



**République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur**



**et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued
Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de**

LICENCE ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences et Technologie
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques**

Thème

**Récupération de l'Energie des Vagues
pour la Génération de l'Energie
Electrique**

**Réalisé par:
TAMMA DGA FER
SAHRAOUI MOHAMED LAZHAR
AZZA OUI TAREK
FRIDJAT ABD ESSATTAR**

**Encadré par:
MERAZGE IZZEDDINE**

Soutenu en Juin 2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr. Izzeddine merazge pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département d'Electrotechnique qui a contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre1: Généralités sur la énergies renouvelables.

1.1. Introduction.....	3
1.2. Génération d'énergie renouvelable.....	4
1.2.1. Génération de la chaleur.....	5
1.2.1.1. Énergie solaire.....	6
1.2.1.1.1. Thermo solaire.....	6
1.2.1.2. Géothermie.....	7
1.2.1.3. Biomasse.....	8
1.2.2. Génération d'électricité.....	9
1.2.2.1. Photovoltaïque.....	10
1.2.2.2. Production éolienne.....	11
1.2.2.3. Hydraulique.....	13
1.2.2.4. Energie de la mer.....	14
1.3. Avantages escomptés.....	15
1.4. Autres avantages.....	15
1.5. Conclusion.....	16

Chapitre2: Energie des vagues.

2.1. Introduction	18
2.2. définitions.....	20
2.2.1. la houle.....	20
2.2 .2. Les marées.....	20
2.2.3. L'énergie de la houle.....	21
2.3. Généralités.....	22
2.3.1. Caractéristiques énergétiques de la houle.....	23
2.4. Conclusion.....	26

Chapitre2: Différentes techniques de récupération de l'énergie des vague.

3.1. Introduction.....	27
------------------------	----

Sommaire

3.2. Différentes techniques.....	27
3.2.1. La chaîne flottante articulée (ou « serpent de mer »).....	27
3.2.2. La paroi oscillante immergée.....	28
3.2.3. La colonne à oscillation verticale.....	29
3.2.4. Le capteur de pression immergé.....	30
3.2.5. La colonne d'eau.....	30
3.2.6. Le piège à déferlement.....	31
3.3. Les projets les plus importants dans la récupération de l'énergie des vagues.....	32
3.3.1. le projet Searev	32
3.3.2. le projet Pelamis	32
3.3.3. le projet Limpet.....	33
3.3.4. un prototype Wave Dragon	33
3.4. Enjeux.....	33
3.5. conclusion.....	34
conclusion générale	35

Introduction générale

L'énergie électrique est l'un des facteurs les plus importants dans l'amélioration de la qualité de vie de nos contemporains et de surcroît du développement économique et social d'un pays.

Aujourd'hui, nous avons besoin de beaucoup d'énergie pour satisfaire notre mode de vie. Mais la majorité des énergies utilisées actuellement sont des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement.

Cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

En effet, la grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution en essayant d'adapter les sources d'énergie classiques à des critères très sévères.

Nous parlerons dans cette mémoire pour : les énergies renouvelables.

Mais à quoi servent les énergies ? Elles servent la société de l'Homme pour l'aider à vivre au quotidien en le fournissant entre autres en énergie électrique.

La raréfaction des combustibles fossiles, le réchauffement inquiétant de la Terre ainsi que les craintes liées au nucléaire sont autant de facteurs qui nous obligent à nous interroger sur des énergies « renouvelables », une alternative pour stopper la dégradation de la planète bleue.

De nos jours, les demandes augmentent et les énergies actuelles sont souvent polluantes et limitées, des recherches et des tests sont effectués pour trouver de nouvelles énergies qui seront peut-être celles du futur.

Une énergie du futur doit donc répondre aux critères suivants :

- Pas de rejets (gaz nocifs tel que CO...).
- Renouvelable (quantités des ressources utilisées illimitées).
- Pas de nuisance (auditives, olfactives, visuelles).
- Rentable et répondant à la demande.
- Respect de la biodiversité et de l'environnement.
- Avantage au plan social (impact en cas d'accident, développement des régions...).

Et sera donc parler plus sur les énergies renouvelables, en particulier l'hydroélectricité:
L'utilisation de l'énergie marine remonte aux années 1120 avec les moulins à marées.

La mer, recouvrant plus de 70 % du globe terrestre, est une source potentielle d'énergie peu exploitée.

Introduction générale

Cependant, dans le domaine des énergies renouvelables, aujourd'hui, plusieurs sortes de ces énergies marines tiennent une place grandissante au sein de la famille des énergies propres, telles que:

- L'énergie des vagues ou houlomotrice.
- L'énergie marémotrice.
- L'énergie des courants marins.

En 2008, en France, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie a proposé un outil d'aide à la décision pour les aider les préfets à juger les demandes d'autorisation d'implantation des projets utilisant les énergies marines (incluant l'éolien offshore).

L'énergie houlomotrice ou énergie des vagues désigne la production d'énergie électrique à partir de la houle, c'est-à-dire à partir de vagues successives nées de l'effet du vent à la surface de la mer et parfois propagées sur de très longues distances.

Il existe différents dispositifs pour exploiter cette énergie.

De nombreux systèmes sont actuellement à l'étude, certains sont déjà commercialisés mais aucun n'est arrivé au stade de la maturité industrielle.

Table des figures

Figure 1.1- énergie Géothermie.....	7
Figure 1.2- énergie biomasse.....	8
Figure 1.3-énergie Photovoltaïque.....	10
Figure 1.4 - Evolution de la production mondiale de cellules photovoltaïques en MW.....	11
Figure 1.5- énergie éolienne.....	11
Figure 1.6- Puissance éolienne cumulée dans le monde en MW.....	12
Figure 1.7- énergie hydraulique.....	13
Figure 2.1- la houle.....	20
Figure 2.2- carte des ressources énergétiques mondiales de la houle (en kW/m, puissance moyenne annuelle).....	22
Figure 2.3 – carte des ressources énergétiques de la houle en Europe (en kW/m).....	23
Figure 2.4- Caractéristiques temporelle et spectrale du mouvement vertical d’une houle particulière (ici $H_s = 2.6$ m et $T_p = 9$ s).....	24
Figure 2.5- Probabilité d’apparition des houles sur le site de l’île d’Yeu.....	25
Figure 2.6- Puissance houlomotrice (en W) sur le site de l’île d’Yeu (houle aléatoire).....	25
Figure 3.1- Le système de chaîne flottante articulée dispose généralement de plus de 2 parties. (©Aquaret).....	28
Figure 3.2- Paroi oscillante immergée (©Aquaret).....	28
Figure 3.3- Colonne à oscillation verticale (©Aquaret).....	29
Figure 3.4- Capteur de pression immergé (©Aquaret).....	30
Figure 3.5- Colonne d'eau (©Aquaret).....	31
Figure 3.6- Piège à déferlement (©Aquaret).....	31

Chapitre 1:

Généralités sur les énergies renouvelables

1.1. Introduction

Les énergies renouvelables (EnR en abrégé) sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine.

L'expression énergie renouvelable est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique.

La Le Soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables : son rayonnement est le vecteur de transport de l'énergie utilisable (directement ou indirectement) lors de la photosynthèse, ou lors du cycle de l'eau (qui permet l'hydroélectricité) et l'énergie des vagues (énergie houlomotrice) la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans (énergie thermique des mers) ou encore la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau de mer (énergie osmotique).

Cette énergie solaire alliée à la rotation de la Terre est à l'origine des vents (énergie éolienne) et des courants marins (énergie hydrolienne).

La chaleur interne de la Terre (géothermie) est assimilée à une forme d'énergie renouvelable , et le système Terre-Lune engendre les marées des océans et des mers permettant la mise en valeur de l'énergie marémotrice.

L'énergie solaire comme la chaleur interne de la Terre proviennent de réactions nucléaires (fusion nucléaire dans le cas du Soleil, fission nucléaire dans celui de la chaleur interne de la Terre).

Seule l'énergie marémotrice ne découle pas de l'activité nucléaire mais de la gravitation (couple Terre-Lune).

L'énergie gravitationnelle n'est pas une forme d'énergie en soi, mais simplement un vecteur d'une forme d'énergie présente ailleurs.

Le rayonnement solaire induit un cycle de l'eau dont nous tirons parti via les chutes et cours d'eau.

Les combustibles fossiles ou minéraux (matériaux fissiles) ne sont pas des sources d'énergie renouvelables, les ressources étant consommées à une vitesse bien supérieure à la vitesse à laquelle celles-ci sont naturellement créées ou disponibles.

Il est question d'EnR&R lorsque l'on ajoute aux énergies renouvelable les énergies de récupération.[1]

1.2. Génération d'énergie renouvelable

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Aujourd'hui, on assimile souvent par abus de langage les énergies renouvelables aux énergies propres.

Peut être divisé en deux énergies renouvelables:

A. génération de la chaleur :

- L'énergie thermique solaire.
- L'énergie géothermique.
- L'énergie de biomasse.

B. génération d'électricité :

- Photovoltaïque.
- Production éolienne.
- Hydraulique.
- Énergie de la mer.

Le gouvernement algérien a adopté fin février 2015 son programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030.

Une première phase du programme, démarrée en 2011, avait permis la réalisation de projets pilotes et d'études sur le potentiel national. Le nouveau programme précise les objectifs d'installations d'ici à 2030 :

- 13 575 MWc de solaire photovoltaïque,
- 5 010 MW d'éolien,
- 2 000 MW de solaire thermodynamique (CSP),
- 1 000 MW de biomasse (valorisation des déchets),
- 400 MW de cogénération,
- 15 MW de géothermie.

Le total s'élève ainsi à 22 GW, dont plus de 4,5 GW doivent être réalisés d'ici à 2020.

En raison de leurs coûts encore élevés, les centrales héliothermiques ne seront véritablement développées qu'à partir de 2021.

