

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département Ecologie et environnement



MÉMOIRE

Présenté par

BELADJEMI Youcef

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En SCIENCES DE LA MER

Thème

ENERGIE HOULOMOTRICE

Soutenu le 10/07/2021, devant le jury composé de :

Président	BENGUEDDA W.	MCA	Université ABOU BEKR BELKAID
Encadrant	MEZIANE A.	MCB	Université ABOU BEKR BELKAID
Examineur	SMAHI DJ.	MAA	Université ABOU BEKR BELKAID

Année universitaire 2020/2021

ملخص

التغيرات المناخية و ارتفاع مستوى البحار مرده إلى الإحتباس الحراري. المتسبب فيه هو ارتفاع مستوى انبعاث ثاني اكسيد الكربون في الغلاف الجوي. إنتاج طاقات نظيفة ذات نسبة منخفضة من ثاني اكسيد الكربون هو الحل. فمثلا قد تم إنتاج الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية و كذلك طاقة الرياح و هذا على مستوى اليابسة. أما على مستوى البحار فهناك عدة مؤسسات فكرت في الإستفادة من طاقة الأمواج لإنتاج الكهرباء. عدة نماذج بدأت تبرز. في هذه المذكرة نذكر بعض النماذج و المبادئ التي تركز عليها .

الكلمات المفتاحية : الطاقة الكهربائية ، الموج ، طاقة الأمواج

Résumé

Les changements climatiques, l'élévation des niveaux des mers, sont dus à l'effet de serre. Qui a pour cause l'élévation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Pour réduire ce taux, il fallait produire des énergies propres qui émettent peu ou pas de carbone. Sur terre on a opté pour l'énergie solaire et l'énergie éolienne. En mer beaucoup d'entreprises se sont intéressées à produire de l'énergie électrique en utilisant la force des vagues, cette énergie s'appelle l'énergie houlomotrice. Beaucoup de prototypes en vue le jour. Dans ce mémoire nous citons quelques-uns et le principe sur lequel ils sont fondés.

Mots clés : énergie électrique, la houle, l'énergie houlomotrice

Abstract :

Climate change, rising sea levels, are due to the greenhouse effect. Which is due to the level of CO₂ in the atmosphere. To reduce this rate, it was necessary to produce clean energies that emit little or no carbon. On earth we have opted for solar power and wind power. At sea, many companies have been interested in producing electrical energy using the force of waves, this energy is called wave energy. Many prototypes in sight. In this brief we cite a few and the principle on which they are based.

Keywords: electrical energy, swell, wave energy

Remerciements

Je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Ce mémoire est dédié à tous les membres de ma famille qui étaient toujours à mon côté. Pour leur soutien qui a contribué à la réussite de ce travail, et ma permit de garder le moral dans les moments difficiles

*J'exprime tout d'abord mes sincères remerciements à Mr **MEZIANE ABDELKADER**, Maître de conférences au département d'Ecologie Environnement de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers à l'Université de Tlemcen, pour la proposition de ce sujet et pour m'avoir soutenue tout au long de cette période de mémoire de master.*

*Je formule mes sincères remerciements à Mme **BENGUEDDA Wacila** et à Monsieur **SMAHI Djamel Eddine**, pour avoir accepté de participer à ce jury en tant qu'examineurs.*

DÉDICACE

J'exprime ici ma grande gratitude

A la Reine de la compassion, la flamme de mon cœur, ma mère

A la source de confiance, mon père

A ma hère sœur, WAFAA

*A mon très cher frère et fidèle accompagnant IMAD EDDINE MONCEF
EDDINE*

A eux, je dédie ce modeste travail

YOUCEF

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Le courant électrique	2
1. Le Courant continue	3
1.1. Définition	3
1.2. La batterie	3
1.2.1 Définition de la batterie	3
1.2.2. Réaction électrochimique	3
2. le courant alternatif.....	4
2.1. Définition du courant alternatif	4
2.2 L'induction magnétique.....	5
2.3.2 le Rotor	6
3. La centrale électrique.....	7
3.1. Principe de fonctionnement d'une centrale électrique	7
Chapitre 2 : La centrale hydroélectrique	8
1. L'énergie hydroélectrique	9
2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques	9
2.1. Les bassins versants et le stockage naturel de l'eau	9
2.2. Les différents types d'aménagements hydrauliques	9
a) les aménagements avec retenue	10
2.3. Avantages et inconvénients de l'énergie hydroélectrique.....	10
b) Pour la santé.....	11
c) Sociaux.....	11
Chapitre 3 : Les centrales thermiques	12
1. Définition d'une centrale thermique	13
2. Le principe d'une centrale thermique	13
Chapitre 4 : La centrale nucléaire	15
1. Définition d'une centrale nucléaire.....	16
1.2. La fission nucléaire	16
1.3 Le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.....	16
1.4. Les avantages des centrales nucléaires.....	17
1.5. Les inconvénients d'une centrale nucléaire.....	17

Chapitre 5 : Les centrales écologiques	18
1. Les éoliennes	19
1.1. Définition	19
1.2. Le Principe de l'énergie éolienne	19
1.3. Constitution et fonctionnement d'une éolienne	20
2.L'Energie solaire	21
2.1. Définition	21
2.2. Énergie solaire photovoltaïque	22
2.3. Énergie solaire thermodynamique	22
Chapitre 6 : La houle	24
1. Définition de la houle	25
2. Comment le vent aide-t-il à la formation des vagues ?	25
3. La physique des vagues	26
Chapitre 7 : L'énergie houlomotrice	28
1. Définition	29
2. Le principe	29
3. Fonctionnement technique	29
3.1. Les moyens de Production	29
3.1.1. La chaîne flottante articulée (ou « serpent de mer »)	29
3.1.1.1 Le Pelamis.....	30
a) Présentation	31
b) Fonctionnement.....	31
c) Les avantages du Pelamis	33
3.1.2. La paroi oscillante immergée	34
3.1.2.1 Searav	34
a) Principe de fonctionnement.....	35
3.1.3.1. Waveswing	37
a) Principe de fonctionnement.....	38
3.1.3. Le capteur de pression immergé.....	39
a) Fonctionnement	40
3.1.5. Le piège à déferlement.....	41
3.1.6 L'hydrolienne :	42
Conclusion :	43

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'un processus électrochimique dans les batteries hermétiques.....	3
Figure 2: Principe de fonctionnement d'une batterie au plomb	4
Figure 3: Principe de fonctionnement d'une batterie au lithium (Utente, 2012).....	4
Figure 4 : La courbe du courant alternatif (Utente,2012)	5
Figure 5: L'induction magnétique	5
Figure 6 : Dispositif permettant la production d'un courant alternatif.....	6
Figure 7 : Le stator	6
Figure 8 : Le rotor	6
Figure 9 : Le collecteur	7
Figure 10 : Bassin versant	9
Figure 11 : Schéma d'une centrale hydro électrique	10
Figure 12 : Schéma d'une centrale thermique.....	13
Figure 13 : Principe de fonctionnement d'une centrale électrique à gaz (Jean,2004)	14
Figure 14 : Schéma la fission nucléaire (Malaty et Morel, 2005).....	16
Figure 15 : Schéma d'une centrale nucléaire.....	17
Figure 16 : Schéma de production de l'énergie par l'éolien.....	19
Figure 17 : Principe de la conversion d'énergie	20
Figure 18 : Système éolien de type aérogénérateur (Madet,2000).....	21
Figure 19 : Panneau solaire en refuge (Alpes).....	22
Figure 20 : Schéma de production d'énergie électrique à partir de la lumière du soleil.	22
Figure 21 : Centrale solaire à tour.....	23
Figure 22 : Schéma de fonctionnement d'une centrale solaire	23
Figure 23 : Evolution des vagues du large jusqu'a la cote	25
Figure 24 : La formation de la houle à partir du vent	26

Figure 25 : Houle de faible amplitude en profondeur infinie.....	26
Figure 26 : Houle de faible amplitude en faible profondeur	27
Figure 27 : Houle de forte, amplitude en profondeur Infinie.....	27
Figure 28 : Vues de dessus et de profil du système flottant Wave Dragon	30
Figure 29 : Le système de chaîne flottante articulée dispose généralement de plus de deux parties. (Tony,2013)	30
Figure 30 : Photo du système Pelamis avec le schéma de l'articulation.....	31
Figure 31 : Taille réelle du Pelamis	31
Figure 32 : Le mouvement des vagues agit dans chaque articulation de la structure. Ce mouvement est utilisé pour produire de l'électricité (Blanchard,2013).....	32
Figure 33 : Le Pelamis et son environnement.....	32
Figure 34 : Pelamis avant sa mise à l'eau (Ocean Power Delivery Limited)	34
Figure 35 : Paroi oscillante immergée	34
Figure 36 : Les différentes phases de fonctionnement du Searav	36
Figure 37 : Colonne à oscillation verticale	37
Figure 38 : Le Waves swing.....	38
Figure 39 : Le principe de fonctionnement du Waves swing	38
Figure 40 : Capteur de pression immergé.....	39
Figure 41 : Colonne d'eau.....	40
Figure 42 : Surpression.....	40
Figure 43 : Dépression	41
Figure 44 : Piège à déferlement.....	41

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation des gaz à effet de serre est l'une des conséquences de la révolution industrielle qu'a connue le XXème siècle. Ce qui a incité l'ONU à intervenir pour limiter l'émission de ces gaz à l'exemple de la COP21 tenue à Paris en 2015. Les principaux responsables de cette émission sont les compagnies pétrolières qui incitent à consommer les énergies fossiles à l'exemple du pétrole et du gaz. Ces dernières ont changé de stratégie et investissent massivement dans les énergies renouvelables. Même chose pour l'industrie automobile qui investit elle aussi dans les voitures électriques.

La production de l'énergie électrique repose principalement sur les énergies fossiles à l'instar du fioul et le gaz. Un faible pourcentage sur le nucléaire. Cette production a un effet négatif sur l'environnement. Ce qui a motivé les compagnies de production de l'électricité à s'orienter vers des énergies propres. L'énergie solaire les éoliennes sont l'exemple type de production de l'électricité sans émission de CO2.

Depuis quelques années des sociétés ont investi dans la production de l'électricité à partir de l'énergie des vagues. Beaucoup de prototype ont vu le jour. Certains ont pu ce concrétiser d'autres sont restés dans les tiroirs faute de moyens financiers. Cette nouvelle forme de production de l'électricité à partir de la houle s'appelle l'énergie houlomotrice.

Dans ce mémoire nous citons quelques-unes des centrales électriques houlomotrices en activité et le principe sur lesquelles elles sont basées.

Chapitre 1
Le courant électrique

1. Le Courant continue

1.1. Définition

Un courant est dit continu lorsqu'il s'écoule continuellement dans une seule direction. Le courant continu est produit par l'activité chimique d'une batterie ou d'une pile dans un circuit électrique fermé.

1.2. La batterie

1.2.1 Définition de la batterie

Les batteries sont des accumulateurs électrochimiques. La batterie permet de stocker l'énergie électrique sous forme chimique et de la restituer sous forme de courant continu, de manière contrôlée par processus chimique réversible.

Les piles ne sont pas des accumulateurs électrochimiques, car elles ne sont pas rechargeables. (Abrik,2012)

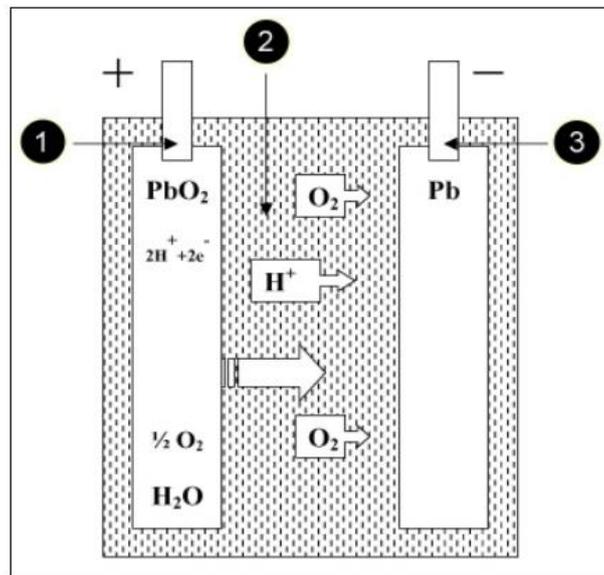


Figure 1 : Schéma d'un processus électrochimique dans les batteries hermétiques

1. Plaque positive (cathode)
2. Séparateur (fibre de verre avec électrolyte)
3. Plaque négative (anode)

1.2.2. Réaction électrochimique

Le courant est produit par la circulation d'électrons entre deux plaques ou électrodes :

- une électrode positive capable de céder ou de capter les électrons,
- une électrode négative capable de céder ou de capter les électrons

Le courant est créé par un mouvement d'ensemble des électrons qui se déplacent de l'électrode positive à l'électrode négative en passant par un fil de métal (conducteur), pour alimenter un récepteur. Les ions issus de ce transfert d'électrons traversent l'électrolyte partant de la cathode pour rejoindre l'anode. La batterie se décharge. Une batterie ou une pile se caractérise donc tout d'abord par deux couples « oxydant-réducteur » (par exemple Plomb/Oxyde de plomb, Carbone/Oxyde de cobalt lithium ou Carbone/Phosphate de fer lithié ...) Échangeant des électrons.

L'association de deux plaques (ou de deux matériaux d'insertion pour la batterie li-ion) constitue l'entité primaire d'une batterie. Les deux électrodes baignent dans une solution électrolytique (ou électrolyte), liquide ou sous forme de gel. C'est la réaction entre la solution et les électrodes qui est à l'origine du déplacement des électrons et des ions dans la solution. Ainsi, l'électrolyte a pour fonction d'assurer la conduction ionique et, plus généralement, de participer à la réaction chimique. Un isolant poreux (ou séparateur) permet de séparer les deux électrodes tout en autorisant le passage des ions.

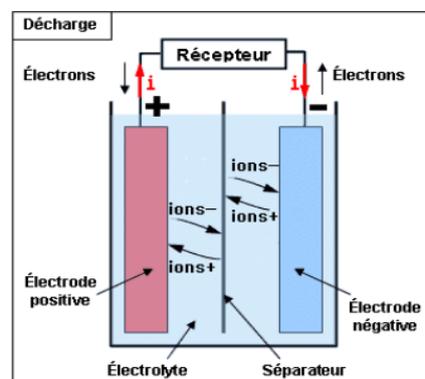


Figure 2: Principe de fonctionnement d'une batterie au plomb

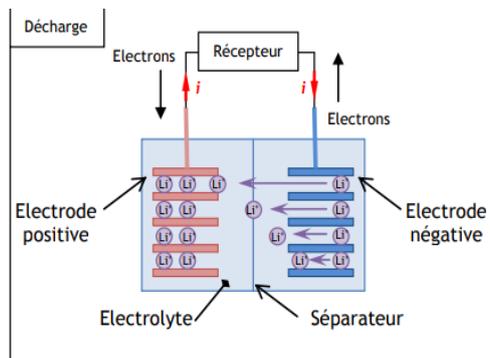


Figure 3: Principe de fonctionnement d'une batterie au lithium (Utente, 2012)

2. le courant alternatif

2.1. Définition du courant alternatif

Tout courant ou tension peut se représenter dans des systèmes d'axes $i = f(t)$ pour les courants et $u = f(t)$ pour les tensions, dans lesquelles i et u représentent une valeur instantanée (valeur à un instant donné).

