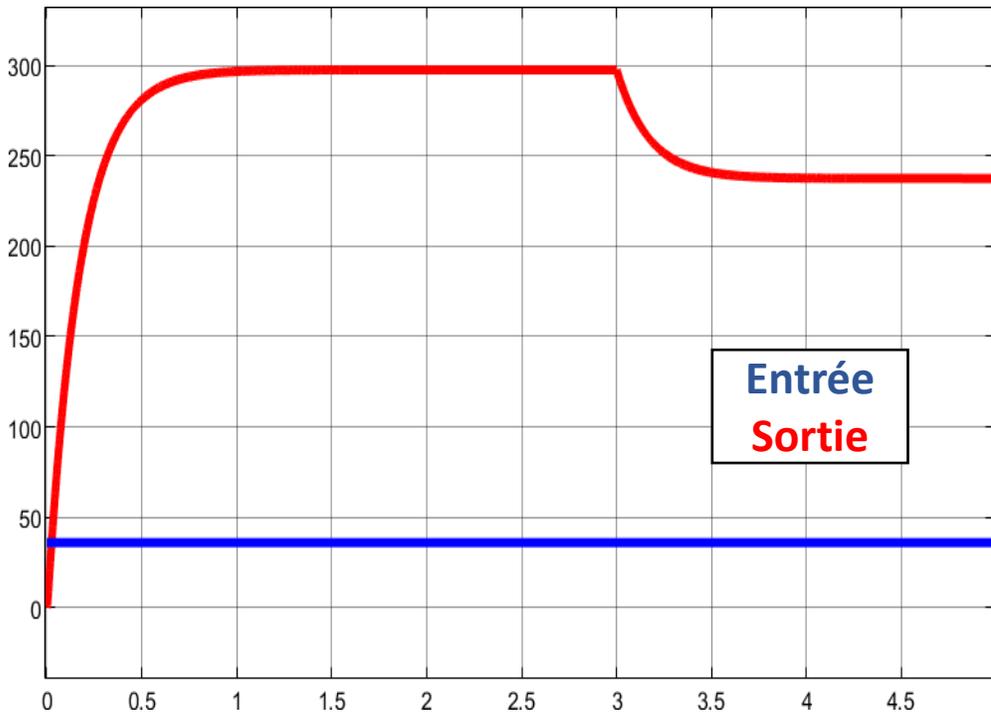


Figure 3.1 : Représentation du système en boucle fermée

Consigne d'entrée

Temps (s)	Tension U	Le couple
[0 , 3]	36 V	0 Nm
[3 , 5]	36 V	0,4 Nm

Les résultats

Vitesses en tr/min	A vide	En charge nominale
	$V_0 = 297,5 \text{ rad/s}$	$V_c = 237,4 \text{ rad/s}$

