

MP

DM pour le 23 septembre 2021

Corrigé prochainement sur le site :
<http://perso.numericable.fr/starnaud/>

Ce DM comporte :

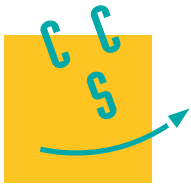
- ✓ Un sujet, pages 1 à 4.
- ✓ Une page avec les figures A et 5.

Remarques :

Question 6 On a simplement $\vec{F}_r = F_r \cdot \vec{y}_5$
avec $F_r = -K_r \cdot (L_r - L_0)$

Questions 8 et 9 Isoler (3+4) et appliquer le TRS sur \vec{z}_2 .

Question 10 A voir pour information.



Stabilisateur vertical pour appareil photo

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 (figure 1). Néanmoins, elles ne permettent pas de réduire les perturbations verticales dues à la marche ou à la course de l'utilisateur.

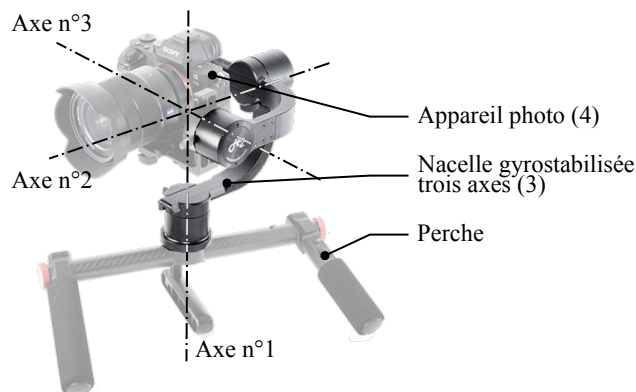


Figure 1 Nacelle gyrostabilisée

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 2).

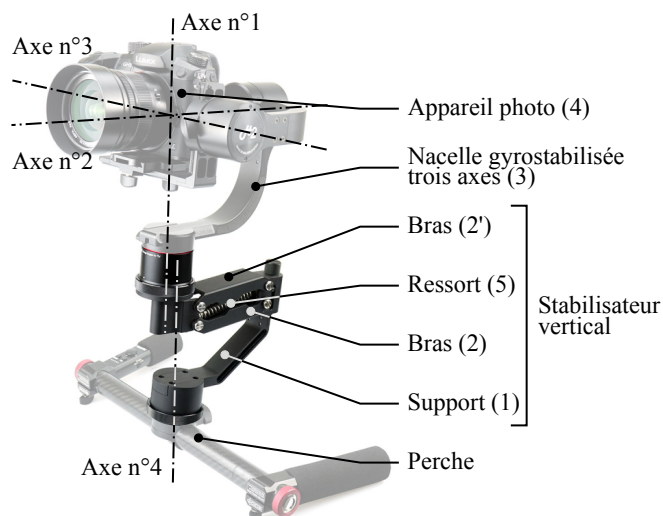


Figure 2 Nacelle gyrostabilisée avec stabilisateur vertical

Une analyse du besoin des photographes a permis de documenter le cahier des charges fonctionnel dont un extrait est donné figure A du document réponse. Le cadre de ce sujet porte plus spécifiquement sur l'évaluation

des solutions retenues pour satisfaire les objectifs de maîtrise de la position d'un appareil photo à l'équilibre et en mouvement. Le sujet est décomposé en quatre parties :

- dans la partie I, une analyse des mouvements de marche et de course d'un utilisateur est effectuée et les critères chiffrés de l'exigence relative à la position de l'appareil photo en mouvement sont justifiés ;
- la partie II porte sur la vérification du respect de l'exigence relative à la position à l'équilibre de l'appareil photo ;
- en partie III, une étude dynamique met en évidence la nécessité d'ajouter une commande active au système pour assurer le respect de l'exigence relative à la position en mouvement de l'appareil photo ;
- la partie IV porte sur la conception de la commande active du système en vue d'assurer la maîtrise de la position de l'appareil photo avec le niveau de précision requis par le cahier des charges.

