

**STABILISATEUR VERTICAL POUR APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE**

(centrale PSI 2021)

**Contexte**

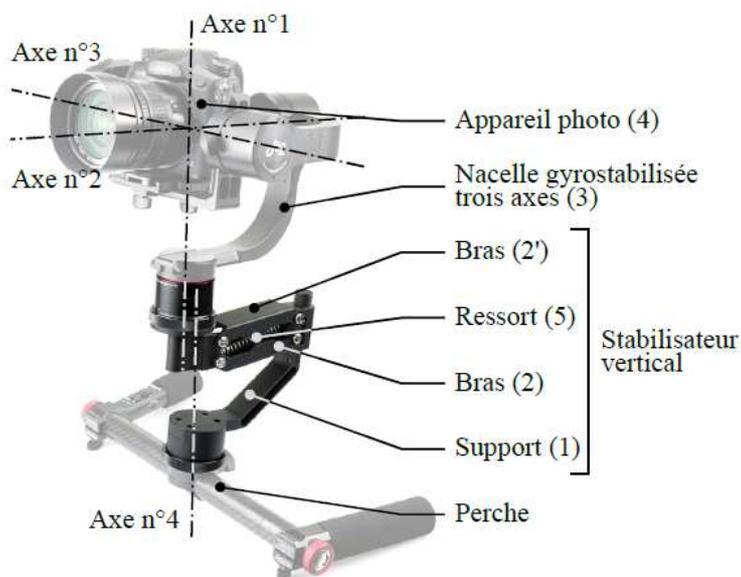
L'utilisation du mode vidéo, en haute définition sur les appareils photo réflex et légers, pose aux photographes le problème de la stabilisation de l'image car les vibrations engendrées y sont importantes et visibles. Des stabilisateurs installés à l'intérieur des appareils diminuent l'effet de ces vibrations mais ils restent très insuffisants pour assurer une bonne stabilisation notamment sur des sujets mobiles car ces systèmes ne sont efficaces que pour des temps de pose relativement longs. C'est pour cette raison que des systèmes de stabilisation externes ont été développés avec des supports et accessoires purement mécaniques ou motorisés.

**Nacelles gyrostabilisées**

Parmi les systèmes de stabilisation externes, les nacelles gyrostabilisées, installées sur une perche portée par les deux mains de l'utilisateur et sur lesquelles se fixe l'appareil photographique présentent l'avantage d'être légères, compactes et d'utilisation facile. Elles permettent de corriger les perturbations dues aux mouvements de l'utilisateur selon trois axes de rotations. Néanmoins, elles ne permettent pas de réduire les perturbations verticales dues à la marche ou à la course de l'utilisateur.

**Stabilisateur vertical**

Pour maîtriser les perturbations verticales dues à la marche ou la course des photographes, un constructeur commercialise un stabilisateur vertical à installer entre la perche et la nacelle gyrostabilisée (**figure 1**). Un cahier des charges partiel est présenté sur le diagramme SysML de la **figure A** en annexe.

**Figure 1** : nacelle gyrostabilisée avec stabilisateur vertical**Vérification du respect de l'exigence relative à la position d'équilibre**

*Objectif* : Vérifier le respect de l'exigence 1.1 relative à la position d'équilibre du système

Le cahier des charges précise que le stabilisateur peut être utilisé avec des appareils photo de masse comprise entre 0,350 kg et 1,550 kg (**figure A**). L'objectif de cette partie est de vérifier que la conception est assez robuste vis-à-vis du facteur de masse de l'appareil photo pour satisfaire l'exigence 1.1 relative à la position d'équilibre du système.

Le mécanisme étudié dont la modélisation retenue est donnée (**figure 2**) est principalement constitué de quatre solides  $\{(1), (2), (2'), (3)\}$  formant un parallélogramme et guidés deux à deux en rotation par des liaisons modélisées par des pivots aux points  $A, A', B$  et  $B'$ .

La nacelle gyrostabilisée est schématisée par la barre (3). Le support (1), faisant l'objet d'une liaison encastrement avec la perche, est supposé être en mouvement de translation par rapport au sol (0) autorisé par une glissière fictive.

