

# **Tipe 2012 : Robot mobile asservi en distance : RMAD**

## **I Introductions**

- A Introduction
- B Les contraintes
- C Les objectifs du projet

## **II Conception**

- A Les contrainte technique
- B La chaîne fonctionnelle
- C Schémas blocs
  - a premier modèle
  - b deuxième modèle
- D La consigne
- E Acquérir
- F Traiter
  - a premier modèle
  - b deuxième modèle
- G Communiquer, Distribuer
- H Améliorations
  - a bille
  - b bras de fixation
  - c feutre

## **III Modélisation**

- A Modèle de base
- B Réponse à un échelon
  - a modèle Excel
  - b modèle Maple
- C Réponse à un coin
- D Réponse à un creux

## **IV Réel**

- A Réponse à un échelon
- B Réponse à un coin
- C réponse à un creux

## **V Comparaisons entre modélisations réel et cahier des charges**

- A Réponse à un échelon
- B Réponse à un coin
- C réponse à un creux

## **VI Conclusion**

- A Vérification du cahier des charges
- B Les inconvénients
- C Les améliorations envisageable
- D les applications possible

## I Introduction

### A Introduction

Dans le cadre du sujet d'étude de l'année 2012 à savoir : Prévission, je me suis intéressé aux « Mousebots » : les robots se déplaçant dans des labyrinthes pour en trouver la sortie. Je me suis intéressé plus particulièrement à leur système de navigation. En effet ces robots sont capable de longer les obstacles verticaux tels que les murs formant le labyrinthe ainsi que d'effectuer des virages de plus ou moins quatre-vingt-dix degrés.

Ne pouvant acquérir un tel robot j'ai décidé d'en concevoir un moi-même ayant les mêmes aptitudes et ait donc fixé les contraintes qu'il devait tenir.

### B Les contraintes

Tout d'abord :

- La stabilité et la précision : amplitude d'oscillations <20mm autour de la position recherchée en régime permanent.
- La suivie des variations extrêmes de  $\pm 90$  degrés de l'obstacle suivie qu'on a appelé par la suite coin ( $+90^\circ$ ) ou creux ( $-90^\circ$ )
- La distance à 5% pour une réponse à un échelon d'obstacle < 1m  
(Distance parcourue suivant l'axe parallèle à l'obstacle avant que l'amplitude d'oscillation du robot autour de la valeur finale reste comprise entre plus ou moins 5% de la valeur final)
- La répétabilité du système.

On notera aussi deux contraintes subsidiaires :

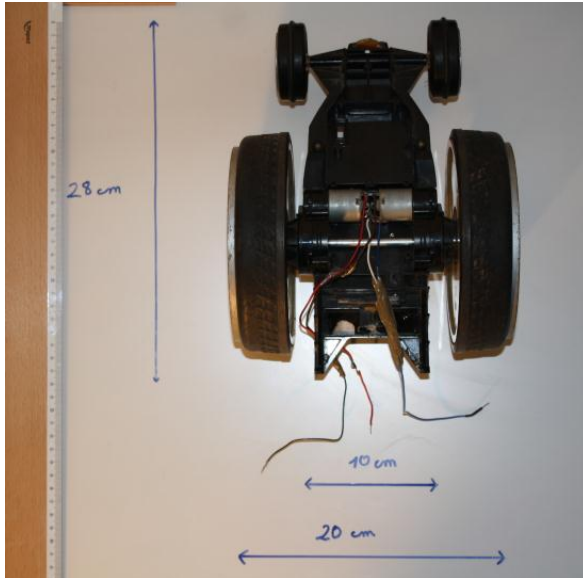
- La Simplicité
- Le Cout

### C Les objectifs du projet:

- Concevoir le robot au niveau théorique.
- Modéliser son fonctionnement.
- Vérifier que les contraintes choisies soient théoriquement validées par la modélisation.
- Réaliser le robot et comparer les résultats théoriques avec les prévisions de la modélisation.
- Reprendre les étapes précédentes jusqu'à l'obtention des caractéristiques attendues.

## II Conception

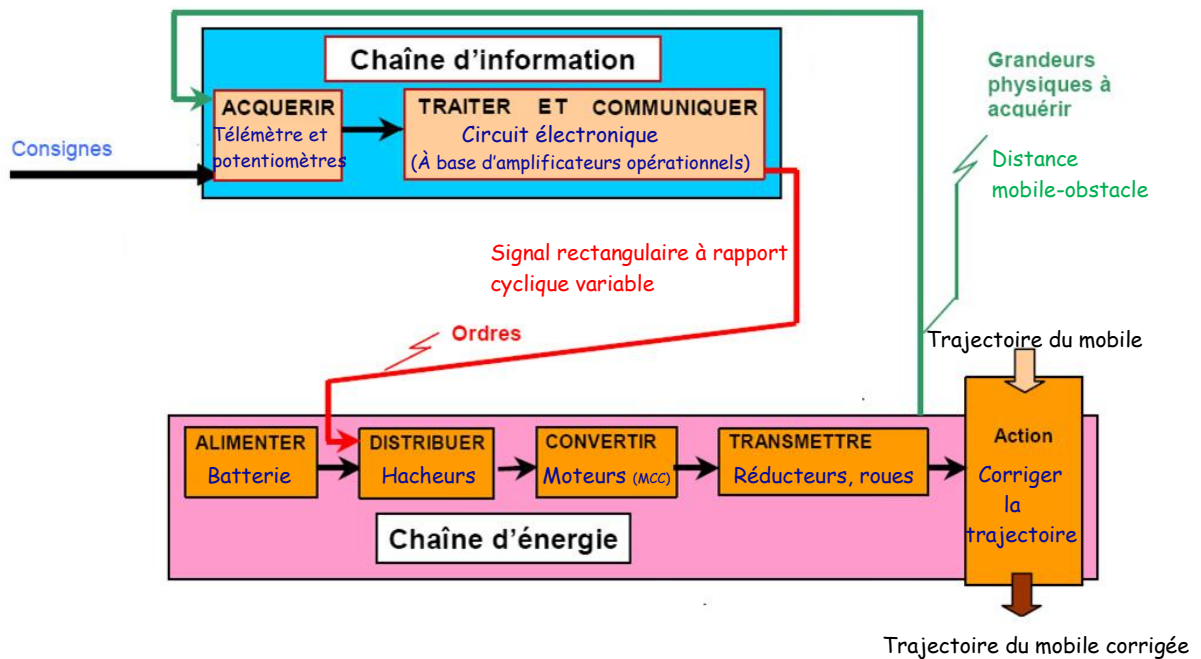
### A Les contraintes



Le robot devant être autonome, il doit disposer d'une alimentation embarquée donc : batterie / piles.  
De façon à faciliter la réalisation du projet j'ai décidé de ne pas complètement construire la partie mécanique du robot mais de chercher à adapter le système à ce que je possède : le châssis d'une voiture téléguidée à deux roues motrice avec batterie moteurs réducteur et roues.  
(Photographie ci-contre)

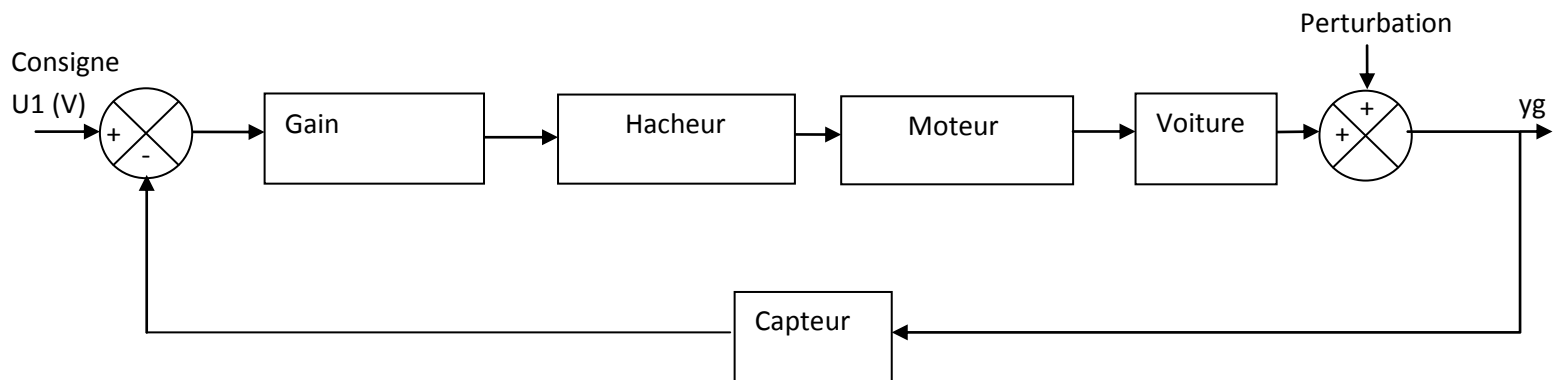
Ceci impose donc les contraintes suivantes  
Le système de commande, le système d'acquisition et l'alimentation de ces systèmes doit s'adapter au châssis.  
Dimension disponible : 15cm\*20cm et hauteur libre <30cm  
Le Poids total de l'ensemble doit être de moins de 3Kg pour que les moteurs déjà présents soient suffisants. (Valeur obtenue expérimentalement)

