



BALL & BEAM

Présenté par:

Nour Trabelsi

Ichrak Khaldi

Salwa Mhemed

Eya Teyeb

-IIA4-

2023/2024

Présentation de l'équipe



Nour Trabelsi



Ichrak Khaldi



Salwa Mhemed



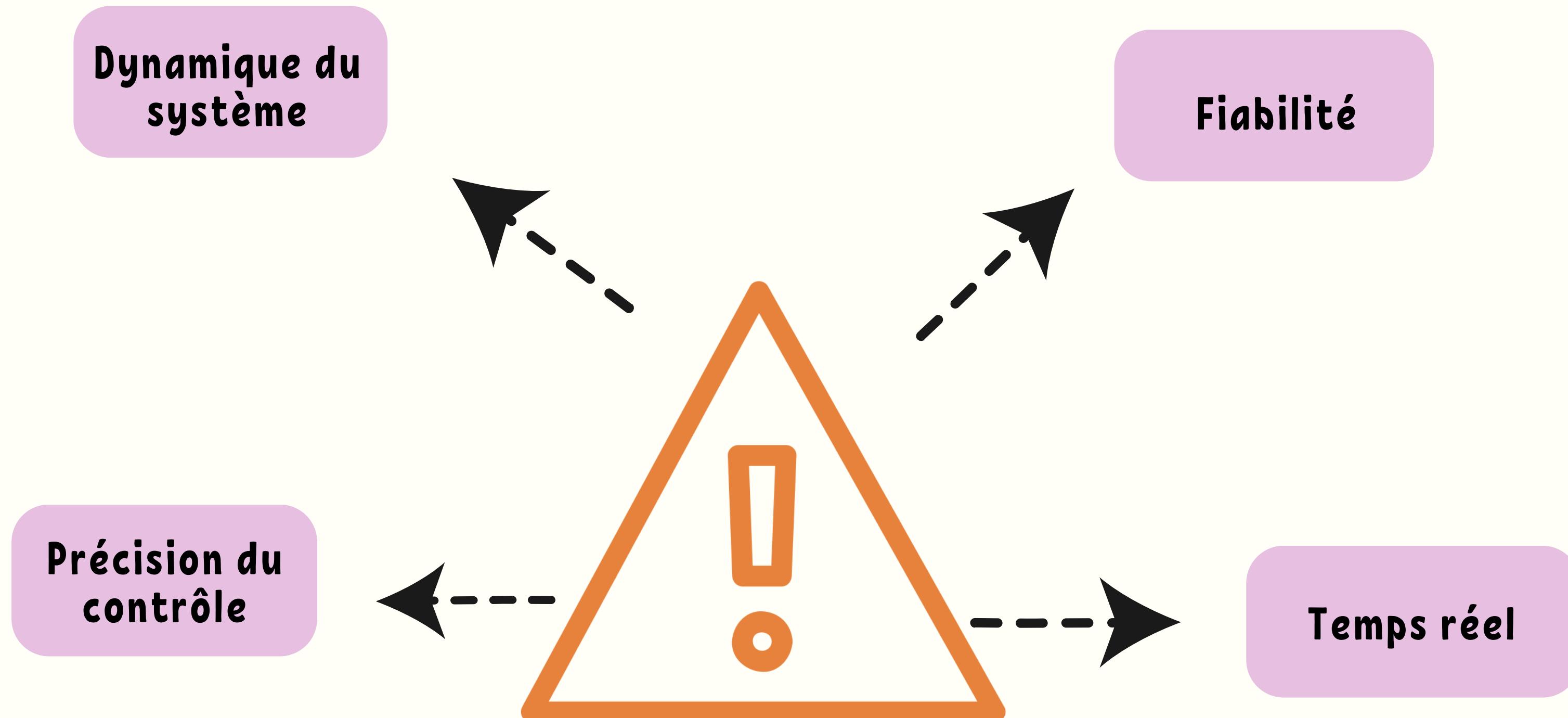
Eya Teyeb

Problématique :

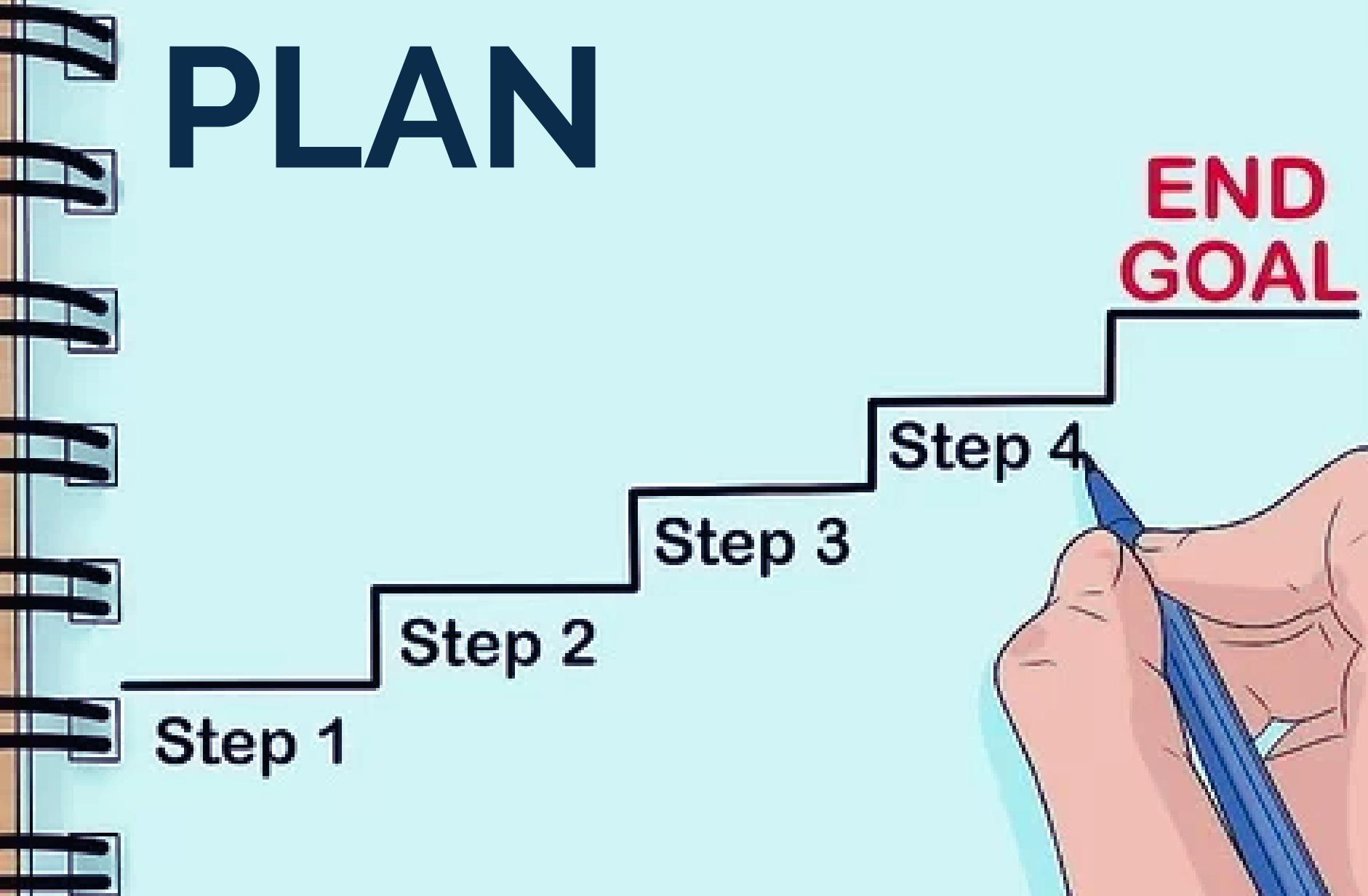
Comment concevoir et mettre en œuvre un système de contrôle efficace pour stabiliser un ballon roulant sur une poutre en mouvement en tenant compte des défis et aux contraintes ?



