



Département de sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité industrielle
Spécialité : sécurité industrielle et environnement

Thème

Etude environnementale d'une installation hydro-éolienne (Colonne d'eau oscillante)

Présenté et soutenu publiquement par :

**Nom et Prénom : HAUCHE FARAH DJIHENE
OMARI HACHEM**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
HEBBAR. C.	<i>Prf</i>	IMSI	Présidente
NADJI. A.	<i>MCA</i>	IMSI	Examineur
DERRAR. B. O.	<i>MCA</i>	USTO.	Co- Encadreur
ADJLOUA. A.	<i>MCA</i>	IMSI	Encadreur

Année 2022/2023

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu pour tout le courage et la force qu'il nous a donné pour faire ce travail

Merci à toutes nos familles et surtout nos parents.

*Nos remerciements spéciaux vont à **Dr ADJELOUA** notre encadreur et **Dr DERRAR** notre co-encadreur de mémoire pour sa gentillesse, pour ces conseils et de nous avoir guidés pas à pas dans notre travail.*

*Notre reconnaissance à **Dr HABBER Chafika** d'avoir accepté de présider le jury de notre soutenance.*

*On remercie **Dr NADJI AMINE** d'avoir accepté d'examiner notre travail*

Enfin, nous remercions, tous nos amis et nos collègues, toutes les personnes qui nous ont encouragées soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

❖ *Deux âmes les plus chères au monde mon père et ma mère sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quelque soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.*

❖ *Mon cher binôme **HACHEM** et toute sa famille.*

❖ *Mes amis **WISSEM, HADJER, ASMA, MARWA, NEDJET** et tous mes amis*

❖ *Tous qui m'ont soutenue tout au long de cette période.*

Farah Djihene.

Pour mon cher père, qui restera toujours dans mon cœur

Aujourd'hui, alors que je franchis les derniers pas de mon parcours académique, je ne peux m'empêcher de penser à toi. Ta présence aimante et ton soutien constant ont été des fondations solides sur lesquelles j'ai bâti ma vie et mes accomplissements.

Cher père, même si tu n'es plus parmi nous physiquement, ton esprit continue de me guider et de m'encourager. Chaque jour, je puise dans les valeurs que tu m'as inculquées, ta détermination inébranlable et ton amour pour l'apprentissage.

J'avais un héros dans ma vie, tu m'as traitée comme ta petite princesse. Je t'aimerai toujours, mon cher père, tu m'as donné une vie formidable.

Merci beaucoup, papa.

Je vais terminer ma vie sans toi physiquement, mais tu seras toujours dans mon cœur, mon papa.

Avec gratitude, je dédie ce diplôme à ta mémoire. Chaque réussite qui découle de mes efforts est un hommage à ton héritage. Tu seras toujours mon modèle de force et de courage.

*ربي إن أبي كان رحيمًا فارحمه وكان طيب القلب فطيب مرقدته وكان كريمًا فأكرم نزلته، اللهم أحسن إليه كما أحسن لنا اللهم أنعم عليه من نعم الجنة نعيمًا خالدًا لا يفنى ولا يزول وأن تكتبه من الذين لا خوف عليهم ولا هم يحزنون وموتى المسلمين اجمعين
إننا لله وإنا إليه راجعون أسأل الله له الرحمة والمغفرة*

Farah Djihene.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

❖ *Deux âmes les plus chères au monde mon père et ma mère sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quelque soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.*

❖ *Mes amis **ABDREZAK, HAKIM, MARWA, NEDJET** et tous mes amis*

Tous qui m'ont soutenue tout au long de cette période

HACHEM

RESUME

La demande croissante en énergie a suscité un intérêt croissant pour les énergies renouvelables en raison de leur contribution potentielle à un avenir énergétique durable. Parmi ces sources d'énergie, l'énergie renouvelable marine, notamment l'énergie hydrolienne, a été identifiée comme une solution prometteuse. Cependant, son utilisation comporte à la fois des avantages et des inconvénients.

D'une part, les énergies marines renouvelables offrent des avantages non négligeables. Il permet l'utilisation durable des ressources marines et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, cela pourrait stimuler la création d'emplois dans des secteurs tels que la construction et l'entretien des infrastructures maritimes.

D'autre part, les énergies marines renouvelables peuvent également avoir un impact négatif. L'installation d'infrastructures marines peut perturber les écosystèmes marins et affecter la faune et les habitats marins. De plus, les activités liées aux énergies marines renouvelables, telles que la génération d'ondes sonores, peuvent interférer avec les mammifères marins et d'autres organismes sensibles. Il est donc crucial de tenir compte de ces impacts négatifs lors de la planification et de la mise en œuvre de projets d'énergies marines renouvelables.

Dans notre mémoire, nous nous concentrerons spécifiquement sur les impacts environnementaux des installations hydroliennes. Nous analyserons en détail les conséquences positives et négatives de ces infrastructures sur l'environnement marin, en accordant une attention particulière aux aspects écologiques et aux interactions avec les activités humaines. En comprenant ces impacts, nous pourrons élaborer des stratégies appropriées pour minimiser les impacts négatifs et promouvoir une utilisation responsable de l'énergie renouvelable marine.

Abstract

The growing demand for energy has sparked increasing interest in renewable energies due to their potential contribution to a sustainable energy future. Among these energy sources, marine renewable energy, particularly tidal energy, has been identified as a promising solution. However, its utilization comes with both advantages and disadvantages.

On the one hand, marine renewable energies offer significant benefits. They enable the sustainable use of marine resources and contribute to the reduction of greenhouse gas emissions. Additionally, they have the potential to stimulate job creation in sectors such as the construction and maintenance of marine infrastructure.

On the other hand, marine renewable energies can also have negative impacts. The installation of marine infrastructure can disrupt marine ecosystems and affect marine fauna and habitats. Moreover, activities related to marine renewable energies, such as sound wave generation, can interfere with marine mammals and other sensitive organisms. It is therefore crucial to consider these negative impacts when planning and implementing marine renewable energy projects.

In our research, we will specifically focus on the environmental impacts of tidal energy installations. We will analyze in detail the positive and negative consequences of these infrastructures on the marine environment, paying particular attention to ecological aspects and interactions with human activities. By understanding these impacts, we can develop appropriate strategies to minimize negative effects and promote responsible use of marine renewable energy.

ملخص

لطلب المتزايد على الطاقة أثار اهتمامًا متزايدًا بالطاقة المتجددة بسبب إسهامها المحتمل في مستقبل الطاقة المستدامة. من بين هذه المصادر الطاقية، تم تحديد الطاقة المتجددة البحرية، ولا سيما طاقة الأمواج، كحلاً واعدًا. ومع ذلك، يترتب على استخدامها مزايا وعيوب في نفس الوقت.

من جهة، توفر الطاقة المتجددة البحرية فوائد كبيرة. فهي تمكن من الاستخدام المستدام للموارد البحرية وتسهم في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تعزز إنشاء وظائف في قطاعات مثل البناء وصيانة البنية التحتية البحرية. من ناحية أخرى، يمكن للطاقة المتجددة البحرية أن تكون لها تأثير سلبي أيضًا.

فتركيب البنية التحتية البحرية يمكن أن يؤدي إلى تعكير البيئة البحرية والتأثير على الحياة البرية والمواطن البحرية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتداخل الأنشطة المتعلقة بالطاقة المتجددة البحرية، مثل توليد الموجات الصوتية، مع الثدييات البحرية وغيرها من الكائنات الحساسة. لذا فإنه من الضروري أخذ هذه التأثيرات السلبية في الاعتبار عند التخطيط وتنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة البحرية. في بحثنا، سنركز على وجه التحديد على التأثيرات البيئية لتركيبات طاقة الأمواج. سنحلل بالتفصيل الآثار الإيجابية والسلبية لهذه التركيبات على البيئة.

Index de figures

Chapitre I

- Fig. I.1 Concept d'énergie hydrolienne
- Fig. I.2 Puissance hydrolienne installée dans le monde en MW (2015).
- Fig. I.3 Part des énergies marines dans la production mondiale d'électricité
- Fig. I.4 Estimation des potentiels techniques (Exploitable mondiaux)
- Fig. I. 5 Différents installations éolienne offshore
- Fig. I. 6 L'essor de l'éolien offshore en mer du Nord
- Fig. I. 7 Les impacts de l'éolien en mer sur la biodiversité.
- Fig I. 8 Principe de la technologie *OTEC*
- Fig I. 9 Centrale océanothermique Mini-OTEC
- Fig. I. 10 Exemple d'installation d'énergie *des vagues*
- Fig I. 11 Quelques exemples d'énergie marémotrice.
- Fig. I. 12 Exemple d'une centrale gravitaire.
- Fig. I. 13 Quelques exemples d'installations d'énergie hydrolienne.
- Fig. I. 14.a Centrales marémotrices
- Fig. I. 14.b Installation vague d'énergie.
- Fig. I. 14.c Usine marémotrice
- Fig. I. 15 Microcentrales Hydroélectriques.
- Fig. I. 16 La faune marine
- Fig. I. 17 Organismes marins
- Fig. I. 18 Bruits sous-marins

Chapitre II

- Fig. II. 1 Systèmes de flotteurs (*Systèmes houlomoteurs bords à quai*).
- Fig. II. 2 Systèmes de colonnes d'eau oscillantes.
- Fig. II. 3 Pales articulées.
- Fig. II. 4 Ensemble de flotteurs
- Fig. II. 5 Verin hydraulique dans chaque articulation.
- Fig. II. 6 Dispositif qui absorbe l'énergie du mouvement
- Fig. II. 7 Convertisseur Oscillant

- Fig. II. 8.a *L'OYSTER 800* [20].
- Fig. II. 8.b Colonne d'eau oscillante
- Fig. II. 8.c Le wave dragon.
- Fig. II. 9 Systèmes de pression différentielle submersibles
- Fig. II. 10 Le *Wave swing*
- Fig. II. 11 Les systèmes à rotation de masse.
- Fig. II.12 Le système Bulge wave (*système Anaconda*).
- Fig. II. 13 Caractéristiques d'une vague
- Fig. II. 14 La profondeur de la mer (*bai d'Oran / golfe d'Arzew*).
- Fig. II. 15 Variation de l'intensité des vagues dans la méditerranée
- Fig. II. 16 Comparaison entre les modèles d'énergies houlomotrice.

Chapitre III

- Fig. III. 1 La situation géographique d'Oran.
- Fig. III. 2 Situation géographique de la commune Kristel Gdyel.
- Fig. III. 3 Choix de la position.
- Fig. III. 4 La courbe de records des précipitations c à Oran.
- Fig. III. 5 Butin de la température durant tout l'année.
- Fig.III.6 La température de l'eau Kristell.
- Fig. III. 7 La vitesse de vent dans la mer méditerrané.
- Fig.III.8 La rose des vents.
- Fig. III. 9 Niveau de confort selon l'humidité.

Chapitre IV

- Fig. IV. 1 Type d'installation (*OWC*).
- Fig. IV. 2 Mission avant-projet de notre Model.
- Fig. IV. 3 Localisation Réel "CAP DE L'AIGUILLE".
- Fig. IV. 4 Système des projecteurs sonores (*Sound array system*).
- Fig. IV. 5 Fréquences de différents espèce marine.

Index des tableaux

Chapitre 1

- Tab. I. 1 Quelques avantages / contrainte de l'éolien offshore.
- Tab. I. 2 Quelques avantages / inconvénients de la technologie OTEC.
- Tab. I. 2 Quelques avantages / inconvénients de la technologie OTEC.
- Tab. I. 4 Quelques avantages / inconvénients de l'énergie marémotrice.

Chapitre 2

- Tab. II. 1 Comparaison entre différentes technologies d'énergies houlomotrices.
- Tab. II. 2 Analyse *SWOT* du modèle "Colonne d'eau oscillante".

Chapitre 3

- Tab.III.1 Réglementation
- Tab.III.2a Le contenu de l'étude d'impact sur l'environnement
- Tab.III.2b Climat de wilaya d'Oran
- Tab.III.3 Historiques de séismes dans le nord d'Algérie
- Tab. III.4 Evaluation des Impacts en Période de Construction
- Tab. III. 5 Evaluation des Impacts en Période d'Exploitation.
- Tab.III.6 Mesures d'atténuation pendant l'exploitation de l'OWC
- Tab. III.7 Mesures d'atténuation pendant de construction de l'OWC.
- Tab. III. 8 Plan de Gestion Environnementale.
- Tab. III.9 Evaluation des coûts des mesures compensatoires.
- Tab.III.10 Classification des impacts Environnementaux (positifs).