$i = f(t)$ ou $u = f(t)$ sont des représentations temporelles, puisque, dans le premier cas, il s'agit

de représenter le courant i en fonction du temps t , et dans le second la tension u en fonction du temps t . De façon plus générale, représenter une grandeur en fonction du temps.

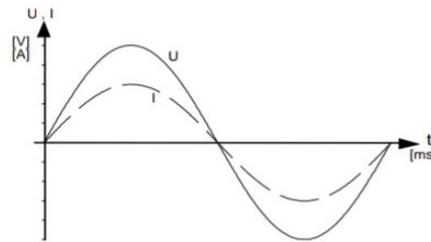


Figure 4 : La courbe du courant alternatif (Utente,2012)

2.2 L'induction magnétique

Pour simplifier la notion d'induction magnétique réalisons l'expérience suivante :

Prenons un aimant droit s'approchant rapidement d'une bobine (constituée d'un enroulement de fils conducteurs). L'aimant mobile plonge la bobine dans un champ magnétique variable, ce qui induit l'apparition d'un courant électrique.

Reprenons maintenant ce dispositif mais, cette fois-ci, immobilisons l'aimant et mettons plutôt la bobine en mouvement au voisinage de ce dernier : nous constatons qu'il apparaît de nouveau un courant électrique induite aux bornes de la bobine

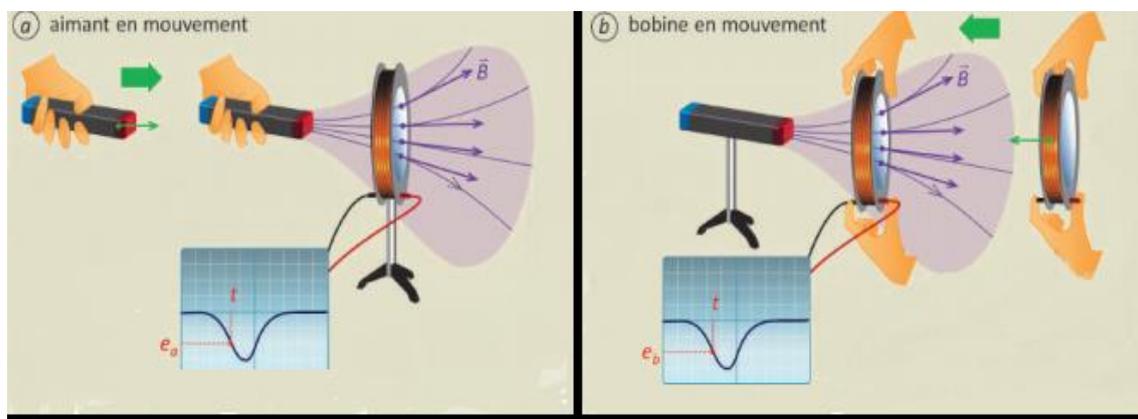


Figure 5: L'induction magnétique

Conclusion l'induction d'un courant dans un circuit nécessite obligatoirement qu'un des éléments soit en mouvement.

Partant de ce principe on peut réaliser un dispositif qui puisse nous donner du courant alternatif en continu.

Ce dispositif comprend un aimant statique qu'on appelle **stator** et une bobine en rotation autour d'un axe à l'intérieur de l'aimant. Cette bobine est reliée à un élément qui lui donne un mouvement de rotation. Cet élément s'appelle **rotor**. Dans le cas des centrales électrique ce rotor est relié à une turbine.

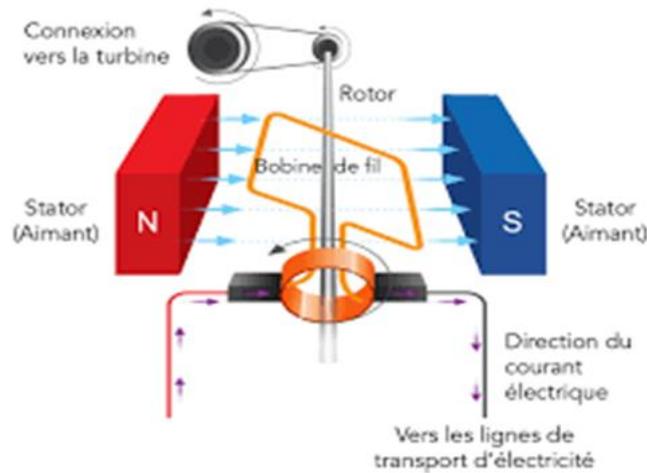


Figure 6 : Dispositif permettant la production d'un courant alternatif

2.2.1 Le stator

Le stator est constitué de la carcasse du stator et du circuit magnétique proprement dit. Le circuit magnétique est constitué d'une structure ferromagnétique qui canalise le flux magnétique, créé par une source de champ magnétique : aimant permanent ou électroaimant.

Le circuit magnétique du stator crée le champ magnétique appelé « champ inducteur ». L'inducteur crée un flux magnétique dans l'entrefer. L'entrefer est l'espace entre les pôles du stator et le rotor.

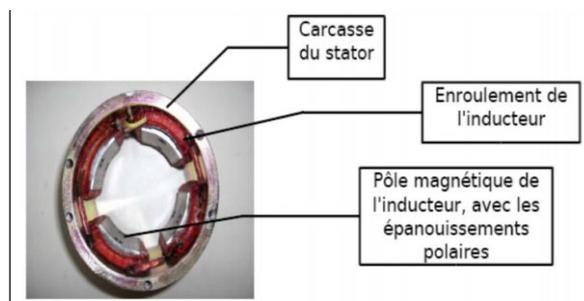


Figure 7 : Le stator

2.3.2 le Rotor

Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif. Le collecteur rotatif permet de maintenir fixe la direction transversale de magnétisation du rotor lorsque celui-ci tourne.



Figure 8 : Le rotor

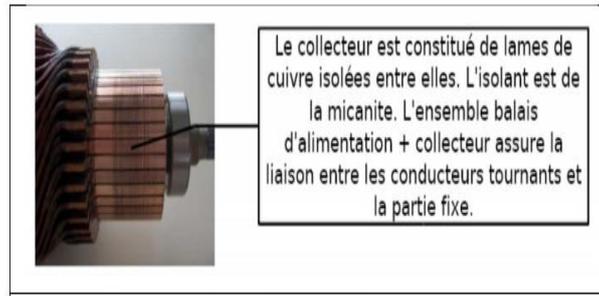


Figure 9 : Le collecteur

3. La centrale électrique

3.1. Principe de fonctionnement d'une centrale électrique

A notre époque sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines capables de produire de l'électricité en grande quantité.

Les trois principaux modes de production sont : les centrales hydroélectriques, les centrales à combustibles fossiles et les centrales nucléaires. La turbine et l'alternateur sont les deux pièces maîtresse de ces générateurs d'électricité. Dans le cas des usines thermiques, la turbine est entraînée par la vapeur produite dans les chaudières où l'on brûle les combustibles, alors que dans le cas des usines hydroélectriques, la turbine est animée par la force de l'eau. La turbine est couplée à un alternateur, un grand aimant cerclé d'une bobine, qui va produire un courant alternatif en tournant. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur.

A la sortie de la centrale, un premier transformateur, un survolteur, augmente la tension du courant à 400V ou 800000 V. Ceci permet de minimiser les pertes d'énergie pendant le transport près du point de livraison, un deuxième transformateur, un survolteur, fait l'opération inverse : il abaisse la Tension du courant pour la mettre aux normes du réseau domestique.

Il existe d'autres manières efficaces de produire de l'électricité : les panneaux solaires qui transforment la lumière du soleil en électricité et les éoliennes qui utilisent la force du vent. Il faut savoir qu'il existe également des usines houlomotrices qui utilisent la force des marées, la géothermie exploite les gisements d'eau chaude stockés dans le sous-sol terrestre, tandis que les usines à biomasse utilisent les déchets comme source d'énergie.

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- les centrales hydroélectriques.
- les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales Thermiques classiques.
- les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de Thermiques.
- les centrales solaires ou photovoltaïques.
- les centrales éoliennes.

Chapitre 2
La centrale hydro électrique

1. L'énergie hydroélectrique

Jusqu'à la révolution industrielle, le bois et la force animale fournissaient l'essentiel de l'énergie utilisée par l'homme. L'énergie hydraulique fournissait la plus grande partie de l'énergie mécanique. Aujourd'hui, l'énergie hydraulique représente 6 à 7 % de l'énergie consommée mondialement, soit près de 20 % de l'électricité.

L'énergie hydroélectrique mobilise une quantité importante d'eau. A titre d'exemple, pour produire 1 kWh électrique dans une usine ayant un rendement de 85 %, il faut faire chuter 10 tonnes d'eau d'une hauteur de 40 m. Il en résulte que, pour produire des quantités importantes d'électricité, il faut soit disposer de gros débits (se comptant en milliers de mètres cubes par seconde), soit disposer d'une grande hauteur de chute (se comptant en centaines de mètres), soit les deux. Il faut en outre que l'eau soit disponible en quantités suffisantes, ce qui dépend du bassin versant et de la pluviométrie.

2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques

2.1. Les bassins versants et le stockage naturel de l'eau

Un bassin versant ou bassin hydrographique est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête (ou lignes de partage des eaux) et irriguée par un même réseau hydrographique (une rivière, avec tous ses affluents et tous les cours d'eau qui alimentent ce territoire).

A l'intérieur d'un même bassin, toutes les eaux reçues suivent, du fait du relief, une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire. Dans un bassin versant, l'eau se fraye des chemins sur et dans les sols.

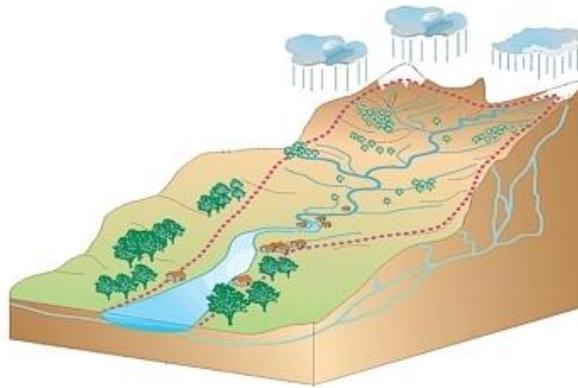


Figure 10 : Bassin versant

2.2. Les différents types d'aménagements hydrauliques

Chaque site possède ses propres caractéristiques, hydrologiques, géologiques, topographiques, et sera aménagé en fonction de ses caractéristiques et des objectifs poursuivis, à savoir la fourniture quasi permanente d'électricité, la fourniture en période de pointe uniquement ou le stockage temporaire, etc... Bien que chaque aménagement hydraulique soit très spécifique du site choisi, les différents aménagements peuvent être classés en quelques grandes familles :

a) les aménagements avec retenue

De nombreuses rivières ont un débit très variable au cours de l'année, notamment du fait de la variation saisonnière, des précipitations et du stockage naturel de la neige en hiver, et ceci d'autant plus que leur bassin versant est limité. C'est le cas de la plupart des rivières en altitude, mais également de certaines autres, lorsque l'on veut exploiter leur potentiel hydraulique, on est amené à construire des barrages qui vont eux-mêmes stocker l'eau lorsqu'elle arrive en abondance, et permettre de la restituer et de la turbiner lorsqu'on en a besoin. Ces barrages ont des hauteurs variables entre quelques dizaines de mètres et largement plus de 100 mètres en fonction de la topographie des lieux et des quantités d'eau à stocker.

b) les aménagements "au fil de l'eau"

Lorsque le débit d'une rivière ne varie pas trop au cours de l'année, on choisit généralement de l'équiper "au fil de l'eau", sans créer de retenue. C'est le cas de la plupart des fleuves une fois qu'ils sont arrivés en plaine, avec un débit important mais une faible pente. L'eau que l'on veut turbiner est en général dérivée dans un canal latéral, sur une distance suffisante pour obtenir une hauteur de chute suffisante (de l'ordre de 10 m.), chaque usine, en turbinant environ 1000 m³/s sur une hauteur de 10 à 15 m, a une capacité de 80 à 120 MW ; La pente générale du fleuve permet d'installer une usine de ce type tous les 30 km environ.

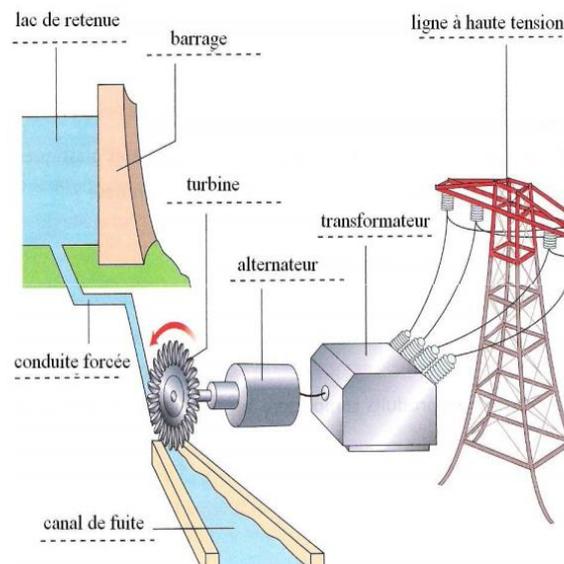


Figure 11 : Schéma d'une centrale hydro électrique

2.3. Avantages et inconvénients de l'énergie hydroélectrique

Comme la plupart des activités humaines et industrielles, l'exploitation de l'énergie hydraulique présente des avantages et des inconvénients, tant pour l'environnement, que pour la santé et pour ses aspects sociaux.

a) Pour l'environnement

Un des principaux avantages de l'énergie hydraulique, énergie renouvelable, est que, dans la plupart des cas, elle ne rejette pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Si les 20 %

d'électricité d'origine hydraulique étaient produits dans des centrales à charbon, les rejets de CO₂ dans l'atmosphère seraient majorés de 500 à 600 mégatonnes de carbone Contenu (600 MtC), alors qu'ils sont déjà beaucoup trop élevés.

b) Pour la santé

L'énergie hydraulique a été dans de nombreux pays, et notamment en Europe, le premier moyen de produire des quantités importantes d'électricité. De 1960, l'électricité hydraulique, avec 40 TWh, représentait près de 60 % de la production. C'est dire que L'énergie hydraulique a très fortement contribué au redressement économique du pays et, Par là même, à l'amélioration de la santé.