DÉFITS ET CONTRAINTES



PLAN



1

Présentation du Benchmark

2

Etude Théorique

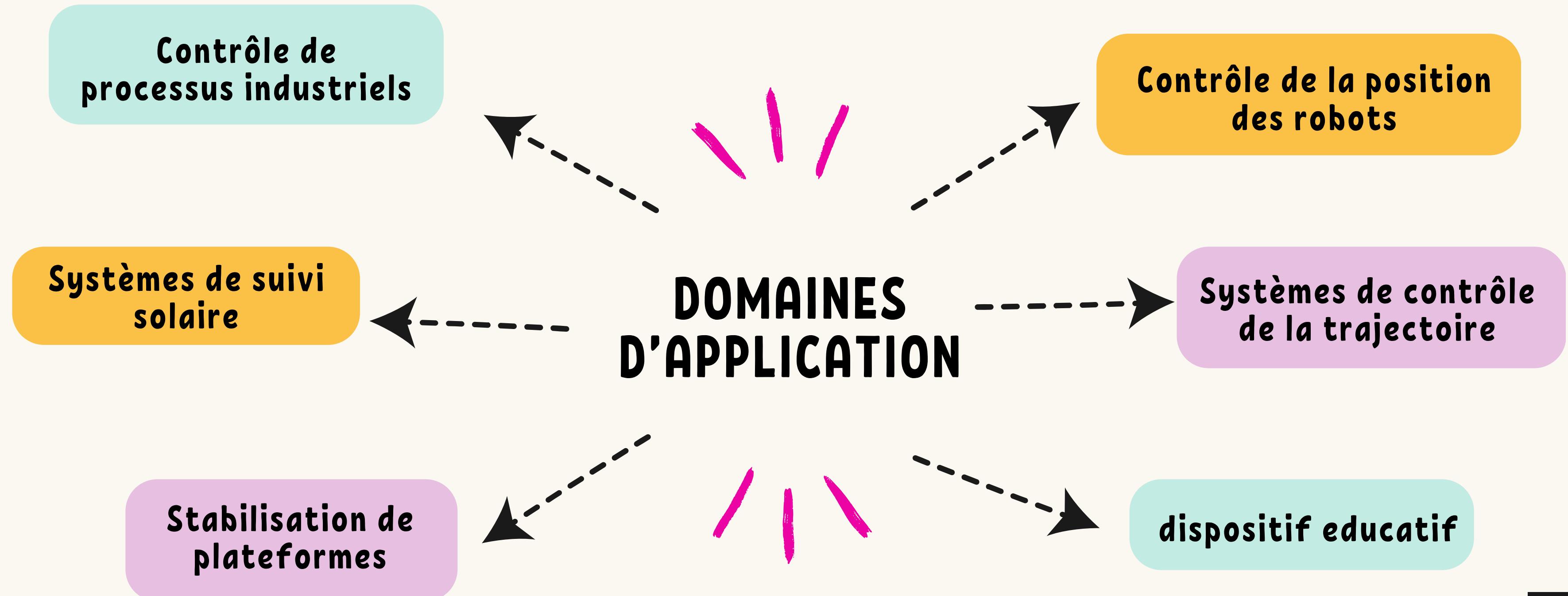
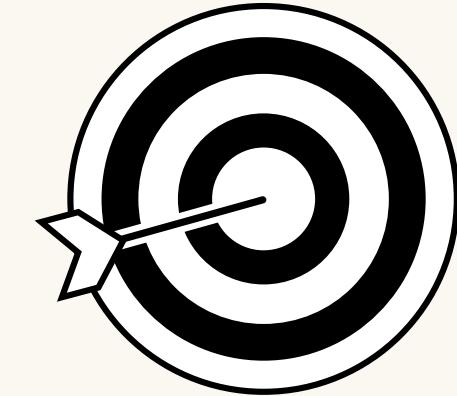
3

Etude Pratique

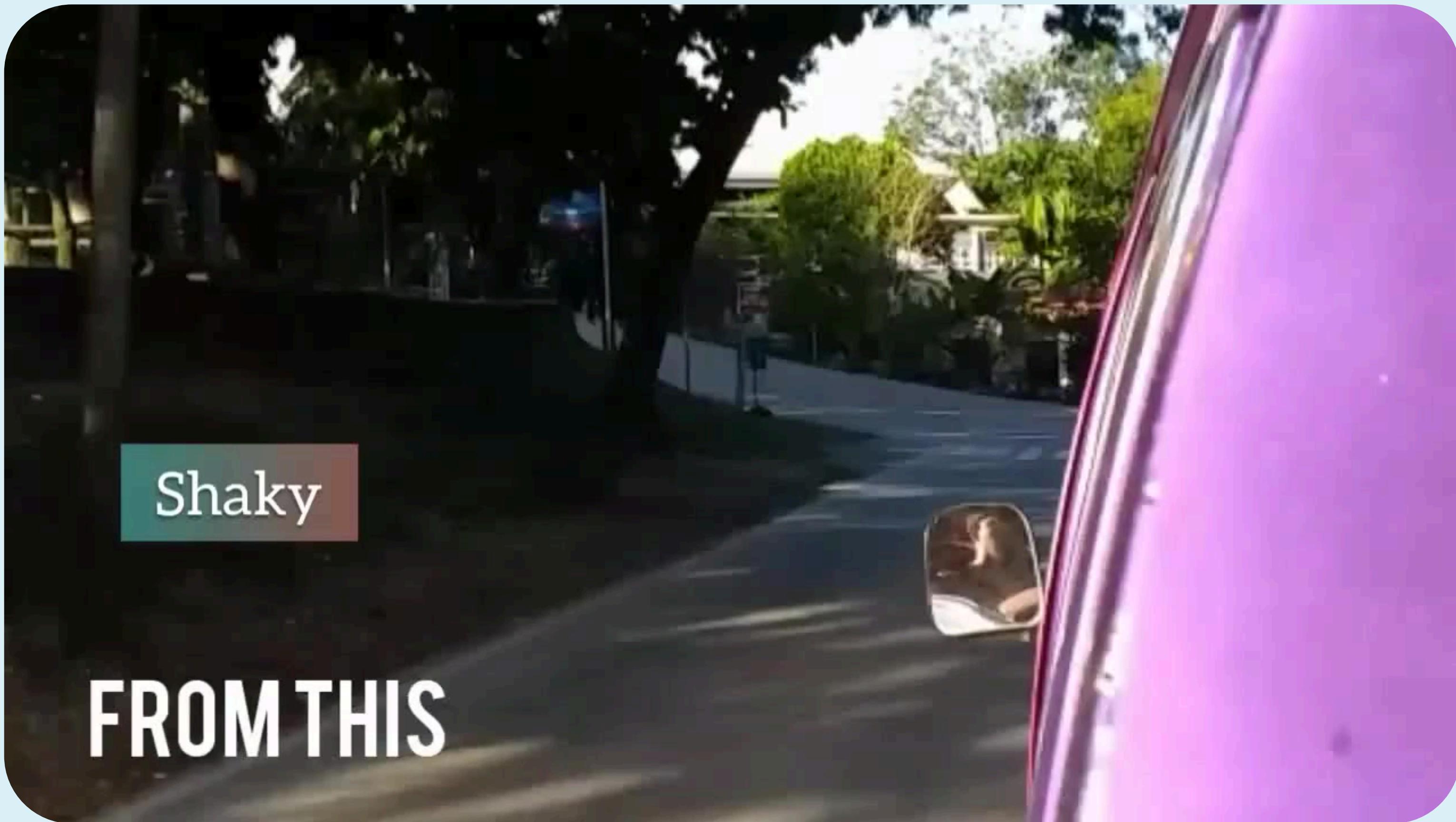
4

Conclusion et Perspective

Motivation



camera vs gamble

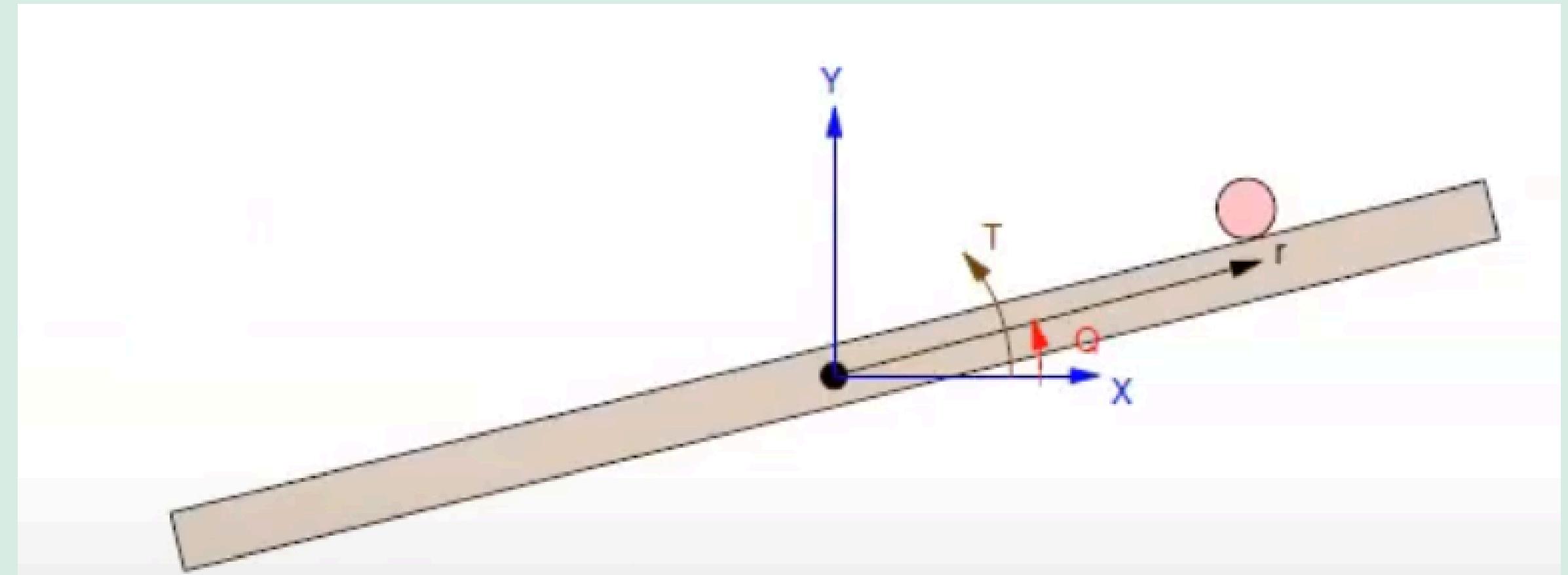
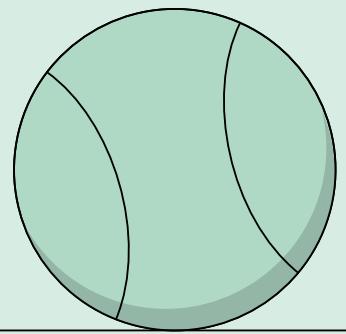


Shaky

FROM THIS

étude théorique

Description de Benchmark



- Une boule est placée sur une poutre, où elle est autorisée à rouler avec 1 degré de liberté sur toute la longueur de la poutre.
- Un bras de levier est fixé à l'extrémité de la poutre et un servomoteur fait tourner cette bras
- Lorsque l'angle est modifié par rapport à la position horizontale, la gravité fait rouler la balle le long de la poutre.
- Un contrôleur sera conçu pour ce système afin que la position de la balle puisse être manipulée.

