



République Algérienne Démocratique Et Populaire

**Ministère de L'enseignement Supérieure
Et De La Recherche Scientifique
Centre Universitaire
D' EL-OUED**



**Institut Des Sciences Et Technologie
Département de Génie Électrique et Hydraulique
Spécialité: Génie Électrique
Option: réseaux électriques RE**

Thème:

***Production d'énergie électrique par
les courants marins***

Réalisé par :

- TAMMA Moussa
- AROUA Abdelmadjid

Proposé et dirigé par :

- Mr: MERAZZEGA Ezzedine

Année universitaire: 2009/2010

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَمِنْ آيَاتِهِ الْجَوَارِ فِي الْبَحْرِ كَالْأَعْلَامِ إِنَّ
يَشَاءُ يُسْكِنِ الرِّيحَ فَيَظْلَلْنَ رَوَاكِدَ عَلَى ظَهْرِهِ
إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّكُلِّ صَبَّارٍ شَكُورٍ ﴾

سورة الشورى الآية 32-33

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I

Généralités sur les énergies renouvelables

I.1 Introduction :	1
I.2 Energie renouvelable :	1
I.2.1 Définition :	1
I.2.2 Historique :	2
I.2.3 Avantages et inconvénients :	2
I.3 Principales énergies renouvelables :	2
I.3.1 Energies solaire :	2
I.3.1.1 Définition :	2
I.3.1.2 Avantages et inconvénients :	3
I.3.2 Energies géothermiques :	4
I.3.2.1 Définition :	4
I.3.2.2 Avantages et inconvénients :	5
I.3.3 Biomasse:	6
I.3.3.1 Définition:	6
I.3.3.2 Avantages et inconvénients :	6
I.3.4 Hydroélectrique :	7
I.3.4.1 Définition :	7
I.3.4.2 Avantages et inconvénients :	8
I.3.5 L'énergies éolienne:	9
I.3.5.1 Définition :	9
I.3.5.2 Avantages et inconvénients :	9
I.3.6 Energies marémotrices:	10
I.3.6.1 Définition :	10
I.3.6.2 Avantages et inconvénients :	11
I.4 Conclusion :	12

ChapitreII

Etude sur les énergies marines

II.1 Introduction:	13
II.2 Origines des marées:.....	13
II.3 Les courants marins:	15
II.3.1 Définition:	15
II.3.2 Origine de courants marins:	15
II.3.3 Types des courants marins:	16
II.3.3.1 Les courants de surface:.....	16
II.3.3.2 Les courants de profondeur:	17
II.3.4 Role de courants marins:	18
II.4 Les énergies marines:	19
II.5 Energie marémotrice:	19
II.5.1 Définition:	19
II.5.2 Principe:	20
II.6 Energie des vagues:	21
II.6.1 Définition:	21
II.7 Conclusion:.....	22

ChapitreIII

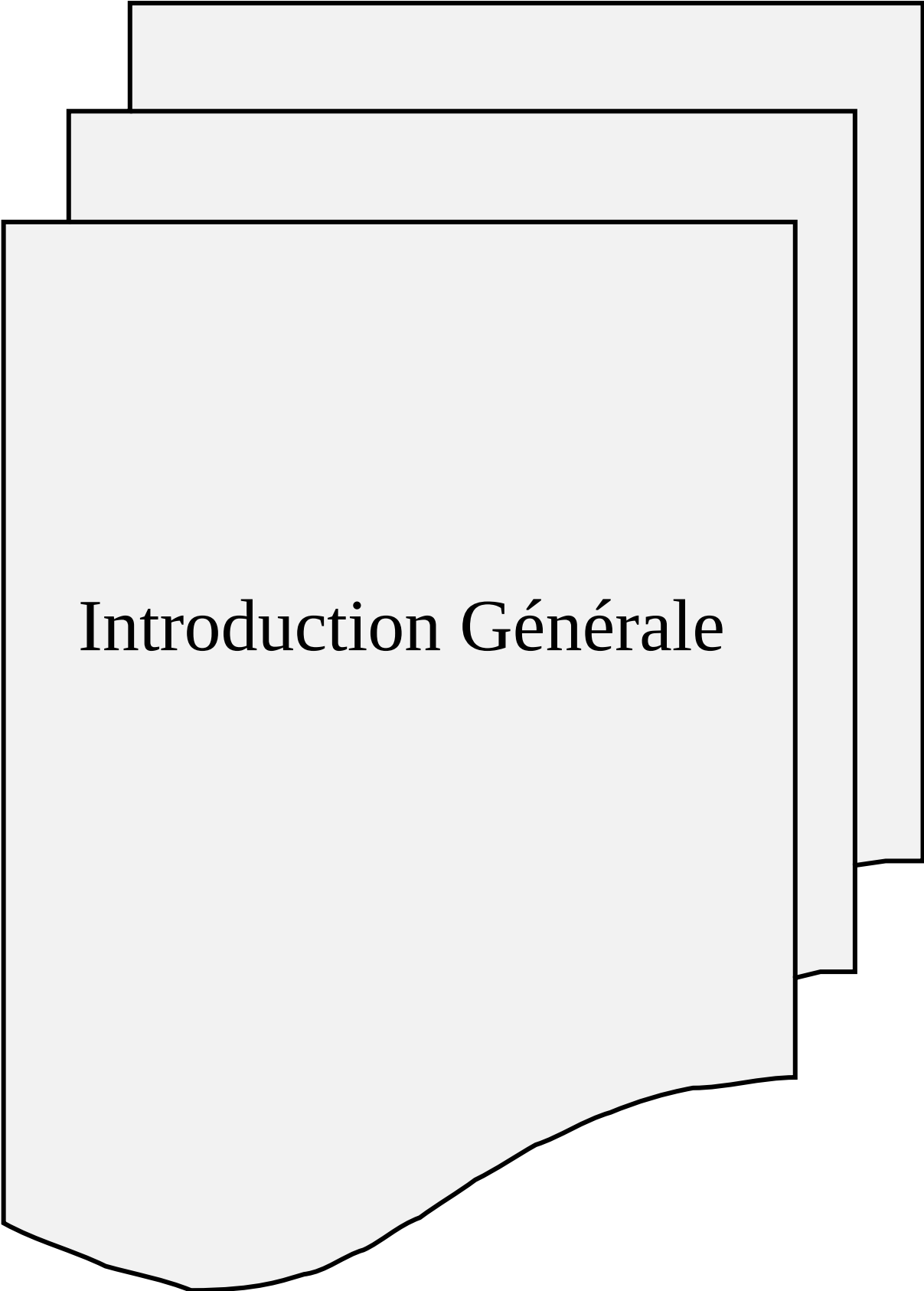
Production d'énergie électrique par l'hydrolienne

III.1 Introduction:	23
III.2 Historique:.....	23
III.3 L'hydrolienne :	23
III.3.1 Description :	23
III.3.2 Fonctionnement :	24
III.4 Principes de la conception d'une hydrolienne :	25
III.4.1 Caractéristiques des hydroliennes :	25
III.4.2 Puissance de la ressource :	25
III.5 Etude des pales : Le cas des hydroliennes à axe vertical :	27
III.5 .1 Principe de fonctionnement :	27

III.6 Puissance maximale extraite : La loi de Betz.....	28
III.7 Etude de différentes technologies d'hydrolienne :.....	29
III.7.1 La technologie à axe horizontal :.....	30
III.7.1.1 Cas de Marine Current Turbin :	30
III.7.1.1.1 Description :.....	30
III.7.1.1.2 Avantages:.....	30
III.7.1.1.3 Inconvénient:.....	30
III.7.1.2 Cas de Hammerfest Strom AS.....	31
III.7.1.2.1 Description.....	31
III.7.1.2.2 Avantages.....	31
III.7.1.2.3 Inconvénient:.....	31
III.7.2 La technologie à axe vertical (Ponte Di Archimede) :.....	32
III.7.2.1 Description :	32
III.7.2.2-.Avantages :	32
III.7.2.3 Inconvénient :	33
III.7.3 Le technologie « hydroplane » :	33
III.7.3.1 Description :	33
III.7.3.2 Avantages :	33
III.7.3.3 Inconvénients :	34
III.8 La Production l'energie électrique :.....	34
III.8.1 La génératrice synchrone :.....	34
III.8.1.1 Principes des génératrices (ou moteurs) triphasées :	34
III.8.1.2 Hydroliennes avec des génératrices synchrones :	35
III.8.2 La génératrice asynchrone (génératrice à induction) :.....	35
III.9 Transport et Raccordement au réseau:	36
III.10 Conclusion:	36

Conclusion générale

Bibliographie



Introduction Générale

Introduction générale

L'homme utilise l'énergie sous forme de chaleur, de lumière ou de mouvement. La maîtrise de l'énergie est donc le moteur de l'activité humaine. Ainsi elle est au cœur de l'avenir de notre société. Autant elle fut un facteur de construction et de création de richesse. D'une part, l'évolution démographique de la planète, implique une progression durable des besoins énergétiques. De plus, la consommation d'énergie, toujours en augmentation, fait réduire les réserves en énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) et rapproche l'échéance de leur épuisement. Cette situation, ajoutée à la conviction grandissante que le changement climatique d'origine humaine est réel et que les émissions de dioxyde de carbone à effet de serre y contribuent grandement. On suscite un nouvel intérêt dans les sources d'énergie renouvelables sans charbon. Il existe plusieurs ressources en énergies renouvelables: l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, la géothermie, la biomasse. L'énergie produite par les vagues ainsi que les courants marins. Ces ressources en énergie sont pratiquement inépuisables et propres.

Les énergies renouvelables marines théoriquement exploitables sont nombreuses et variées. On ne considère ici que celles dont on estime que la faisabilité technique est démontrée. Leur exploitation raisonnée permet de produire de l'électricité exportable à terre. Dans la quête de nouvelles sources d'énergie n'émettant pas de gaz à effet de serre, les énergies marines méritent d'être mises à contribution.

L'océan est un vaste réservoir d'énergie. Sous des formes diverses, cette énergie se manifeste par des phénomènes naturels dont la puissance a fasciné les hommes depuis très longtemps. Dès l'Antiquité, ils ont su utiliser les vents et les courants pour mouvoir leurs navires, et le flux des marées pour actionner leurs moulins. Au début de l'ère industrielle, ils ont conçu des machines utilisant l'énergie mécanique des vagues et la chaleur des eaux de l'océan pour servir leur industrie.

Pour aboutir à notre objectif, ce travail sera structuré comme suit:

- une introduction générale,
 - chapitre 1 : des généralités sur les énergies renouvelables,
 - chapitre 2 : présente les énergies marémotrice (les énergies marines),
 - chapitre 3 : consacré pour la production d'énergie électrique par hydrolienne,
 - et en fin une conclusion générale
-

DEDICACE

*Je dédie les fruits de mon travail à mon cher père Et ma chère
mère qui sont sacrifiés pour moi et je*

Tiens à les remercie de m'avoir soutenu durant mes longues

Années d'étude, et, d'avoir dépensé tout précieux pour

Mon succès, que dieu tout puissant les protège pour

Moi,

A mes très chers frères

*Mes très chères sœurs, que je les souhaite toute la réussite durant leurs
études.*

Elle est dédiée à mes très chers oncles et toute la famille

TAMMA

A tous les étudiants de la 3^{ème} année RE

A mon Encadreur.

MOUSSA

إهداء

إلى من زرعنا في نفسي الانتماء إلى الأمة الإسلامية الخيرة وكاننا عنقودي خبير

وعطاء.....

.....إلى أمي وأبي الحبيين

إلي اخواني وأخواتي كل باسمه واخص بذكر الغالي على قلبي الطالب إبراهيم

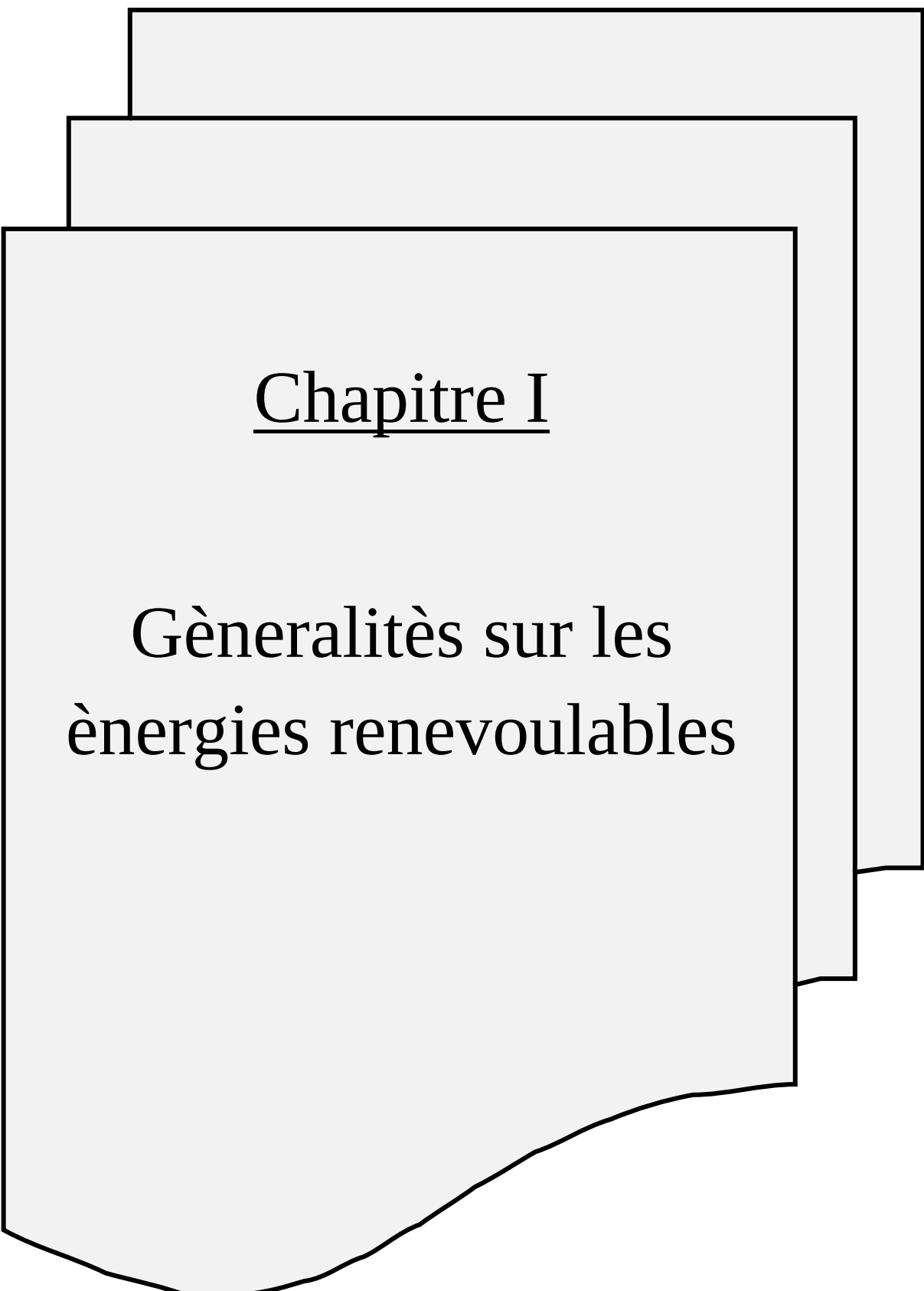
إلي أساتذتي و كل من له فضل على واخص بذكر الشيخ محمد كركوبي

إلى جميع اصدقائي

والى كل شغوف بهذا العلم

أهدى هذا العمل.

