

SUJET METROPOLE SEPTEMBRE 2014

Implantation d'une ferme de SEAREV autour de l'île d'Yeu pour garantir son autonomie électrique

SEAREV

(Système Électrique Autonome de Récupération de l'Énergie des Vagues)

- A. Viabilité du projet
- B. Conversion de l'énergie houlomotrice en énergie électrique
- C. Amélioration du rendement du SEAREV
- D. Fiabilité du système sur le long terme
- E. Communication d'informations avec la base terrestre
- F. Conclusion sur la problématique du sujet

Document technique..... page 23

Documents réponses pages 24 à 28

Problématique : implantation d'une ferme de SEAREV autour de l'île d'Yeu pour garantir son autonomie électrique

(Sources : documents publiés par l'École Centrale de Nantes)

Pourquoi un tel projet ?

Outre leur contribution à la diminution des émissions de gaz à effet de serre, les énergies renouvelables présentent le double avantage de réduire la dépendance des États vis-à-vis des importations d'énergies fossiles, et d'être fondées sur des technologies de pointe créatrices d'emplois et d'exportations.

Pour répondre à ces deux problématiques, des chercheurs du Laboratoire de Mécanique des Fluides (LMF) de l'École Centrale de Nantes ont eu l'idée d'exploiter les énergies de la mer, notamment celle des vagues.



Figure 1 : prototype du SEAREV à l'échelle 1 : 12

Ils ont ainsi conçu le prototype d'un système électrique autonome de récupération de l'énergie des vagues appelé SEAREV.

Depuis, des industriels se sont saisis du concept issu des recherches du LMF et breveté par le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) pour en faire un produit performant et commercialisable.

Projet de ferme marine

Les développeurs estiment que l'on pourrait installer en mer des parcs de machines avec une densité de puissance de l'ordre de 25 MW par km² de mer occupée, ce qui pourrait alimenter environ 8 000 foyers français en électricité (moyenne annuelle hors chauffage).

Le SEAREV grandeur réelle (24 m sur 14 m, 1 000 tonnes dont 400 tonnes pour la roue pendulaire) devrait avoir une puissance électrique installée de 500 kW.

Une ferme houlomotrice sera constituée de plusieurs dizaines de modules SEAREV ancrés par 30 à 50 m de fond, donc à 5 ou 10 km des côtes. L'électricité sera transportée à terre par un câble sous-marin. Les SEAREV situés au ras de l'eau seront bien balisés mais quasi invisibles depuis la côte.

Le choix de l'implantation de la ferme doit donc être étudié avec attention car il a une incidence forte sur le nombre de foyers à terre alimentés en électricité.



Figure 2 : modélisation d'une ferme marine

Principe de fonctionnement du SEAREV

SEAREV est un système offshore de deuxième génération composé d'une coque étanche dans laquelle est suspendue une roue pendulaire chargée qui joue le rôle d'un pendule embarqué (figure 3 : engrenages entre la roue pendulaire et les tiges de vérin non représentés).

