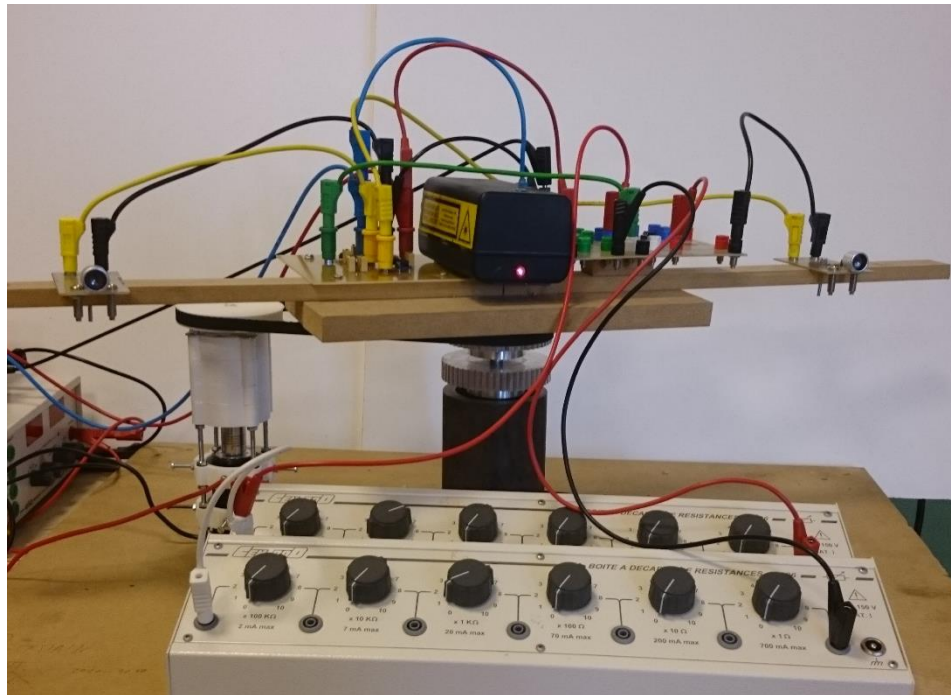
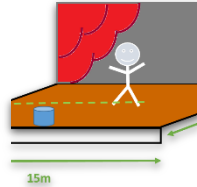


Poursuite lumineuse automatisée

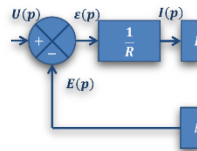
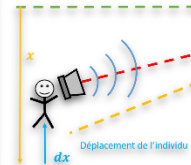


Sommaire



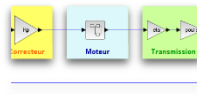
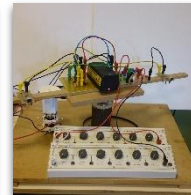
Cahier des
charges

Fonctionnement
théorique



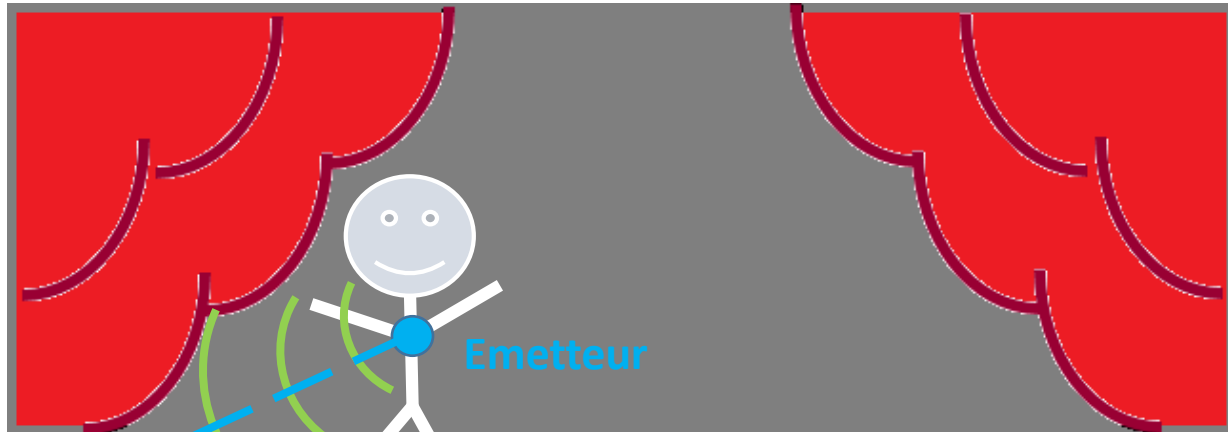
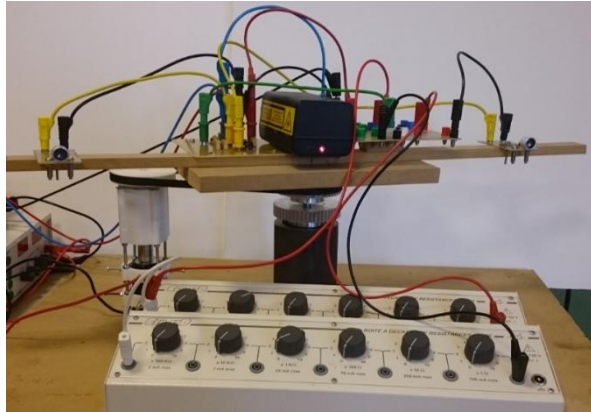
Moteur MCC

Système réel

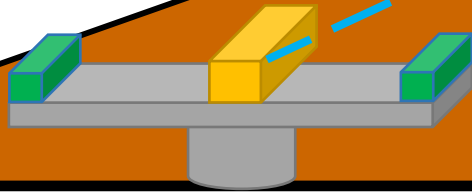


Asservissement

Principe de fonctionnement



Poursuite

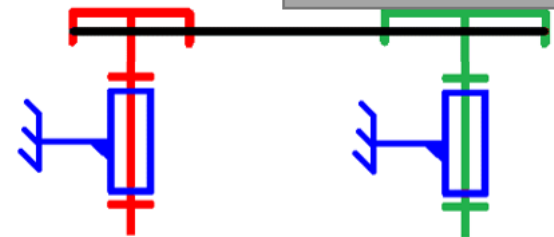
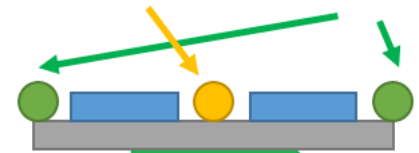


7m

15m

Source lumineuse

Récepteurs



Cahier des charges et choix de la réduction

<<Requirement>>

Motorisation

- Moteur à courant continu

<<Requirement>>

Technologie

- Utilisation d'ultrasons pour la localisation

<<Requirement>>

Caractéristiques de la scène

- 15m de large
- 7m de profondeur
- Individu à 4m du bord de la scène

<<Requirement>>

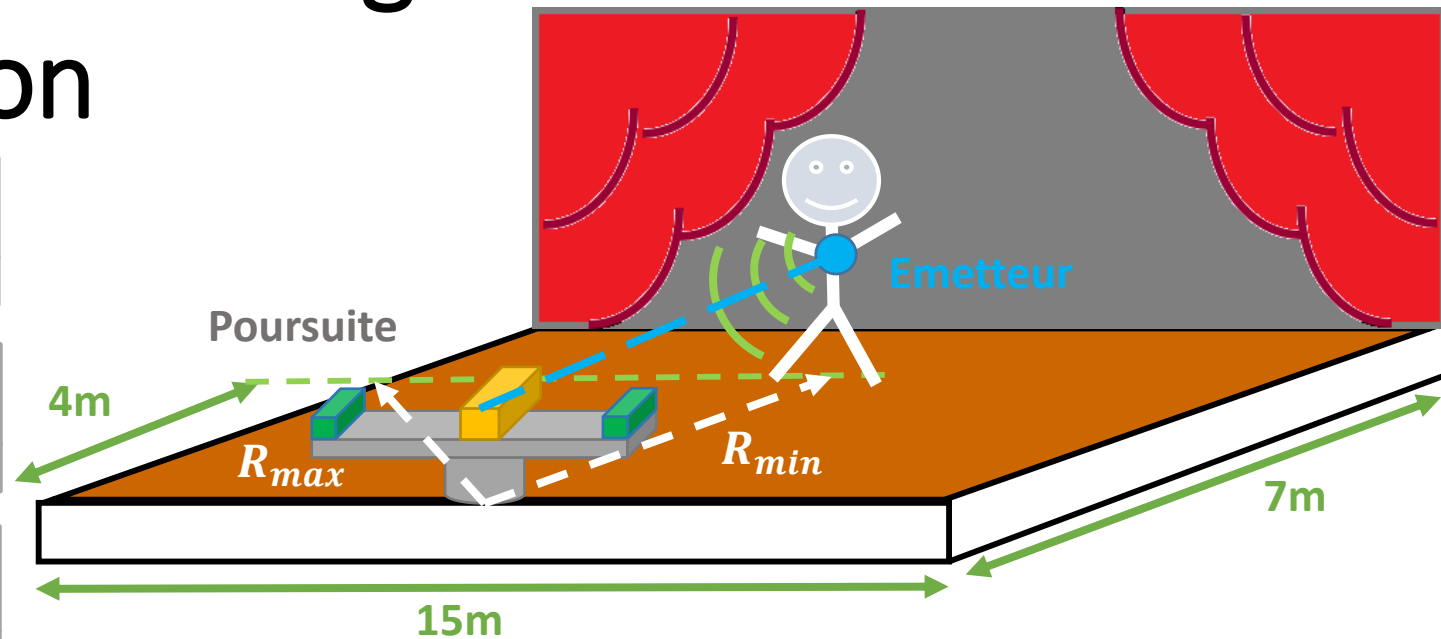
Performances du système

- Précision du positionnement de la lumière à $\pm 30\text{cm}$ de l'individu
- Suivi autonome de l'individu
- Vitesse maximale de l'individu à suivre: 1m/s