### B La chaîne fonctionnelle



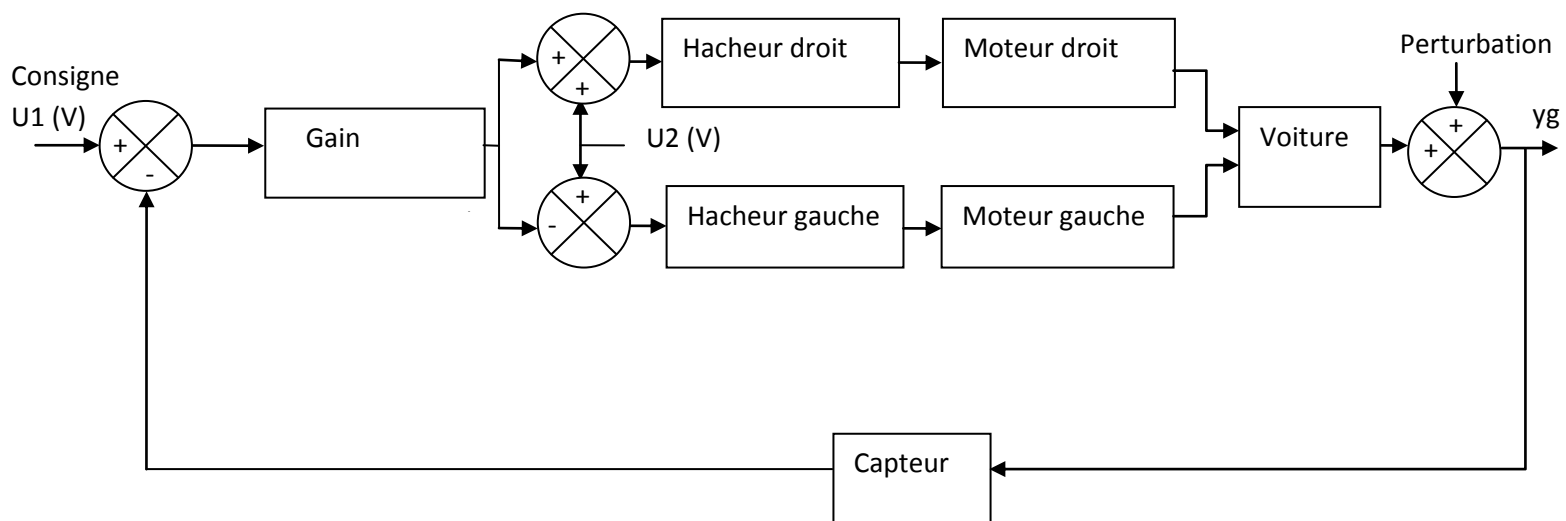
### C Schémas Blocs

Premier modèle : action sur un moteur (droit ou gauche)



Commentaire : Le modèle proposé ne fût pas jugé satisfaisant.  
En effet, un réglage stable permettrait d'effectuer uniquement un virage correct du côté opposé au moteur sur lequel s'effectuait l'action.

Second modèle : action simultanée sur moteurs droit et gauche :

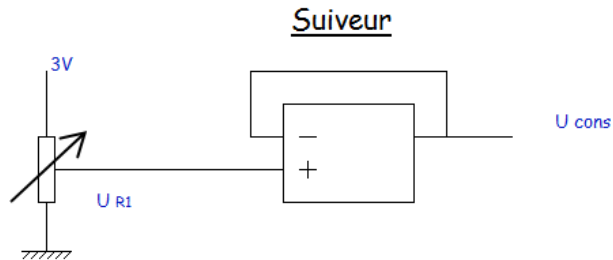


Commentaire :  
Facilite la réalisation de la modélisation, permet une symétrie de la réponse en coin et en creux, permet de régler facilement la vitesse curviligne du mobile (fonction de U2) ce qui permet de jouer sur la stabilité et la rapidité du système.

## D La consigne

Sous forme de tension aisément réglable, réalisée avec un potentiomètre et un amplificateur opérationnel en montage suiveur :

Schéma :



Commentaire : Le montage suiveur procure un gain unitaire, autrement dit, pas d'amplification. On a  $U_{R1} = U_{cons}$ . Cependant sa fonction est l'adaptation d'impédance. On le place donc en tampon entre les deux portions du circuit, de façon à les isoler l'une de l'autre pour prévenir toute interaction parasite.

## E Acquérir

Choix du capteur infrarouge GP2Y0A02YK0F pour la disponibilité et la facilité d'exploitation : sortie analogique et seulement trois fils de connexion : alimentation masse et tension de sortie.

Le capteur de distance à IR GP2Y0A02YK0F de Sharp (de 20 à 150 cm) effectue une lecture de la distance en continu et signale cette distance sous forme de tension analogique sur une plage de distance de 120 à 150 cm. Interface à 3 fils avec alimentation, terre et tension de sortie. Elle nécessite un connecteur JST à 3 broches (RB-Lyn-164).

C'est une unité capteur de mesures de distance, se composant de l'association d'un PSD (détecteur sensitif de position), d'un IRED (diode infrarouge) et d'un circuit traitant le signal. La diversité de la réflectivité de l'objet, la température ambiante et la durée d'exploitation n'influent pas facilement sur la détection de la distance en raison de l'adoption de la méthode de triangulation. Ce dispositif produit la tension correspondant à la distance de détection. C'est pourquoi ce dispositif peut également être utilisé comme capteur de proximité.

### **Fiche technique :**

#### Caractéristiques :

- Télémètre infrarouge de 20 cm (~8") à 150 cm (~60")
- Interface analogique
- Associé à un PSD
- Sans plomb, compatible ROHS
- Échelle de mesure de distance : de 20 à 150 cm
- Sortie de type analogique
- Consommation électrique : Type 33 mA
- Tension d'alimentation : de 4,5 à 5,5 V
- Temps de réponse : 39 ms

#### Applications :

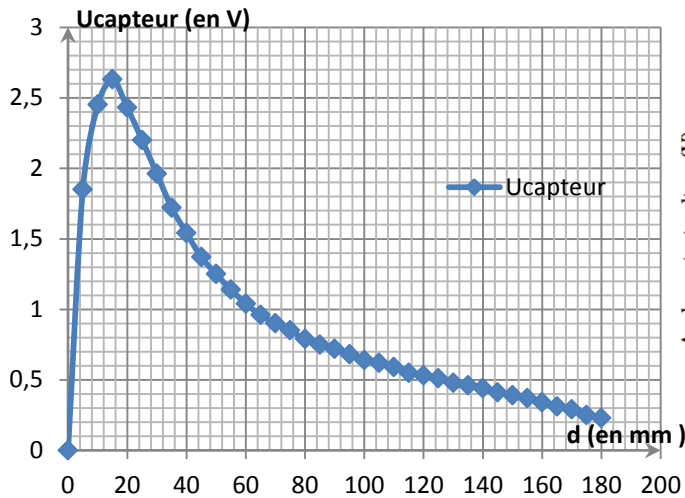
- Interrupteur sans contact (équipements sanitaires, contrôle d'éclairage, etc.)
- Capteur pour économies d'énergie (GAB, photocopieurs, distributeurs automatiques, ordinateurs portables, écrans LCD)
- Équipements de loisir (robot, appareils à jeux d'arcade)

- Code du fournisseur : GP2Y0A02YK0F

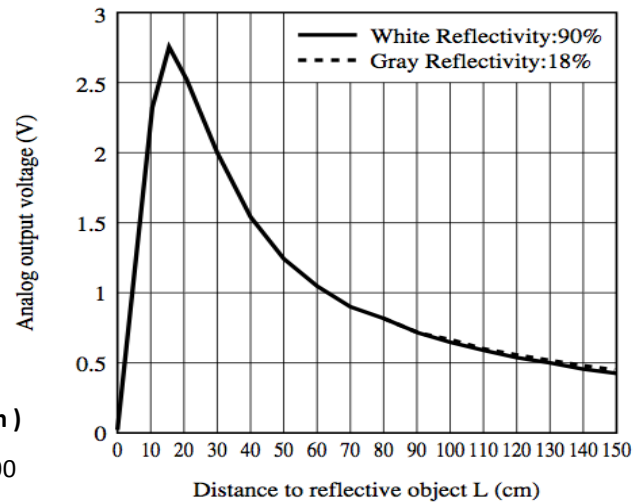


## Ucapteur en fonction de d : distance entre le capteur et l'obstacle situé dans son champ de vision

Courbe obtenue expérimentalement  
(Tension d'alimentation du capteur de 4,5V)