I Analyse du mouvement de l'utilisateur et justification du cahier des charges

— Objectif —

Analyser les mouvements de l'utilisateur lorsqu'il marche ou lorsqu'il court et justifier les critères chiffrés de l'exigence relative à la position de l'appareil photo en mouvement

Pour réduire les perturbations verticales de l'appareil photo, la solution retenue est de filtrer les mouvements de translation verticale de la perche dont les fréquences sont précisées dans le cahier des charges (figure A). Pour justifier ces performances, on réalise des captures du mouvement vertical d'une perche tenue des deux mains par un utilisateur qui se déplace sur un sol plat.

Cette capture de mouvement est réalisée à partir d'un système optoélectronique dont le principe est le suivant : des caméras projettent une lumière dans le spectre infrarouge et détectent la lumière réfléchiée par des marqueurs réfléchissants placés sur l'utilisateur. À partir des focales des caméras, de leur position et de leur orientation, il est possible de reconstruire, à chaque instant, par triangulation, la position spatiale des marqueurs et d'en déduire le mouvement vertical des mains, en retenant la valeur moyenne de la position verticale des deux mains.

Les graphes des enregistrements de deux passages, marche et course, sont donnés ainsi que leur analyse spectrale (figure 3). Le contenu spectral est estimé en utilisant un enregistrement sur une durée limitée et la relation utilisée permet d'obtenir directement les amplitudes des différentes composantes harmoniques. Le calcul du spectre est réalisé pour un ensemble de fréquences choisi selon une distribution linéaire.

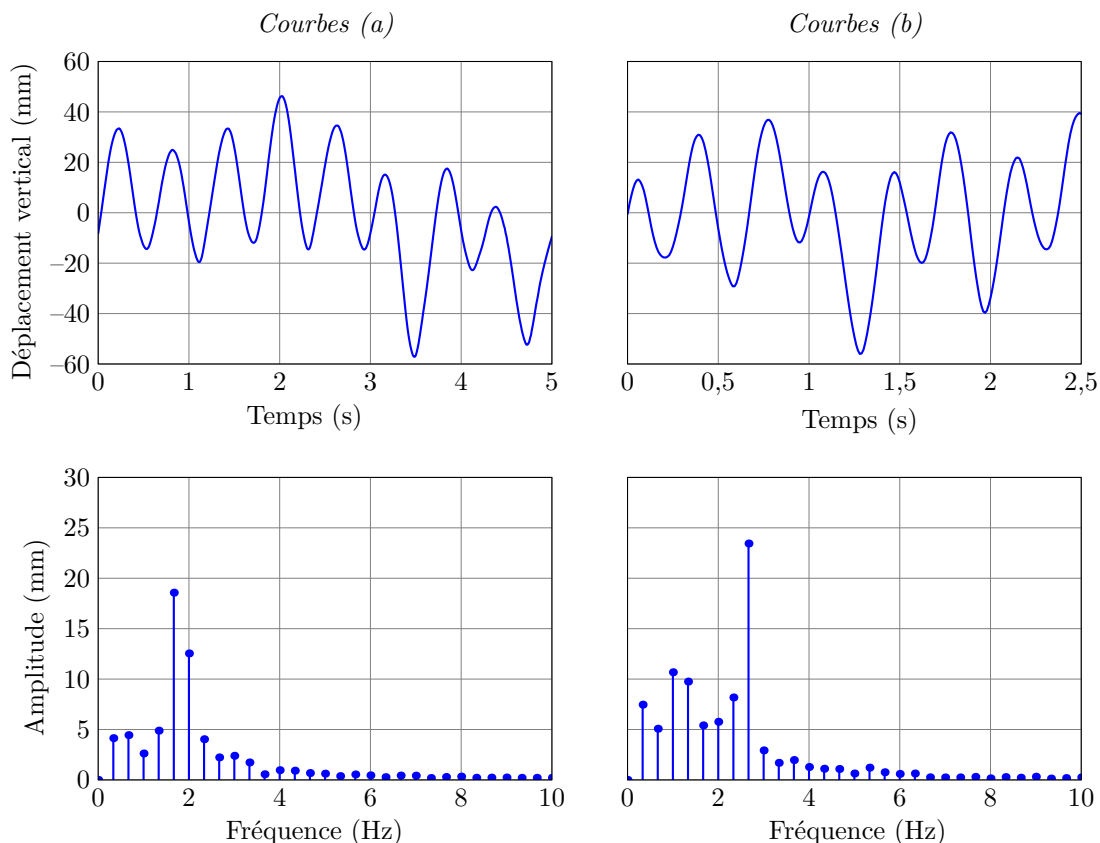


Figure 3 Représentations temporelle et spectrale du déplacement vertical des mains de l'utilisateur lors de la capture du mouvement

Q 1. Associer chacune des courbes (a) ou (b) à l'enregistrement du mouvement pendant la marche ou la course de l'utilisateur. Il est conseillé d'analyser les caractéristiques de l'harmonique de plus grande amplitude.