Ce programme doit permettre à l'Algérie de produire 27 % de son électricité à partir des énergies renouvelables d'ici à 2030, afin d'épargner ses réserves en gaz.

La réalisation du programme est ouverte aux investissements publics et privés, nationaux comme étrangers.

Des tarifs d'achat garantis sur 20 ans ont été mis en place pour les filières photovoltaïque et éolienne.

Les projets des autres filières seront financés à hauteur de 50 % à 90 %, taux variable selon la technologie et la filière, par le fonds national des énergies renouvelables et cogénération (FNERC), alimenté par un prélèvement de 1 % sur la redevance pétrolière.[2]

1.2.1. Génération de la chaleur

Une grande partie de l'énergie consommée par l'humanité est sous la forme de chaleur (chauffage, procédés industriels...).

Cette énergie est majoritairement obtenue par la transformation de l'électricité en provenance du nucléaire, gaz ou du pétrole.

Il existe des moyens de remplacer ces sources conventionnelles par des sources renouvelables. Une description et quelques commentaires sont proposés ci-dessous.

1.2.1.1. Énergie solaire

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel se trouvent notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios en fonction de la fréquence d'émission.

Tous ces types de rayonnement électromagnétique véhiculent de l'énergie. [3]

Le niveau d'irradiance (le flux énergétique) mesuré à la surface de la Terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

Deux grandes familles d'utilisation de l'énergie solaire à cycle court se distinguent :

- l'énergie solaire thermique, utilisation de la chaleur transmise par rayonnement,
- l'énergie photovoltaïque, utilisation du rayonnement lui-même pour produire de l'électricité.

Le 9 décembre 2011, la société algérienne de l'électricité et du gaz Sonelgaz et Desertec Industry Initiative ont signé à Bruxelles un accord de coopération visant au renforcement des échanges d'expertise technique, à l'examen des voies et moyens pour l'accès aux marchés extérieurs

et à la promotion commune du développement des énergies renouvelables en Algérie et à l'international. [4]

Pour que l'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire.

Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a chargé la Sonelgaz de construire la centrale électrique mixte de Hassi R'Mel, mise en service en 2011 à Tilghemt dans la wilaya de laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts (30 MW solaire thermodynamique + 120 MW gaz).[5]

C'est la société New Energy Algeria (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables.[6]

La première usine privée algérienne de fabrication de panneaux solaires est opérationnelle à partir du mois de mars 2012 avec un taux d'intégration nationale de 90 %.[7]

1.2.1.1.1. Thermo solaire

Une des façons de profiter directement de l'énergie des photons émis par le soleil est le chauffage direct des capteurs thermiques.

Ils se comportent comme une serre où les rayons du soleil cèdent leur énergie à des absorbeurs qui à leur tour réchauffent le fluide circulant dans l'installation de chauffage.

La température du fluide peut atteindre jusqu'à 60 à 80°C.

Ce système est totalement écologique, très peu cher et la durée de vie des capteurs est élevée.

Une autre propriété qui rend ce type des capteurs universels est que l'ensoleillement ne doit pas forcément être direct ce qui signifie que, même dans les zones couverts de nuages (peu denses évidemment) le fonctionnement reste correct.

Le grand inconvénient est l'impossibilité de transporter l'énergie ainsi captée à grande distance. Cette source est donc à utilisation locale (principalement chauffage individuel, piscines).

En 2003 environ 14000 m² de capteurs de ce type ont été en utilisation en Union Européenne avec une croissance annuelle de 22%. [8]

Une autre application de la technique thermo solaire est la production d'eau douce par distillation qui est très intéressante du point de vue des pays en voie de développement.

La technologie thermo solaire plus évoluée utilisant des concentrateurs optiques (jeu de miroirs) permet d'obtenir les températures très élevées du fluide chauffé.

Une turbine permet alors de transformer cette énergie en électricité à l'échelle industrielle.

Cette technologie est néanmoins très peu utilisée et demande un ensoleillement direct et permanent .

1.2 .1.2. Géothermie



Figure(1.1): énergie Géothermie

Le principe consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol. Partout, la température croît depuis la surface vers le centre de la Terre.

Selon les régions géographiques, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15°C ou même 30°C.

Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1 000 °C à 4 300 °C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères. [9]

Quatre types de géothermie existent selon la température de gisement : la haute (>180°C), moyenne (>100°C), basse (>30°C) et très basse énergie. Les deux premiers types favorisent la production de l'énergie électrique. La géothermie basse énergie permet de couvrir une large gamme d'usages :

chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les processus industriels...

La géothermie très basse énergie nécessite l'utilisation des pompes à chaleur et donc une installation particulière. [10]

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques.

C'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps.

Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puit verra un jour son réservoir calorifique diminuer.

Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas, très élevé.

En 1995 la puissance installée dans le monde était de l'ordre de 7000 MW (il s'agit de production de l'électricité donc de la géothermie grande et moyenne énergie).

En 2004 ce chiffre est passé à près de 8500 MW. En Europe, les installations utilisant les pompes à chaleur permettent d'extraire théoriquement environ 1000MW de puissance sous forme de la chaleur.

Ce chiffre augmente chaque année d'environ 50MW installés. [11]

1.2.1.2. Biomasse



Figure (1.2): énergie biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse.

Différents types sont à considérer : le bois - énergie, les biocarburants, le biogaz.

Le bois - énergie est une ressource très abondante. C'est la ressource la plus utilisée au monde.

En Europe par exemple, c'est 51% de la part de l'énergie renouvelable qui appartient à ce mode de production d'énergie .[12]

Elle se concentre sur l'utilisation destinée au chauffage.

On peut utiliser toutes les ressources du bois : les chutes ou déchets de production des industries de transformation du bois (bois d'élagage, le bois forestier provenant de l'entretien des espaces boisés ou le bois de rebut provenant d'emballages, de palettes etc.).

L'utilisation va de petites chaufferies individuelles jusqu'à la production de la chaleur industrielle de plus de 15 MW.

Le développement des biocarburants est souvent corrélé aux cycles de variation des prix du baril de pétrole.

Aujourd'hui éthanol (betterave, blé...) et biodiesel (colza, tournesol...) offrent des avantages environnementaux appréciables dans le contexte de la lutte contre l'effet de serre.

L'Union européenne en parlant de ceux qui sont déjà avancé, projette d'atteindre une production de 17 millions de tonnes de biocarburant par an en 2010 par rapport au million produit actuellement.

La principale motivation qui pousse à la production du biogaz est environnementale.

La production de l'énergie, peut être vue seulement comme une méthode d'élimination des gaz polluants, mais elle représente une ressource renouvelable très importante.

Quelle que soit l'origine, le biogaz non valorisé contribue, du fait de ses fortes teneurs en méthane, à l'effet de serre, mais c'est le bilan global du cycle qui doit être considéré.

Il peut être utilisé comme source brute ou après le processus d'épuration injecté dans les réseaux de distribution.

Longtemps le biogaz ne servait qu'à la production de la chaleur.

De nos jours la filière carburant ainsi que la génération de l'électricité est en pleine expansion.

En 1993, 6 millions de m³ ont été utilisés dans le monde. 80% provenait des décharges d'ordure ménagères. [13]

L'utilisation du biogaz n'est pas encore à son maximum : une croissance de cette technologie est donc à prévoir.

1.2.2. Génération d'électricité

Une autre famille d'énergies renouvelables est celle où l'énergie produite est directement sous la forme électrique.

A l'aide des panneaux solaires ou de génératrices hydrauliques et éoliennes, la puissance électrique peut être récupérée et immédiatement utilisée par un récepteur ou bien transportée vers les réseaux de distribution.

Nous donnons ici une description sommaire de chaque ressource énergétique et la façon de produire l'énergie électrique.

1.2.2.1. Photovoltaïque



Figure (1.3):énergie Photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil.

Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons.

L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

Les panneaux solaires actuels sont relativement onéreux à la fabrication malgré la matière première peu coûteuse et abondante (silice) car une énergie significative est nécessaire à la production des cellules. Cependant, de nets progrès ont été faits à ce sujet et on considère aujourd'hui qu'il suffit de 3 à 5 ans pour qu'un panneau produise l'énergie que sa construction a nécessité.

Un autre inconvénient est celui de la pollution à la production qui est due à la technologie utilisée. Des progrès technologiques sont en cours pour rendre l'énergie photovoltaïque plus compétitive.

En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et de leurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïques peut être augmenté par les solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (techniques dites MPPT). Cette dernière caractéristique est assez commune avec la production d'énergie éolienne.

Les panneaux solaires sont très pratiques d'utilisation.

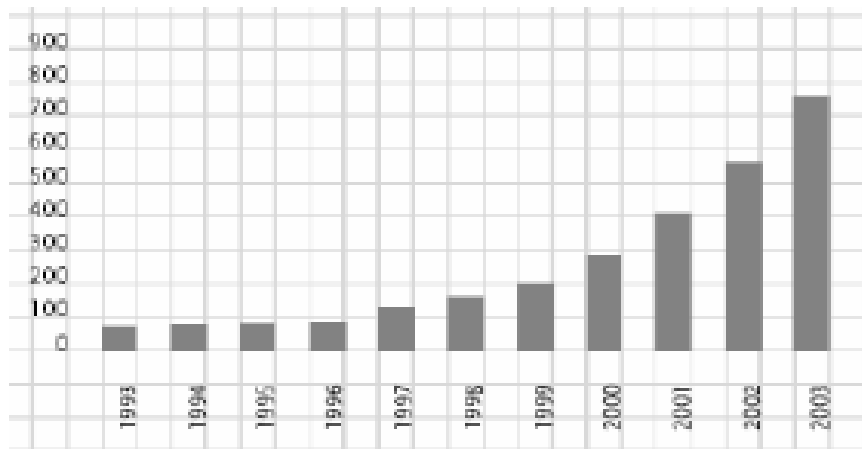
L'intégration dans le bâtiment est facile et devient même esthétique.