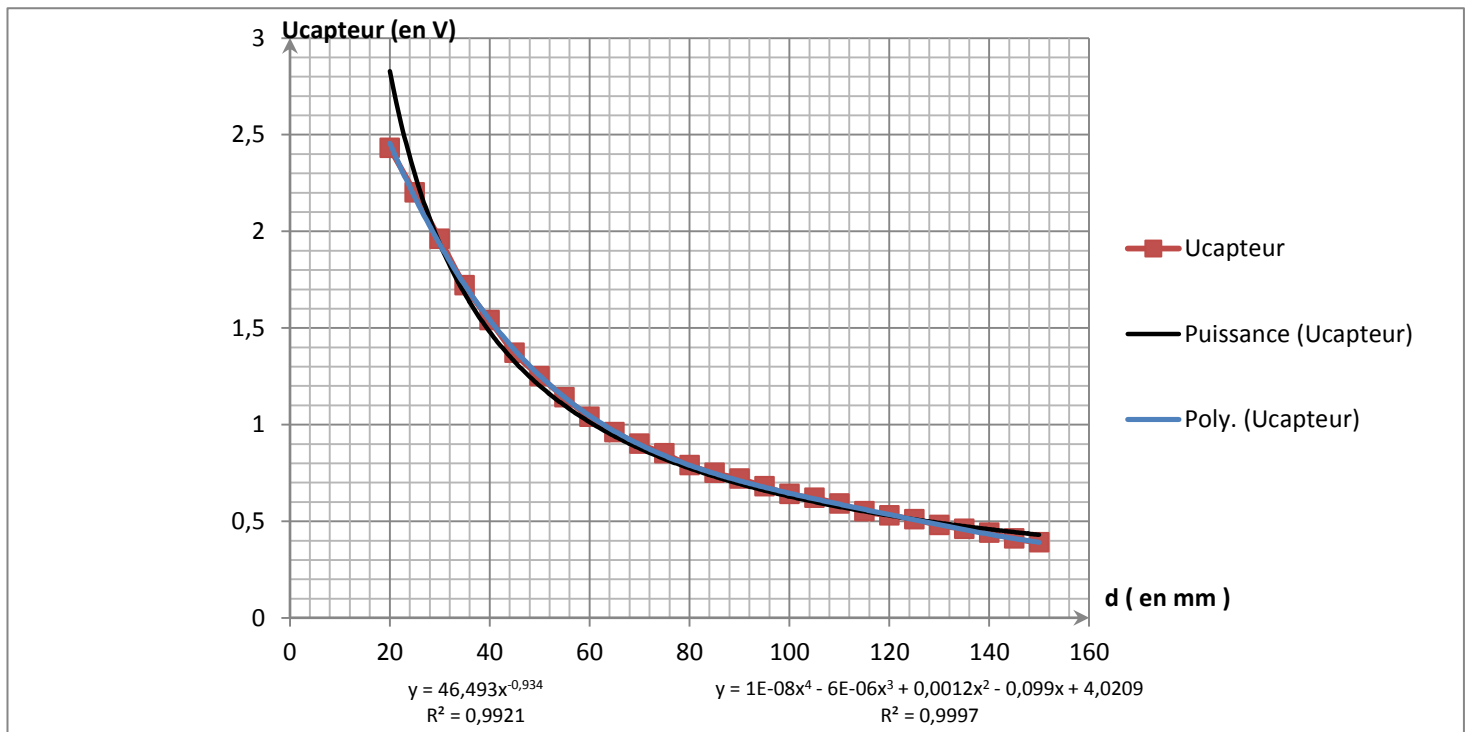
Courbe théorique fournie par datasheet  
(Tension d'alimentation du capteur inconnue)



Les mesures expérimentales sont conformes aux données fournies par la datasheet du capteur.  
La courbe expérimentale est presque identique à la courbe fournie.

On cherche à obtenir une équation simple de  $U_{\text{capteur}}$  pour  $d$  entre 20mm et 150mm :

Utilisation des courbes de tendance :



La courbe de tendance puissance est certes un peu plus éloignée mais est plus simple que la courbe de tendance polynomiale d'ordre 4. Celle-ci nous a donc semblé être la plus pertinente à utiliser pour nos calculs lors de nos modélisations.

Photos d'obtention des courbes



Matériel :

Banc d'optique : gradué au mm

Multimètre : calibré sur 2 ou 20 volts suivant le besoin.

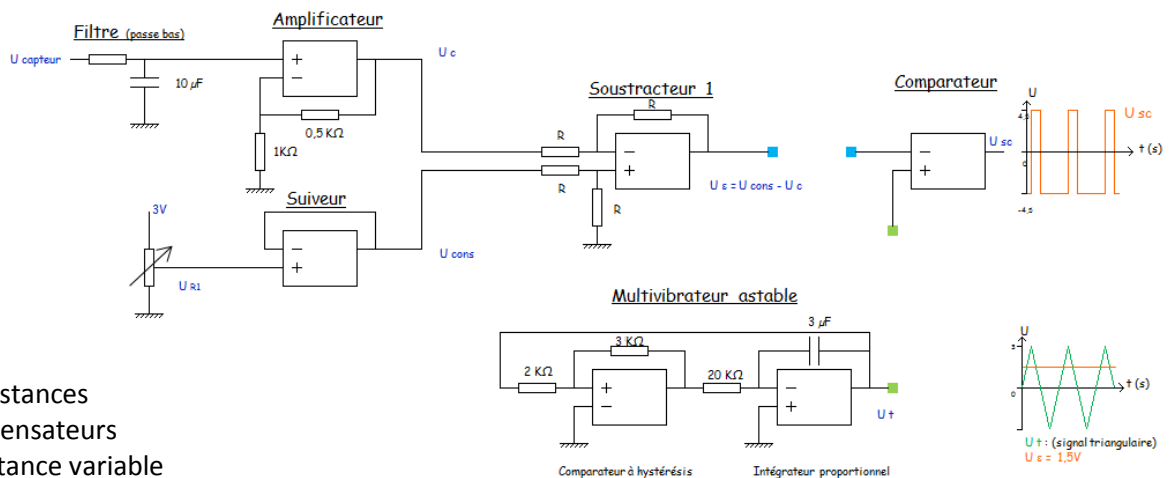
Alimentation variable.

Incertitudes d'environ 1mm pour la distance mesuré du capteur.

Incertitudes d'environ 0,01V pour la mesure de tension.

## F Traiter

a premier modèle :



### Description du fonctionnement :

Une des roue du robot tourne à vitesse constante égale à celle de la roue commandée par le montage quand  $U_{\epsilon} = U_{cons} - U_c = 0$ .

Ainsi lorsque  $U_{\epsilon} = 0$ , le robot va tout droit.

Si  $U_{cons} > U_c$  on a  $U_{\epsilon} > 0$  et on est trop loin par rapport à la consigne imposée (car  $U_c$  décroît quand  $d$  croît : voir loi non linéaire du capteur) Il faut se rapprocher donc diminuer la vitesse de rotation de la roue côté mur ou accélérer celle du côté opposé.

A l'inverse si  $U_{cons} < U_c$  on a  $U_{\epsilon} < 0$  et on est trop près par rapport à la consigne imposée. Il faut alors s'éloigner et donc augmenter la vitesse de rotation de la roue côté mur ou réduire celle du côté opposé.

C'est le signal de sortie : un signal à rapport cyclique variable va permettre de commander la vitesse de rotation du moteur. Plus le rapport cyclique sera élevé plus la roue tournera vite et inversement si le rapport cyclique est faible. On peut donc soit agir sur la vitesse de rotation de la roue droite ou celle de la roue gauche : cela dépend de si la configuration est bleu sur bleu, vert sur vert ou bleu sur vert, vert sur bleu et du côté vers lequel est orienté le capteur. Il suffit que la configuration choisie corresponde à l'augmentation du rapport cyclique lorsque la roue commandée doit être accélérée et à la diminution du rapport cyclique quand la roue doit être ralentie.

### 2 configurations possibles de câblage :

La configuration bleu sur bleu, vert sur vert, correspondant à l'exemple représenté pour  $U_{\epsilon} = 1,5V$ , permet d'envoyer un ordre de réduction de vitesse (rapport cyclique inférieur à  $\frac{1}{2}$ ) donc permet de commander la rotation du moteur du côté du mur, et l'autre moteur est par conséquent celui commandé à vitesse constante.

Meilleure configuration pour les coins : évitement sans problèmes.

Problèmes pour les creux : le robot perd complètement ses repères tourne sur lui-même plus vite qu'il ne revient à la bonne valeur de  $d$ , il dépasse donc l'angle limite de  $-45^\circ$  et soit se prend l'obstacle soit l'évite en faisant une ou des boucles jusqu'à ce qu'il ne se prenne l'obstacle ou retrouve ses repères.