Paramètres et variables du système

m : masse de la boule

θ : position angulaire de la barre

$\dot{\theta}$: vitesse angulaire de la barre

$\ddot{\theta}$: accélération angulaire de la barre

r : position de la boule

\dot{r} : vitesse de la boule

\ddot{r} : accélération de la boule

J : le moment d'inertie de la barre

T : couple appliqué à la barre

F : force appliquée à la boule

Modélisation mathématique du système

Position et vitesse de la boule

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$\dot{x} = \dot{r} \cos \theta - r \sin \theta \dot{\theta} \quad \dot{y} = \dot{r} \sin \theta + r \cos \theta \dot{\theta}$$

Calcul de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique

le moment d'inertie de la boule : $J_b = \frac{2}{5}mR^2$

$$EP = mgy = mgr \sin \theta$$

$$EC = \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{5}m\dot{r}^2$$

$$= \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) + \frac{1}{5}m\dot{r}^2$$

Equation de Lagrange :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \frac{\partial w}{\partial q}$$

avec : $L = E_c - E_p$



la force exercé sur la boule

Le couple sur la poutre

$$F = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial r} \right)$$

$$T = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \theta} \right)$$

Le couple exercé sur la poutre

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = -mg r \cos \theta$$

$$\frac{\partial L}{\partial \ddot{\theta}} = J \ddot{\theta} + m r^2 \dot{\theta}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = J \ddot{\theta} + m r^2 \ddot{\theta} + 2m r \dot{\theta} \dot{\theta}$$

$$\Rightarrow T = J \ddot{\theta} + m r^2 \ddot{\theta} + 2m r \dot{\theta} \dot{\theta} + mg r \cos \theta$$

la force exercé sur la boule :

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} = m \dot{r} + \frac{\varrho}{5} m \dot{r}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} \right) = m \ddot{r} + \frac{\varrho}{5} m \ddot{r}$$

$$\frac{\partial L}{\partial r} = m \dot{\vartheta}^2 r - mg \sin \vartheta$$

$$\Rightarrow F = 1,4 \ddot{r} m - m \dot{\vartheta}^2 r + mg \sin \vartheta$$

Scanned with CamScanner

la force exercé sur la boule :

le travail effectué par la force de gravité ne dépend pas du chemin suivi par la bille alors la dérivée partielle du travail par rapport à la position r est nulle

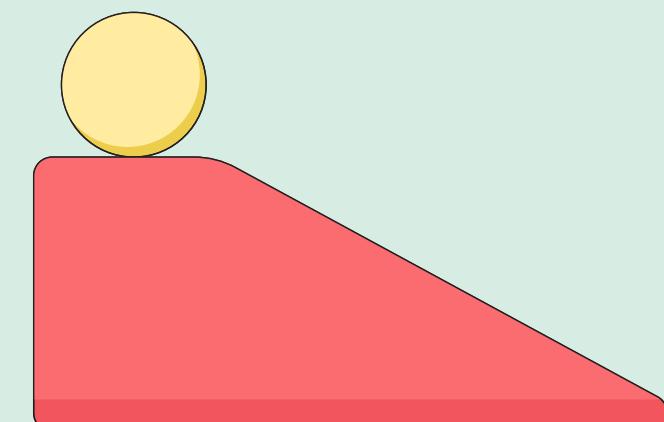
Modele non linéaire

$$\begin{pmatrix} 1,4 \text{ m} & 0 \\ 0 & m r^2 + J \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\varphi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m \pi \dot{\varphi}^2 - mg \sin \theta \\ -2m\pi \dot{\varphi} \dot{\theta} - mg \pi \cos \theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}^\top$$

Linearisation par rapport à la point d'équilibre

Au point d'équilibre : $F=0$, $\theta = 0$, $\sin(\theta)=\theta$

$$\begin{pmatrix} 1,4 \text{ m} & 0 \\ 0 & 0,15 \text{ m} + J \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\varphi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -mg\theta \\ -mg\pi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}^\top$$



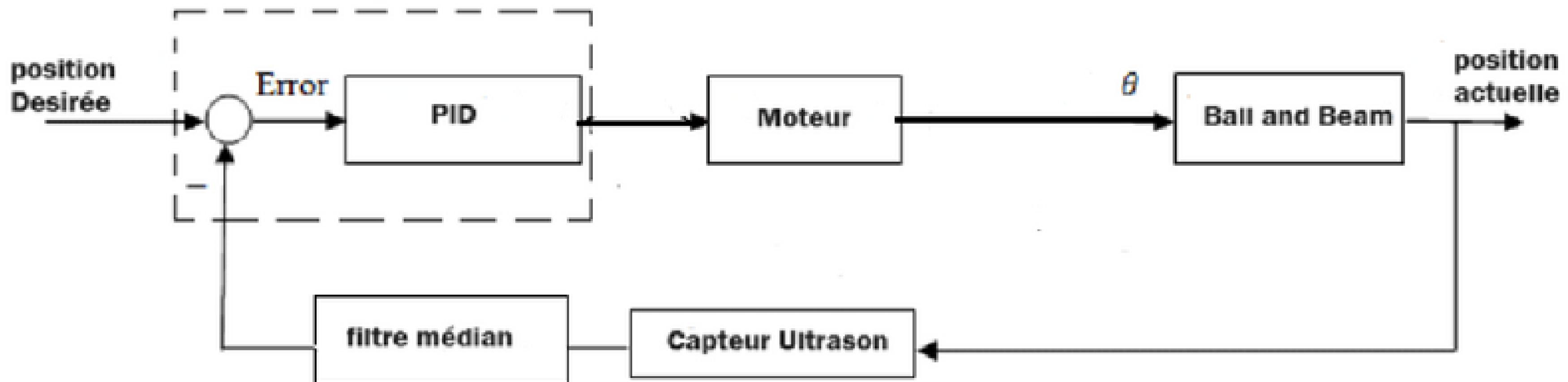
Calcul de Fonction de Transfert

- pour $F=0$, $\theta=0$, $\sin(\theta)=\theta$ et on appliquant la formule de Laplace , on a :

