

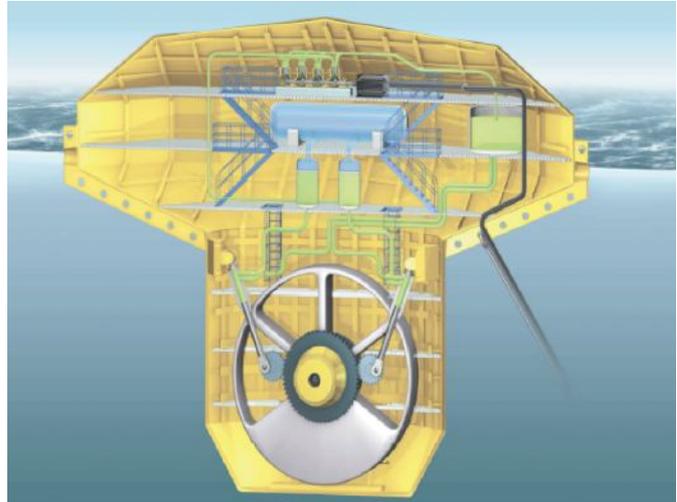
Dynamique : Récupération d'énergie de la houle (Centrale TSI1 11)

Récupération de l'énergie de la houle marine : Système SEAREV (Système Électrique Autonome de Récupération de l'Énergie des Vagues)

Les ressources en énergie fossile baissent inexorablement, et les scientifiques sont à la recherche de solutions de remplacement durables.

Les laboratoires de recherche de l'École Centrale de Nantes, et de l'École Normale Supérieure de Rennes travaillent actuellement au développement d'un prototype de houlogénératrice (projet SEAREV).

Il s'agit d'un flotteur ancré au large dans lequel est placé un pendule constituant le rotor d'une génératrice synchrone. L'énergie produite est adaptée afin d'être acheminée à la côte et injectée sur le réseau de transport EDF.

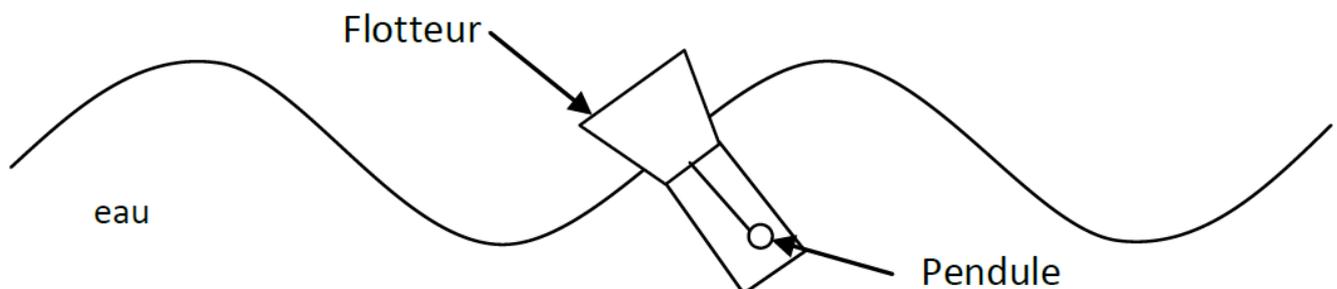


Détermination de l'énergie récupérable par le flotteur

Objectif : Dans cette partie nous allons déterminer la puissance moyenne récupérable par l'ensemble flotteur et pendule. Pour cela, on se propose à partir des équations du mouvement d'établir un modèle du convertisseur mécanique afin d'analyser son comportement et de choisir un point de fonctionnement permettant de maximiser l'énergie récupérable à l'aide d'une optimisation numérique.