<<Requirement>>

Caractéristiques physiques du système

- Encombrement réduit
- Position centrée sur la largeur de la scène, au bord avant
- Dispositif portable d'émission



$$1,12 \text{ tr/min} \leq \omega_r \leq 2,39 \text{ tr/min}$$

Or à $8V$: $\omega_{mot} = 1882 \text{ tr/min}$

$$Z_{porte\ satellite} = 12$$

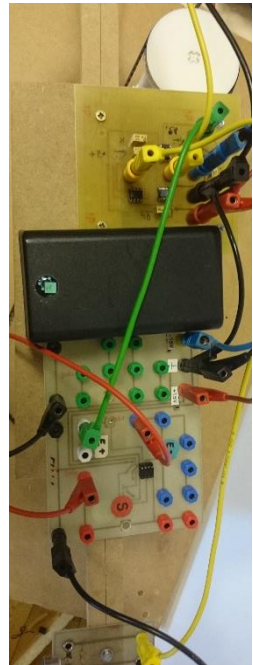
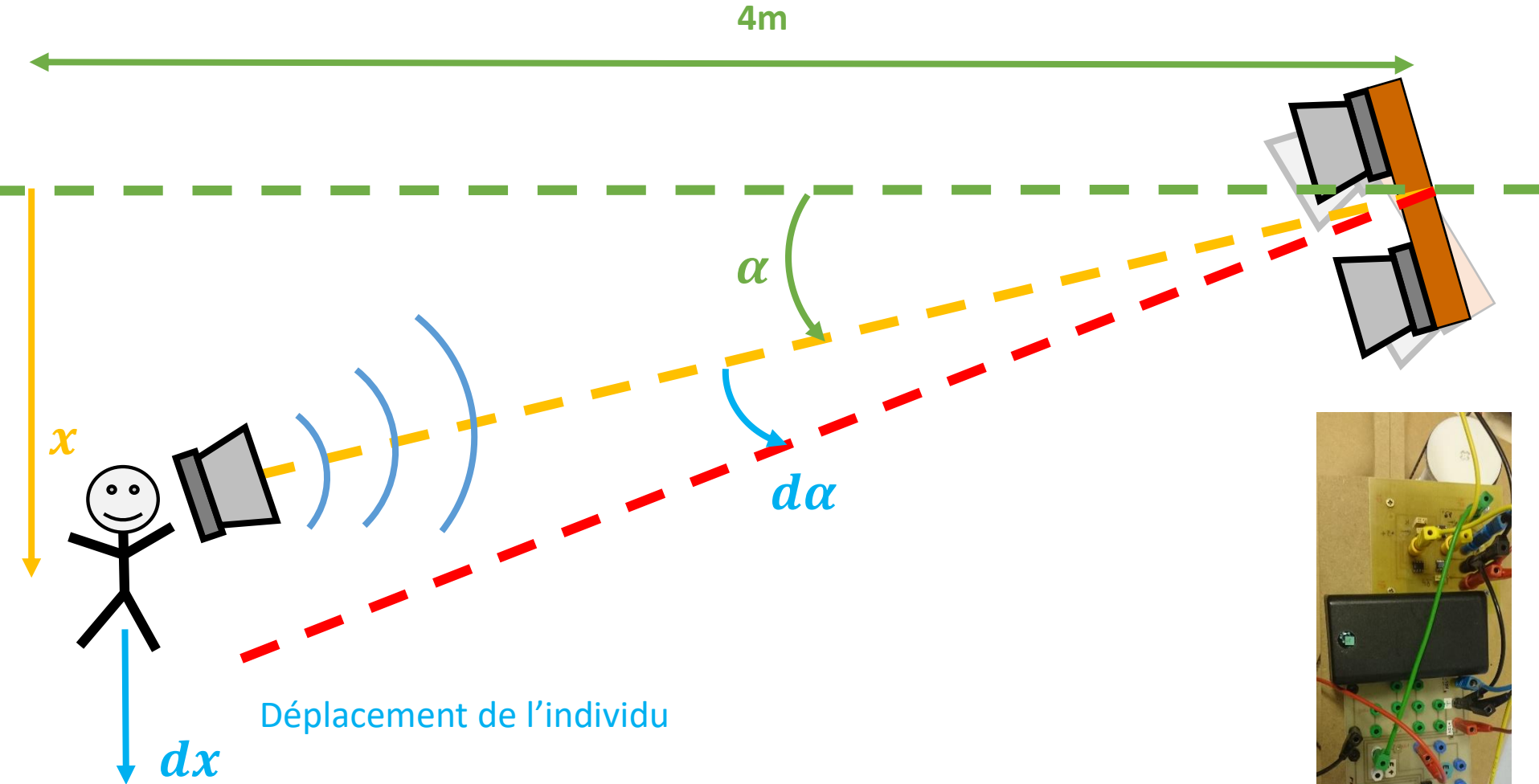
$$Z_{couronne} = 53$$



$$\text{Pour 4 étages : } \eta = \left(\frac{Z_{porte\ satellite}}{Z_{porte\ satellite} + Z_{couronne}} \right)^4 = \left(\frac{1}{5,42} \right)^4 = \frac{1}{861}$$

Vitesse en sortie : $\omega_r = 2,19 \text{ tr/min}$

Fonctionnement théorique



Fonctionnement théorique

Porteuse :

$$p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$$

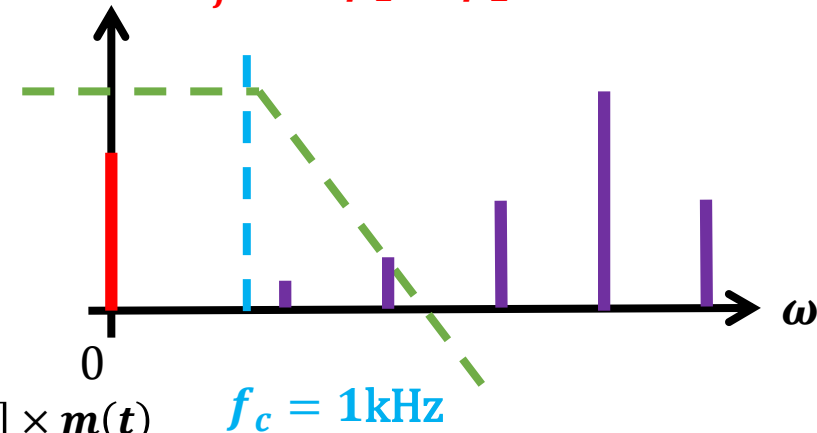
Modulant :

$$m(t) = A_m \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(2\pi(2k+1)f_m t)}{2k+1}$$

Emission avec modulation AM :

$$E(t) = [1 + p(t)] \times m(t)$$

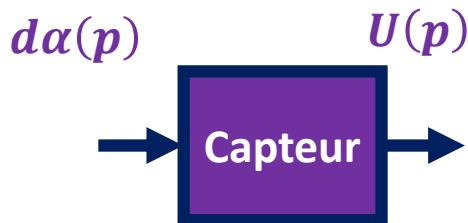
$$A_f \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$



$$= A_m A_p \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\frac{1}{2} \sin(2\pi(2k+1)f_m t + 2\pi f_p t) + \frac{1}{2} \sin(2\pi(2k+1)f_m t - 2\pi f_p t) + \sin(2\pi(2k+1)f_m t)}{2k+1}$$

Multiplication : $M(t) = R_1(t) \times R_2(t)$

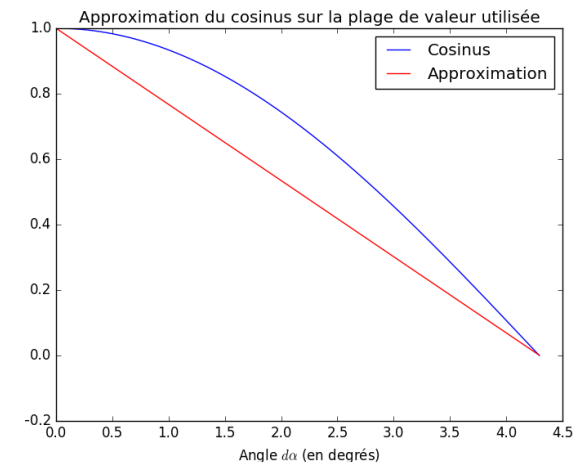
Filtrage (valeur moyenne) : $S(t) \approx A_f \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$