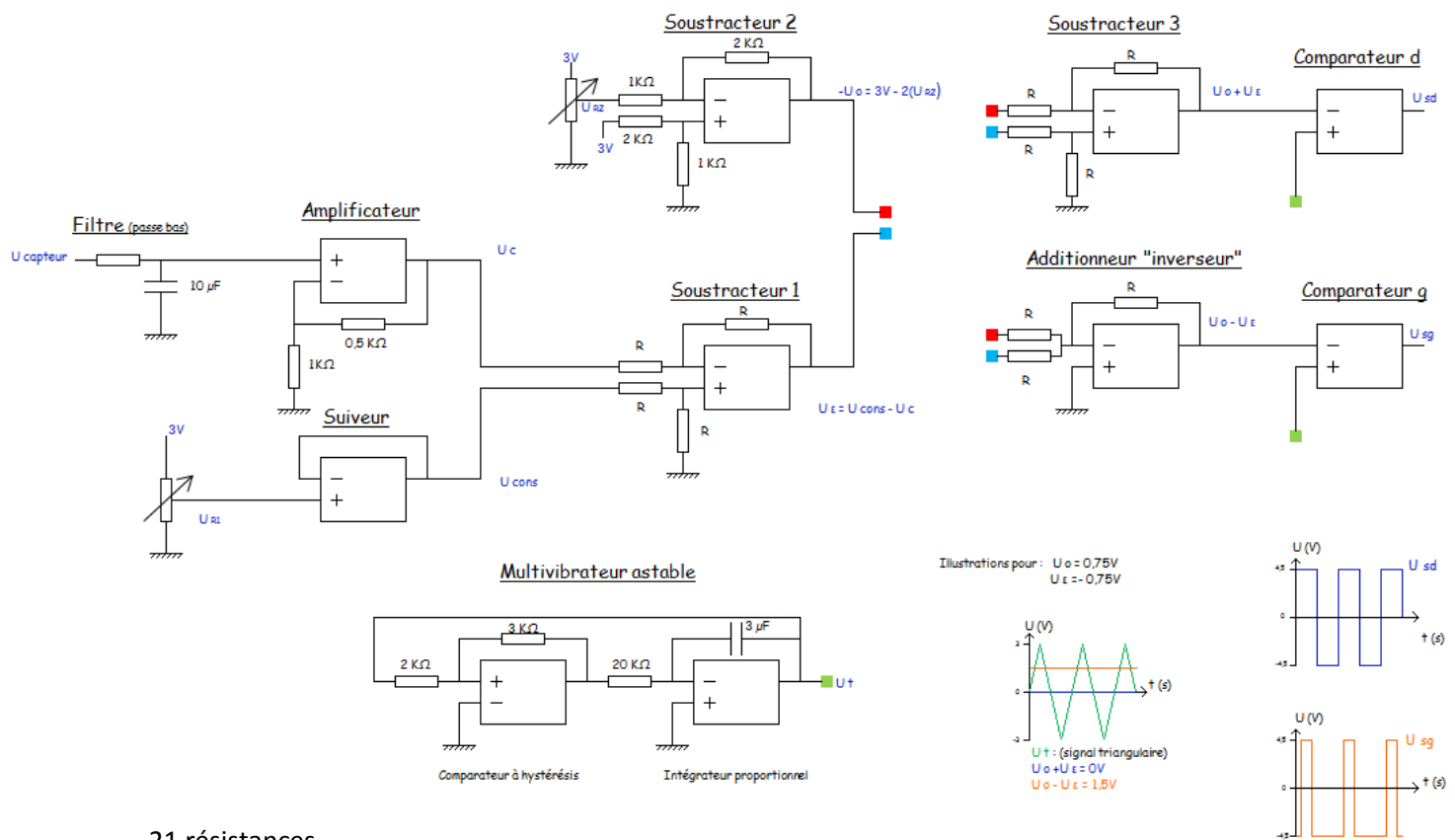
La configuration bleu sur vert, vert sur bleu, permet de commander la rotation du moteur du côté opposé du mur, l'autre moteur sera alors commandé à vitesse constante.

Meilleure configuration pour les creux : le robot suit le creux sans perdre ses repères, aucun problème.

Problèmes pour les coins : le robot ne tourne pas suffisamment pour faire les  $+90^\circ$  et se prend l'obstacle si celui-ci est trop long. Le robot est incapable d'éviter un obstacle orthogonal à sa trajectoire de longueur de plus deux fois la distance à laquelle il est censé longer un obstacle.

La vitesse de rotation de la roue commandée est de la forme  $V = \text{cte} + \text{ou} - K * U_\epsilon$  pour  $U_\epsilon$  tel que  $0 < V < V_{\text{max}}$  sinon  $V = 0$  ou  $V = V_{\text{max}}$  en fonction du signe de  $U_\epsilon$ . (+ou- dépendant de la configuration)

## b deuxième modèle



21 résistances,  
2 condensateurs,  
2 résistances variables  
10 Aop : 2 quadruple (LM324N) 1 double (TL082),

Permet d'agir à la fois sur la roue droite et la roue gauche simultanément mais de manière opposée.

Combine ainsi les avantages des deux configurations précédents en corrigeant leurs défauts respectifs et permet en outre une symétrie de la réponse en coin et en creux.

Facilite la réalisation de la modélisation.

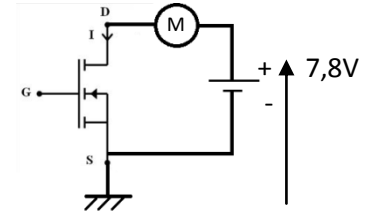
Permet de régler facilement la vitesse curviligne du mobile (fonction de  $U_0$ ) ce qui permet de jouer sur la stabilité et la rapidité du système.

La vitesse de rotation des roues est de la forme  $V = K * (U_0 + \text{ou} - U_\epsilon)$  pour  $U_\epsilon$  tel que  $0 < V < V_{\text{max}}$  sinon  $V = 0$  ou  $V = V_{\text{max}}$  en fonction du signe de  $U_\epsilon$ . (+ou- dépendant du côté où est située la roue commandée par rapport au capteur)

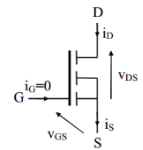
## G Communiquer, Distribuer :

### Le hacheur

Le hacheur ou convertisseur continu - continu est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé. Le découpage se fait à une fréquence élevée. C'est l'analogue, pour les sources de tensions continues, du transformateur utilisé en régime alternatif. La tension de sortie du hacheur est proportionnelle au rapport cyclique du signal de commande et à la tension nominale ou maximale du hacheur.



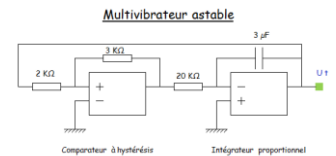
L'interrupteur commandé est réalisé par un transistor mosfet plus fragile qu'un transistor bipolaire mais la commande ne nécessite qu'une faible énergie car la grille étant isolée, l'intensité du courant de commande est quasi nulle (ce qui est nécessaire car intensité de sortie des aop très faible)



Si  $v_{GS} = 0 \Rightarrow i_D = 0$ , le transistor est bloqué, il se comporte comme un interrupteur ouvert vu des points D et S.  
Si  $v_{GS} \geq v_{GS(th)}$   $\Rightarrow i_D > 0$  et  $v_{DS} = 0$ , le transistor est saturé et se comporte comme un interrupteur fermé vu des points D et S et le circuit de grille ne consomme pas de puissance.

Réalisation du Signal de commande à rapport cyclique variable :

- Un multivibrateur astable délivrant un signal triangulaire.
- Un comparateur simple comparant  $U_o$  (tension image de la vitesse désiré si  $U_e$  (tension image de la différence entre la distance désirée et la distance mesurée) est nulle) plus (moins\*)  $U_e$  réel (\*en fonction de la roue à laquelle on souhaite donner l'ordre) au signal triangulaire fourni par le multivibrateur astable.



Pour un rapport cyclique nul du signal de commande (ce qui équivaut à  $U_o \pm U_e = 3V$ ) la sortie sera nulle.  $U_m = 0V$

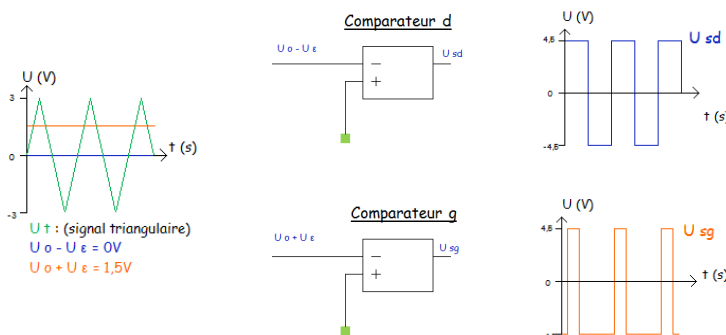
Pour un rapport cyclique du signal de commande de 50% (ce qui équivaut à  $U_o \pm U_e = 0V$ ) la sortie sera à 50% de la tension maximal  $U_m = 3,9V$ .

Pour un rapport cyclique du signal de commande de 100% (ce qui équivaut à  $U_o \pm U_e = -3V$ ) la sortie sera à la tension maximale = 7,8V.

Exemples : si on souhaite créer l'ordre pour la roue proche du mur il faut que celle-ci accélère quand on se retrouve trop près du mur donc quand  $U_e = U_{cons} - U_c < 0$  (d'après la loi du capteur)

Il faut donc que le rapport cyclique augmente si  $U_e < 0$  donc que  $U_o \pm U_e$  diminue pour  $U_e < 0$  donc prendre  $U_o + U_e$  à comparer avec le signal triangulaire.

### Exemple



Rapport cyclique et tension délivrée par les transistors :

Rapport cyclique de 50%  
 $U_{md} = 3,9V$

Rapport cyclique de 25%  
 $U_{mg} = 1,95V$

## H Améliorations

### a diminution des frottements



L'ajout d'une bille comme contact entre le sol et le robot à la place des petites roues présentes à l'origine permet de diminuer fortement les frottements dus à celles-ci lors des virages. Car le frottement du roulement est inférieur à l'effort dû au glissement. Ceci était indispensable à une bonne réponse du mobile car les frottements étaient trop importants.

Le robot ne tournait pas assez vite sur lui-même par rapport à la distance qu'il parcourrait.