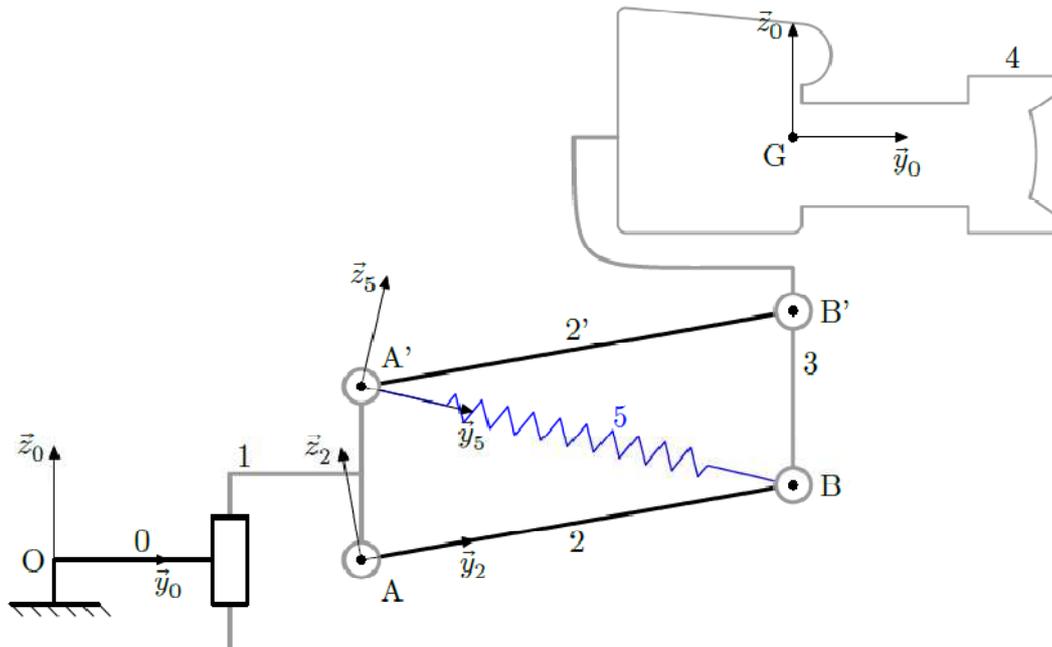


Figure 2 : schéma cinématique du stabilisateur vertical

Ce modèle est paramétré par :

- le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  supposé galiléen avec  $\vec{z}_0$  vertical ;
- le repère  $R_1(A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  lié au support (1) avec  $\vec{OA} = y_A \cdot \vec{y}_0$  ;
- le repère  $R_2(A, \vec{x}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  lié au bras (2) avec  $\alpha = (\vec{y}_0, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$  ;
- le repère  $R'_2(A', \vec{x}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  lié au bras (2') avec  $\vec{AA'} = l \cdot \vec{z}_0$  ;
- le repère  $R'_3(B, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  lié à la nacelle gyrostabilisée (3) et à l'appareil photographique (4) liés rigidement entre eux avec  $\vec{AB} = L \cdot \vec{y}_2$ . Le centre d'inertie de l'ensemble  $\{(3) + (4)\}$  est noté  $G$ , avec  $\vec{BG} = y_G \cdot \vec{y}_0 + z_G \cdot \vec{z}_0$  ;
- le repère  $R_5(A', \vec{x}_0, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$  est défini tel que  $\vec{A'B} = L_r \cdot \vec{y}_5$  avec  $\beta = (\vec{y}_0, \vec{y}_5) = (\vec{z}_0, \vec{z}_5)$ .

Les hypothèses retenues pour cette étude sont :

- les quatre liaisons pivots et la liaison glissière sont parfaites ;
- le modèle est plan ;
- la nacelle gyrostabilisée (3) et l'appareil photographique (4) sont considérés comme formant un seul solide ;
- seules les masses de la nacelle gyrostabilisée (3) et l'appareil photographique (4) sont considérées non-nulles : la masse de la nacelle est  $m_3 = 1,250 \text{ Kg}$ , la masse de l'appareil (4) sera noté  $m_4$  ;

**Q1.** Exprimer littéralement les coordonnées du centre d'inertie  $G$  dans le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  en fonction de l'angle  $\alpha$  et des paramètres géométriques du système.

L'action mécanique du ressort de traction (5) sur la nacelle gyrostabilisée (3) est modélisée par le torseur :

$$\{T(5 \rightarrow 3)\}_B = \begin{Bmatrix} F_r \cdot \vec{y}_5 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

Le ressort de traction (5) de raideur  $K_r$  et de longueur à vide  $L_{r0}$  possède une tension initiale  $F_{r0}$  lorsque  $L_r = L_{r0}$ . Il est relié d'une part au support (1) et d'autre part au solide (3) aux points d'ancrage respectivement  $A'$  et  $B$ .

**Q2.** Exprimer la composante de résultante d'action mécanique  $F_r$  en fonction des paramètres géométriques du système et des paramètres du ressort.