مختبر الجدير



Chapitre I

Généralités sur les énergies renouvelables

I.1 Introduction :

L'énergie est nécessaire dans toutes nos activités quotidiennes pour la production du chauffage, de l'électricité, dans l'industrie, pour la construction et dans les transports. Depuis que l'industrialisation a commencé, il y a plus de 200 ans, la richesse économique a été immédiatement liée avec l'accès aux combustibles fossiles pour la production énergétique, en premier lieu le charbon, mais plus récemment le pétrole et le gaz. Le problème de la consommation d'énergie est devenu de plus en plus important, des inquiétudes concernant les effets de la croissance économique sur la consommation excessive des ressources naturelles et de l'impact sur l'environnement, en particulier l'atmosphère, ont été notées, [1]: augmentation de l'effet de serre, pollution atmosphérique, pollution des sols, pollution des eaux et pluies acides.

Pour résoudre ce problème, des politiques énergétiques de développement ont été conduites pour exploiter au mieux les ressources en énergies renouvelables existantes. Les technologies mises en œuvre sont très importantes et font appel au génie électrique et aux matériaux de pointe,[2]. Les énergies renouvelables comme les énergies: solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marémotrice et de la biomasse sont des énergies de flux, on les oppose aux énergies fossiles qui sont disponibles sous forme de réserve.

Dans ce chapitre, on commencera par la présentation du concept des énergies renouvelables et leurs historiques. Par la suite on va présenter ces énergies en résumant leurs avantages et leurs inconvénients. On terminera par une synthèse sur l'énergie marémotrice en particulier, car elle fera l'objet de ce présent mémoire.

I.2 Energie renouvelable :

I.2.1 Définition :

L'énergie renouvelable se rapporte à la puissance développée par une source renouvelable. C'est à dire, quand l'énergie est produite, la ressource n'est pas épuisée. Elle est naturellement reconstituée, ses réserves sont tellement importantes que l'homme ne puisse jamais les épuiser. On dira alors qu'une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. L'expression «énergie renouvelable» s'applique à plusieurs sources d'énergies qui ont un point en commun; elles produisent toutes de l'énergie électrique, thermique ou mécanique sans épuiser les ressources naturelles, [3], exemple: le vent, le soleil, l'eau, la biomasse, etc..., tant que cet équilibre entre la consommation actuelle et la disponibilité future de la ressource est respecté, on

parlera d'énergie renouvelable. Le mot renouveler veut dire remplacer. renouveler l'énergie, c'est aussi remplacer l'énergie fossile qui exploite le charbon, le pétrole et le gaz qui sont des réserves limitées et qui polluent l'environnement, par des énergies dont les ressources sont inépuisables et non polluantes, qu'on appelle aussi énergie de remplacement

I.2.2 Historique :

L'utilisation des énergies renouvelables a prédominé jusqu'à la révolution industrielle au 18^{ème} siècle. Elles ont commencé à être substituées par le charbon puis par l'exploitation intensive du pétrole et du gaz à partir du début du 19^{ème} siècle. Cette tendance s'est poursuivie au 20^{ème} siècle avec l'utilisation accrue des énergies fossiles et l'avènement du nucléaire, [4]. Après le premier choc pétrolier en 1973, certains pays industrialisés ont commencé à s'intéresser à nouveau aux énergies renouvelables, mais elles étaient très vite oubliées à cause de l'effondrement des prix des cours des énergies fossiles dans les années 80. Mais le malheureux accident de Tchernobyl, à la fin des années 80 a été la cause de la re-exploitation à nouveau des sources renouvelables

I.2.3 Avantages et inconvénients :

Leur caractère renouvelable bien sûr qui fait qu'on ne prive pas les générations futures de ressources rares:

- 1- L'absence de problèmes liés au rejet de gaz à effet de serre.
- 2- Le fait que l'énergie produite est électrique (la forme thermo dynamiquement la plus souple d'utilisation).

Mais, aussi leurs inconvénients:

- 1- Elles occupent un espace souvent revendiqué pour d'autres usages (vallées pour l'hydraulique, côtes et crêtes pour les éoliennes);
- 2- Elles sont très capitalistique (il faut bien payer pour concentrer l'énergie et refaire ce que la nature a fait seule dans le cas des énergies fossiles), [5].

I.3 Principales énergies renouvelables :

I.3.1 Energies solaire :

I.3.1.1 Définition :

Le soleil est une gigantesque source d'énergie et depuis l'antiquité les hommes ont toujours rêvé d'approprier sa puissance, La terre reçoit du soleil, environ 10000 fois la quantité totale d'énergie consommée par l'ensemble de l'humanité (équivalent à une

puissance de 16.1015 kWh/m^2 et par an). En d'autres termes, capter 0.01% de cette énergie nous permettrait de nous passer de pétrole, de gaz, de charbon et d'uranium, [5].

- **Photovoltaïque:**

Les photopiles de la technologie photovoltaïque n'ont rien à voir avec l'énergie solaire thermique. Elles n'utilisent pas la chaleur, mais transforment l'énergie des photons directement en électricité grâce à des cellules solaires photopiles qui sont fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs, [5].

Les figures I.1, et I.2, représentent des exemples de capteurs plans, qui sont surtout utilisés dans la production d'eau chaude sanitaire, et capteurs fixes à usage domestique, qui sont généralement installés sur le toit des habitations.



Figure I.1 : Exemple de capteur plan

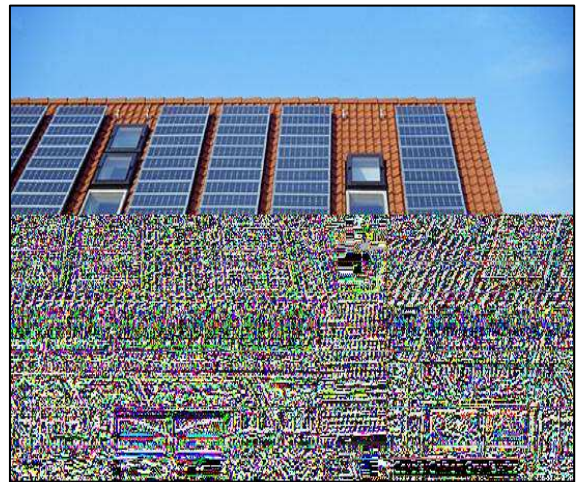


Figure I.2 : Exemple de panneau solaire

I.3.1.2 Avantages et inconvénients :

Par rapport aux énergies classiques, l'énergie solaire possède les avantages suivants :

1. Après avoir recouvert les coûts initiaux, l'énergie émanant du soleil est pratiquement gratuite;
2. Selon la façon dont l'énergie est utilisée, les périodes de récupération peuvent être très courtes lorsqu'on les compare au coût des sources d'énergie généralement utilisées;
3. Le soleil fournit une alimentation quasi illimitée en énergie solaire;
4. L'utilisation de l'énergie solaire supprime l'énergie classique. Cela permet de diminuer de façon significative les émissions des gaz à effet de serre.

Parmi les Inconvénients on cite :

1. Source de faible intensité et intermittente qui dépend de l'ensoleillement;
2. Coût élevé des installations pour le chauffage;

3. Coût élevé des cellules photovoltaïques;
4. L'énergie solaire est beaucoup plus coûteuse que les sources d'énergie conventionnelles, ceci revient au problème classique de l'offre et de la demande;
5. Elles ne conviennent pas pour le moment aux utilisations à forte consommation d'énergie;
6. L'énergie solaire ne fonctionnant qu'en présence du soleil, le jour, voit son utilisation limitée la nuit alors que la demande est importante, [6].

I.3.2 Energies géothermiques :

I.3.2.1 Définition :

La terre produit de la chaleur, qui provient essentiellement de la désintégration naturelle de l'uranium, du thorium ou du potassium. Une partie de cette chaleur, dite "fluide vert", est stockée dans certaines parties du sous-sol, en général dans des nappes d'eau souterraines. L'énergie géothermique est cette énergie calorifique stockée sous la surface terrestre. L'énergie géothermique utilise la vapeur d'eau ou l'eau chaude présente dans la croûte terrestre pour faire fonctionner des turbines ou pour chauffer des bâtiments ou de l'eau.

Si les caractéristiques géographiques le permettent, il est possible de bâtir des installations géothermiques. Les installations récoltent l'eau qui s'écoule par des fentes ou des trous dans le roc souterrain. Cette énergie nécessite une température à la source de plus de 100°C afin de faire fonctionner une turbine.

On distingue en effet la géothermie de haute température, ou celle-ci est suffisamment élevée pour qu'il soit possible et rentable de produire de l'électricité, et la géothermie de basse température, qui permet une utilisation de fluide à des fins de chauffage.

Les stocks souterrains d'eau chaude peuvent être considérés comme renouvelables dans le sens où ils sont en permanence réchauffés par la chaleur du centre de la terre, estimée à 4000°C. La condition étant que le rythme d'exploitation de ces stocks n'excède pas celui du renouvellement, La figure I.3, montre un exemple de centrale géo thermoélectrique, il s'agit de la centrale de Hatchobaru au Japon, de 300 MW, [7].



Figure I.3 : Centrale géo thermoélectrique de Hatchobaru
(Japon 300 MW)

I.3.2.2 Avantages et inconvénients :

1. Elle peut être considérée comme l'énergie la moins chère pour éviter l'émission de gaz carbonique;
2. C'est une énergie propre qui n'émet pas ou peu de polluants. Son exploitation ne génère pas de flamme, pas d'odeurs, pas de fumée, pas de ramonage, etc

Les inconvénients sont :

1. Selon la nature du sol, les coûts de forage peuvent être très élevés. Mais si la mise en place d'une installation géothermique correspond à un investissement important, le coût d'exploitation est quasiment nul;
2. L'épuisement de la source est possible sur certains stocks trop petits lors de leur exploitation;
3. L'expansion de la géothermie se heurte également à l'absence de réelle volonté politique, exprimée notamment dans la lourdeur des taxes;
4. Les seuls risques de pollution existants sont de rejeter à la surface du sol l'eau extraite si celle-ci contient des métaux lourds. Ce risque est évité lorsqu'elle est réinjectée en sous-sol;
5. Risque de glissement de terrain;
6. Elle doit être utilisée près de son site de production,[7]

I.3.3 Biomasse:

I.3.3.1 Définition:

Les déchets liquides ou solides et les plantes peuvent servir de combustible pour la production d'électricité. Le bois, les déchets agricoles et le fumier restent les principales sources d'énergie dans beaucoup de pays en voie de développement. On cherche aussi à cultiver des végétaux à croissance rapide et à fort rendement, dont la biomasse peut être exploitée. Chaque année, dans le monde, les diverses céréales produisent près de 1 700 millions de t de paille dont la majeure partie, qui est inutilisée ou brûlée dans les champs, pourrait être récupérée. La paille représente un combustible aussi intéressant que le charbon, et la France en produit chaque année 30 millions de t.

On trouve la biomasse dans plusieurs résidus communs, tel que :

- ✓ Les résidus agricoles .
- ✓ Les résidus forestiers .
- ✓ Les résidus urbains.

Les résidus provenant de la transformation des aliments [5]

I.3.3.2 Avantages et inconvénients :

1. Il est possible d'utiliser la biomasse indéfiniment comme source d'énergie parce que la matière végétale se renouvelle continuellement;
2. L'utilisation de la bioénergie ne provoque aucune augmentation des gaz à effet de serre, mais peut réduire la quantité de méthane, émis par la matière végétale en décomposition;
3. La bioénergie a, en général, une incidence favorable sur les économies locales;
4. Un plus grand nombre d'emplois peut être créé parce qu'une main d'œuvre plus importante est nécessaire pour manipuler les combustibles issus de la biomasse.
5. L'utilisation de la biomasse offre des avantages significatifs à d'autres industries locales, par exemple, l'élimination des arbres morts, malades ou de mauvaise qualité des forêts;
6. Les matières qui forment la biomasse sont souvent des rebuts provenant des activités industrielles, leur élimination diminue la nécessité d'agrandir les sites d'enfouissement locaux tout en produisant une énergie utile

Les inconvénients de cette source d'énergie sont :

1. Beaucoup de déperditions de chaleur par combustion.
2. Autres méthodes d'extraction d'énergie complexes et coûteuse.

3. La lourdeur des investissements à consentir qui, malgré des frais de fonctionnements très faibles (plus ou moins 2 % de l'investissement), sont économiquement assez dissuasifs;
4. Le biogaz est un gaz hautement inflammable et nécessite des mesures de protections, [5].