Pour les sites isolés et dispersés qui demandent peu d'énergie, c'est une solution idéale (télécommunication, balises maritimes, etc.).

La technique photovoltaïque malgré sa complexité est aussi en très forte croissance.

En 2001, en Europe on comptait environ 250 MW installés et en 2003 ce chiffre est monté jusqu'au 560 MW de puissance installée. La Figure (1.4) montre l'évolution mondiale de cette

ressource qui est en très nette progression depuis le début du siècle (la production est équivalente à la puissance installée).



Figure(1.4): Evolution de la production mondiale de cellules photovoltaïques en MW. [14]

La RD Congo a par le truchement de la coopération technique belge eu a développé cette technique, au village Katanga situé à 80 Km de Lubumbashi.

En 1982, il a été partiellement électrifié par un système photovoltaïque (6KWc de capteurs, 5500 Ah de batteries, un onduleur de 7 KVA). Il alimentait en électricité 10 bâtiments (dont le centre de santé et la maison du chef du village), l'éclairage des rues et un atelier (moulin, tour à bois, meuleuse, poste à souder, chargeur de batteries).

Cependant des pannes répétées de l'onduleur impliquait l'intervention régulière de la coopération belge.

Quand, en 1995, la coopération a cessé, le projet s'est arrêté. Aujourd'hui, mis à part les supports des capteurs solaires et les boîtes électriques, il ne reste plus rien.

1.2.2.2. Production éolienne



Figure(1.5): énergie éolienne

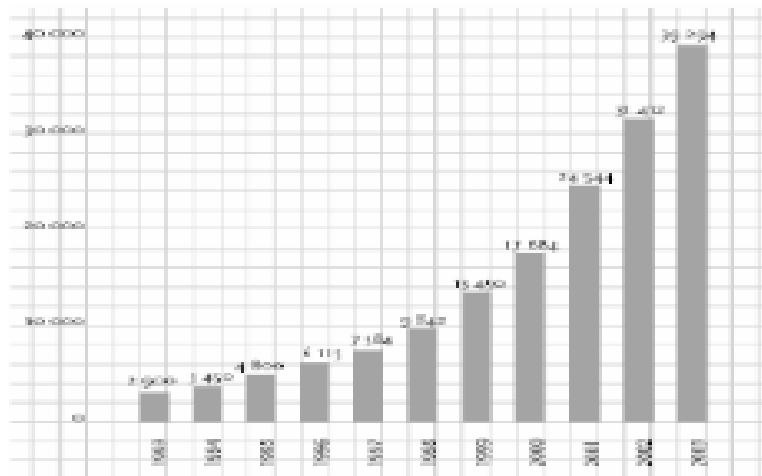
La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la Terre.

Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement.

Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. En Europe, principalement sous l'impulsion Allemande, Scandinave et Espagnole, on comptait en 2000 environ 15000 MW de puissance installée.

Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000 MW pour 40000MW de puissance éolienne installée dans le monde.

En prévision, pour l'année 2010, on peut espérer une puissance éolienne installée en Europe de l'ordre 70000 MW.



Figure(1.6) : Puissance éolienne cumulée dans le monde en MW

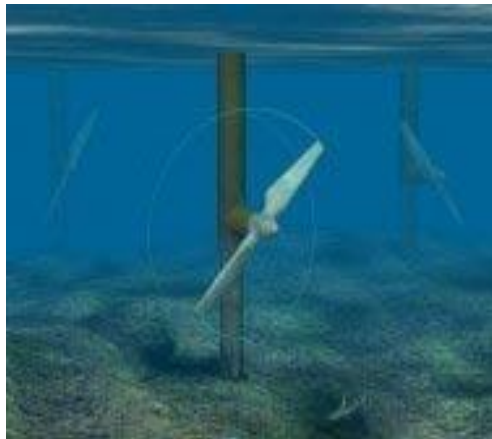
L'Algérie est l'un des pays concernés par l'énergie éolienne pour fournir de l'électricité projet portant sur la réalisation d'une ferme éolienne à Adrar a été attribué au consortium algéro-français, Cegelec.[15]

Ainsi le fabricant français d'éoliennes Vergnet a remporté un appel d'offres international auprès de la Compagnie d'Engineering de l'électricité et du gaz (CEEG), une filiale du groupe Sonelgaz, concernant l'installation du premier parc éolien à Adrar au sud-ouest du pays.

Ce complexe éolien aura une puissance de 10 MW et devrait être mis en service courant 2012.[16]

Mais après plus d'une année et demi de retard pour le lancement de cette ferme éolienne, elle n'a été mise en service que le 03 juillet 2014, alors que d'autres projets programmés dans le plan du gouvernement sont en attente de concrétisation. [17]

1.2.2.3. Hydraulique



Figure(1.7): énergie hydraulique

L'eau, comme l'air est en perpétuelle circulation. Sa masse importante est un excellent vecteur d'énergie.

Les barrages sur les rivières ont une capacité importante pour les pays riches en cours d'eau qui bénéficient ainsi d'une source d'énergie propre et « stockable».

Cette source représentait en 1998 environ 20% de la production mondiale de l'énergie électrique.[18]

Certains pays comme la France sont déjà « saturés » en sites hydroélectriques exploitables et ne peuvent pratiquement plus progresser dans ce domaine.

Les sites de petite puissance (inférieures à 10kW) sont des solutions très prisées dans les applications aux petits réseaux isolés.

Une forte stabilité de la source ainsi que les dimensions réduites de ces sites de production sont un grand avantage.

En Europe, en 1999, on comptait environ 10000 MW de puissance hydraulique installée.

A l'horizon 2100, cette puissance devrait passer à plus de 13000 MW.

1.2.2.4. Energie de la mer

L'énergie des vagues est encore une fois une forme particulière de l'énergie solaire.

Le soleil chauffe inégalement les différentes couches atmosphériques ce qui entraîne des vents eux-mêmes responsables par frottement des mouvements qui animent la surface de la mer (courants, houle, vagues).

Les vagues créées par le vent à la surface des mers et des océans transportent de l'énergie. Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle elles cèdent une partie de cette énergie qui peut être transformée en courant électrique. [19]

Il existe trois grandes familles de systèmes : rampe de déferlement ou overtopping (Maurice, Maré, Tapchan en Norvège, Wave Dragon en Danemark...), colonne d'eau oscillante ou OWC (Kvaerner en Norvège, Pico en Açores en Portugal, Islay en Ecosse, Limpet, Osprey...) et puis les flotteurs articulés (Cockerel raft, Pelamis en Ecosse...) ou les flotteurs sur ancrage (Salter duck, AWS en Portugal...).

Des projets de recherche sont aussi en cours. [20]

Une autre façon de récupérer l'énergie de la mer est la production grâce à la marée qui est due à l'action de la lune sur les eaux. Les barrages ou des hydroliennes installées dans les endroits fortement touchés par ce phénomène peuvent être une source de l'énergie substantielle comme c'est le cas de l'usine de la Rance ou bien celle de Annapolis au Canada.

L'énergie en provenance du mouvement des eaux de la mer est une énergie très difficilement récupérable bien qu'elle représente un potentiel immense.

Les investissements sont très lourds dans un environnement hostile et imprévisible.

Cette énergie est à exploiter dans l'avenir et ne représente, qu'une toute petite quantité de l'énergie produite à ce jour par rapport aux autres ressources exploitées.

Néanmoins, il y a une autre façon de récupérer l'énergie de la mer le long des cotes grâce aux hydroliennes flottantes pour la production des faibles énergies comme c'est le cas par exemple du projet hydro-gen en France appliquant deux versions avec une puissance 10 KW en 2004, 50Kw en 2007 et visant le MW d'ici 2010.

version pour les courants de marée qui s'inversent toutes les 6 heures environ.

Une La machine tourne donc dans un sens pendant les 6 heures du flot (courant de marée montante) avec un maximum en milieu de période.

Elle s'arrête pendant la renverse et est actionnée en sens inverse pendant les 6 heures de jusant (courant de marée descendante) avec, là aussi, un pic à mi-marée.

Les machines sont embossées (ancrées de l'avant et de l'arrière) en chaînes dans l'axe du courant de façon à capter un maximum de courant sur une surface minimum.

Hydro-Gen permet un fonctionnement dans les deux sens.

Une version pour les fleuves ou courants unidirectionnels.

A chaque fois que la profondeur et la vitesse de courant le permettent, par exemple à la sortie des retenues de barrages de régulation des grands fleuves, les courants peuvent atteindre 10 nœuds (et de fortes turbulences!).

Les machines sont munies de pales asymétriques car elles tournent toujours dans le même sens. Le rendement énergétique va augmenter sensiblement et la production sera beaucoup plus régulière que sous l'action des courants de marée.

1.3. Avantages escomptés

La civilisation moderne est très dépendante de l'énergie et spécialement des énergies non renouvelables, qui s'épuiseront tôt ou tard.

Passer d'une ressource actuellement non renouvelable à une ressource renouvelable suscite des espoirs, certains justifiés, d'autres moins.

1.4. Autres avantages

On attribue souvent aux énergies renouvelables des caractéristiques favorables (qu'elles peuvent mériter ou non), telles que :

- la sûreté (faible risque d'accident, faibles conséquences d'un éventuel accident, ...).
- la propreté (peu voire pas du tout de déchets, peu dangereux et facile à gérer : recyclables, par exemple).
- la décentralisation (développement local des territoires, réserve d'emplois locaux non délocalisables, etc.

fin 2012, pour l'UE-27, le marché total des énergies renouvelables représentait près de 1,2 million d'emplois (dans le photovoltaïque, la biomasse solide et l'éolien surtout, pour un chiffre d'affaires cumulé (toutes EnR confondues) évalué à plus de 137 milliards d'euros.). [21]

- le respect de l'environnement, lors de la fabrication, pendant le fonctionnement, et en fin de vie (démantèlement).