(Photographie ci-contre)

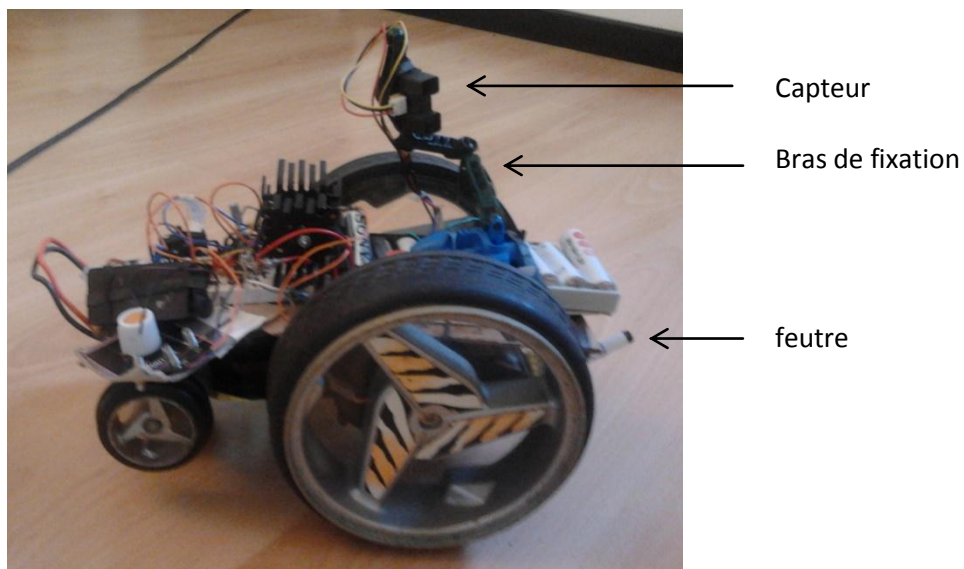
### b bras de fixation

L'ajout d'un bras de fixation inclinable sur lequel fixer le capteur a permis de déterminer et de choisir l'angle  $\beta$  de manière à obtenir les meilleurs résultats, de la manière la plus simple et la plus efficace possible.

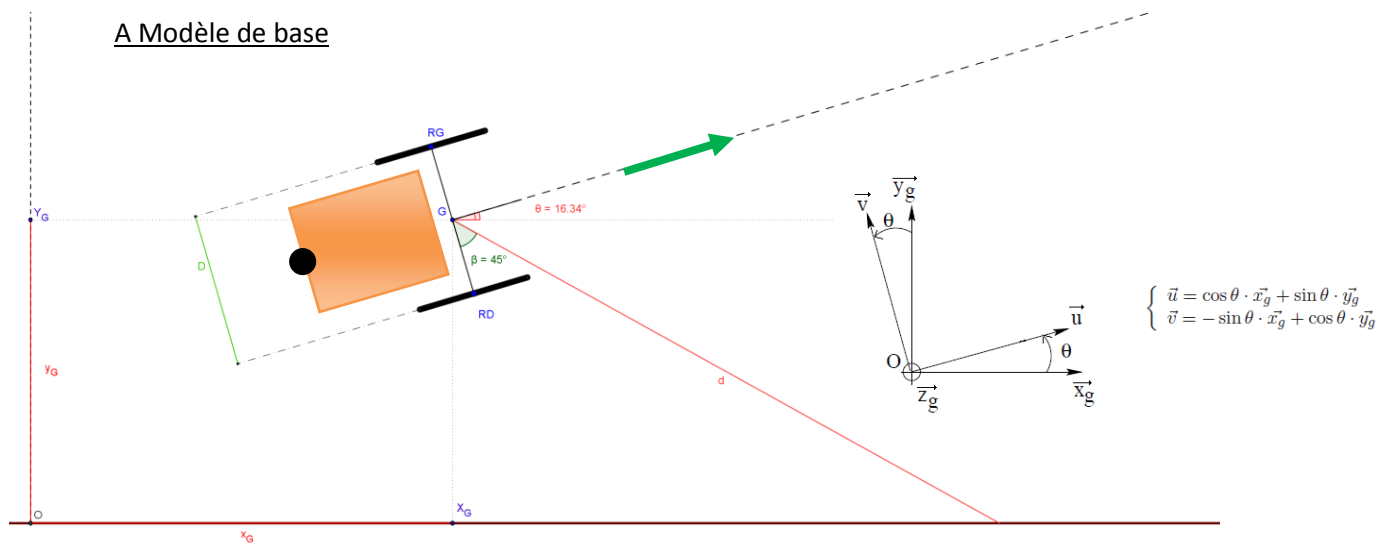
### c feutre

L'ajout d'un feutre sous le robot dont la pointe coïncidait avec le point nous a permis d'obtenir directement les tracés réels du déplacement de ce point lors du déplacement du robot le long du mur sur une feuille.

Photographie ci-contre :



### III Modélisation



En bleu, les points :

O : centre du repère fixe ( $O, \vec{x}_g, \vec{y}_g, \vec{z}_g$ )

G : Centre cinématique du mobile:  $\vec{OG} = \vec{OX}_G + \vec{OY}_G = x_G \vec{x}_g + y_G \vec{y}_g$

A : Centre de la roue droite.

B : Centre de la roue gauche.

$$\vec{u} = \frac{\vec{GH}}{GH} \quad \text{et} \quad \vec{v} = \frac{\vec{GB}}{GB}$$

En vert, les données constantes :

$D = 20\text{cm}$ : Distance entre les deux roues.

$\beta = 90^\circ - \alpha = 45^\circ$

$\alpha = 45^\circ$  : Angle entre l'axe indiquant la direction du robot et l'axe de prise de mesure du capteur.

En rouge, les variables :

$\theta$  : Angle entre le repère considéré fixe et le repère associé au robot.

$x_G$  : Abscisse du point G dans la base fixe.

$y_G$  : Ordonnée du point G dans la base fixe.

$d$  : Distance mesurée par le capteur (fonction de  $\theta, y_G$ , du mur)

En Marron, le mur.

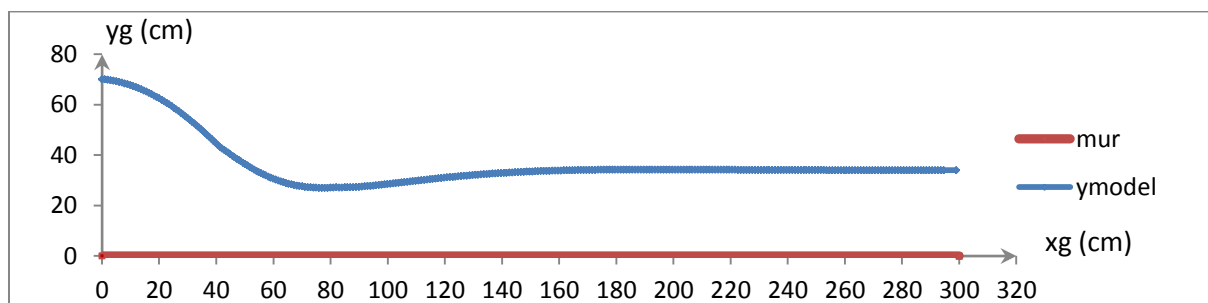
Ensuite on procède par récurrence pour obtenir les courbes simulées :

Connu	Déterminé	Type de relations
$x_{Gn}, y_{Gn}, \theta_n$ , équation du mur	$d_n$	Géométrique
$d_n$	$\omega_{motn}$	Electronique
$\vec{\omega}_{motn}, \vec{v}_{Gn}$	$\dot{\theta}_n$	Cinématique
$\vec{\theta}_n, \vec{v}_{Gn}$	$x_{Gn+1}, y_{Gn+1}, \theta_{n+1}$	Méthode d'Euler

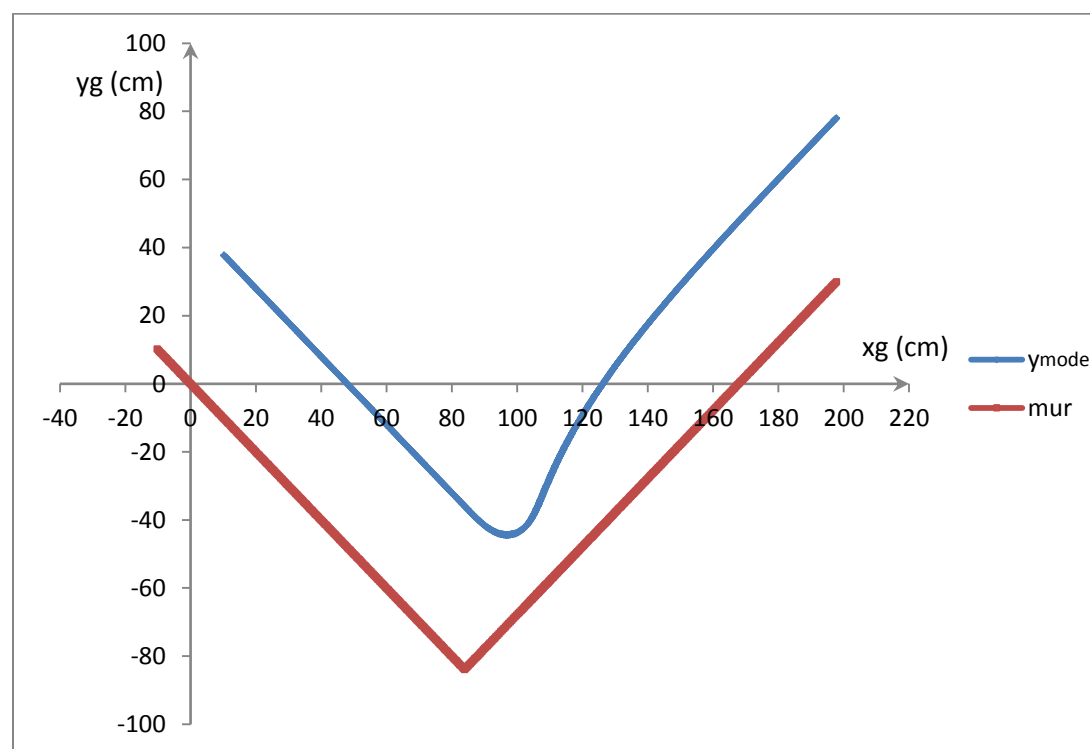
*Courbes théoriques effectuées pour une distance de consigne par rapport au mur de 34 cm.*