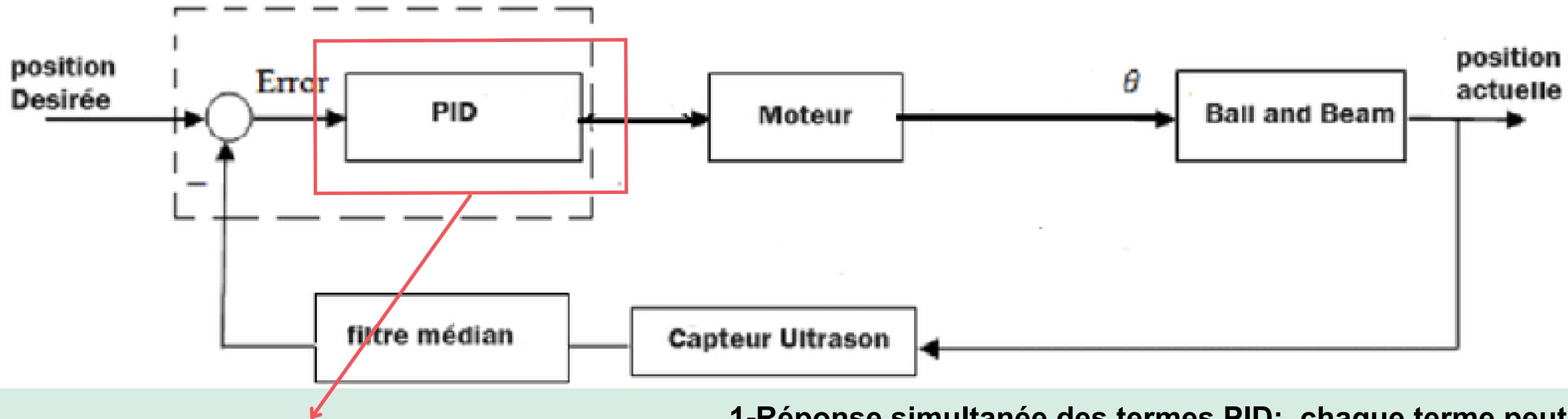
$$1,4\ddot{r}m + mg\dot{\theta} = 0$$

$$F(p) = \frac{r}{\theta} = \frac{mg}{1.4p^2 m}$$

Le Schéma Bloc



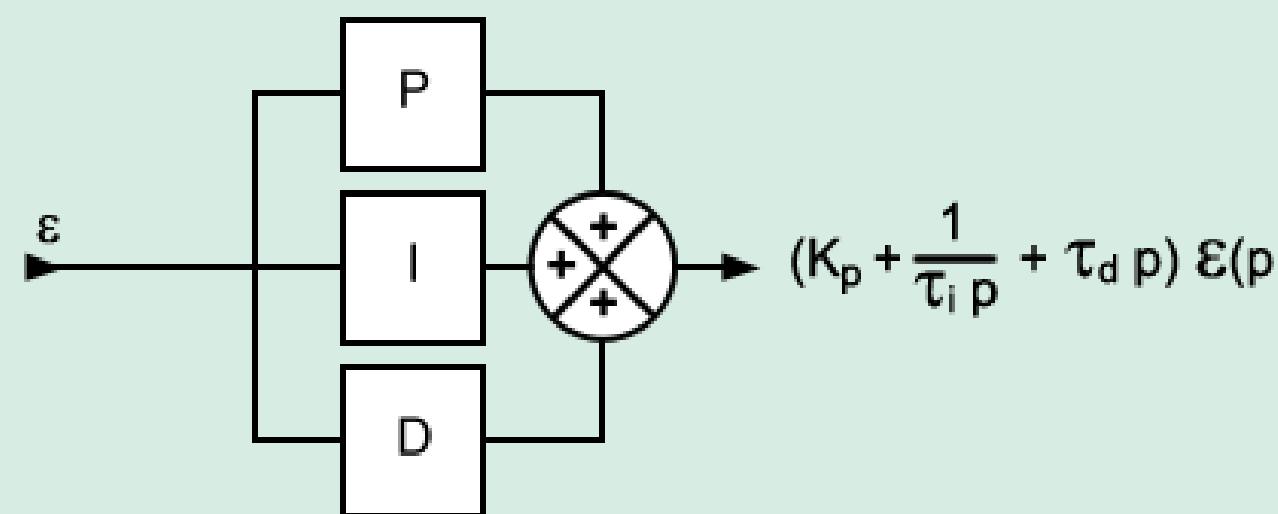
Le Schéma Bloc



1-Réponse simultanée des termes PID: chaque terme peut contribuer à la correction de l'erreur de manière immédiate dès qu'une perturbation est détectée. Par conséquent, la réponse du système peut être plus rapide

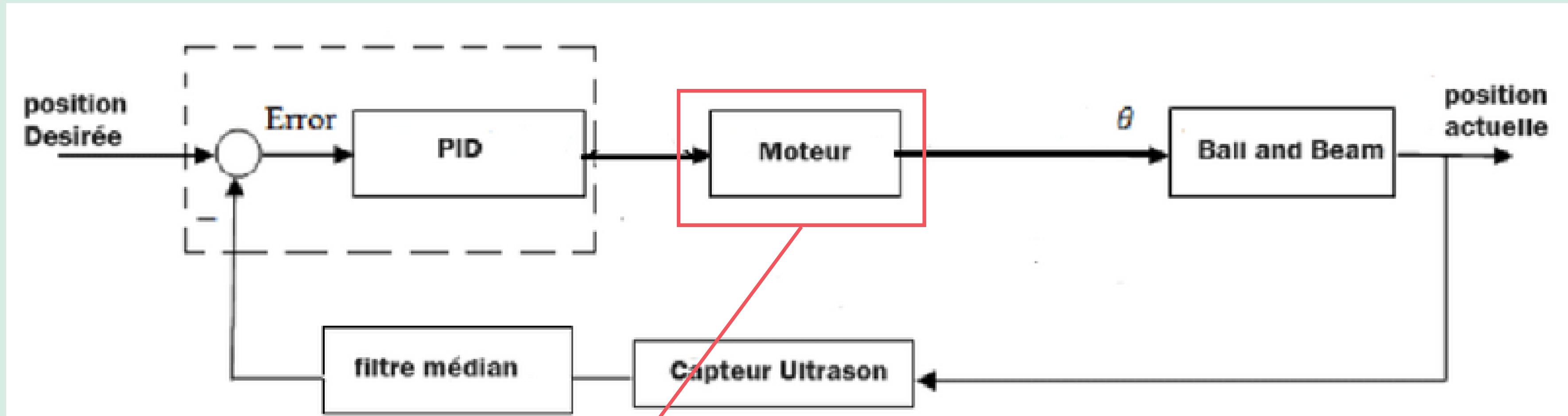
2-Absence de retard : En permettant à chaque terme de contribuer dès le début du processus de contrôle.

3 - Flexibilité et facilité de réglage : peuvent être ajustés séparément pour répondre aux besoins spécifiques du système



$$K_p = 100, K_i = 0, \text{ and } K_d = 1.8$$

Le Schéma Bloc

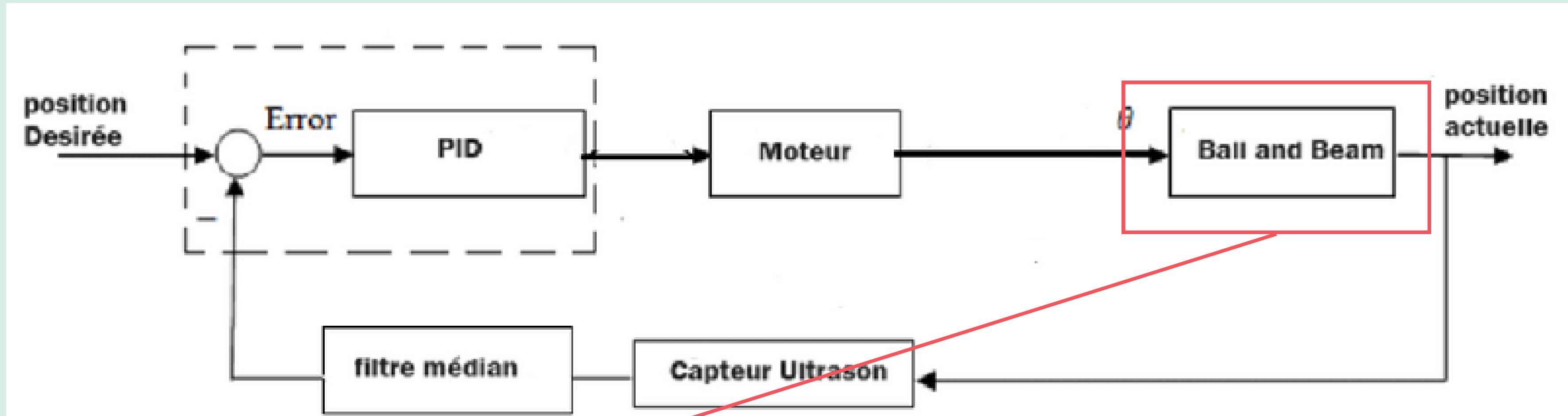


Le moteur utilise le signal de commande du contrôleur PID pour déplacer la barre et le faisceau vers la position désirée. L'entrée du moteur est une consigne de PID et la sortie est l'angle de rotation θ : la position angulaire de la barre

$$G(p) = \frac{K}{Tp+1}$$

- K est le gain du servo-moteur,
- T est la constante de temps du servo-moteur

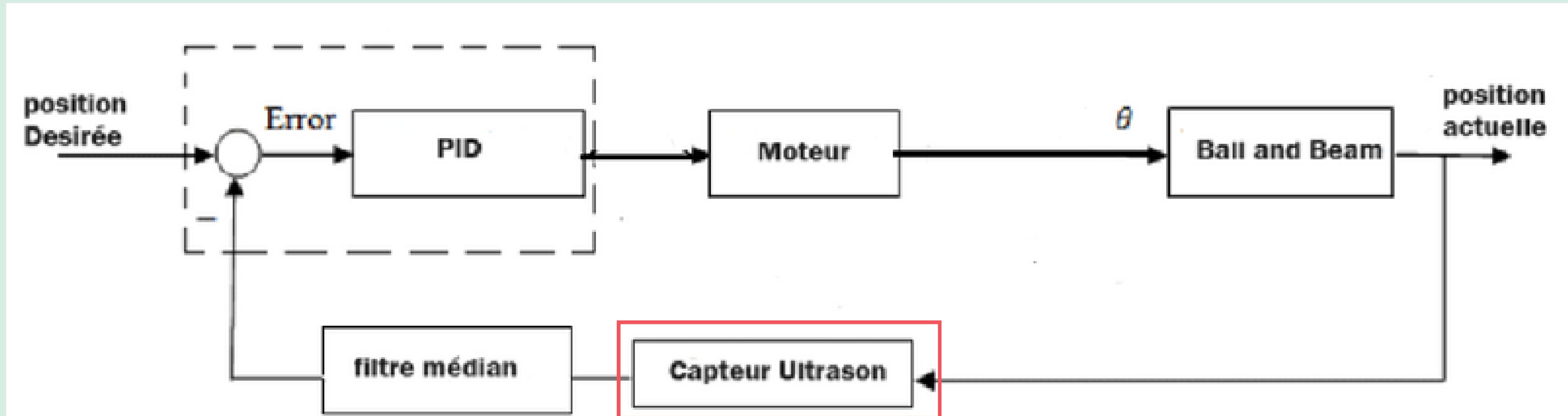
Le Schéma Bloc



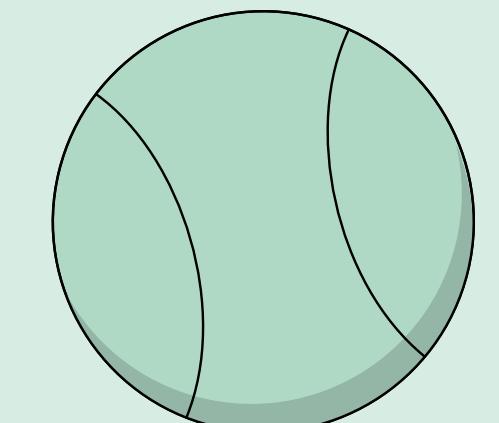
$$F(p) = \frac{r}{\theta} = \frac{mg}{1.4p^2m}$$

la double intégrale dans le contrôle signifie nous devons intégrer deux fois le signal de commande pour obtenir la position désirée de la boule afin de réguler à la fois la position et la vitesse du ballon pour maintenir l'état s'équilibre
-> Contrôle de processus complexe