Temps de réponse à 5%

0,52 s

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot : le modèle de la MCC

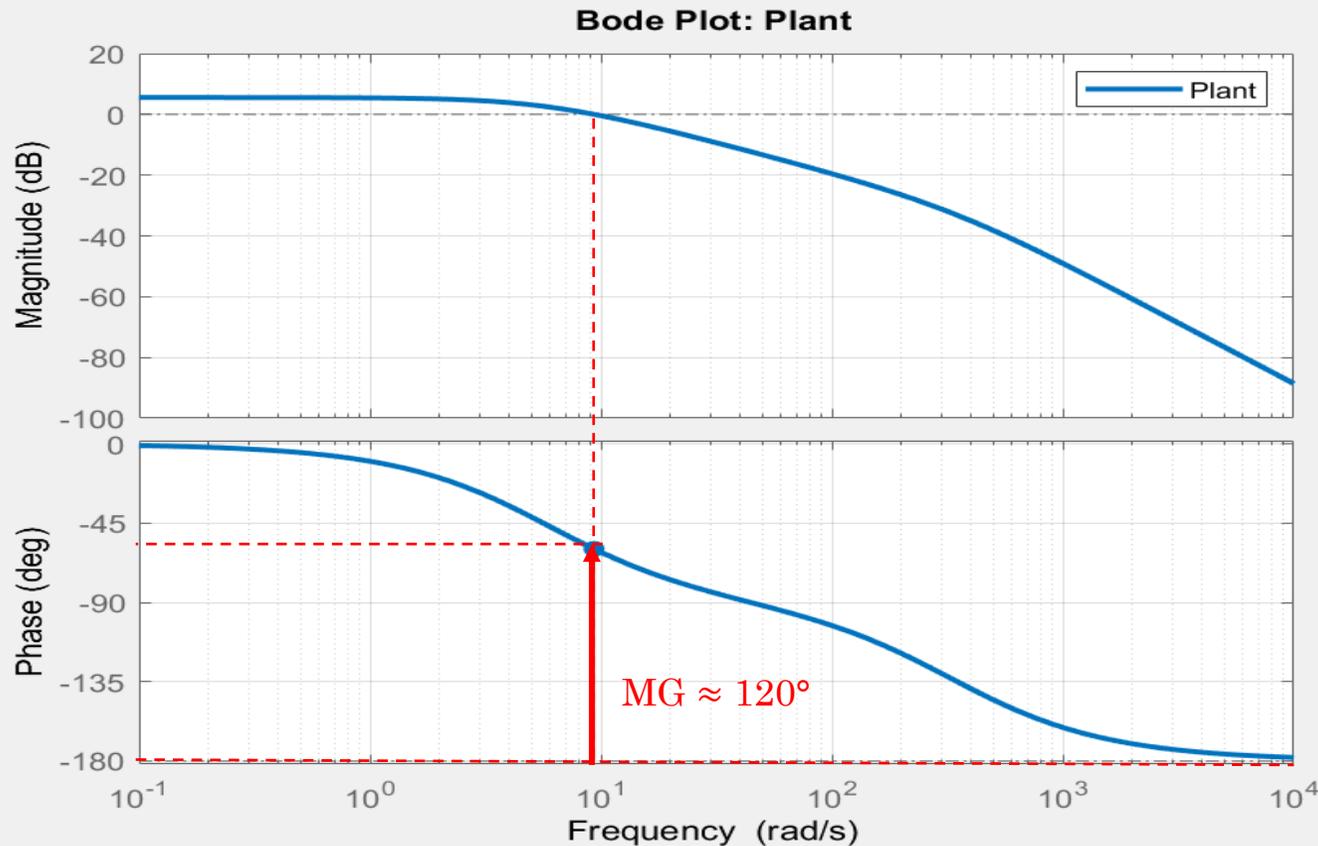


Figure 3.2 : Diagramme de BODE de la FTBO (p)

Remarques :

- Système stable ($MG \approx 120^\circ$ et $MP = +\infty$)
- Système non précis
- Perturbations non rejetée
- $tr_{5\%} = 0,52$ s

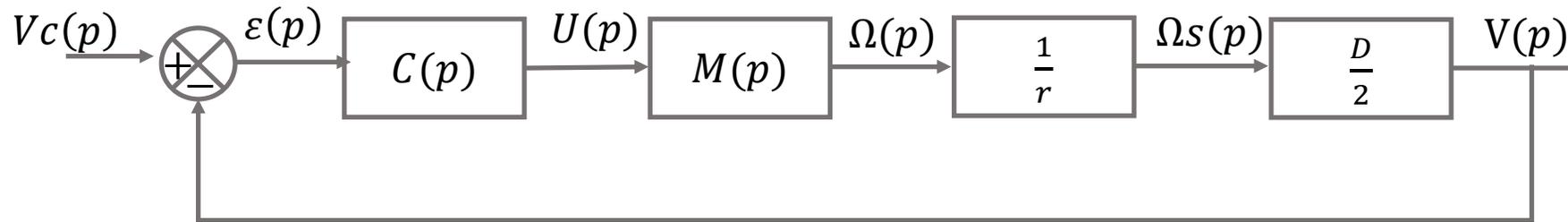
Conclusion partielle :

Une perturbation de couple conduit à la diminution de la vitesse , donc la nécessité d'asservir et régler la vitesse de déplacement .