Pour ces caractéristiques, c'est chaque filière, voire chaque cas séparément, qu'il convient d'examiner pour vérifier si on peut ou non lui attribuer le bienfait supposé, et si oui, dans quelle mesure. Par exemple :

- l'énergie éolienne peut certainement être considérée comme une production locale au Danemark (bien qu'elle soit très dépendante des échanges d'électricité avec la Norvège et la Suède pour compenser son irrégularité par le recours aux barrages hydroélectriques de ces deux pays), mais pas dans un pays qui importe la technique, les capitaux, et les hommes pour faire fonctionner les machines .
- de même, l'énergie solaire perd ses atouts en termes de décentralisation, d'emploi et d'indépendance énergétique depuis la vague de faillites parmi les producteurs européens causée par l'arrivée massive des concurrents chinois à très bas coûts .
- les biocarburants ont un impact environnemental et social contesté (concurrence avec la production alimentaire, dépenses énergétiques très importantes pour le transport et la transformation des matières premières) .
- les installations hydroélectriques, outre les destructions provoquées par l'engloutissement d'une vallée, peuvent se rompre (entre 1959 et 1987, trente accidents ont fait 18 000 victimes dans le monde, dont plus de 2 000 morts en Europe).[22]
- les terres rares utilisées pour la fabrication des éoliennes (néodyme et dysprosium pour les alternateurs) et des cellules photovoltaïques (gallium, indium, etc) sont sources de pollutions très importantes au niveau de leur extraction ; de plus, leurs réserves limitées laissent prévoir des conflits pour l'accès aux ressources.

1.5. Conclusion

Ces énergies épuisables représentent un obstacle au développement durable : de par leur caractère épuisable limitant leur utilisation future mais aussi par le fait qu'elles ne respectent pas l'environnement.

Par conséquent, ces limites, assez proches, doivent nous obliger à nous tourner vers d'autres façons de produire de l'énergie. Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes.

Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui est dû à la présence, dans l'atmosphère,

de différents gaz qui piègent une partie de la chaleur solaire réfléchiée par la terre, ce phénomène est nécessaire à la survie de l'homme.

Cependant, l'activité humaine rejette des quantités croissantes de ces gaz, ce qui renforce ce phénomène et provoque des changements climatiques (réchauffement de la planète qui engendre une élévation du niveau des mers, une augmentation des périodes caniculaires en été, des orages, inondations.

l'utilisation des sources d'énergies renouvelables semble être une solution adéquate car, c'est surtout l'usage des énergies fossiles qui renforce le phénomène d'effet de serre et donc le réchauffement de la planète.

Encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement.

Chapitre2:

Energie des vagues

2.1. Introduction

Le premier brevet connu s'apparentant à l'utilisation des vagues peut remonter à 1799, et a été déposé à Paris par les Girard, père et fils.[23]

Un des premiers appareils utilisant l'énergie houlomotrice a été construit en 1910 par Bochaux-Praceique afin d'alimenter sa maison en énergie à Royan, près de Bordeaux en France.[24]

Entre 1855 et 1973, ce sera plus de 340 brevets qui seront déposés juste pour le Royaume-Uni. Par la suite, l'énergie houlomotrice connaît plusieurs étapes dans sa modernisation.

Dans les années 1940, avec les expériences de Yoshio Masuda, et dans la période succédant au choc pétrolier de 1973 qui relance l'intérêt pour une énergie alternative.

Des universitaires de plusieurs pays vont ainsi réexaminer le potentiel de l'énergie houlomotrice, notamment Stephen Salter de l'Université d'Édimbourg, Kjell Budal et Johannes Falnes de l'Institut norvégien de technologie (NTH), désormais fusionné au sein de l'Université norvégienne de sciences et de technologie, Michael E. McCormick de l'Academy Naval d'Annapolis, David Evans de l'Université de Bristol, Michael French de l'Université de Lancaster, John Nicholas Newman[25] et Chiang Chung Mei du MIT.[26]

L'invention de Stephen Salter, surnommé le Batteur de Salter, ou encore « canard de Salter », démontra en 1974 qu'il était possible de convertir 90% d'une vague en énergie mécanique.[27]

Avec le retour à la normale du prix du pétrole dans les années 1980, l'intérêt pour le développement de l'énergie houlomotrice semble avoir été réduit.

Mais cette technologie a regagné de l'intérêt dans les années 2000, à mesure que les questions climatiques poussaient à l'utilisation d'énergies renouvelables.

On constate ainsi en 2003 le développement d'un système appelé Searev, qui utilise l'énergie de la houle, développé conjointement par le laboratoire de mécanique des fluides de l'École centrale de Nantes et le département mécatronique de l'École normale supérieure de Cachan.

L'appareil, qui ressemble à un petit sous-marin, sera immergé à une dizaine de kilomètres des côtes.

À l'étranger, depuis 2008, le projet Aguçadoura a été lancé au Portugal avec des résultats mitigés.

De nombreuses idées ont déjà été émises et beaucoup de travaux d'études et d'essais ont déjà été réalisés dans l'espoir de domestiquer l'énergie des vagues.

En 1978, à la demande de la Direction Générale du CNEXO, une étude de synthèse sur les "houlomotrices" a été effectuée au Centre Océanologique de Bretagne.

Le présent document s'inspire de cette étude ; il est destiné à guider la réflexion des concurrents du concours houle lancé par l'ANVAR et le CNEXO en janvier 1981.

L'énergie houlomotrice ou énergie des vagues désigne la production d'énergie électrique à partir de la houle, c'est-à-dire à partir de vagues successives nées de l'effet du vent à la surface de la mer et parfois propagées sur de très longues distances.

Il existe différents dispositifs pour exploiter cette énergie.

De nombreux systèmes sont actuellement à l'étude, certains sont déjà commercialisés mais aucun n'est arrivé au stade de la maturité industrielle.

L'énergie des vagues, de même qu'un grand nombre de sources d'énergie renouvelable, a pour origine l'énergie solaire. Pour expliquer comment l'énergie solaire se transforme en énergie mécanique, nous pouvons comparer notre planète à une machine thermodynamique, gigantesque et très complexe qui utilise deux fluides: l'eau des océans et l'air atmosphérique.

Dans certaines régions du globe, le bilan des échanges par rayonnement avec l'univers est positif: l'apport d'énergie solaire est en moyenne supérieur aux pertes: c'est le cas des régions inter-tropicales qui jouent donc le rôle de source chaude pour notre machine; inversement, dans d'autres régions le rayonnement émis est supérieur à l'apport en énergie solaire: c'est le cas des régions polaires qui jouent le rôle de source froide.

Ce schéma toutefois se complique puisque pour une région donnée, du fait de la succession des jours et des nuits et à plus long terme des saisons, le bilan peut être tantôt positif, tantôt négatif.

Le fonctionnement de notre "machine" se traduit par des mouvements importants dans l'atmosphère : c'est le vent, dont une partie de l'énergie mécanique est transmise à la surface de l'océan pour y créer les vagues ainsi que certains courants dits "de dérive".

Toutefois, le rendement de cette machine thermodynamique est nul: elle ne fournit aucun travail et toute l'énergie mécanique est finalement dissipée dans les frottements turbulents .

A moins qu'au moyen d'hydrauliques dans les veines de courants forts, d'éoliennes et de houlomotrices dans les zones bien exposées, une partie de cette énergie puisse être récupérée.[28]

2.2. définitions:

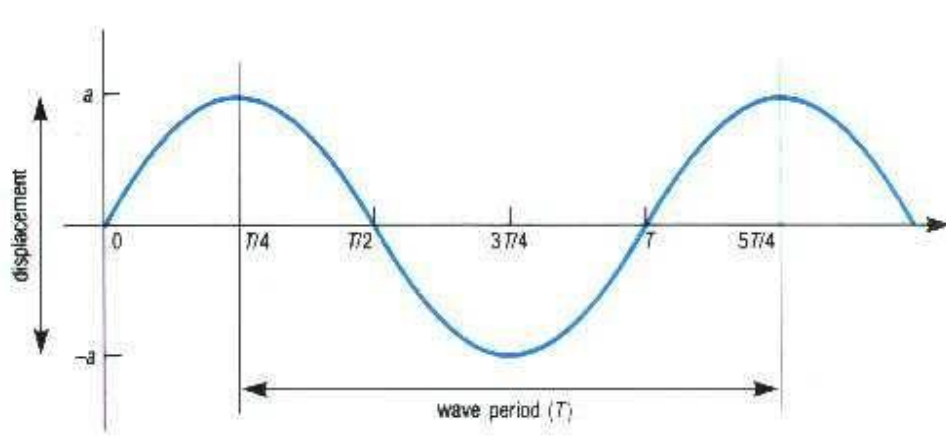
Ceci est une des définitions importantes que vous devez savoir:

2.2.1. la houle

C'est le vent qui est à l'origine de la formation des vagues .

Le vent, en frappant la surface de l'océan, propage une onde mécanique, plus ou moins marquée en fonction de sa force : la vague est créée.

La houle peut être considérer comme une sinusoïde :



Figure(2.1).la houle comme une sinusoïde.

2.2.2. Les marées

Les marées, d'une période de 12 heures, sont un phénomène résultant de l'attraction de la Lune ainsi que des autres astres - essentiellement le soleil - sur la Terre.

Pourquoi une durée de 12 heures entre deux marées hautes ?

La Terre subit une rotation solide - contrairement à la lune - aussi la force d'inertie due à la rotation de la Terre est la même sur tout le globe.

Ainsi, deux points diamétralement opposés sur la surface de la Terre subissent la marée en même temps.

Quelle est l'influence du soleil ?

On considère que son effet correspond à 30% de celui de la Lune, et est donc loin d'être

négligeable.

Lorsque Terre, Lune et Soleil sont alignés, les marées sont dites de "vives-eaux" et lorsque l'axe Terre Lune est perpendiculaire à l'axe Terre Soleil, on parle de "mortes-eaux".