Index des abréviations

R-134a	Le R-134a est un réfrigérant alternatif au R-12 pour le retrofiting des installations ou pour installations neuves. C'est très utilisé dans systèmes d'air conditionné des voitures et réfrigérateurs domestiques
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion power plant
OWC	Oscillating water Colomn
LIMPET	Land Installed Marine Power Energy
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
Weather online	Website météorologique mondiale
Navionics carte	Carte nautique mondiale
Seatemperature.info	Statistique mondiale de l'état de la mer
FGS	Fish guidance system

Sommaire

Remerciement	3
Dédicace	4
Résumé	8
Abstract	9
ملخص	10
Index des Figures	11
Index des Tableaux	13
Index d'Abréviations	14
Introduction	18
Chapitre I Historique et Généralité sur l'Energie Hydrolienne	21
I.1. Introduction	22
I.2. Historique et Développent de l'Energie Hydrolienne	23
I.3. Diffèrent Types d'Energie Marines	25
I.3.1. Type 1 (L'éolien en mer ou éolienne offshore)	26
I.3.1.1. <i>Raisons / Utilisation</i>	27
I.3.1.2. <i>Avantages / Inconvénients</i>	27
I.3.2. Type 2 (L'énergie thermique des mers)	28
I.3.2.1. <i>Raisons / Utilisation</i>	30
I.3.2.2. <i>Avantages / Inconvénients</i>	30
I.3.3. Type 3 (L'énergie houlomotrice)	31
I.3.3.1. <i>Raisons / Utilisation</i>	31
I.3.3.2. <i>Avantages / Inconvénients</i>	32
I.3.4. Type 4 (L'énergie marémotrice ou hydrolienne)	32
I.3.4.1. <i>Raisons / Utilisation</i>	33
I.3.4.2. <i>Avantages / Inconvénients</i>	35
I.4. Aspect Environnemental de l'Energie Marine Renouvelable	35
I.4.1. Impact sur la faune marine	35
I.4.2. Modification de l'habitat marin	36
I.4.3. Pollution sonore	37
I.4.4. Risques pour la navigation	37
I.5. Conclusion	38
Chapitre II Aspect Technico-Environnementale des Installations Hydroliennes	39
2.1. Introduction	40
2.2. Principe de Fonctionnement	41
2.3. Les Systèmes Houlomotrice Existent	42
2.3.1. Attenuator	42
2.3.2. Point d'absorber	43
2.3.3. Oscillating wave surge converter	44
2.3.4. Oscillating wave column	44
2.3.5. Overtopping device	45
2.3.6. Submerged pressure differential	46
2.3.7. Les rotating mass device	47
2.3.8. Bulge wave	48
2.4. Théorie des Vagues appliqué à l'Energie Houlomotrice	48
2.4.1. Définition d'une vague	49
2.4.2. Caractéristiques d'une vague	49

2.4.3.Énergie d'une Vague	50
2.4.4.État de la Mer	50
2.4.4.1. <i>Profondeur</i>	50
2.4.4.2. <i>État de la mer</i>	51
2.5. Évaluation Technique d'un Choix de Modèle d'Étude	52
2.5.1. Ressources houlomotrices	52
2.5.2. Technologie de conversion de l'énergie	52
2.5.3. Conditions environnementales	53
2.5.4. Fiabilité et maintenance	53
2.5.5. Évaluation comparative	54
2.5.6. Analyse "SWOT"	54
2.6. Conclusion	58
Chapitre III Évaluation des Impacts Environnementaux	59
3.1. Introduction	60
3.2. Règlementation	61
3.3. Évaluation des Impacts Environnementaux	63
3.4. Contexte du travail	63
3.4.1. Situation géographique d'Oran	63
3.4.2. Situation géographique de la commune de Kristel Gdyl :	64
3.4.3. Précipitations de wilaya d'Oran	65
3.4.4. Climat	66
3.4.5. Température	66
3.4.6. La température de l'eau kristel (mer méditerranée)	67
3.4.7. Le vent	68
3.4.8. L'humidité	69
3.4.9. La détermination de l'étage climatique de la région d'étude	69
3.5. Risque et catastrophe naturelles	70
3.5.1. Sismicité	71
3.5.2. Hydrologie	71
3.6. Impact sur le Milieu Naturel	71
3.6.1. Impact sur le milieu marin	71
3.6.1.1. <i>Impacts sur les courants et les vagues</i>	71
3.6.1.2. <i>Impacts sur la qualité de l'eau</i>	72
3.6.2. Impact sur la faune	72
3.6.3. Impact sur la flore	72
3.6.4. Impact sur le sol	72
3.7. Impact sur le Voisinage	73
3.7.1. Impact sur l'air	73
3.7.2. Impact paysager	73
3.7.3. Impact sonore	74
3.7.4. Impact sur le trafic et la sécurité	74
3.7.5. Impact lié aux travaux de mise en exploitation	75
3.8. Bilan d'Évaluation des Impacts en Période de Construction	76
3.9. Bilan d'Évaluation des Impacts en Période d'Exploitation	78
3.10. Mesure d'Atténuation des Impacts Significatifs Pendant l'Exploitation de l'OWC	79
3.10.1. Mesures d'atténuation pendant l'exploitation de l'OWC	79
3.10.2. Mesures d'atténuation pendant la construction de l'OWC	80

3.11.	Plan de Gestion Environnementale	81
3.11.1.	Surveillance et suivi pendant l'exploitation	82
3.11.2.	Evaluation des couts des mesures compensatoires	83
3.12.	Des Impacts Environnementaux (<i>positifs</i>)	83
3.12.1.	Impacts positifs sur l'environnement	83
3.12.2.	Impacts positifs sur l'économie	84
3.12.3.	Impact technologique positif	84
3.12.4.	Impact social positif	84
3.13.	Raisons de Mettre en Place des Systèmes <i>OWC</i>	87
3.14.	Conclusion	89
Chapitre IV		
IV.1.	Introduction	91
IV.2.	Modèle de Notre Type	92
IV.3.	La Localisation Réel	93
IV.4.	Solution Clé pour Protection de l'Environnement	94
IV.4.1.	L'écosystème côtiers et marin de l'Algérie	94
IV.4.2.	Le concept d'utilisation d'un système de sonorisation en réseau pour guider les poissons	94
IV.5.	Projecteur de Son Array (<i>SPA</i>)	95
IV.6.	Conclusion	97
	Conclusion Générale	98
	Liste des ANNEXES	100
	Références	104

Introduction Générale

Introduction

Le monde fait face à de grands défis en matière d'énergie depuis de nombreuses années. La croissance démographique, le développement économique et l'augmentation de la demande en énergie ont rendu nécessaire le développement de sources d'énergie propres et durables. Les sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie éolienne, solaire et hydrolienne sont considérées comme les plus prometteuses pour répondre à ces besoins.

En tant qu'ingénieurs en ingénierie, nous avons une passion particulière pour les opportunités de développement de l'énergie renouvelable en mer. Les vagues, les courants et les marées peuvent offrir une source considérable d'énergie renouvelable qui peut être utilisée pour alimenter les communautés côtières et les réseaux électriques. Dans ce mémoire, nous allons examiner en profondeur les différents aspects de l'énergie renouvelable maritime, y compris la technologie, les politiques, les défis financiers, ainsi que les aspects sécuritaires et environnementaux. Notre objectif est de fournir une analyse approfondie de l'énergie renouvelable maritime et d'identifier les opportunités pour son développement futur.

L'énergie hydrolienne est produite à partir de l'énergie cinétique de l'eau en mouvement, telle que celle des rivières, des chutes d'eau ou des vagues. Elle est convertie en électricité à l'aide de turbines hydroélectriques, qui sont alimentées par l'eau en mouvement pour faire tourner une génératrice électrique. C'est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus fiables et les plus anciennes utilisées par l'humanité. Il existe différents types d'installations hydroélectriques, notamment les centrales hydroélectriques, les microcentrales hydroélectriques et les turbines à courant de marée. Les centrales hydroélectriques les plus courantes utilisent un barrage pour retenir l'eau et la diriger vers des turbines, tandis que les microcentrales hydroélectriques sont généralement utilisées pour alimenter de petites communautés ou des bâtiments isolés. Les turbines à courant de marée utilisent l'énergie des marées pour faire tourner les turbines.

L'énergie hydrolienne est considérée comme une source d'énergie propre et renouvelable car elle ne produit pas de gaz à effet de serre ni de déchets nucléaires. Cependant, il peut y avoir des impacts environnementaux négatifs liés à la construction de barrages et à la perturbation des écosystèmes fluviaux.

Les énergies renouvelables maritimes, telles que l'énergie éolienne en mer et l'énergie des vagues, peuvent présenter des impacts environnementaux à la fois positifs et négatifs.

Impacts positifs

- **Réduction de l'empreinte carbone** : Les énergies renouvelables maritimes peuvent remplacer les sources d'énergie non renouvelables et polluantes, ce qui peut réduire les émissions de gaz à effet de serre et améliorer la qualité de l'air ;

- **Protection des écosystèmes côtiers** : Les énergies renouvelables maritimes peuvent aider à préserver les écosystèmes côtiers en réduisant les activités d'extraction de ressources non renouvelables ;
- **Économie locale** : Les énergies renouvelables maritimes peuvent stimuler l'économie locale en créant des emplois et en encourageant les investissements.

Impacts négatifs

- **Impact sur la faune marine** : La construction de parcs éoliens en mer peut affecter les migrations des poissons et d'autres espèces marines, ainsi que la qualité de l'habitat sous-marin ;
- **Risques pour les activités de navigation** : Les éoliennes en mer peuvent être un danger pour les navires et les activités de pêche, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires pour les entreprises et les gouvernements ;
- **Coûts élevés** : La construction de parcs éoliens en mer peut être coûteuse, ce qui peut entraîner des défis financiers pour les gouvernements et les entreprises.

Dans ce mémoire, nous souhaitons vous présenter les évaluations de notre étude sur le thème de l'énergie houlomotrice. Nous avons consacré beaucoup de temps et d'efforts à la collecte et à l'analyse de données sur cette source d'énergie renouvelable, et nous croyons que les informations que nous avons rassemblées seront utiles pour les personnes intéressées par ce domaine. Notre objectif est de fournir une compréhension claire et complète de l'énergie houlomotrice, en examinant les avantages et les inconvénients de son utilisation, ainsi que les défis et les opportunités associés à sa mise en œuvre. Nous espérons que notre étude permettra de sensibiliser davantage les gens à l'importance de l'énergie houlomotrice et contribuera à la promotion de cette source d'énergie renouvelable pour un avenir plus durable.

CHAPITRE .I.

Historique et Généralité sur l'Energie Hydrolienne

I.1. Introduction

L'énergie maritime, également connue sous le nom d'énergie des océans, fait référence à l'utilisation des ressources marines pour produire de l'énergie. Cela englobe différentes technologies, telles que l'énergie hydrolienne, l'énergie des vagues, l'énergie thermique des mers et l'énergie marémotrice. Ces sources d'énergie renouvelable exploitent les mouvements naturels de l'eau et les différences de température entre l'eau de mer et l'air pour générer de l'électricité.

L'histoire de l'énergie maritime remonte à plusieurs décennies, mais son développement à grande échelle est plus récent. Au fil des ans, des progrès significatifs ont été réalisés dans la recherche, le développement et la mise en œuvre de ces technologies. L'énergie maritime présente un immense potentiel en tant que source d'énergie propre et durable, offrant des avantages environnementaux considérables par rapport aux combustibles fossiles.

I.2. Historique et Développement de l'Energie Hydrolienne

L'énergie marine désigne l'énergie dérivée de l'océan, y compris l'énergie des marées (Fig. I.1), des vagues et de la conversion de l'énergie thermique océanique (*OTEC*) [2]. L'histoire de l'énergie marine peut être retracée au début du XXe siècle, lorsque des scientifiques et des ingénieurs ont exploré pour la première fois l'idée de capter de l'énergie à partir des vagues et des marées de l'océan.

L'énergie des marées a été utilisée pour la première fois en 1966 avec la construction de la centrale d'énergie des marées de *Rance* en *France*, qui reste l'une des plus grandes installations d'énergie des marées au monde. Le concept d'utiliser l'énergie des vagues (Fig. I.1) pour produire de l'électricité a également été développé au début du XXe siècle, et des prototypes de dispositifs d'énergie des vagues ont été construits et testés au cours des décennies suivantes.

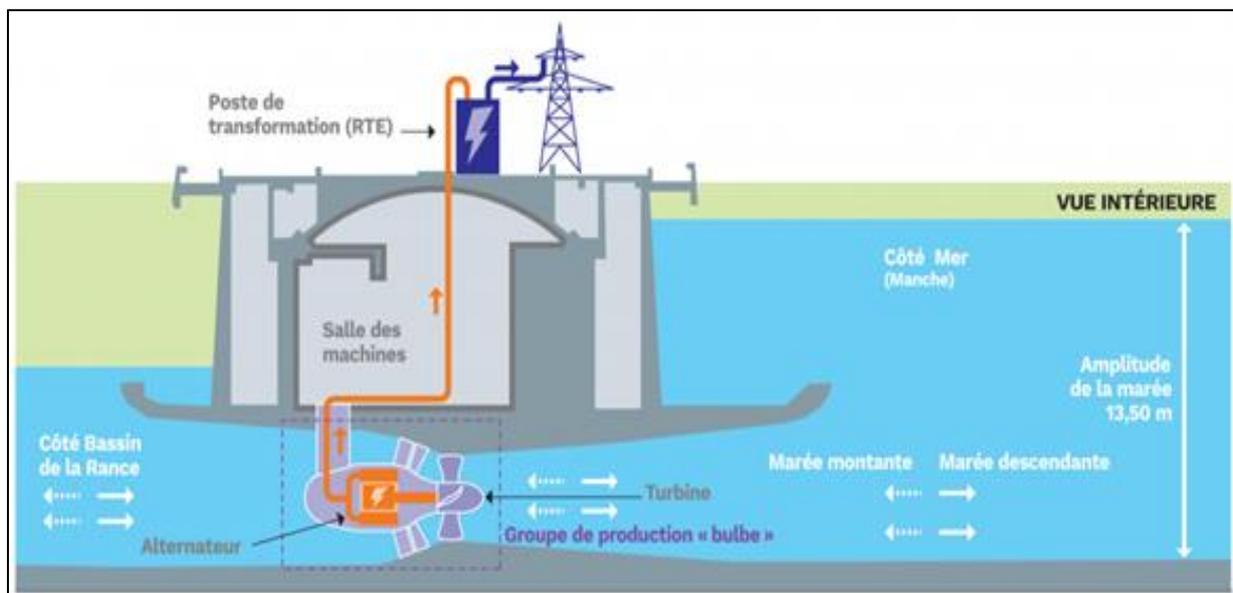


Fig. I.1- Concept d'énergie hydrolienne.

