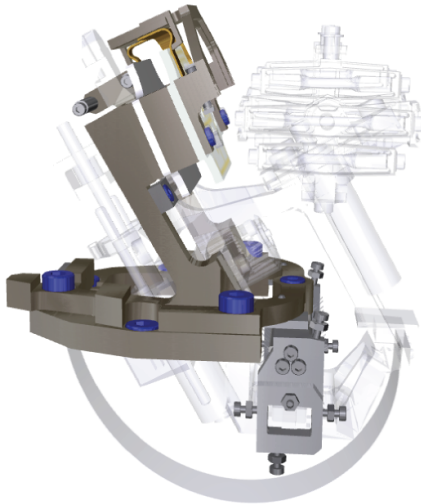
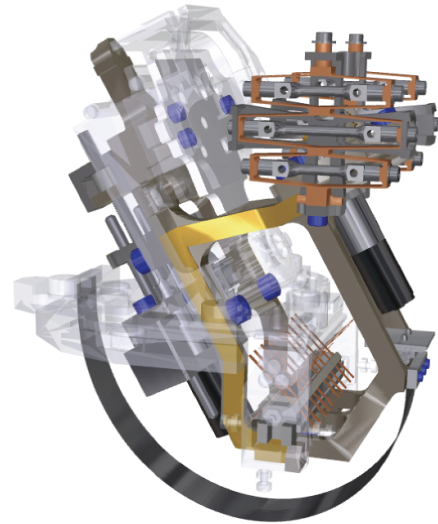


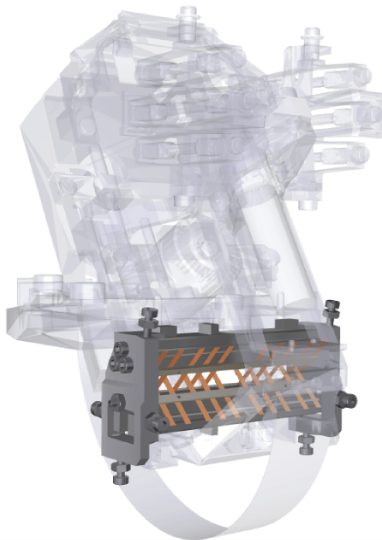
Annexe 1 - Détail des éléments d'un des systèmes du VBB



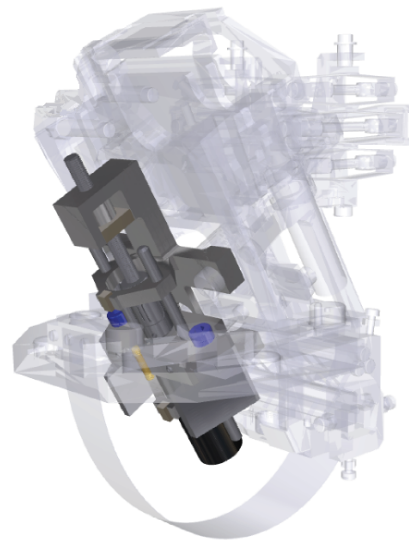
bâti (1)



pendule (2)