Q 2. Proposer une méthode de filtrage pour atténuer les perturbations dues à la marche ou à la course de l'utilisateur tout en conservant les mouvements de translation verticale souhaités.

II Vérification du respect de l'exigence relative à la position d'équilibre

Objectif

Vérifier le respect de l'exigence 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.

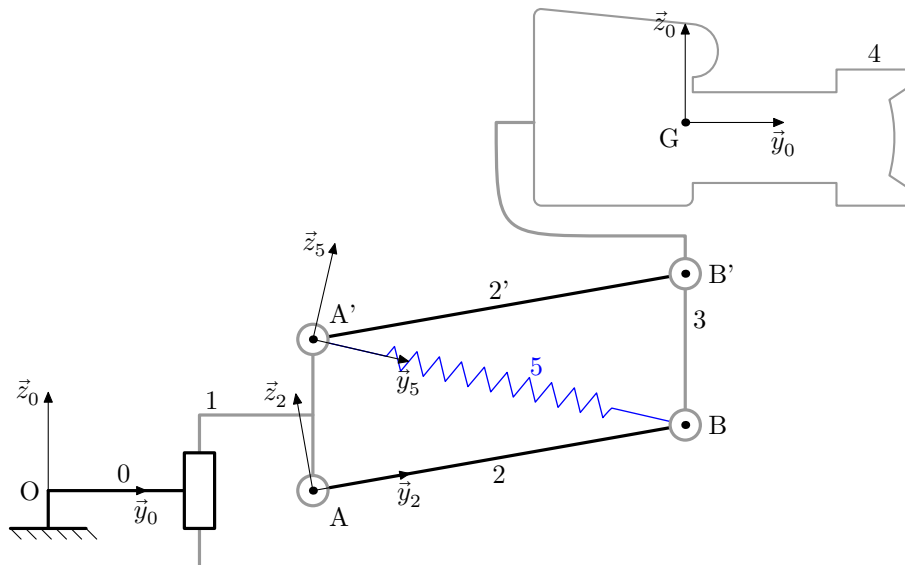


Figure 4 Schéma cinématique plan et paramétrage du mécanisme

Le mécanisme étudié dont la modélisation retenue est donnée (figure 4) 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 gyroscopique 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. Ce modèle est paramétré par :

- le repère terrestre $\mathcal{R}_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen avec \vec{z}_0 vertical ascendant ;
- le repère $\mathcal{R}_1(A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au support (1) avec $\overline{OA} = y_A \vec{y}_0 + z_{\text{pert}} \vec{z}_0$;
- le repère $\mathcal{R}_2(A, \vec{x}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ lié au bras (2) avec $\alpha = (\vec{y}_0, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$;
- le repère $\mathcal{R}'_2(A', \vec{x}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ lié au bras (2') avec $\overline{AA'} = l \vec{z}_0$;
- le repère $\mathcal{R}_3(B, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié à la nacelle gyroscopique (3) et à l'appareil photo (4) liés rigidement entre eux avec $\overline{AB} = L \vec{y}_2$. Le centre d'inertie de l'ensemble $\{(3) + (4)\}$ est noté G, avec $\overline{BG} = y_G \vec{y}_0 + z_G \vec{z}_0$;
- le repère $\mathcal{R}_5(A', \vec{x}_0, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$ est défini tel que $\overline{A'B} = L_r \vec{y}_5$ avec $\beta = (\vec{y}_0, \vec{y}_5) = (\vec{z}_0, \vec{z}_5)$.

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

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.

Pour cette étude :

- la nacelle gyroscopique (3) et l'appareil photo (4) sont considérés comme formant un seul solide ;
- la masse et les inerties des solides sont négligées mis à part pour l'ensemble constitué de la nacelle gyroscopique (3) et de l'appareil photo (4) de masse $m_{34} = m_3 + m_4$ avec $m_3 = 1,250$ kg la masse de la nacelle gyroscopique (3) et m_4 la masse de l'appareil photo (4).