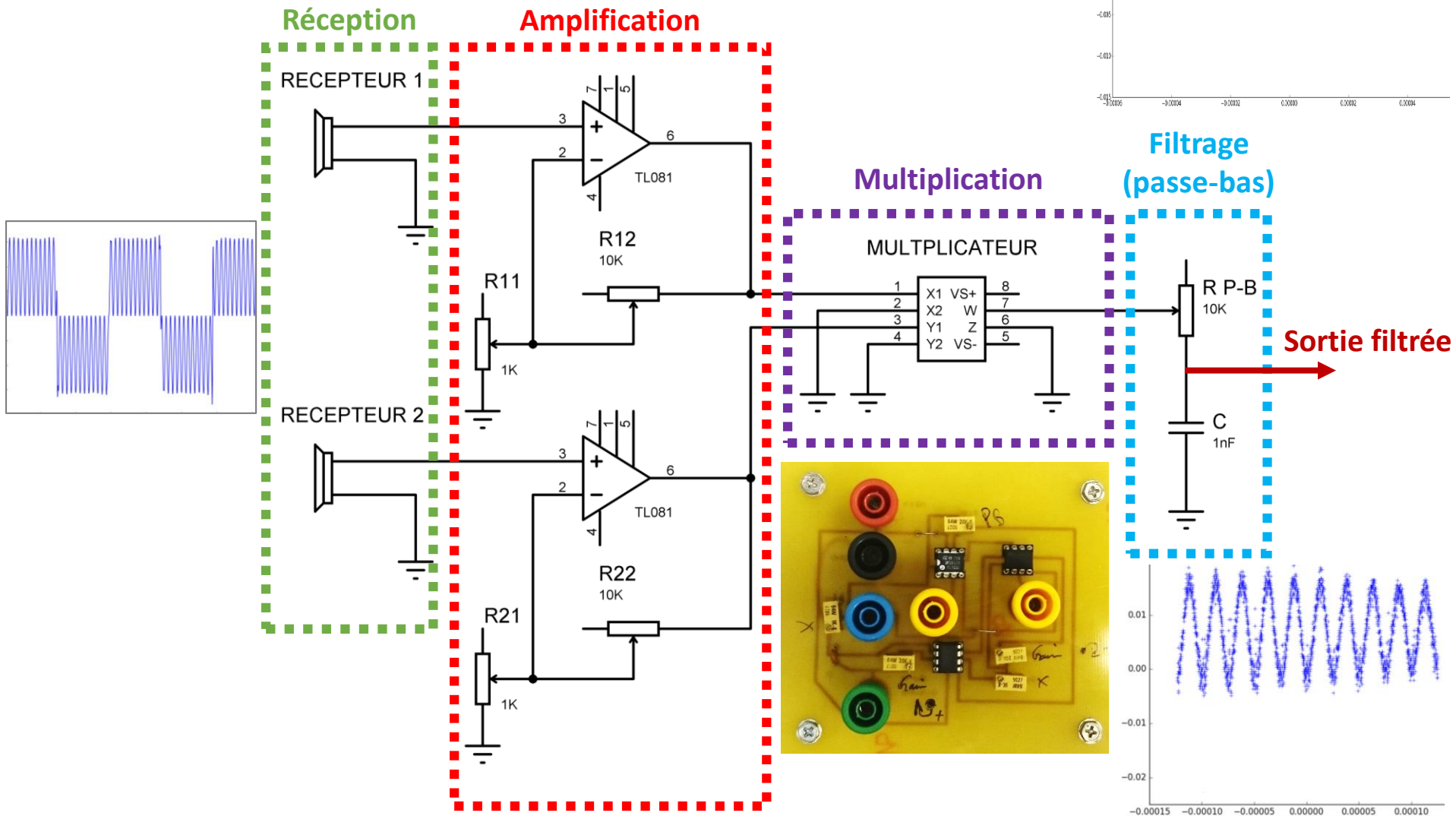
$$U \approx A \cos(20,96 d\alpha)$$

$$\text{D'où : } U \approx A \left(1 - \frac{d\alpha}{0,75} \right)$$

Par le calcul : $f_m = 1890\text{Hz}$



Fonctionnement théorique: Réception du signal émis



Moteur à Courant Continu

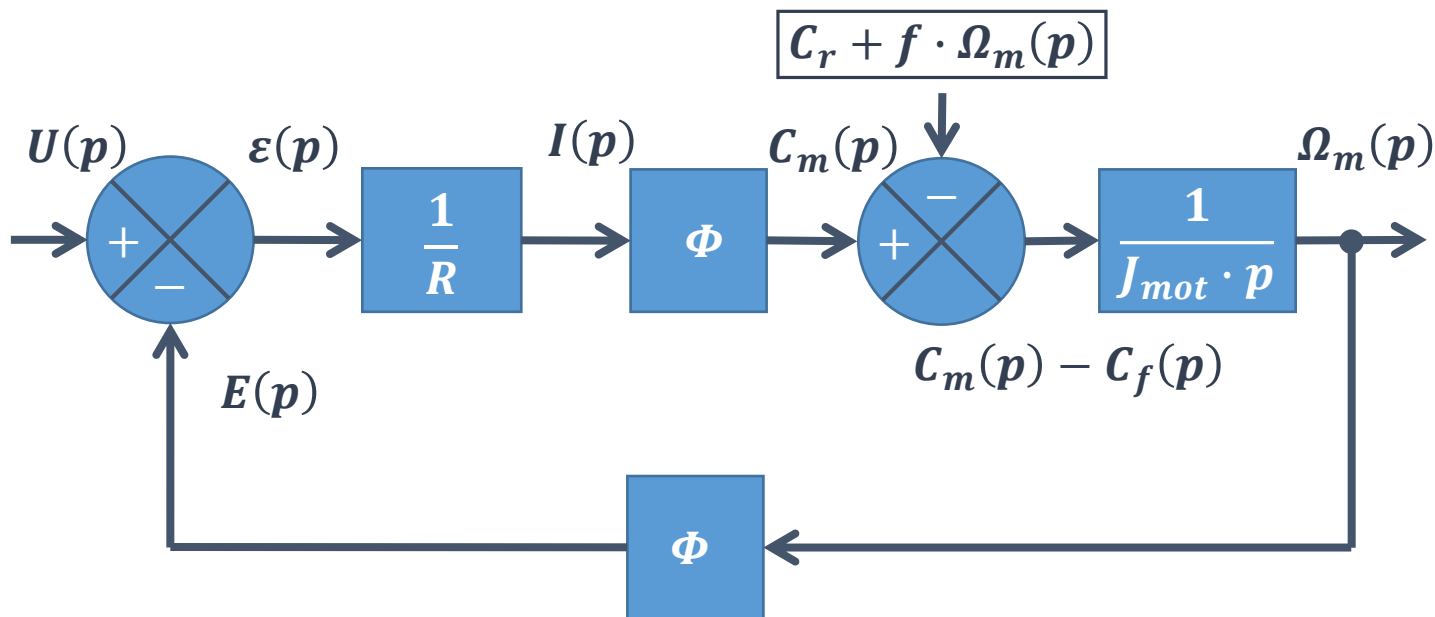
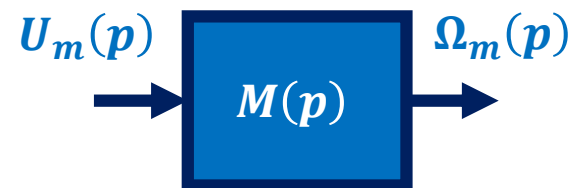
Equation électrique : $U(t) = E(t) + R \cdot I(t) + L \frac{dI}{dt}(t)$

Force contre-électromotrice : $E(t) = \Phi \cdot \Omega_m(t)$

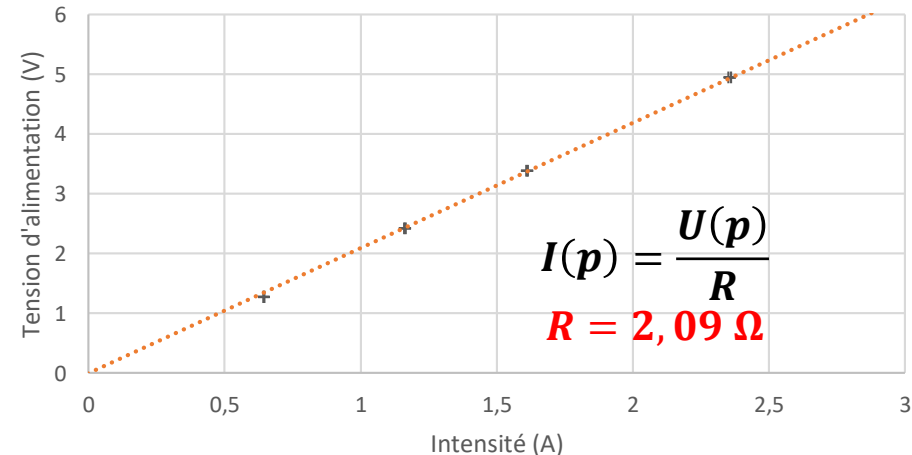
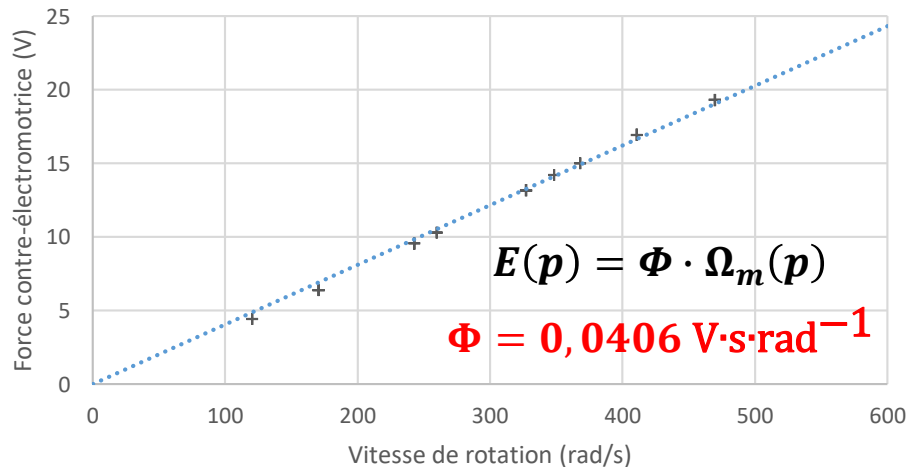
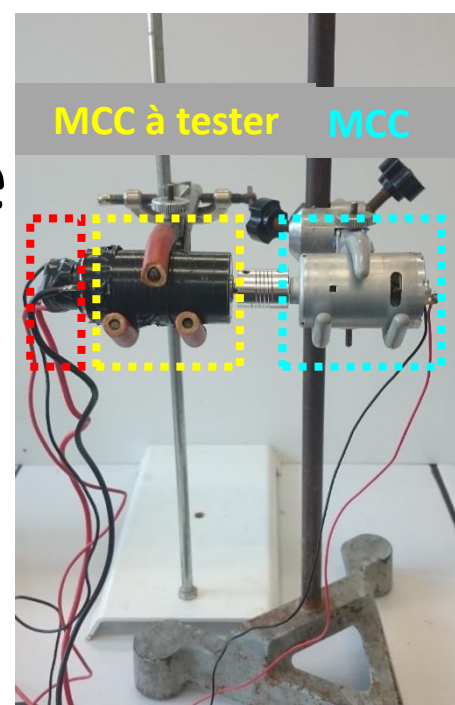
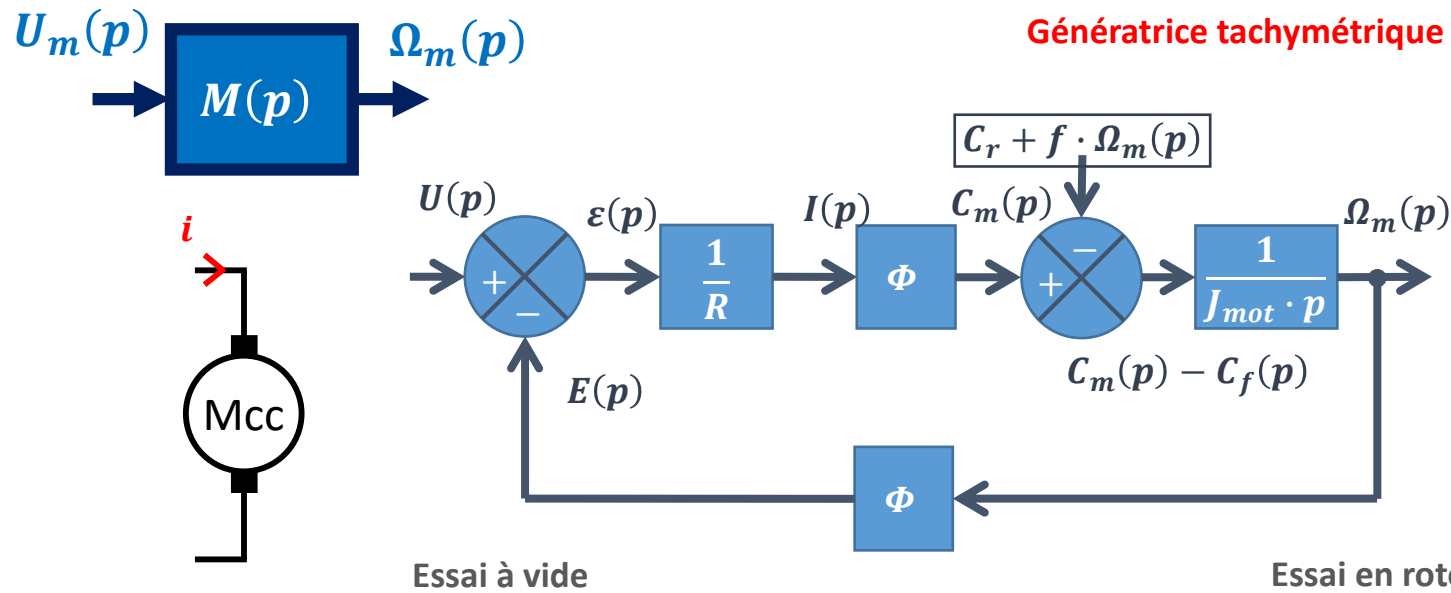
Equation mécanique : $J_{mot} \frac{d\Omega}{dt}(t) = C_m(t) - C_f(t)$

