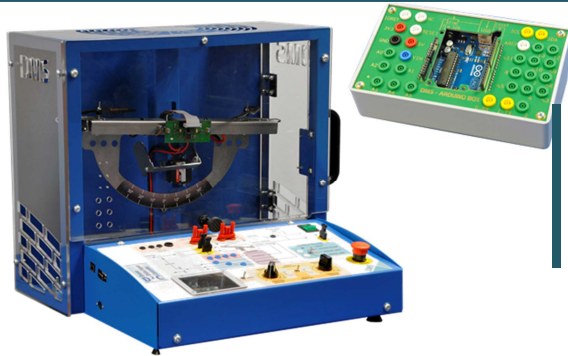


**MODÉLISER LE COMPORTEMENT DES SYSTÈMES MÉCANIQUES DANS LE BUT  
D'ÉTABLIR UNE LOI DE COMPORTEMENT OU DE DÉTERMINER DES ACTIONS  
MÉCANIQUES EN UTILISANT LE PFD**

CYCLE 4



**DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES CINÉTIQUES  
D'UN DRONE**

DRONE D2C

**1 OBJECTIFS**

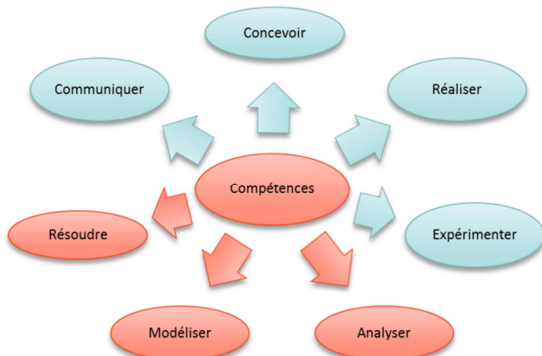
**1.1 Objectif technique**

**Objectif :**

Les systèmes de contrôle d'un drone doivent être réglés et ajustés en tenant compte de ses caractéristiques cinétiques (inertie).

Il s'agit d'obtenir par différentes méthodes, le moment d'inertie du balancier complet du drone didactique par rapport à son axe de rotation.

**1.2 Contexte pédagogique**



**Analyser :**

- ☐ A3 – Conduire l'analyse

**Modéliser :**

- ☐ Mod2 – Proposer un modèle
- ☐ Mod3 – Valider un modèle

**Résoudre :**

- ☐ Rés2 – Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution analytique
- ☐ Rés3 – Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution numérique

**1.3 Évaluation des écarts**



L'objectif de ce TP est de déterminer les caractéristiques inertielles du drone afin de renseigner un modèle.

## 2 DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DU MOMENT D'INERTIE DU DRONE

### 2.1 Assimilation de l'expérimentation

**Activité 1.** Analyser le déroulement d'une expérience.

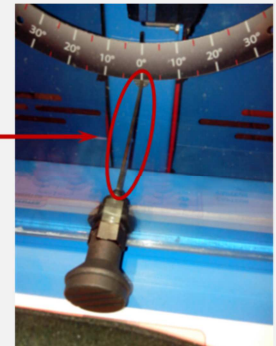
L'expérimentation a pour objectif d'utiliser le D2C comme un pendule afin de déterminer son moment d'inertie. Pour cela, on utilise le dispositif à « tige élastique de blocage » du balancier du drone D2C (photo ci-contre).

Ce dispositif, une fois inséré dans le balancier, possède une certaine souplesse qui va permettre de réaliser une mise en oscillation, après qu'on ait manuellement écarté légèrement le balancier de sa position d'équilibre, puis qu'on l'ait relâché.

La mesure de la période des oscillations permettra de déterminer le moment d'inertie cherché.

La vidéo *Essai\_Spectaculaire.MOV* illustre le déroulement de l'essai.