La référence retenue pour décrire la position de l'appareil photo est le centre d'inertie G de l'ensemble constitué de la nacelle gyrostabilisée (3) et de l'appareil photo (4) dans le repère \mathcal{R}_0 .

Dans cette partie, l'étude est conduite avec les hypothèses suivantes :

- les quatre liaisons pivots et la liaison glissière sont parfaites ;
- la modélisation est plane ;
- il n'y pas de perturbation ($z_{\text{pert}} = 0$).

Q 3. Exprimer les coordonnées du centre d'inertie G dans le repère \mathcal{R}_0 en fonction de l'angle α et des paramètres géométriques du système.

Q 4. En utilisant une fermeture géométrique, donner l'expression de l'angle β en fonction de l'angle α et des paramètres géométriques L et l du système.

Q 5. Exprimer la longueur L_r du ressort de traction (5) en fonction de l'angle α et des paramètres géométriques du système.

II.A – Vérification de l'exigence relative à la plage de fonctionnement

L'action mécanique du ressort de traction (5) sur la nacelle gyrostabilisée (3) est modélisée par le torseur $\{\mathcal{F}_{5 \rightarrow 3}\}$:

$$\{\mathcal{F}_{5 \rightarrow 3}\} = \left\{ \begin{array}{c} F_r \vec{y}_5 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B.$$

Q 6. Exprimer la composante de résultante d'action mécanique F_r en fonction de l'angle α , des paramètres géométriques du système et des paramètres du ressort.

Q 7. 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).

Q 8. 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).

Q 9. Exprimer l'équation scalaire traduisant l'équilibre du mécanisme en fonction des angles α , β , de la masse m_{34} et de la composante de résultante d'action mécanique F_r .

À partir des relations déterminées précédemment, deux fonctions `beta(alpha)` et `effort_ressort(alpha)` qui renvoient respectivement la valeur de l'angle β 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.

Q 10. 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 α 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 α_0 en fonction de la masse de l'appareil photo m_4 est donnée (figure 5).

Q 11. 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.

II.B – Vérification de l'exigence relative au mouvement de l'appareil photo autour des positions d'équilibre possibles

Q 12. 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.