Action des marées sur les sédiments marins :

Les marées jouent un rôle capital en ce qui concerne le transport de sédiments marins, notamment en ce qui concerne la quantité de matériaux transportés, du fait de l'alternance des marées hautes et basses, et des différences de période de la marée en fonction de l'endroit concerné.

2.2.3. L'énergie de la houle

L'énergie houlomotrice (énergie de la houle) est une source d'énergie d'origine cinétique et potentielle liée au déplacement de la surface de la mer sous l'action de la houle

L'énergie des vagues ou énergie houlomotrice est une énergie marine utilisant la puissance du mouvement des vagues de houle.

Cette énergie marine ne doit pas être confondue avec l'énergie marémotrice qui utilise quant à elle l'énergie des marées.

L'utilisation de l'énergie marine remonte aux années 1120 avec les moulins à marées.

La mer, recouvrant plus de 70 % du globe terrestre, est une source potentielle d'énergie peu exploitée.

Cependant, dans le domaine des énergies renouvelables, aujourd'hui, plusieurs sortes de ces énergies marines tiennent une place grandissante au sein de la famille des énergies propres, telles que :

- L'énergie des vagues ou houlomotrice
- L'énergie marémotrice
- L'énergie des courants marins

2.3. Généralités

Parmi toutes les ressources renouvelables, nous allons nous intéresser plus particulièrement à l'énergie des vagues.

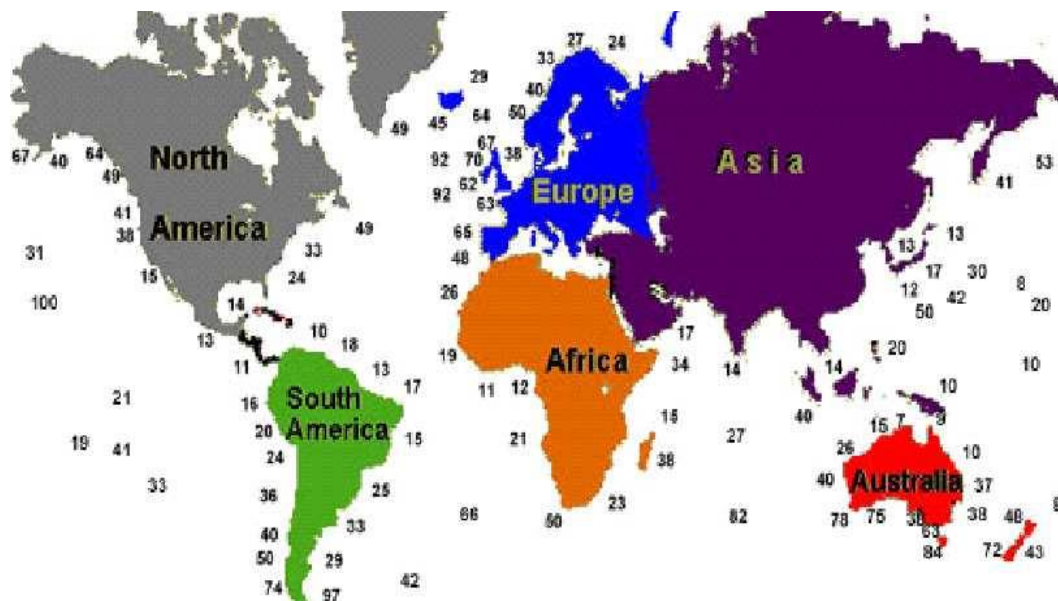
La houle transporte une énergie considérable.

Elle résulte de l'effet du vent sur les surfaces marines.

La puissance moyenne de la ressource est quantifiée en kW par mètre linéaire.

La figure (2.2) présente les flux moyens d'énergie en kW/m en différents points du globe.

Bien entendu cette ressource totale est très supérieure à la ressource effectivement accessible en tenant compte des limitations techniques et des limitations naturelles ou légales qui réduisent le domaine utilisable, sans parler de l'acceptabilité sociale qui peut interdire encore certains sites.



Figure(2.2)- carte des ressources énergétiques mondiales de la houle
(en kW/m, puissance moyenne annuelle).

La figure(2.3) présente la ressource disponible en Europe.

Les côtes du Royaume-Uni, de la France et du Portugal sont particulièrement bien exposées avec des valeurs de 30 à 60 kW/m.



Figure(2.3) – carte des ressources énergétiques de la houle en Europe (en kW/m)

2.3.1. Caractéristiques énergétiques de la houle

Les vagues sont créées et entretenues localement par le vent et prennent la même direction que lui.

La houle se propage en dehors de la zone où le vent lui a donné naissance, avec des oscillations relativement lentes, typiquement de 10 secondes, avec une grande longueur d'onde (la longueur d'onde mesure la distance entre les crêtes de deux vagues successives) (150 m) et une vitesse de propagation d'environ 14 m/s.

La houle est composée de trains de vagues, régulières et puissantes, pouvant se propager dans l'océan depuis leur lieu de formation.

De plus la vitesse de propagation d'un train de vagues est d'autant plus élevée que sa longueur d'onde est grande et l'énergie transportée par la vague est elle aussi croissante avec la longueur d'onde.

La profondeur des fonds marins joue un rôle important dans le sens où de faibles profondeurs favorisent la dissipation énergétique.

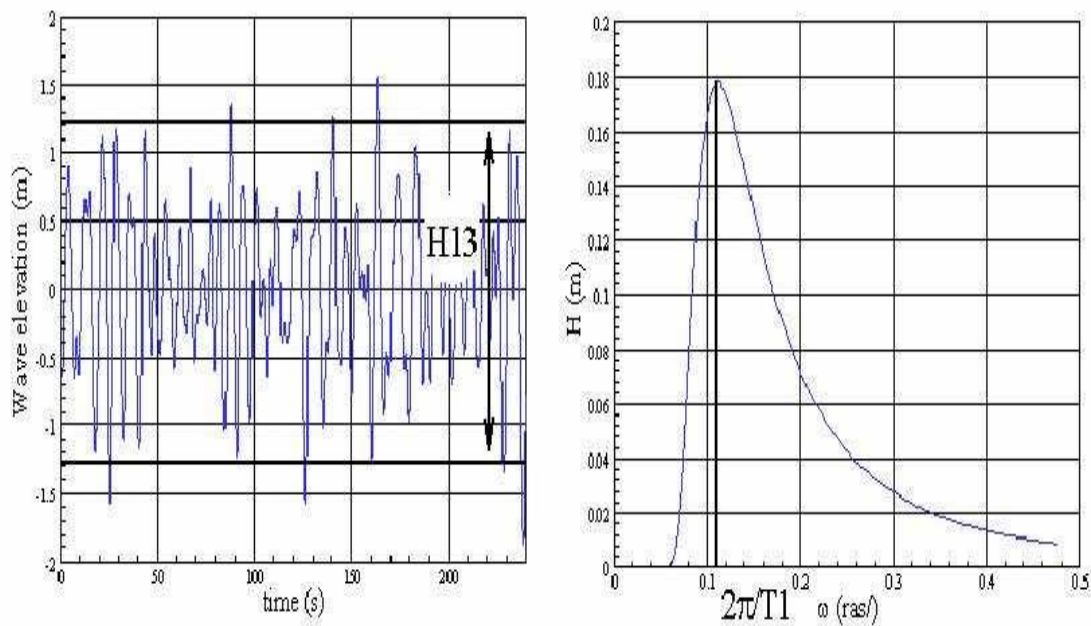
Ainsi sur les côtes, la houle a généralement perdu une grande partie de son potentiel énergétique par rapport au large.

La houle étant un phénomène complexe, nous simplifions sa caractérisation en limitant sa description à deux paramètres :

- sa hauteur significative H_s (hauteur crête à creux).

Historiquement elle correspond à la hauteur de la moyenne du tiers supérieur des amplitudes observées Figure(2.4) gauche.

- et sa période pic T_p , période possédant le plus d'énergie dans le spectre. (Figure(2.5))



Figure(2.4)– Caractéristiques temporelle et spectrale du mouvement vertical d'une houle particulière (ici $H_s = 2.6$ m et $T_p = 9$ s)

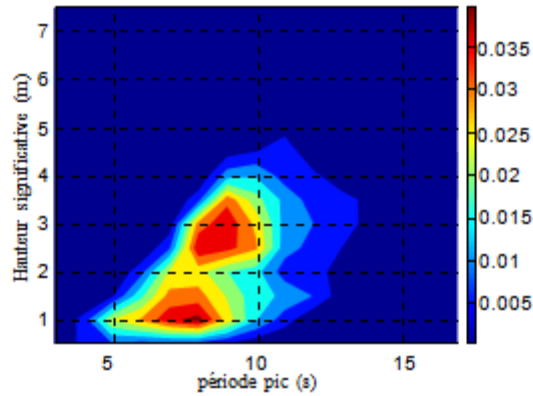
Des mesures permettent de caractériser les sites et d'établir des diagrammes de distribution Figure(2.5).

De la même façon, on peut présenter la puissance productible des houlo-générateurs figure(2.6).

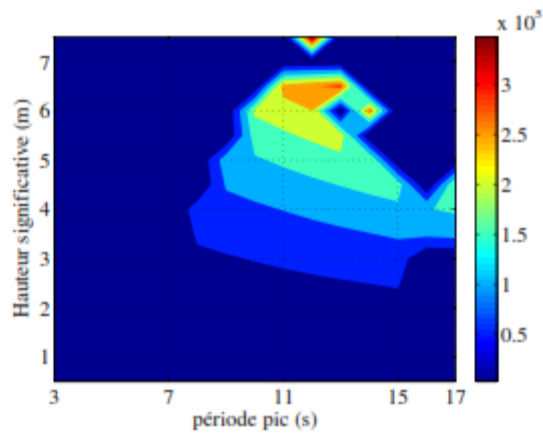
En effet la puissance d'une onde progressive pure de houle (parfaitement sinusoïdale et unidirectionnelle) peut se calculer dans l'hypothèse d'une profondeur infinie du milieu.