Dans les pays à climat tempéré, on ne connaît pas d'effet nocif pour la santé de l'énergie hydraulique. Dans les pays tropicaux, certains aménagements hydrauliques mal conçus Conduisent à la diffusion de maladies hydriques, et notamment du paludisme et de la Bilharziose (ou schistosomiase).

Les problèmes rencontrés sont cependant au moins autant Imputables aux réseaux d'irrigation qu'aux retenues des barrages et les traitements Préventifs et curatifs existent même s'ils ne sont pas souvent mis à la disposition des Populations concernées.

c) Sociaux

Un des principaux griefs fait à l'énergie hydraulique est qu'il nécessite souvent des déplacements de population. De tout temps, en effet, les rivières et les fleuves ont été des lieux privilégiés d'habitat.

Dans les zones de montagne, il s'agit le plus souvent de hameaux ou de terres à usages agropastoraux. Bien que traumatisant pour les quelques familles affectées, le changement peut être accompagné. Il est possible de proposer à ces familles un cadre de vie peu différent que celui qu'elles connaissaient avant, ou de les accompagner dans un changement qu'elles peuvent souhaiter ou accepter. En plaine, les conséquences peuvent être beaucoup plus importantes, et l'impact social plus difficile à maîtriser. (Utente,2012)

Chapitre 3
Les Centrales thermiques

1. Définition d'une centrale thermique

La production d'électricité à partir des centrales thermiques à flamme est la plus répandue dans le monde (plus de 64%). En effet, le gaz, le charbon et le fioul, utilisés comme combustibles, sont des ressources naturelles abondantes.

Les centrales thermiques à flamme, flexibles et réactives, sont plus efficaces pour faire face aux variations de demande d'électricité, et notamment aux pics de consommation. Elles sont capables de produire de l'électricité très rapidement et peuvent donc être sollicitées à tout moment.

La production d'électricité d'origine thermique représente en moyenne entre 3 et 5% de l'électricité.

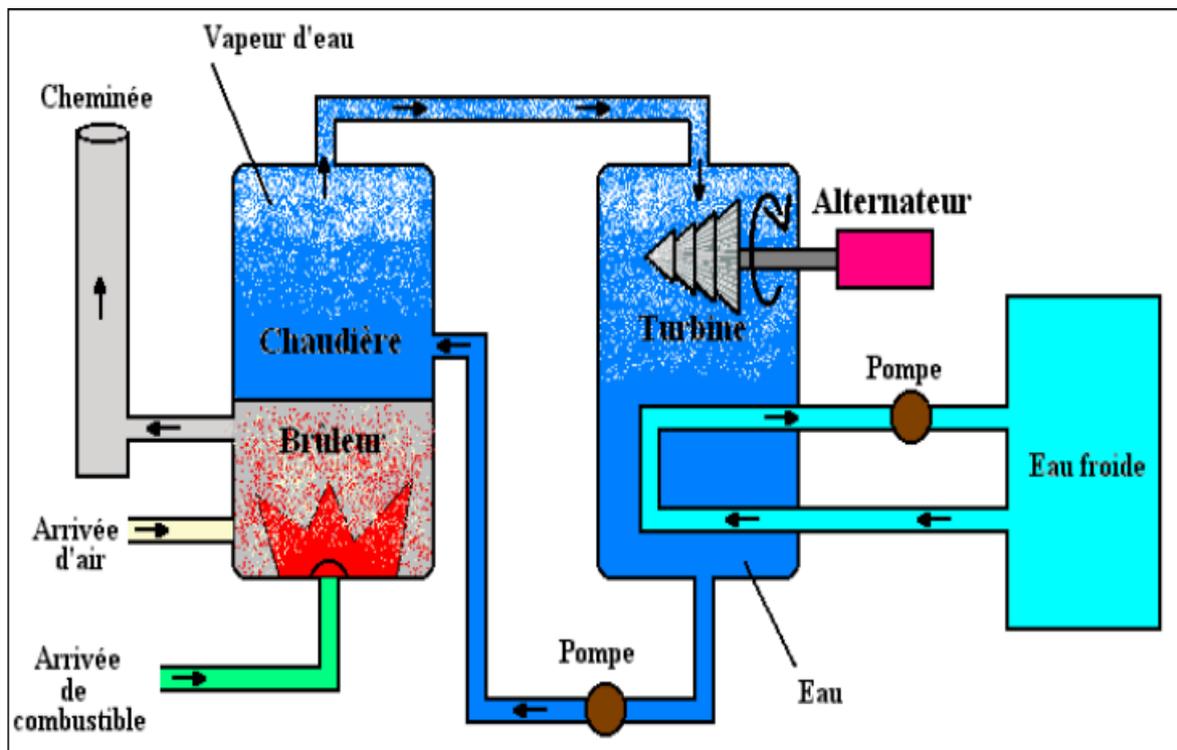


Figure 12 : Schéma d'une centrale thermique

2. Le principe d'une centrale thermique

Les centrales thermiques à flamme fonctionnent à partir de ressources naturelles : charbon, fioul ou gaz. Le combustible, une fois brûlé, chauffe l'eau située dans des tubes qui tapissent les parois de la chaudière. La chaleur transforme ainsi l'eau en vapeur, qui actionne la turbine, qui elle-même entraîne l'alternateur. La centrale produit alors de l'électricité. Ensuite la vapeur est refroidie en eau, puis repart vers la chaudière pour un nouveau cycle.

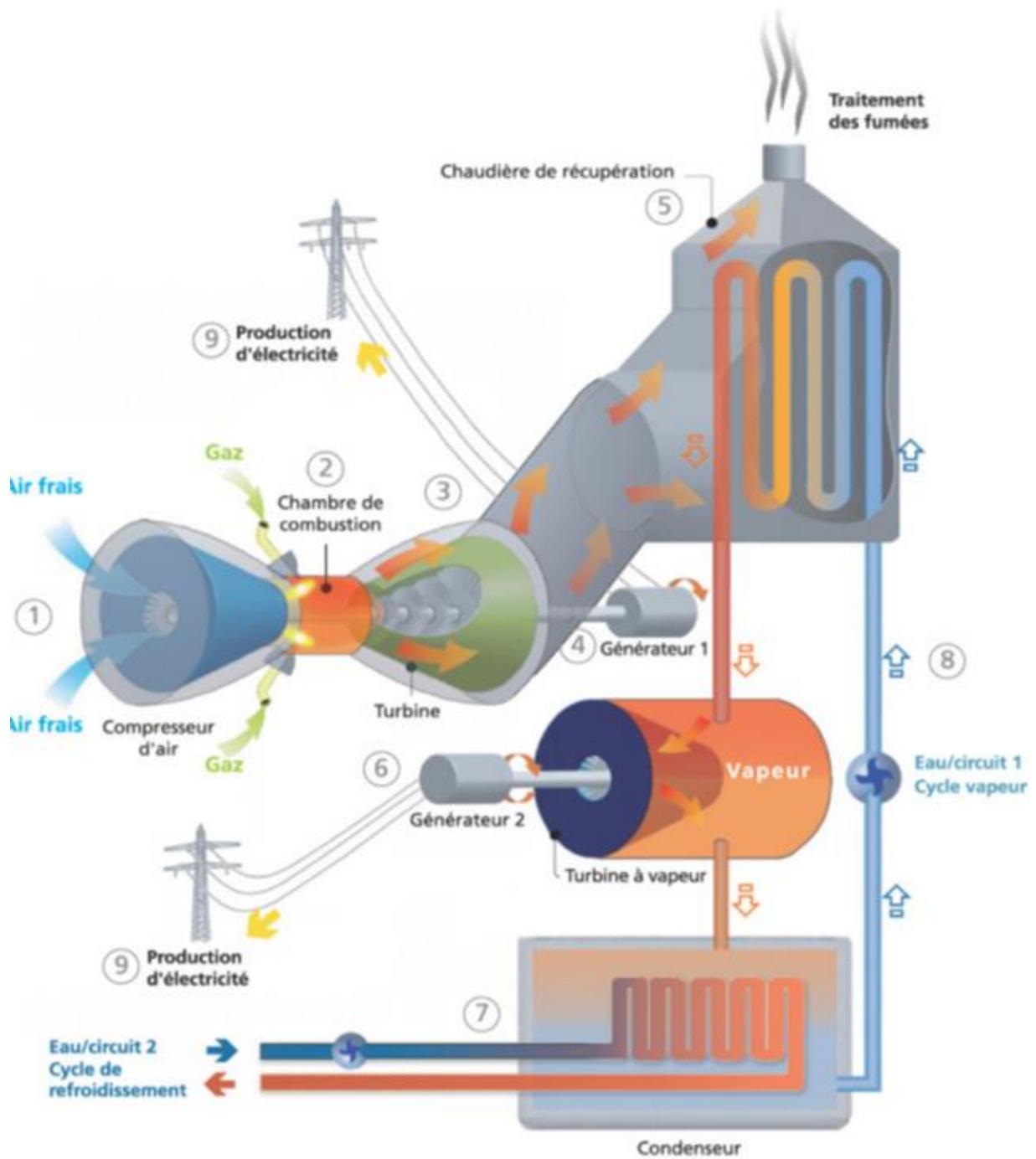


Figure 13 : Principe de fonctionnement d'une centrale électrique à gaz (Jean,2004)

Chapitre 4
Centrale nucléaire

1. Définition d'une centrale nucléaire

Une centrale nucléaire est une usine où l'on produit de l'électricité à partir d'une réaction compliquée appelée la "fission nucléaire". Une centrale nucléaire est d'abord une machine à produire de la vapeur d'eau sous pression.

La fission est un phénomène par lequel le noyau d'un atome se divise en de nombreuses particules plus légères. Cette fission s'accompagne d'un dégagement d'énergie (chaleur) très important.

La chaleur obtenue chauffe un fluide (constitué principalement d'eau) qui produit de la vapeur, fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur qui va produire de l'électricité.

Pour la production d'électricité, on obtient la fission avec des atomes d'uranium radioactif et de plutonium.

1.2. La fission nucléaire

La fission nucléaire, c'est le résultat du bombardement d'un noyau d'atome d'uranium 235 par un neutron pour produire une grande quantité d'énergie. Cette énergie est récupérée pour produire de l'électricité.

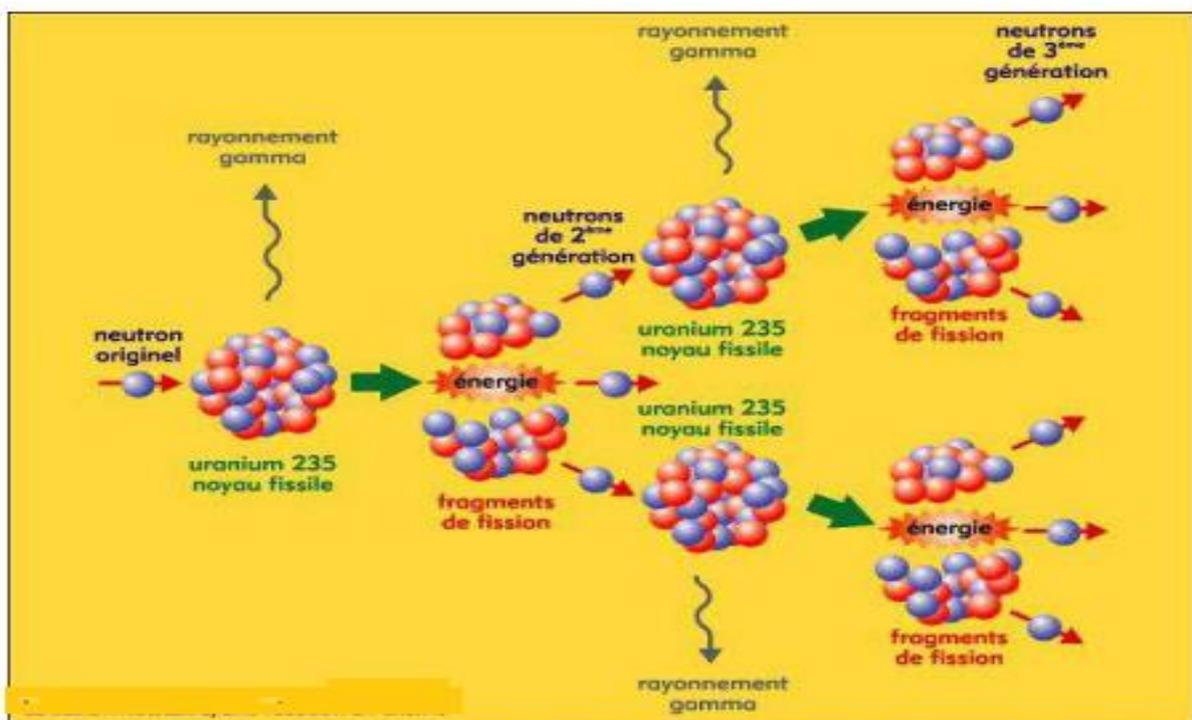


Figure 14 : Schéma la fission nucléaire (Malaty et Morel, 2005)

1.3 Le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire

Une centrale nucléaire est une centrale thermique qui utilise l'énergie fournie par un réacteur nucléaire (fonctionnant avec de l'uranium 235 ou du plutonium 239). C'est le cœur. Ce réacteur produit une grande quantité de chaleur qui est captée par de l'eau sous pression circulant dans

le circuit primaire (circuit fermé), Par l'intermédiaire du générateur de vapeur, l'eau sous pression du circuit primaire communique sa chaleur à l'eau d'un deuxième circuit fermé. Le circuit secondaire. Il est ainsi possible d'obtenir de la vapeur à haute pression dans ce circuit secondaire. La pression de cette vapeur fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit un courant alternatif.

A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans le générateur de vapeur. Le refroidissement de la vapeur issue de la turbine est confié à une tour de refroidissement ou un cours d'eau important. Les deux systèmes de refroidissement peuvent être utilisés simultanément.

Les tours de refroidissement sont souvent surmontées d'un nuage résultant de la condensation de la vapeur d'eau. Ce nuage ne doit pas être confondu avec de la fumée. Un réacteur nucléaire fournit une puissance électrique de l'ordre du millier de Mégawatts (1 MW = 1 000 000 W). Les réacteurs en service ont des puissances de 900 MW, 1300 MW et 1450 MW.