L'*OTEC* a été proposé pour la première fois comme moyen de produire de l'électricité dans les années 1870, mais ce n'est qu'au cours des années 1970 que des systèmes pratiques d'*OTEC* ont été développés et testés.

Ces dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour l'énergie marine en raison de son potentiel en tant que source propre et renouvelable d'électricité. Bien que la technologie soit encore à ses débuts de développement (Fig. I.2), plusieurs projets d'énergie marine de grande envergure dans le monde ont été proposés et se trouvent à divers stades de planification et de construction.



Fig. I.2 - Puissance hydrolienne installée dans le monde en MW (2015).

En général, l'histoire de l'énergie marine est une histoire d'innovation et de progrès, alors que les ingénieurs et les scientifiques ont travaillé à trouver des moyens de tirer parti du vaste potentiel énergétique de l'océan dans le monde (Fig. I.2 et I.3).

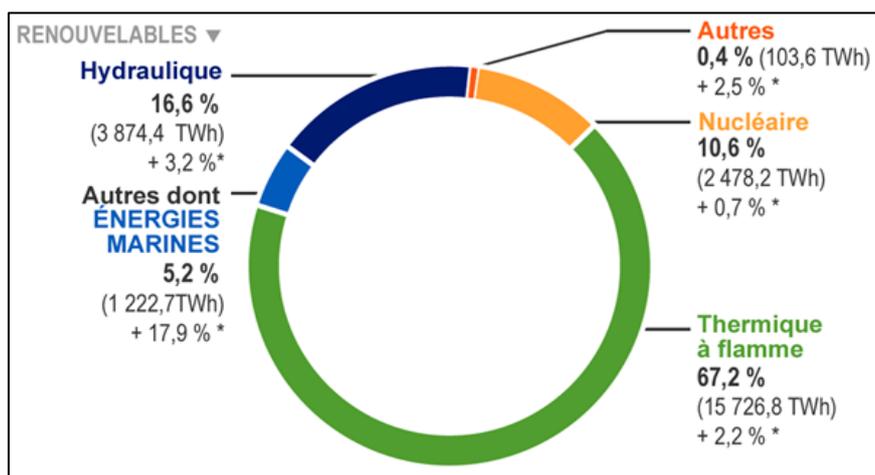


Fig. I.3 - Part des énergies marines dans la production mondiale d'électricité.

Le développement de la technologie d'énergie marine a été stimulé par une combinaison de préoccupations environnementales et de la nécessité de sources fiables et durables d'électricité. À mesure que les prix des combustibles fossiles ont augmenté et que les préoccupations concernant le changement climatique se sont accrues, le potentiel de l'énergie marine en tant que source propre et renouvelable d'électricité est devenu de plus en plus attractif (Fig. I.4).

Afin de respecter l'Accord de Paris et limiter la hausse des températures en dessous de 2°C, l'UE ambitionne d'atteindre la neutralité carbone en 2050 et a décidé en avril 2021 de

rehausser son objectif 2030 : une réduction nette d'au moins 55% des émissions de GES par rapport au niveau de 1990 (vs. 40% précédemment).

Les Énergies Marines Renouvelables (énergies issues des mers et des littoraux) regroupent 4 principales typologies de production :

- **Type 1** : L'éolien en mer ou éolienne offshore ;
- **Type 2** : L'énergie thermique des mers ;
- **Type 3** : La production houlomotrice, et ;
- **Type 4** : L'énergie marémotrice ou hydrolienne ;

Elles représentent un gisement énergétique qui paraît exceptionnel : d'un point de vue théorique celui-ci est estimé à 2000000 TWh/an selon le *World Energy Council* (Fig. I.4), soit plus de 10 fois la consommation primaire d'énergie mondiale [1].



Fig. I.4 - Estimation des potentiels techniques (Exploitable mondiaux) [World Energy Council, AIE].

Ce potentiel théorique ne sera jamais atteint, même partiellement, pour des raisons géographiques, économiques et techniques. Il est plus pertinent de se focaliser sur le Potentiel Technique Exploitable (PTE) : il s'agit des ressources dont l'exploitation est viable d'un point de vue technique et économique. Le potentiel mondial est alors estimé à 435 000 TWh/an dans les conditions économiques actuelles avec une répartition faisant la part belle à l'éolien en mer, posé et flottant.

I.3. Différent Types d'Energie Marines

Les énergies marines renouvelables comprennent l'ensemble des technologies permettant de produire de l'électricité à partir de différentes forces ou ressources du milieu marin tels que la houle, les courants, les marées et le gradient de température entre les eaux de surface chaudes et les eaux froides en profondeur.

Il existe plusieurs types d'énergie marine, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients et le mode d'utilisation.

I.3.1. Type 1 (L'éolien en mer ou éolienne offshore)

L'énergie éolienne en mer, également connue sous le nom d'*Eolienne Offshore* (Fig. I. 5), est une source d'énergie renouvelable qui exploite l'énergie cinétique du vent sur les zones marines pour produire de l'électricité. Les éoliennes en mer peuvent être installées sur des hauts-fonds, appelées éoliennes fixes, ou flottantes, qui peuvent être déplacées dans des zones de fonds marins peu profonds (Fig. I. 5).

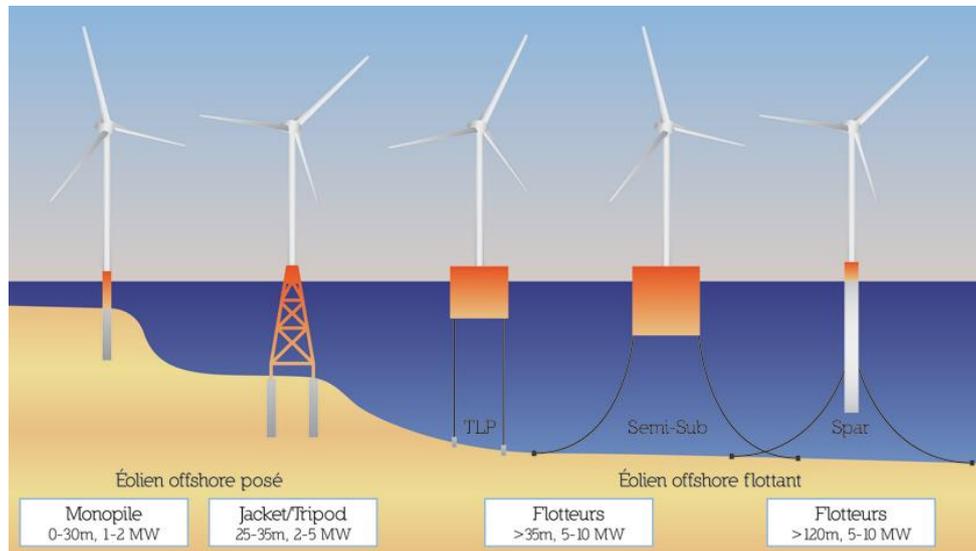


Fig. I. 5 – Différents installations éolienne offshore.

Le développement de l'industrie éolienne en mer a connu une croissance rapide ces dernières années en Europe, avec plus de 5000 éoliennes connectées et une puissance cumulée de 22,1 [GW] en 2019. Le Royaume-Uni et l'Allemagne sont les leaders de l'industrie, abritant à eux deux 78 % du parc éolien en mer en Europe [voir ANNEXE 1]. La mer du Nord, avec ses fonds peu profonds et une régulière disponibilité de vent, est un emplacement idéal pour l'installation d'éoliennes en mer (Fig. I. 6).



Fig. I. 6 - L'essor de l'éolien offshore en mer du Nord.

I.3.1.1. Raisons / Utilisation

Les installations offshore, également connues sous le nom de plates-formes offshore, sont des structures situées en mer pour l'exploration et la production de pétrole, de gaz et de l'électricité (Fig. I. 4, 5, 6). Elles sont utilisées pour diverses raisons et applications.

Il convient de noter que l'utilisation des installations offshore peut être controversée en raison de préoccupations environnementales et de la dépendance continue aux combustibles fossiles (Fig I. 7, Tab. I. 1). Cependant, elles jouent toujours un rôle important dans la production d'énergie mondiale (Fig I. 4).

I.3.1.2. Avantages / Inconvénients

L'aspect environnementale et socio-économique est également un critère à regarder de près (Tab. I. 1). Pour chaque projet, l'impact socio-économique sur les communes à proximité doit être réalisé afin d'engager une discussion avec les parties prenantes, parfois très nombreuses (associations, pêcheurs, élus, syndicats, administrations...). Par exemple, pour les parcs éoliens offshore actuellement en projet, l'impact visuel depuis la côte doit être pris en compte et être intégré comme une donnée source lors de la conception de l'agencement des éoliennes. L'aspect environnemental nous oblige d'un suivi des fonds marins, surveillance aérienne et suivi *GPS* font partie des mesures de pointe mises en place pour maîtriser les risques et les inconvénients liés aux éoliennes en mer (Fig I. 7, Tab. I. 1).

Avantages et inconvénients de l'éolien flottant	
Avantages	Contraintes
Economique	
Accès à des zones pouvant présenter de meilleurs potentiels éoliens	Coûts de la rupture de technologie encore mal maîtrisé
Technique	
Disparition de la contrainte liée aux types de sols	Stabilité de l'éolienne difficile à maîtriser
Possibilité d'assembler l'éolienne depuis le port (puis de la remorquer sur zone)	-
Social et environnemental	
Démantèlement facilité	Réduction de l'impact visuel depuis la cote
-	Réduction de l'empreinte au sol de l'éolienne

Tab. I. 1 - Quelques avantages / contrainte de l'éolien offshore.

Lors de la phase d'exploitation des éoliennes, l'un des effets les plus connus sur la biodiversité marine est l'effet récif artificiel (Fig I. 7). Il correspond à l'arrivée de nouvelles espèces autour de l'éolienne : moules, crabes, anémones et différents poissons, selon l'emplacement géographique. En effet, les éoliennes sont souvent construites sur des fonds meubles. Les enrochements qui protègent les câbles, les mâts et leurs fondations apportent un substrat dur qui multiplie les niches écologiques et la complexité de l'habitat, et attire donc de nouvelles espèces (Fig I. 7).

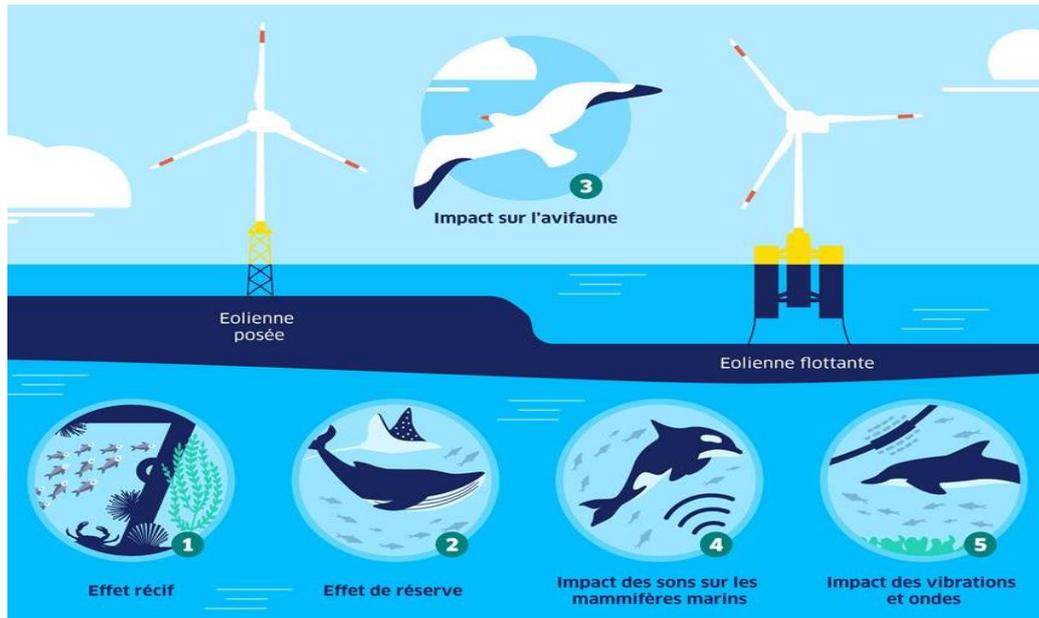


Fig. I. 7 - Les impacts de l'éolien en mer sur la biodiversité.

I.3.2. Type 2 (L'énergie thermique des mers)

L'énergie thermique des mers, connue sous le nom de technologie *OTEC* (*Ocean Thermal Energy Conversion*) utilise le gradient thermique océanique entre les eaux profondes plus fraîches et les eaux de surface plus chaudes pour alimenter un moteur thermique et produire de l'énergie utile (Fig I. 8), généralement sous forme d'électricité. L'*OTEC* peut fonctionner avec un facteur de capacité très élevé et peut donc fonctionner en mode de charge de base. Les masses d'eau froide plus denses, formées par l'interaction de l'eau de surface de l'océan avec l'atmosphère froide dans des zones très spécifiques de l'Atlantique Nord et de l'Océan Austral, coulent dans les bassins profonds de la mer et se répandent dans tout l'océan profond par la circulation thermohaline (Fig I. 8). La remontée d'eau froide de l'océan profond est renouvelée par la descente d'eau de mer froide de surface.