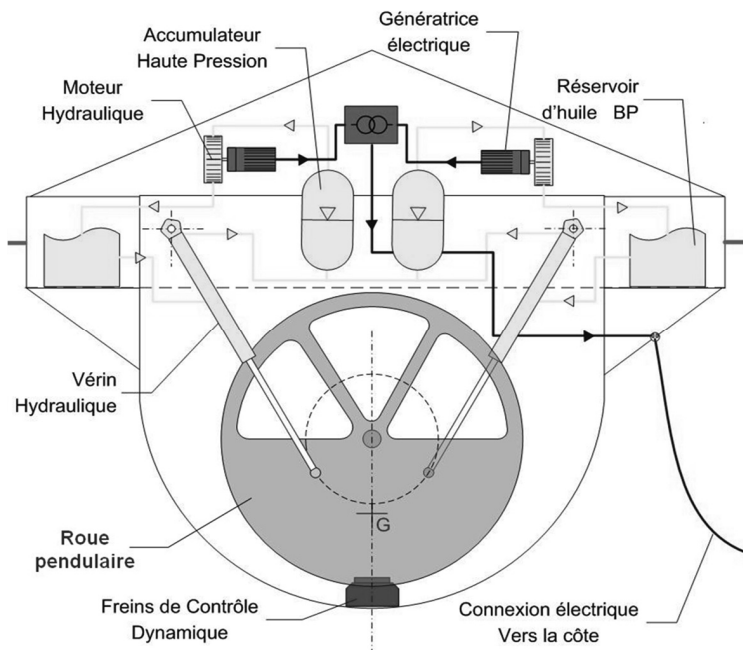


Figure 3 : schéma de principe du fonctionnement du SEAREV

La masse de cette roue à axe horizontal, de grand diamètre (9 m), est concentrée dans la partie inférieure lestée avec du béton. La partie supérieure est évidée. Sous l'action de la houle et des vagues, le SEAREV se met à osciller, entraînant à son tour un mouvement de va-et-vient de la roue pendulaire. Chacun possède son propre mouvement, le mouvement relatif entre la coque et la roue actionne un système hydro-électrique de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique : des vérins hydrauliques liés à la roue pendulaire chargent des accumulateurs à haute pression. En se déchargeant, ces derniers livrent à leur tour leur énergie à des moteurs hydrauliques qui entraînent des générateurs d'électricité.

Compte-tenu de leur coût individuel et du coût de leur installation, les modules SEAREV devront être des plus performants au point de vue de la production d'énergie et devront résister longtemps à l'environnement marin.

A. Viabilité du projet

Objectifs de cette partie : **analyser** la viabilité du projet d'installation d'une ferme de SEAREV à proximité de l'île d'Yeu pour garantir son autonomie électrique. **Répondre** à la problématique « exploiter l'énergie de la mer tout en respectant l'environnement (paysage, faune et flore sous-marine) est-elle une idée envisageable pour l'île d'Yeu ? ».

Q1. A l'aide de la carte des mers entourant la France (figure 27 sur le document technique DT1), **indiquer** la côte la plus adéquate pour l'installation d'une ferme de SEAREV (côte de la Manche ou de l'Atlantique) et **estimer** la hauteur des vagues autour de l'île d'Yeu.

Contraintes environnementales

Dans l'élaboration d'un projet de création d'énergie alternative et « propre » comme le SEAREV, les ingénieurs ne peuvent plus éviter, avec les contraintes sociales de notre époque, de réaliser une étude complète du cycle de vie du produit (voir figure 4).

Le SEAREV est encore à l'état de prototype mais on émet l'hypothèse que le produit final soit fabriqué réellement dans une usine située à Nantes à proximité de l'École Centrale (bureau d'études du projet).

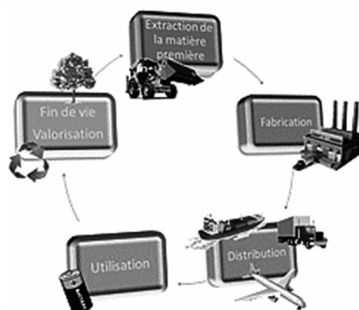


Figure 4 : cycle de vie d'un produit

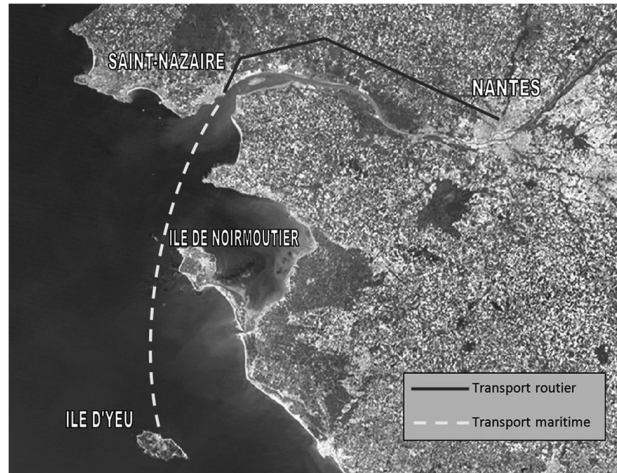


Figure 5 : carte de transport du SEAREV

Les données concernant son transport (voir figure 5) jusqu'à sa zone de largage en mer sont les suivantes :

- masse totale d'un SEAREV,
- $M_s = 1\ 000$ tonnes ;
- transport routier jusqu'au port de Saint-Nazaire¹ (ce port propose toutes les infrastructures nécessaires pour gérer le chargement du SEAREV pour son transport maritime), soit un trajet de 63 km ;
- masse en charge maximale admissible d'un semi-remorque, 40 tonnes ;
- transport maritime de Saint-Nazaire à l'île d'Yeu, soit un trajet de 68 km ;
- facteur d'émission GES² (Gaz à Effet de Serre) pour le frêt maritime, $38,84\text{ g éq C.tonne}^{-1}.\text{km}^{-1}$.