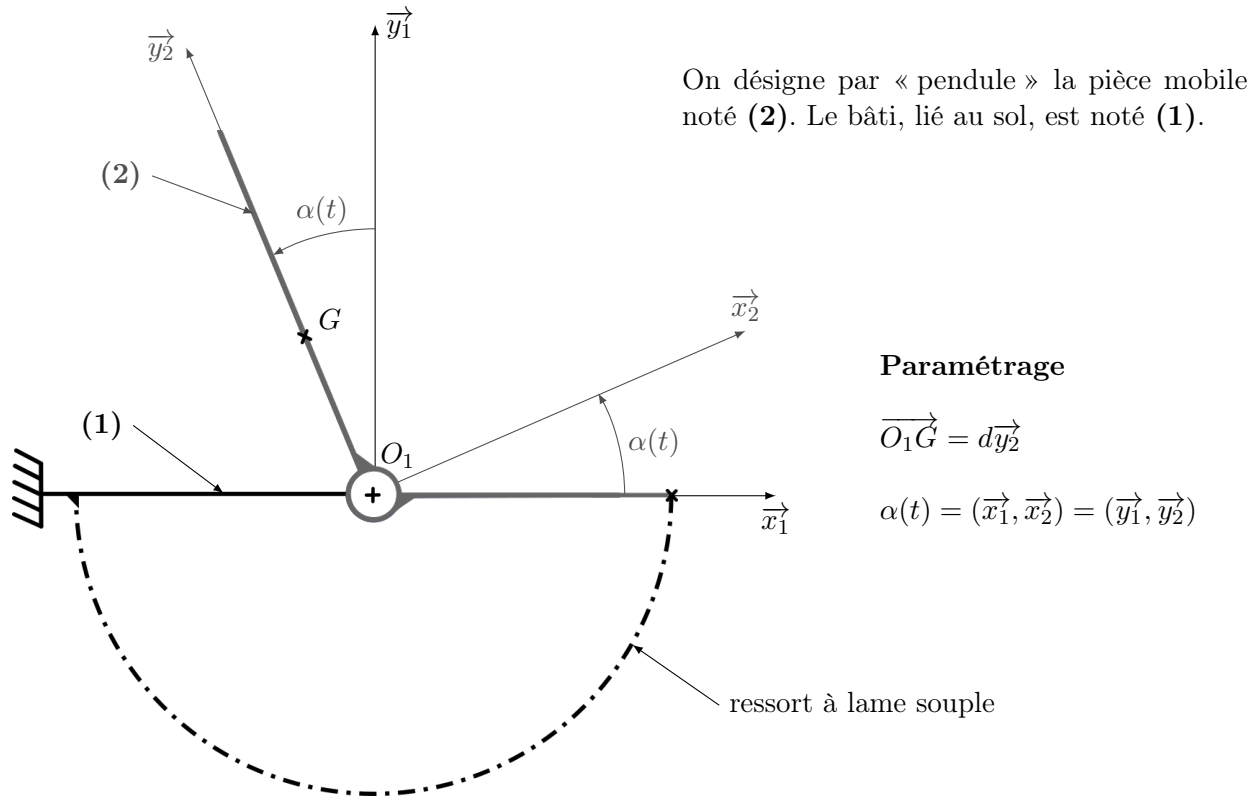


articulation à lamelles entre (1) et (2)



mécanisme de translation
du centre d'inertie de (2)

Annexe 2 - Modèle cinématique du système en l'absence de séisme



Notations

G	centre d'inertie du pendule (2)
M	masse du pendule (2)
C_0	moment de précontrainte de l'ensemble {ressort + articulation} sur (2)
k	raideur de l'ensemble {ressort + articulation} sur l'axe (O_1, \vec{z}_1)
α_0	position angulaire à vide du pendule
α_{eq}	position angulaire du pendule à l'équilibre (sous l'effet des actions de la pesanteur et du ressort)
g_M	champ de pesanteur à la surface de Mars, de direction $-\vec{y}_1$

Hypothèses

Le référentiel \mathcal{R}_1 , auquel est associé le repère $R_1 = (O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ lié au sol, est supposé galiléen en l'absence de séisme.

La liaison pivot réalisée par l'articulation à lames sur l'axe de rotation (O_1, \vec{z}_1) du pendule par rapport à (1) n'est pas parfaite. Les frottements visqueux sont pris en compte à travers un coefficient de frottement μ ($\mu > 0$) :