I.3.4 Hydroélectrique :

I.3.4.1 Définition :

L'énergie hydroélectrique est la production d'énergie utilisable sous forme d'électricité à partir de l'eau. Cette électricité est produite par un générateur, une fois que l'eau en mouvement est passé à travers une turbine, figure I.4, présente un schéma de principe d'une centrale hydraulique.

Etant donné que les systèmes naturels comme les rivières contiennent déjà une grande partie de ces éléments, elles peuvent être utilisées. Dans le cas où le mouvement naturel de l'eau ne serait pas possible ou insuffisant pour la production d'énergie, il est possible de rencontrer des systèmes comme les barrages où l'eau est dirigée sur une turbine en sous-sol, puis pompée pour être ramenée à sa source après utilisation (en générale pendant les heures creuses de consommation de l'électricité).

L'énergie hydroélectrique est une source d'énergie renouvelable, cela signifie que la source qui fournit l'énergie peut être renouvelée. En effet contrairement aux sources non renouvelables, on n'épuise pas complètement l'eau. On la trouve après qu'elle a été utilisée pour la production d'énergie, [5].

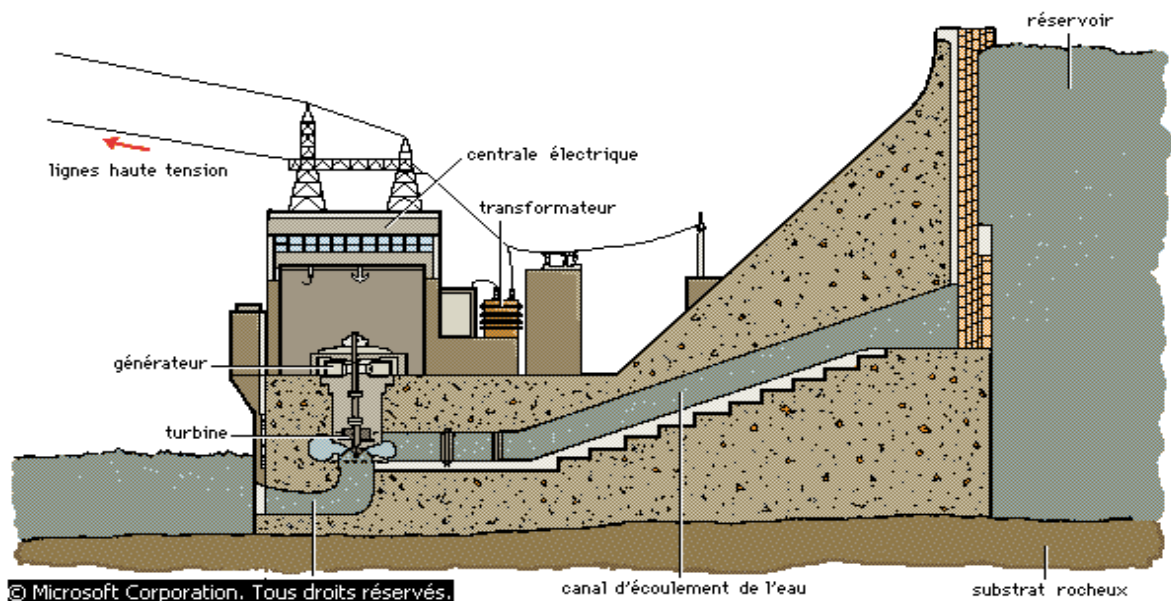


Figure I.4 : Exemple du principe d'une centrale hydraulique

I.3.4.2 Avantages et inconvénients :

Le développement de l'énergie hydroélectrique pendant ces cent dernières années a montré que la technologie est mature, faisant de l'eau la première source d'énergie renouvelable utilisée dans le monde.

Ses avantages sont :

1. L'énergie hydroélectrique est une source d'énergie électrique continuellement renouvelable;
2. On peut utiliser une proportion assez importante de l'énergie hydraulique et les coûts opératoires et de maintenance sont assez faibles;
3. L'énergie hydroélectrique est non polluante; aucune chaleur ni aucun gaz nocif n'est émis;
4. Les centrales hydrauliques, ont des durées de vie de deux à dix fois celles des usines à charbon ou nucléaire, bon nombre d'entre elles sont en activité depuis plus d'un demi-siècle et fonctionnent toujours efficacement;
5. La technologie de l'énergie hydroélectrique est une technologie qui a fait ses preuves et qui offre un fonctionnement fiable et souple;

Les barrages qui sont utilisés dans ces usines aident à éviter les inondations et fournissent un débit d'eau d'irrigation régulier aux régions en aval du barrage

Cependant il y a quelques inconvénients :

1. Production d'électricité caractérisée parfois par des fluctuations importantes suite à la grande variabilité des débits de certains sites;
2. Coûts d'investissement pouvant être assez importants pour certaines installations;
3. Nécessité d'avoir des sites appropriés en terme de cours d'eau et de chutes ;
4. Les usines prenant beaucoup d'espace et peuvent empiéter sur l'habitat des animaux
5. Les projets à grande échelle peuvent menacer les débits des rivières;
6. Du fait de la présence de barrage et de réservoirs les poissons peuvent ne pas être capables de rejoindre la mer et la vie aquatique peut diminuer dans les régions autour des centrales hydrauliques, [5]

I.3.5 L'énergie éolienne:

I.3.5.1 Définition :

L'énergie éolienne convertit l'énergie cinétique tirée du vent en d'autres formes d'énergie très utiles, notamment l'énergie mécanique ou l'électricité. L'énergie éolienne s'avère une source d'énergie non polluante et durable. Les moulins à vent qui servaient à moudre le grain constituent un exemple des premières utilisations de l'énergie éolienne. Cette dernière est maintenant utilisée pour produire de l'électricité ou pomper l'eau. L'énergie électrique produite par les aérogénérateurs peut être distribuée par le biais d'un réseau ou utilisée en complément des générateurs autonomes dans les collectivités non reliées à un réseau. La puissance et le débit d'énergie d'une éolienne augmentent en fonction de la hausse de la vitesse du vent, [8]. La figure I.5, montre trois utilisations de l'énergie éolienne: (a) pompage de l'eau, (b) un moulin à vent et (c) la production de l'électricité.

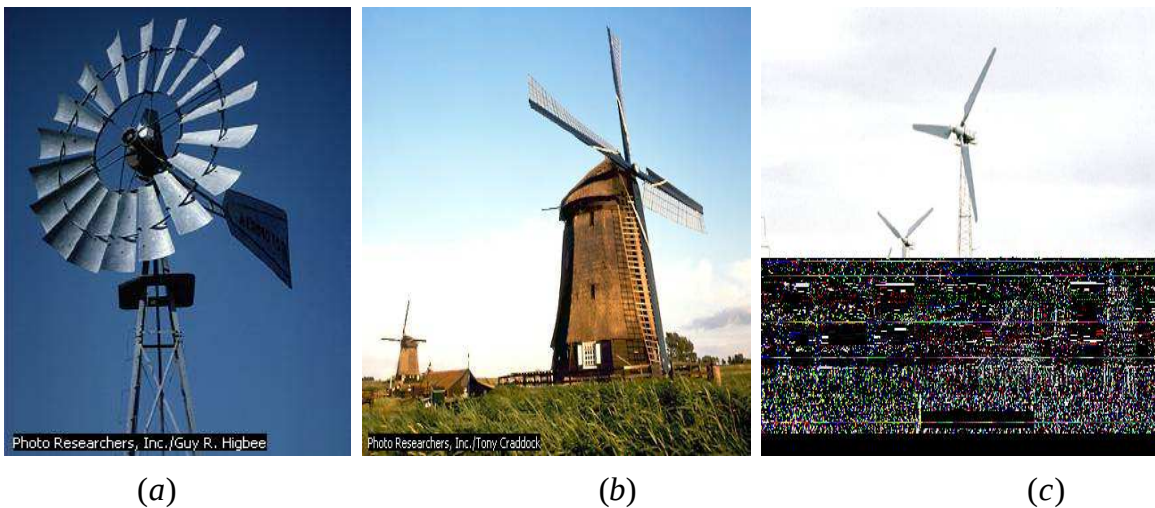


Figure I.5 : Exemples d'éoliennes

I.3.5.2 Avantages et inconvénients :

1. L'énergie éolienne est une énergie renouvelable idéale parce que :

- ✦ Il s'agit d'une forme d'énergie indéfiniment durable et propre;
- ✦ Elle ne nécessite aucun carburant;
- ✦ Elle ne crée pas de gaz à effet de serre;

2. Elle ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs;

3. La plupart des éoliennes sont silencieuses et ne présentent aucun danger important pour les oiseaux ou les autres espèces sauvages;

4. Lorsque de grands parcs d'éoliennes sont installés sur des terres agricoles, seulement 2 % du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations;
5. Chaque MWh d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ produites chaque année par la production d'électricité avec le charbon ou le diesel
6. Les frais de fonctionnement sont assez limités étant donné le haut niveau de fiabilité et la relative simplicité des technologies mises en œuvre ;
7. Le prix de revient d'une éolienne connaît une tendance à la baisse suite aux économies d'échelle réalisées sur leur fabrication ;

Les principaux impacts environnementaux des fermes éoliennes sont les suivants :

1. Les effets sur le paysage;
2. Le bruit;
3. La perturbation de l'écologie locale des sites;
4. Les interférences électromagnétiques;
5. La sécurité;
6. Coût important ;
7. Variations importantes des quantités fournies qui dépendent de l'intensité des vents d'où la nécessité de faire appel à d'autres sources; [6].

I.3.6 Energies marémotrices:

I.3.6.1 Définition :

Aussi classée dans l'énergie hydraulique, le développement de nouvelles technologies commence à exploiter le potentiel important de l'océan. Les vagues sont une source d'énergie renouvelable et gratuite, créée par le vent quand il souffle sur la surface de la mer. Plus les distances impliquées sont grandes, plus les vagues sont puissantes. L'énergie est stockée de cette manière jusqu'à ce qu'elle atteigne les zones peu profondes et les plages, où elle est libérée, parfois avec des effets destructifs. L'océan occupant plus que les 2/3 de la surface de la Terre, il est évident que le potentiel est immense, [9].



Figure I.6 : Usine marémotrice de la Rance 240 MW

La production d'électricité à partir des vagues et des marées est aujourd'hui une option. Environ deux fois par jour lors des marées montantes et descendantes, l'eau s'écoule dans les estuaires et sur les côtes. Cette eau peut actionner des turbines, afin de produire de l'électricité. Aujourd'hui la France et le Canada possèdent les plus grosses installations marémotrices. La figure I.6, présente une usine marémotrice de la Rance 240 MW, [5].

I.3.6.2 Avantages et inconvénients :

Parmi les avantages on site les suivants :

1. Energie gratuite;
2. L'énergie des vagues est plus utile et mieux adaptée pour l'alimentation en électricité des îles éloignées où toute autre manière de l'alimenter en électricité est limitée et coûteuse;
3. C'est une bonne idée que d'intégrer l'énergie des vagues dans des projets de cogénération afin d'optimiser la production d'énergie;
4. Il y a également un fort potentiel pour la production d'électricité à partir des vagues ou pour les industries de désaliénation de l'eau, dans des pays côtiers ayant des problèmes d'alimentation en eau douce, tels sur le continent africain et au Moyen Orient.

L'énergie des vagues possède certains inconvénients, on site les suivants :

1. L'énergie des marées ne peut fournir qu'une petite contribution à l'approvisionnement en énergie, car il y a peu de sites permettant ce type d'installation;