La puissance moyenne peut s'exprimer selon la formule suivante [29]:

$$P_w = \frac{\rho g^2}{32\pi} H_s^2 T \approx 980 H_s^2 T_p \text{ (W/m)} \quad (2.1)$$



Figure(2.5) – Probabilité d'apparition des houles sur le site de l'île d'Yeu



Figure(2.6) – Puissance houlomotrice (en W) sur le site de l'île d'Yeu (houle aléatoire)

où ρ est la masse volumique de l'eau, g l'accélération de la pesanteur, H est la hauteur crête à creux de la houle et T sa période.

Avec de l'eau de mer (masse volumique de 1024 kg/m^3), le coefficient $\frac{\rho g^2}{32\pi}$ vaut environ 980 unités SI.

Pour une mer irrégulière dont le spectre est spécifié par la hauteur significative H_s et sa période T_p on obtient:

$$P_w = 420 H_s^2 T_p \quad (\text{W/m}) \quad (2.2)$$

C'est l'expression qui a été utilisée pour obtenir le diagramme de puissance de la ressource Figure(2.6).

2.4. Conclusion

Le développement d'un nouveau type d'énergie n'est pas une chose facile à réaliser, mais nous le faisons pour sauver notre planète, ainsi que tous les hommes qui y vivent et qui y vivront.

Il est très important de développer des sources d'énergie propre à l'heure actuelle.

En effet la demande en énergie ne fait qu'augmenter et cela est essentiellement compensé par une utilisation plus importante d'énergie polluante et non renouvelable.

De plus, les emplacements propices à l'installation d'énergie renouvelable terrestre commencent à manquer.

C'est pour cela que l'homme cherche de nouvelles techniques qui permettent d'exploiter des énergies présentes en abondance sur terre et qui ne sont pas encore utilisées.

Ces énergies fossiles qui polluent notre planète arrivent à épuisement et vont devoir être remplacées par les nouvelles énergies durables et écologiques comme l'énergie marémotrice, l'énergie des courants marins ou l'énergie des vagues.

A l'heure actuelle, la majorité de ces énergies ne sont que des prototypes, mais d'ici 2010, on pourra commencer à trouver des fermes d'hydroliennes ou des sites d'exploitation de l'énergie houlomotrice un peu partout dans le monde.

La force des courants marins, des marées et des vagues : énergie pure, durable, économique, et surtout écologique, sont des ressources que nous ne devons pas négliger étant donné qu'elles sont inépuisables ! De plus, leurs avantages sont très nombreux tant au niveau de l'environnement qu'au niveau des populations locales.

En effet ces installations gâchent peu le paysage, ne polluent pas et créent des emplois dans la région. Tous les pays européens se sont d'ailleurs engagés à ce que 20% de l'énergie consommée proviennent des énergies renouvelables d'ici 2020.

D'autres nouvelles énergies sont en cours de développement comme l'osmose et l'énergie maréthermique qui utilisent la différence de salinité et de température de la mer.

Ces énergies sont très prometteuses pour l'avenir mais encore loin d'être au point.[30]

Chapitre 3:

Différentes techniques de récupération de l'énergie des vagues

3.1. Introduction

La houle et les vagues constituent une source d'énergie dont la récupération occupe l'esprit de l'homme depuis la fin du XIXème siècle.

Dans l'ouvrage de A.Berget de 1923 intitulé "Vagues et marées", on peut déjà trouver quelques dispositifs proposés pour récupérer l'énergie mécanique représentée par le mouvement des vagues. Plusieurs mécanismes peuvent être utilisés et permettrons de distinguer les différents types d'hydroliennes.

existe un vaste inventaire de solutions houlomotrices, certaines d'entre elles étant immergées, d'autres installées en surface, sur le rivage ou au large.

Les systèmes de capture d'énergie varient d'un prototype à un autre : capture d'énergie mécanique en surface (ondulations) ou sous l'eau (translations ou mouvements orbitaux), capture des variations de pression au passage des vagues (variations de hauteur d'eau) ou encore capture physique d'une masse d'eau (via une retenue).

Les procédés existants ou à l'étude peuvent être classifiés en 6 grands systèmes.

3.2. Différentes techniques

Il existe plusieurs types de dispositifs pour récupérer l'énergie des vagues :

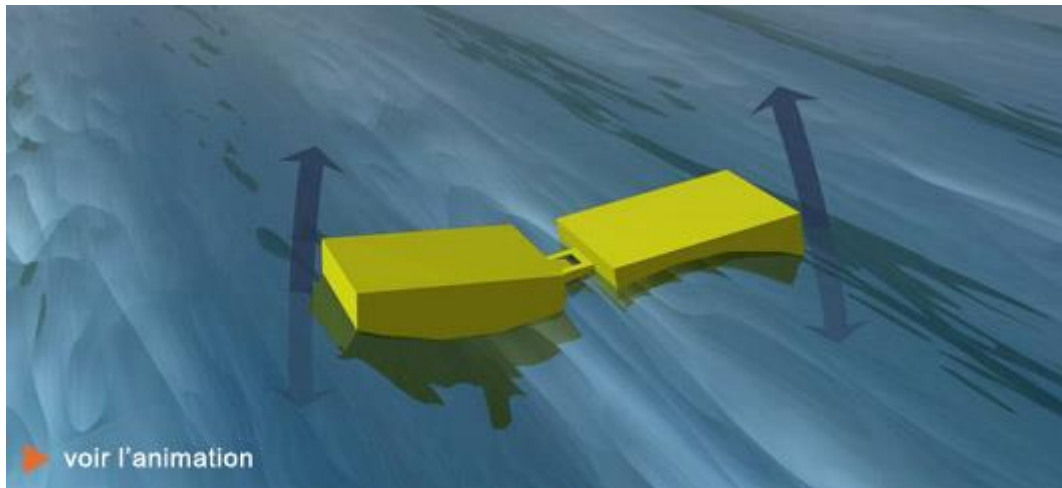
3.2.1. La chaîne flottante articulée (ou « serpent de mer »)

Système composé d'une suite de longs flotteurs qui s'alignent dans le sens du vent perpendiculairement aux vagues et dont la tête est ancrée au fond sous-marin par un câble.

Les vagues créent une oscillation de la chaîne.

Cette oscillation est exploitée aux articulations pour comprimer un fluide hydraulique qui entraîne à son tour une turbine.

Il s'agit du procédé le plus connu exploitant l'énergie houlomotrice.



Figure(3.1): Le système de chaîne flottante articulée dispose généralement de plus de 2 parties.

(©Aquaret)

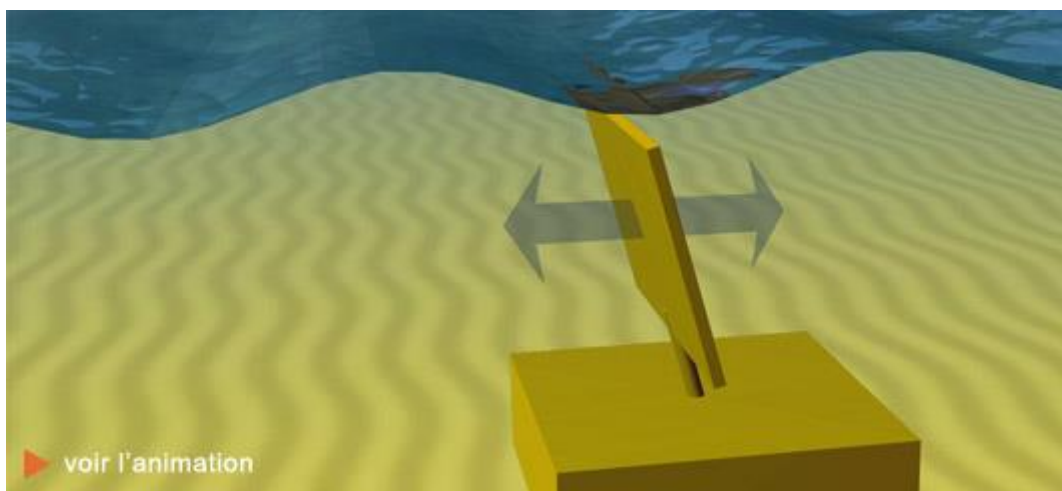
Exemple : structure Pelamis, initialement testée au Portugal, d'une puissance de 750 kW.

Elle est composée de 5 flotteurs articulés, pèse 1 350 tonnes et a une longueur globale de 180 mètres pour un diamètre de 4 mètres.

3.2.2. La paroi oscillante immergée

Système pivotant entraîné par le mouvement orbital de l'eau au passage des vagues.

Ces oscillations permettent d'actionner des pompes pour comprimer et turbiner un fluide hydraulique.



Figure(3.2): Paroi oscillante immergée (©Aquaret)

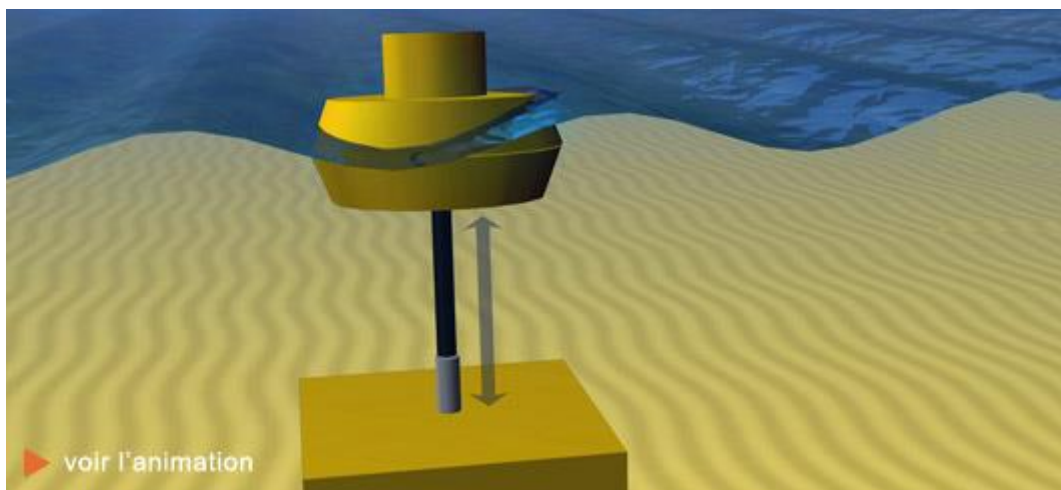
Exemple : prototypes Oyster, développés par Aquamarine Power et testés en Écosse (Oyster 1 d'une puissance de près de 300 kW testé dès 2009, Oyster 2 en projet d'une puissance de 2,4 MW).