### B Réponse à un échelon théorique

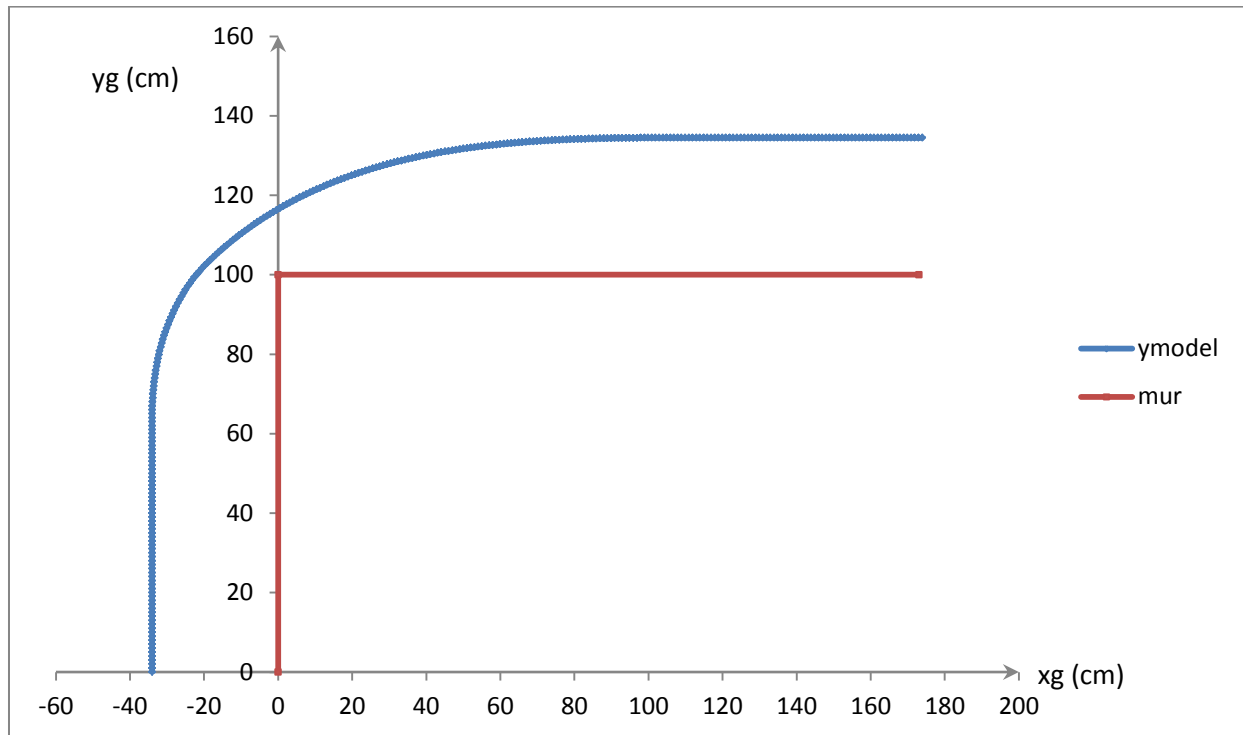
(sans prise en compte de la saturation du capteur et avec une résolution faible)



### C Réponse à un coin théorique (sans prise en compte de la saturation du capteur)



#### D Réponse à un creux théorique

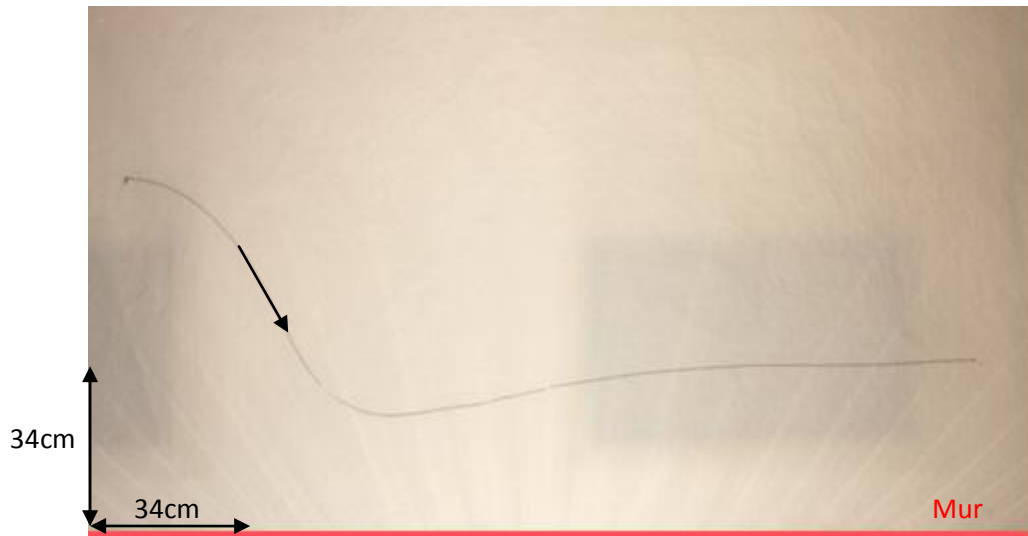


#### IV Réel

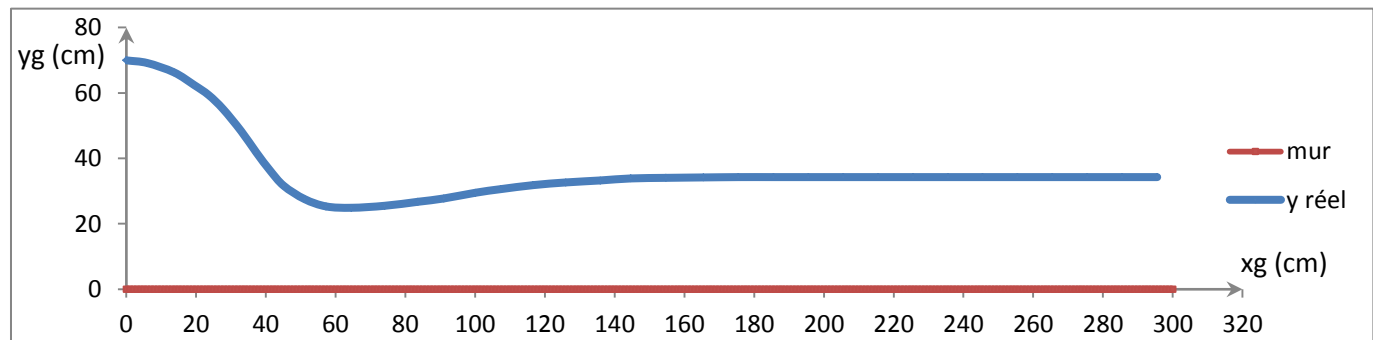
Expérimentation effectuée pour une distance de consigne par rapport au mur de 34 cm.

##### A Réponse à un échelon :

Photographie de la courbe tracée par le feutre fixé sous le robot lors de son déplacement :