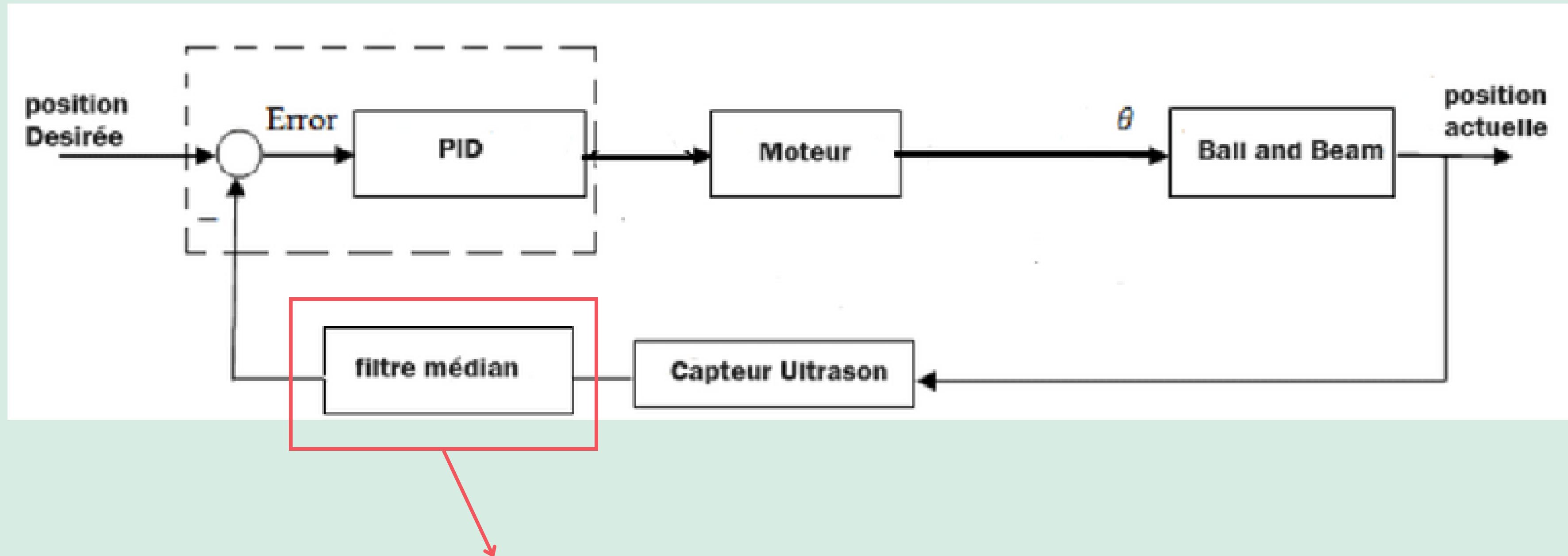
Le Schéma Bloc



- L'entrée du capteur est généralement un signal de commande qui déclenche l'émission des ondes sonores.
- La sortie du capteur serait une mesure de distance, exprimée en centimètres, indiquant la distance entre le capteur et le ballon sur la poutre.



Le Schéma Bloc



Le filtre médian est utilisé pour traiter les mesures du capteur en supprimant les valeurs extrêmes et en réduisant le bruit impulsif. Il remplace chaque échantillon par la médiane de ses voisins, assurant ainsi des mesures plus précises et stables de la position de la boule, tout en atténuant les valeurs aberrantes ce qui permet d'obtenir une mesure plus précise et stable.

étude pratique

Conception Mécanique

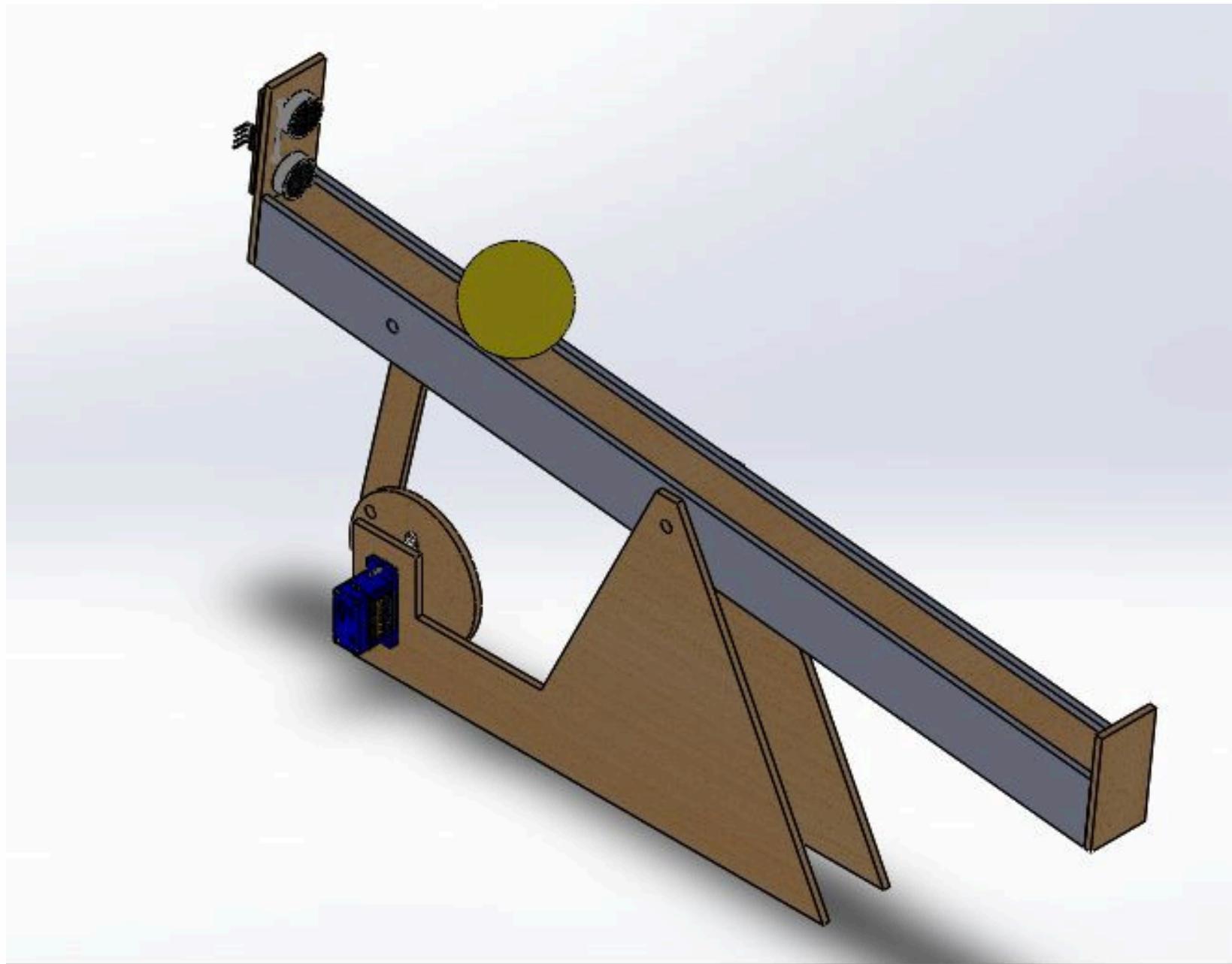
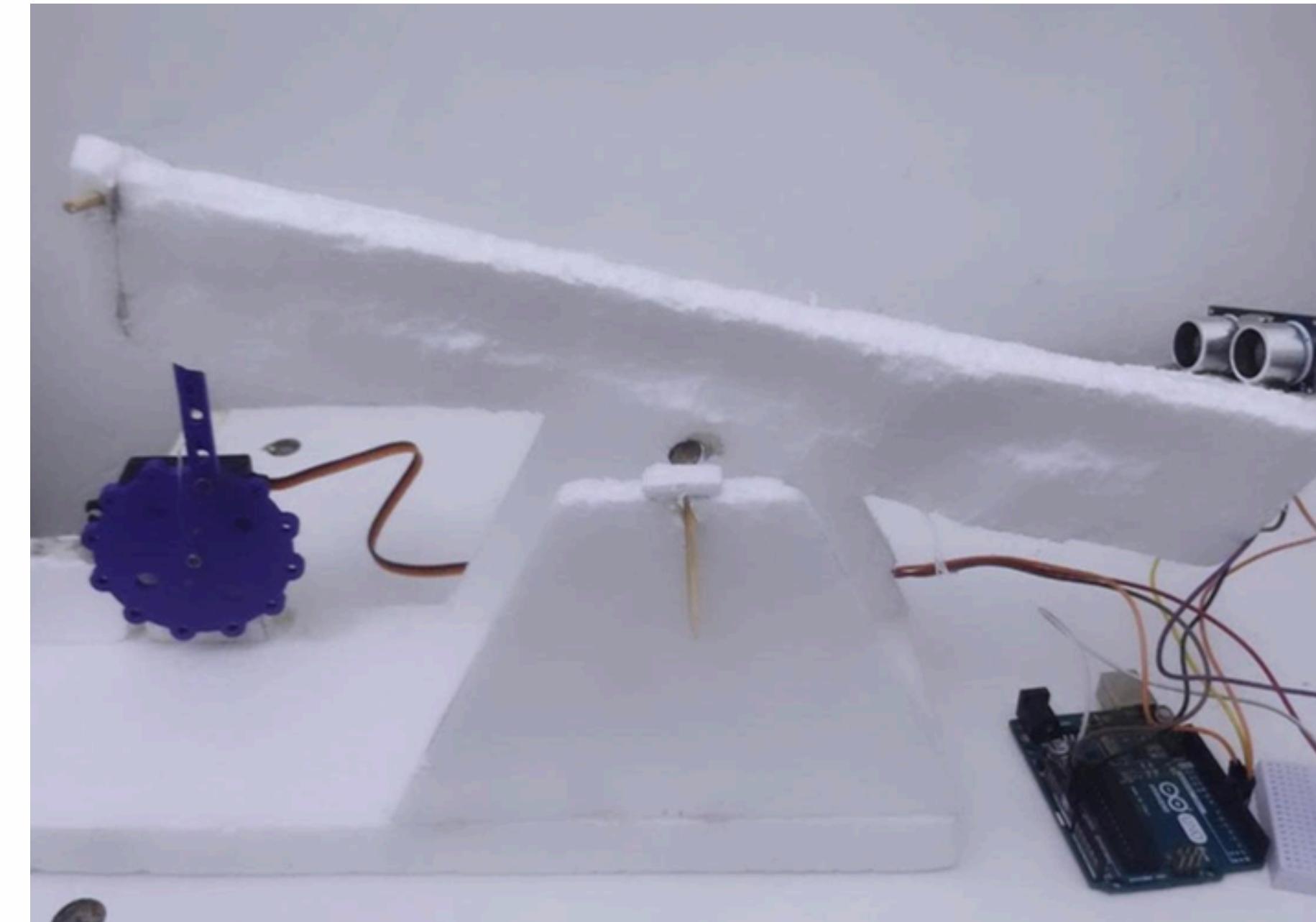
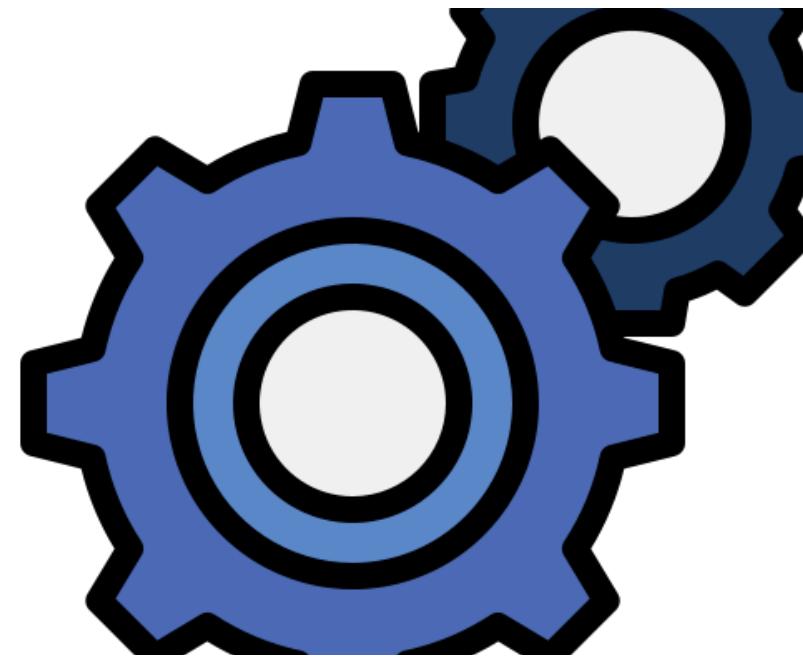