Q2. **Estimer** les émissions GES découlant du transport d'un SEAREV du port de Saint-Nazaire jusqu'à sa destination finale en mer au large de l'île d'Yeu (partie maritime de l'étape du cycle de vie nommée « distribution ») et celles liées à son fonctionnement.

Q3. Le transport maritime du SEAREV dégage déjà beaucoup d'émissions GES. En ce qui concerne son transport routier, **critiquer** l'emplacement de l'usine de fabrication par rapport à la masse du SEAREV et **proposer** une solution pour diminuer au maximum les émissions dans cette étape du cycle de vie.

¹ Le port de Saint-Nazaire est connu pour son chantier naval (Chantiers de l'Atlantique) : le plus grand d'Europe. Celui-ci a construit un grand nombre de navires tels que les paquebots *Queen Mary 2*, *Normandie* ou *France*.

² Le facteur d'émission donné est une valeur moyenne prenant en compte la fabrication du véhicule, la combustion de carburant et ses émissions en amont, les voyages à vide et en charge.

Q4. Conclure sous la forme d'un texte de quelques lignes sur la pertinence d'installer une ferme de SEAREV autour de l'île d'Yeu.

B. Conversion de l'énergie houlomotrice en énergie électrique

Objectifs de cette partie : **analyser** la solution retenue pour transformer l'énergie houlomotrice en énergie électrique et **compléter** le modèle multi-physique pour permettre la simulation du système.

Transformation de la houle en mouvement de rotation alternatif

La conversion de l'énergie houlomotrice en énergie électrique à partir d'un mouvement pendulaire est plutôt complexe car elle dépend de l'oscillation de la coque (tangage, roulis et lacet) et de celle de la roue pendulaire.

Sur la figure 6 les mouvements du SEAREV sont définis avec le vocabulaire technique maritime.

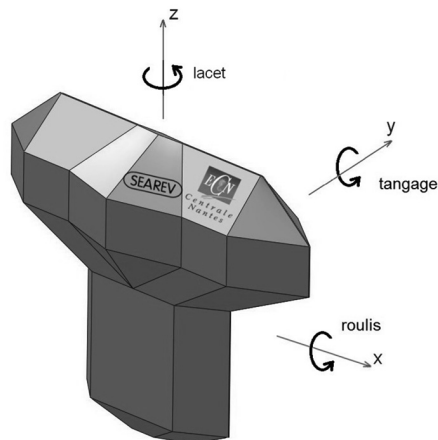
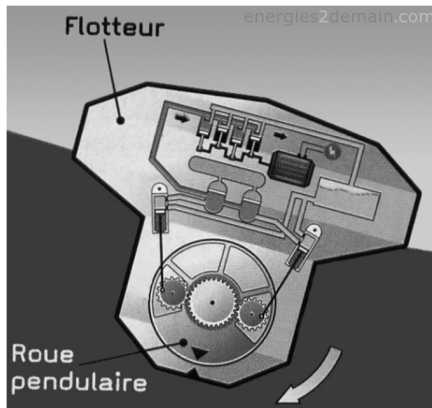


Figure 6 : mouvements maritimes

Q5. Indiquer le nom du mouvement permettant la production correcte d'énergie dans le vocabulaire technique maritime.

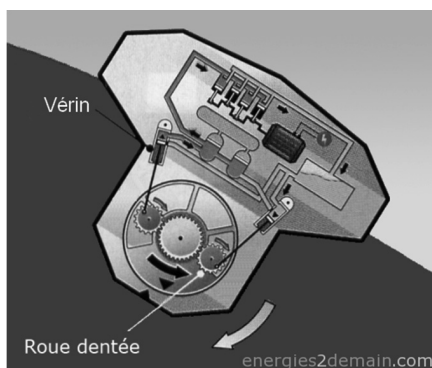
Nous allons simplifier l'étude du fonctionnement en prenant uniquement en compte l'oscillation de la roue pendulaire.

Le fonctionnement du SEAREV peut alors se décomposer en cinq phases présentées ci-après.