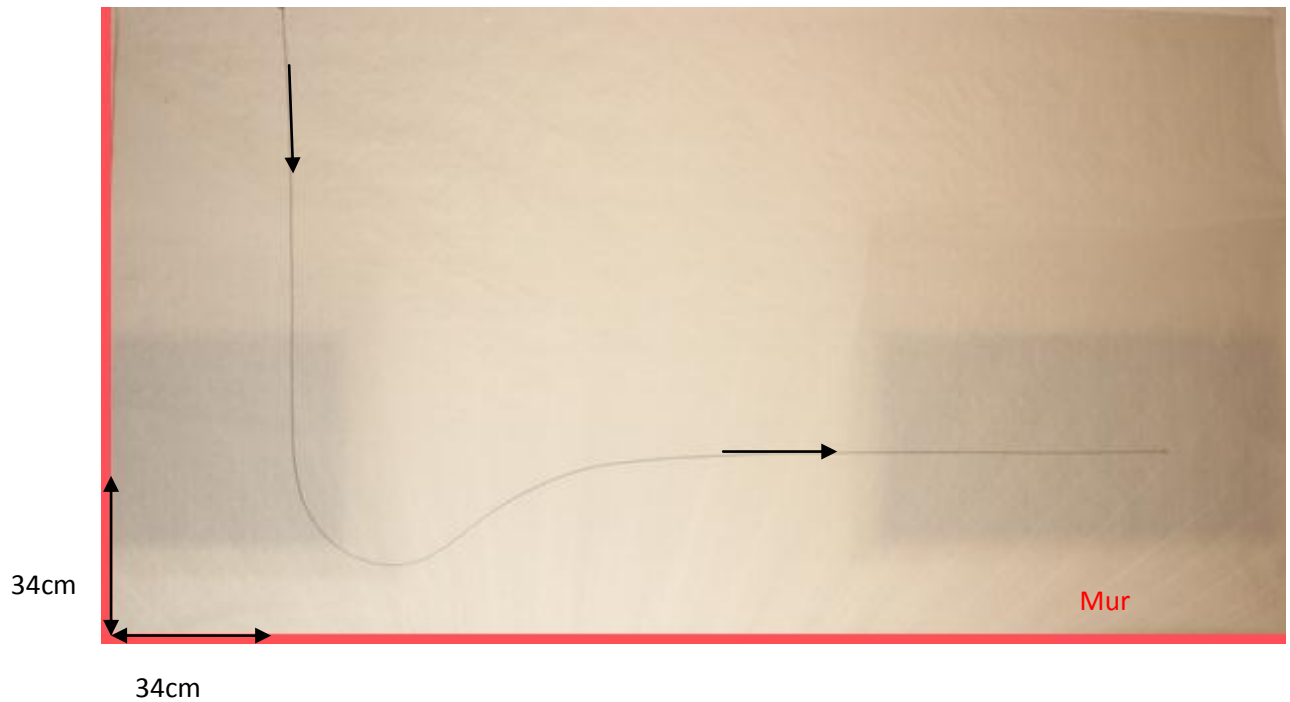


Exploitation sous Excel

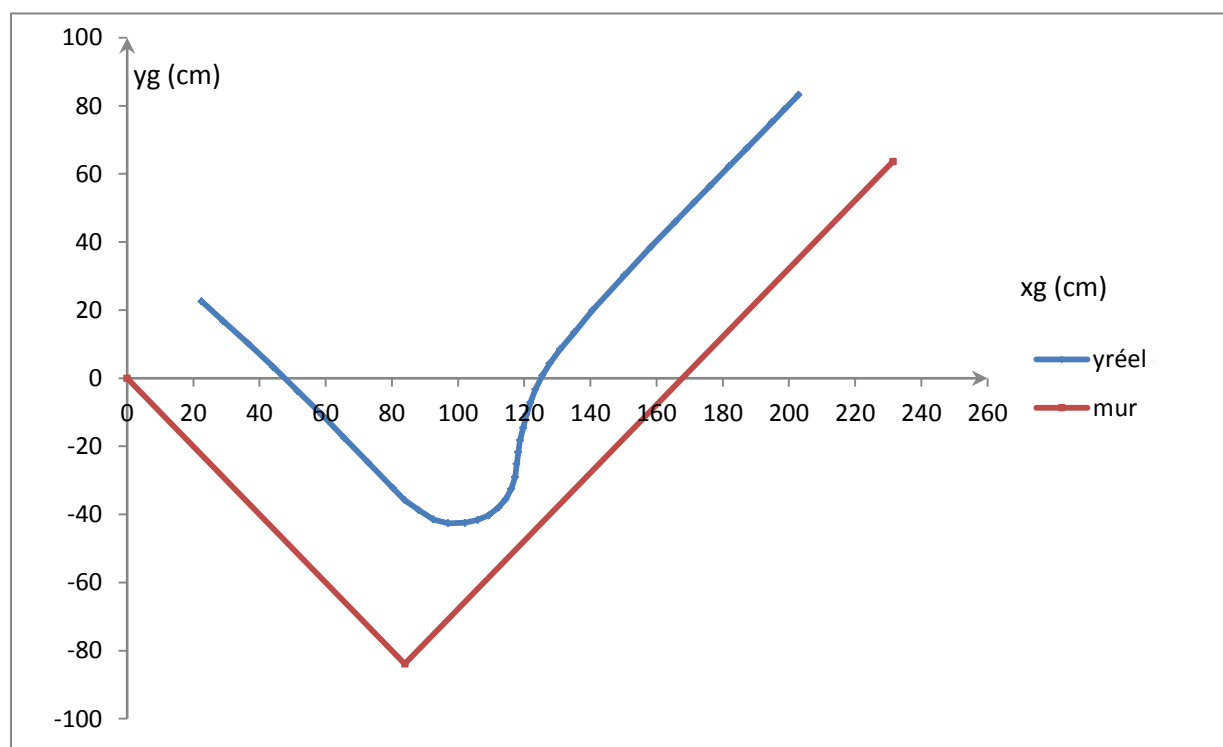


### B Réponse à un coin :

Photographie de la courbe tracée par le feutre fixé sous le robot lors de son déplacement :



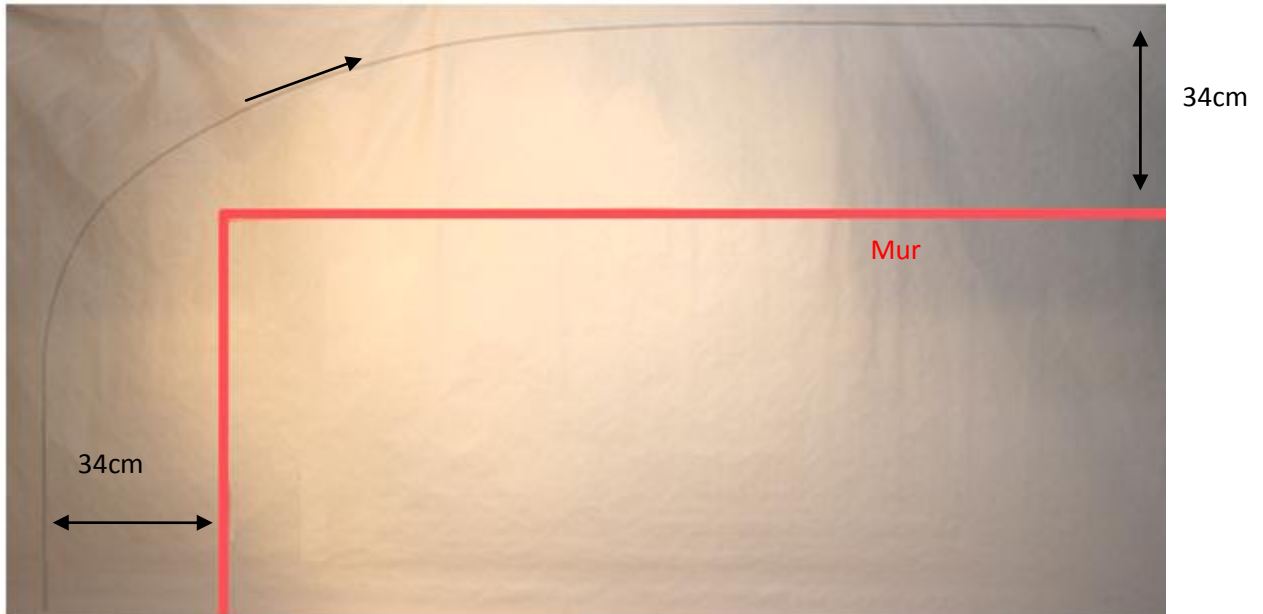
Exploitation sous Excel



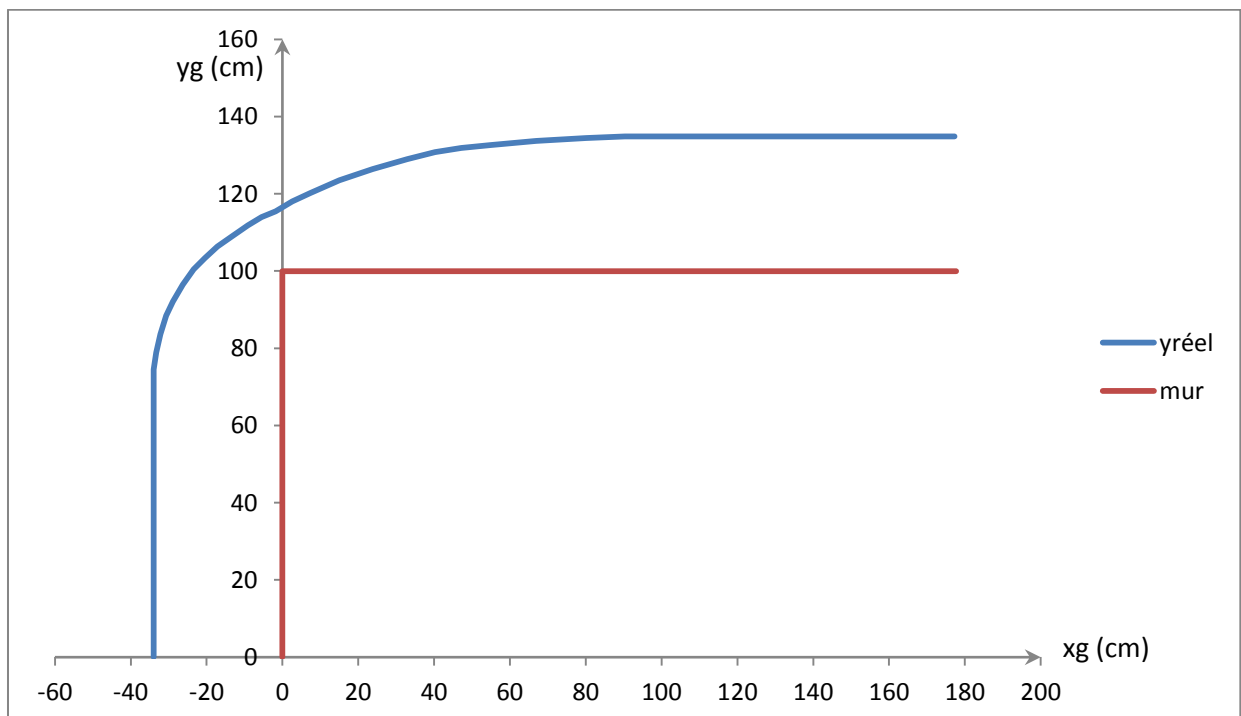


### D réponse à un creux

Photographie de la courbe tracée par le feutre fixé sous le robot lors de son déplacement :

