

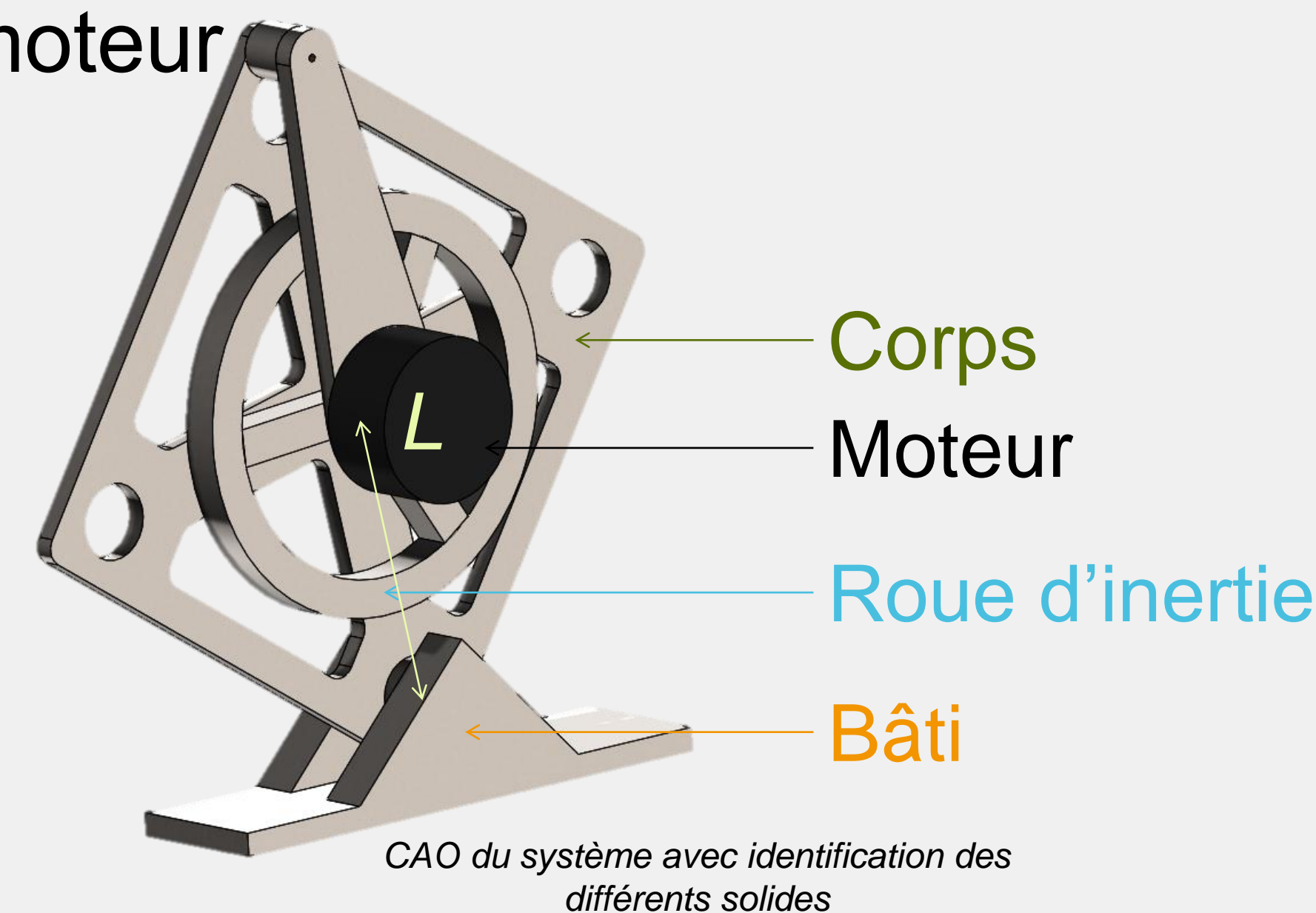
Aurélié Bonnefoy et Guillaume Pronost, sur l'initiative de Roman Le Goff Latimier et Hubert Diez

Utilisation des forces de réaction de deux solides pour réguler l'orientation d'un solide en orbite

Développé depuis 2011 par l'ETH de Zurich, le Cubli est un cube capable de se positionner sur une arête ou un coin, puis de se stabiliser dans cette position. Cette méthode d'orientation pourrait se révéler pertinente pour l'orientation d'un nano satellite, ce dernier ne disposant pas de propulsion. L'étude réalisée se porte sur un axe du système.