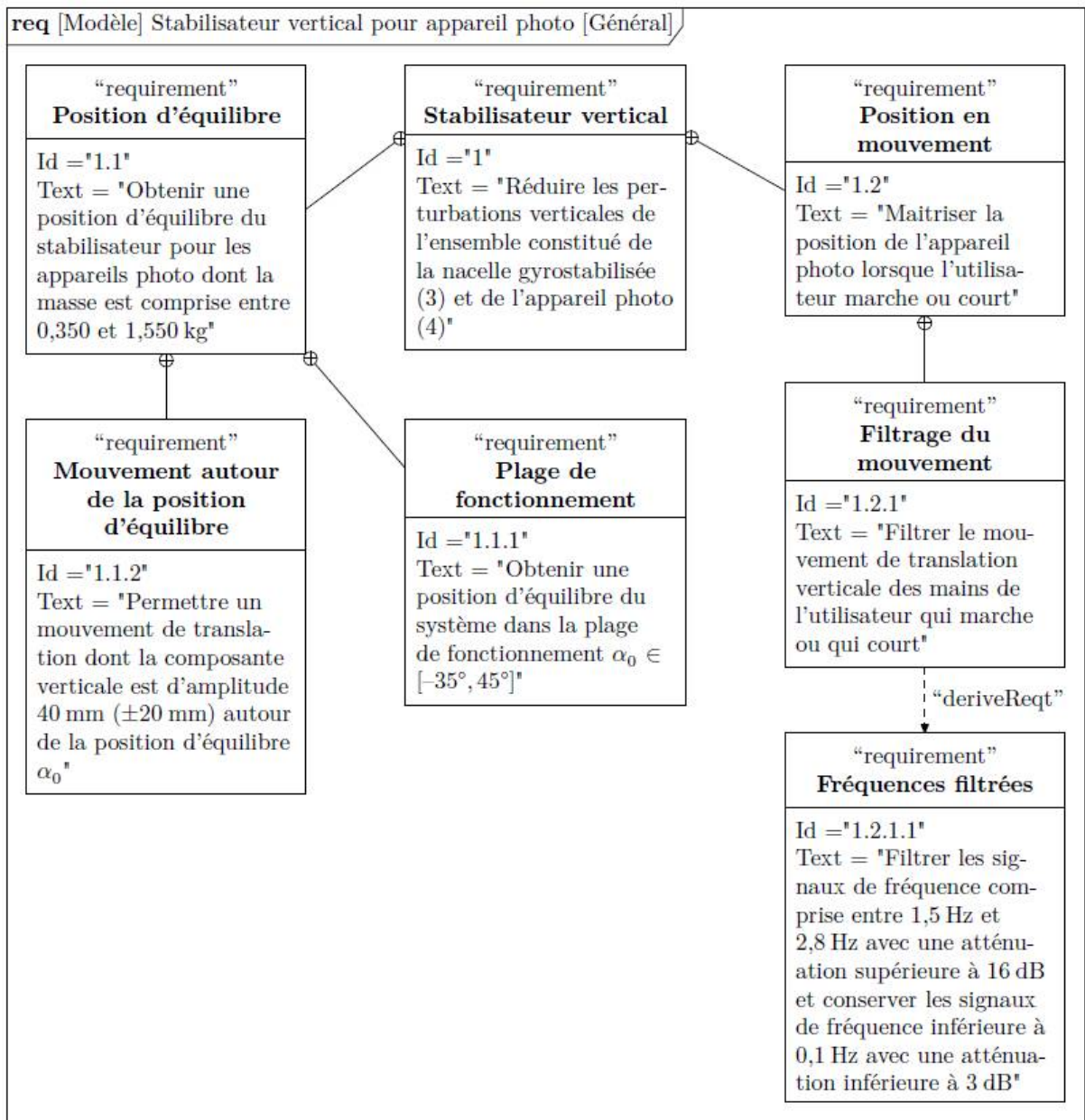


Figure A Extrait du cahier des charges fonctionnel

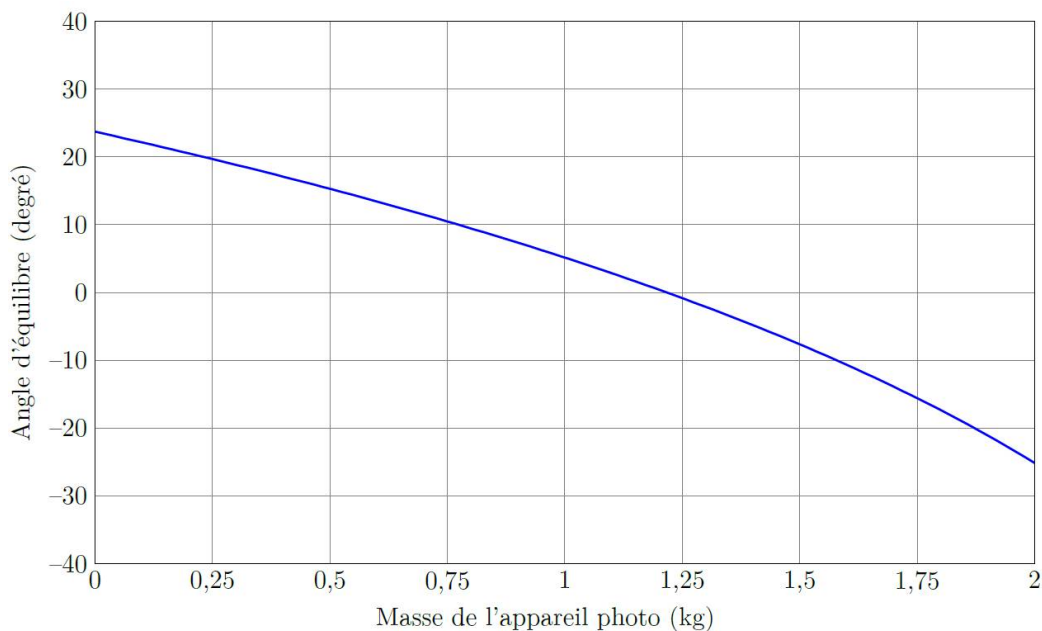


Figure 5 Angle d'équilibre α_0 en fonction de la masse de l'appareil photo m_4