**Q3.** Déterminer la direction des actions mécaniques de liaison exercées par le bras (2) sur la nacelle (3) et par le bras (2') sur la nacelle (3).

Dans cette partie, le torseur statique du solide  $i$  sur le solide  $j$  en un point  $M$  exprimé dans la base  $B_0$  sera noté ainsi :

$$\{T(i \rightarrow j)\} = \underset{M}{\begin{pmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{pmatrix}}_{B_0}$$

**Q4.** Afin de déterminer la position d'équilibre de l'ensemble  $\{(3) + (4)\}$ , proposer sans calcul, une démarche claire qui permette d'exprimer l'effort nécessaire du ressort de traction (5) sur la nacelle gyrostabilisée (3). **Vous indiquerez : quel(s) solide(s) isoler, quel théorème utiliser, quel axe de projection choisir.**

**Q5.** Mettre en œuvre la démarche précédente et déterminer l'expression littérale de  $F_r$  en fonction des données du problème.

À partir des relations déterminées précédemment, deux fonctions `beta(alpha)` et `effort_ressort(alpha)` qui renvoient respectivement la valeur de l'angle  $\beta$  et la valeur de la composante de résultante d'action mécanique  $F_r$  sont implantées en Python. La bibliothèque `numpy` a été importée sous le nom abrégé `np`. Les variables globales `g` et `m3` fournissent respectivement la valeur de l'accélération de la pesanteur terrestre et la valeur de la masse de la nacelle gyrostabilisée (3). Les positions d'équilibre pour différentes valeurs de la masse  $m_4$  sont alors obtenues par une méthode de recherche de zéro par dichotomie.

**Q6.** Écrire en Python une fonction, `fonction_equilibre(m4, alpha)`, qui renvoie zéro lorsque, pour une valeur de masse  $m_4$  de l'appareil photo donnée, la valeur de l'angle  $\alpha$  vaut l'angle d'équilibre recherché.

Une fonction `angle_equilibre(m4)` qui renvoie la valeur de l'angle  $\alpha = \alpha_0$  correspondant à la position d'équilibre avec une méthode de recherche de zéro par dichotomie est implantée en Python. La courbe obtenue à partir de la fonction `angle_equilibre(m4)` représentant l'angle d'équilibre  $\alpha_0$  en fonction de la masse de l'appareil photo  $m_4$  est donnée sur la **figure B en annexe**.

**Q7.** En donnant les valeurs des angles d'équilibre pour les deux valeurs extrêmes de masse, vérifier le respect de l'exigence 1.1.1. relative à la plage de fonctionnement.

La plage de fonctionnement du mécanisme est limitée par la géométrie des bras (2) et (2') avec  $\alpha = [-35^\circ, 45^\circ]$ ,  $l = 25 \text{ mm}$ ,  $L = 52 \text{ mm}$ ,  $y_G = 5 \text{ mm}$  et  $z_G = 200 \text{ mm}$ .

**Q8.** En étudiant le comportement du système autour des deux positions d'équilibre extrêmes, vérifier le respect de l'exigence 1.1.2. de l'appareil photo autour des positions d'équilibre possibles. Conclure sur le respect de l'exigence 1.1.