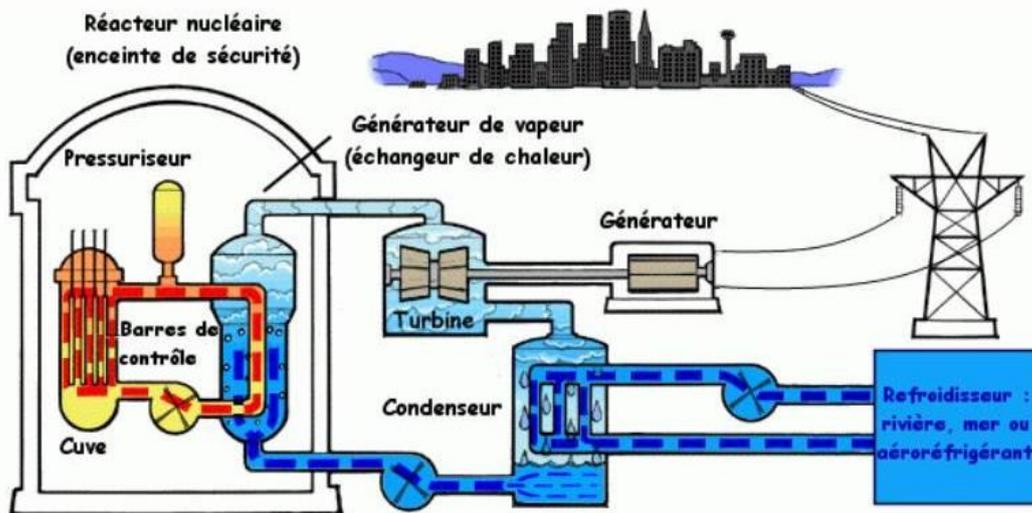


Figure 15 : Schéma d'une centrale nucléaire

1.4. Les avantages des centrales nucléaires

L'un des avantages d'une centrale nucléaire c'est le coût de revient de l'énergie produite qui est faible. L'autre avantage l'absence d'émission de gaz à effet de serre.

1.5. Les inconvénients d'une centrale nucléaire

Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs. En effet, actuellement on ne sait pas encore comment recycler les déchets fortement radioactifs des centrales nucléaires, on ne peut que les stocker, notamment sous terre en profondeur, enfermés dans des boîtes étanches pour ne pas polluer l'environnement.

Malgré tous ces risques, les 3/4 de l'électricité sont fournis par les centrales nucléaires, car on n'a toujours pas trouvé de moyen pour les remplacer totalement.

Leur démantèlement pose un problème en fin de vie.

Chapitre 5
Les centrales électriques écologiques

1. Les éoliennes

1.1. Définition

Le procédé de production de l'énergie électrique par éolienne consiste en la conversion de l'énergie cinétique de la masse d'air mise en mouvement par le vent en une énergie électrique.

L'énergie cinétique du vent produit la rotation des pales qui actionne le générateur. Une éolienne se compose de 4 éléments :

- Le rotor
- Le freinage et la régulation de la vitesse (30 tr/mn)
- La nacelle et l'alternateur
- Le mat ou tour éolienne équipée d'une électronique de puissance permettant le respect de la fréquence.

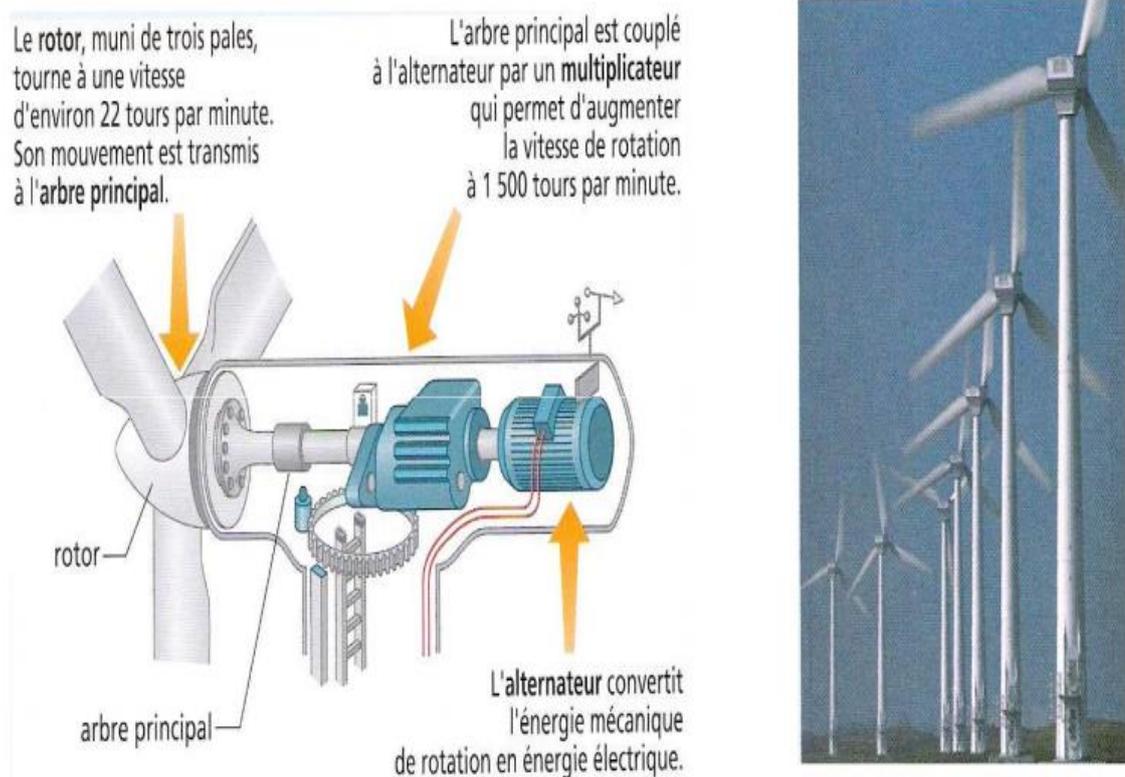


Figure 16 : Schéma de production de l'énergie par l'éolien

1.2. Le Principe de l'énergie éolienne

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes :

- au niveau de la turbine, qui reçoit une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique ;

- au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique qui est transmise ensuite sur le réseau électrique.

Il doit donc y avoir conversion et transmission régulières de l'énergie la seule possibilité de stockage étant inertielle au prix d'une accélération de la turbine.

Ce fonctionnement général est illustré par la figure suivante :

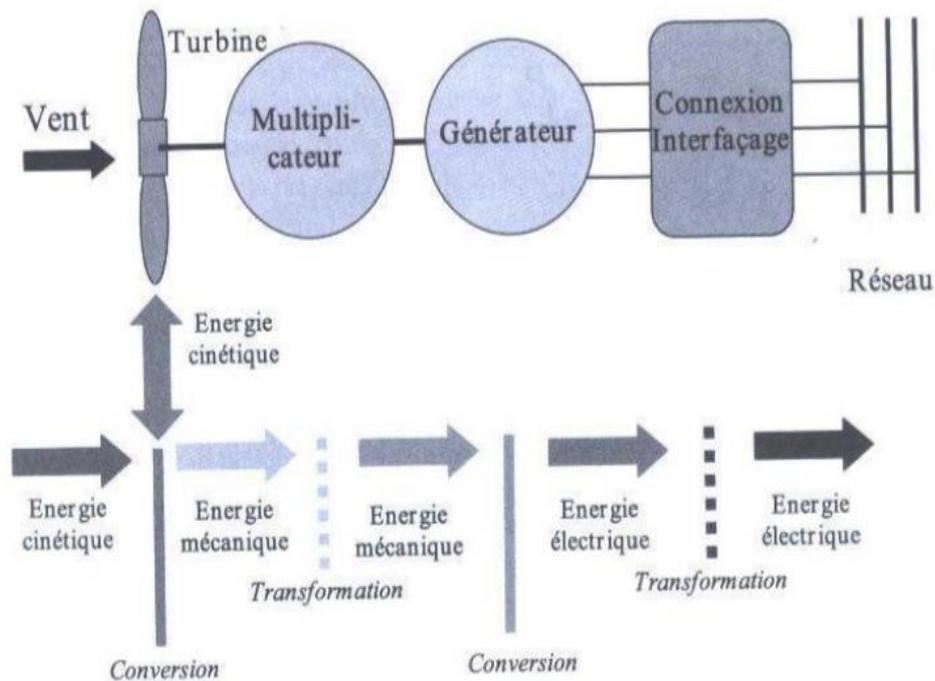


Figure 17 : Principe de la conversion d'énergie

1.3. Constitution et fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne typique est composée de plusieurs éléments qui sont présentés sur la figure18 : Un mât, un rotor, la nacelle, les pales.

- le mât : il permet de déplacer le rotor à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement (nécessaire pour les éoliennes à axe horizontal), le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques (modulateur, commande multiplicateur, générateur, etc..).

- le rotor : composé de trois pales en général et du nez de l'éolienne, il est entraîné par l'énergie du vent et peut être couplé directement ou indirectement à une pompe (cas des éoliennes à pompage) ou plus généralement à un générateur électrique. Il est lié à la nacelle par le moyeu.

- La nacelle : elle est montée au sommet du mât abritant les composants mécaniques, pneumatiques, certains composants électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de la machine (dans le cas des éoliennes produisant des électricités, un poste de livraison situé

à proximité du parc éolien permet de relier ce parc au réseau électrique pour y injecter l'intégralité de l'énergie produite par ce mât électromagnétique).

- Les pales : elles représentent les éléments les plus importants du rotor, et elles sont le convertisseur de l'énergie cinétique du vent en couple mécanique (il ya plusieurs points à prendre en contact pour la construction des pales qui sont l'aérodynamisme et la structure).

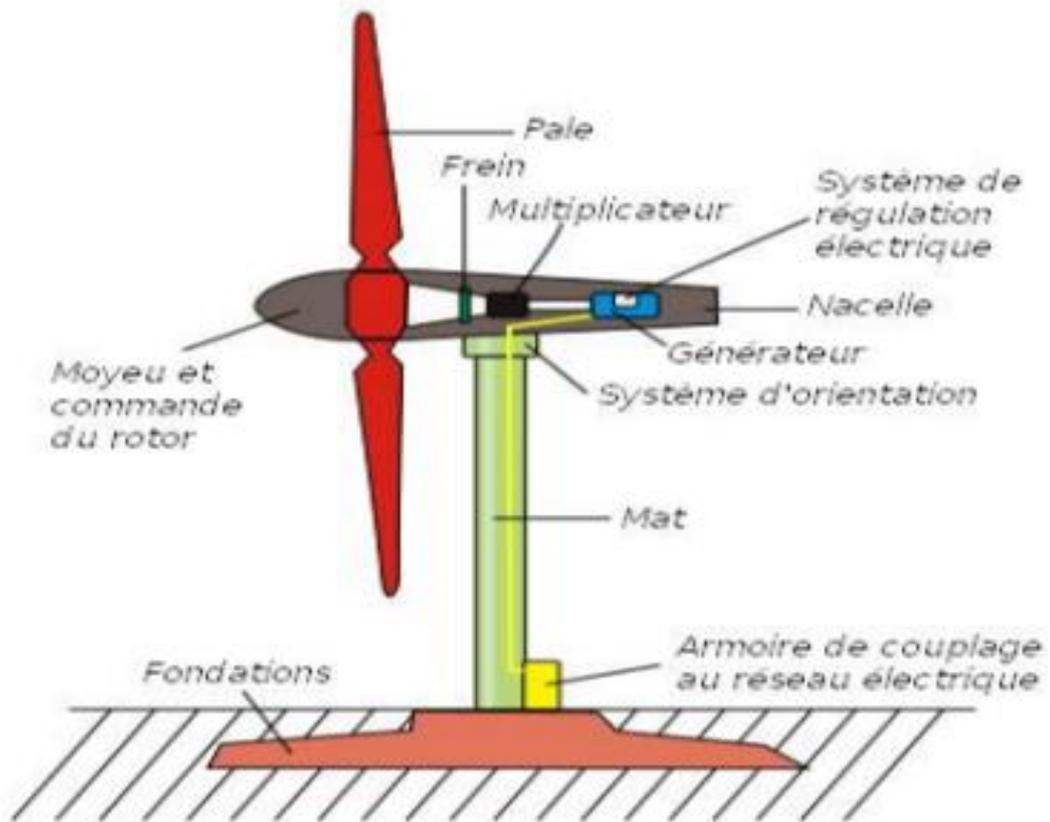


Figure 18 : Système éolien de type aérogénérateur (Madet,2000)

2.L'Energie solaire

2.1. Définition

On utilise l'énergie solaire en captant les rayons du soleil et en les transformant en électricité ou en utilisant leur chaleur. Il existe trois types d'énergie solaire :

- Énergie solaire photovoltaïque.
-
- Énergie solaire thermique.
-
- Énergie solaire thermodynamique.

2.2. Énergie solaire photovoltaïque

Des panneaux solaires piègent les rayons du soleil qui sont ensuite transformés par des absorbeurs métalliques en électricité. Les énergies solaires servent à fournir de l'électricité dans les maisons.



Figure 19 : Panneau solaire en refuge (Alpes)

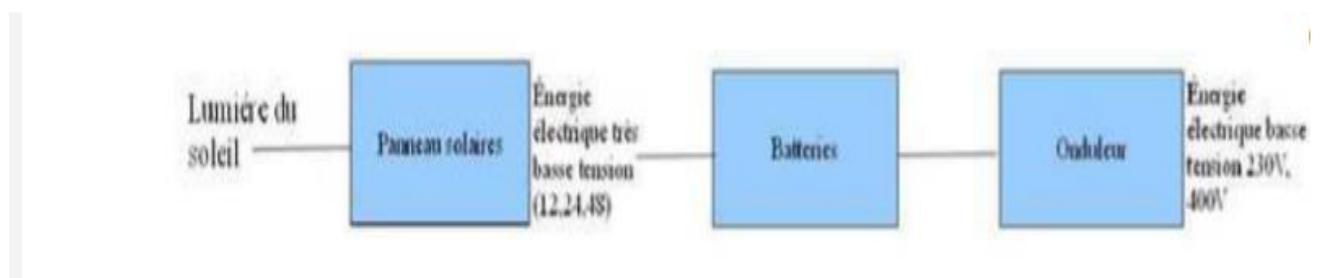


Figure 20 : Schéma de production d'énergie électrique à partir de la lumière du soleil

2.3. Énergie solaire thermodynamique

Ici les rayonnements du soleil chauffent de l'eau qui est ainsi transformée en vapeur. Cette vapeur fait tourner une turbine : l'énergie de la turbine en mouvement est transformée en énergie électrique.