Couple moteur : $C_m(t) = \Phi \cdot I(t)$

Couple de frottements : $C_f(t) = C_r(t) + f \cdot \Omega_m(t)$

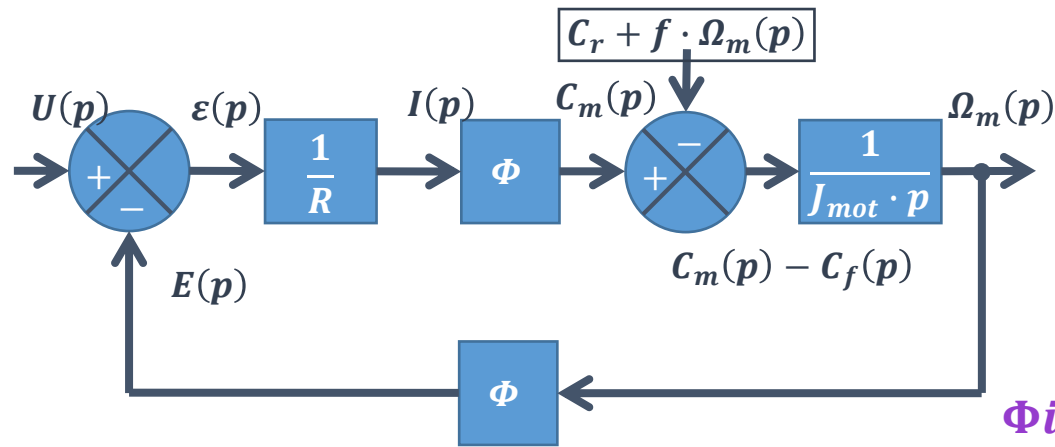


Moteur à Courant Continu : Constante du moteur et résistance

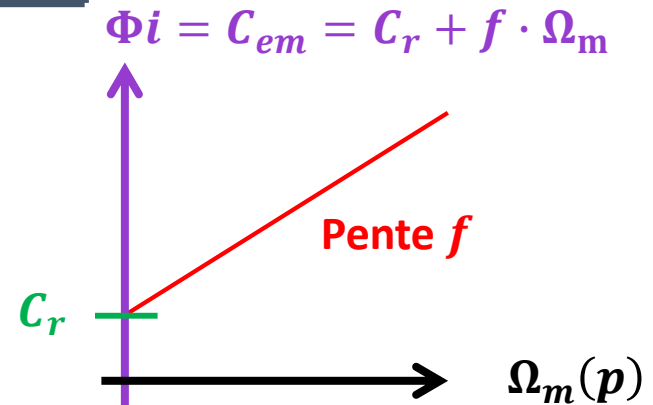
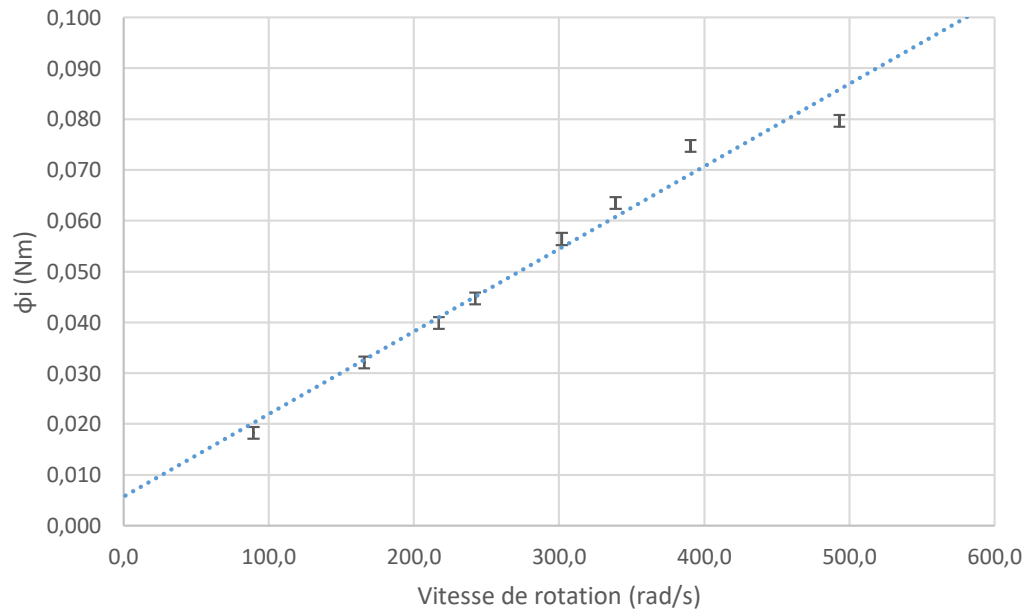


Moteur à Courant Continu :

Coefficients de frottements



Essai à vide

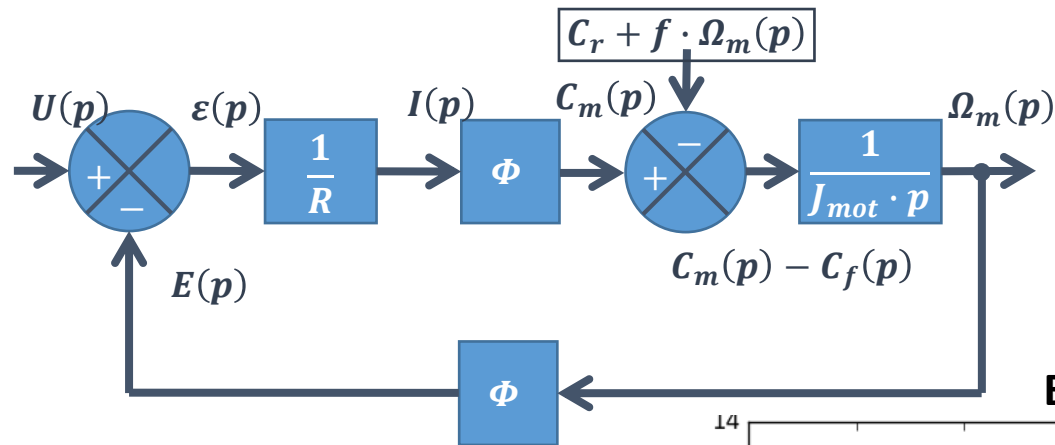


$$f = 1,63 \cdot 10^{-4} \text{ Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$C_r = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

Moteur à Courant Continu :

Moment d'inertie du moteur

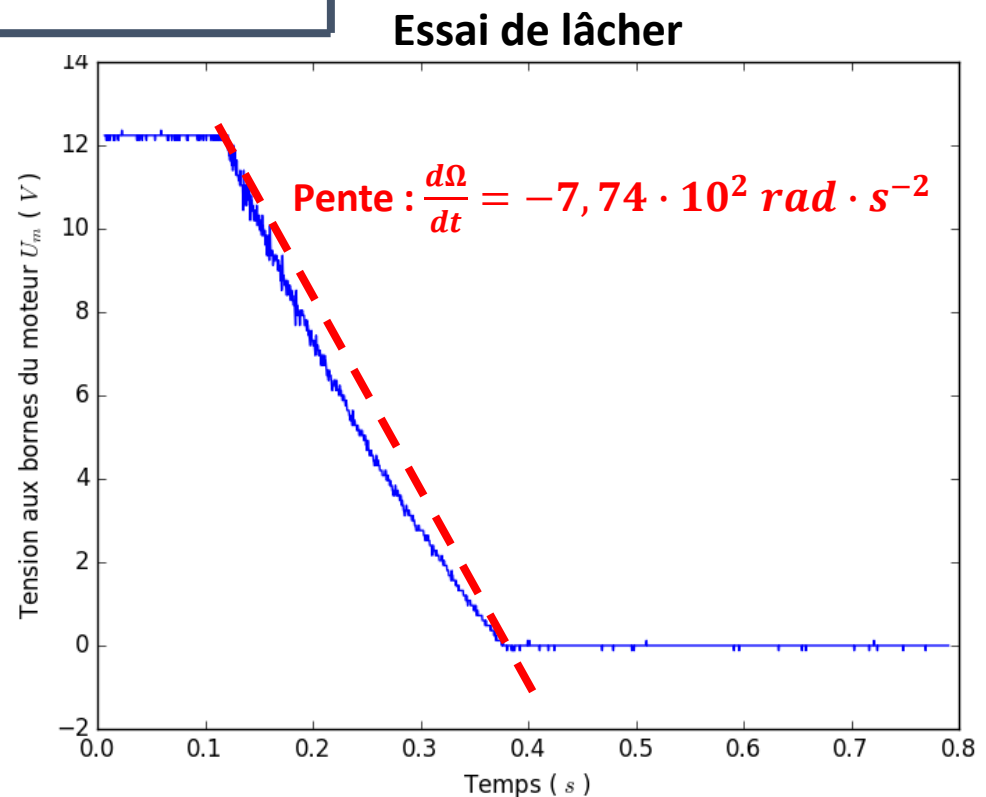


$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{C_r}{J}$$

Pente quasi linéaire $\Rightarrow f\Omega \ll J \frac{d\Omega}{dt}$

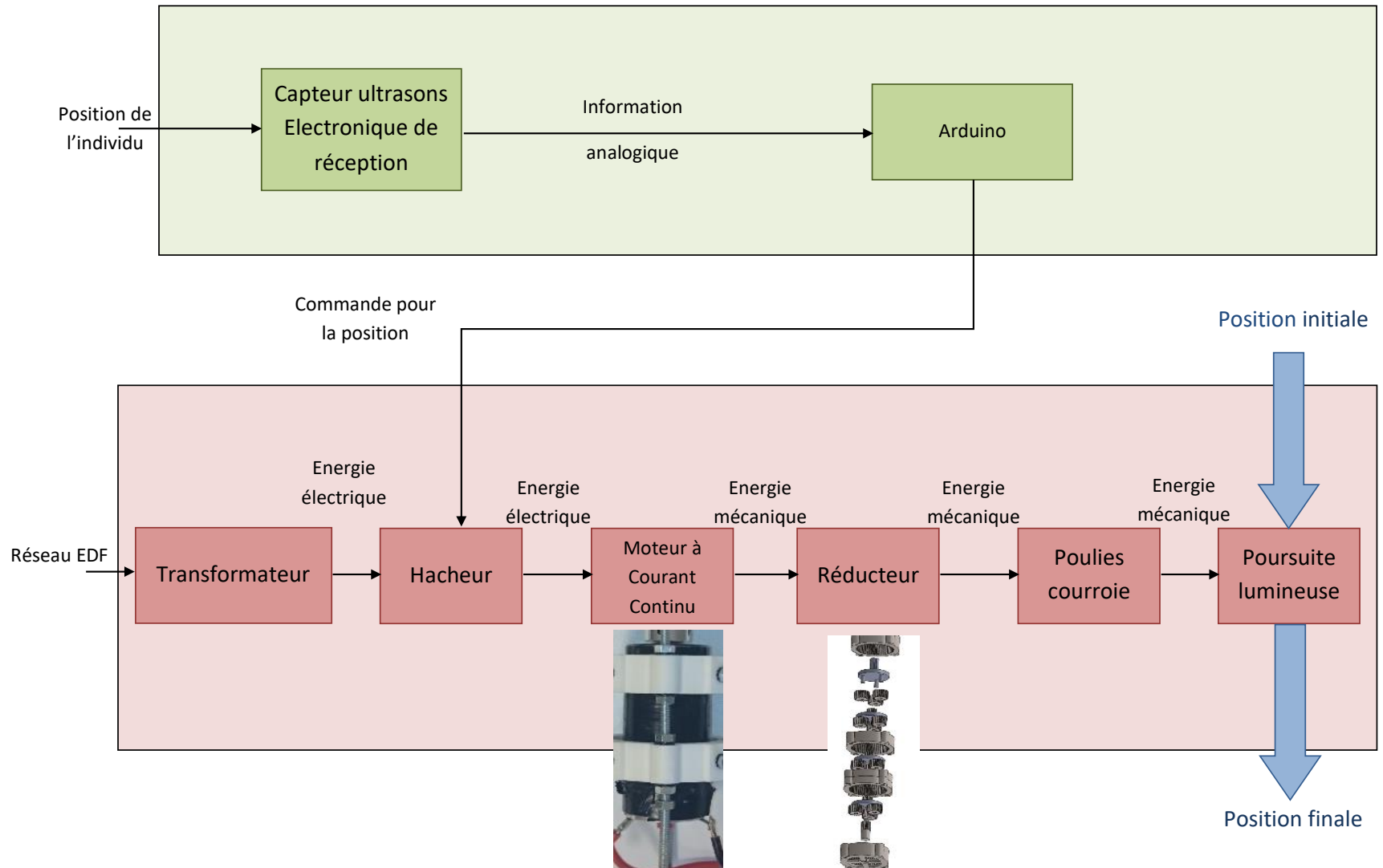
Moment d'inertie moteur :

$$J = -\frac{C_r}{\text{pente}} \Rightarrow J = 7,36 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