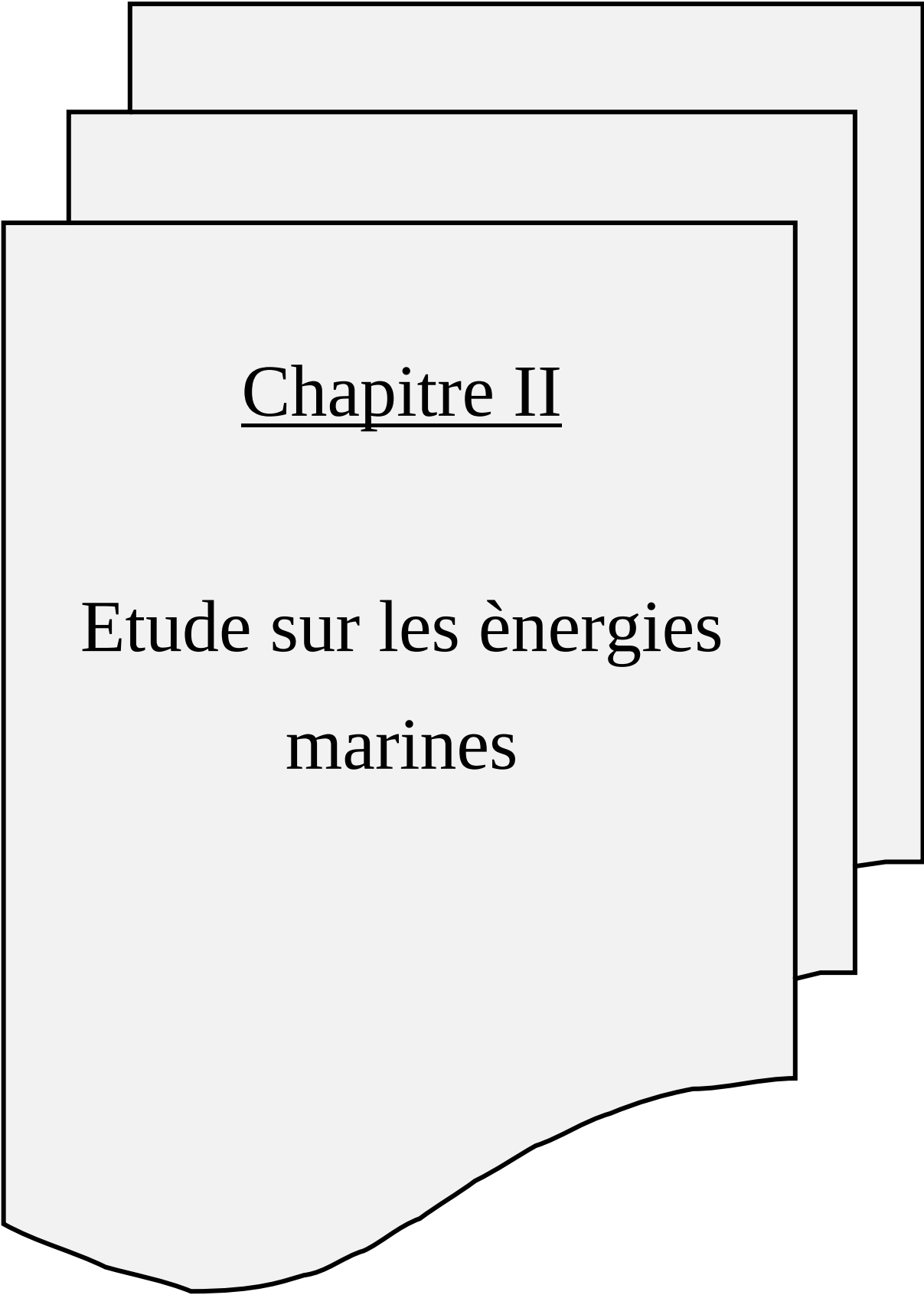
2. Les coûts de construction sont élevés et les risques de détérioration du matériel à cause du sel sont trop importants. Cependant il y a quelques régions qui possèdent les bonnes conditions pour produire de l'énergie grâce aux marées;
3. Variation de la production en fonction de l'amplitude des marées;
4. Conséquences sur l'environnement;
5. Les centrales énergétiques à marée-motrice ont besoin pour produire de l'électricité; de turbines spéciales tournant dans les deux sens, utilisant les marées montantes et descendantes, de plus, il est nécessaire d'avoir des marées importantes. De ce fait, les sites pouvant accueillir des projets de marée-motrice sont peu nombreux,[6].

I.4 Conclusion :

Au rythme de la consommation actuelle, dans les pays industrialisés, un habitant utilise près de 5 tonnes de pétrole par an, selon de nombreux expert, les réserves de pétrole seraient épuisées dans une cinquantaine d'années et un peu plus par le gaz ; celles du charbon, dans deux cents ans. Selon le conseil mondial de l'énergie, les sources d'énergies renouvelables ne pourront couvrir au mieux que 30% des besoins mondiaux vers 2020 (même si certains estiment que ce chiffre pourrait être de 60% vers 2100),

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les différents types d'énergies renouvelables ainsi que leurs importances, leurs avantages et inconvénients.

Dans le prochain chapitre nous étudierons plus en présente les énergies marines.



Chapitre II

Etude sur les ènergies marines

II.1 Introduction:

L'océan est un vaste réservoir d'énergie. Sous des formes diverses, cette énergie se manifeste par des phénomènes naturels dont la puissance a fasciné les hommes depuis très longtemps. Dès l'Antiquité, ils ont su utiliser les vents et les courants pour mouvoir leurs navires, et le flux des marées pour actionner leurs moulins. Au début de l'ère industrielle, ils ont conçu des machines utilisant l'énergie mécanique des vagues et la chaleur des eaux de l'océan pour servir leur industrie.

L'abondance relative et le faible coût, en termes financiers, de l'énergie produite par la combustion du charbon, puis du pétrole et du gaz, n'en a pas permis le développement. Aujourd'hui, avec le constat de l'inadaptation de nos modes de production dits «traditionnels» aux exigences du développement durable, ces «Énergies Marines» renouvelables suscitent un regain d'intérêt et un consensus international semble établi selon lequel elles pourraient contribuer à satisfaire nos besoins en énergie primaire. La valeur de référence de ces besoins est celle de la consommation mondiale actuelle d'énergie primaire, soit 10 milliards de tonnes d'équivalent pétrole par an (10 Gtoe/a) ou (120 000 TWh/a).[10]

II.2 Origines des marées:

Les marées sont le résultat de l'application de deux forces sur la Terre :

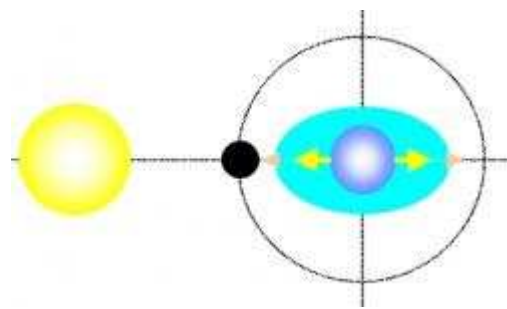
- Une force d'attraction gravitationnelle d'une part, exercée par un astre comme la Lune ou le Soleil. Cette force est plus intense si l'astre en question est proche de la Terre et sa masse importante.
- Une force centrifuge d'autre part, liée à la rotation de la Terre sur son orbite, et qui s'exerce de manière identique en tout point du globe.

Lorsque la lune, le soleil et la terre sont alignés, les marées sont importantes : on parle de vive-eau (nouvelle lune et pleine lune).

Lorsque la lune forme un angle droit avec l'axe de la terre et du soleil, les marées sont faibles, on parle alors de morte-eau (premier quartier et dernier quartier).

Les marées les plus faibles de l'année se produisent normalement aux solstices d'hiver et d'été, les plus fortes aux équinoxes.[11]

La figure II.1, montre les origines des marées : (a) Nouvelle Lune, (b) Premier Quartier, (c) Pleine Lune et (d) Dernier Quartier

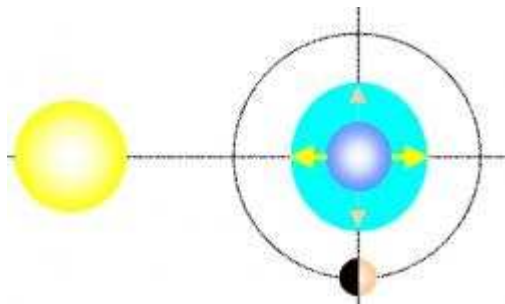


Nouvelle Lune :

Les 3 astres sont alignés (syzygie)

Soleil - Lune - Terre, les marées sont importantes

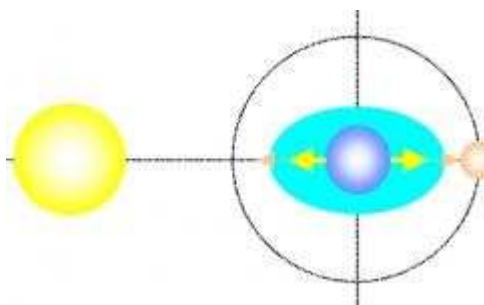
(a)



Premier Quartier :

Les 3 astres forment un angle droit (quadrature), les forces ne s'additionnent plus, les marées sont faibles

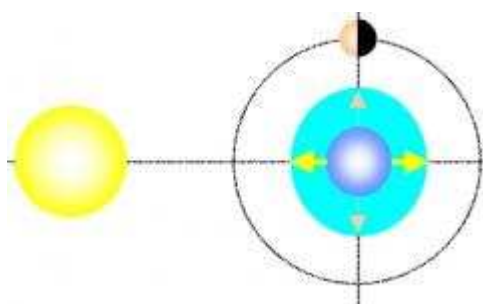
(b)



Pleine Lune :

Les 3 astres sont alignés (syzygie) Soleil - Terre - Lune, les marées sont importantes

(c)



Dernier Quartier :

Les 3 astres forment un angle droit (quadrature), les forces ne s'additionnent plus, les marées sont faibles.

(d)

Figure II.1: Origines des marée

II.3 Les courants marins:

II.3.1 Définition:

Un courant marin se définit par la vitesse, la direction ainsi que le débit d'un déplacement d'eau. On distingue deux types de courants : les courants de surface et les courants de profondeur. L'énergie solaire est reçue de façon inégale sur l'ensemble du globe. En effet, elle diffère du pôle à l'équateur. Les vents et les océans vont contribuer au transfert de l'énergie calorifique des zones excédentaires vers les hautes latitudes, dans le but d'obtenir un rééquilibrage thermique. Les courants de surfaces sont principalement dus au vent. Les mouvements des eaux et de l'atmosphère sont aussi influencés par la force de Coriolis (force due à la rotation de la terre). Le déséquilibre énergétique entraîne aussi des différences de températures selon la latitude, responsables d'une variation de la salinité et de la densité de l'eau ce qui produit les courants de profondeurs.

Les courants de marée sont des courants spécifiques qui se développent près des côtes et sont liés à la marée. Ils représentent une ressource considérable d'énergie.[12]

II.3.2 Origine de courants marins:

Les courants océaniques de surface sont le plus souvent générés par le vent ; ils sont typiquement orientés dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens antihoraire dans l'hémisphère sud, du fait de la répartition des vents. Dans les courants générés par les vents, l'effet de "Force de Coriolis" se traduit par une déviation angulaire comparé aux vents qui en sont à l'origine. La localisation des courants change notablement avec les saisons ; ce phénomène est spécifiquement sensible pour les courants équatoriaux.

Les courants profonds sont produits par les gradients de température et de densité. La circulation thermo haline, aussi qualifiée de "tapis roulant", concerne les courants profonds dans les bassins océaniques causés par les variations de densité. Ces courants, qui s'écoulent sous la surface océanique et sont par conséquent complexes à détecter, sont assimilables à des "rivières sous-marines". Ils sont désormais suivis par un réseau de capteurs sous-marins dérivants appelé ARGO. Les zones de courants ascendants ("remontées d'eau ou «upwellings»") et descendants sont des régions où des mouvements verticaux significatifs sont observés.

Les courants de surface concernent à peu près 10% de l'eau des océans. Ils se limitent le plus souvent aux 300 premiers mètres de l'océan. Le mouvement de l'eau profonde est

causé par des forces dues à la densité ainsi qu'à la pesanteur. La différence de densité dépend de la température et de la salinité. Les eaux profondes s'enfoncent dans les bassins océaniques localisés aux latitudes élevées, où les températures sont assez basses pour que la densité augmente. Les principales causes des courants sont le rayonnement solaire, les vents et la pesanteur. Les flux des courants océaniques sont mesurés en Sverdrup.[13]

II.3.3 Types des courants marins:

II.3.3.1 Les courants de surface:

Les courants océaniques de surfaces sont produits sous l'action du vent ; ils sont dirigés dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et suivant le sens antihoraire dans l'hémisphère du Sud. La localisation des courants change avec les saisons ; en particulier pour les courants équatoriaux.

Les courants d'impulsion ou de surface entraînent le déplacement de masses d'eau à une vitesse généralement inférieure à 10 Km/h. Ils contribuent aux transports méridiens de chaleur des régions chaudes vers les régions froides.

Les océans participent à la régulation thermique (emmagasinent la chaleur l'été et le jour, transportent et restituent l'hiver et la nuit), et influencent les températures et les pluies des régions qu'ils côtoient.

Les principales phases de la circulation sont les suivantes :

- les alizés de la zone intertropicale donnent naissance à un courant qui transporte d'est en ouest les eaux chaudes de cette zone ;
- lorsque ce courant chaud rencontre un continent, il se sépare en deux branches qui ont tendance à se diriger vers chacune des zones de latitudes moyennes ;
- les deux courants chauds, s'éloignent l'un de l'autre, et se dirigent vers les hautes latitudes d'ouest en est. Par exemple le Gulf Stream qui vient du golfe du Mexique, traverse l'Atlantique Nord et longe les côtes occidentales de l'Europe.

Il existe de courants de surface chauds comme le Gulf Stream, le courant des Açores, le courant de Floride, le courant du Mozambique, et des courants froids comme le courant de Falkland, le courant de Humboldt, le courant du Cap Horn.