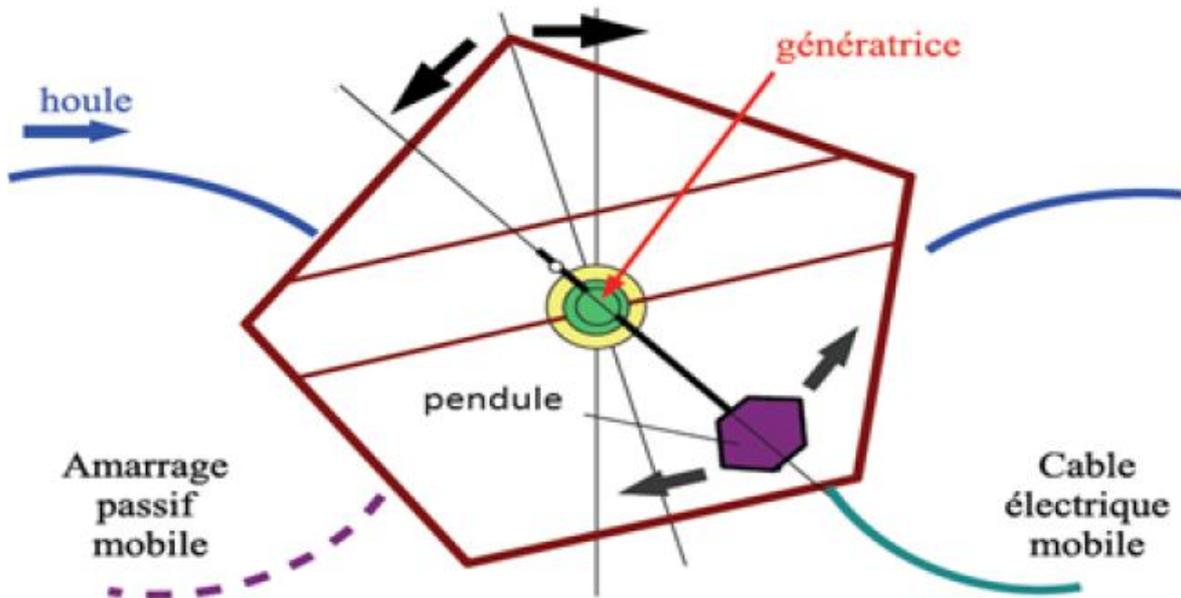
Description

Toute l'étude se fera en considérant un système plan, la surface de l'eau est modélisée par une sinusoïde fonction de l'espace et du temps, tous les mouvements ont lieu dans le plan. On fait l'hypothèse forte que l'orientation du flotteur suit la tangente à la surface de l'eau, ce qui induit un mouvement de tangage.



La houlogénératrice est constituée d'un flotteur **1** et d'un pendule **2** évoluant par rapport à la Terre **0**. Les deux solides **1** et **2** sont en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}) .

La génératrice synchrone placée sur l'axe de liaison permet de récupérer une partie de l'énergie des vagues.