3.2.3. La colonne à oscillation verticale

Structure flottante mise en place à la surface de la mer et transformant tous les mouvements horizontaux ou verticaux en déplacements de masselottes (éléments utilisant la force centrifuge pour créer un travail).

L'énergie liée aux masselottes en mouvement est utilisée pour actionner une pompe et mettre sous pression un fluide hydraulique qui permet ensuite de faire tourner une turbine entraînant à son tour un alternateur.

Une variante possible consiste à utiliser directement le déplacement pour entraîner l'alternateur.



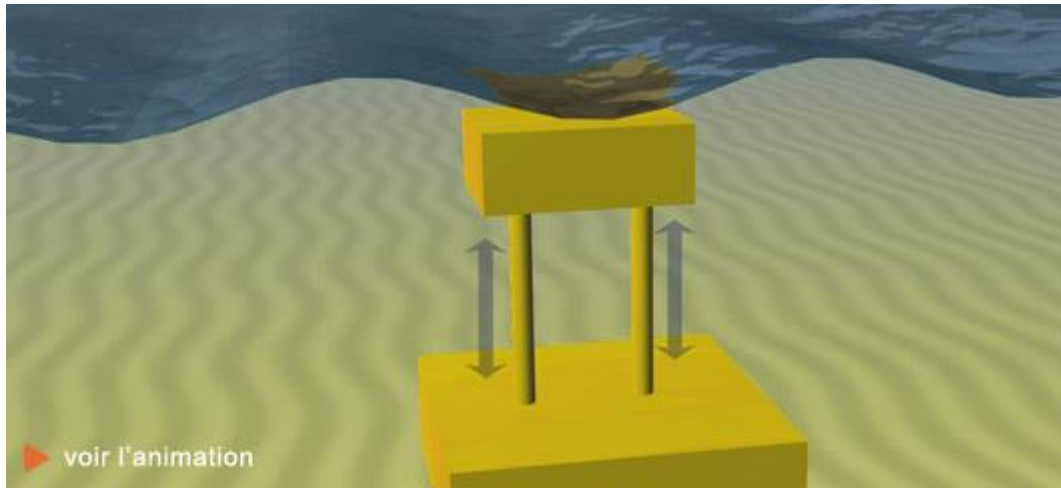
Figure(3.3): Colonne à oscillation verticale (©Aquaret)

Exemple : système Wavebob, développé depuis 1999 et testé depuis 2006 en Irlande.[31]

3.2.4. Le capteur de pression immergé

Système ancré au fond marin qui utilise le mouvement orbital des vagues pour comprimer un fluide hydraulique.

Le capteur le plus simple à utiliser est un ballon. Il est possible de constituer un réseau de capteurs et recueillir le fluide comprimé à terre où il est turbiné pour produire de l'électricité.



Figure(3.4): Capteur de pression immergé (©Aquaret)

Exemple : prototypes CETO, développés par Carnegie en Australie (unité CETO III en phase de commercialisation depuis 2009 avec projets à l'international, un prototype de ce type est actuellement immergé par EDF dans les eaux de l'île de La Réunion).

Dans les systèmes suivants, moins de parties mécaniques se trouvent en mouvement, ce qui peut contribuer à une meilleure fiabilité.

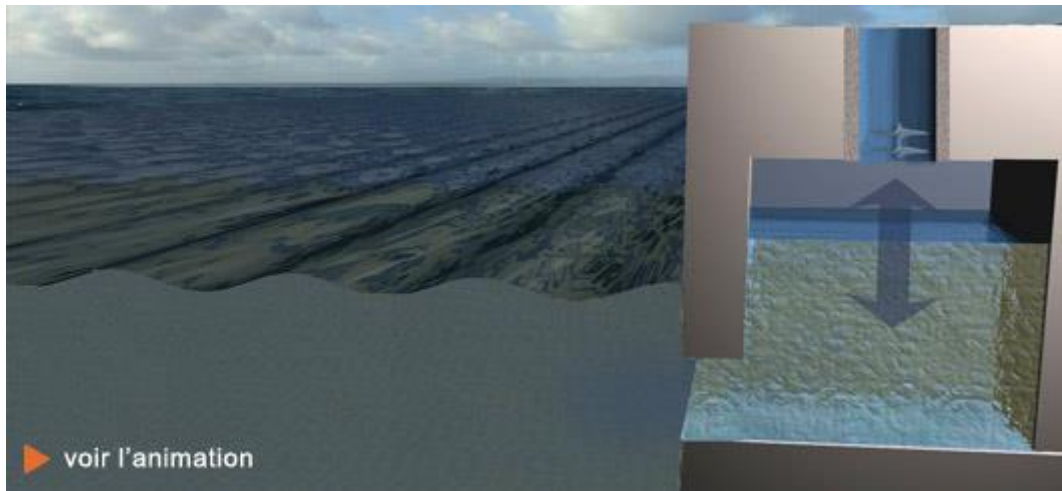
3.2.5. La colonne d'eau

Structure flottante en acier ou en béton, ouverte à la base et fermée sur le dessus. Les vagues font monter et descendre le niveau de l'eau dans la colonne.

Cela a pour effet de comprimer et de décompresser alternativement de l'air emprisonné dans la partie supérieure de la colonne.

L'air active alors une turbine bidirectionnelle pour produire de l'électricité.

Ce système peut être installé au large ou sur le rivage.



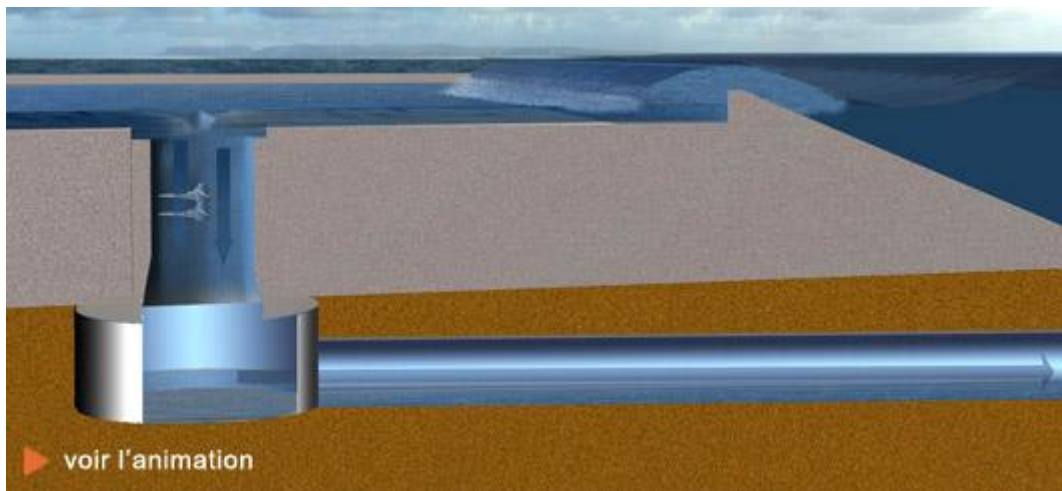
Figure(3.5): Colonne d'eau (©Aquaret)

Exemples : prototype Oceanlinx développé en Australie, d'une puissance de 450 kW.

3.2.6. Le piège à déferlement

Système à franchissement qui retient l'eau des crêtes de vagues, créant une surpression dans le réservoir.

Le volume d'eau piégée est turbiné.



Figure(3.6): Piège à déferlement (©Aquaret)

Exemple : démonstrateur SCG (Slot-Cone Generator) de Wave Energy testé en Norvège.[32]

3.3. Les projets les plus importants dans la récupération de l'énergie des vagues

Le développement technologique de l'énergie houlomotrice se poursuit depuis plus de 20 ans dans plusieurs pays européens.

3.3.1. le projet Searev

A été lancé en France à l'École Centrale de Nantes, en 2003.

En 2013, les possibilités d'industrialisation ont été mises à l'étude.

Il s'agit d'un système off-shore de flotteur clos et étanche dans lequel est suspendue une roue de 9 mètres de diamètre, lestée de béton dans sa moitié inférieure et jouant le rôle d'un pendule. Sous l'action des vagues, le flotteur se met à osciller et entraîne le va-et-vient de la roue.

Des pompes hydrauliques liées à la roue pendulaire chargent des accumulateurs à haute pression.

En se déchargeant, ces derniers livrent leur énergie à des moteurs hydrauliques qui entraînent des générateurs d'électricité.

L'électricité est ramenée à terre par un câble sous-marin. D'une longueur de 24 mètres et d'un poids de 1 000 tonnes, une unité Searev aura une puissance de 500 kW.

À terme, une ferme houlomotrice serait constituée de plusieurs dizaines de modules ancrés par 30 à 50 mètres de fond, à 5 ou 10 km des côtes.

3.3.2. le projet Pelamis

relève du type de chaîne de caissons flottants. Fondé dès 1998, le groupe Pelamis Wave Power a déjà conduit de multiples opérations pilotes, en Ecosse notamment et au Portugal.

Lors des tests près des îles Orkney, de premières connections ont été réalisées entre les Pelamis et le réseau électrique.

Mais ces projets cherchent encore des investisseurs pour des applications industrielles .

3.3.3. le projet Limpet

est testé depuis 2000 sur l'île d'Islay (Ecosse).