Figure 21 : Centrale solaire à tour

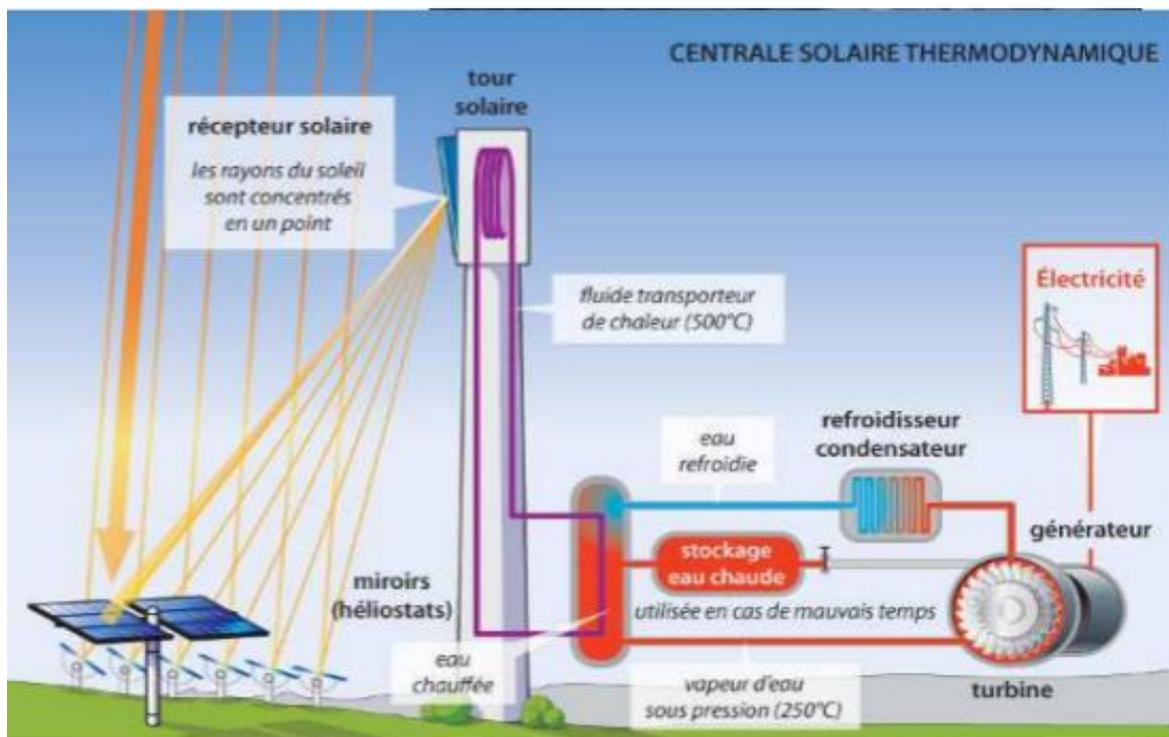


Figure 22 : Schéma de fonctionnement d'une centrale solaire

Chapitre 6

La houle

1. Définition de la houle

Les vagues sont des perturbations de la surface de l'eau dont les causes peuvent être variées : un navire crée un champ de vagues qui l'accompagne, un courant passant sur un haut-fond ou un obstacle donne naissance à un train d'ondes stationnaires, mais généralement, c'est le vent qui est à l'origine des vagues.

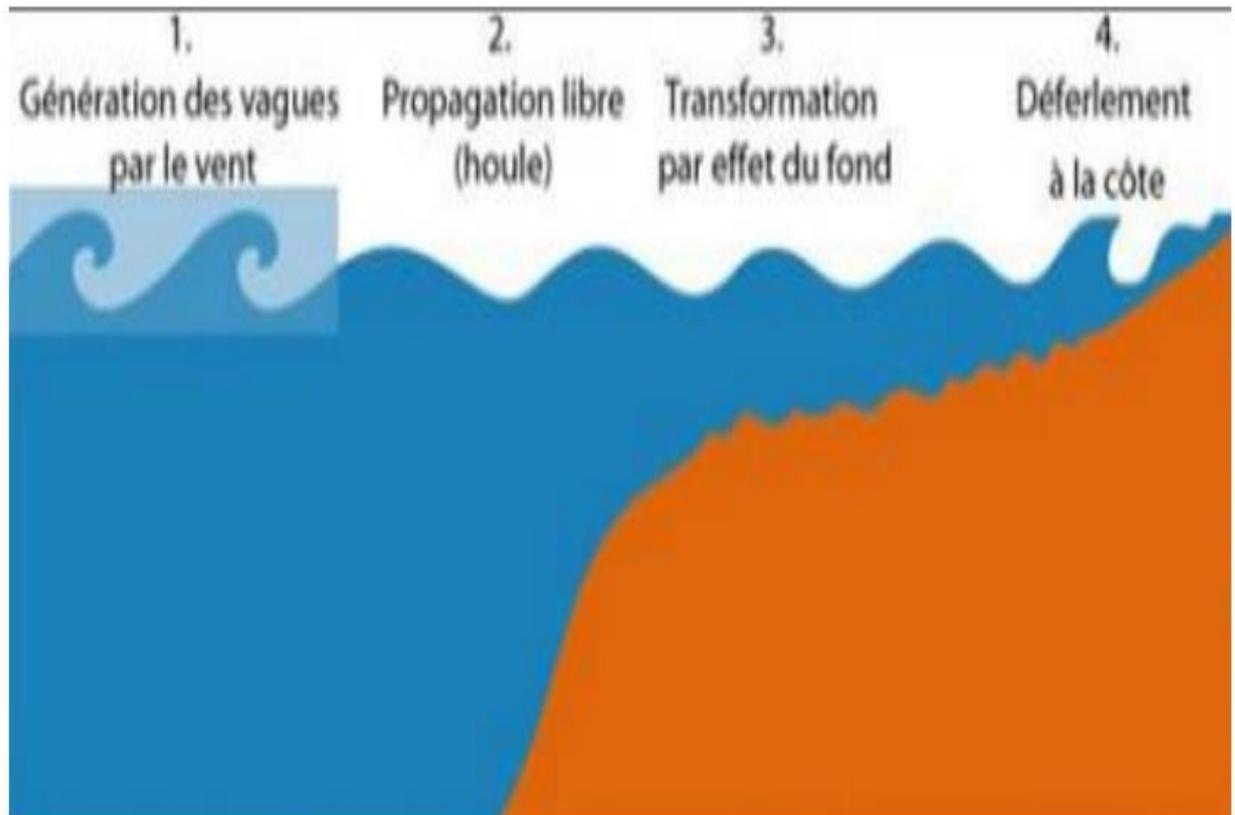


Figure 23 : Evolution des vagues du large jusqu'à la cote

2. Comment le vent aide-t-il à la formation des vagues ?

Les vents sont provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la terre par l'énergie solaire et par la rotation de la terre.

Le vent transfère une partie de son énergie à la vague. Activement : en effectuant une pression sur les parties exposées des perturbations déjà formées.

Passivement : en permettant à une dépression de se créer sur les parties protégées du vent et limiter ainsi l'énergie nécessaire pour que le creux de la vague devienne une bosse

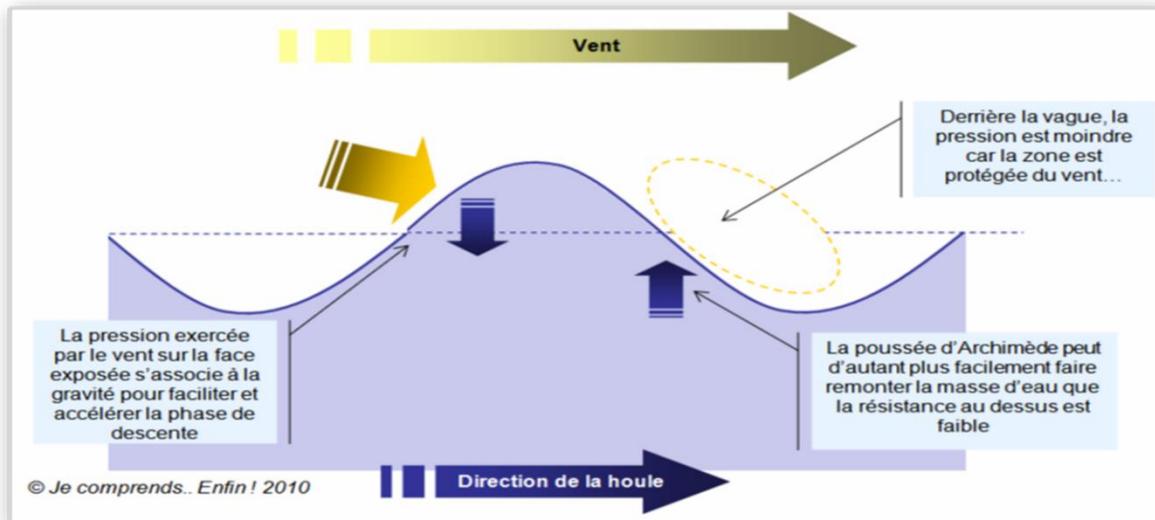


Figure 24 : La formation de la houle à partir du vent

3. La physique des vagues

Lorsque le vent commence à souffler au-dessus d'une étendue marine calme, il se forme une couche turbulente dans l'air au-dessus de la surface. La pression atmosphérique, à cet interface eau-air, n'est plus uniforme mais présente des fluctuations, dans le temps et dans l'espace. La surface de l'eau, comme si elle était soumise à l'action d'une multitude de petits pistons indépendants, commence à se déformer : elle devient plus "rugueuse". La turbulence de l'air en est augmentée et donc aussi, le couplage entre atmosphère et océan.

Si le vent reste constant suffisamment longtemps, le phénomène se stabilise au bout de plusieurs heures : les vagues atteignent en un point une hauteur limite qui dépend de la force du vent et de la distance sur laquelle le vent exerce son action en amont de ce point, dans la direction d'où il souffle. On parle alors d'un état de mer complètement développé.

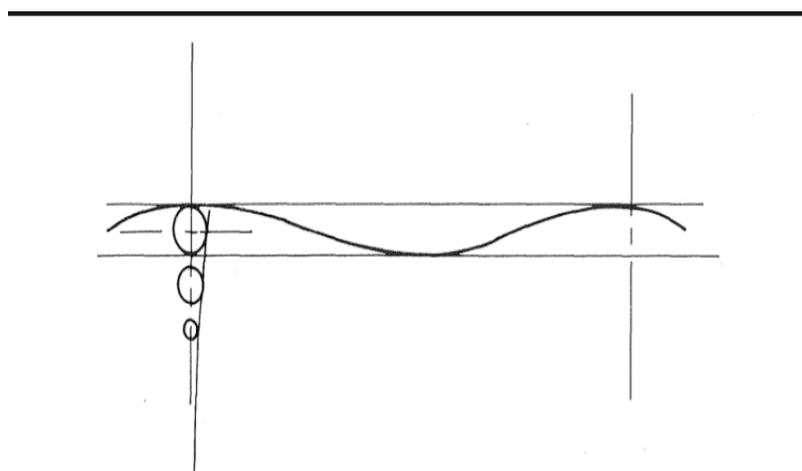


Figure 25 : Houle de faible amplitude en profondeur infinie

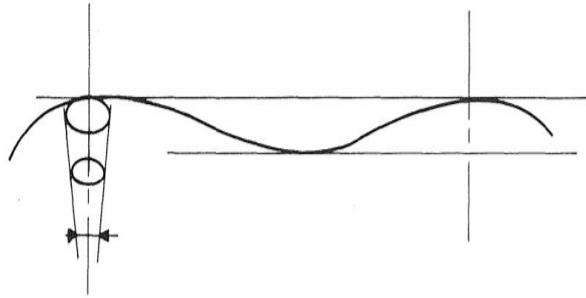


Figure 26 : Houle de faible amplitude en faible profondeur

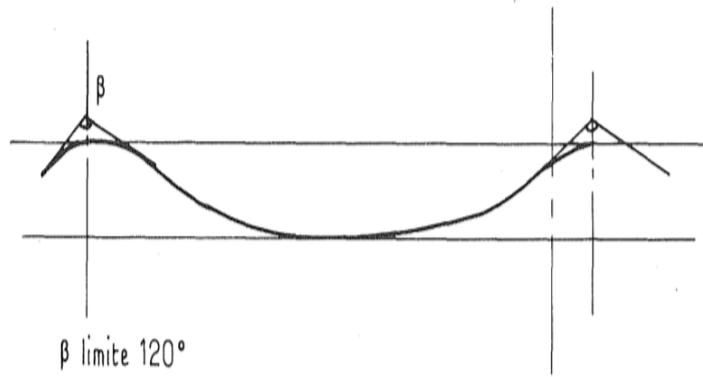


Figure 27 : Houle de forte, amplitude en profondeur infinie

Chapitre 7
L'énergie houlomotrice

1. Définition

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.

2. Le principe

Les vagues correspondent à l'oscillation de la surface de l'eau sous l'action du vent. Les vagues en haute mer ne produisent pas de déplacement latéral de l'eau mais seulement un mouvement alternatif dans le plan vertical.

Les énergies marines renouvelables sont une solution de production d'électricité décarbonée. La ressource houlomotrice est usuellement chiffrée en kW par mètre de front de vague (kW/m).

3. Fonctionnement technique

Il 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 six grands systèmes. (**Malaty et Morel,2015**)

3.1. Les moyens de Production

Les systèmes de capture d'énergie varient d'un système à un autre. Certains prototypes utilisent des pistons, d'autres des turbines ou bien encore la pression exercée par la houle.