L'axe étudié est composé de trois solides et du moteur

Les grandeurs X associées au corps seront par la suite notées X_b , celles associées à la roue notées X_w , et celles associées au moteur notées X_m .



C'est la rotation de la roue d'inertie qui permet la stabilisation du corps par rapport au bâti.

Le mouvement du système est régi par les équations suivantes :

$$\ddot{\theta}_b = \frac{(m_b l_b + m_w L) g \sin \theta_b - T_m - C_b \dot{\theta}_b + C_w \dot{\theta}_w}{I_b + m_w L^2}$$

$$\ddot{\theta}_w = \frac{(I_b + I_w + m_w L^2) (T_m - C_w \dot{\theta}_w)}{I_w (I_b + m_w L^2)} - \frac{(m_b l_b + m_w L) g \sin \theta_b - T_m - C_b \dot{\theta}_b}{I_b + m_w L^2}$$

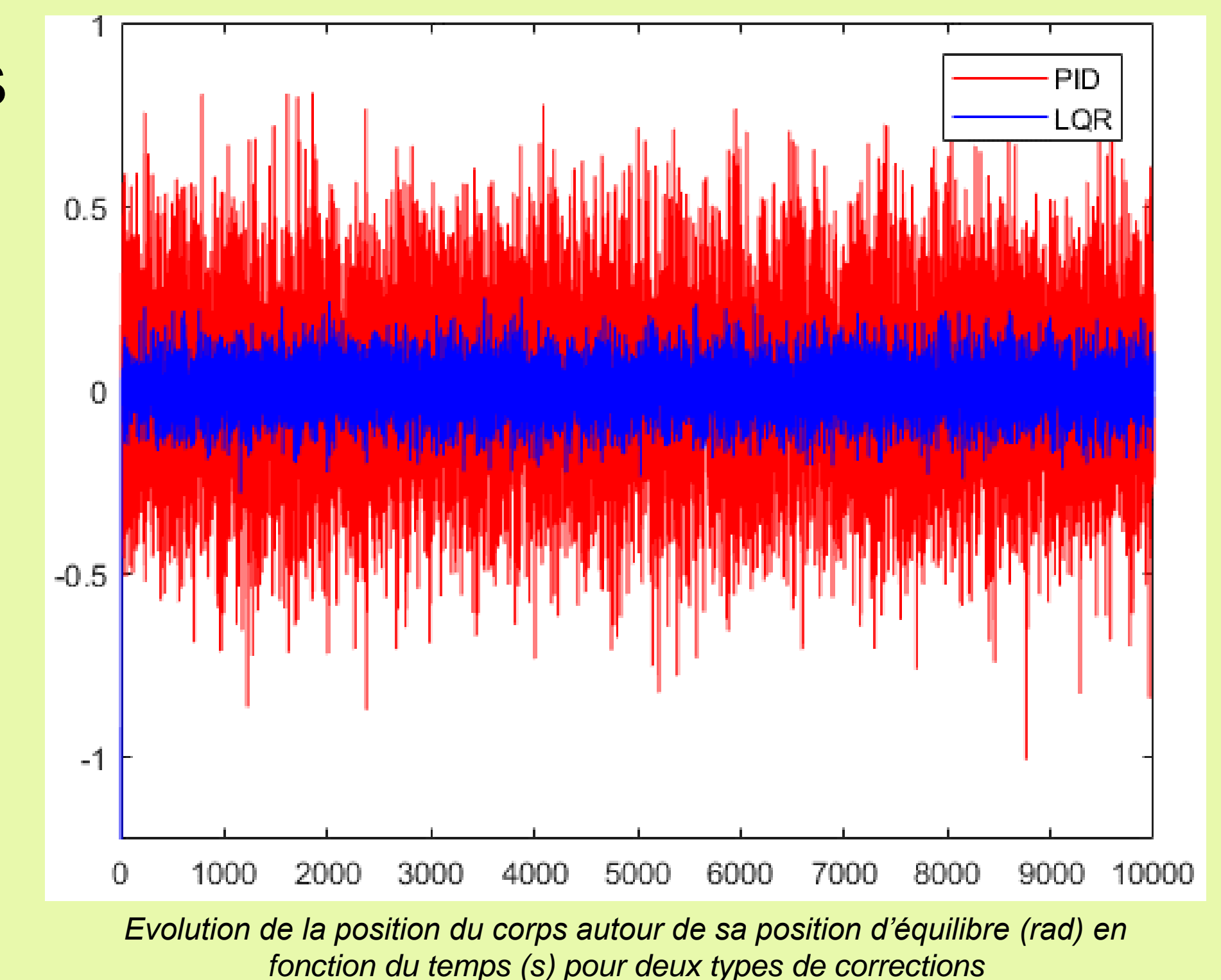
Une fois ce travail effectué, les différentes étapes traitées devront être dupliquées et adaptées afin d'étendre ce travail à trois axes, et ainsi pouvoir entièrement orienter un cube. Une fois ce travail fait, la méthode pourra enfin être adaptée à un satellite éducatif, et ainsi servir dans un cadre pédagogique.