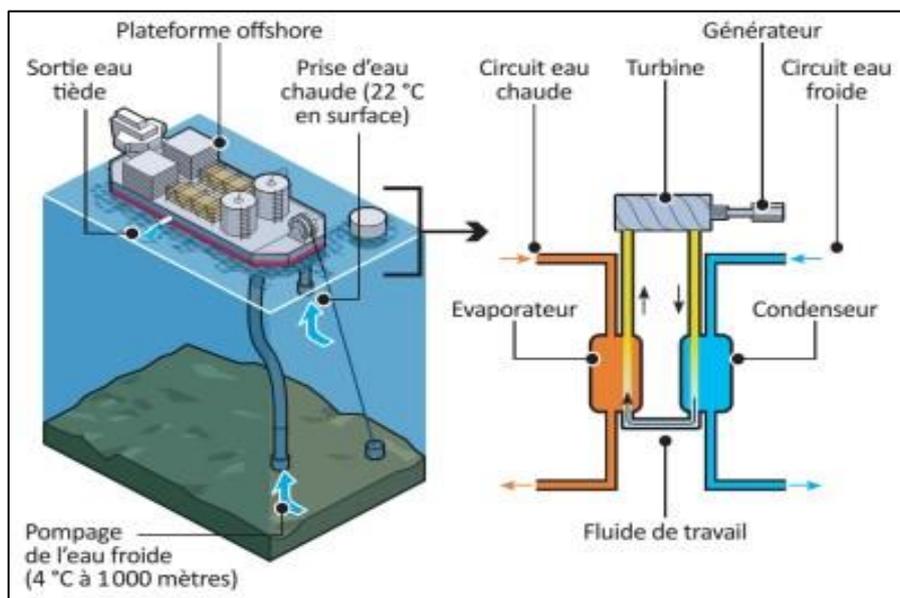


Fig I. 8 - Principe de la technologie *OTEC*.

Parmi les sources d'énergie océanique, l'*OTEC* est l'une des ressources renouvelables disponibles en continu qui pourraient contribuer à l'approvisionnement en électricité de base. Le potentiel de la ressource pour l'*OTEC* est considéré comme beaucoup plus important que pour les autres formes d'énergie océanique. Jusqu'à 88000 [TWh/an] d'énergie pourraient être générés de l'*OTEC* sans affecter la structure thermique de l'océan. Les systèmes peuvent être soit fermés soit ouverts (Fig I. 8). L'*OTEC* fermé utilise des fluides de travail considérés comme des réfrigérants tels que l'ammoniac ou le *R-134a*. Ces fluides ont des points d'ébullition faibles et sont donc adaptés pour alimenter le générateur du système pour produire de l'électricité. Le cycle de chaleur le plus couramment utilisé pour l'*OTEC* à ce jour est le cycle de *Rankine*, utilisant une turbine à basse pression. Les moteurs à cycle ouvert utilisent la vapeur de l'eau de mer elle-même comme fluide de travail. L'*OTEC* peut également fournir des quantités d'eau froide en tant que sous-produit. Cela peut être utilisé pour la climatisation et la réfrigération et l'eau de mer profonde riche en nutriments peut alimenter les technologies biologiques. La théorie de l'*OTEC* a été développée pour la première fois dans les années 1880 et le premier modèle de démonstration de taille de banc a été construit en 1926 (Fig. I. 9).



Fig I. 9 - Centrale océanothermique Mini-OTEC.
(Expérimenté en 1979 à Hawaii).

Des tentatives pour développer et améliorer la technologie *OTEC* ont commencé dans les années 1880. En 1881, Jacques Arsene d'Arsonval, un physicien français, [3] a proposé d'exploiter l'énergie thermique de l'océan. Le premier usine *OTEC* a été construite par l'étudiant de d'Arsonval, *Georges Claude*, à *Matanzas, Cuba* en 1930. Le système a généré 22 [kW] d'électricité avec une turbine à basse pression. L'usine a été détruite plus tard par une tempête.

En 1935, *Claude* [4] a construit une usine à bord d'un navire de fret de 10000 tonnes amarré au large de la côte du *Brésil*. Le mauvais temps et les vagues l'ont détruite avant qu'elle ne puisse produire de l'électricité nette.

En 1956, des scientifiques français [5] ont conçu une usine de 3 [MW] pour *Abidjan, Côte d'Ivoire*. L'usine n'a jamais été achevée, car de nouvelles découvertes de grandes quantités de pétrole bon marché l'ont rendue non économique.

En 1962, J. Hilbert Anderson et James H. Anderson Jr. dans ces recherches illustrées dans la référence [6] se sont concentrés sur l'augmentation de l'efficacité des composants. Ils ont breveté leur nouveau design "à cycle fermé" en 1967 [7]. Ce design a amélioré le système Rankine à cycle fermé original et inclus ce dernier dans un plan pour une usine qui produirait de l'électricité à moindre coût que le pétrole ou le charbon.

Le Japon est un contributeur majeur au développement de la technologie *OTEC*. À partir de 1970, la *Tokyo Electric Power Company* [8] a construit et déployé avec succès une usine *OTEC* à cycle fermé de 100 [KW] sur l'île de *Nauru*. L'usine est devenue opérationnelle le 14 octobre 1981, produisant environ 120 [KW] d'électricité, 90 [KW] ont été utilisés pour alimenter l'usine et le reste d'électricité a été utilisé pour alimenter une école et d'autres endroits.

I.3.2.1. Raisons / Utilisation

L'*OTEC* peut également être utilisée pour produire de l'eau douce. Lorsque l'eau de mer est utilisée pour condenser le fluide dans le processus d'*OTEC*, la chaleur est extraite de l'eau de mer, ce qui la refroidit. Cela peut provoquer la condensation de l'humidité de l'air ambiant, produisant ainsi de l'eau douce qui peut être collectée et utilisée à des fins d'approvisionnement en eau.

L'eau froide des profondeurs, utilisée dans le processus d'*OTEC*, peut être utilisée pour des applications agricoles et aquacoles. Elle peut être utilisée pour refroidir les serres, augmenter la productivité agricole et favoriser la croissance des cultures marines telles que les algues, les moules et les poissons.

Bien que la technologie *OTEC* présente un grand potentiel en tant que source d'énergie renouvelable, elle est encore en développement et n'est pas largement utilisée à grande échelle. Cependant, des projets pilotes et des initiatives sont en cours pour explorer davantage son utilisation et son potentiel en tant que source d'énergie propre et durable.

I.3.2.2. Avantages / Inconvénients

La technologie *OTEC* (*Océan Thermal Energy Conversion*) présente certains avantages et inconvénients présentés dans le tableau (Tab I. 2) :

Avantages et inconvénients de la technologie <i>OTEC</i>	
Avantages	Inconvénients
Ressource inépuisable et renouvelable	Coûts élevés et complexité technique
Pas d'émissions de gaz à effet de serre	Disponibilité géographique limitée
Potentiel pour la production d'eau douce	Impact sur l'écosystème marin
Stabilité et constance de la production d'énergie	Faible efficacité énergétique

Tab. I. 2 - Quelques avantages / inconvénients de la technologie *OTEC*.

I.3.3. Type 3 (L'énergie houlomotrice)

L'énergie houlomotrice, également appelée *Energie des Vagues* (Fig. I. 10), est une source d'énergie marine qui tire parti du mouvement des vagues sur la surface de l'eau. Cependant, il est important de ne pas la confondre avec l'énergie marémotrice qui utilise l'énergie générée par les mouvements de la marée. L'exploitation de cette forme d'énergie a été examinée dans plusieurs pays, notamment le *Portugal*, le *Royaume-Uni* et l'*Australie*.

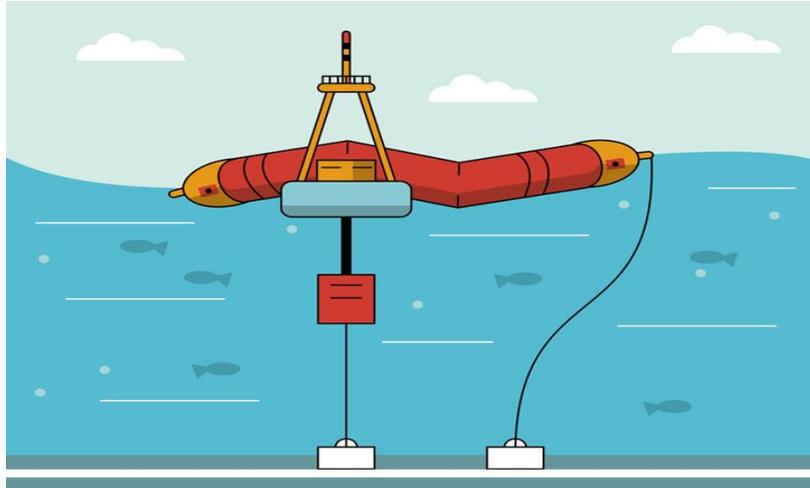


Fig. I. 10 - Exemple d'installation d'énergie *des vagues*.

Le Conseil mondial de l'énergie a estimé que jusqu'à 10% de la demande mondiale d'électricité pourrait être couverte par l'énergie houlomotrice (Fig. I. 10), avec une puissance installée potentielle comprise entre 10 à 15 [GW] en *France métropolitaine*. Le potentiel annuel de cette énergie est évalué à 40 [TWh], principalement le long de la côte atlantique française.

I.3.3.1. Raisons / Utilisation

L'énergie houlomotrice dépend principalement des forces naturelles, et elle est plus prévisible que d'autres sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie éolienne ou solaire. De plus, elle est plus dense en énergie que le vent ou le soleil (Fig. I. 10), ce qui signifie que de plus petites installations peuvent générer une quantité significative d'électricité.

Cependant, l'énergie houlomotrice présente également des défis. Les dispositifs utilisés pour capturer l'énergie des vagues doivent être suffisamment résistants pour faire face aux conditions maritimes difficiles (la houle). De plus, leur installation et leur maintenance peuvent être coûteuses, et il peut y avoir des impacts environnementaux potentiels, notamment sur la faune marine et les habitats côtiers.

Malgré ces défis, l'utilisation de l'énergie houlomotrice progresse lentement mais sûrement dans plusieurs régions du monde, en particulier dans les zones côtières présentant un fort potentiel houlomoteur. Des projets pilotes et des installations commerciales sont en cours de développement pour exploiter cette source d'énergie renouvelable prometteuse.

Systèmes de barrage houlomoteur : Ces systèmes utilisent des barrages spéciaux pour capturer l'énergie des vagues et la convertir en électricité. Lorsque les vagues déferlent sur le barrage, l'eau est poussée à travers des turbines, produisant ainsi de l'énergie.

I.3.3.2. Avantages / Inconvénients

L'énergie houlomotrice présente certains avantages et inconvénients présentés dans le tableau (Tab I. 3) :

Avantages et inconvénients de L'énergie houlomotrice	
Avantages	Inconvénients
Elle ne s'épuise pas tant que les conditions météorologiques favorables sont maintenues	Coût élevé
Plus prédictible	Impact environnemental
Densité énergétique élevée	Dépendance aux conditions maritimes
Réduction des émissions de carbone	-

Tab. I. 3 - Quelques avantages / inconvénients de l'énergie houlomotrice.

I.3.4. Type 4 (L'énergie marémotrice ou hydrolienne)

L'énergie marémotrice est produite par les mouvements de l'eau causés par les marées (Fig. I.11), qui sont à leur tour causées par les forces gravitationnelles combinées de la Lune et du Soleil. Elle peut être utilisée sous forme d'énergie potentielle lorsque le niveau de la mer s'élève, ou sous forme d'énergie cinétique en raison des courants marins.

L'exploitation de l'énergie marémotrice a une longue histoire, les premiers moulins à marées remontant à l'Antiquité, tels que ceux de la rivière Fleet dans la Londres romaine. Au Moyen Âge, ils étaient présents dans toute l'Europe, comme les moulins sur l'Adour construits au XIIe siècle. La première usine marémotrice produisant de l'électricité à partir des marées est l'usine marémotrice de la Rance en Bretagne, mise en service en 1966.

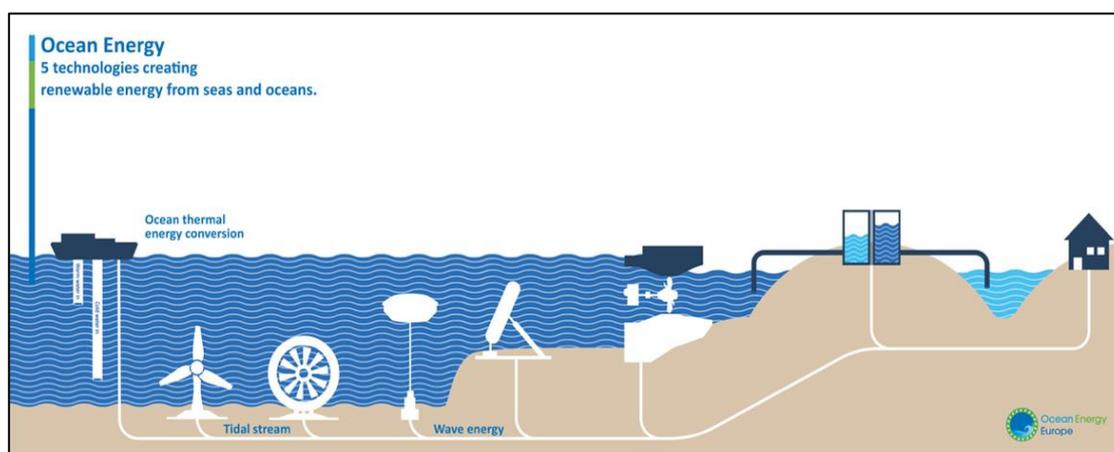


Fig I. 11 - Quelques exemples d'énergie marémotrice.