Il recourt à la technologie des colonnes d'eau oscillantes côtières pour une puissance de 500 kW .

3.3.4. un prototype Wave Dragon

est lancé en 2007 au pays de Galles. Il utilise la technologie de plateforme à déferlement pour une capacité de 7 MW.

3.4. Enjeux

Différents systèmes sont en cours d'évaluation sur divers sites d'essais, dont l'EMEC (European Marine Energy Center), situé en Ecosse à Billia Croo, sans que l'on puisse aujourd'hui anticiper quelle sera la filière technologique la plus intéressante.

Chaque filière doit prendre en compte la robustesse du système déployé, son envergure physique en relation avec la puissance et, bien sûr, le prix de revient prévisionnel du MWh d'électricité produite.

Ce prix de revient est actuellement difficile à calculer puisque les systèmes houlomoteurs sont encore en phase de R&D.

A court terme, France Énergies Marines envisage un démarrage sur le marché à des coûts de production similaires à ceux des hydroliennes (entre 200 et 250 €/MWh) pour des premières fermes commerciales proches du littoral de 30 à 50 MW de puissance installée.

Le potentiel de valorisation de la ressource plus éloignée des côtes laisse présager une pénétration importante des technologies après 2020 avec des économies d'échelle.

Les principales difficultés auxquelles sont confrontés les installations houlomotrices concernent :

- la haute fiabilité et la résistance aux conditions extrêmes de tempêtes (sachant qu'il existe, pour certains systèmes, des procédures d'évitement, par immersion totale par exemple) ;
- le raccordement électrique en mer pour les systèmes qui envisagent une exploitation en offshore lointain ;

- l'ancrage, l'installation et l'accessibilité en milieu marin ;
- la corrosion et le fouling (accumulation de dépôts d'origine biologique de différentes origines sur la surface).

Les filières houlomotrices n'étant pas matures, leurs coûts de production de l'électricité restent difficiles à évaluer. Ils dépendent largement du coût de fabrication, d'installation, de maintenance des systèmes ainsi que de leur efficacité de génération, c'est-à-dire le ratio entre la puissance réellement délivrée en moyenne toutes conditions d'état de la mer confondues et la capacité théorique de production à pleine puissance (ratio appelé facteur de charge).

Selon des projections de France Énergies Marines, ce dernier pourrait atteindre 30% à 50% (contre 25% pour l'éolien terrestre et jusqu'à 40% pour l'éolien offshore) mais ces données ne pourront être précisées que lorsque la filière houlomotrice aura atteint une certaine maturité.

3.5. conclusion

Le système Pelamis est le plus avancé des systèmes houlomoteurs, 3 prototypes ayant déjà été installés au large du Portugal et de l'Écosse.

Ceux-ci sont toutefois encore soumis à des difficultés d'ordre technique.

L'extrême violence de la mer dans les conditions de tempête est en effet de nature à briser les éléments physiques les plus robustes.

Pour s'en affranchir, le recours à des installations immergées est une voie de recherche intéressante.

Le « Marine Energy Action Plan 2010 » publié par le ministère britannique de l'énergie et du climat a pour ambition d'économiser 17 millions de tonnes de CO₂ à l'horizon 2030 et 60 millions de tonnes d'ici à 2050.

Ce plan est centré sur le développement des hydroliennes et de la récupération de l'énergie des vagues, avec une volonté affichée d'obtenir à partir des énergies marines de 15 à 20% du besoin d'énergie électrique du pays. Plus de 50 projets houlomoteurs sont actuellement à l'étude dans le monde.

Conclusion générale

Pour conclure, après avoir présenté trois de nombreux systèmes (il en existe en réalité beaucoup plus que 3 mais qui sont pour la plupart encore qu'au stade de schéma et de projet) de récupération de cette énergie houlomotrice qui rappelons le, est l'énergie d'origine cinétique et potentielle liée au déplacement de la surface de la mer sous l'action de la houle. On peut dire que depuis les années 2000, les augmentations des énergies fossiles (comme le pétrole, ou le gaz...) et les nouvelles inquiétudes face aux nouveaux problèmes environnementaux ont donné un coup de pouce aux développements des systèmes de récupération de l'énergie houlomotrice.

Cette énergie est productible et mérite d'attirer l'attention de tous à l'ère des énergies renouvelables.

Cependant, pour devenir rentable au long terme, ces nouvelles énergies tirées de la mer et de l'océan doivent se développer davantage et se préciser.

Trop de concepts se partagent en effet les financements publics, alors que l'industrie éolienne a depuis longtemps concentré son choix sur les turbines à trois pâles.

Il n'en demeure pas moins que l'utilisation industrielle de l'énergie des mers doit surmonter encore de nombreux défis, comme la longévité des équipements dans un milieu hostile, la maîtrise des coûts d'entretien et, bien entendu, l'impact réel sur la navigation et l'environnement.

Mais la France, riche de ses trois grandes façades maritimes, se doit d'être à la pointe de la recherche dans ce domaine d'avenir qui commence à sortir des laboratoires et pourrait bien, à l'horizon 2030, prendre une place significative dans notre bouquet énergétique.

On peut donc pour terminer par dire qu'au long terme l'énergie houlomotrice respecterait notre environnement de demain mais l'électricité produite par cette nouvelle énergie n'égalerait que tardivement (et encore ce n'est pas sûr) celle fournie par le nucléaire, principale énergie utilisée à ce jour.

Bibliographie

- [1]. Énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) [archive] Driee.ile-de-france, consulté en mars.
- [2]. [PDF] Observ'ER La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde - 15^e inventaire - édition 2013 - chapitre 2 - aperçu des dynamiques régionales par filière [archive], consulté le 5 février 2014.
- [3]. Jean-François Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, Lavoisier, Paris, 1993 (ISBN 2-85206-618-1).
- [4]. Desertec Industry Initiative et Sonelgaz conviennent de coopérer étroitement dans le domaine des énergies renouvelables [archive].
- [5]. Algérie: Énergie solaire - Une filière prometteuse [archive], Samira Imadalou, La Tribune, 18 juillet 2011.
- [6]. Présentation New Energy Algeria [archive] , Site officiel de la NEA, Consulté de 18/07/2012.
- [7]. Énergies renouvelables : Des panneaux solaires made in Algeria disponibles sur le marché [archive], La rédaction, El Moudjahid, 15 février 2012.
- [8]. Le baromètre du solaire thermique. Systèmes solaires n°163. Octobre 2004. EurObserv'ER.
- [9]. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. <http://www.ademe.fr>.
- [10]. Photovoltaic Energy Barometer. Systèmes solaires n°160. Avril 2004. EurObserv'ER.
- [11]. Baromètre de la géothermie. Systèmes solaires n°156. Août 2003.
- [12]. Wood Energy Barometer. Systèmes solaires n°158. Décembre 2003. EurObserv'ER.
- [13]. Association Hespul. <http://www.hespul.org>
- [14]. Photovoltaic Energy Barometer. Systèmes solaires n°160. Avril 2004. EurObserv'ER.
- [15]. Production d'énergie éolienne en Algérie, Une aventure qui risque de nous coûter cher ? [archive] , Par Samira.G, Paru au Journal le Maghreb, Algérie 360, 10 Février 2012.

Bibliographie

- [16]. Vergnet construira le premier parc éolien en Algérie [archive] , Enerzine.com, Publié le 22/01/2010.
- [17]. L'Algérie inaugure sa première ferme éolienne de 10 mégawatts à Adrar [archive] ,Par Yazid Ferhat,Paru au Site maghrebemergent.com, Maghreb Emergent, 03 Juillet 2014.
- [18]. Robert Bell, La bulle verte : la ruée vers l'or des énergies renouvelables, Paris, Scali, 2007, 296 p. (ISBN 9782350120683).
- [19] . Systèmes solaires n°140. 2000. EurObserv'ER.
- [20]. Waveenergy. <http://www.waveenergy.dk>.
- [21]. Batiactu, 1,2 million de salariés dans les énergies renouvelables en Europe [archive].
- [22]. Prim, portail de prévention des risques majeurs [archive], voir aussi Manicore [archive], site de Jean-Marc Jancovici.
- [23]. Clément Alain, « Wave energy in Europe: current status and perspectives », Renewable and Sustainable Energy Reviews, n° 6, 2002, p. 405-431 (lire en ligne [archive]).
- [23]. Leishman, J.M., The development of Wave Power - A techno-economic study, Glasgow, Scotland, National Engineering Laboratory, 1975, 130 p. (lire en ligne [archive]).
- [24]. « Wave Energy Research and Development at JAMSTEC », sur Web Archives, document archivé le 1^{er} Juillet 2008 ici, récupéré le 18/12/2008.
- [25]. John Nicholas Newman, Marine hydrodynamics, Cambridge, Massachutests, MIT Press (ISBN 0-262-14026-8).
- [26].Chiang C. Mei, The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, 1989 (ISBN 9971-5-0773-0).
- [27]. « Edinburgh Wave Power Group » [archive].
- [28]. G. Damy, M. Gauthier CNEXO – COB.
- [29]. A. Clement. Propagation des ondes de gravité. Cours de l'Ecole Centrale de Nantes, 2002.
- [30]. pierre.hautefeuille.free.fr/TPE/conclusion.htm.

Bibliographie

[31]. Falnes (J.), « Ocean Waves and Oscillating Systems », Cambridge University Press, 2000.

[32]. Cruz (J.), « Ocean Wave energy – Current status and Future Perspectives », Springer, 2008.

[33]. Babarit (A.), « Optimisation Hydrodynamique et Contrôle Optimal d'un Récupérateur de l'Energie des Vagues. » Thèse de doctorat de l'Université de Nantes, 2005.

Résumé

Cet mémoire, en three parties, problématique de récupération de l'énergie de la houle. La première partie est Généralités sur les énergies renouvelables , et Dans la seconde partie, énergie houlomotrice (ou énergie des vagues), et la partie three Différentes techniques de récupération de l'énergie des vagues