Phase 1

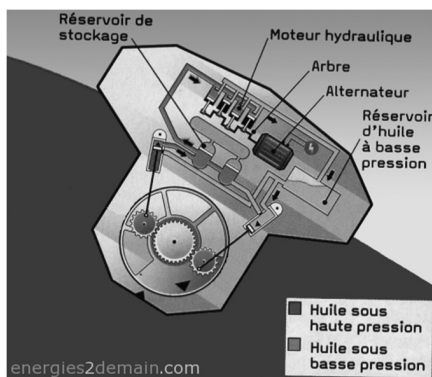
Une vague fait pencher le SEAREV.



Phase 2

Ce mouvement provoque la rotation de la roue pendulaire dans le sens inverse de la coque.

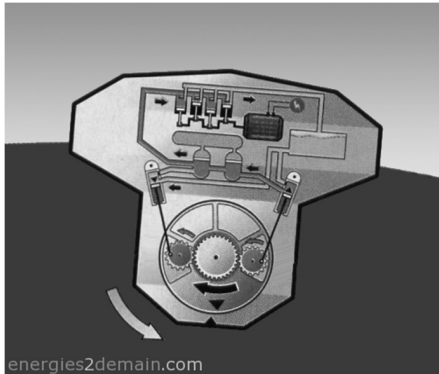
Entraînée par son poids, elle oscille à l'intérieur de la coque tel un pendule. Cette rotation actionne, de chaque côté, une roue dentée. Des bielles, en liaison pivot avec les roues dentées, mettent à leur tour en mouvement deux pistons de vérins utilisés ici comme pompes hydrauliques. Le piston de gauche monte dans son cylindre tandis que celui de droite descend.



Phase 3

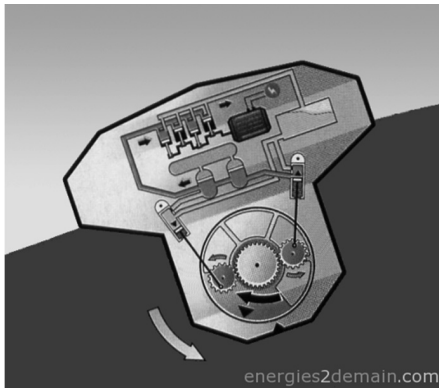
En montant, le piston de gauche éjecte de l'huile sous pression vers les réservoirs de stockage puis vers le moteur hydraulique du SEAREV. Celui-ci utilise cette pression pour faire tourner à haute vitesse un arbre qui entraîne un alternateur produisant du courant électrique. Après son passage dans le moteur hydraulique, l'huile est rejetée dans un réservoir à basse pression pour être réutilisée dans un nouveau cycle. Pendant que le vérin gauche monte, le piston de droite descend,

libérant un espace dans son cylindre. Ce mouvement aspire l'huile contenue dans le réservoir. Cette huile sera réinjectée dans le moteur lors de la prochaine oscillation de la roue pendulaire.



Phase 4

Le SEAREV est au sommet de la vague. La coque s'est redressée. La roue pendulaire oscille alors en sens inverse provoquant cette fois la descente du piston gauche et la remontée du piston droit.



Phase 5

C'est le piston droit qui injecte maintenant de l'huile sous pression dans le moteur hydraulique pendant que le piston gauche se remplit d'huile en provenance du réservoir à basse pression. La roue oscille vers son point haut. Elle repartira ensuite en sens inverse avec la prochaine vague.

Figure 7 : différentes phases de fonctionnement du SEAREV

(<http://energies2demain.com>)

La roue pendulaire, que l'on peut assimiler à un cylindre à centre d'inertie excentré, se comporte mécaniquement comme un pendule simple composé d'une bille de masse m et un fil de longueur L .

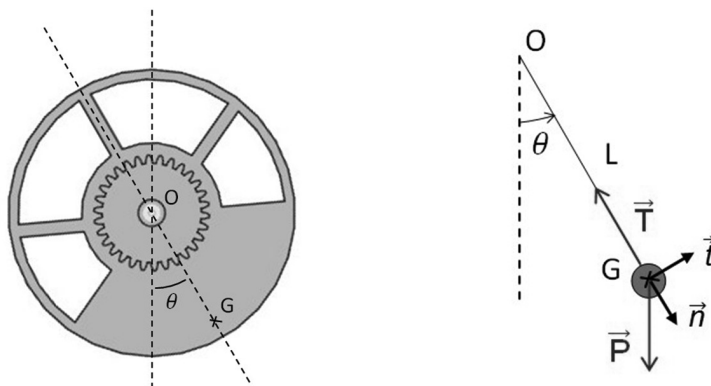


Figure 8 : modélisation de la roue pendulaire sous forme de pendule simple