L'hydrolienne est une turbine hydraulique (sous-marine ou flottante) qui capte l'énergie cinétique des courants marins ou fluviaux pour la convertir en énergie mécanique (Fig. I. 11), de la même manière qu'une éolienne utilise l'énergie cinétique du vent. La turbine de l'hydrolienne transforme l'énergie cinétique de l'eau en mouvement en énergie mécanique, qui peut être convertie en électricité par un alternateur. Les hydroliennes peuvent prendre diverses

formes, allant du gros générateur immergé dans des zones à forts courants marins (Fig. I. 12), à la petite turbine flottante dans les petits courants de rivière connue sous le nom d'une centrale gravitaire.

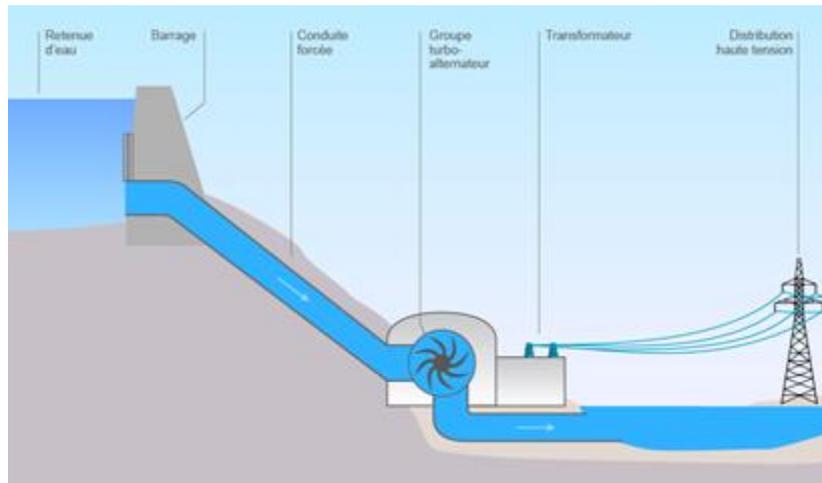


Fig. I. 12 - Exemple d'une centrale gravitaire.

Au cours de la période 2005 - 2010, l'accent a été mis sur le développement des énergies renouvelables, en particulier l'énergie hydrolienne (Fig. I. 13). Des politiques institutionnelles volontaires, ainsi que des études techniques et environnementales, ont été mises en place pour soutenir ce secteur en développement. Cependant, dix ans plus tard, les contraintes techniques, les réglementations environnementales strictes et les coûts d'exploitation élevés ont limité le développement de ce secteur industriel encore fragile.



Fig. I. 13 - Quelques exemples d'installations d'énergie hydrolienne.

I.3.4.1. *Raisons / Utilisation*

L'utilisation de l'énergie marémotrice implique généralement la construction de barrages (Fig. I. 12) ou de turbines sous-marines pour capturer l'énergie cinétique des marées (Fig. I. 13). Il existe plusieurs autres structures qui représentent le large exemple de ce modèle d'énergie renouvelable comme les centrales marémotrices, vague d'énergie et usine marémotrice illustrés dans les figures (I. 14. a., b. et c).

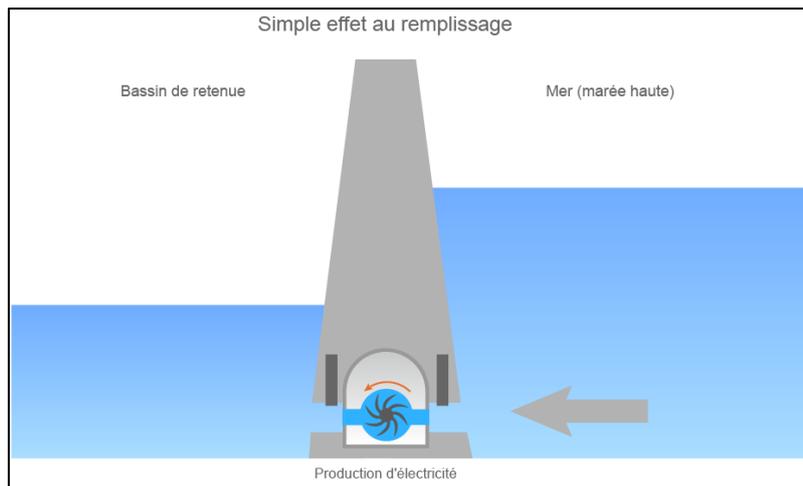


Fig. I. 14.a - Centrales marémotrices.



Fig. I. 14.b - Installation vague d'énergie.

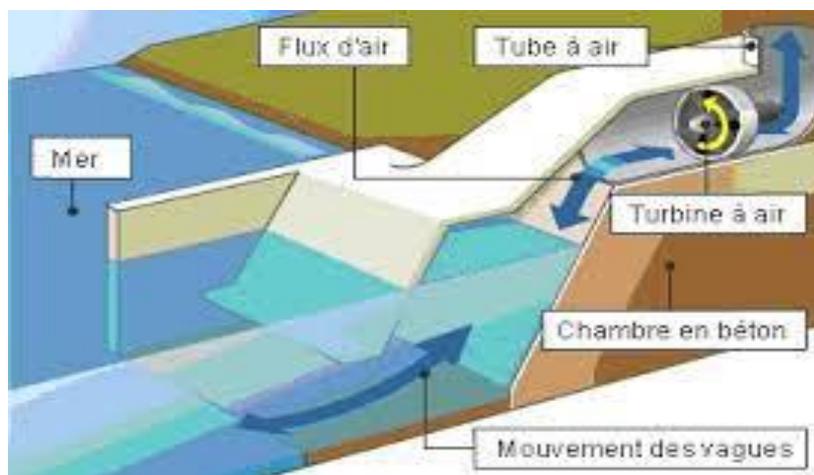


Fig. I. 14.c - Usine marémotrice.

Malgré plusieurs défis, l'énergie marémotrice continue de susciter un intérêt croissant en tant que source d'énergie renouvelable. Des projets pilotes et des installations commerciales sont en cours de développement dans certaines régions propices.

I.3.4.2. *Avantages / Inconvénients*

L'énergie marémotrice présente plusieurs avantages et inconvénients présentés dans le tableau (Tab I. 4) :

Avantages et inconvénients de L'énergie houlomotrice	
Avantages	Inconvénients
Ressource prévisible et stable	Coûts initiaux élevés
Haute densité énergétique	Impact environnemental
Longue durée de vie	Perturber les écosystèmes côtiers
Faibles émissions de carbone	Modifier les habitats marins
-	Limitations géographiques

Tab. I. 4 - Quelques avantages / inconvénients de l'énergie marémotrice.

Il existe dans ce monde d'énergie renouvelable marine des *Microcentrales Hydroélectriques*, ces installations (Fig. I. 15) sont utilisées pour alimenter de petites communautés ou des bâtiments isolés. Elles sont généralement moins coûteuses à construire et à entretenir que les centrales hydroélectriques, et ont un impact environnemental moins important. Cependant, leur capacité de production d'électricité est généralement plus faible.



Fig. I. 15 - Microcentrales Hydroélectriques.

I.4. Aspect Environnemental de l'Energie Marine Renouvelable

L'énergie marine renouvelable, qui comprend l'énergie éolienne offshore, l'énergie des vagues et l'énergie des marées ainsi que la technologie *OTEC* offre un potentiel important pour produire de l'électricité propre et renouvelable. Cependant, comme pour toute forme de production d'énergie, il existe des aspects environnementaux à considérer.

Voici quelques-uns des principaux aspects environnementaux associés à l'énergie marine renouvelable :

I.4.1. **Impact sur la faune marine**

L'installation de structures pour la production d'énergie marine renouvelable peut avoir un impact sur la faune marine (Fig. I. 16), notamment sur les oiseaux, les poissons et les

mammifères marins. Les éoliennes offshore peuvent perturber les oiseaux migrateurs, tandis que les turbines sous-marines peuvent avoir un impact sur les populations de poissons et de mammifères marins.



Fig. I. 16 - La faune marine

I.4.2. Modification de l'habitat marin

L'installation de structures pour la production d'énergie marine renouvelable peut également modifier l'habitat marin. Les éoliennes offshore peuvent perturber les fonds marins et les habitats de certains organismes marins (Fig. I. 17), tandis que les turbines sous-marines peuvent modifier le régime de courants et la distribution des sédiments.

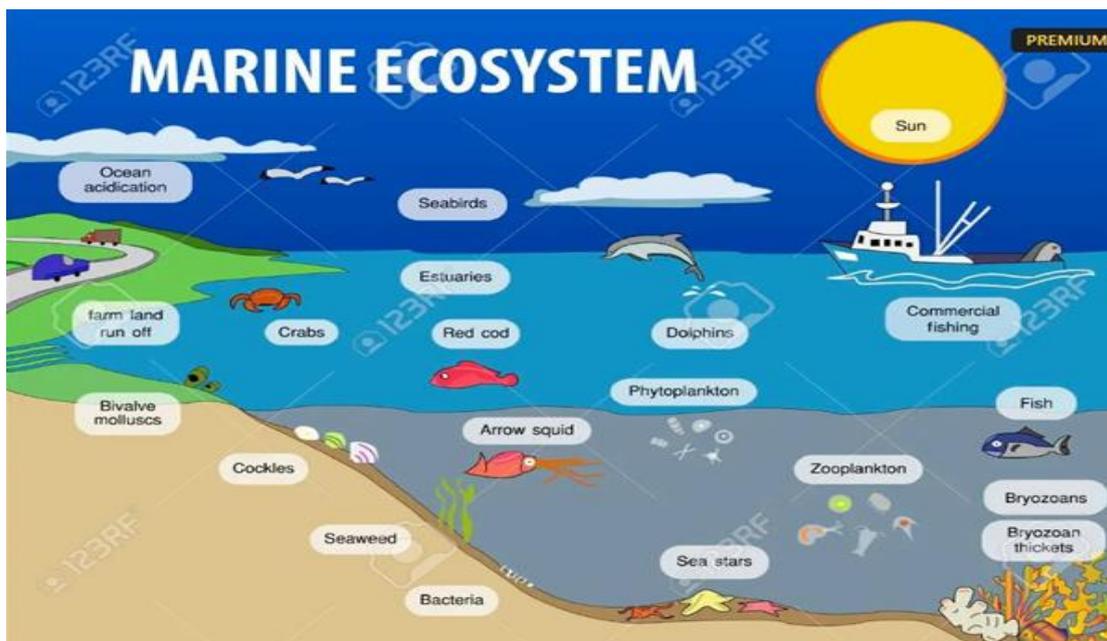


Fig. I. 17- Organismes marins.

I.4.3. Pollution sonore

Tels que le transport maritime de toutes sortes, les installations pour la production d'énergie marine renouvelable peuvent produire des bruits sous-marins qui peuvent perturber la faune marine (Fig. I. 18), en particulier les mammifères marins qui dépendent du son pour communiquer et se déplacer.



Fig. I. 18- Bruits sous-marins.

I.4.4. Risques pour la navigation

Les installations pour la production d'énergie marine renouvelable peuvent également représenter un risque pour la navigation, en particulier pour les petits navires et les bateaux de pêche. Il est donc important de mettre en place des mesures pour minimiser les risques pour la sécurité maritime.

L'énergie marine, y compris les installations hydroliennes et houlomotrices, peut présenter certains risques pour la navigation. Voici quelques-uns des principaux risques associés à l'énergie marine :

- Obstacles et risques de collision ;
- Interférences avec les voies maritimes ;
- Perturbations du fond marin ;
- Effets sur les systèmes de navigation.

En résumé, l'énergie marine offre un potentiel important pour produire de l'électricité propre et renouvelable, mais elle nécessite une gestion environnementale appropriée pour minimiser son impact sur la faune marine, les habitats marins, la pollution sonore, les déchets et la navigation.

I.5. Conclusion

En conclusion, l'énergie renouvelable marine est une solution prometteuse pour produire de l'électricité propre et renouvelable, tout en réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles. Bien que cette technologie soit encore relativement nouvelle, les investissements et les progrès réalisés dans ce domaine au cours des dernières décennies sont encourageants.

Cependant, l'utilisation de l'énergie renouvelable marine soulève également des préoccupations environnementales, telles que l'impact sur la faune et l'habitat marin. Il est donc important de poursuivre la recherche et le développement pour minimiser ces impacts et mettre en place des mesures de gestion environnementale appropriées.

En fin de compte, l'avenir de l'énergie renouvelable marine dépendra de notre capacité à relever les défis technologiques et environnementaux, ainsi que de notre volonté de poursuivre la transition vers une économie plus verte et plus durable.

CHAPITRE .II.

Aspect Technico-Environnementale des Installations Hydroliennes

II.1. Introduction

70% de la terre est occupé par les mers et les océan qui sont considérée une source potentiel d'énergie renouvelable qui comprennent l'ensemble des technologies permettant de produire de l'électricité à partir de différentes forces ou ressources du milieu marin tel que *la houle* , *les courants*, *les marées* , *le gradients de température* entre les eaux de surface chaudes et les eaux froides en profondeur , *l'énergie osmotique* et la *biomasse* qui exploite les algues et les phytoplancton par gazéification fermentation et combustion. Et parmi ces ressources on a l'énergie des *vagues* ou bien *houlomotrice* qui est considéré comme une source énergétique ultra renouvelable pour produire une électricité durable avec moins d'impact sur l'environnement et relativement économique que les autres méthodes.