ANNEXE

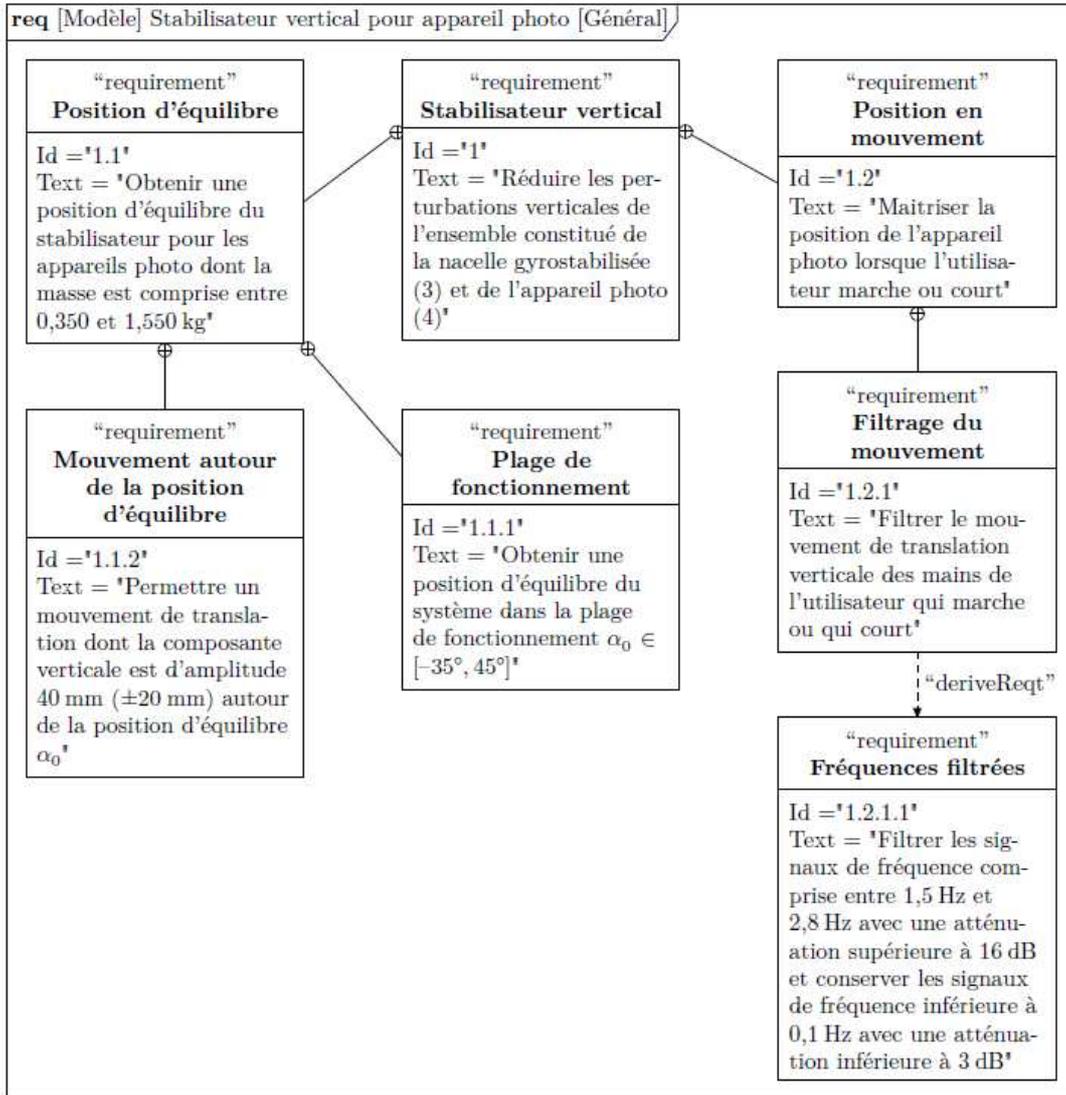


Figure A : cahier des charges partiel

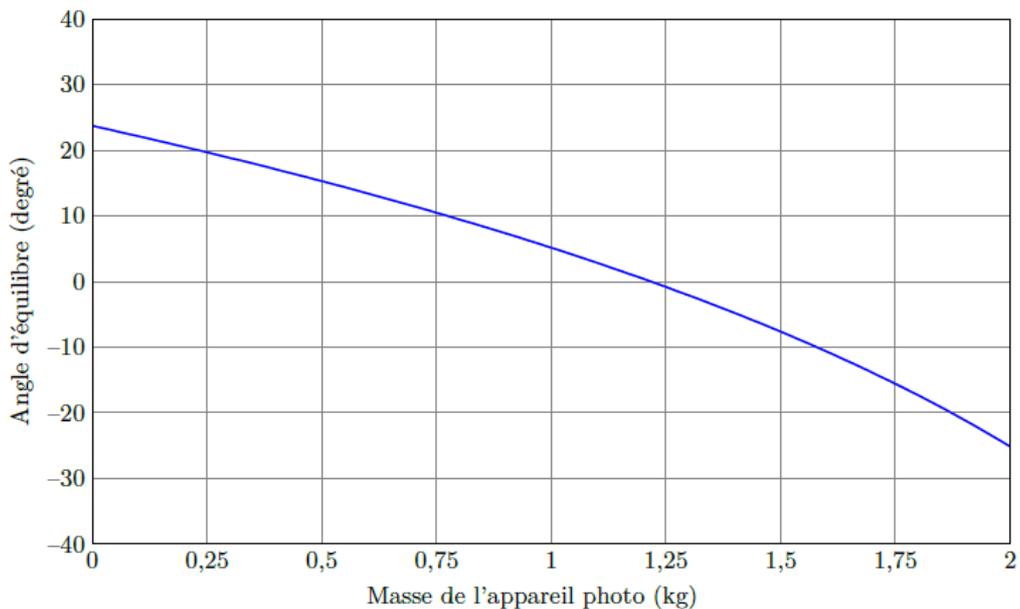


Figure B : Angle d'équilibre  $\alpha_0$  en fonction de la masse de l'appareil photo  $m_4$