Les courants de surface concernent environ 10% de l'eau des océans. Ils se limitent généralement aux 400 premiers mètres de l'océan.[13]

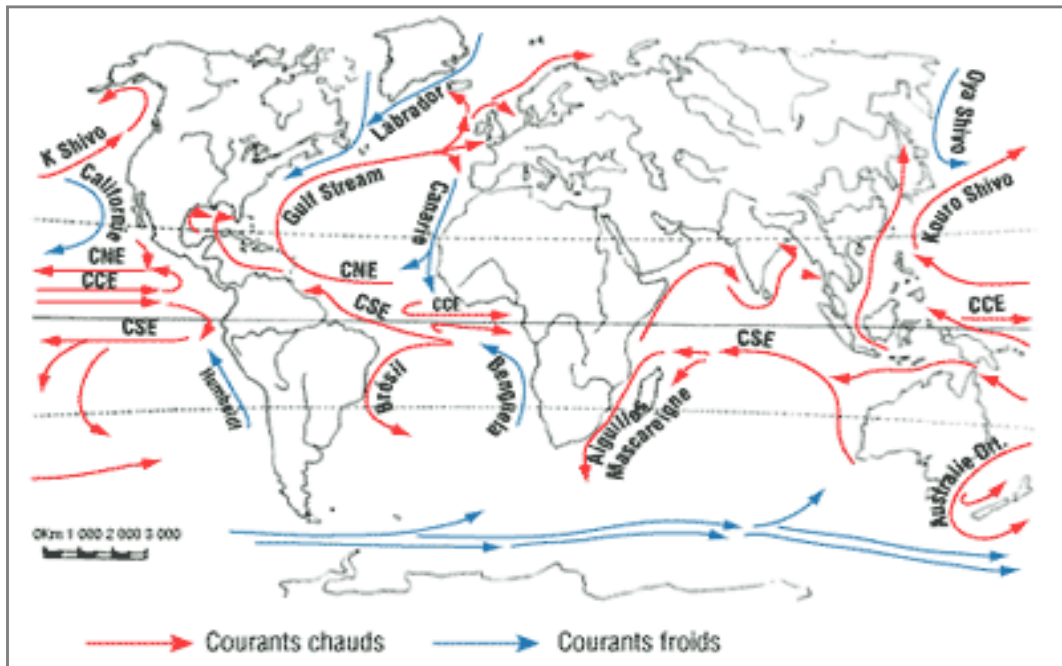


Figure II.2: Courants marins de surface (PUF, 1992)

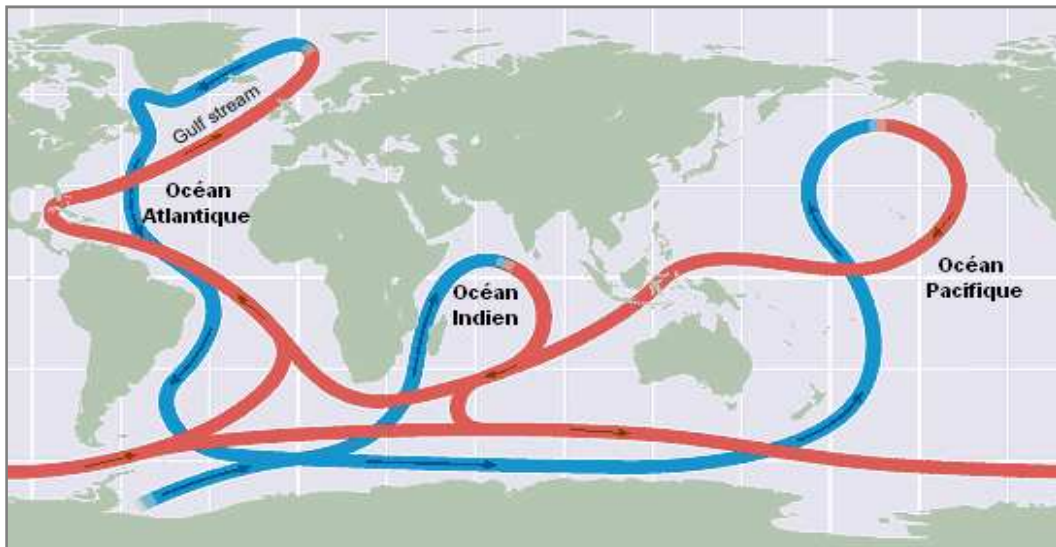
II.3.3.2 Les courants de profondeur:

Ce sont les variations de densité (liées aux différences de température) et de salinité de l'eau qui sont à l'origine des courants de profondeurs.

L'eau froide étant plus dense que l'eau chaude et l'eau salée étant plus dense que l'eau douce.

Les vents n'influencent pas les mouvements marins profonds car ils n'ont pas d'action au delà de 800 mètres.

Suivant la latitude, on peut observer des variations de température qui entraînent une différence de salinité de l'eau et de densité (principalement dues à l'évaporation des eaux chaudes qui se chargent en sel et à la fonte des glaces en été ou encore à un courant d'eau vers les profondeurs du fait de la densification due au sel rejeté par la banquise l'hiver) créant ainsi les courants de profondeurs. Les courants les plus profonds sont les courants thermohalins et ceux qui sont un peu moins profonds portent le nom de circulation thermohaline. Le Gulf Stream peut être un exemple de courant marin affecté par les différences de densités.



FigureII.3: Courants marins de profondeur

Les courants de surface et les courants profonds ainsi formés sont interconnectés entre eux et forment une sorte de tapis roulant. Les zones de courants ascendants ("upwellings") et descendants sont des régions où des mouvements verticaux significatifs sont observés.[10]

II.3.4 Role de courants marins:

Ils jouent un grand rôle dans le climat mondial, surtout en régulant et dispersant la chaleur des continents qu'ils bordent et en entretenant l'humidité de l'air (cycle de l'eau). En effet, l'ensoleillement solaire est réparti de manière inégale sur la Terre, le rôle du courant marin sera par conséquent d'essayer d'égaliser au maximum cette différence. Ils distribuent de grandes quantités d'énergie / chaleur des régions chaudes vers des zones plus froides grâce à leur forte inertie thermique.

Les eaux chaudes de surfaces peuvent par conséquent réchauffer une région, et vice versa. L'océan joue par conséquent un rôle important pour la régulation du climat et il assure un transport de chaleur des régions tropicales vers les pôles tout aussi important que l'atmosphère.

Une interruption du tapis roulant peut se traduire par des dérèglement climatiques importants (et/ou en être une conséquence, selon les époques). Ce tapis roulant s'était presque interrompu vers 2001, mais a redémarré (peut-être provisoirement) en 2008, grâce à un hiver froid

II.4 Les énergies marines:

Les phénomènes marins susceptibles d'être utilisés pour produire de l'énergie sont nombreux. On se limitera ici à l'examen de ceux dont l'expérimentation a atteint le stade de la démonstration technique in situ à des échelles extrapolables jusqu'à plusieurs millions de watts (MW) et pour lesquels on dispose d'estimations de coûts de production réputés acceptables économiquement à plus ou moins long terme .

Le critère d'acceptabilité économique auquel on fait ici allusion est d'autant plus flou que l'évolution des coûts de l'énergie, à 20 ou 50 ans, est très incertaine. Cette évolution dépend non seulement de celle des coûts de combustibles mais aussi du changement de la structure même des coûts de production avec l'introduction de taxes nouvelles et la prise en compte de coûts aujourd'hui «externalisés» .

Les phénomènes et les procédés de conversion retenus sont:

- la marée avec les procédés du type «la Rance» et du type «hydroliennes»
- le vent avec les éoliennes «en mer»
- la houle avec les « houlomotrices »



Figure II.4: Usine marémotrice Annapolis Royal, Nova Scotia, Canada[14]

II.5 Energie marémotrice:

II.5.1 Définition:

L'énergie marémotrice est issue du mouvement de l'eau créé par les marées, causées par l'effet conjugué des forces de gravitation de la Lune et du Soleil. Elle est utilisée soit sous forme d'énergie potentielle - l'élévation du niveau de la mer, soit sous forme d'énergie cinétique - les courants de marée

II.5.2 Principe:

Le phénomène de marée est dû au différentiel de temps de rotation entre la Terre (24 heures) et la Lune (28 jours) qui est donc relativement fixe par rapport à celle-ci. Il s'ensuit que le globe terrestre tourne à l'intérieur d'un globe d'eau de mer allongé dans les deux sens par l'attraction lunaire. On peut utiliser cette énergie de rotation, ce qui a pour effet (dans des proportions infimes, bien que définitives) de ralentir la Terre et d'éloigner la Lune pour des raisons de conservation du moment cinétique de l'ensemble.

L'énergie dite marémotrice constitue donc une récupération de l'énergie cinétique de rotation de la Terre.

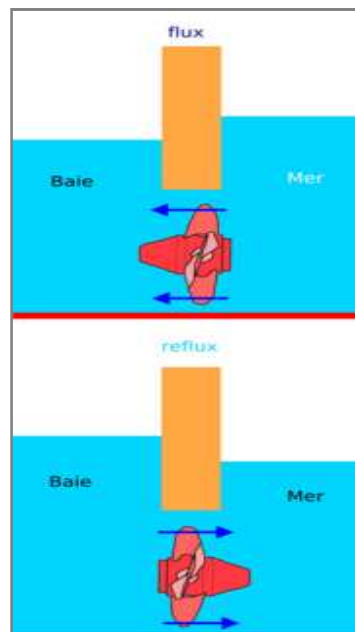


Figure II.5: Principe d'une usine marémotrice

L'énergie correspondante peut être captée sous deux formes:

- énergie potentielle (en exploitant les variations du niveau de la mer) : c'est la technique utilisée dans l'usine marémotrice de la Rance
- énergie cinétique (en exploitant les courants de marée, qui peuvent être captés par des turbines, ou hydroliennes)

Les sites adaptés au captage de l'énergie marémotrice sont peu nombreux ; ils se concentrent dans les régions où, du fait notamment des conditions hydrodynamiques, l'amplitude de l'onde de marée (inférieure au mètre loin des côtes) est amplifiée : c'est notamment le cas en France dans la Baie du Mont-Saint-Michel, près de laquelle se trouve l'usine de la Rance et au Canada dans la Baie de Fundy où le marnage dépasse 10 mètres,

ce qui génère des courants de marée intenses pouvant dépasser 5 nœuds, soit près de 10 km/h.

L'exploitation optimale de l'énergie potentielle nécessite des aménagements importants, qui modifient notablement les équilibres écologiques dans des zones généralement fragiles ; il est probable que cette voie ne sera plus guère exploitée à l'avenir et que l'usine de la Rance restera une expérience isolée.

Le captage de l'énergie cinétique des courants de marée est actuellement prospecté ; pour être exploitables, les courants doivent dépasser 3 nœuds sur des durées notables.[14]

II.6 Energie des vagues:

II.6.1 Définition:

L'énergie des vagues est une énergie marine utilisant la puissance du mouvement des vagues.

La faisabilité de son exploitation a été étudiée, en particulier en Angleterre : le système couplé à des dispositifs flottants ou des ballons déplacés par des vagues dans une structure en béton en forme d'entonnoir, produirait de l'électricité. Les nombreux problèmes pratiques ont contrarié les différents projets.

Depuis 2003, le laboratoire de mécanique des fluides de l'École centrale de Nantes et le département mécatronique de l'École normale supérieure de Cachan développent cependant un système appelé Serve qui utilise l'énergie de la houle. L'appareil ressemble à un petit sous-marin et sera immergé à une dizaine de kilomètres des côtes. Il serait capable de fournir bientôt (2006) de l'électricité pour 200 foyers[15]

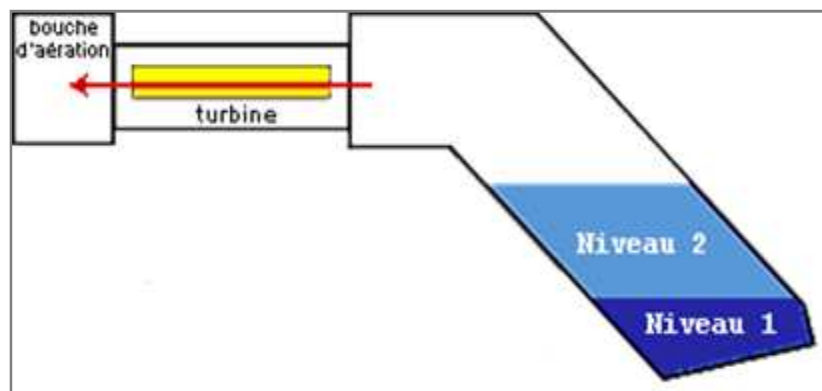


Figure II.5 : production l'énergie par le vague

La figure II.5, présente production l'énergie par le vague, Lorsque l'eau monte du niveau 1 au 2 (vague entrante) l'air à l'intérieur est compressé et forcé à travers la turbine.



(a)



(b)

Figure II.7: l'énergie de vague [16]

II.7 Conclusion:

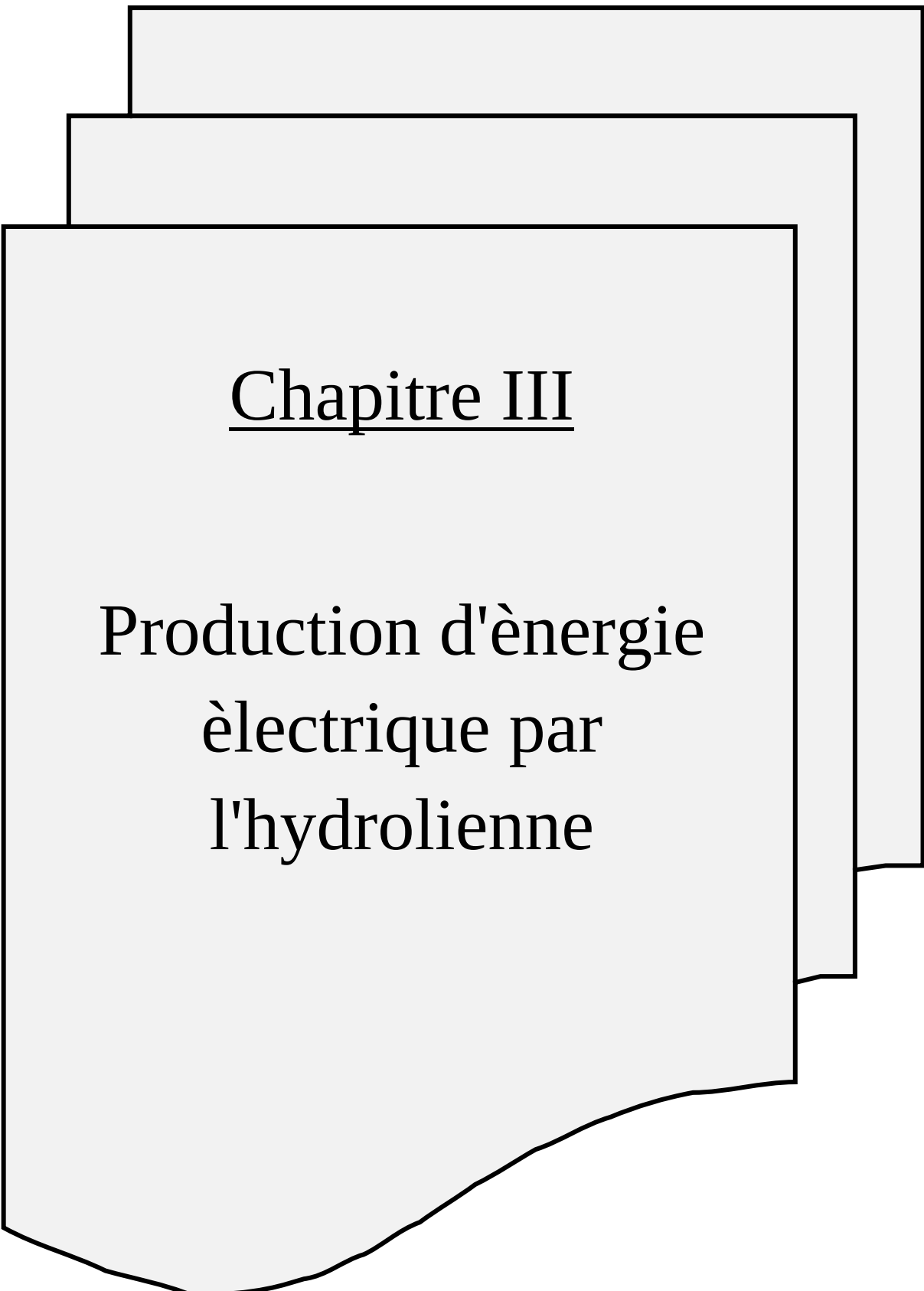
Les marées sont le résultat de l'application de deux forces sur la Terre, force d'attraction gravitationnelle d'une part exercée par un astre comme la Lune ou le Soleil et une force centrifuge d'autre part liée à la rotation de la Terre sur son orbite, et qui s'exerce de manière identique en tout point du globe. Il ya quatre cas de ce phénomène: nouvelle Lune, premier quartier, pleine lune, dernier quartier.