Tige flexible  
permettant de faire  
osciller le balancier



### 2.2 Exploitation des résultats d'expérimentation par résolution de l'équation différentielle issue du PFD

On désigne par  $(O, \vec{z})$  l'axe de rotation du balancier et par  $(O, \vec{x})$ , la direction allant de  $O$  vers le moteur droit.

**Activité 2.** Réaliser un modèle cinématique d'après l'expérimentation.

- ☐ **Réaliser** un schéma de l'expérimentation en y plaçant le paramétrage angulaire (angle  $\theta$ ) autour de la position d'équilibre, le déplacement  $e$  de l'extrémité de la tige-ressort et  $R$  le rayon (mesuré par rapport à l'axe de rotation du balancier sur lequel s'exerce l'effort  $F_r$ ).
- ☐ Exprimer une relation géométrique simple liant  $R$ ,  $e$  et  $\theta$ .

**Activité 3.** Établir l'équation de mouvement.

Soit  $J$  le moment d'inertie du balancier complet par rapport à l'axe de rotation. Soit  $F_r$  l'effort que développe la tige-ressort sur le balancier lorsque celui-ci est écarté de sa position d'équilibre. Soit  $k$  la raideur de la tige-ressort, telle que  $F_r = k \cdot e$ . On suppose que par conception, le centre de gravité du balancier est placé sur l'axe de rotation

- ☐ **Justifier** cette dernière hypothèse.
- ☐ **Déterminer** à partir d'une démarche d'isolement du balancier et d'utilisation du principe fondamental de la dynamique, l'équation différentielle du mouvement du balancier lorsque celui-ci est en oscillation dans les conditions d'expérimentation (on pourra prendre en compte le coefficient de frottement visqueux :  $f$ ).
- ☐ **En déduire** l'expression de la période des oscillations en fonction du moment d'inertie  $J$ , de la raideur  $k$  et des caractéristiques dimensionnelles (on pourra considérer  $\theta$  petit pour linéariser l'équation autour du point de fonctionnement  $\theta = 0$  et négliger le coefficient de frottement visqueux :  $f$ ).

**Activité 4.** Déterminer l'inertie à partir du relevé expérimental.

- ☐ Le fichier de mesure est disponible dans le répertoire « Essai ». On peut le visualiser avec le fichier *Lire\_essai.py* ou avec un tableur.

Si  $L$  est la longueur de la tige élastique,  $d$  son diamètre et  $E$  son module d'élasticité, les lois de la résistance des matériaux (étude de flexion de la tige) nous donnent le déplacement  $e$  à l'extrémité de la tige :  $e = \frac{FrL^3}{3EI_{Gz}} = \frac{64FrL^3}{3E\pi d^4}$ .

On mesure :  $L = 110$  mm,  $d = 2,1$  mm,  $R = 147$  mm. On donne :  $E = 2 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup>.

- ☐ **Déterminer** la raideur en N/m de la tige, puis à partir des résultats obtenus sur la période des oscillations (expérimentaux et analytiques) **déduire** la valeur du moment d'inertie  $J$  du balancier.
- ☐ **En déduire** l'expression de la période des oscillations ; effectuer l'application numérique pour en déduire la valeur du moment d'inertie  $J$ .

## 2.3 Exploitation des résultats d'expérimentation par utilisation d'un logiciel de modélisation « acausal »

Simulation et résolution	<b>Activité 5.</b> Exploiter les résultats d'une modélisation Matlab-Simulink. Le fichier de simulation « Modele_Eleve » propose une modélisation de type « acausal ». Dans ce fichier, pour éviter un travail trop fastidieux, le paramètre de la raideur angulaire ( $KR^2$ ) a été préparé (double-clic sur le bloc « ressort ... »).
	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Justifier le choix du modèle proposé par rapport à l'expérimentation réalisée.</li> <li><input type="checkbox"/> Par simulation successive, rechercher l'inertie permettant d'obtenir la même pseudo-période que pour la courbe expérimentale.</li> <li><input type="checkbox"/> Vérifier que le décrétement logarithmique est comparable sur la modélisation et l'expérimentation. Quel paramètre faut-il modifier pour ajuster le décrétement ?</li> </ul>