Photo réelle



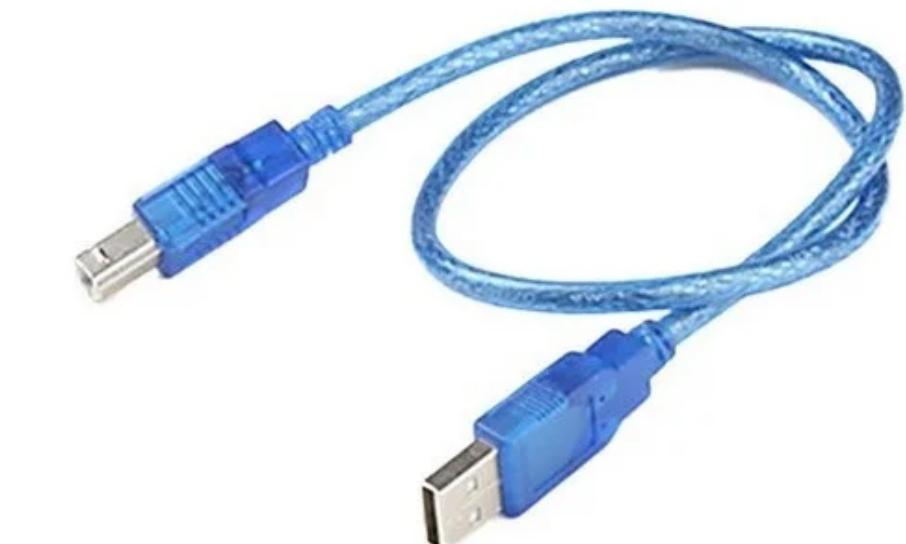
MATERIELS UTILISÉS:



roue dentée



plaque à essai



**câble USB A/B pour
arduino**



**mousse de
polystyrène expansé
(EPS)**



Tournevis



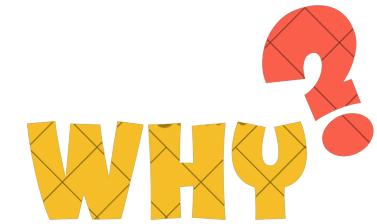
couper à lame



Pistolet à colle chaude



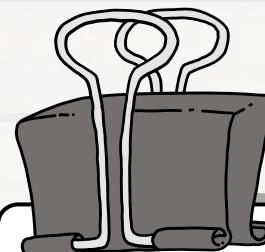
Carte arduino uno



justification d'utilisation :

- **Facilité** de programmation grâce à un environnement convivial, pouvant être programmée avec LabVIEW.
- **Adaptabilité** pour l'utilisation de capteurs et d'actuateurs divers.
- **Coût** abordable, rendant le projet accessible.
- Interface conviviale pour la visualisation et le débogage.
- **Compatibilité** avec de nombreuses extensions et modules.





Capteur ultrasons

WHY?

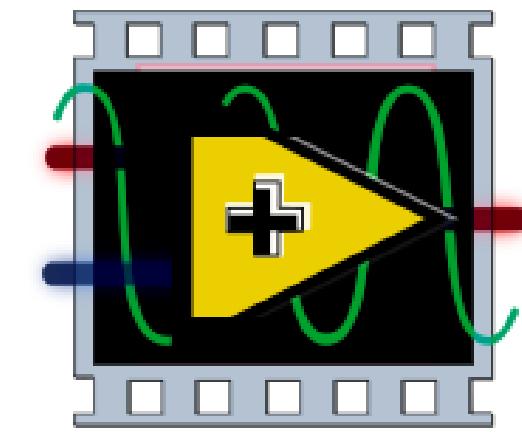


justification d'utilisation :

- Mesure **précise** de la distance entre le ballon et la poutre en temps réel.
- Fonctionnement **sans contact** physique, réduisant les risques d'interférence.
- **Fiabilité** et **stabilité** des mesures dans diverses conditions environnementales.
- **Adaptabilité** à différentes plages de mesure pour diverses configurations.
- **Intégration** aisée dans le système de contrôle avec des interfaces standardisées et une **compatibilité** avec les plates-formes de développement telles que l'Arduino et LabVIEW.

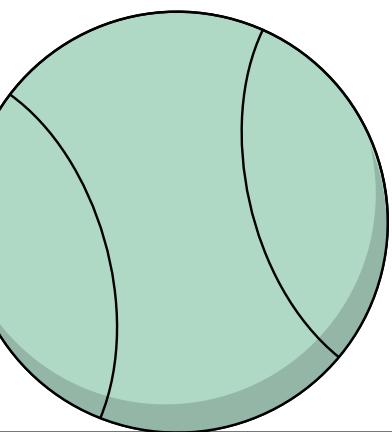


Partie Logicielle:



LabVIEW

Communication



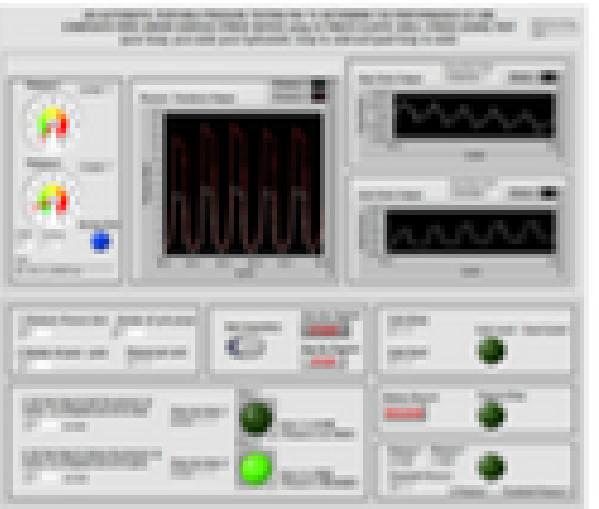
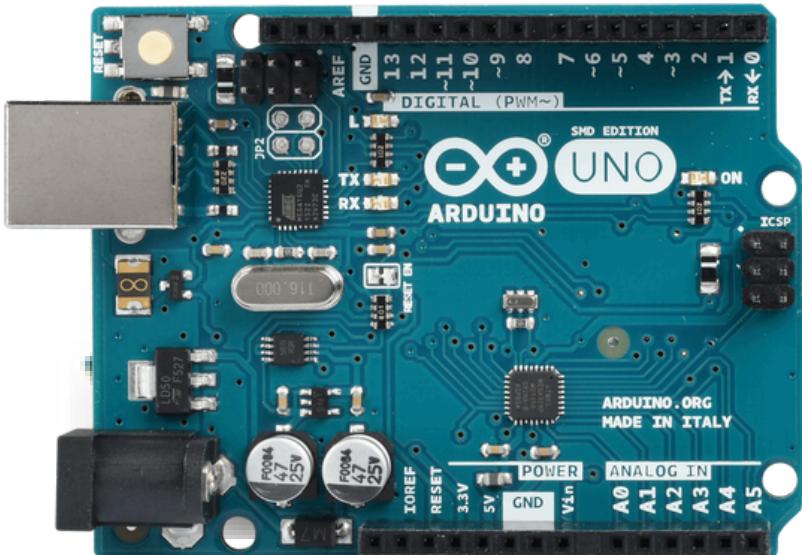
Arduino Uno