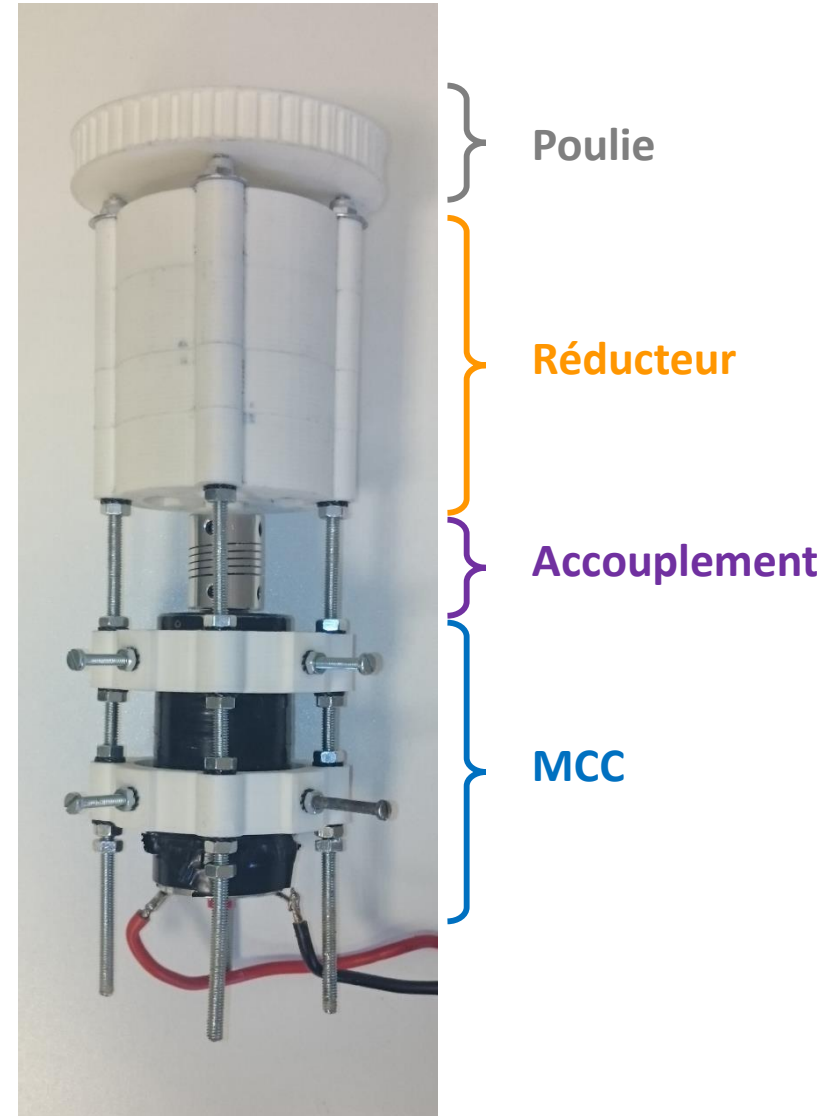
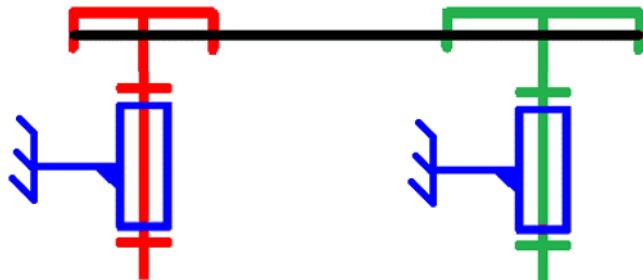
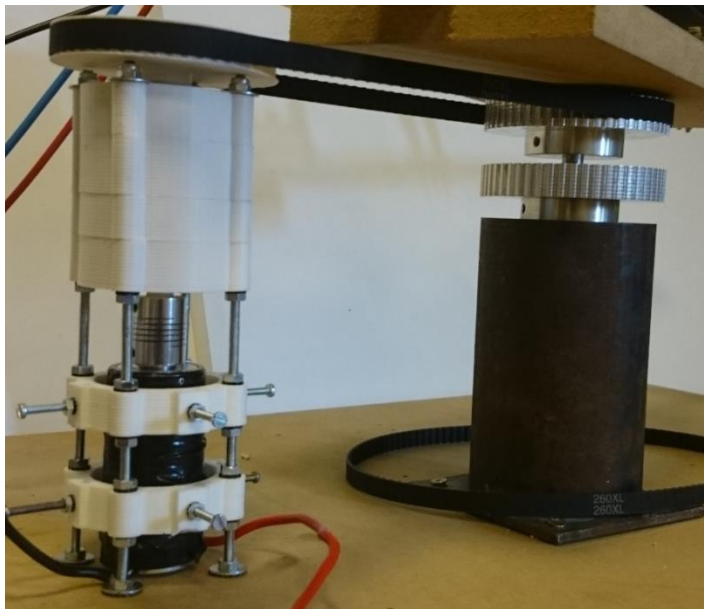
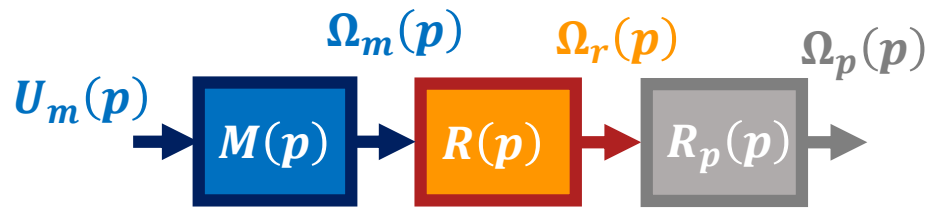


Fonctionnement du système :

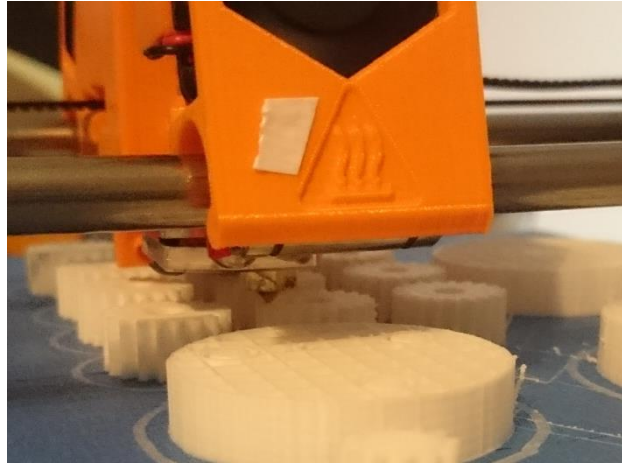
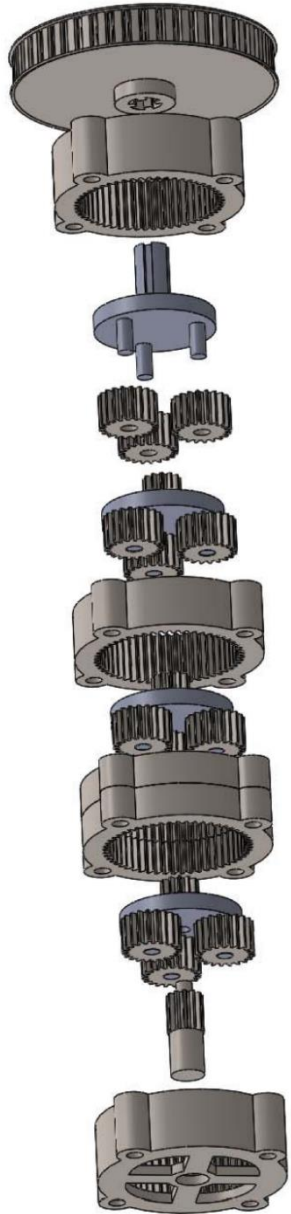
Chaînes d'information et d'énergie