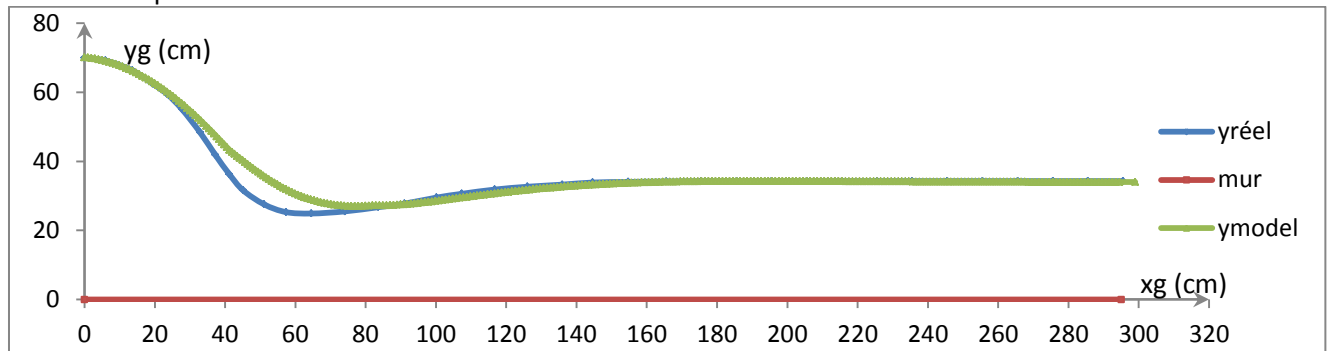


Exploitation sous Excel

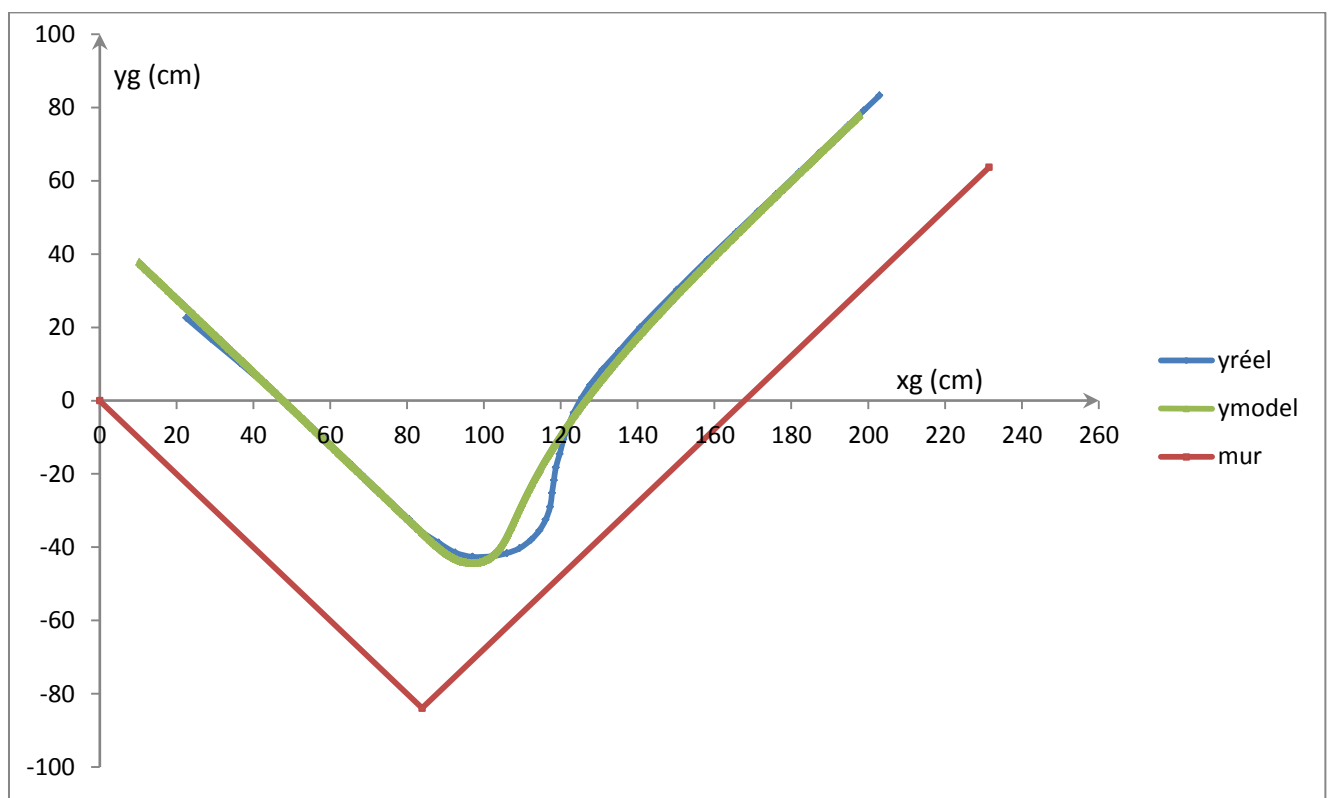


## V Exploitation des courbes

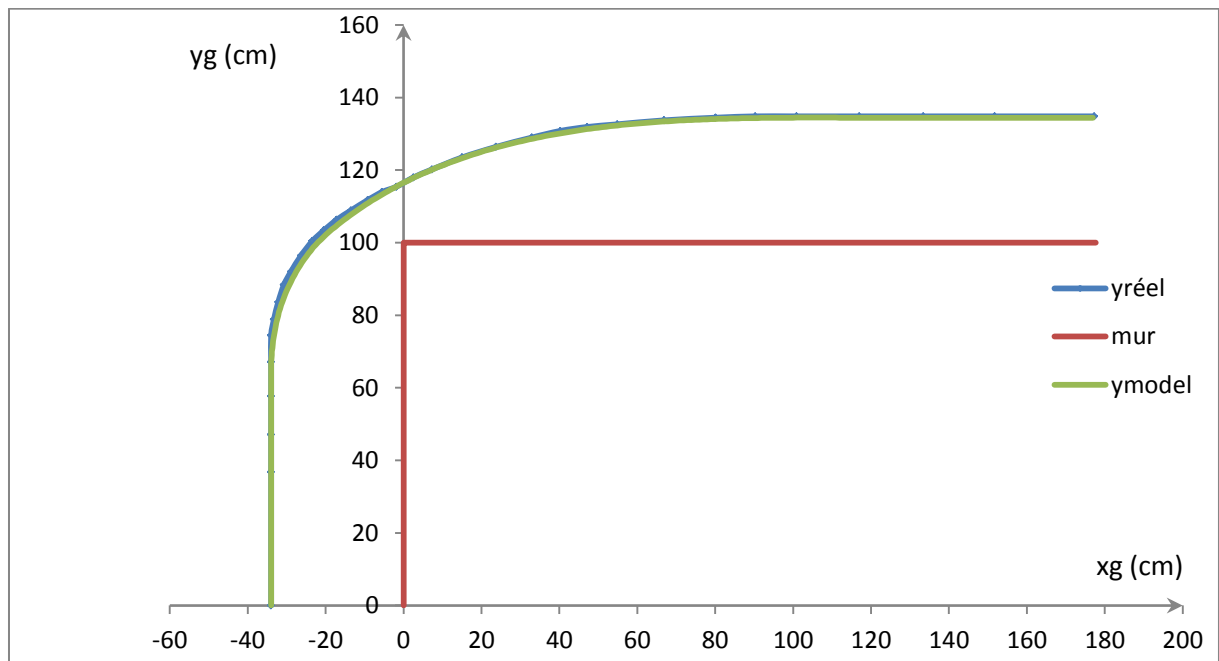
A Réponse à un échelon



B Réponse à un coin



### C réponse à un creux



## VI Conclusion

### A Vérification du cahier des charges

La stabilité et la précision recherchée: amplitude d'oscillations < 20mm autour de la position recherchée en régime permanent sont vérifiées.

La suivie des variations extrêmes de  $\pm 90^\circ$  de l'obstacle suivie qu'on a appelé par la suite coin ( $+90^\circ$ ) ou creux ( $-90^\circ$ ) est vérifiées.

La distance à 5% pour une réponse à un échelon d'obstacle < 1m est vérifiée.

La répétabilité du système, semble être concluante mais aucun test spécifique n'a été réalisé.

La Simplicité : difficile de faire plus simple et aussi efficace.

Le Cout : faible < 100 euros\*

(\*hors coût du châssis, des moteurs, des réducteurs et de la batterie obtenue par récupération)

### B Les inconvénients

- Réglage délicat nécessaire pour un fonctionnement optimum
- Faible vitesse pour un fonctionnement optimum
- Non linéarité du capteur impliquant dissymétrie de la réponse entre creux et coin
- Risque de mauvais fonctionnement à cause du capteur et à la position du capteur

### C Les améliorations envisageable

- Remplacement du capteur.
- Correctifs non linéaires pour optimiser le fonctionnement du robot.
- Ajout de deux capteurs tout ou rien pour détecter : présence d'un coin et la présence d'un creux avec cycles d'hystérésis suivant les états suivants :
  - Absence d'un coin et d'un creux
  - Présence d'un coin absence d'un creux
  - Présence d'un creux et absence d'un coin
  - Présence d'un coin et d'un creux

### D les applications possible

Exploration sur mars, voiture autonomes, base d'un système d'évitement pour tout type de mobile pouvant agir en sus du contrôle humain pour augmenter la sécurité, jeux pour enfants.

Annexes : Quelques photos