On peut les classer en six grands systèmes :

- 1-La chaîne flottante articulée
- 2-La paroi oscillante immergée
- 3-La colonne à oscillation verticale
- 4-Le capteur de pression immergé
- 5-La colonne d'eau
- 6-Le piège à déferlement

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

Le système est 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

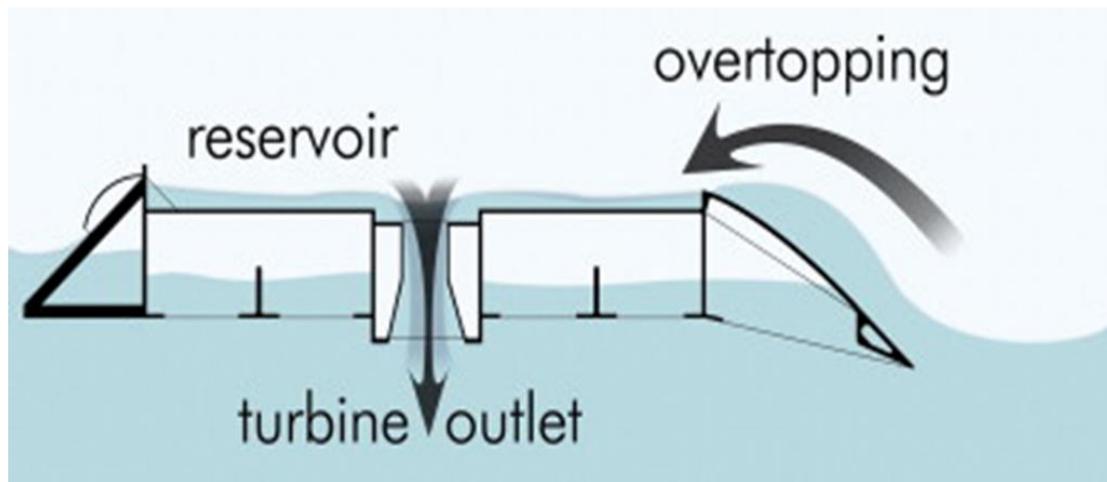


Figure 28 : Vues de dessus et de profil du système flottant Wave Dragon

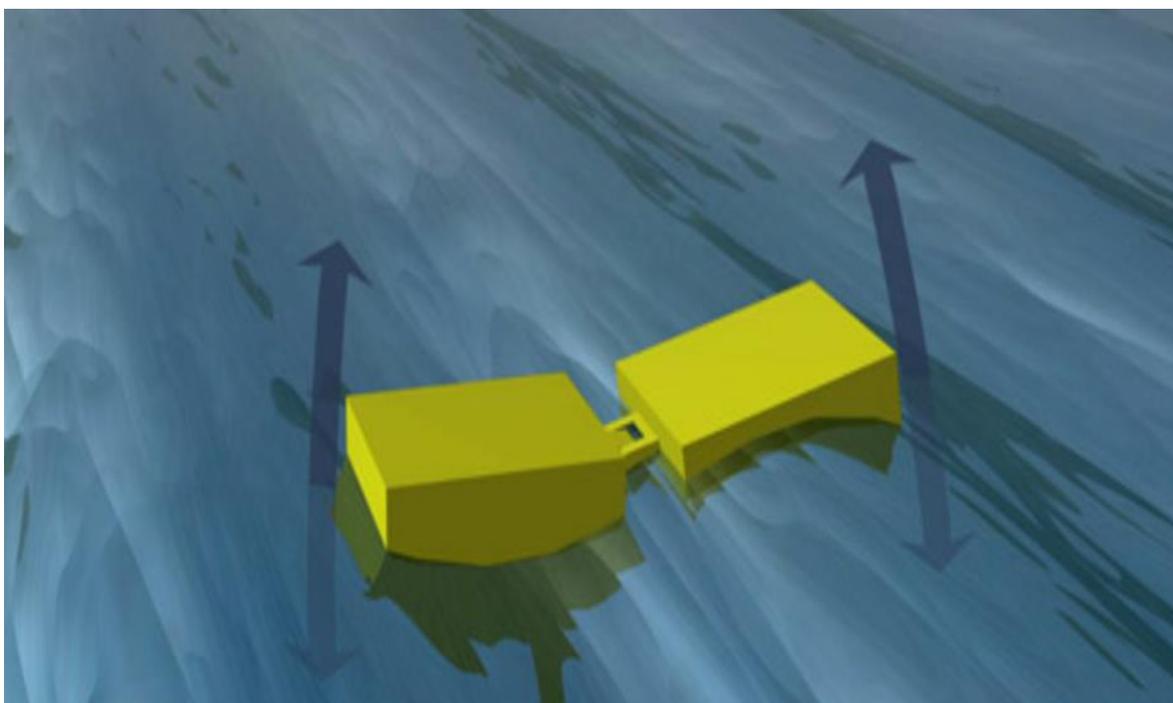


Figure 29 : Le système de chaîne flottante articulée dispose généralement de plus de deux parties. (Tony,2013)

3.1.1.1 Le Pelamis

Le Pelamis (Océan Power Delivery, Ecosse, <http://www.oceanpd.com/>), est basé sur le système de chaîne flottante articulée.

Il est constitué de quatre cylindres métalliques flottants reliés entre eux par trois articulations à deux degrés de liberté, et ressemblant à un serpent de 4,6 m de diamètre et d'une longueur totale de 123 m.

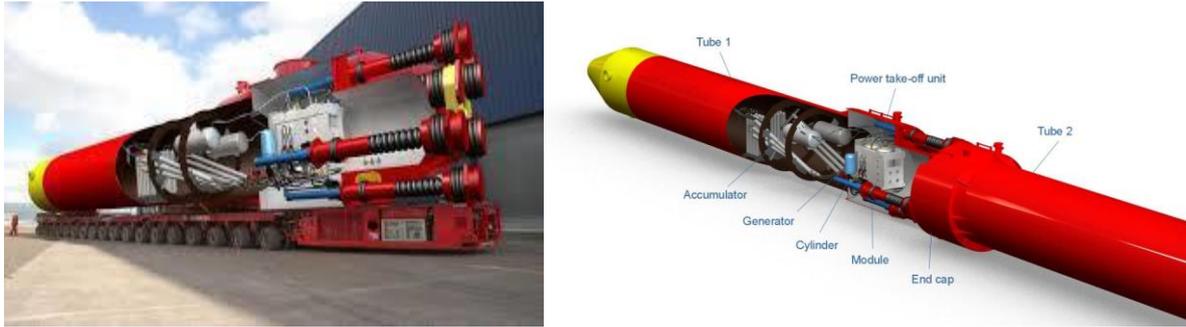


Figure 30 : Photo du système Pelamis avec le schéma de l'articulation

Sa forme générale lui permet de supporter des houles très variées et de bien exploiter leur énergie. Dans chaque articulation (Fig. 47), se trouvent quatre vérins hydrauliques dont deux exploitent et amortissent les mouvements de pilonnement (verticaux) et deux autres, ceux d'embarquée (transversaux). Ces pompes accumulent l'énergie sous forme d'huile sous pression dans un réservoir (100 à 350 bars). Deux moteurs hydrauliques, qui tournent régulièrement, entraînent chacun une génératrice asynchrone de 125 kW à 1500 tr/min (vitesse fixe).

a) **Présentation**



Figure 31 : Taille réelle du Pelamis

- Poids : 700 tonnes dont 380 tonnes d'acier
- Longueur totale : 180 mètres
- Nombre de flotteurs : 5
- Longueur d'un flotteur : 24 mètres
- Diamètre : 4 mètres
- Nombre de caissons articulés : 4
- Puissance maximum 750kW
- Puissance moyenne d'une vague 55kW
- Hauteur de la vague significative maximum 5 à 6 mètres (**Blanchard,2013**)

b) **Fonctionnement**

Structure semi-émergée, composée de quatre cylindres reliés par des articulations, ce serpent métallique est positionné dans la direction de propagation de la vague. Le mouvement des vagues agit dans chaque articulation sur un vérin hydraulique qui envoie du fluide haute pression vers une turbine pour produire de l'électricité. L'énergie produite est envoyée, par l'intermédiaire d'un cordon ombilical, dans les fonds marins et ensuite acheminée à terre.

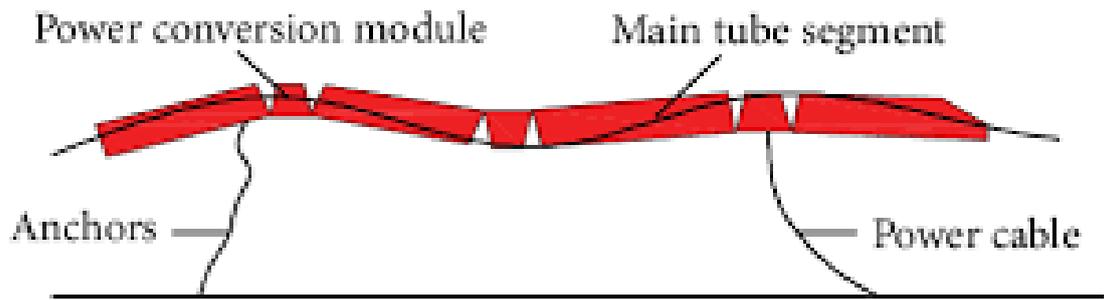


Figure 32 : Le mouvement des vagues agit dans chaque articulation de la structure. Ce mouvement est utilisé pour produire de l'électricité (Blanchard,2013)

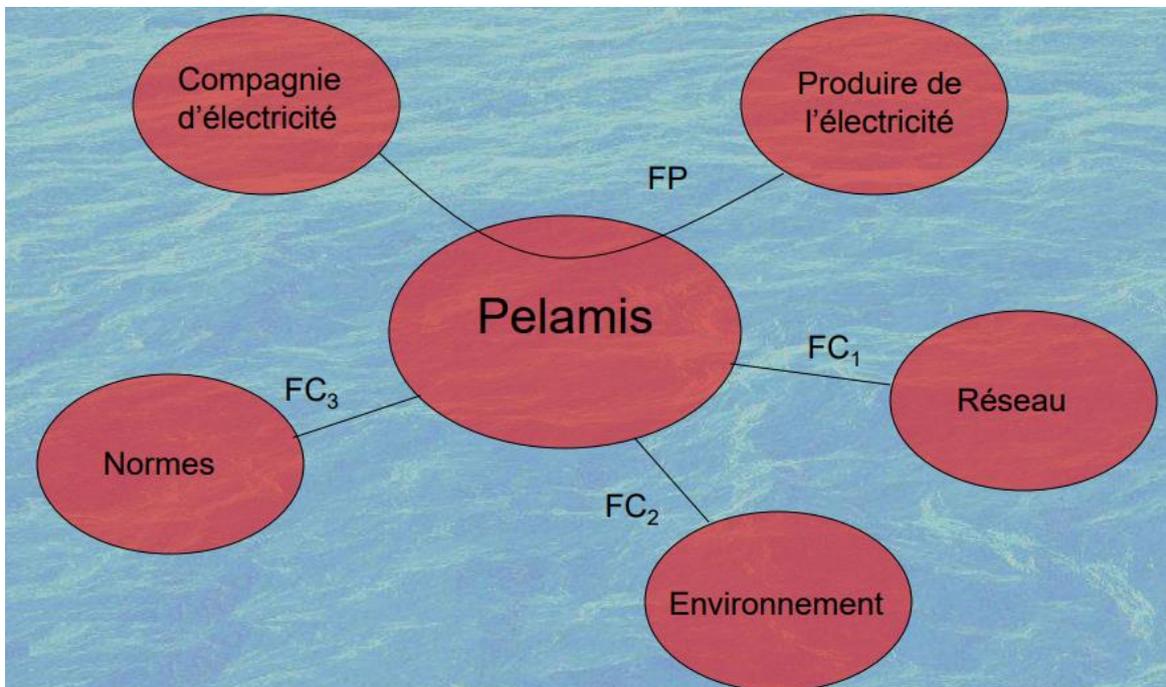


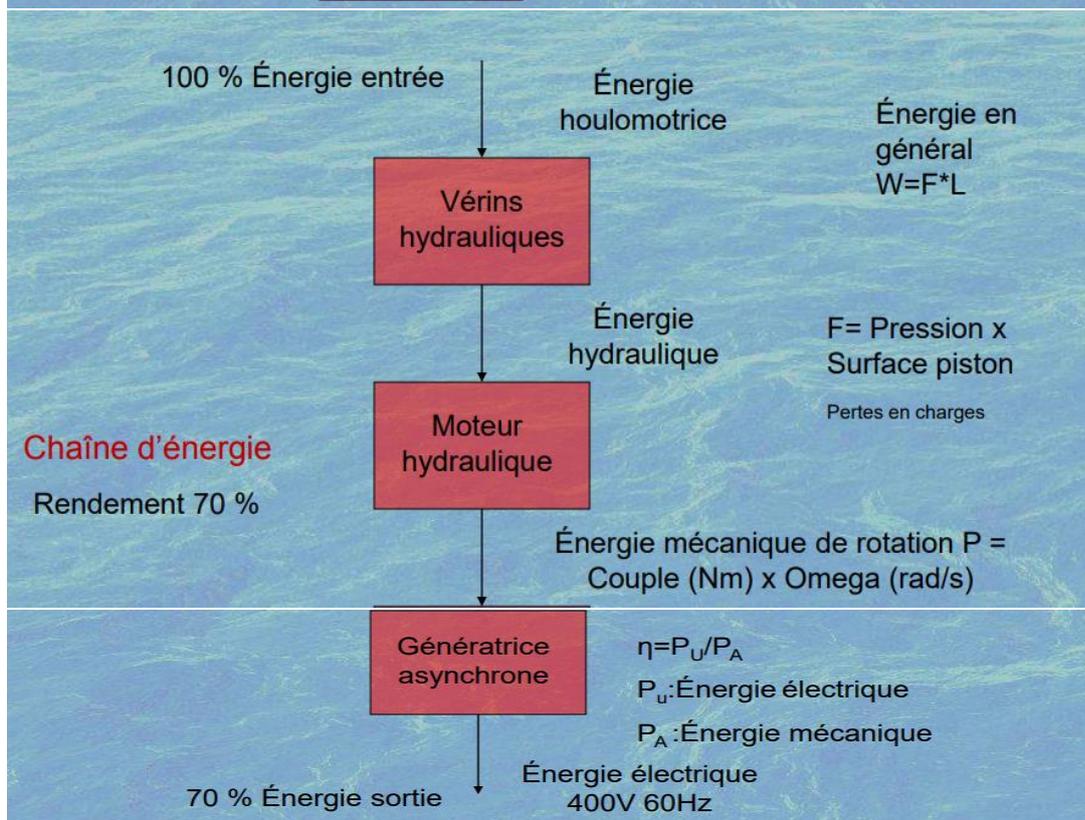
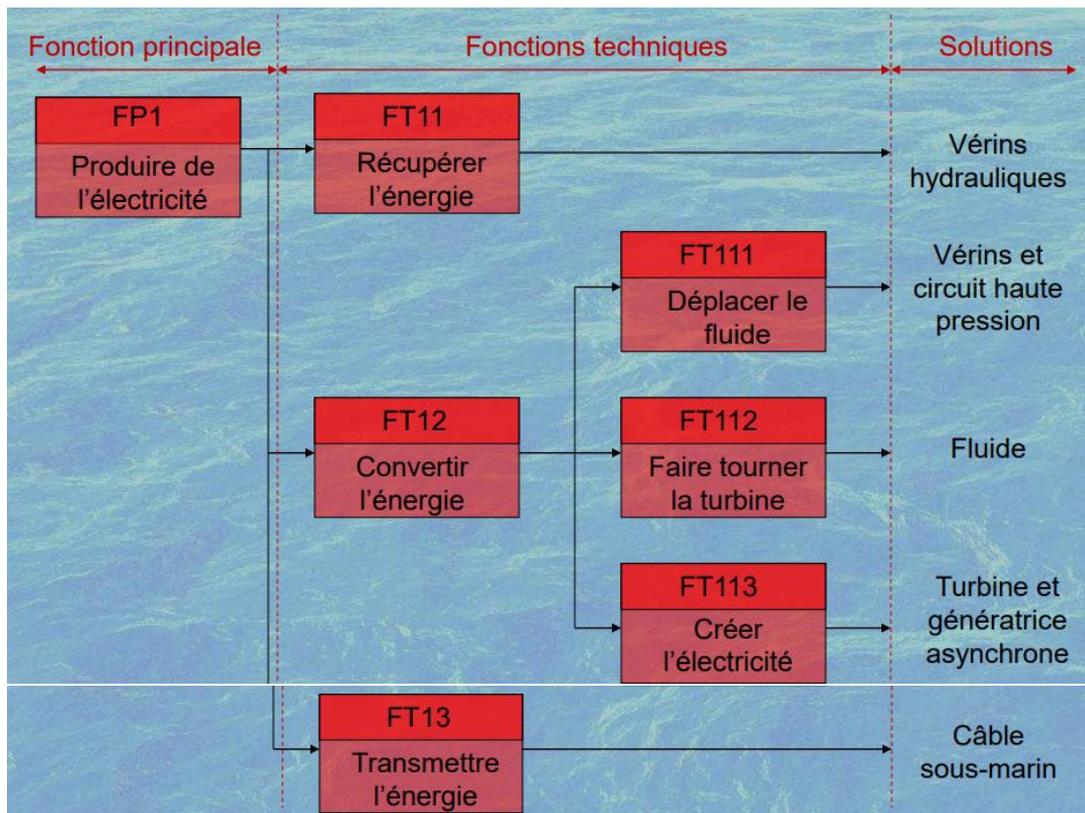
Figure 33 : Le Pelamis et son environnement

FP : Produire de l'électricité

FC1 : S'adapter au réseau électrique

FC2 : S'adapter et respecter l'environnement

FC3 : Respecter les normes d'étanchéité



c) Les avantages du Pelamis

- rendement d'environ 70 %
- réduit l'émission de CO₂
- Moteur asynchrone léger et robuste

d) Les Inconvénients :

- Pelamis a besoin de la houle pour fonctionner, il ne peut être installé partout
- Il nécessite un entretien régulier et très coûteux.
- Il nécessite aussi d'être relié au continent par de long câbles. Risque de rupture.
- Il prend de la place



Figure 34 : Pelamis avant sa mise à l'eau (Ocean Power Delivery Limited)

3.1.2. 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.