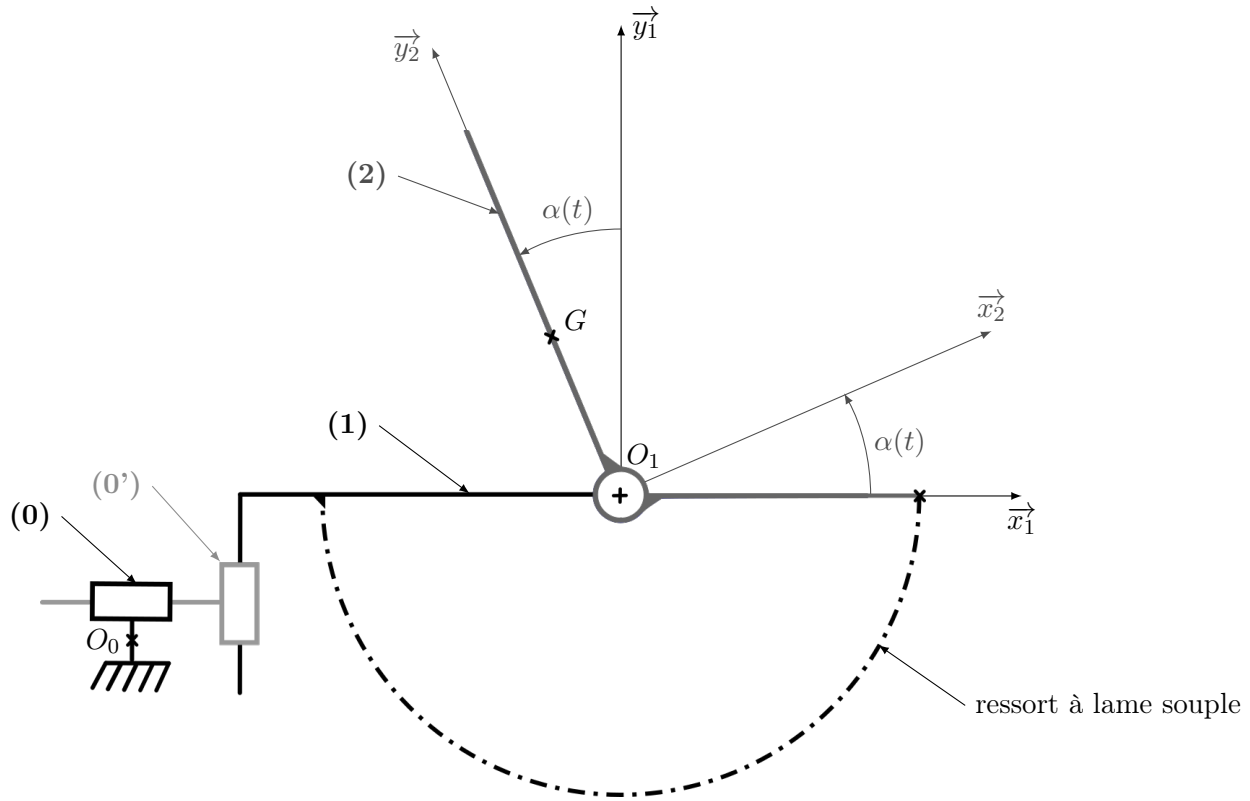
$$\{\mathcal{T}_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{l} X_O \vec{x}_1 + Y_O \vec{y}_1 + Z_O \vec{z}_1 \\ L_O \vec{x}_1 + M_O \vec{y}_1 - \mu \dot{\alpha}(t) \vec{z}_1 \end{array} \right\}_{O_1}$$

L'action de rappel de l'ensemble {ressort + articulation} est assimilée à un couple sur l'axe de rotation (O_1, \vec{z}_1) du pendule :

$$\{\mathcal{T}_{\text{ressort} \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{0} \\ (C_0 - k(\alpha(t) - \alpha_0)) \vec{z}_1 \end{array} \right\}_{O_1}$$

Annexe 3 - Modèle cinématique du système lors d'un séisme

Les torseurs d'actions mécaniques et les notations de l'Annexe 2 restent valables.