Le courant marin se définit par la vitesse, la direction ainsi que le débit d'un déplacement d'eau. On distingue deux types de courants : les courants de surface et les courants de profondeur, Les courants océaniques de surface sont le plus souvent générés par le vent et les courants profonds sont produits par les gradients de température et de densité.

Les courants marins jouent un grand rôle dans le climat mondial, surtout en régulant et dispersant la chaleur des continents qu'ils bordent et en entretenant l'humidité de l'air.

Les phénomènes marins susceptibles d'être utilisés pour produire de l'énergie sont nombreux. L'énergie marémotrice est issue du mouvement de l'eau créé par les marées, causées par l'effet conjugué des forces de gravitation de la Lune et du Soleil. L'énergie des vagues est une énergie marine utilisant la puissance du mouvement des vagues.

Dans le chapitre suivant, nous allons vous montrer la production d'énergie électrique.



Chapitre III

Production d'énergie
électrique par
l'hydrolienne

III.1 Introduction:

Les courants de marée développent une énergie considérable. Il est envisagé de récupérer une partie de cette énergie par l'intermédiaire de machines immergées baptisées hydroliennes.

Les hydroliennes sont des machines destinées à fonctionner immergées, dans un milieu hostile, où l'accès est rendu délicat à cause de l'existence même des courants dont on désire exploiter l'énergie. Il est donc essentiel que les hydroliennes soient conçues d'emblée en vue d'obtenir une grande fiabilité et un besoin très faible en maintenance.

Les courants possèdent une énergie cinétique finie. L'exploitation de l'énergie entraîne une atténuation de la vitesse du courant. Il est important de quantifier cet effet pour en tenir compte sur le dimensionnement des installations, ainsi que pour identifier les impacts écologiques éventuels.[17]

III.2 Historique:

La houle et les vagues constituent une source d'énergie dont la récupération occupe l'esprit de l'homme depuis la fin du XIX^{ème} 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 :

- Les flotteurs
- Les palettes
- L'air comprimé [16]

Un de ces mécanismes qui sont devenus les plus largement utilisés est l'hydrolienne.

III.3 L'hydrolienne :

III.3.1 Description :

Les courants marins représentent une énergie fabuleuse qui contrairement aux vents sont constants et prévisibles. C'est un avantage déterminant par rapport aux autres énergies renouvelables intermittentes. Il existe deux grands types de courants : les courants marins situés plus ou moins au large des côtes et les courants de marée (ou de marnage) que l'on rencontre dans l'embouchure des fleuves et près des côtes.

Pour capter cette énergie, il faut placer des hélices ou des turbines dans l'axe de ces autoroutes de la mer, c'est ce qu'on appelle les hydroliennes (On rencontre aussi les appellations hydrohélie et aussi éolienne sub-aquatique).

Cette source d'énergie commence seulement à être étudiée en Angleterre, en Italie, en Norvège et aux États-Unis. En France, EDF a comme projet d'en installer dans le Cotentin et en Bretagne. Une entreprise bretonne développe un projet d'hydrolienne pour capter les courants de marée.

III.3.2 Fonctionnement :

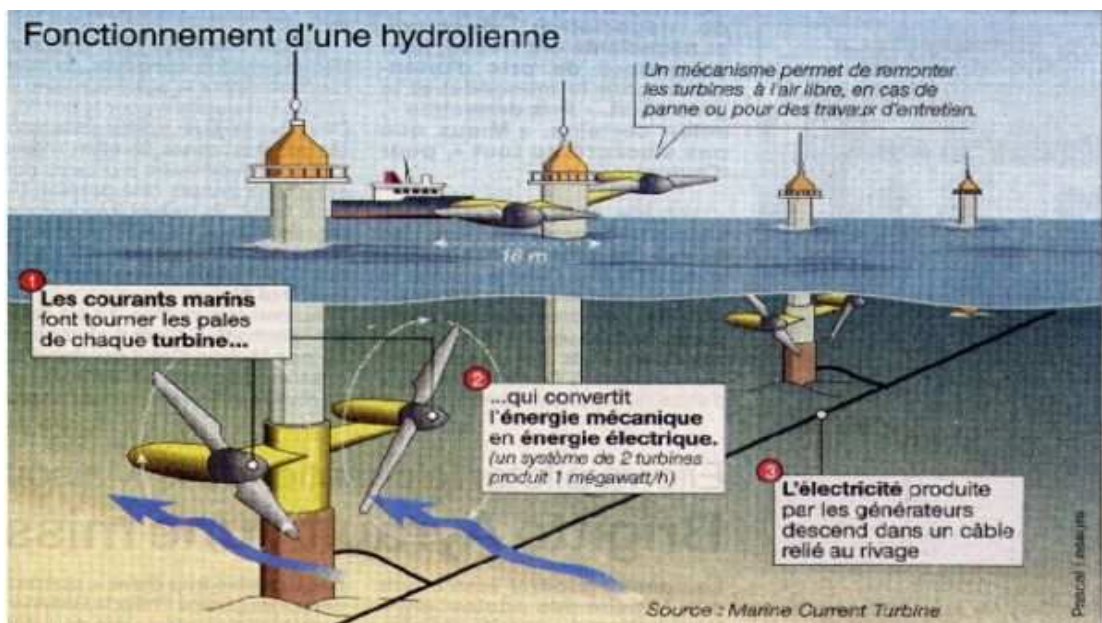
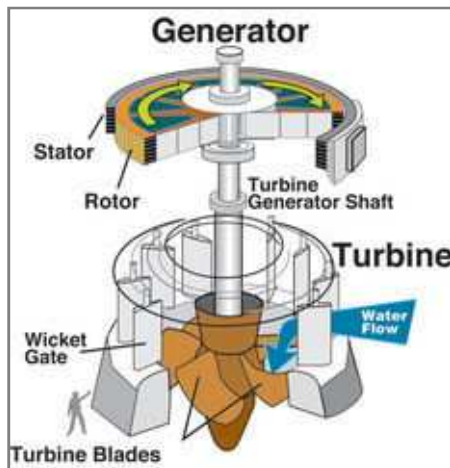


Figure III.1: Fonctionnement d'une hydrolienne à turbine.

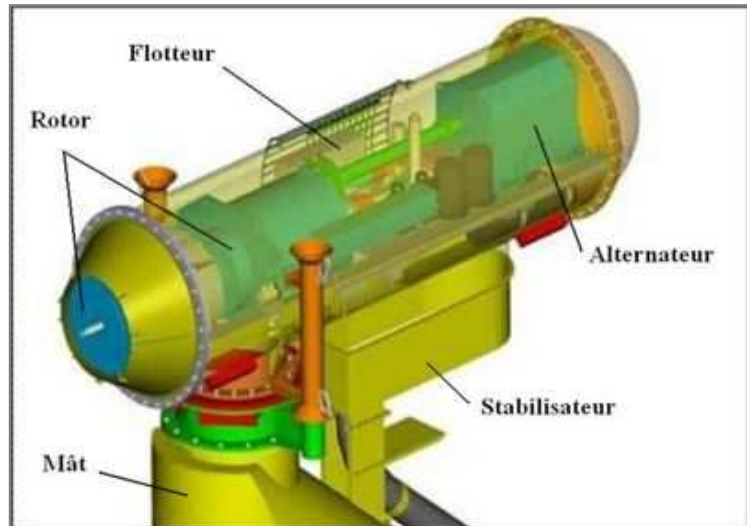
Les composants d'une hydrolienne:

- **Le flotteur** : il s'agit d'un élément de capacité réglable, puisque l'on peut le lester avec plus ou moins d'eau. Pour obtenir le meilleur rendement, il faut que la hauteur d'air emprisonné dans le flotteur, corresponde à la hauteur des vagues à la surface.
- **Le rotor** : c'est le système, qui, entraîné par les pâles qui tournent grâce à la force des courants, va fournir l'énergie mécanique. Il est relié à plusieurs pâles (on peut en avoir de deux à dix). Ce rotor fonctionne grâce à la houle. Il a été développé de manière à ce qu'il tourne toujours dans le même sens, que la houle ait tendance à le soulever ou à le rabaisser.

- **Le stabilisateur** : c'est le mécanisme qui permet aux pâles de toujours être en opposition pour que l'hydrolienne soit en rotation par rapport au sens du courant.
- **L'alternateur** : il s'agit d'un générateur électrique, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. [18]



(a)



(b)

Figure III.2: Composants d'une hydrolienne

III.4 Principes de la conception d'une hydrolienne :

III.4.1 Caractéristiques des hydroliennes :

Une hydrolienne est une machine qui doit répondre notamment aux critères suivants :

- Se maintenir en place et résister aux forces hydrodynamiques du courant
- Turbiner au mieux le flux d'eau du flot et du jusant pour produire de l'énergie mécanique.
- Transformer l'énergie mécanique en énergie électrique
- Exporter la production électrique vers le réseau à terre
- Ne nécessiter qu'un minimum de maintenance
- Gêner au minimum la navigation et le milieu vivant
- Produire une énergie à un coût acceptable [19]

III.4.2 Puissance de la ressource :

La puissance motrice de l'eau qui traverse la surface du rotor est donnée par la formule :

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3$$

Avec : W : puissance en W/m^2 - $\rho = 1024 \text{ kg/m}^3$ - U : vitesse de l'eau en m/s

La puissance de la ressource augmente très vite avec la vitesse du courant, et on considère que les hydroliennes deviennent intéressantes si le courant dépasse 2 m/s .

Dans un chenal de 50 m de profondeur où le courant atteint 3 m/s , l'énergie cinétique de l'eau est de 530 MW par kilomètre de largeur de ce chenal, ce qui est considérable.

Ce calcul tient compte du fait que la vitesse de l'eau varie avec la distance sous la surface. Une hypothèse fréquente est que la vitesse varie selon la formule :

$$U = U_0 \cdot (Z / p)^{1/7}$$

Avec z la distance au dessus du fond, p la profondeur, U_0 la vitesse du courant en surface.

En fait, la vitesse maximale est généralement située légèrement sous la surface libre. La figure III-3 montre la courbe de variation selon cette loi pour un chenal de 50 m de profondeur.

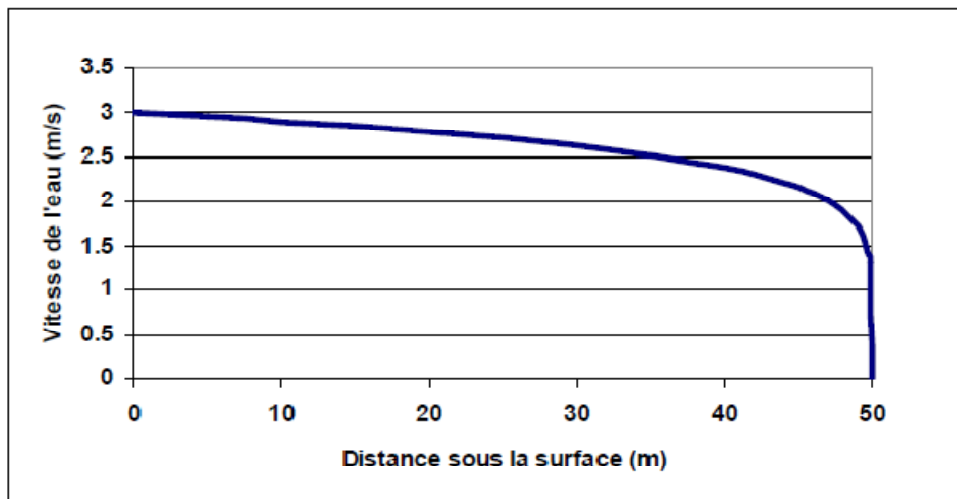


Figure III.3 : Vitesse de l'eau en fonction de la profondeur

La puissance mécanique utile n'est qu'une fraction de la puissance de la ressource. On verra ci-dessous une évaluation concrète dans un cas particulier.[19]

III.5 Etude des pales : Le cas des hydroliennes à axe vertical :

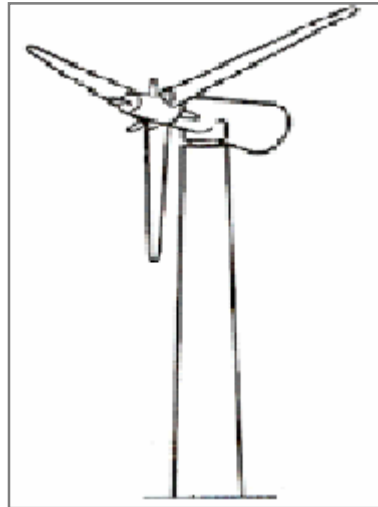


Figure III.4 : Dessin d'hydrolienne à axe verticale [20]

III.5 .1 Principe de fonctionnement :

Une hydrolienne capte l'énergie cinétique du courant et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Les pales sont l'élément déterminant d'une hydrolienne. Elles doivent donc être conçues avec un soin tout particulier.