De nombreuse études et des calculs démontré que la capacité de production de l'électricité mondiale est évaluée entre 2000 a 8000 [TWh /an]. En Europe elle est estimée à 150 [TWh/an] avec une puissance moyenne de 45 [kW] *par mètre linière de front de vague* sur la côte atlantique, et en Bretagne le potentiel d'énergie électrique d'origine houlomotrice et de 50 [TWh /an] et c'est l'équivalence du potentiel annuelle de 5 réacteur nucléaire. [9] [10]

II.2. Principe de Fonctionnement

L'énergie houlomotrice ou bien l'énergie des vagues c'est la possibilité de produire l'électricité à partir de phénomène de la houle c'est-à-dire à partir des vagues successives nées de l'effet de vent qui se propagent à travers des milliers de kilomètres avant de venir déferler sur les côtes. Il existe 8 méthodes pour exploiter cette énergie. Certains dispositifs sont actuellement des prototypes et certains sont déjà commercialisés mais aucun n'arrive à la maturité industrielle. [11,12]

L'exploitation de l'énergie des vagues, également appelée énergie houlomotrice, consiste à convertir l'énergie cinétique des vagues en électricité. Voici quelques-unes des principales méthodes utilisées pour exploiter l'énergie des vagues :

- **Systèmes de flotteurs** : Les systèmes de flotteurs utilisent des bouées ou des flotteurs fixés à une structure sous-marine pour capturer l'énergie des vagues. Lorsque les vagues déplacent les flotteurs (Fig. II. 1), cela génère un mouvement mécanique qui peut être converti en électricité à l'aide de systèmes de conversion adaptés, tels que des générateurs électriques.

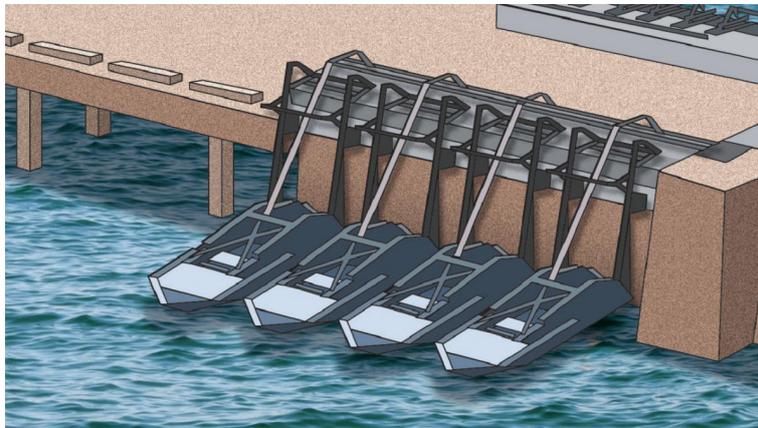


Fig. II. 1 - Systèmes de flotteurs (*Systèmes houlomoteurs bords à quai*).

- **Systèmes de colonnes d'eau oscillantes** : Les systèmes de colonnes d'eau oscillantes exploitent le mouvement vertical des vagues (Fig. II. 2). Ils utilisent des colonnes d'eau contenues dans des structures verticales, qui montent et descendent en réponse aux vagues. Ce mouvement alternatif actionne des turbines ou des générateurs pour produire de l'électricité.

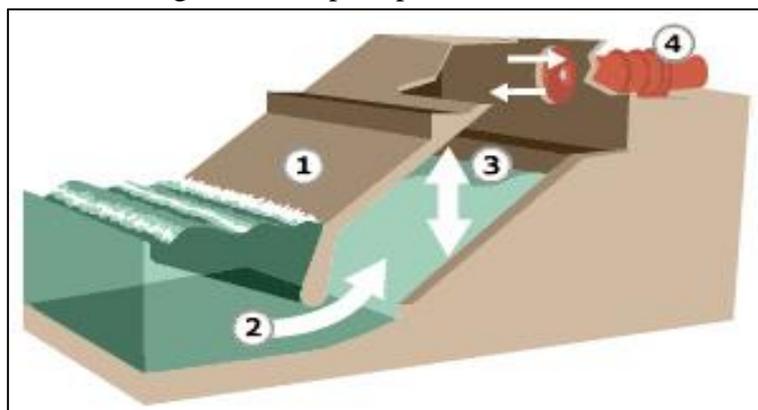


Fig. II. 2 - Systèmes de colonnes d'eau oscillantes.

- **Systèmes de conversion par pression** : Représente une catégorie de la technologie *OTEC* (discutée précédemment dans le chapitre I, paragraphe I.3.2). Ces systèmes utilisent la pression de l'eau des vagues pour générer de l'électricité. Ils peuvent être basés sur des systèmes pneumatiques ou hydrauliques, où l'eau est comprimée ou dirigée à travers des conduites pour actionner des turbines ou des générateurs.
- **Systèmes à surface ondulante** : Ces systèmes utilisent des dispositifs flottants avec des membranes souples ou des pales articulées qui se déplacent avec les vagues (Fig. II. 3). Le mouvement de la surface ondulante est converti en énergie mécanique, qui est ensuite convertie en électricité.



Fig. II. 3 - Pales articulées.

II.3. Les Systèmes Houlomotrice Existent

Dans les *XIXe* et *XXe* siècles, des systèmes houlomoteurs ont été créés et suite à la première crise pétrolière en 1970, que des dispositifs ont été vraiment développés avec l'apparition de nombreux concepts houlomoteurs comme les huit systèmes suivants :

II.3.1. Attenuator

Ce dispositif est un ensemble de flotteurs qui fonctionnent en parallèle à la direction de l'évolution de la houle (Fig. II. 4) et qui chevauche efficacement les vagues. Cet appareil capte l'énergie au niveau des articulateurs entre les flotteurs (Fig. II. 5).[13,14]

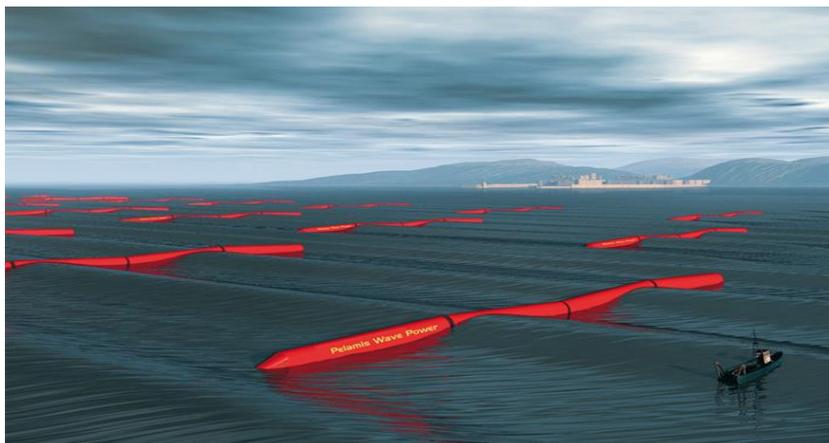


Fig. II. 4 - Ensemble de flotteurs.

L'ensemble de flotteurs est composé d'un nombre précis de cylindres semi immergés reliés par des articulations (Fig. II. 4), ce serpent marin est positionné dans la direction des vagues, et avec le basculement des cylindres dans chaque articulation un verin hydraulique qui envoi un liquide sous pression pour faire tourner une turbine pour produire de l'électricité (Fig. II. 5), puis l'envoyer avec un conrdon ombilical vers le fonds marin et ensuite acheminée a terre. [13 ,14]

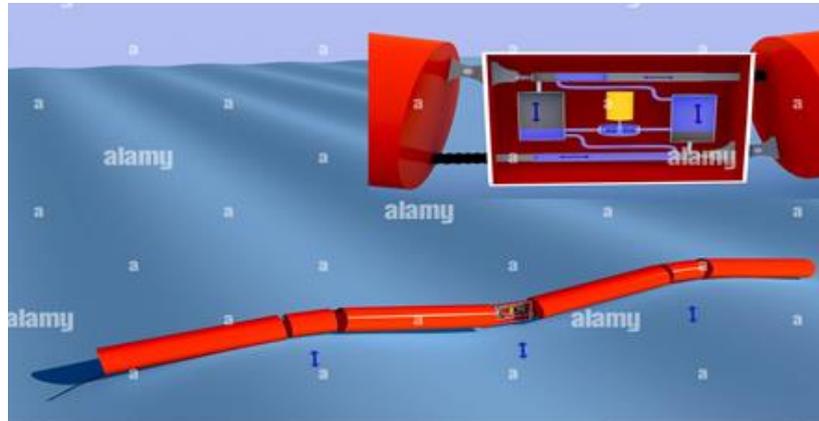


Fig. II. 5 - Verin hydraulique dans chaque articulation.

II.3.2. Point d'absorber

Dispositif qui absorbe l'énergie du mouvement relatif entre un corps en mouvement et une structure fixe (Fig. II. 6).

Les absorbeurs ponctuels extraient l'énergie par le mouvement relatif entre un corps qui se déplace en réponse au forçage des vagues / courants marin et des structures fixes ou immobiles (Fig. II. 6). Le corps mobile peut être à la surface ou submergé, et le corps fixe peut être le fond marin ou une autre structure moins affectée par l'action des vagues. Leur dimension principale est faible par rapport à la longueur des vagues dont ils absorbent l'énergie. L'électricité peut être produite à l'aide d'un générateur linéaire ou rotatif, ou un fluide peut être pompé en utilisant la force mécanique et le mouvement directement.



Fig. II. 6 - Dispositif qui absorbe l'énergie du mouvement.

II.3.3. Oscillating wave surge converter

Les convertisseurs oscillants d'onde de houle (*CSEO*) sont une classe de technologie d'énergie houlomotrice qui exploite le mouvement horizontal accru des particules de fluide des vagues dans la zone côtière littorale avec des profondeurs d'eau de 10 à 20 m (Fig. II. 7), (discuté précédemment dans le chapitre I, paragraphe I.3.4.1), un exemple sur ce type de système est le OYSTER 800 [15].

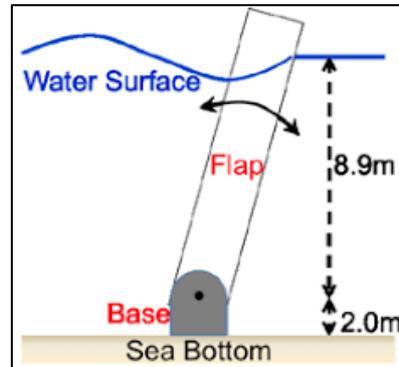


Fig. II. 7 - Convertisseur Oscillant.

L'OYSTER 800 est un gros rabat oscillant à charnières de fond qui perce leur face de l'eau et est conçu pour fonctionner dans le littoral d'environ 10 m à 15 m de profondeur (Fig. II. 8), l'action des vague force le volet a tangué en avant et en arrière et ce mouvement mécanique entraîne deux cylindres hydrauliques qui pompe de l'eau pour faire tourner une turbine qui vas entraine un groupe électrogène. [15]

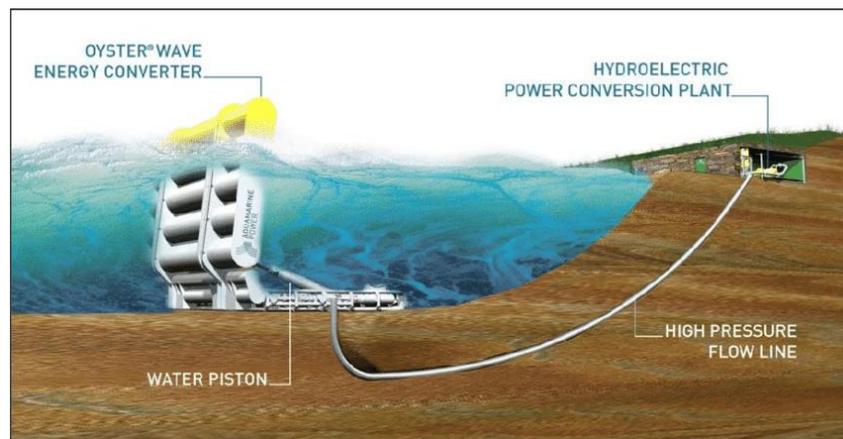


Fig. II. 8 - *L'OYSTER 800* [20].

II.3.4. Oscillating wave column

Les dispositifs à colonne d'eau oscillante utilisent l'action des vagues pour pressuriser l'air dans une chambre, le forçant à travers une turbine à air (discuté précédemment dans le chapitre I, paragraphe I.3.4.1). Au fur et à mesure que l'eau se retire de la chambre, le vide qui en résulte entraîne l'air à travers la turbine et dans la chambre. Ils peuvent être situés à terre ou dans des eaux plus profondes au large (Fig. II. 8). [16]

Une structure flottante en acier ou en béton, ouverte en bas et fermée en haut. Quand la vague élever ou abaisser le niveau d'eau dans la colonne, cela a pour effet de comprimer et

dépressuriser alternativement l'air emprisonné en haut de la colonne (Fig. II. 8). L'air entraîne ensuite une turbine bidirectionnelle pour produire de l'électricité. Ce système Peut être installé en mer ou à terre Cette infrastructure fonctionne en deux phases. C'est ce qu'on appelle la surpression et la seconde s'appelle la dépression.



Fig. II. 8 - Colonne d'eau oscillante.