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot :

Amélioration des performances

➤ Correction de la vitesse de la machine à CC :



- La fonction de la machine $M(p)$

$$M(p) = \frac{k}{L.j_t p^2 + R.j_t p + k^2} \Rightarrow M(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_e p)(1 + \tau_m p)} \Rightarrow \begin{array}{|c|c|c|} \hline \tau_e = \frac{L}{R} & \tau_m = \frac{R.j_t}{k^2} & K_m = \frac{1}{k} \\ \hline 2,9 \text{ ms} & 175,1 \text{ ms} & 8,26 \\ \hline \end{array}$$

- La fonction de transfert approchée $M(p)$

$$\text{On a : } \tau_m \gg \tau_e \Rightarrow M(p) \approx \frac{K_m}{1 + \tau_m p}$$

- La fonction de transfert en boucle ouverte FTBO(p)

$$FTBO(p) \approx C(p) \frac{K_m \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{D}{2}}{1 + \tau_m p} = C(p) \frac{K_o}{1 + \tau_m p} \quad \text{avec } K_o = 1,87 \quad \text{et } \tau_m = 175,1 \text{ ms}$$

$$\Rightarrow trBO = 3\tau_m = 0,525 \text{ s}$$

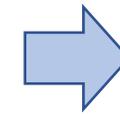
Asservissement de la vitesse de déplacement du robot :

Amélioration des performances

Problématique :

Comment améliorer les performances du système afin d'adhérer au cahier de charge ?

Critères	Action nécessaire
Erreur statique nulle	Action intégrale (I)
Temps de réponse inférieur à 500 ms	Action proportionnelle (P)
Aucun dépassement n'est accepté	Action proportionnelle (P)
Marge de phase supérieur à 45 degrés	Action proportionnelle (P)



Correction choisie :
Proportionnelle
Intégrale



Figure 3.3 : Choix de la correction

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot :

Placement du régulateur PI

La fonction de transfert du régulateur proportionnel intégral est : $C(p) = Kp \frac{1 + Ti P}{Ti P}$

Méthode de travail :

On choisit $Ti = \tau m = 175,1 \text{ ms}$ et on cherche la valeur de Kp pour avoir la vitesse du boucle BF soit 10 fois rapide que la boucle BO

➤ La fonction en BO : $FTBO(p) = \frac{Kp Ko}{\tau m p}$

➤ La fonction en BF : $FTBF(p) = \frac{FTBO}{1+FTBO} = \frac{1}{1+\frac{\tau m}{Kp Ko} p} \Rightarrow FTBF(p) = \frac{1}{1+T p}$ avec $T = \frac{\tau m}{Kp Ko}$

On cherche à avoir $TrBF = \frac{TrBO}{10}$, alors il faut que $kp = \frac{30\tau m}{TrBO.Ko} \Rightarrow Kp = 0,176$

Correcteur PI	$Kp = 0,176$	$Ti = 175,1 \text{ ms}$
---------------	--------------	-------------------------

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot :

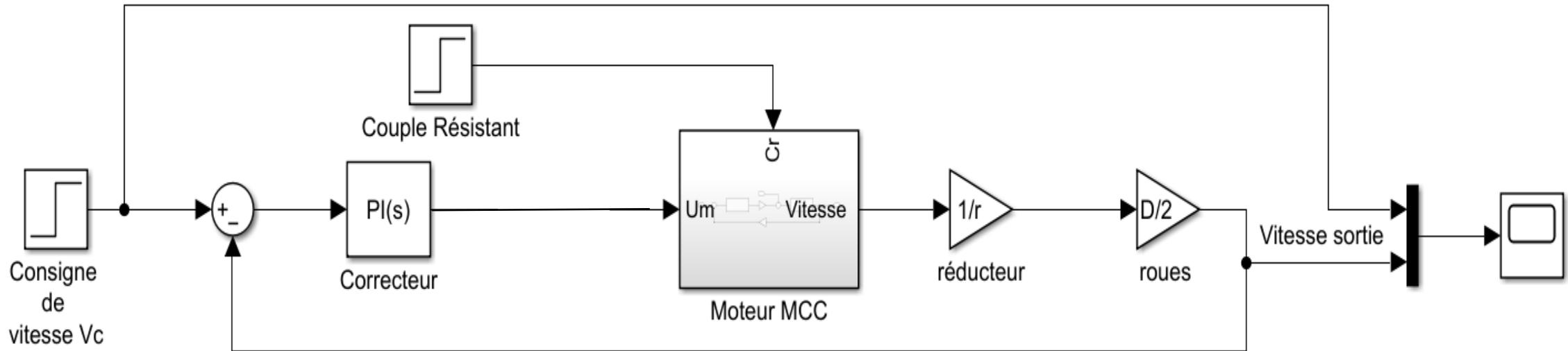


Figure 3.4: Boucle fermée sur Matlab avec correction proportionnelle intégrale

Asservissement de la vitesse de déplacement du robot :