Le flux d'eau, à son arrivée à proximité du bord d'attaque, va se séparer en deux parties : l'une, l'extrados, va passer du côté bombé de la pale et l'autre partie, l'intrados, va passer du côté plus plat. L'eau qui passe du côté bombé est accélérée par rapport à l'eau qui passe de l'autre côté. Une dépression va se créer du côté bombé, ce qui engendre la portance qui va faire tourner la pale autour de son axe.

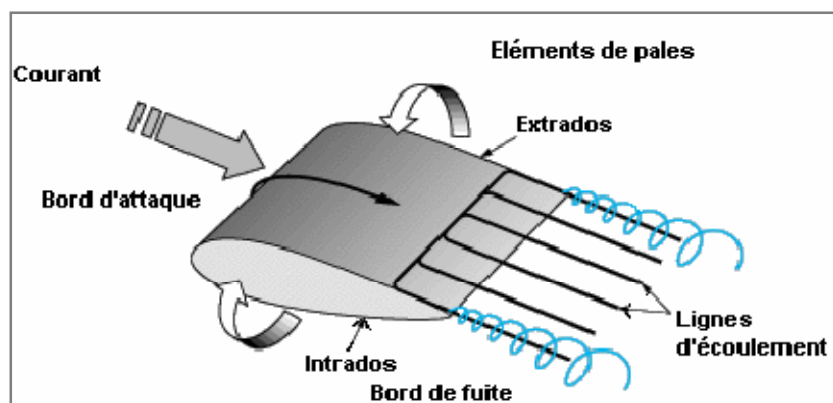


Figure III.5 : Principe d'une hydrolienne Projet [20]

Les pales sont cependant soumises à des fatigues importantes dont les causes essentielles sont variées. Tout d'abord, l'érosion du bord d'attaque par le sable et l'eau modifie la forme de la pale, ce qui fait baisser le rendement. De plus, la force centrifuge exerce une traction sur le moyeu et le poids des pales occasionne aussi des efforts importants.

D'autre part, les changements de direction du courant provoquent des moments alternés et des efforts gyroscopiques. Enfin, il y a des variations de poussée sur la pale au moment où l'eau passe devant le pylône. En effet, la présence du pylône sur le chemin du courant va modifier le profil de vitesse de l'eau. Cela entraîne des mouvements de battements.

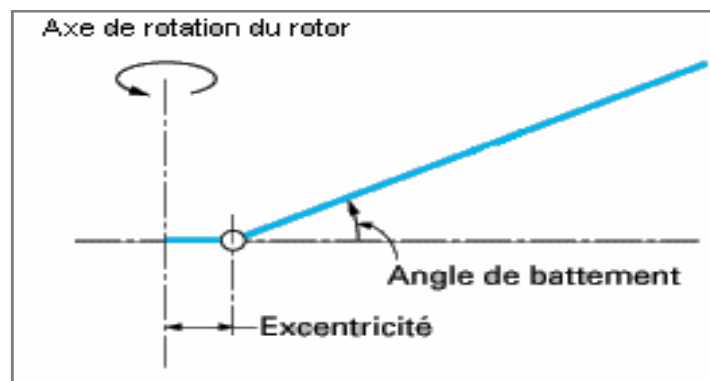


Figure III.6: le phénomène de battement [20]

III.6 Puissance maximale extraite : La loi de Betz

Grâce à la loi de Betz, on peut déterminer le rendement maximal des hydroliennes. En faisant des bilans de puissance entre ce qui arrive vers le rotor et ce qui en repart, on trouve, en respectant les notations de la figure III.7, une puissance extraite qui s'exprime :

$$P = \frac{1}{2} (\rho S V) (V_1^2 - V_2^2)$$

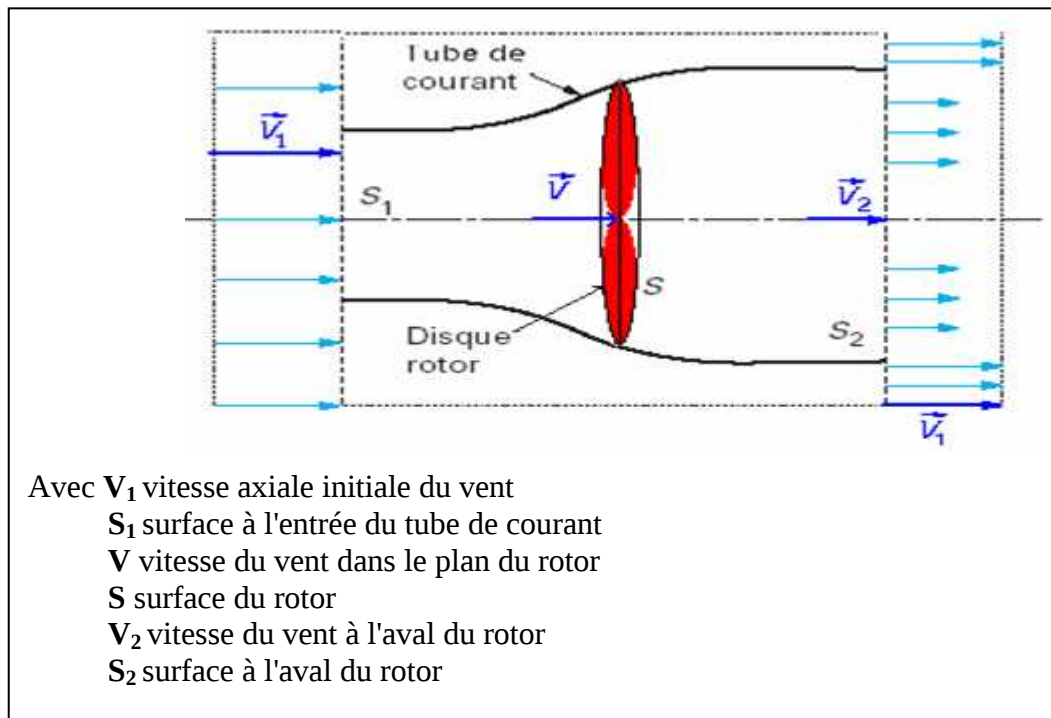


Figure III.7: Vitesse de l'eau au voisinage de l'hydrolienne

On trouve que la force exercée sur le rotor vaut $r S V (V_1 - V_2)$. Puis on montre que $V = \frac{1}{2} (V_1 + V_2)$. On recherche ensuite la puissance maximale que l'on peut récupérer. On l'obtient pour $V_2/V_1 = 1/3$.

Avec ce choix de, on obtient le rendement rotor maximal en puissance qui est d'environ 60%. C'est la loi de Betz. Ce résultat révèle que malgré tous les progrès que l'on aura beau réaliser, on ne pourra jamais extraire plus de 60% de l'énergie des courants.

De plus, il faut savoir que, dans la réalité, les prototypes atteignent seulement 40% en rendement rotor, et que, après conversion en énergie électrique, le rendement global se situe aux alentours de 20-25%. [20]

III.7 Etude de différentes technologies d'hydrolienne :

Une étude préalable est nécessaire avant toute mise en place d'un nouveau concept d'hydrolienne : les paramètres à prendre en compte lors de la conception d'une hydrolienne sont la vitesse des courants, les forces de poussée, la profondeur d'eau, la nature du fond marin, l'éloignement des côtes et la spécificité de l'environnement marin telle que la salinité de l'eau, la population végétale ou le régime des vagues, lié aux conditions météorologiques.

Tous ces paramètres permettent de déterminer le choix de la structure porteuse et du type de turbine. [20]

III.7.1 La technologie à axe horizontal :

III.7.1.1 Cas de Marine Current Turbin :

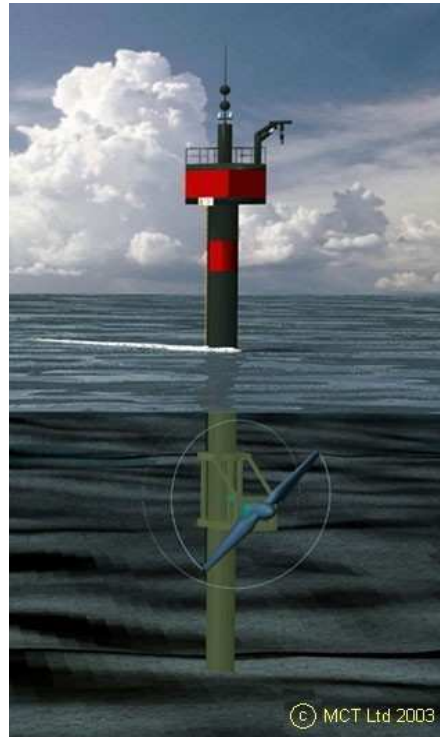


Figure III.8: Turbine à axe horizontale MCT Ltd

III.7.1.1.1 Description :

Ces turbines sont constituées de bi-pales à axe horizontal d'un diamètre avoisinant les 20m et elles peuvent produire une puissance comprise entre 500 et 1000 kW. Leur pieu en acier est fixé dans le fond marin. Elles comprennent un générateur conventionnel. Un système de contrôle, placé dans une cabine à 7m au-dessus de la mer, permet une surveillance facilitée. Leur rendement énergétique est estimé à environ 27%.

III.7.1.1.2 Avantages :

L'avantage principal de cette technologie est la possibilité de réaliser la maintenance hors de l'eau. On notera également la possibilité d'installer la turbine en double rotor et donc d'accroître la production pour un pilier donné. D'autre part, la grande adaptabilité de la structure porteuse et la possibilité de faire pivoter le bras autour du pieu sont deux autres atouts non négligeables. Enfin, ce modèle laisse espérer une durée de vie importante (20 ans) et il est à noter que peu de génie civil est à mettre en place pour sa réalisation. [20]

III.7.1.1.3 Inconvénients :

Toutefois, cette technologie est limitée par la profondeur marine qui ne peut excéder les 100 m et par une vitesse moyenne du courant relativement faible puisqu'elle doit être comprise entre 2,25 et 2,5 m.s⁻¹. De plus, le trafic maritime est restreint sur le site puisque les structures dépassent le niveau de la surface de la mer.

III.7.1.2 Cas de Hammerfest Strom AS



Figure III.9: Ferme d'hydroliennes (projet Hammerfest Strom AS)

III.7.1.2.1 Description :

Il s'agit d'un pieu tripode long de 20 m fixé par gravité au fond de la mer sur lequel est fixé un rotor à 3 pales de 10 m de long. Ces pales sont en matériaux composites renforcés par de la fibre de verre afin d'allier résistance et hydrodynamique. Cette hydrolienne est équipée d'un générateur conventionnel d'une puissance voisine de 600 kW par machine.

III.7.1.2.2 Avantages :

L'implantation des turbines à 17 m sous la surface procure à cette installation un net avantage sur ses concurrentes puisqu'elle rend la navigation possible au-dessus des champs d'hydroliennes. De plus, il est possible de l'installer à proximité des côtes puisque la discrétion visuelle et acoustique est assurée.

III.7.1.2.3 Inconvénients :

Il s'agit là d'un système peu compact et dont la profondeur maximale d'implantation n'est que de 50 m. Les experts de Hammerfest Strom AS ont noté des légers mouvements

de sédiments observés sur la zone d'essai et des fuites d'huile du multiplicateur sur les prototypes, mais ce risque est commun à toutes les technologies. [20]

III.7.2 La technologie à axe vertical (Ponte Di Archimede) :

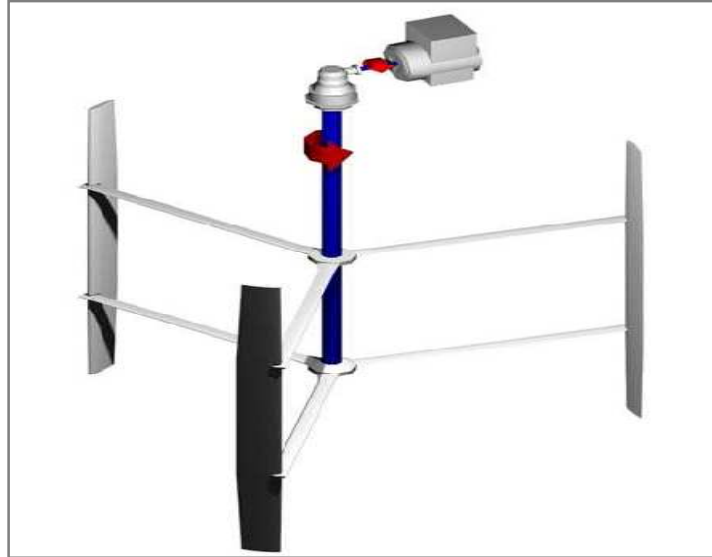


Figure III.10 : Hydrolienne à axe verticale (projet Ponte Di Archimede)

III.7.2.1 Description :

Ce prototype est constitué d'une plate-forme flottante ancrée en 4 points reliée à une génératrice synchrone 3 phase. Les 3 pales en acier sont recouvertes de résine de carbone et sont portées chacune par 2 bras radiaux en fibre de verre. La puissance obtenue est de 120 kW pour un courant de $3,5 \text{ m.s}^{-1}$, ce qui correspond à un rendement d'environ 23%.