Tout d'abord, les vagues générées par la houle entrent dans la chambre. Ceci comprend l'effet de comprimer l'air présent dans la chambre et de le diriger vers la bouche ventilation. Deuxièmement, lorsque l'eau est retirée, cela crée une dépression. S'il y a pression et dépression, l'air entrant et sortant entraîne cette turbine pour produire de l'électricité (Fig. II. 8). [12]

II.3.5. Overtopping device

Un système de rampe de surf capte l'eau lorsque les vagues pénètrent dans le réservoir. Lorsque le niveau d'eau dans le réservoir est au-dessus du niveau de la mer, l'eau excédentaire des réservoirs entraîne des turbines avant d'être rejetée à la mer. Comme le *Wave Dragon* (Fig. II. 8), il appartient à des collectionneurs c'est-à-dire la vague précédente entrez une contraction qui impacte et augmente l'amplitude, augmentant ainsi le volume il s'agit de l'eau dans le réservoir.

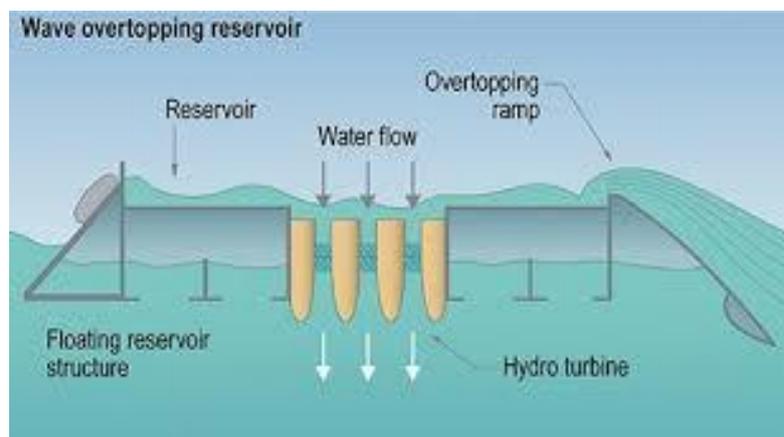


Fig. II. 8 - Le wave dragon.

Le Dragon des Vagues est un convertisseur flottant d'énergie des vagues amarré au mou du type de dépassement. Il se compose essentiellement de deux réflecteurs d'onde (Fig. II. 8) concentrant les vagues vers une rampe. Derrière la rampe, il y a un grand réservoir où l'eau qui remonte la rampe est recueillie et stockée temporairement. L'eau sort du réservoir par des hydro-turbines qui utilisent la tête entre le niveau du réservoir et le niveau de la mer (Fig. II. 8). [19]

II.3.6. Submerged pressure differential

Les systèmes de pression différentielle submersibles doivent de préférence être situés et ancrés près du rivage au fond de la mer. Ces systèmes se composent généralement de deux parties. Initialement, la partie inférieure est fixée au fond marin et la deuxième partie supérieure est reliée par coulissement par rapport au premier (Fig. II. 9), par exemple, le système ondulatoire d'Archimède la hauteur de la surface libre sur le système provoque le mouvement du dessus, une différence de pression est créée par la compression et la décompression de l'air.

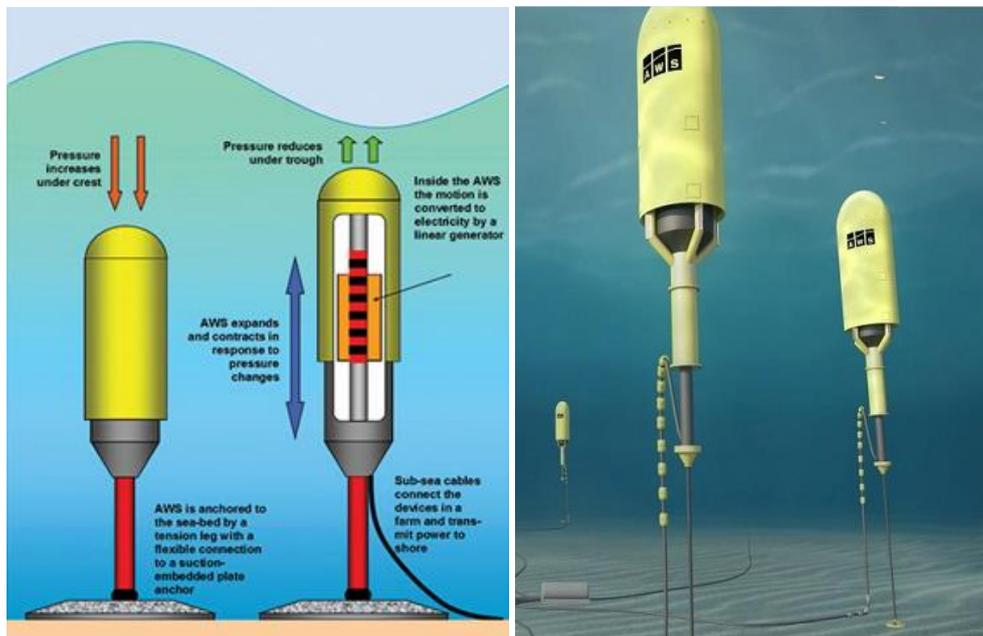


Fig. II. 9 - Systèmes de pression différentielle submersibles.

Le prototype Waveswing (Fig II. 10) est construit par *Malin Marine* dans son usine de fabrication de *Westway Dock* à *Renfrew, Glasgow* [19]. Il est basé sur le principe de la colonne à oscillation Le wave swing est de 7 mètres de haut, 4 mètres de diamètre et 50 tonnes de balancement des vagues se rejoignent une puissance continue de 16 kW en eaux calmes. L'appareil est fixé dans l'eau et y réagit par le changement de pression dus au passage des vagues (Fig. II. 9). Il est attaché à une seule attache (tension) installé automatiquement. Position sous-marine et capacité du treuil. Une faible colonne d'eau signifie que les charges de tempête extrêmes sont évitées mais vous pouvez continuer à utiliser l'appareil même par mer agitée. Contrairement avec d'autres concepts d'absorbeurs ponctuels, le *Wave swing* répond aussi bien aux longues vagues.

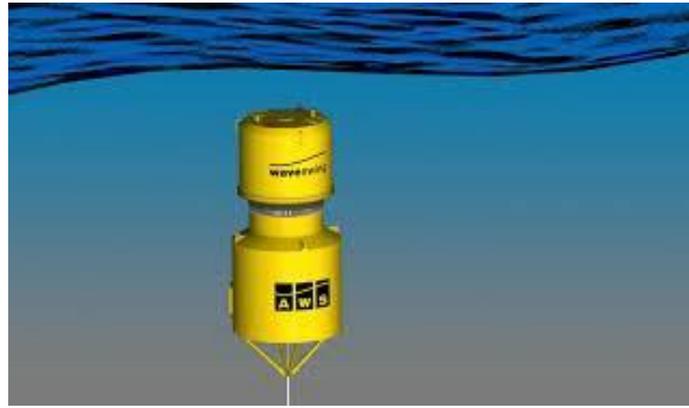


Fig. II. 10 - Le Wave swing

Un Waveswing (Fig. II. 10) se compose d'une partie fixée au fond marin et d'une partie mobile. Il est attaché à un piston qui se déplace avec les vagues. Le piston est solidaire du rotor. Le déplacement vertical du rotor par rapport au stator produit de l'énergie électrique.

II.3.7. Les Rotating mass device

Les systèmes à rotation de masse illustré dans la figure (II. 11) utilisent les mouvements de tangage et de roulis pour extraire de l'énergie. Ces systèmes sont composés d'un flotteur et, soit d'une masse excentrée, soit d'un gyroscope. Une machine électrique, ou hydraulique, est installée à la liaison entre les deux parties du système de récupération.

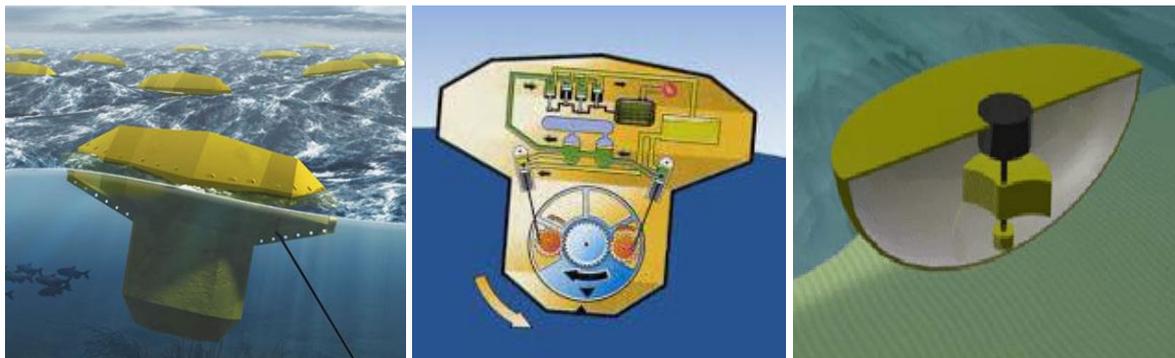


Fig. II. 11 - Les systèmes à rotation de masse.

Une des principales caractéristiques de ce système est l'augmentation de la période propre du système. En effet, la période propre est reliée à la taille du système houlomoteur. Et, puisque les vagues les plus énergétiques sont celles de grandes périodes, il est nécessaire d'augmenter la taille du système et donc leur coût. Or, pour ce système, la période propre est aussi dépendante de la masse intérieure ce qui permet d'augmenter la période propre (Fig. II. 11), dans une certaine mesure, sans pour autant avoir à augmenter sa taille.

II.3.8. Bulge wave

Les systèmes à renflement (Fig. II.12) sont composés d'un tube en caoutchouc ancré, à l'avant, au fond marin. Ce tube se remplit d'eau par son extrémité faisant face aux vagues et le passage des vagues crée des variations de pression le long du tube ce qui entraîne l'apparition d'une onde. Cette onde grandit à mesure qu'elle progresse dans le tube et accumule donc de l'énergie sur son parcours. Une fois arrivée à l'autre extrémité du tube, l'eau actionne une turbine avant d'être rejetée. Ce concept est inspiré de la circulation sanguine dans le corps humain. La théorie sous-jacente, qui a permis le développement des systèmes à renflement, est la théorie des battements ondulatoires. Le tube de caoutchouc serait analogue à un vaisseau sanguin. Les mouvements des vagues correspondraient, quant à eux, à des impulsions cardiaques. Un exemple de ce type de concept est le système Anaconda [18].

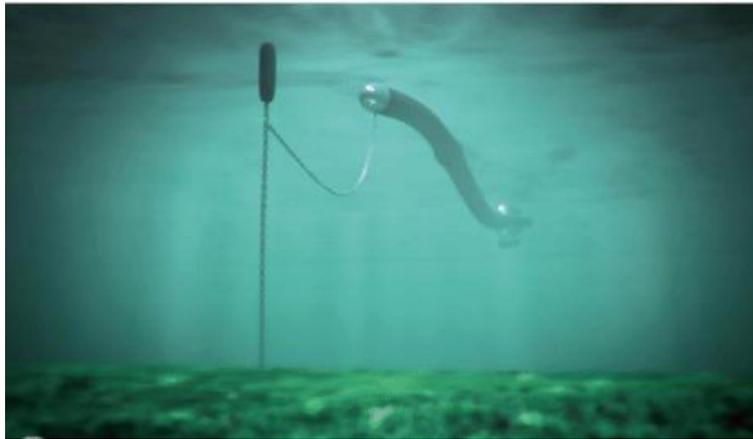


Fig. II.12 – Le système Bulge wave (système Anaconda).

Le système Bulge wave est relativement peu coûteux par rapport aux autres convertisseurs d'énergie des vagues. Il ne nécessite pas de composants mécaniques complexes ni de pièces mobiles, ce qui le rend plus facile à fabriquer et à entretenir.

II.4. Théorie des Vagues appliqué à l'Energie Houlomotrice

La théorie des vagues appliquée à l'énergie houlomotrice concerne l'utilisation des vagues océaniques pour produire de l'énergie. L'énergie houlomotrice, également appelée énergie des vagues, est une forme d'énergie renouvelable qui peut être exploitée pour générer de l'électricité.

La théorie des vagues étudie le mouvement des vagues, leur propagation, leur interaction avec la côte, les structures flottantes et d'autres phénomènes liés. Elle cherche à comprendre comment les vagues se forment, se propagent et se dissipent [Derrar. B. O., 2020].

Dans le contexte de l'énergie houlomotrice, la théorie des vagues est utilisée pour concevoir et optimiser les dispositifs qui captent l'énergie des vagues et la convertissent en électricité. Différents types de dispositifs peuvent être utilisés, tels que les bouées houlomotrices, les digues houlomotrices ou les convertisseurs de houle.

Ces dispositifs sont conçus pour capturer l'énergie cinétique des vagues, qui est transformée en énergie mécanique par des systèmes de flotteurs, de vannes ou d'autres mécanismes. L'énergie mécanique est ensuite convertie en énergie électrique à l'aide de générateurs ou de systèmes hydrauliques.

II.4.1. Définition d'une vague

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage (Fig. II. 13). On appelle houle cet ensemble d'ondulations ou de vagues. La houle est un mouvement oscillatoire des couches superficielles de l'eau dû au frottement du vent sur la surface. Plus le vent est fort et plus la distance de frottement sur l'eau est grande [Derrar. B. O., 2020], plus la houle est forte, c'est ce que l'on appelle le « *fetch* ».