Placement du régulateur PI

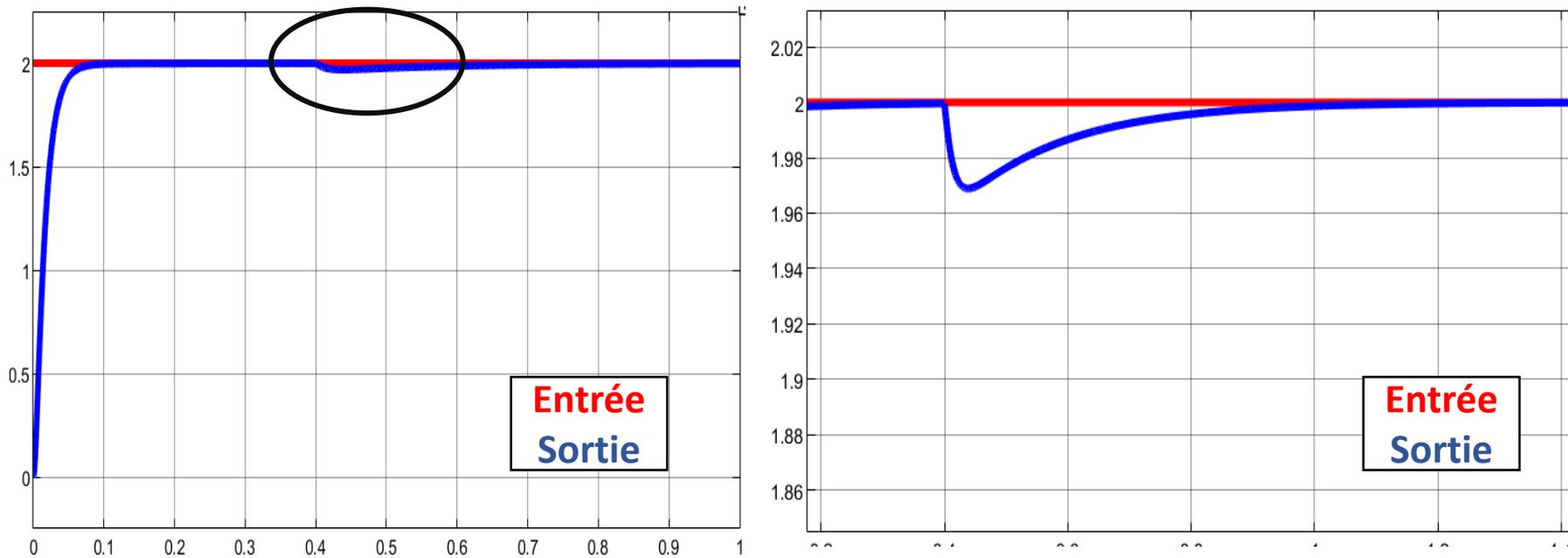


Figure 3.5 : Réponse su système régulé avec PI ($K_p=0,176$, $T_i = 175,1$ ms)

Conclusion Partielle :

Le réglage choisi pour le PI répond bien au cahier de charges

Remarques :

- ✓ Système stable
- ✓ Erreur statique nulle
- ✓ Perturbation rejetée
- ✓ Pas de dépassement
- ✓ $tr_{5\%} = 0,045$ s < 0,52 s

3^{ème}
Objectif : 

Détection des obstacles

La détection des obstacles :

Choix du capteur

➤ Exigence de la sécurité :

Le robot s'arrête automatiquement lorsqu'il détecte un obstacle à une distance de 3 mètres, et ne reprend le lancement que lorsque l'obstacle a disparu.

➤ Capteur utilisée :

Pour répondre au cahier des charges, on choisit alors un capteur HC-SR04 qui peut mesurer la distance en utilisant la réflexion d'ondes sonores .



