**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**

**Etude dynamique du tangage du drone**

***Drone D2C***

**PSI**



# Objectifs

## 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. |

## 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 |

## Évaluation des écarts

|  |  |
| --- | --- |
|  | **L’objectif de ce TP est de déterminer les caractéristiques inertielles du drone afin de renseigner un modèle.** |

# Étude du mouvement de tangage du drone didactique

# Présentation

|  |  |
| --- | --- |
| On montre que l’étude complète du comportement d’un drone quadrirotor dans l’espace à trois dimensions peut être séparée (moyennent des démarches de linéarisation à l’ordre 1) en quatre études indépendantes décomposées en différents « sous-systèmes » d’équations.  La première partie de ce TP porte sur le sous-système qui conduit au déplacement latéral du drone, dont on peut extraire l’équation « de tangage ». | *Modèle utilisé dans le sujet de « modélisation » X-Cachan PSI 2013* |
| La deuxième partie du TP porte sur l’analyse du phénomène de couple gyroscopique ; on se propose de vérifier par la simulation logicielle, que ce phénomène peut effectivement être négligé, conformément aux démarches qui utilisent la linéarisation à l’ordre 1 dans une étude complète. |  |

On fait l’hypothèse que le drone didactique a les mêmes caractéristiques inertielles autour de l’axe de tangage que le drone réel, et que la motorisation est identique.

La maniabilité du drone nécessite que la vitesse de 30°/s soit atteinte en moins de 1 dixième de seconde. L’exigence du cahier des charges à vérifier est traduite dans l’exigence ci-contre.

# Détermination expérimentale du moment d’inertie du drone

## Assimilation de l’expérimentation

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Analyse et Expérimentation** | 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.** |  | |

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

On désigne par l’axe de rotation du balancier et par, la direction allant de vers le moteur droit.

|  |  |
| --- | --- |
| **Analyse et Modélisation** | 1. Réaliser un modèle cinématique d’après l’expérimentation.  * **Réaliser** un schéma de l’expérimentation en y plaçant le paramétrage angulaire (angle ) autour de la position d’équilibre, le déplacement de l’extrémité de la tige-ressort et le rayon (mesuré par rapport à l’axe de rotation du balancier sur lequel s’exerce l’effort ). * Exprimer une relation géométrique simple liant , et . |

|  |  |
| --- | --- |
| **Analyse et Modélisation** | 1. Établir l’équation de mouvement.   Soit le moment d’inertie du balancier complet par rapport à l’axe de rotation. Soit l’effort que développe la tige-ressort sur le balancier lorsque celui-ci est écarté de sa position d’équilibre. Soit la raideur de la tige-ressort, telle que . 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 : ). * **En déduire** l’expression de la période des oscillations en fonction du moment d’inertie , de la raideur et des caractéristiques dimensionnelles (on pourra considérer petit pour linéariser l’équation autour du point de fonctionnement   et négliger le coefficient de frottement visqueux : ). |

|  |  |
| --- | --- |
| **Expérimentation et résolution** | 1. 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 est la longueur de la tige élastique, son diamètre et son module d’élasticité, les lois de la résistance des matériaux (étude de flexion de la tige) nous donnent le déplacement à l’extrémité de la tige :  On mesure : , , . On donne : .   * **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 du balancier. |

## Exploitation des résultats d’expérimentation par utilisation d’un logiciel de modélisation « acausale »

|  |  |
| --- | --- |
| **Simulation et résolution** | 1. 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 (KR2) a été préparé (double-clic sur le bloc « ressort … »).   * Justifier le choix du modèle proposé par rapport à l’expérimentation réalisée. * Par simulation successive, rechercher l’inertie permettant d’obtenir la même pseudo-période que pour la courbe expérimentale. * Vérifier que le décrément logarithmique est comparable sur la modélisation et l’expérimentation. Quel paramètre faut-il modifier pour ajuster le décrément ? |

# Exploitation d’un modèle CAO

## Détermination et justification des composantes des matrices d’inertie

|  |  |
| --- | --- |
| **Modélisation et résolution** | 1. Exploiter les caractéristiques d’inertie données par SolidWorks en Annexe.  * 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 Lzz et Izz fournis par le logiciel (exploiter les informations entourées). |

|  |  |
| --- | --- |
| **Modélisation et résolution** | 1. Exploiter les caractéristiques d’inertie données par SolidWorks en Annexe.  * 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 . |

## Exploitation de l’assemblage complet avec le logiciel SolidWorks

|  |  |
| --- | --- |
| **Modélisation et résolution** | 1. Exploiter les caractéristiques d’inertie données par SolidWorks.  * Lancer le logiciel « Solidworks », ouvrir le fichier « **balancier-complet.sldasm** ». * Vérifier la présence du « système de cordonnées 1 » sur l’axe Oz (tout en bas de l’arbre de construction). * Faire afficher les caractéristiques cinétiques du balancier équipé : onglet « Évaluer – propriétés de masses » ; sélectionner « système de cordonnées 1 » comme système de coordonnées de sortie. * À partir des résultats donnés par le logiciel, fournir la valeur en kg.m2, du moment d’inertie par rapport à l’axe Oz, du « balancier équipé ». |

# Synthèse

|  |  |
| --- | --- |
| **Synthèse**  **Communiquer** | 1. Comparaison des écarts  * Commenter les écarts pouvant exister entre les résultats de la simulation et de l’expérimentation. |

# Annexe – Caractéristiques cinétiques des composants déterminées par SolidWorks

## 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 | |

## 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 , avec l’axe coïncident avec l’axe de rotation du balancier du drone didactique.