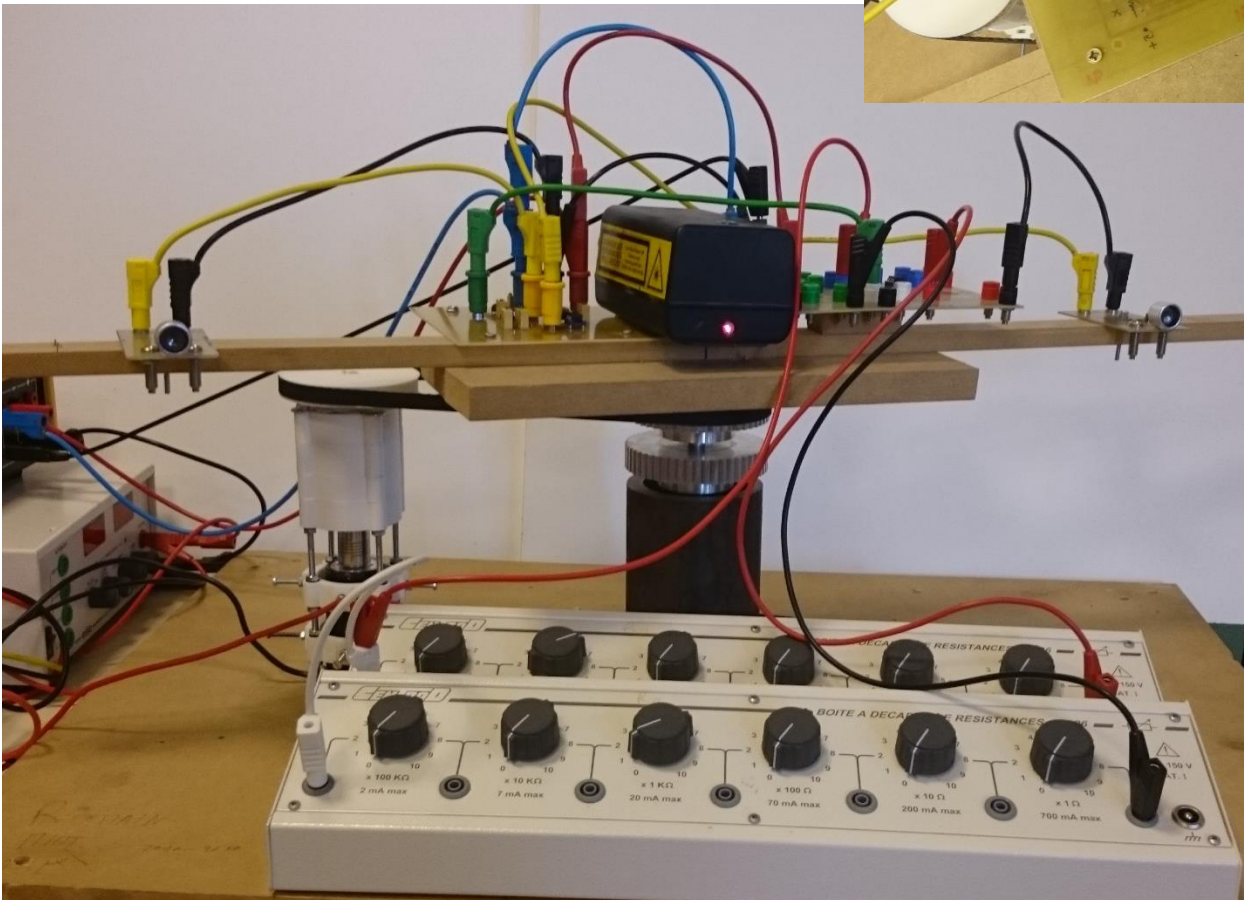
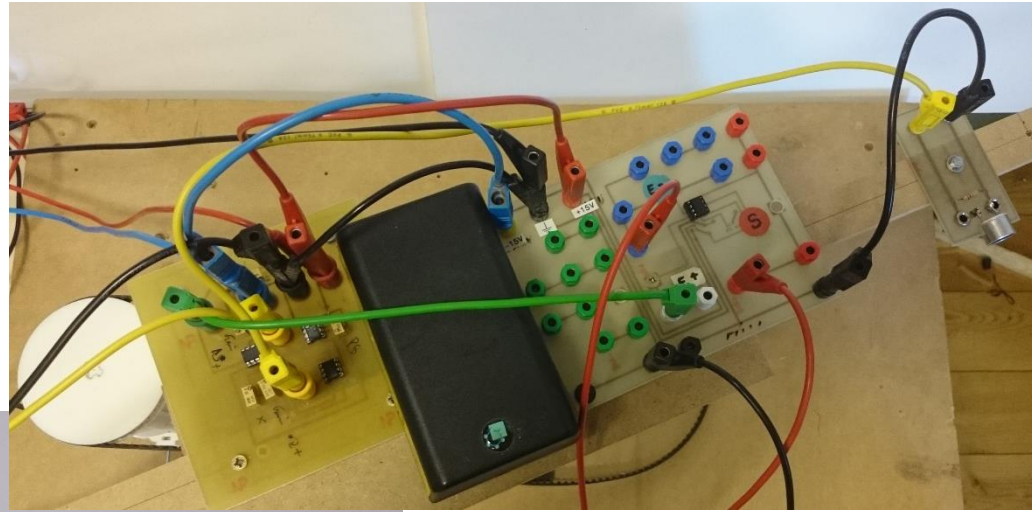
Ensemble motoréducteur



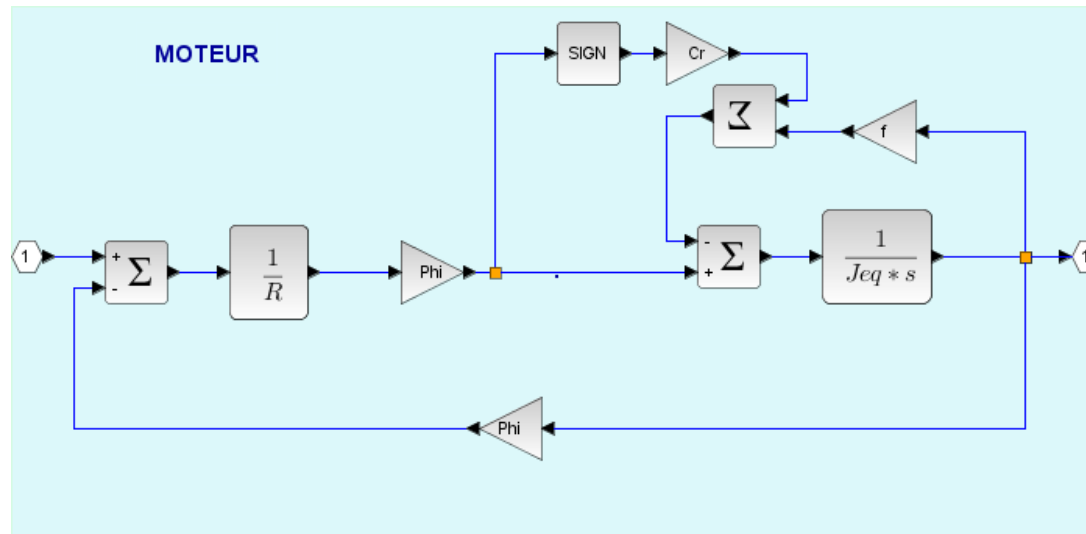
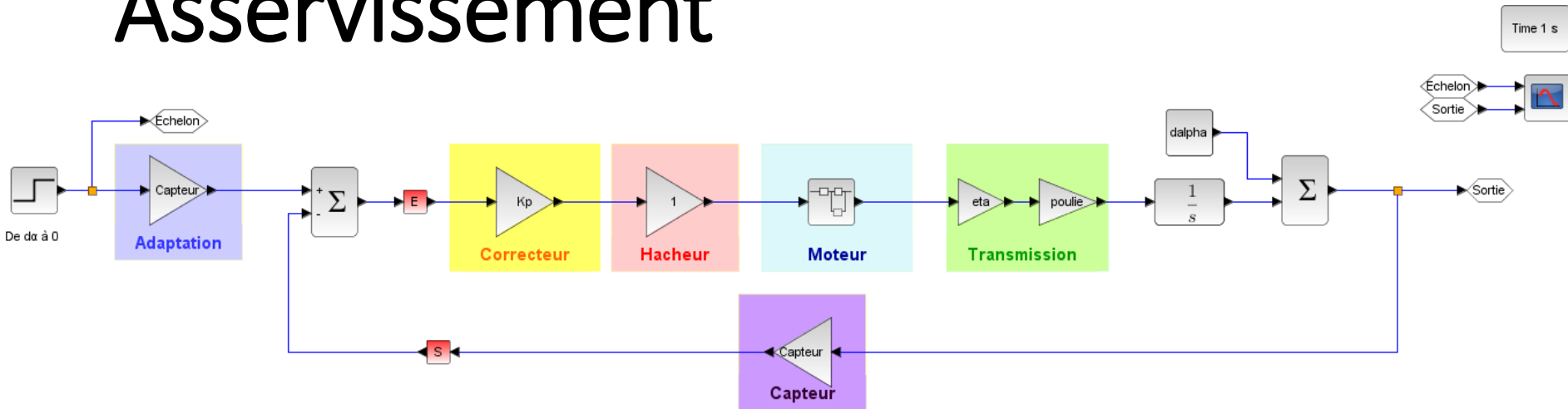
Réducteur à train épicycloïdal



Système réel



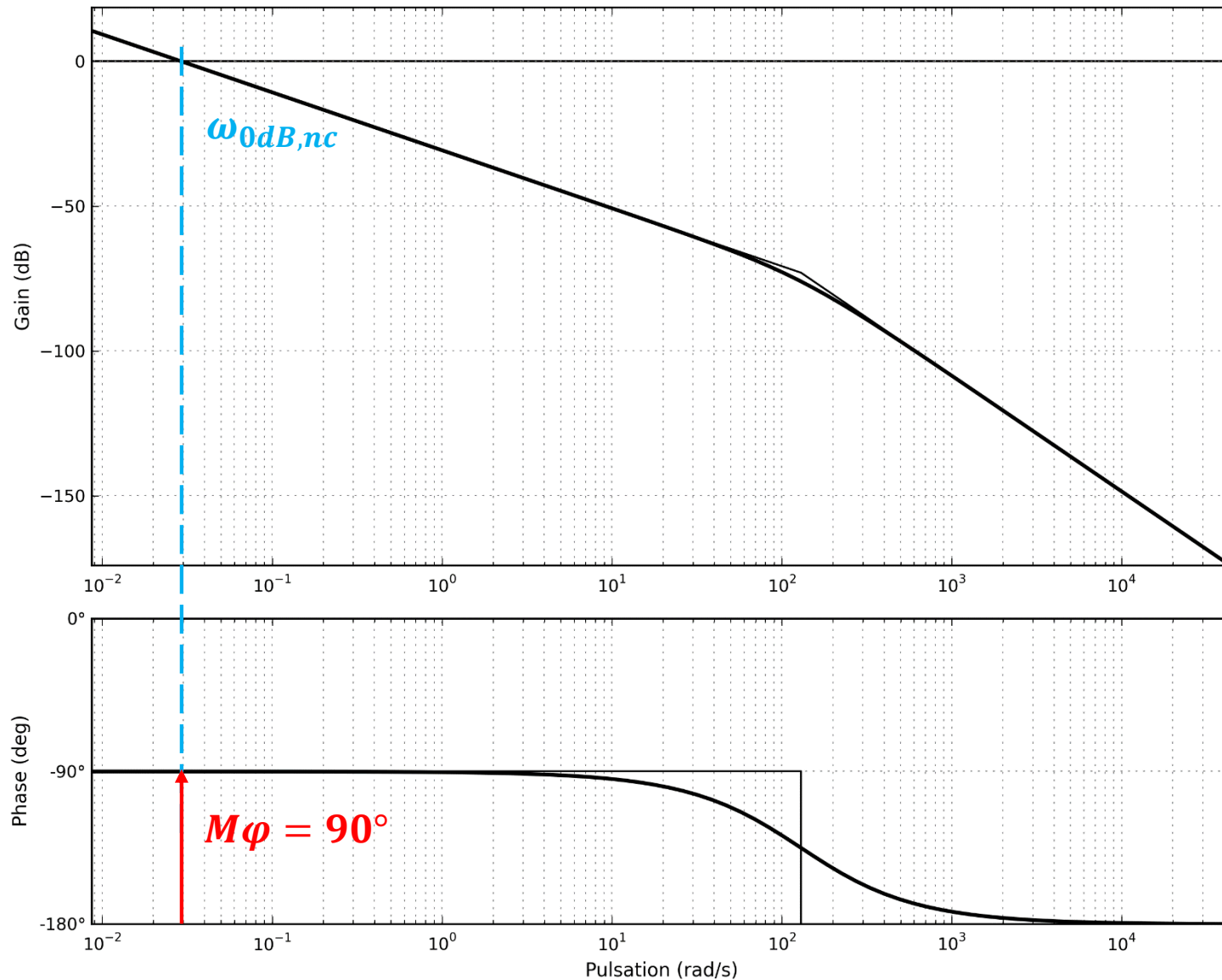
Asservissement



Position de référence: $\alpha = 0$
Etude lors du mouvement

Asservissement :

Diagramme de Bode de la FTBO non corrigée (simulation)