Figure 4.1 : capteur HC-SR04

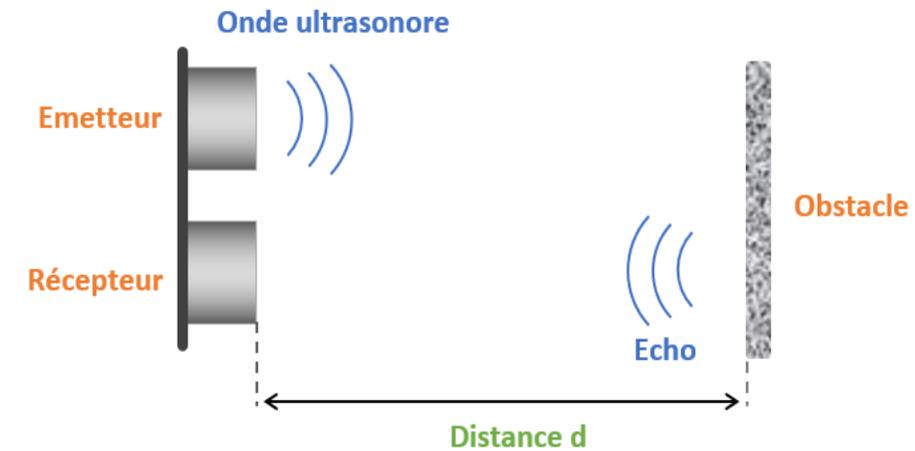
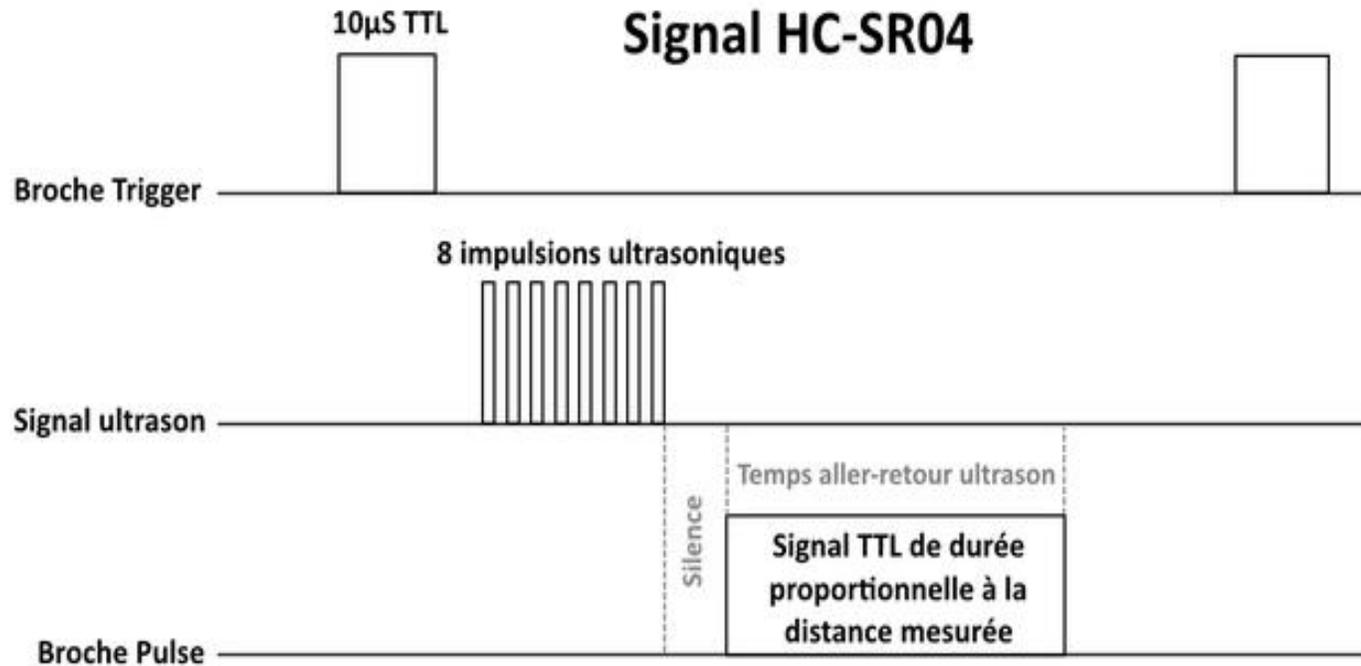
Tension d'alimentation	5V DC
Résolution	0,3 cm
Fréquence des impulsion	14 kHz
Signal d'entrée de l'émetteur	Impulsion à l'état haut de 10 μ s
Durée minimal d'un cycle de mesure	60 ms

Figure 4.2 : Extrait du document constructeur du capteur HC-SR04

La détection des obstacles :

Choix du capteur

➤ Principe de fonctionnement :



La relation pour calculer la distance D :

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

V : la vitesse de propagation de l'onde sonore (343 m/s)

Δt : durée de temps entre l'émission et la réception d'une onde sonore

La détection des obstacles :

Expérimentation

➤ Schéma de principe :