Paramétrage

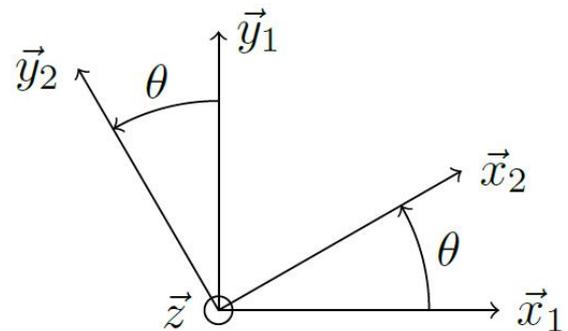
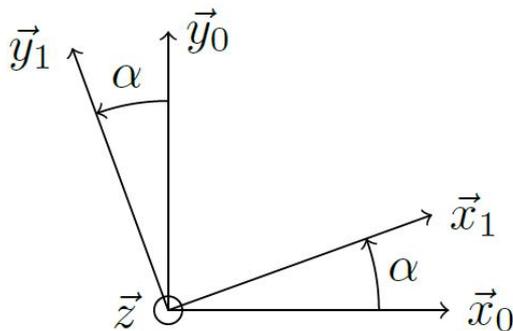
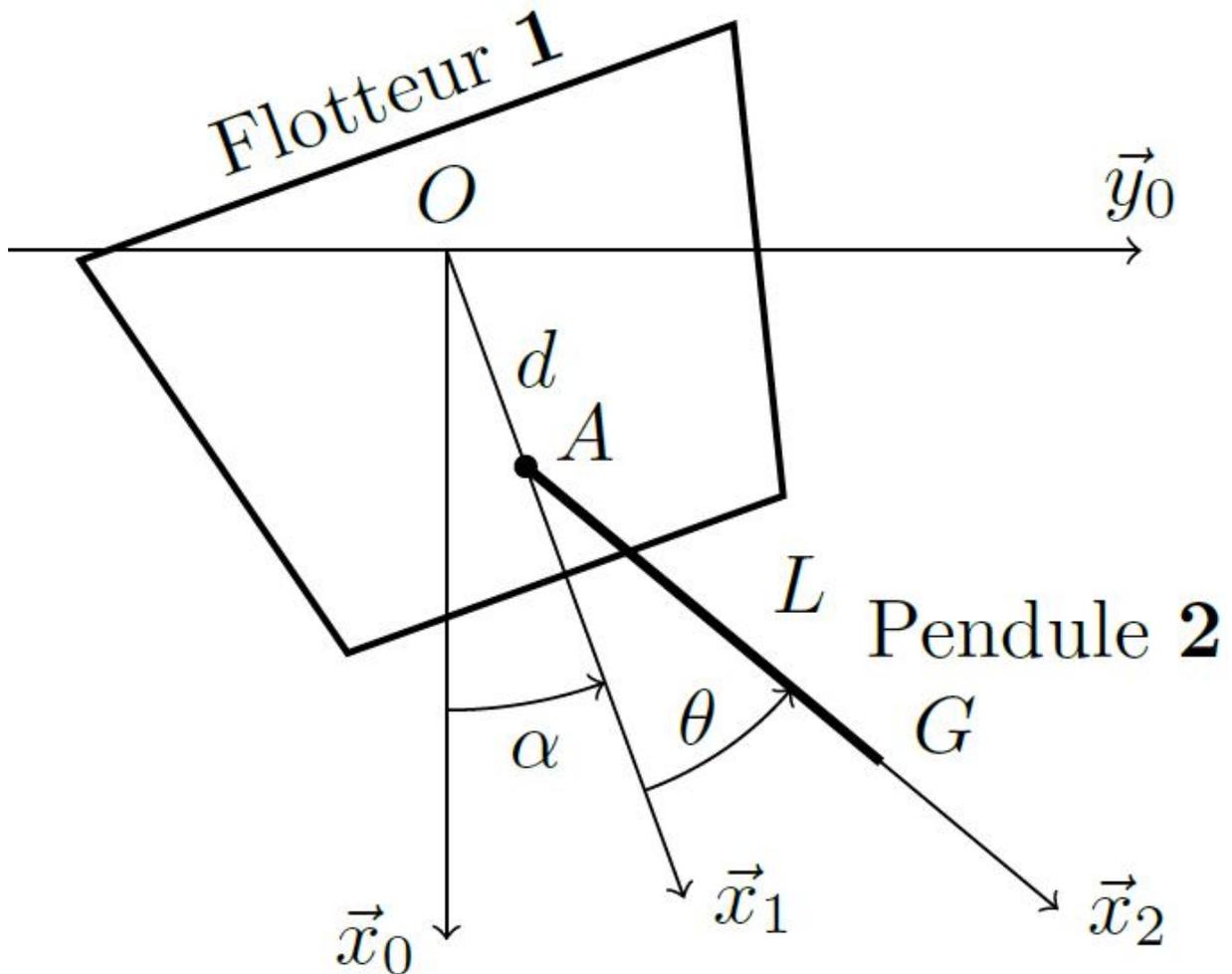
Le point O , origine du repère $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$, est fixe par rapport à la terre et à l'altitude nulle. Le vecteur \vec{x}_0 a pour direction la verticale, le vecteur \vec{y}_0 a pour direction l'horizontale. La base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ est liée au flotteur **1** et la base $(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z})$ est liée au pendule **2**. Le mouvement de tangage du flotteur induit par la houle se traduit ici par une rotation du flotteur **1** par rapport à la Terre **0** autour de l'axe (O, \vec{z}) . Le paramètre angulaire est l'angle α .

L'axe de la liaison pivot entre le flotteur **1** et le pendule **2** est l'axe (A, \vec{z}) , le point A est paramétré par $\overrightarrow{OA} = d \cdot \vec{x}_1$. Le paramètre angulaire est l'angle θ . Le centre d'inertie du pendule **2** est le point G tel que $\overrightarrow{AG} = L \cdot \vec{x}_2$.

Hypothèses

- ✓ Un référentiel lié à la Terre est supposé galiléen.
- ✓ Le flotteur est toujours à la surface de l'eau.
- ✓ Le flotteur est toujours incliné suivant la tangente à la surface de l'eau. On en déduit une variation de α donnée par $\alpha(t) = \alpha_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ en ayant noté t le temps, ω la pulsation de la houle et α_0 l'amplitude angulaire du mouvement de tangage du flotteur.
- ✓ Le couple que la génératrice applique sur le pendule **2** est de la forme

$$\overrightarrow{C}_r = Cr \cdot \vec{z} = -\lambda \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{z}$$
- ✓ L'ensemble flottant est soumis :
 - A l'action de la pesanteur.
 - A l'action de l'eau.



Caractéristiques d'inertie du flotteur et du pendule

La masse du flotteur **1** est notée m_1 , la masse du pendule **2** est notée m_2 .

Le moment d'inertie du pendule **2** autour de l'axe (A, \vec{z}) est noté J .

Les produits d'inertie relatifs à la direction \vec{z} du pendule **2** sont nuls.