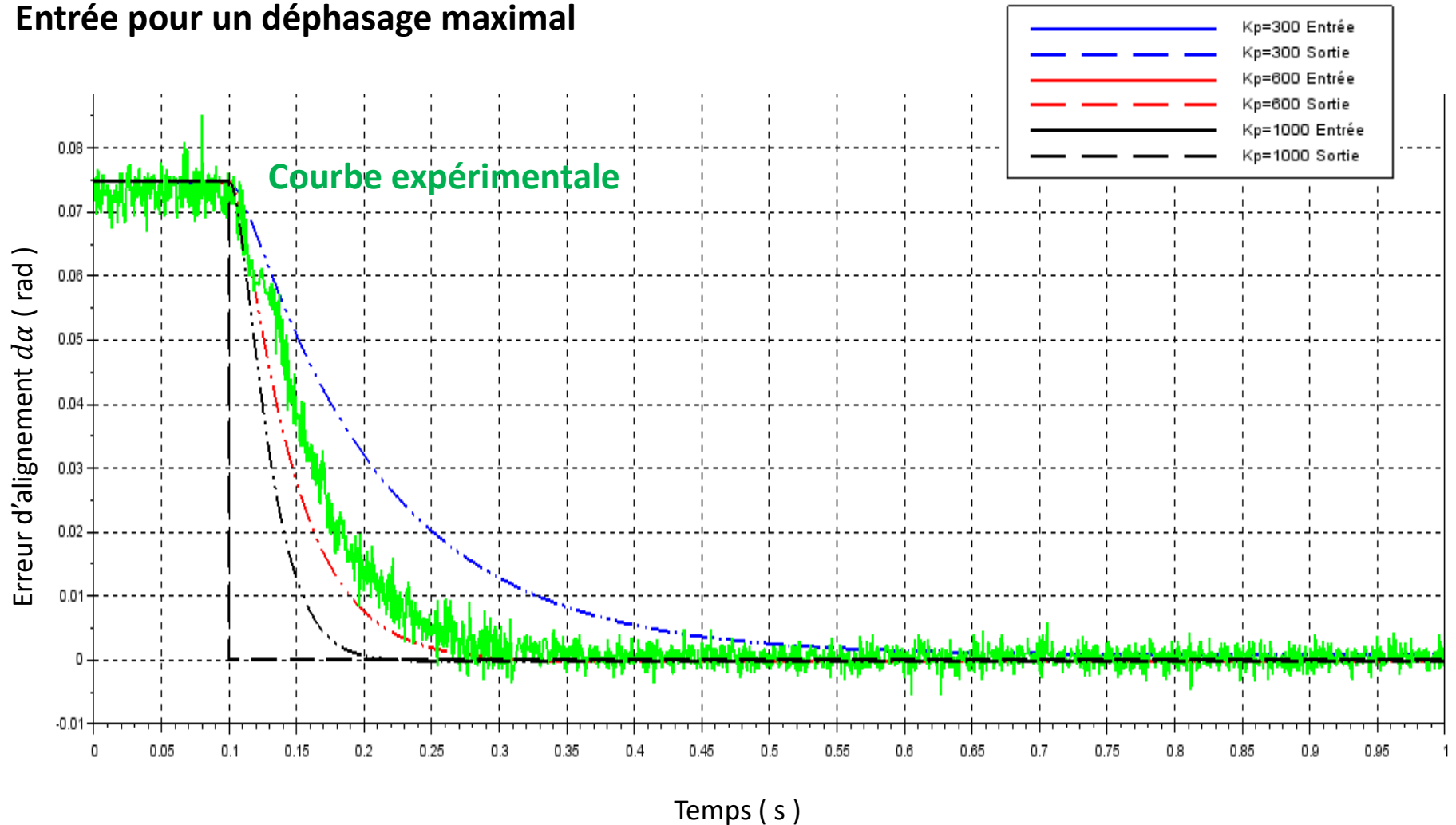


Asservissement :

Réponse à un saut échelon et choix de K_p

Condition issue du cahier des charges: $t_r \text{ à } 5\% < 0,3s$

Entrée pour un déphasage maximal



Ecart et conclusions

Pour un gain $K_p = 600$

	Théorie	Pratique
Temps de réponse à 5%	0,20 s	0,24 s
Ecart avec la valeur finale	0°	0°

Annexe : Calculs détaillés utiles au fonctionnement théorique

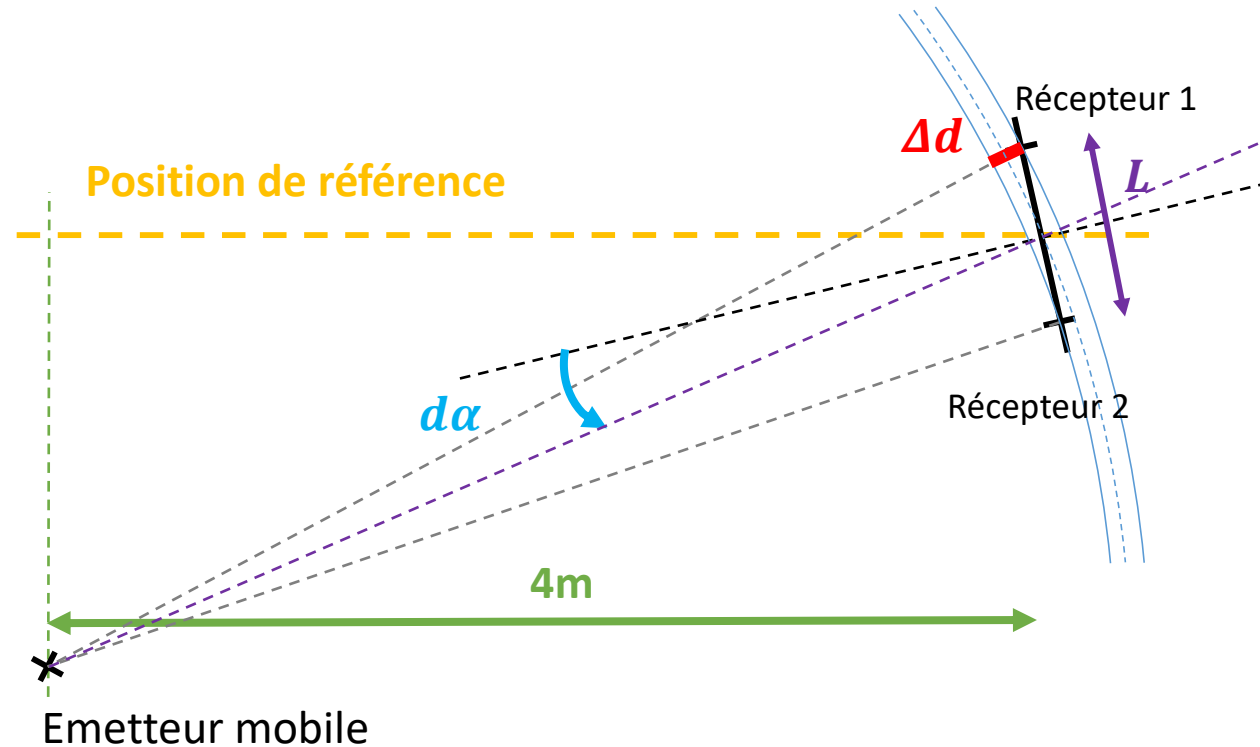
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi f_m}{c} \Delta d$$

On choisit $L = 60\text{cm}$.

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} \text{rad}$$

$$\Delta d = L \cdot \sin d\alpha$$

$$f_m = \frac{c \cdot \Delta\varphi}{2\pi L \cdot \sin d\alpha} \approx 1890\text{Hz}$$



Filtrage (valeur moyenne) : $S(t) = \frac{3}{4} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$

Notons: $U = A \cos(\Delta\varphi)$

A : amplitude pour $\Delta\varphi = 0$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi f_m}{c} L \cdot \sin(d\alpha) \sim \frac{2\pi f_m}{c} L \cdot d\alpha$$

$$U = A \cos\left(\frac{2\pi f_m}{c} L \cdot d\alpha\right) \approx A \cos(20,96 d\alpha)$$

Annexe : Mesures réalisées pour la détermination des caractéristiques du moteur

Constante du moteur

U_m (V)	ω_m (rad/s)	$u(\omega_m)$	$u(U_m)$
4,433	120	0,0400183	0,00179461
6,382	171	0,04726065	0,00207586
9,563	243	0,05767842	0,002535
10,302	260	0,06012084	0,00264167
13,178	327	0,06987636	0,00305678
14,210	348	0,07291311	0,00320574
15,011	368	0,07577439	0,00332135
16,944	411	0,08192997	0,00360036
19,313	470	0,09043739	0,00394229

Résistance de l'induit

U_m (V)	I_m (A)	$u(U_m)$	$u(I_m)$
1,2753	0,6443	0,00029954	0,00169331
2,4201	1,1624	0,00046478	0,00259069
3,3859	1,6114	0,00060418	0,00336838
4,9474	2,3564	0,00082957	0,00465875

Coefficients de frottements

ϕI_m (Nm)	ω_m (rad/s)	$u(\omega_m)$	$u(\phi I_m)$
0,018	89,5	0,03555242	0,00115734
0,032	166	0,04655311	0,001159341
0,040	217	0,05397457	0,001160461
0,045	242	0,05758705	0,00116115
0,056	302	0,0662026	0,001162843
0,064	339	0,07155331	0,001163869
0,075	391	0,07902012	0,00116548
0,080	493	0,09380258	0,001166192

Annexe : Calculs détaillés pour l'inertie équivalente 1/2

$$\sum_{S_i \in \text{ext}} E_{c,i/0} = \frac{1}{2} J_{\text{eq}} \omega_e^2$$

Selon \vec{z} :

- $J_1 = 2,77 \cdot 10^{-8} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
- $J_2 = 7,66 \cdot 10^{-8} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
- $J_3 = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

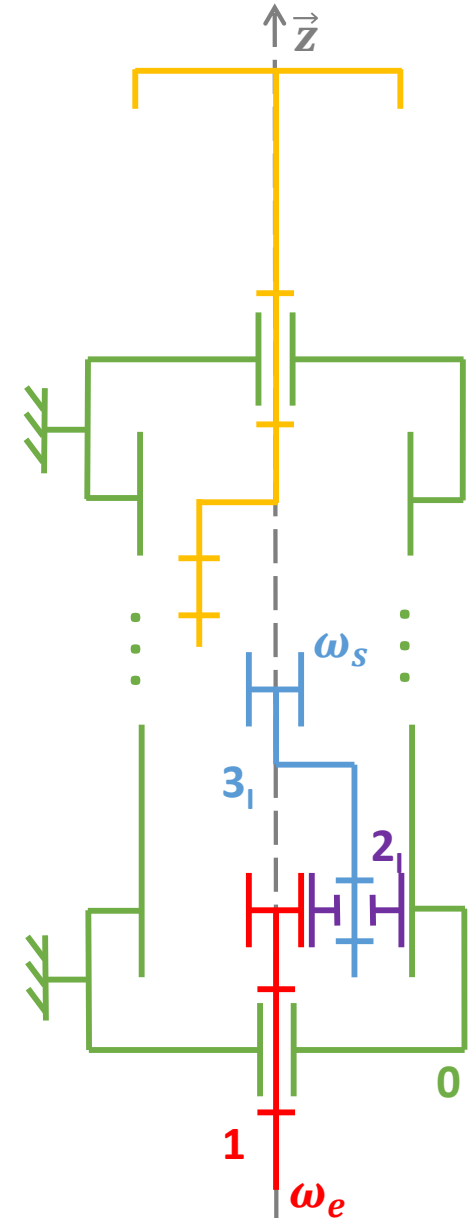
Hypothèse: Inerties de 2 et de 1 négligeables