III.7.2.2- Avantages :

Un des plus gros atouts de ce modèle est que le sens de rotation est indépendant du sens du courant. De plus, le couple de démarrage étant très important, le démarrage peut se faire de manière autonome. On notera également la flexibilité de la structure porteuse par rapport à la profondeur du site et la possibilité de placer le générateur hors de l'eau. Enfin, l'impact environnemental reste très faible. [20]

III.7.2.3 Inconvénient :

L'éventuelle cavitation agit sur toute la pale.

III.7.3 La technologie « hydroplane » :



Figure III.11 : Structure hydroplane

III.7.3.1 Description :

La structure porteuse – d'une hauteur d'environ 20 m – est un trépied fixé sur le fond océanique par gravité. L'« hydroplane » fait face au courant mais son angle d'attaque est variable, l'amplitude maximale étant d'environ 50°. Les oscillations du bras entraînent le pompage du fluide qui alimente un moteur hydraulique couplé à un générateur électrique. On estime la puissance dégagée à 150 kW, soit un rendement de 20%.

III.7.3.2 Avantages :

L'avantage principal de l'« hydroplane » est – du fait de la forme des pales – l'absence quasi-totale de risque de cavitation. De plus, tout comme la technologie développée par Hammerfest Strom AS, la navigation au dessus du site est possible car le système est totalement immergé.

III.7.3.3 Inconvénients :

Le seul inconvénient de ce prototype est que la profondeur marine doit être inférieure, à 100 m. [20]

III.8 La Production l'énergie électrique :

La génératrice convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

Les génératrices des hydroliennes diffèrent un peu des autres types de génératrices est raccordées au réseau électrique. Une des raisons expliquant cette différence est que la génératrice d'une hydrolienne doit pouvoir fonctionner avec une source de puissance (c'est-à-dire le rotor de l'hydrolienne) qui fournit une puissance mécanique (un couple) très variable.

III.8.1 La génératrice synchrone :

III.8.1.1 Principes des génératrices (ou moteurs) triphasées :

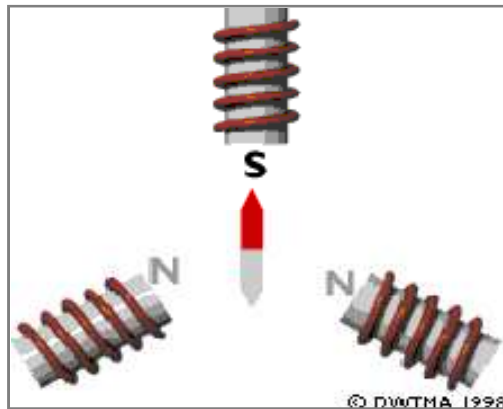


Figure III.12: Schéma d'une génératrice triphasée

L'ensemble des génératrices (ou moteurs) triphasées utilisent un champ magnétique tournant. Sur la figure ci-dessus, on peut observer trois électroaimants dans un cercle. Chaque électroaimant est raccordé à sa propre phase dans un réseau électrique triphasé.

Chacun des électroaimants produit alternativement un pôle sud et un pôle nord vers le centre. Les lettres sont marquées en noir lorsque le magnétisme est fort, et en gris clair lorsque le magnétisme est faible. La fluctuation du magnétisme correspond exactement à celle de la tension de chaque phase. Lorsqu'une des trois phases atteint son maximum, le courant circule dans les deux autres dans le sens inverse et à demi-tension. Comme le courant traversant chacun des trois aimants se trouve toujours décalé d'un tiers de période par rapport au précédent, le champ magnétique fera un tour entier par cycle.[2]

III.8.1.2 Hydroliennes avec des génératrices synchrones :

Dans le rotor d'une hydrolienne avec une génératrice synchrone, on installe normalement des électroaimants alimentés par le courant continu du réseau électrique.

Comme le réseau électrique fournit du courant alternatif, il faut le convertir en courant continu avant qu'il soit envoyé aux bobines roulées autour des électroaimants du rotor.

Les électroaimants du rotor sont branchés au courant au moyen de brosses et de bagues collectrices fixées à l'arbre de la génératrice.[20]

III.8.2 La génératrice asynchrone (génératrice à induction) :

L'image ci-dessous montre les principes fondamentaux de la génératrice asynchrone, principes qui ressemblent beaucoup à ceux présentés aux pages précédentes. En fait, c'est seulement le rotor qui a l'air différent, comme on peut le voir un peu plus loin.



Figure III.13 : Schéma d'une génératrice asynchrone

La plupart des hydroliennes du monde utilisent une génératrice asynchrone triphasée à cage (d'écureuil), appelée aussi génératrice à induction, pour produire du courant alternatif.

Ce type de génératrice n'est en fait que très rarement utilisé, sauf dans l'industrie éolienne et dans les petites centrales hydrauliques. Nonobstant, on a une assez bonne connaissance de cette technique.

Le fait curieux de ce type de génératrice est qu'elle fût originalement conçue comme un moteur électrique. En fait, un tiers de la consommation mondiale d'électricité est utilisé pour faire fonctionner des moteurs à induction qui actionnent des machines, pompes, ventilateurs, compresseurs, ascenseurs et d'autres types d'équipement requérant la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Un avantage de cette génératrice est qu'elle est très fiable et relativement peu onéreuse par rapport à d'autres types de génératrices. Elle a également quelques caractéristiques

mécaniques qui la rendent très appropriée pour la conversion de l'énergie hydrolienne (glissement de la génératrice ainsi qu'une certaine capacité de surcharge).[20]

III.9 Transport et Raccordement au réseau:

Une hydrolienne peut être construite avec une génératrice synchrone ou asynchrone raccordée au réseau sous plusieurs formes, directement ou indirectement.

Le raccordement direct au réseau signifie que la génératrice est raccordée directement au réseau à courant alternatif (triphasé en général).

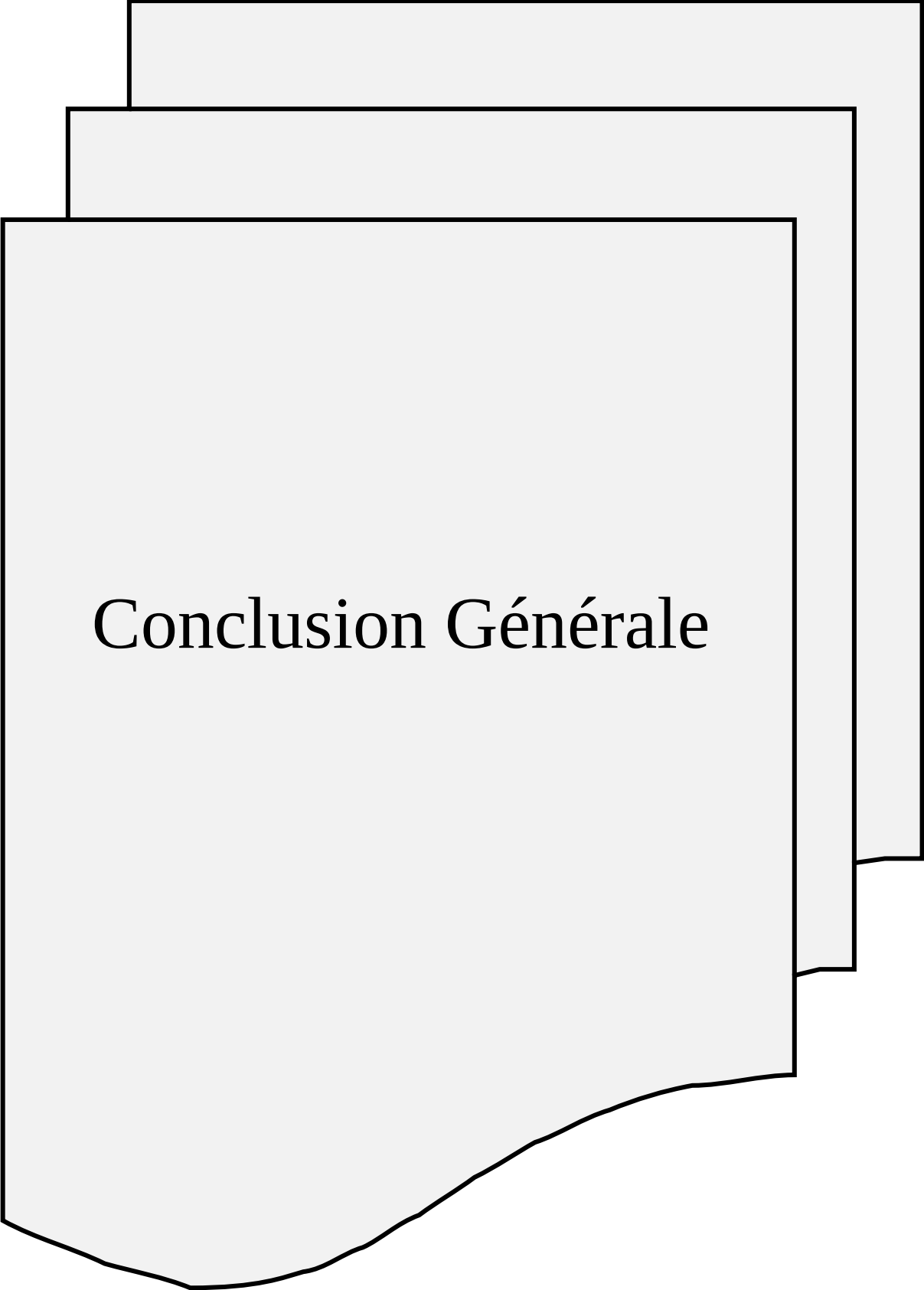
Par opposition, il existe le raccordement indirect au réseau qui signifie que le courant produit par l'hydrolienne traverse une série de dispositifs électriques ajustant le courant de façon à correspondre à celui du réseau. Avec une génératrice asynchrone, un tel ajustement a lieu automatiquement.[20]

III.10 Conclusion:

On a démontré que les courants marins sont une source d'énergie inépuisable (les vents et la marée sont immuables), propre (les vents et la marée sont naturels) et prédictible (le sens des courants est constant). Également, en ce qui concerne le mode de fonctionnement de l'hydrolienne, cette dernière exploite les courants marins pour produire de l'électricité et sa production d'électricité peut être facilement optimisée (par exemple en modifiant la longueur des pales, le type du générateur et de l'accumulateur, ...

Enfin, concernant les différents projets et types d'hydroliennes ainsi que leurs impacts environnementaux : le nombre important de types d'hydroliennes différents révèle la capacité de l'hydrolienne à s'adapter à son environnement (elle peut être en chaîne au fond des fleuves, avec un mât dans les endroits plus profonds) ; la diversité des projets indique que l'hydrolienne peut facilement évoluer et s'améliorer. Et a expliqué les différents types de génératrice, qui contribuent à la production d'énergie électrique, ainsi transport et raccordement au réseau pour être utilisés dans des buts différents.

.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail est consacré à l'étude de production d'énergie électrique par les courants marins on avons parler la présentation du concept des énergies renouvelables et leurs historiques. Par la suite on va présenter ces énergies en résumant leurs avantages et leurs inconvénients. On terminera par une synthèse sur l'énergie marémotrice en particulier,

En second lieu on nous avons étudié le types d'énergies marines où avons montré les causes de mares est nouvelle Lune, premier Quartier, pleine Lune , et dernier Quartier qui résulte de l'application de deux forces sur la Terre, force d'attraction gravitationnelle et force centrifuge puis nous avons parlé sur l'origine,les types Puis nous avons parlé de l'origine et les types de courants océaniques, où Pena a dit il ya deux types de courants et le role des courants marins, La circulation océanique horizontale, notamment celle à grande échelle, qui est généralement mise en mouvement par les vents et les courants qui vont des profondeurs des océans vers la surface puis replongent vers les profondeurs. C'est pourquoi ce courants ont un rôle important dans le climat mondial, surtout en régulant et dispersant la chaleur des continents qu'ils bordent et en entretenant l'humidité de l'air .

Enfin, nous décrivons et le mode de fonctionnement de l'hydrolienne l'outil le plus important pour la production d'énergie électrique par les courants marins. Quel est l'élément le plus important dans la production d'énergie électrique par les courants marins.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: Eric Neumayer, sources des developement
 - [2]: Fabrice Bordet, guide pratique de l'éducation a l'énergie
 - [3]: Jean Hladik, "Energétique éolienne", Chauffage éolien. Production d'électricité Pompage. 1984. Pompage.
 - [4]: SOFINCO, un joli pays
 - [5]: Slimane Wissem « Energie éolienne » mémoire de fin d'études, Université de Batna, 2004.
 - [6]: Biblio-internet, Graphiques en anneaux
 - [7]: Report Fraud et Abuse, Radiation Exposure and Cancer
 - [8]: Encyclopédie multimédia, Atlas et organise-notes, Microsoft encarta, collection 2004
 - [9]: Encyclopédie Multimédia, Atlas et organise notes, Microsoft encarta collection 2005
 - [10]: ECRIN, TPE les énergies de l'océan
 - [11]: Bill Gates ,à propos de l'énergie : Innover vers le zéro carbone
 - [12]: Fondation énergies pour le monde, l'énergie c'est la vie
 - [13]: Sven Geitmann, Energies renouvelables et Carburants alternatifs, Hydrogeit Verlag, août 2007
 - [15]: Bellaroussi- Ahmed Salah- Sedira « Génération de l'énergie électrique par éolienne » mémoire de fin d'étude, centre universitaire d'El Oued 2007.
 - [16]: Khazzani djamel « production d'énergie hydroélectrique » mémoire de fin d'étude , Université de Annaba, 2009.
 - [17]: studio BELEK, Portail d'information dédié aux Energies renouvelables
 - [18]: Share Alike , Accédez aux articles d'Ekopedia concernant l'Énergie
 - [19]: J.F. Daviau-F. Guena-J. Ruer « Divers aspects de l'exploitation de l'énergie des courants marins » Publication SeaTech Week (corrigée) – Brest - 20-21 octobre 2004
 - [20]: projet ADEM1: « Les Hydroliennes » groupe 12A .mai 2005
-