## 3 EXPLOITATION D'UN MODÈLE CAO

### 3.1 Détermination et justification des composantes des matrices d'inertie

Modélisation et résolution	<b>Activité 6.</b> Exploiter les caractéristiques d'inertie données par SolidWorks en Annexe.
	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> En utilisant le contrepoids et en exploitant le théorème de Huygens entre le point O et le centre de masse H, vérifier la bonne correspondance des résultats <math>L_{zz}</math> et <math>I_{zz}</math> fournis par le logiciel (exploiter les informations entourées).</li> </ul>

Modélisation et résolution	<b>Activité 7.</b> Exploiter les caractéristiques d'inertie données par SolidWorks en Annexe.
	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Déterminer le moment d'inertie de l'ensemble balancier équipé (1 balancier seul + 1 contrepoids + 2 motorisations + 4 boulons), par rapport à son axe de rotation Oz.</li> </ul>

### 3.2 Exploitation de l'assemblage complet avec le logiciel SolidWorks

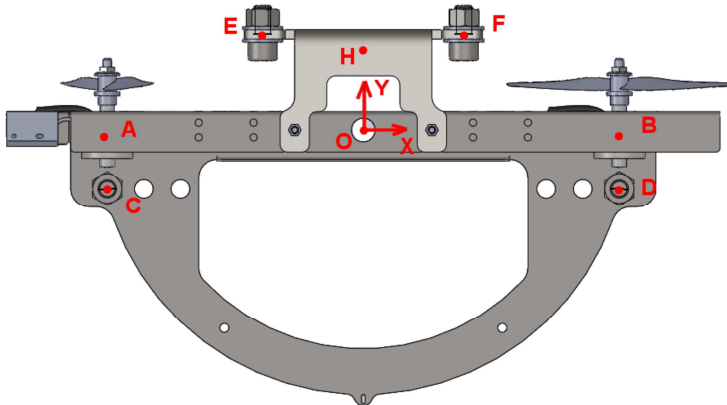
Modélisation et résolution	<b>Activité 8.</b> Exploiter les caractéristiques d'inertie données par SolidWorks.
	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Lancer le logiciel « Solidworks », ouvrir le fichier « <b>balancier-complet.sldasm</b> ».</li> <li><input type="checkbox"/> Vérifier la présence du « système de coordonnées 1 » sur l'axe Oz (tout en bas de l'arbre de construction).</li> <li><input type="checkbox"/> Faire afficher les caractéristiques cinétiques du balancier équipé : onglet « Évaluer – propriétés de masses » ; sélectionner « système de coordonnées 1 » comme système de coordonnées de sortie.</li> <li><input type="checkbox"/> À partir des résultats donnés par le logiciel, fournir la valeur en <math>\text{kg.m}^2</math>, du moment d'inertie par rapport à l'axe Oz, du « balancier équipé ».</li> </ul>

## 4 SYNTHÈSE

Synthèse Communiquer	<b>Activité 9.</b> Comparaison des écarts
	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Commenter les écarts pouvant exister entre les résultats de la simulation et de l'expérimentation.</li> </ul>

## 5 ANNEXE – CARACTÉRISTIQUES CINÉTIQUES DES COMPOSANTS DÉTERMINÉES PAR SOLIDWORKS

### 5.1 Paramétrage



#### Moteur + hélice

Masse = 65 grammes (supposée ponctuelle)

Position : A et B

	X (mm)	Y (mm)
A	-140	0
B	+140	0

#### Boulon + 2 rondelles

Masse = 40 grammes (supposée ponctuelle)