Équation du mouvement

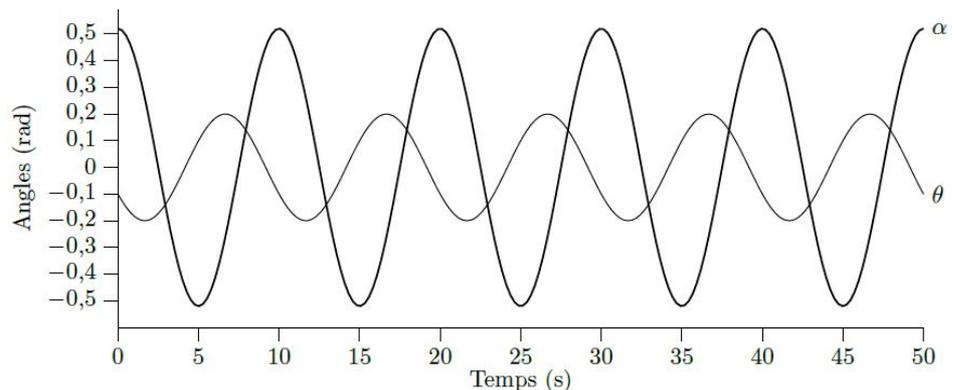
- Q1.** Déterminer la vitesse du point A du flotteur **1** dans son mouvement par rapport à la Terre $\mathbf{0}$: $\vec{V}(A,1/0)$.
- Q2.** Déterminer la vitesse du point G du pendule **2** dans son mouvement par rapport à la Terre $\mathbf{0}$: $\vec{V}(G,2/0)$.

- Q3.** Déterminer le moment cinétique du pendule **2** dans son mouvement par rapport à la Terre **0** au point A : $\vec{\sigma}(A, 2/0)$.
- Q4** Déterminer le moment dynamique du pendule **2** dans son mouvement par rapport à la Terre **0** au point A : $\vec{\delta}(A, 2/0)$.
- Q5** Déterminer les moments au point A des actions extérieures s'appliquant sur le pendule **2**.
- Q6** Écrire l'équation du mouvement qui régit l'évolution de θ , en fonction de α et des constantes du problème.
- Q7** Linéariser l'équation précédente (en supposant les variations d'angles petites et en négligeant les infiniment petits d'ordre supérieur ou égal à 2 et la mettre sous la forme $f(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) = g(\alpha, \dot{\alpha}, \ddot{\alpha})$ avec f et g des fonctions à déterminer.
- Q8** Déterminer la transformée de Laplace de l'équation précédente et déterminer la fonction de transfert $\frac{\theta}{\alpha}$. Expliquer comment agir sur le paramètre λ pour récupérer le maximum d'énergie de la houle.

Résolution numérique de l'équation du mouvement

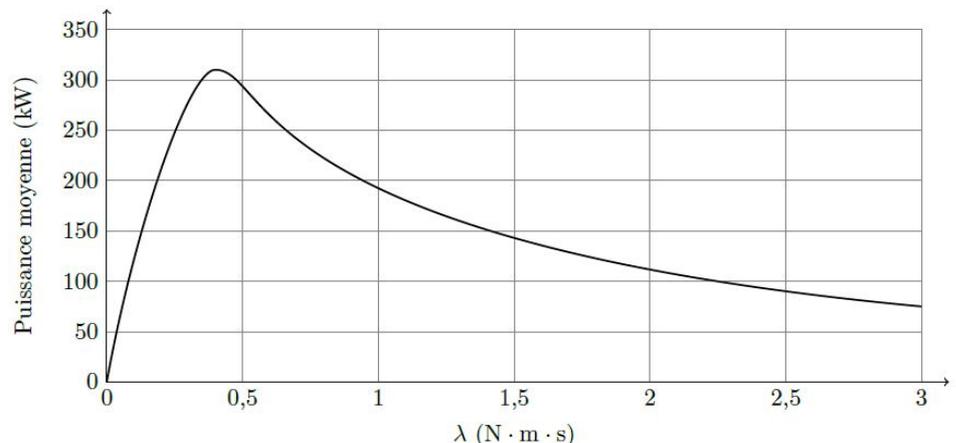
On met en place une résolution numérique à l'aide d'un outil informatique.

On donne figure suivante une représentation de la solution de l'équation différentielle.



- Q9** Exprimer la puissance instantanée que récupère la génératrice.

La suivante montre l'évolution de la puissance moyenne convertie en fonction de λ pour une période de houle de 6s et une demi-amplitude angulaire de $\pi/6$.



- Q10** Déterminer la valeur du paramètre λ qui permet de récupérer le maximum de puissance électrique pour cette période de houle.