Pour pouvoir stabiliser le Cubli, chaque axe doit être asservi. Pour ce faire, une correction est nécessaire.

Deux correcteurs différents sont implémentés dans une simulation du système :

- Correcteur PID
- Correcteur LQR

Avec la correction LQR, le corps s'éloigne moins de sa position d'équilibre : c'est cette Correction qui sera implémentée dans le système réel.



Photographie de la maquette étudiée

Composants du système réel :

- Maquette en aluminium
- Moteur brushless avec capteur Hall intégré
- Contrôleur de moteur
- Codeur incrémental
- Carte de contrôle

Les références des différents composants et une note de prise en main sont disponibles sur le site https://github.com/ABonnefoy/Cubli_ENS_Rennes

Aurélié Bonnefoy et Guillaume Pronost, sur l'initiative de Roman Le Goff Latimier et Hubert Diez

Comment pourrait-on orienter un nano satellite dans l'espace sans utiliser de propulsion ?

« Le Cubli, un cube qui peut se stabiliser et sauter! »

Le Cubli, né du diminutif Suisse-Allemand pour « cube », est un cube qui peut sauter, et rester en équilibre sur un coin. Développé à partir de 2011 par l'ETH de Zurich, il fonctionne grâce à une roue d'inertie.

Bien que son but premier soit purement ludique, il pourrait avoir une grande utilité pédagogique, notamment dans le cadre du domaine spatial: son système d'équilibre pourrait peut-être un jour être utilisé pour stabiliser un nano satellite !



Prototype du Cubli – image issue du site internet de l'ETH.

Qu'est-ce qu'une roue d'inertie ?

La roue d'inertie, en tournant, va compenser le mouvement de rotation du Cubli, et ainsi permettre de le stabiliser. L'arrêt brusque du mouvement de la roue permet même de le faire sauter ! Mais le Cubli n'est pas le seul système à utiliser ce procédé.