Cable USB

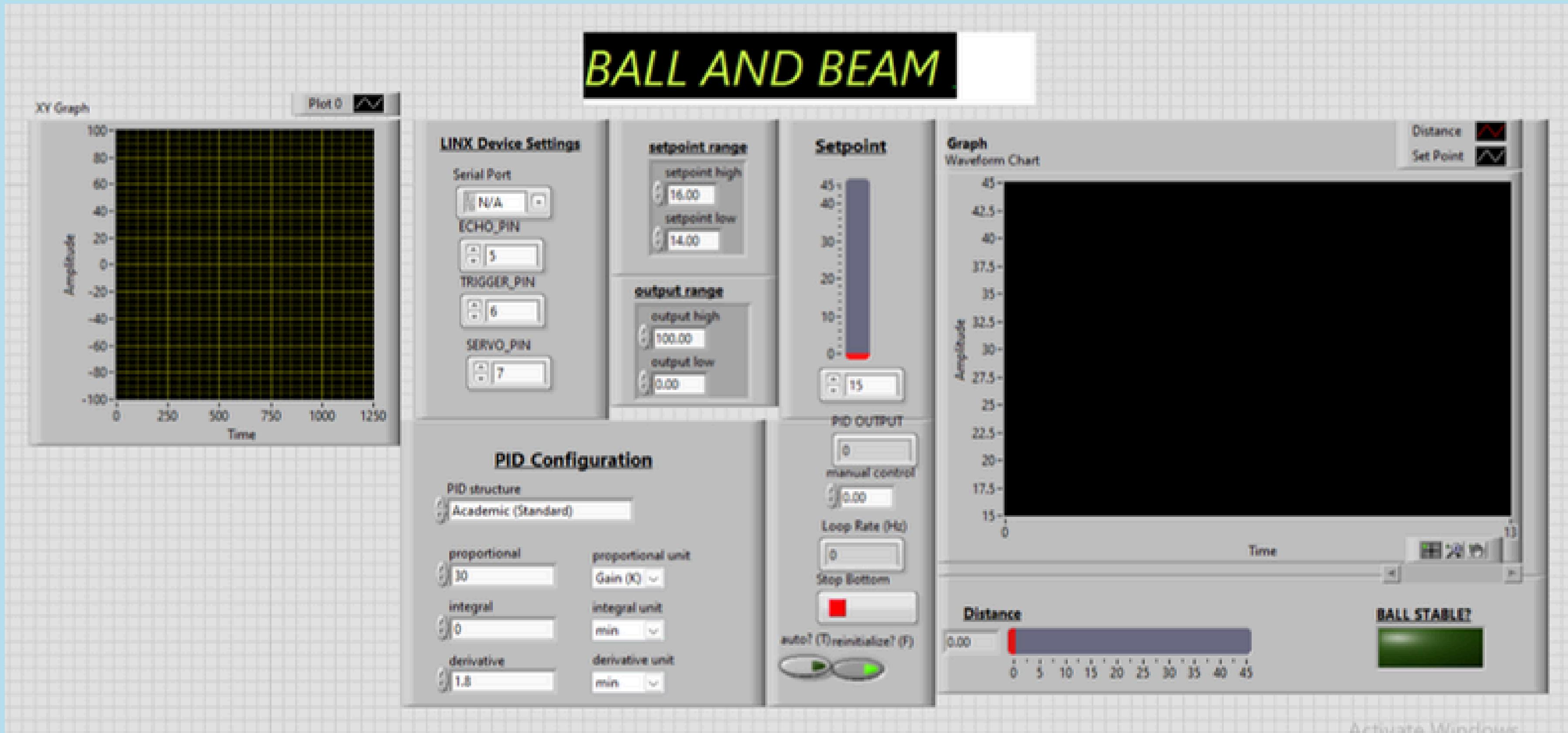
PC

LINX

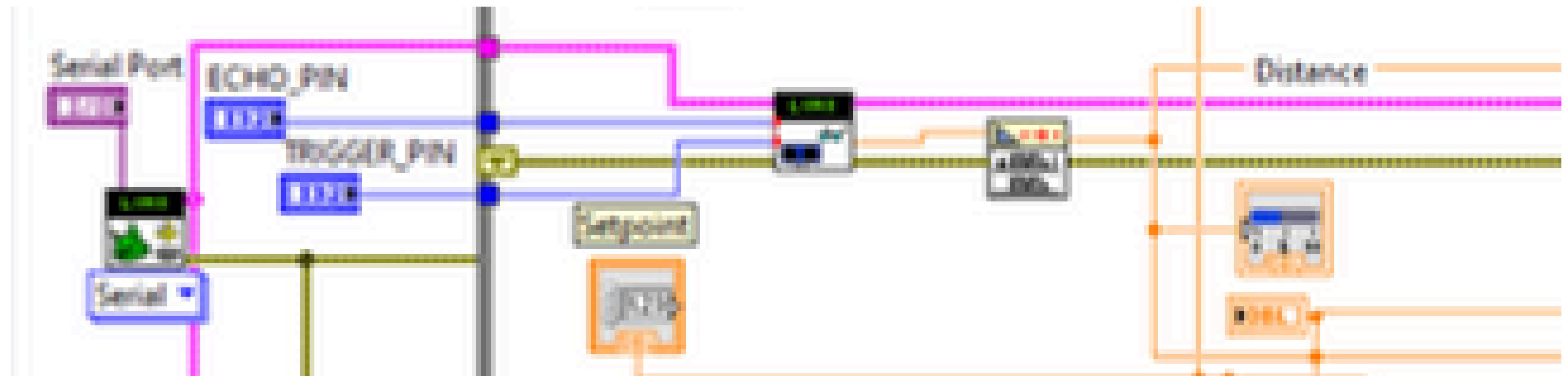
LABVIEW



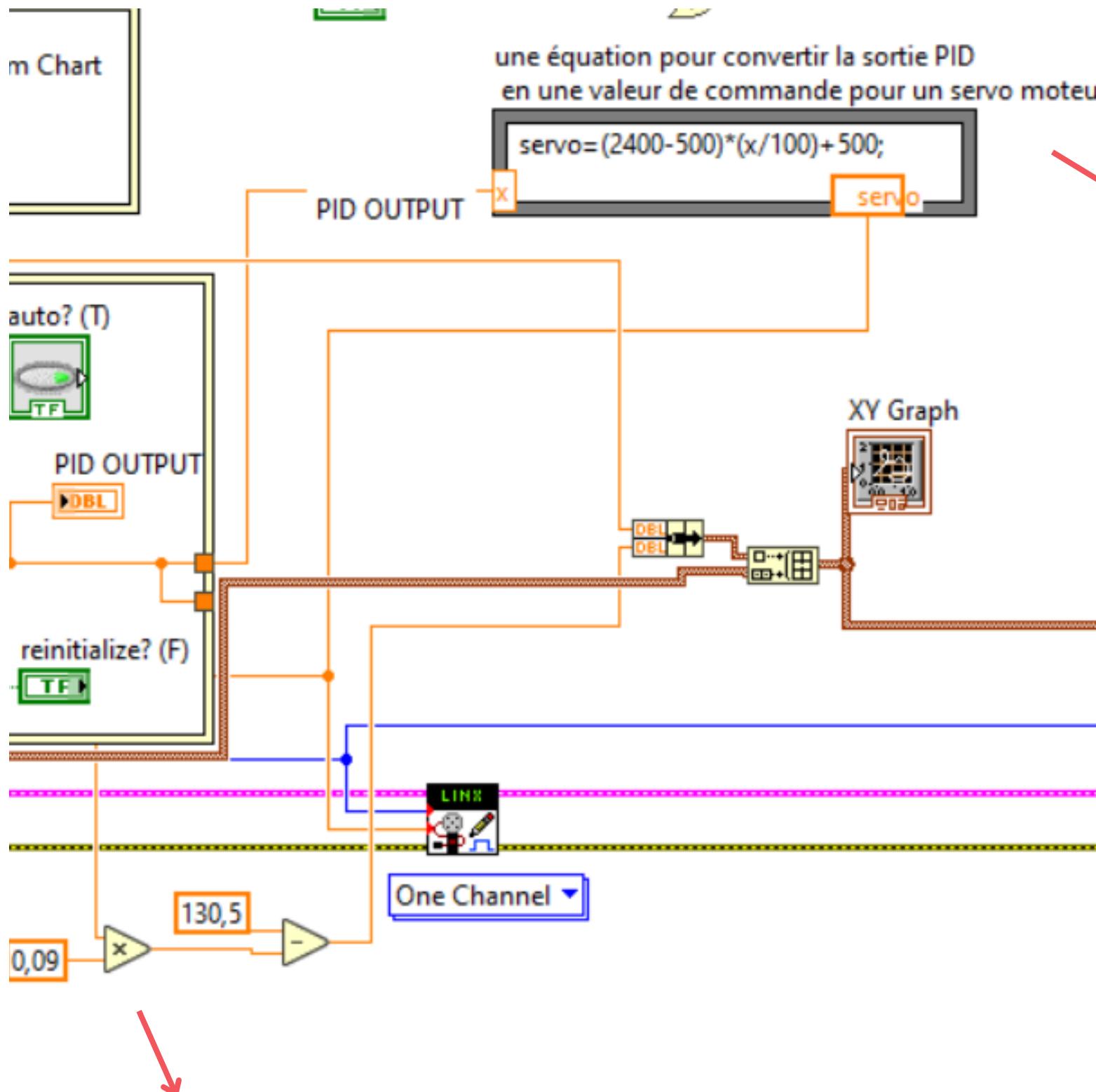
Front panel



Explication partie capteur ultrason dans Labview



Explication partie servo-moteur dans Labview



une équation pour convertir la sortie PID
en une valeur de commande pour un servo moteur

$$servo = (2400 - 500) * (x / 100) + 500;$$

Pour convertir de PID Output x vers un Largeur d'un signal PWM :

$$\text{PulseWidth} = \text{Offset} + \text{PID_Output} \times \frac{\text{Range}}{\text{PID_Range}}$$

Où :

PWM Width est la largeur de l'impulsion PWM résultante.