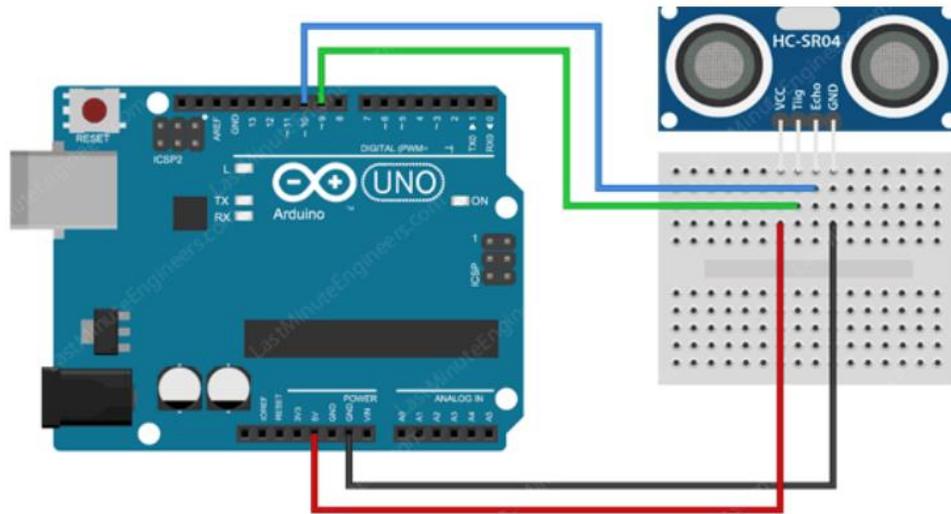


Figure : schéma de montage du circuit



La détection des obstacles :

➤ Expérience :

Objectif :

Estimer la plage de mesure du capteur HC-SR04

➤ Mise en œuvre de l'expérience :



Explication :

on branche le schéma précédent avec un PC, puis on déplace l'obstacle jusqu'à que le capteur ne fonctionne plus, puis on revanche à l'état initial et on note les valeurs trouvées.

Obstacle



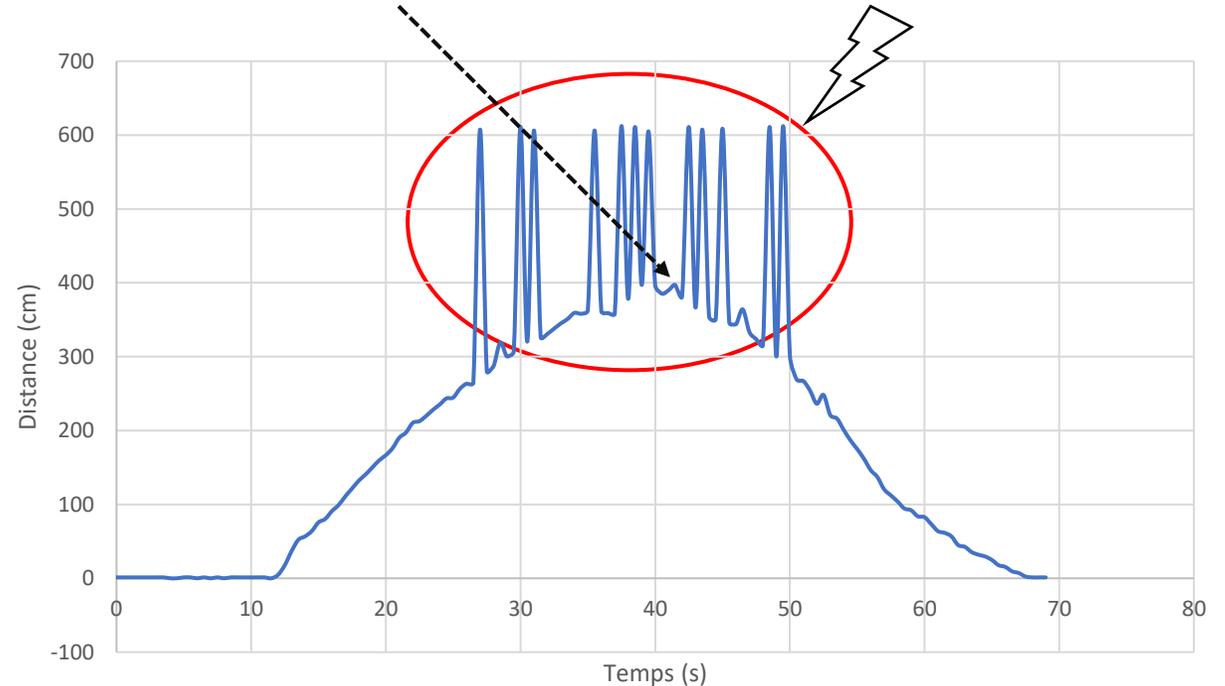
La détection des obstacles :