Notations et hypothèses supplémentaires

En tenant compte des symétries, la matrice d'inertie du pendule (2) en O_1 est de la forme :

$$\bar{\bar{I}}_{(O_1,2)} = \begin{pmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & 0 \\ -I_{xy} & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J \end{pmatrix}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_1)}$$

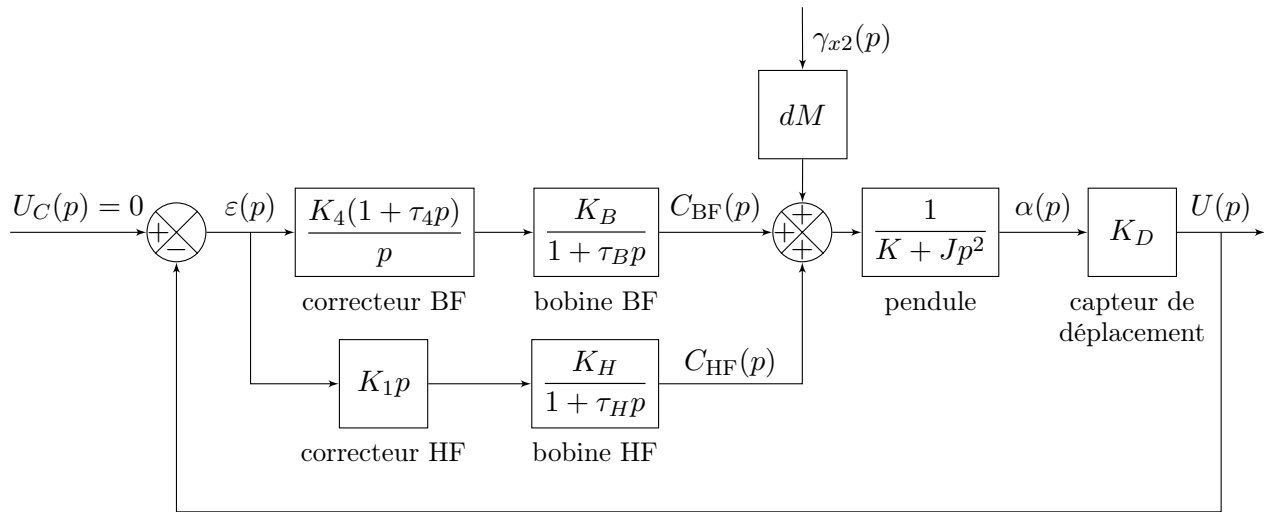
Le référentiel \mathcal{R}_0 , auquel est associé le repère $R_0 = (O_0, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, est supposé galiléen.

On note la vitesse du sol (1) par rapport à R_0 :