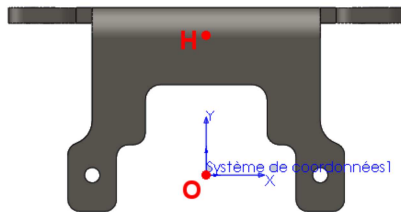
Positions : C, D, E, F

	X (mm)	Y (mm)
C	-140	-30
D	+140	-30
E	-105	55
F	+105	55

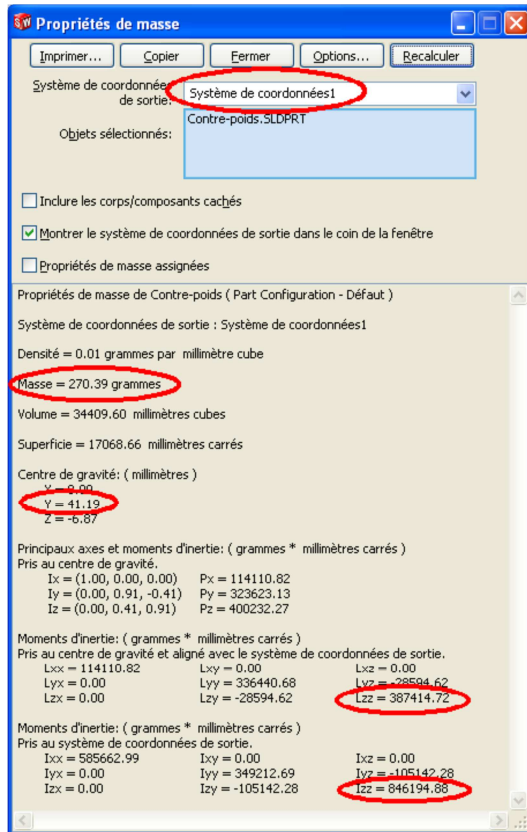
### 5.2 Données cinétiques

#### Contrepoids

Centre de masse : H

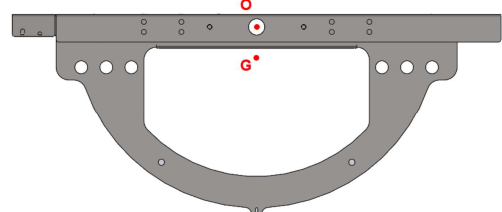


données SolidWorks :

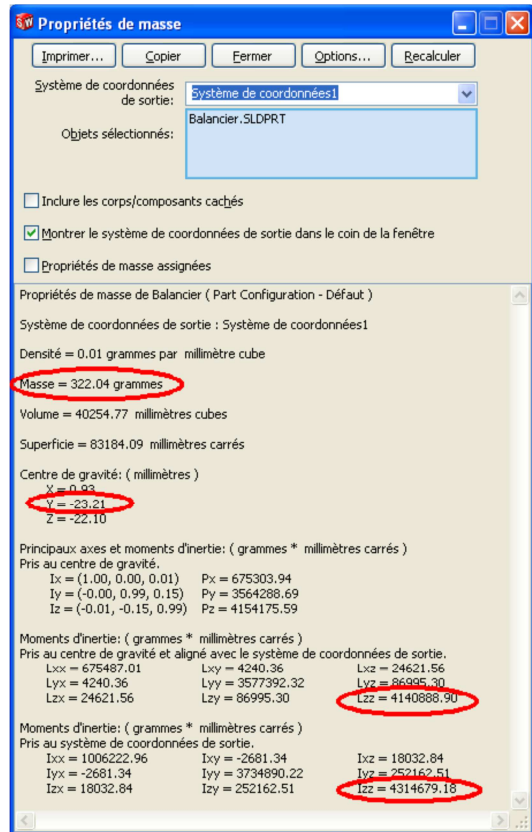


#### Balancier seul

Centre de masse : G



données SolidWorks :



On observera que le « système de coordonnées 1 » ou « système de coordonnées de sortie » est choisi au point O, avec l'axe Oz coïncident avec l'axe de rotation du balancier du drone didactique.