Offset est un décalage facultatif pour ajuster la largeur de l'impulsion PWM

PWM Range est la plage de largeur d'impulsion PWM

PID Range est la plage de sortie du régulateur PID.

Pour convertir de Largeur d'un signal PWM vers un angle :

$$\theta = (\text{PWM} * 0.09) - 130.5$$

Bloc Diagram

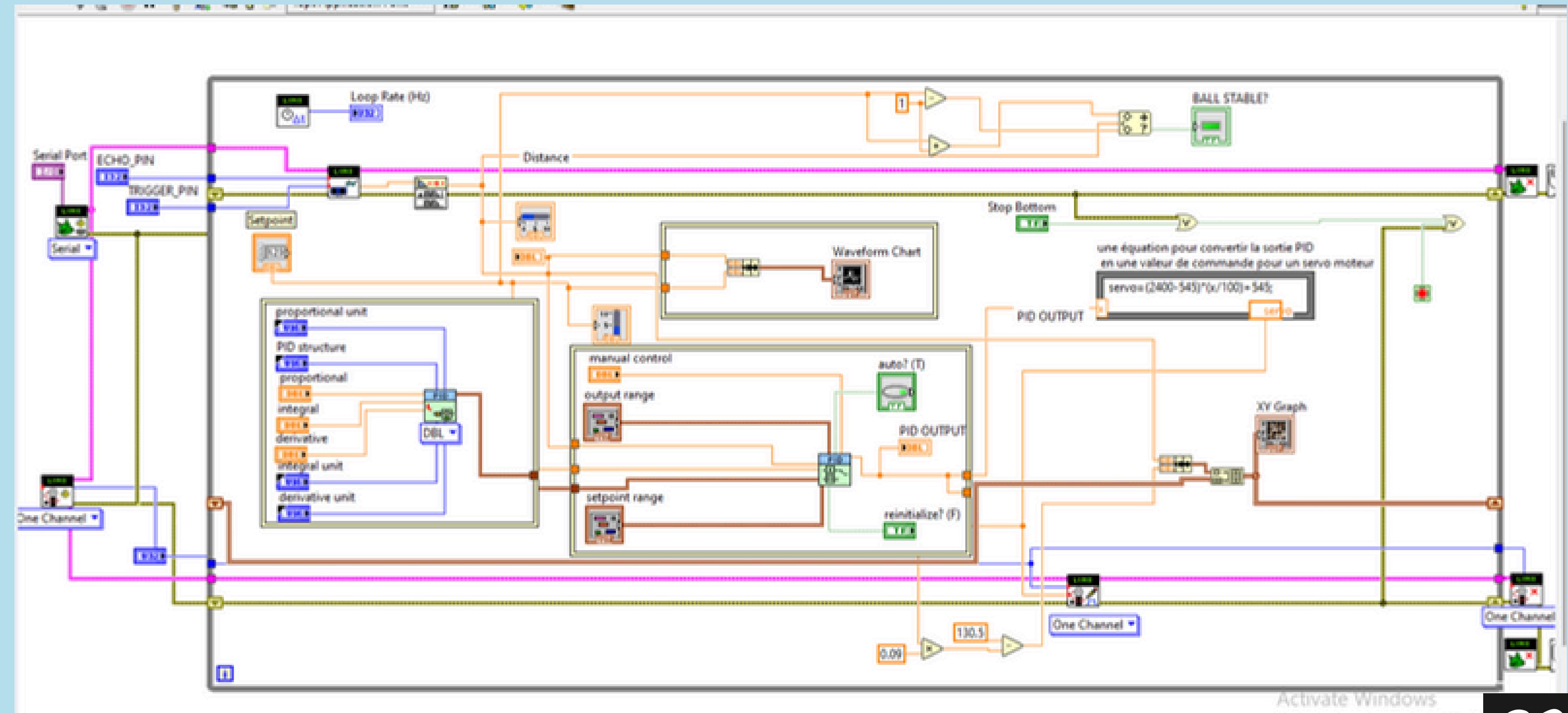
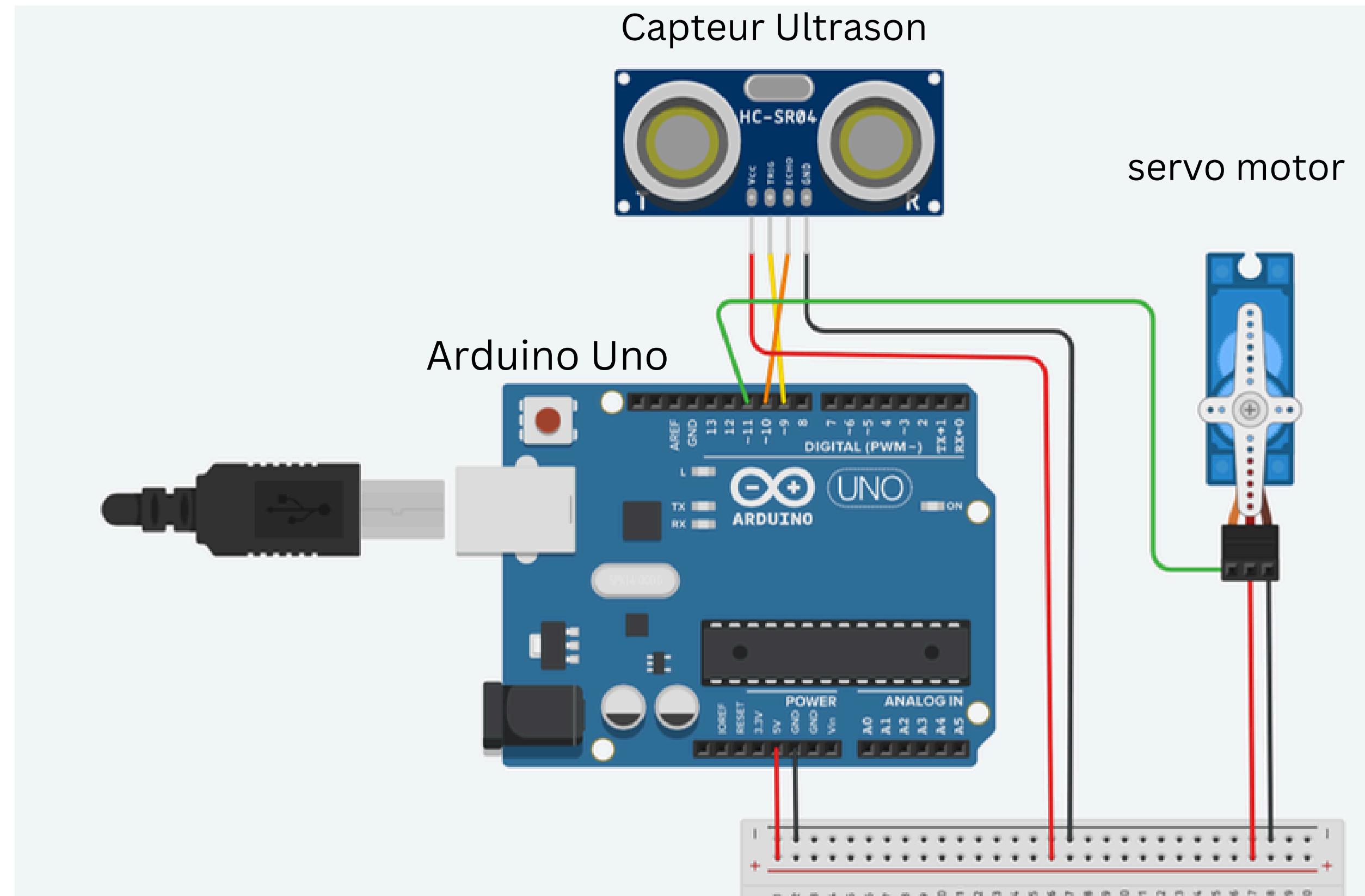


Schéma électrique



Conclusion et Perspective

Le projet Ball and Beam a été une expérience réussie, combinant théorie et pratique. Nous avons acquis des compétences en contrôle automatique, en ingénierie et en utilisation du logiciel LabVIEW. Pour l'avenir, nous envisageons d'optimiser le système et d'explorer de nouveaux domaines d'application. En résumé, ce projet ouvre la voie à de nouvelles découvertes dans le domaine du contrôle automatique.



**Merci pour
votre
attention**