Donc $J_{3+2(\times 3 \text{ satellites})} = 2,45 \cdot 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

$$\omega_{s,i} = \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^i \omega_e$$

Pour les portes satellites :

$$E_{c,i/0} \approx J_{3+2(\times 3 \text{ satellites})} \omega_{s,i}^2 = J_{3+2(\times 3 \text{ satellites})} \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^{2i} \omega_e^2$$



Annexe : Calculs détaillés pour l'inertie équivalente 2/2

$$J_{\text{sortie avec roue}} = 5,23 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J'_{\text{plateau mobil}} = 1,01 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ sur l'axe de rotation propre du plateau}$$

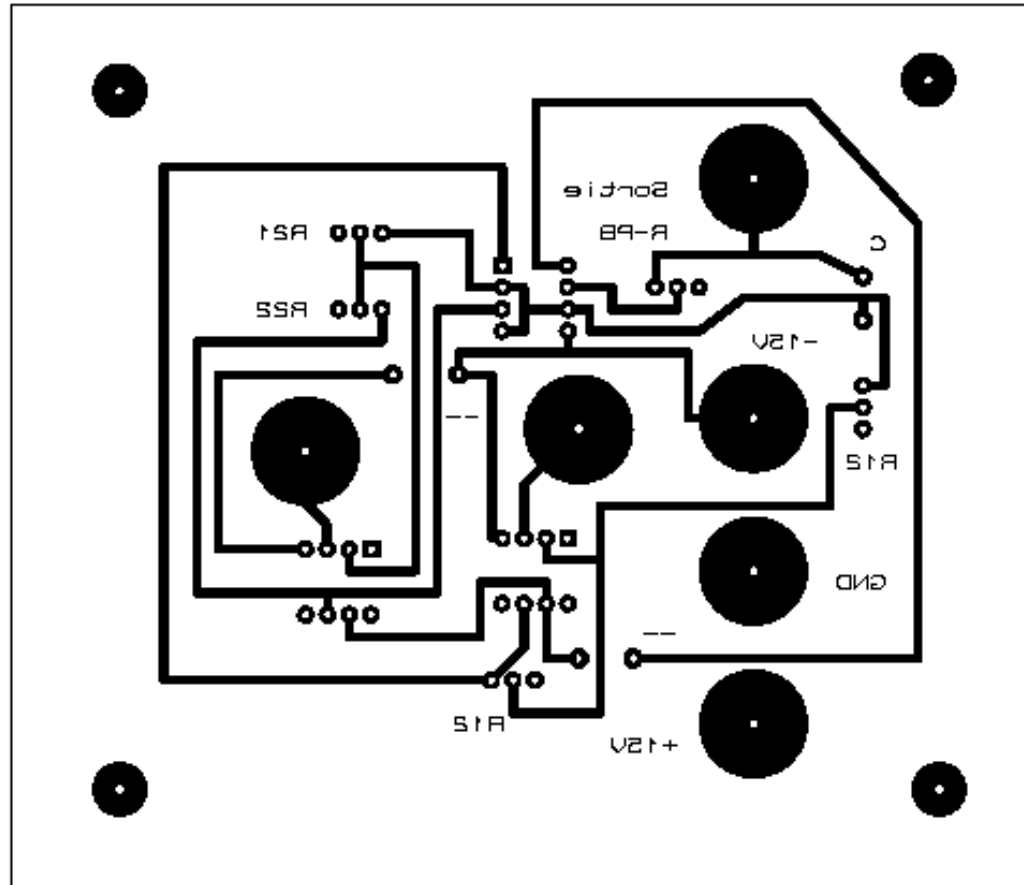
$$J_{\text{plateau mobil}} = J'_{\text{plateau mobil}} + m_{\text{plateau mobil}} \times d^2 = 9,68 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \sum_{S_i \in \text{ext}} E_{c,i/0} &= \frac{1}{2} J_{3+2(\times 3 \text{ satelittes})} \left[\left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^2 + \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^4 + \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^6 \right] \omega_e^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} J_{\text{sortie avec roue}} \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^8 \omega_e^2 + \frac{1}{2} J_{\text{mot}} \omega_e^2 + \frac{1}{2} J_{\text{plateau mobil}} \cdot \eta_{\text{poulie}} \cdot \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^8 \omega_e^2 \end{aligned}$$

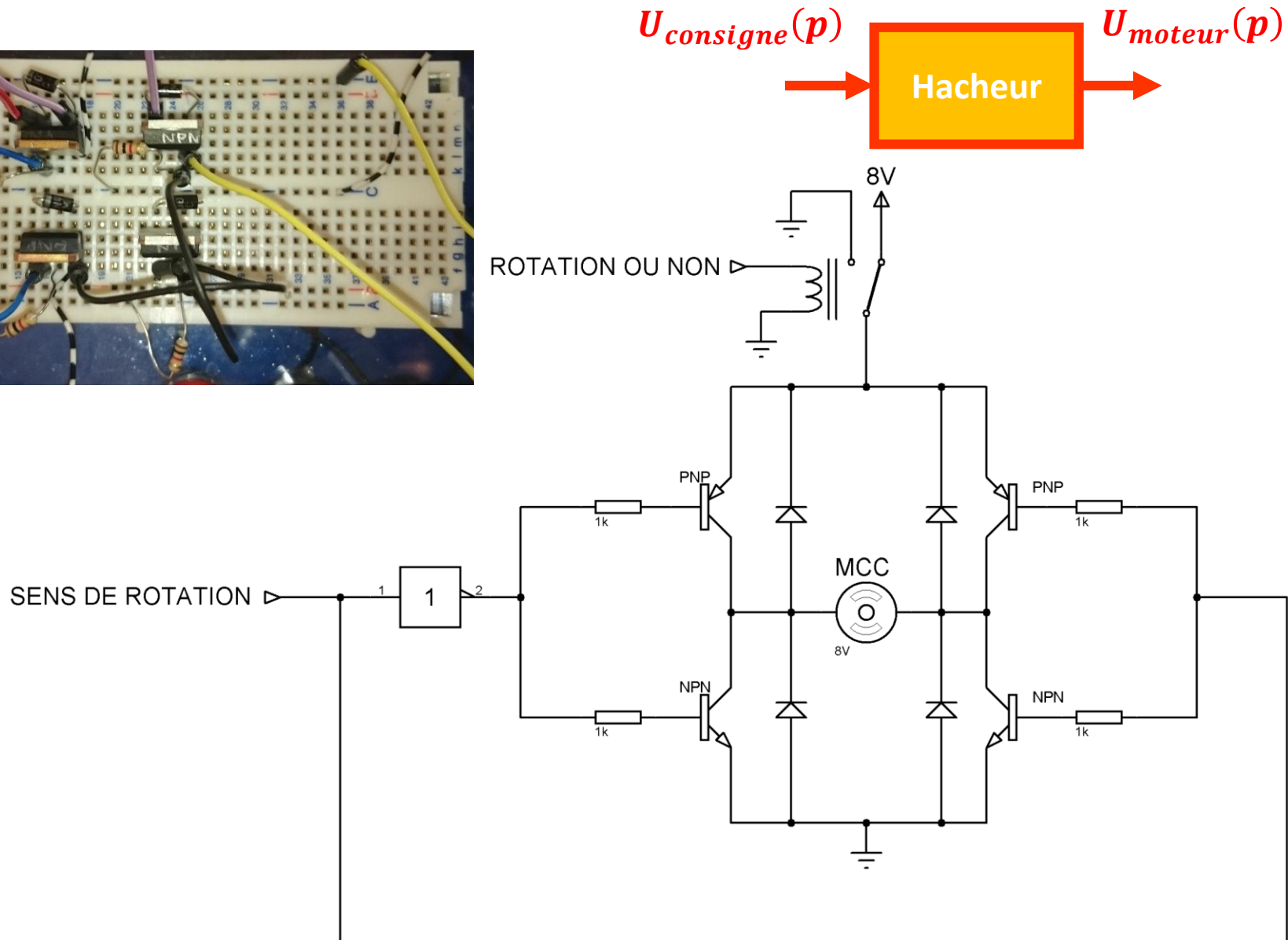
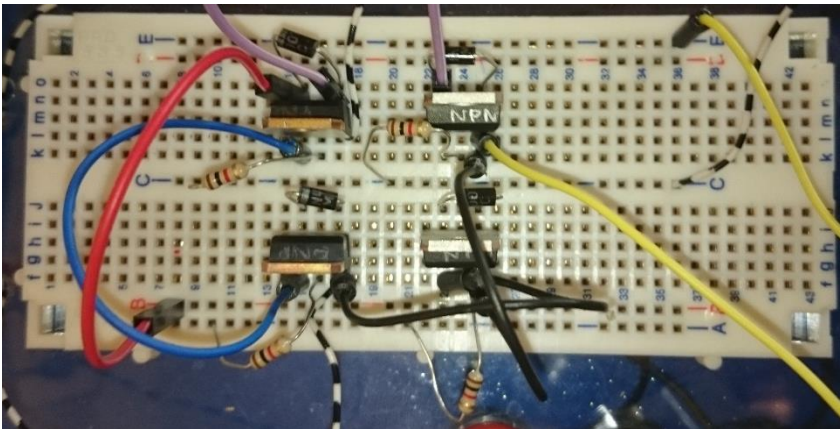
$$\begin{aligned} \Rightarrow J_{\text{éq}} &= J_{3+2(\times 3 \text{ satelittes})} \left[\left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^2 + \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^4 + \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^6 \right] \\ &\quad + J_{\text{sortie avec roue}} \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^8 + J_{\text{mot}} + J_{\text{plateau mobil}} \cdot \eta_{\text{poulie}} \left(\frac{Z_3}{Z_0 + Z_3} \right)^8 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow J_{\text{éq}} = 7,57 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Annexe: Typon du circuit imprimé



Annexe : Contrôle du moteur ; Hacheur



Annexe : Programme pour le contrôle du moteur

```
void setup()
{
  const int sens = 10;
  const int rotation = 9;
  const int alignement = 140; //tension relevée lorsque la poursuite est alignée
  const int aucun_alignement = 90; // tension de bruit, lorsque aucun des récepteurs ne reçoit quelque chose

  pinMode(sens, OUTPUT);
  pinMode(rotation, OUTPUT);

  pinMode(A0, INPUT);

  digitalWrite(rotation, LOW); //on désactive la rotation par défaut
}

void loop()
{
  entrée = analogRead(A0);

  if(entrée < alignement) //si on détecte un mauvais alignement
  {
    digitalWrite(sens, LOW);
    digitalWrite(rotation, HIGH); //active la rotation
    delay(100); //10 cm d'erreur au maximum

    entrée2 = analogRead(A0);
    if(entrée2 < entrée)
    { // si on tourne dans le mauvais sens
      digitalWrite(sens, HIGH); //on remet le bon sens de rotation
    }

    while(analogRead(A0) < alignement) //tant que la poursuite n'est pas alignée
    {
      delay(1); //pour éviter la surcharge du microprocesseur
    }

    digitalWrite(rotation, LOW); //on est aligné, on arrête de tourner
  }
}
```