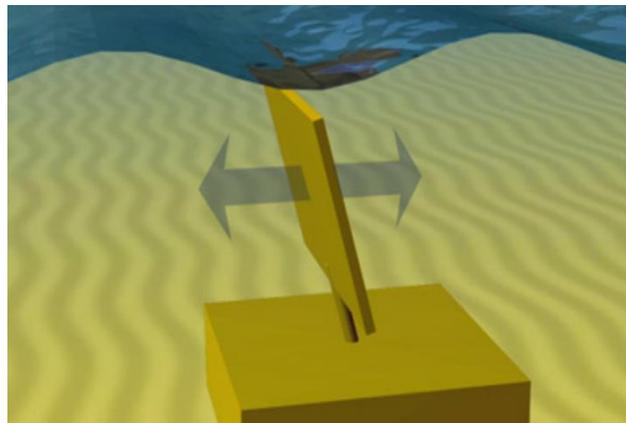


Figure 35 : Paroi oscillante immergée

3.1.2.1 Searav

Le Searav utilise le principe de la paroi oscillante immergée. Son nom est un acronyme signifiant : Système Electrique Autonome de Récupération de l'Energie des Vagues. Le SEAREV est composé simplement d'un flotteur fermé hermétiquement à l'intérieur duquel est accrochée une masse mobile. Le flotteur est mis en mouvement par les vagues, la masse oscille avec son mouvement propre, et le mouvement relatif existant entre ces deux corps est transformé en électricité par l'intermédiaire d'un convertisseur d'énergie, contenu dans le flotteur. La longueur du Searav est de 25m, sa hauteur de 15 m son poids est de 1000 tonnes (dont la moitié pour l'énorme roue pendulaire).

a) Principe de fonctionnement

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.

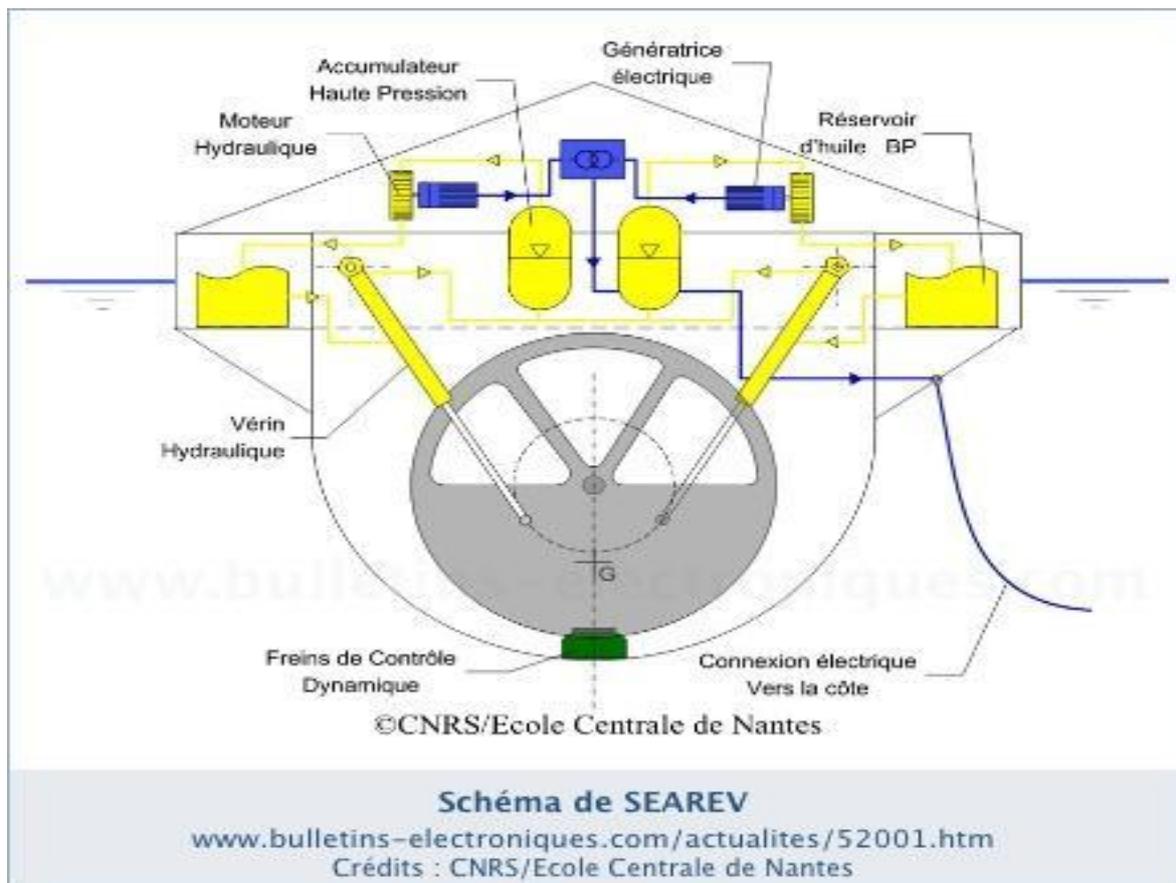
La masse de cette roue à axe horizontal, de grand diamètre (9 m), est concentrée dans la partie inférieure lestée avec du béton. La partie supérieure est évidée.

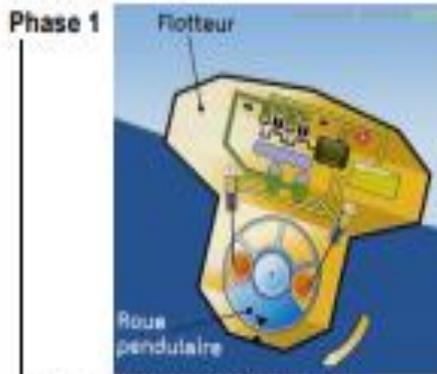
Sous l'action de la houle et des vagues, le SEAREV se met à osciller, entraînant à son tour un mouvement de va-et-vient de la roue pendulaire.

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.

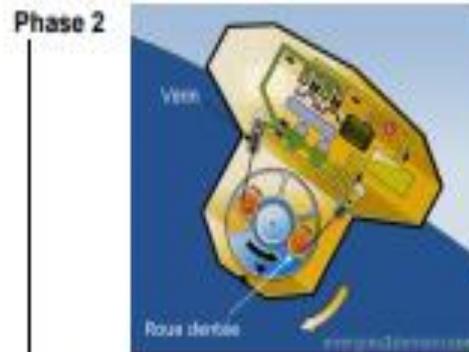
En se déchargeant, ces derniers livrent à leur tour leur énergie à des moteurs hydrauliques qui entraînent des génératrices d'électricité.

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.

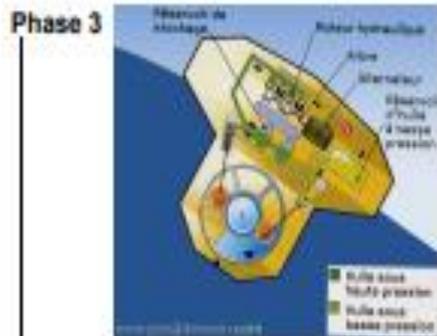




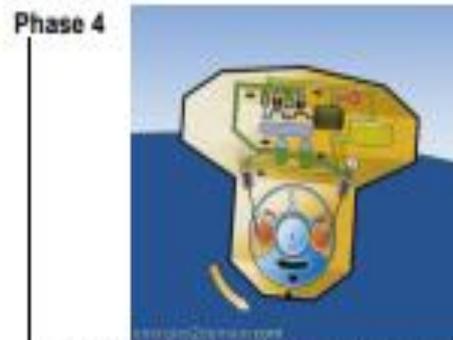
Une vague fait pencher le SEAREV.



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.



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.



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.



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 36 : Les différentes phases de fonctionnement du Searav

3.1.3. 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.

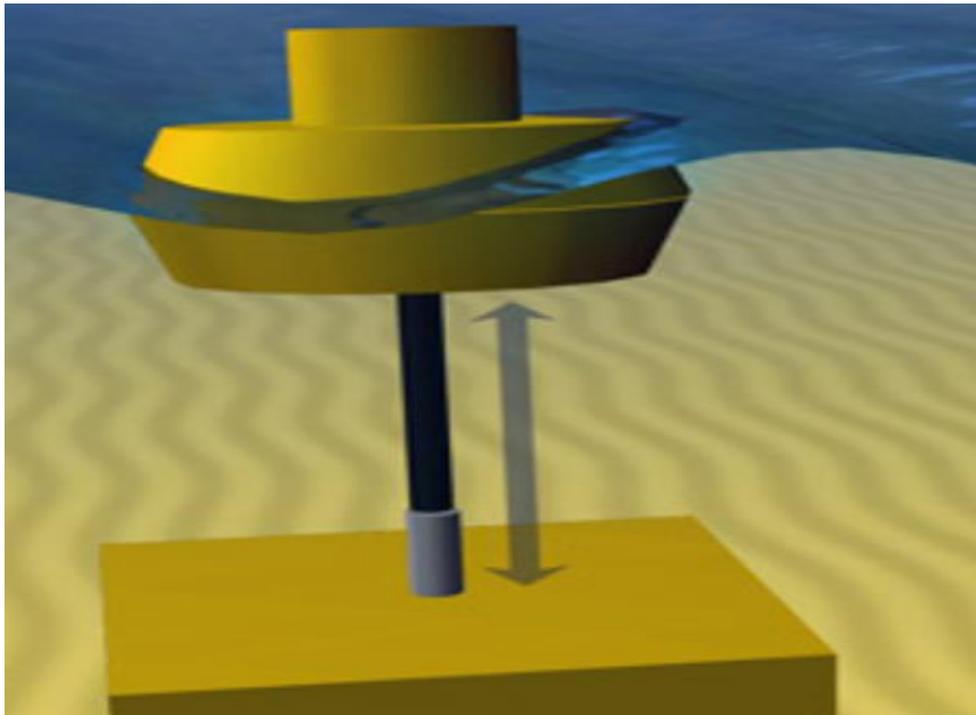


Figure 37 : Colonne à oscillation verticale

3.1.3.1. Waveswing

Le prototype Waveswing est construit par Malin Marine dans son usine de fabrication de Westway Dock à Renfrew, Glasgow. Il est basé sur le principe de la colonne à oscillation verticale. Les premiers essais en mer auront lieu vers la fin de l'année 2021.

Pesant 50 tonnes, le Waveswing de 7 mètres de haut et 4 mètres de diamètre produira une puissance continue de 16 kW par mer modérée. L'appareil est amarré sous l'eau et réagit aux changements de pression causés par le passage des vagues. Il est amarré sur une seule attache de tension et s'installe automatiquement. L'emplacement sous-marin et la capacité de treuil bas dans la colonne d'eau signifient que les charges de tempête extrêmes sont évitées et que l'appareil peut continuer à fonctionner dans des conditions de mer agitée. Contrairement à d'autres concepts d'absorbeurs ponctuels, le Waveswing réagit aussi bien aux longues vagues de la houle océanique qu'aux courtes mers poussées par le vent, ce qui entraîne une capture d'énergie élevée par unité de volume immergé.



Figure 38 : Le Waves swing

a) Principe de fonctionnement

Le Waveswing est constitué d'une partie fixe amarrée au fond de la mer et d'une partie mobile solidaire d'un piston qui se déplace suivant les vagues. Le piston est solidaire avec le rotor. Le déplacement vertical du rotor par rapport au stator produit de l'énergie électrique.

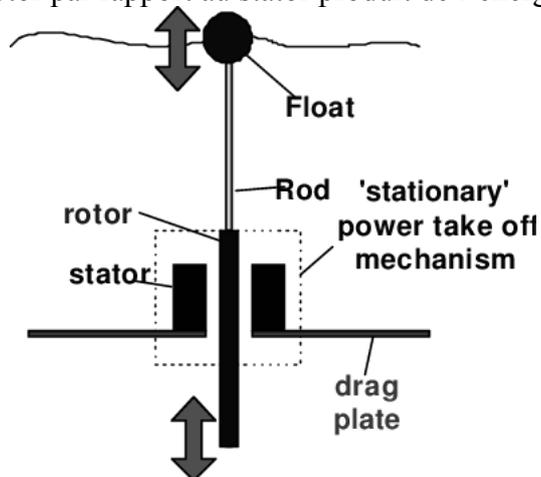


Figure 39 : Le principe de fonctionnement du Waves swing

3.1.3. Le capteur de pression immergé

Le système est 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.