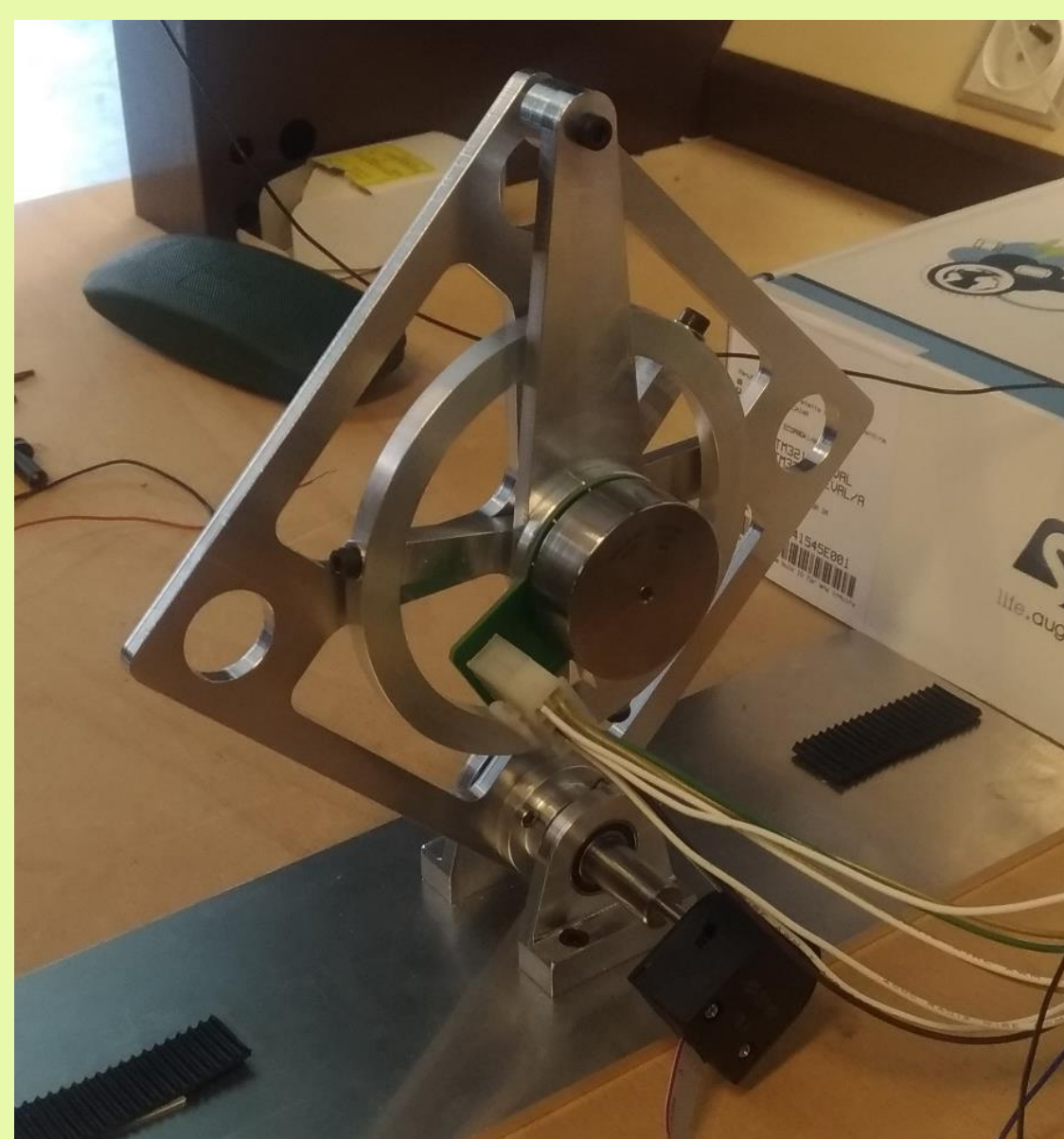
Exemple : *Le vélo elliptique*

Les vélos elliptiques sont dotés d'une roue d'inertie qui, lorsqu'elle est entraînée par les pédales, permet de fluidifier le mouvement en amortissant l'accélération de l'utilisateur. *L'inertie et le poids de la roue permettent d'entraîner le mouvement de rotation du vélo !*



Vélo elliptique de la marque BH Fitness

Étude d'un axe du système



Photographie de la maquette étudiée

Pour mieux comprendre le mécanisme de stabilisation, une maquette représentant un axe du Cubli a été construite, après que le fonctionnement du système ait été simulé informatiquement.

Un moteur est situé au niveau de sa roue d'inertie afin de la faire tourner, et deux capteurs au niveau de la roue et au niveau de la liaison entre le corps et le sol permettent de connaître leur angle et leur vitesse.

Le Cubli peut maintenant être programmé pour pouvoir se tenir en équilibre !

Compétences utiles

Pour pouvoir réaliser un tel projet, les compétences mises en œuvre réunissent plusieurs domaines des sciences de l'ingénieur:

- *Mécanique* : pour pouvoir fabriquer la maquette, mais également comprendre le mécanisme de la roue d'inertie
- *Électrotechnique* : afin de comprendre le fonctionnement du moteur
- *Électronique* : pour choisir comment contrôler le système
- *Informatique* : savoir programmer pour donner ses instructions au système
- *Automatique* : afin de pouvoir stabiliser le système en corrigeant sa position à chaque instant