➤ Résultats de l'expérience :

Temps (s)	Distance (cm)
0	2
10	10
20	166,63
30	611
40	397,09
50	302,54
60	82,72
70	1,18

La portée maximale que le capteur peut la détecter est **3,9m**

On remarque qu'il y a des erreurs lors de détection

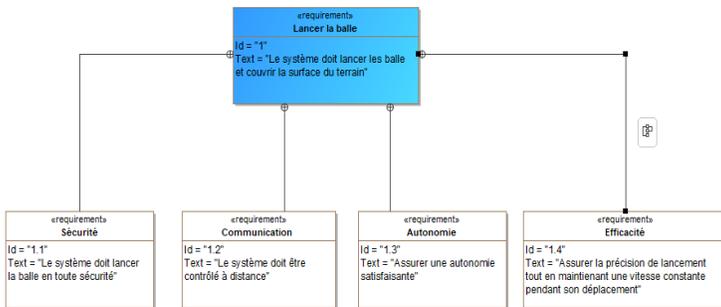


Conclusion Partielle : Le choix du capteur HC-SR04 répond bien aux exigences du cahier des charges.

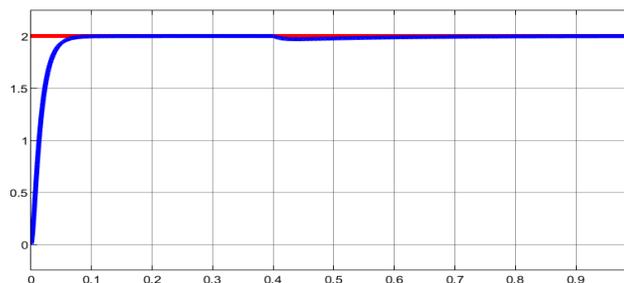
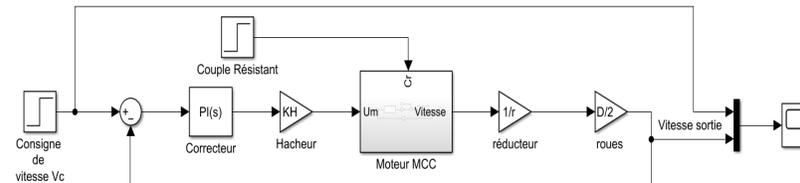
Conclusion

Lanceur de ballon de football

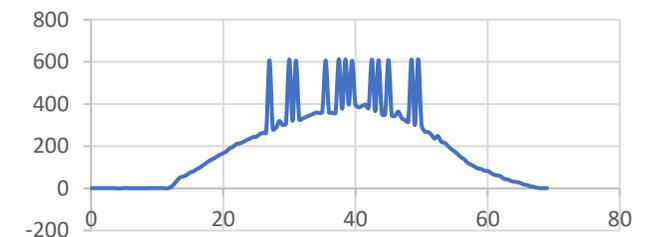
Domaine du cahier des charges



Domaine de la simulation



Domaine du laboratoire





Merci pour votre attention!

```
1  #define echoPin 10 // Echo Pin
2  #define trigPin 9 // Trigger Pin
3
4  long temps, distance;
5
6  void setup()
7  {
8  Serial.begin (9600);
9  pinMode(trigPin, OUTPUT);
10 pinMode(echoPin, INPUT);
11 }
12
13
14
15 void loop()
16 {
17   envoi_impulsion();
18   temps = pulseIn(echoPin, HIGH); //calcul de temps propagation
19   distance = temps/58.3; //58.3= (2/v)*10^6*10^-2 (v=343 m/s)
20   Serial.println(distance);
21   delay(500);
22 }
23
24 void envoi_impulsion()
25 {
26   digitalWrite(trigPin, LOW);
27   delayMicroseconds(2);
28   digitalWrite(trigPin, HIGH);
29   delayMicroseconds(10);
30   digitalWrite(trigPin, LOW);
31 }
```

Figure :Code de mesure de distance avec HC-SRC04