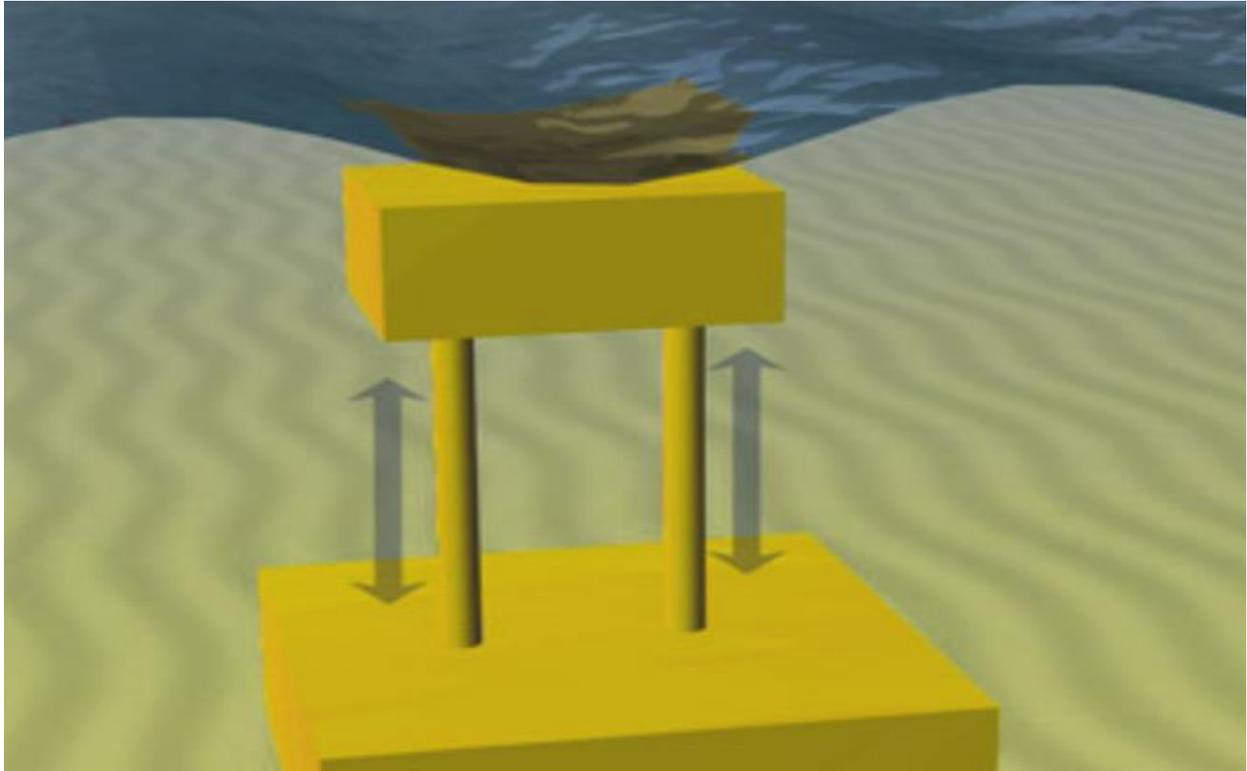


Figure 40 : Capteur de pression immergé

Exemple : prototype CETO, développés par Carnegie en Australie.

Dans les systèmes suivants on a moins de parties mécaniques en mouvement, ce qui peut contribuer à une meilleure fiabilité. (Tony,2013)

3.1.4. La colonne d'eau

C'est une infrastructure construite au bord des côtes.

Cette infrastructure mesure 20 mètres de long et 7 mètres de large et elle est composée de deux grandes parties :

- La chambre qui permet d'accueillir l'eau
- Une salle qui comporte la turbine et le générateur

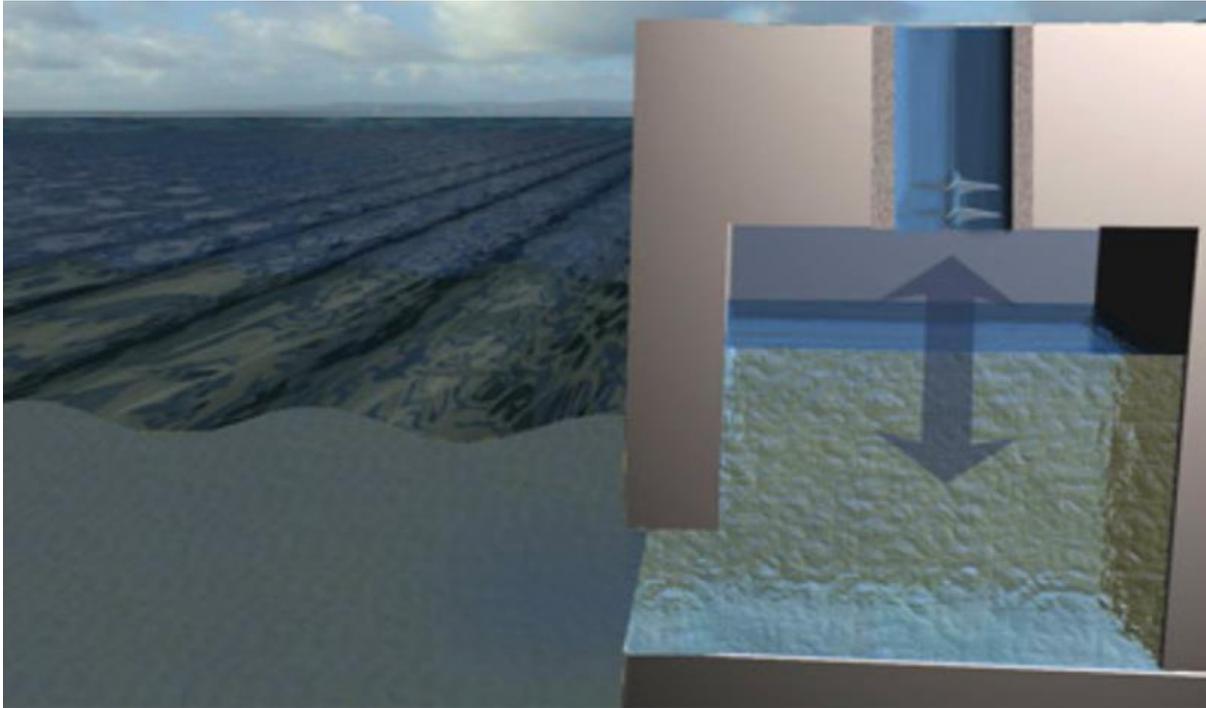


Figure 41 : Colonne d'eau

a) Fonctionnement

La 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. Cette infrastructure marche en deux étapes : la première que l'on appelle la surpression et la seconde que l'on appelle la dépression.

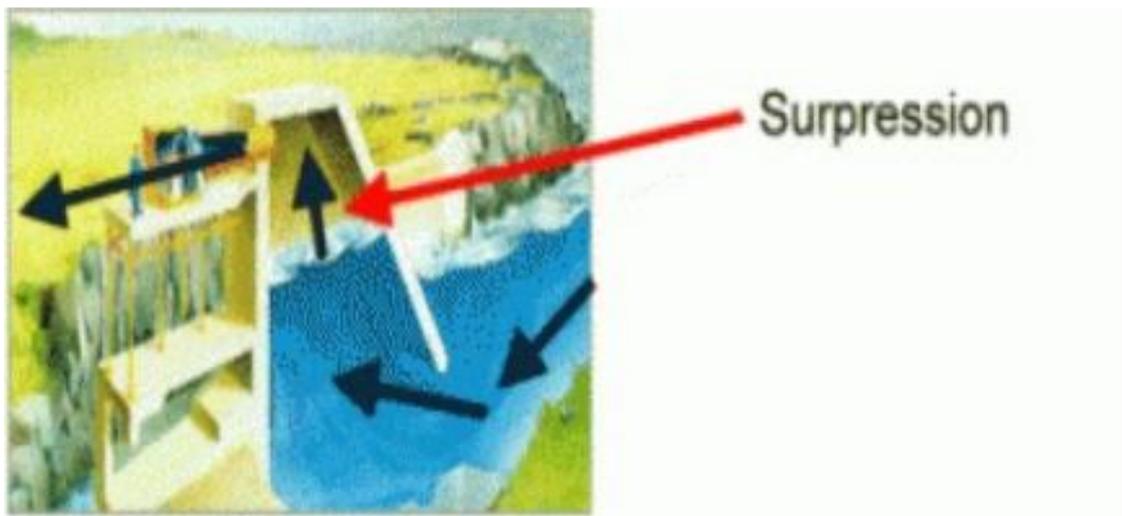


Figure 42 : Surpression

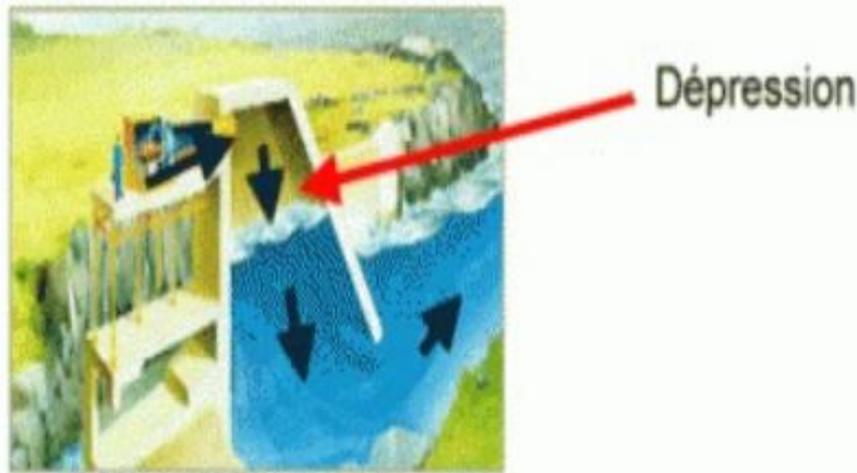


Figure 43 : Dépression

Premièrement, la vague produite par la houle entre à l'intérieur de la chambre. Cela a pour effet de compresser l'air présent à l'intérieur de la chambre et de le diriger vers une bouche d'aération.

En second temps, l'eau en se retirant, crée une dépression. Dès qu'il y a pression et dépression, le mouvement de l'air en entrant et sortant entraîne cette turbine, l'électricité est ensuite créée.

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

3.1.5. Le piège à déferlement

Le système à franchissement retient l'eau des crêtes de vagues, créant une surpression dans le réservoir. Le volume d'eau piégée est turbiné pour produire de l'énergie électrique

Exemple : démonstrateur SCG (Slot-ConeGenerator) de Wave Energy testé en Norvège. (Damy et Gauthier, 2010)

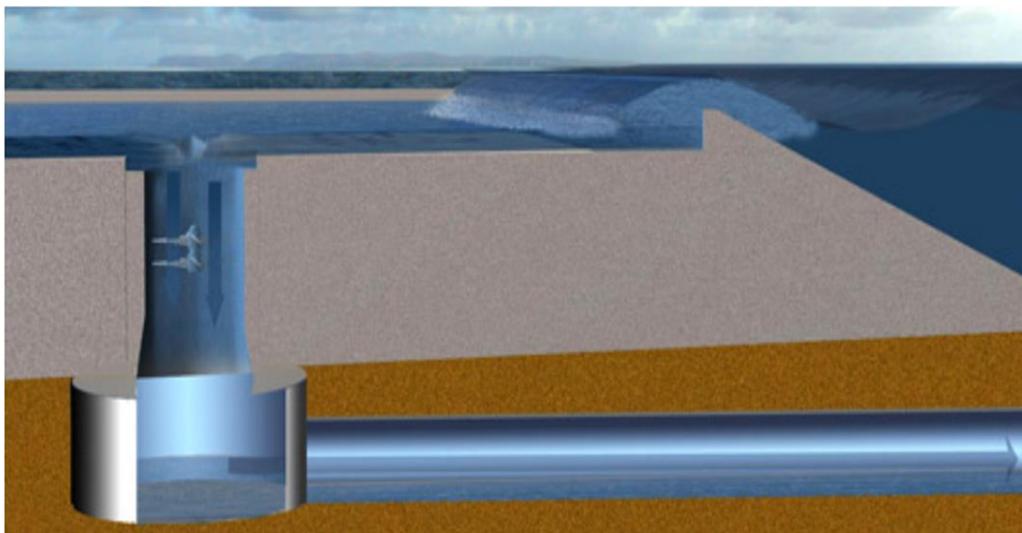


Figure 44 : Piège à déferlement

3.1.6 L'hydrolienne :

Une hydrolienne est une turbine hydraulique qui utilise l'énergie cinétique des courants marins ou fluviaux, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique du vent.

Elle permet d'exploiter la force de l'eau des mers, des océans ou des fleuves, qui est inépuisable, renouvelable et régulière.

CONCLUSION

Aujourd'hui, l'énergie houlomotrice est peu connue et attire rarement les investisseurs. En effet, les coûts d'investissement ont été jusqu'à présent trop élevés. L'énergie houlomotrice est encore une source d'énergie très prometteuse car c'est une source d'énergie renouvelable qui n'émet pas de polluants et a un très faible impact sur l'environnement. C'est donc une source d'énergie importante et doit continuer à être développée.

Références bibliographiques

Abrik O, 2012 : Fiche ressources Les batteries. Mémoire de master

Alouane Nouria et Bouaziz Roza, 2015 : Exploitation de la puissance de détente du gaz naturel de la centrale thermique de Ras-Djinet

Blanchard D ,2013 : Cours-Documents production électrique

D. Madet, 2000 : La production d'énergie d'origine renouvelable dans le monde – 2ème inventaire – Ed. Systèmes Solaires 146, rue de l'Université 75007 Paris

G. Damy, M. Gauthier ,1981 : Production d'énergie à partir de la houle

H. Soerensen et E. Madsen, 2005. The results of two years testing in real sea of wave dragon. Proc. Of 6th European Wave and Tidal Energy Conférence.

Jean-Loup Prensier et Cédric Lusseau, 2004 : Principe de fonctionnement et constituants d'une batterie

M. Malaty et M. Morel, 2015 : Présentation éolienne

Marie Ruellan, 2007 : Méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération de l'énergie des vagues., Thèse de doctorat

Utente, 2012. : Manuel d'assistance– Batterie

Tony burton,2013: « Wind energy Handbook » 2. J.F. MANWEL. «Wind energy Explained». Theory, Design and application

Zachari et Joseph ,2016 : exposé sur les centrales nucléaires

<http://mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C022/32/Accus/files/Documents/Fiche%20ressources%20Les%20batteries.pdf>

https://www.theses.fr/2015ECAP0037?fbclid=IwAR1TadMgX_v6zXGOGzj3TvNsiMUBM0-BTvDFVySrjq-ZIAGNuK2XjQkegVI

<http://univ.ency-education.com/uploads/1/3/1/0/13102001/phys27-electricite.pdf>

<https://studylibr.com/doc/3696766/principe-de-fonctionnement-et-constituants-d-une-batterie>

http://www4.acnancymetz.fr/physique/ancien_site/Nouvprog/prem_L/docs/enjeux_plane_t/Prod-energie-elec-CH.pdf

http://www.plaisance-pratique.com/IMG/pdf/nba_batteries_tubulaires.pdf

<https://www.awsocan.com/2021/06/waveswing-takes-shape-in-glasgow/>