$$\vec{V}_{(O_1,1/R_0)} = V_x(t)\vec{x}_1 + V_y(t)\vec{y}_1$$

Annexe 4 - Asservissement en tension d'un système

Schéma-blocs de l'asservissement



Grandeurs physiques intervenant dans l'asservissement

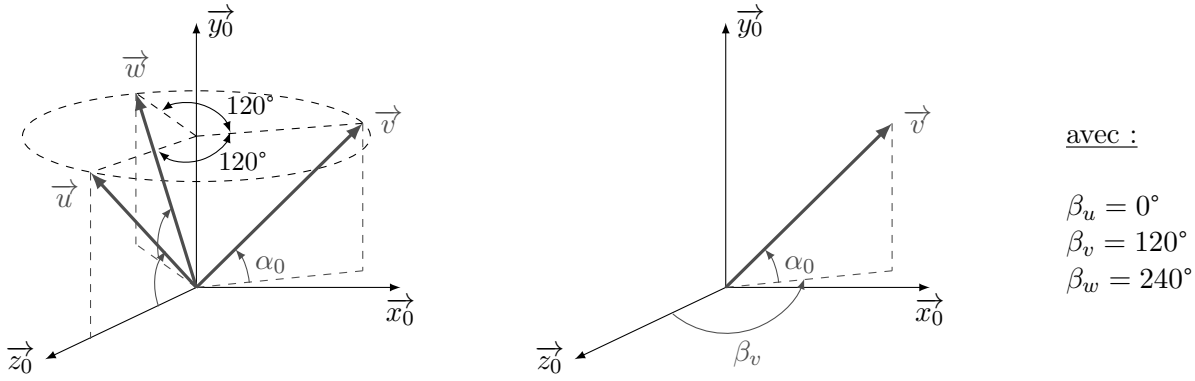
Grandeur physique	Transformée de Laplace	Unité	Description
$u_C(t)$	$U_C(p)$	V	Tension consigne. Elle est toujours nulle car on souhaite que le pendule revienne à sa position d'équilibre.
$u(t)$	$U(p)$	V	Tension en sortie du capteur, image du déplacement angulaire du pendule autour de sa position d'équilibre
$\varepsilon(t)$	$\varepsilon(p)$	V	Écart entre la tension de consigne et la tension en sortie du capteur
$\gamma_{x2}(t)$	$\gamma_{x2}(p)$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Accélération du sol lors d'un séisme
$\Delta\alpha(t)$	$\alpha(p)$	rad	Déplacement angulaire du pendule autour de sa position d'équilibre
$C_{BF}(t)$	$C_{BF}(p)$	$\text{N}\cdot\text{m}$	Moment généré par la bobine BF sur l'axe de rotation du pendule
$C_{HF}(t)$	$C_{HF}(p)$	$\text{N}\cdot\text{m}$	Moment généré par la bobine HF sur l'axe de rotation du pendule

Données numériques

- $K_D = 1,48 \times 10^5 \text{ V}\cdot\text{rad}^{-1}$
- $K_H = 3 \times 10^{-8} \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$
- $\tau_H = 0,001 \text{ s}$
- $K_B = 5 \times 10^{-8} \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$
- $\tau_B = 0,1 \text{ s}$

Annexe 5 - Disposition des trois systèmes du sismomètre VBB

Les trois systèmes pendulaires du sismomètre VBB sont répartis à 120° les uns des autres autour de l'axe vertical et leurs directions de sensibilité, notées respectivement \vec{u} , \vec{v} et \vec{w} , sont toutes inclinées d'un même angle α_0 par rapport à l'horizontale.



On définit la base orthonormée directe $b_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ constituée des vecteurs (\vec{z}_0, \vec{x}_0) , qui forment le plan horizontal lié au sol, et du vecteur vertical \vec{y}_0 , normal au sol.

Les directions de sensibilité \vec{u} , \vec{v} et \vec{w} sont orientées par rapport à la base b_0 à l'aide des angles suivants :

- α_0 oriente la direction de sensibilité des pendules par rapport au plan horizontal (\vec{z}_0, \vec{x}_0) (identique pour les trois directions de sensibilité),
- β_u , β_v et β_w orientent la projection de la direction du pendule par rapport à \vec{z}_0 dans le plan horizontal.

Le vecteur accélération du sol par rapport au repère galiléen R_0 au point O_1 lors d'un séisme se décompose, dans la base b_0 , comme suit :

$$\vec{\Gamma}_{O_1,1/R_0} = \gamma_{x0} \vec{x}_0 + \gamma_{y0} \vec{y}_0 + \gamma_{z0} \vec{z}_0$$

Par ailleurs, les accélérations mesurées dans les directions de sensibilité sont notées respectivement :

$$\gamma_u = \vec{\Gamma}_{O_1,1/R_0} \cdot \vec{u} \quad \gamma_v = \vec{\Gamma}_{O_1,1/R_0} \cdot \vec{v} \quad \gamma_w = \vec{\Gamma}_{O_1,1/R_0} \cdot \vec{w}$$

La matrice P fait le lien entre l'expression de l'accélération du sol dans b_0 et selon les différentes directions de sensibilité :

$$\begin{pmatrix} \gamma_u \\ \gamma_v \\ \gamma_w \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} \gamma_{x0} \\ \gamma_{y0} \\ \gamma_{z0} \end{pmatrix}$$