La théorie des vagues permet de prédire le comportement des vagues dans différentes conditions océaniques, ce qui est essentiel pour concevoir des dispositifs efficaces et résistants aux forces de la mer. Elle permet également de déterminer les zones géographiques les plus propices à l'exploitation de l'énergie houlomotrice, en identifiant les endroits où les vagues sont les plus puissantes et les plus constantes.

II.4.2. Caractéristiques d'une vague

Une vague est une perturbation dans un milieu (Fig. II. 13), généralement un fluide comme l'eau ou l'air, qui se propage à travers l'espace sans transporter de matière (Fig. II. 13).

Voici les caractéristiques principales d'une vague :

- H : La hauteur de houle ;
- L : La longueur d'onde (distance séparant deux crêtes successives) ;
- T : La période de la houle (temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe) ;
- a : L'amplitude de la houle (égale à la moitié de la hauteur) ;
- g : La cambrure (le rapport H/L) ;
- c : La célérité (la vitesse moyenne de propagation des crêtes, i.e. L/T) ;
- d : La profondeur (la profondeur au repos).

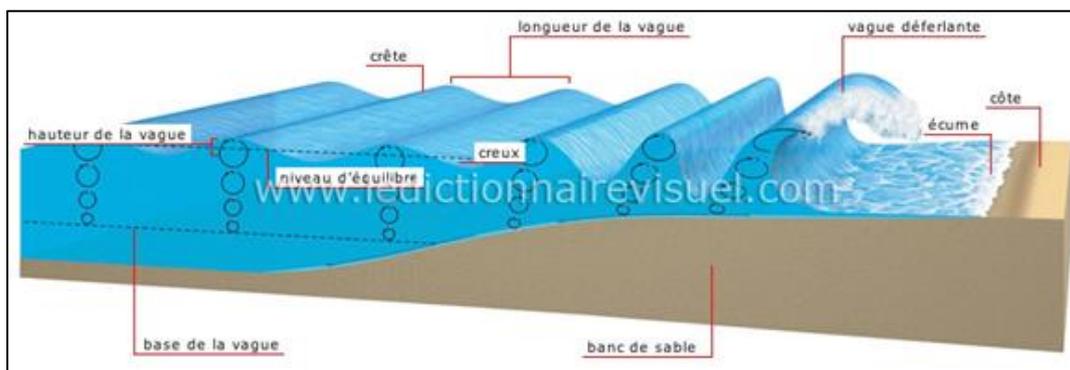


Fig. II. 13 - Caractéristiques d'une vague.

II.4.3. Energie d'une Vague

On calcule l'énergie de la houle en intégrant l'énergie des particules d'eau sur toute la profondeur supposée suffisamment grande. Pour une houle régulière de hauteur H et de période T , on obtient la formule théorique suivante [Derrar. B. O., 2020] :

$$E = \frac{\rho g^2}{64 \pi} \cdot H_s^2 \cdot T \quad \dots \text{(Eq. II. 1)}$$

Avec :

H_s : La hauteur de la houle mesurée en mètres. Comme on suppose ici une houle régulière, donc toutes les vagues ont la même hauteur H , bien entendu égale à H_s .

Le résultat E est en watts par mètre de crête [W/m].

Cette formule théorique (Eq. II. 1) est valable si la profondeur d'eau est grande, lorsque la profondeur est supérieure à la moitié de la longueur d'onde [Derrar. B. O., 2020].

En fait, une vague n'est que rarement régulière, mais est généralement la superposition de plusieurs houles. La résultante est une vague dont la hauteur est H_s et la période apparente T . L'énergie est alors supérieure à celle d'une houle pure. Pour tenir compte de ce phénomène on utilise la formule empirique suivante si on calcule l'énergie en *watts* par mètre de crête :

$$E = 500 \cdot H_s^2 \cdot T \quad \dots \text{(Eq. II. 2)}$$

Si on désire exprimer la puissance en kilowatts par mètre de ligne parallèle à la côte, on a :

$$E = \frac{1}{2} \cdot H_s^2 \cdot T \quad \dots \text{(Eq. II. 3)}$$

Quelques cas :

- Houle de 2 [m] et de période 4 [s] : 8 [kW/m] ;
- Houle de 3 [m] et de période 6 [s] : 27 [kW/m] ;
- Houle de 10 [m] et de période 14 [s] : 700 [kW/m].

II.4.4. Etat de la Mer

II.4.4.1. Profondeur

La profondeur de la mer varie considérablement en fonction de l'emplacement (Fig. II. 14). Les océans du monde présentent des variations de profondeur importantes, avec des zones peu profondes près des côtes et des fosses abyssales très profondes dans certaines régions [Navionics carte].

En revanche, certaines parties des océans sont relativement peu profondes, notamment les plateaux continentaux qui se trouvent près des côtes (Fig. II. 14). Ces plateaux continentaux peuvent avoir des profondeurs allant de quelques mètres à quelques centaines de mètres [Navionics carte].

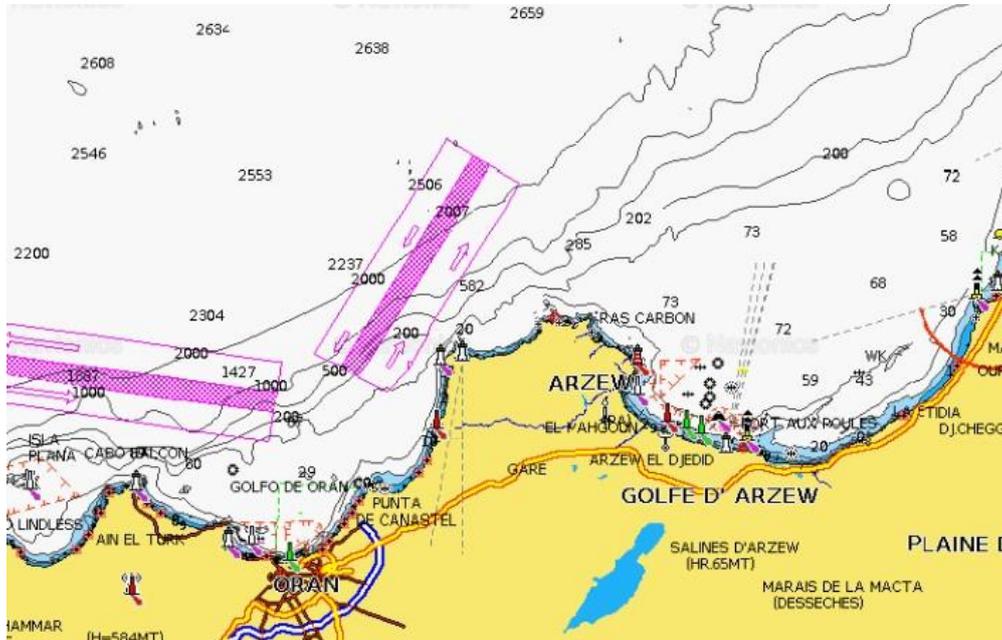


Fig. II. 14 - La profondeur de la mer (*bai d'Oran / golfe d'Arzew*). [Navionics carte]

Il est important de noter que les connaissances scientifiques sur les profondeurs océaniques sont continuellement mises à jour à mesure que de nouvelles recherches et explorations sont menées. Par conséquent, les chiffres précis peuvent varier légèrement en fonction des nouvelles découvertes.

II.4.4.2. *Etat de la mer*

Dans la mer Méditerranée, l'intensité des vagues varie en fonction de plusieurs facteurs tels que la saison, la météo locale, la topographie côtière (Fig. II. 14) et la force des vents. Globalement, les vagues dans la mer Méditerranée sont généralement moins intenses que dans les océans ouverts en raison de sa taille relativement réduite et de la protection des îles et des côtes environnantes (Fig. II. 15).

En général, les vagues dans la mer Méditerranée ont une hauteur moyenne de quelques mètres, avec des valeurs maximales atteignant souvent entre 3 et 4 mètres pendant les tempêtes les plus fortes. Cependant, il est important de noter que ces chiffres sont des estimations générales et peuvent varier considérablement en fonction des conditions spécifiques [Weather online].

Les vagues en Algérie peuvent varier en intensité en fonction de plusieurs facteurs tels que les saisons, les conditions météorologiques, les courants marins et la topographie côtière

spécifique (Fig. II. 14). La côte algérienne s'étend sur environ 1200 kilomètres le long de la mer Méditerranée, offrant une diversité de conditions maritimes (Fig. II. 15).

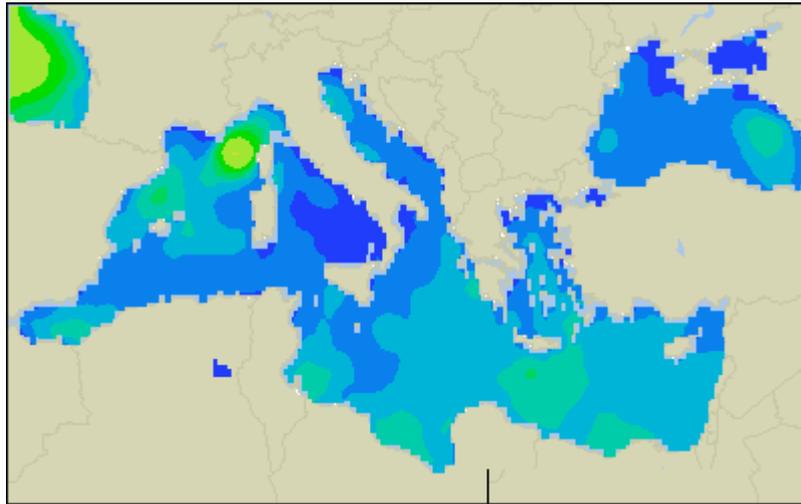


Fig. II. 15 - Variation de l'intensité des vagues dans la méditerranée.
[Weather online]

Dans notre travail l'évaluations d'un choix de notre modèle d'étude ont été réalisés en fonction de la présentation des différents types d'énergies et de localisation susceptibles d'être qualifiés pour installer la structure proposée selon les conditions techniques appropriées, notamment celles liées à la variable temporelle, représentée par le détail de l'état de la mer (*ville d'Oran pour notre étude*) [Voire l'ANNEXE 2].

II.5. Evaluation Technique d'un Choix de Modèle d'Etude

Lors de l'évaluation d'un choix de modèle d'énergie houlomotrice pour notre étude, voici quelques aspects techniques importants qu'on a pris en compte :

II.5.1. Ressources houlomotrices

Évaluez les caractéristiques des ressources houlomotrices disponibles dans la région où vous envisagez d'implanter le système. Considérez des facteurs tels que l'amplitude des vagues, la fréquence des vagues, la profondeur de l'eau et la topographie côtière. Une étude approfondie des données océanographiques et des modèles de vagues peut être nécessaire pour évaluer la viabilité de l'énergie houlomotrice dans la région.

II.5.2. Technologie de conversion de l'énergie

Il existe différentes technologies de conversion de l'énergie houlomotrice, telles que les turbines sous-marines, les oscillateurs de colonne d'eau et les dispositifs de flottaison. Évaluez les avantages et les inconvénients de chaque technologie en termes d'efficacité de conversion, de fiabilité, de coût de fabrication, de maintenance et de durabilité (Tab. II. 1).

Type	Localisation	Coûts	Condition de fonctionnement	Fiabilité / durabilité	Impact sur l'environnement
Atténuateur	Off-shore	Elevé	<i>Nécessite des conditions climatiques modéré</i>	<i>Nécessite des vérification et maintenance périodique</i>	<i>Risque sur la faune marine</i>
Point d'absorbeur					<i>Perturbations des mammifères</i>
Convertisseur d'onde oscillante					<i>Impact sur le paysage et conflits d'utilisation de l'espace maritime</i>
Colonne d'eau oscillante	On shore	Moins que les autres	<i>Fonctionne dans tous les conditions climatique</i>	Maintenance	<i>Impact modéré</i>
Dispositif de surmenage	Off-shore	Elevé	<i>Nécessite des conditions climatiques modéré</i>	<i>Nécessite des vérification et maintenance périodique</i>	<i>Risque sur la faune marine</i>
Déférence de pression submergée					<i>Risque sur la faune et la flore marine</i>
Onde de gonflement					<i>Perturbation des courants Risque de collusion</i>
Masse en rotation					<i>Risque sur la faune marine</i>

Tab. II. 1 - Comparaison entre différentes technologies d'énergies houlomotrices.

II.5.3. Conditions environnementales

Évaluez l'impact environnemental potentiel du modèle d'énergie houlomotrice que vous envisagez (analysé en détail dans le troisième chapitre). Tenez compte des effets sur la faune et la flore marines, la géologie sous-marine, les courants marins et les écosystèmes côtiers. Une évaluation environnementale approfondie peut être nécessaire pour garantir la durabilité et la compatibilité écologique du projet.

II.5.4. Fiabilité et maintenance

Évaluez la fiabilité du modèle d'énergie houlomotrice proposé et les exigences de maintenance associées. Considérez la résistance aux conditions marines difficiles, la durée de vie attendue des équipements, les besoins de réparation et de remplacement, ainsi que la disponibilité des pièces de rechange.

II.5.5. Évaluation comparative

Comparez le modèle d'énergie houlomotrice avec d'autres sources d'énergie renouvelable disponibles dans la région (Fig. II. 16), telles que l'énergie solaire, éolienne onshore/offshore ou géothermique. Évaluez les avantages et les inconvénients relatifs de chaque source d'énergie en termes de disponibilité des ressources, de potentiel énergétique, de coûts et d'impact environnemental.

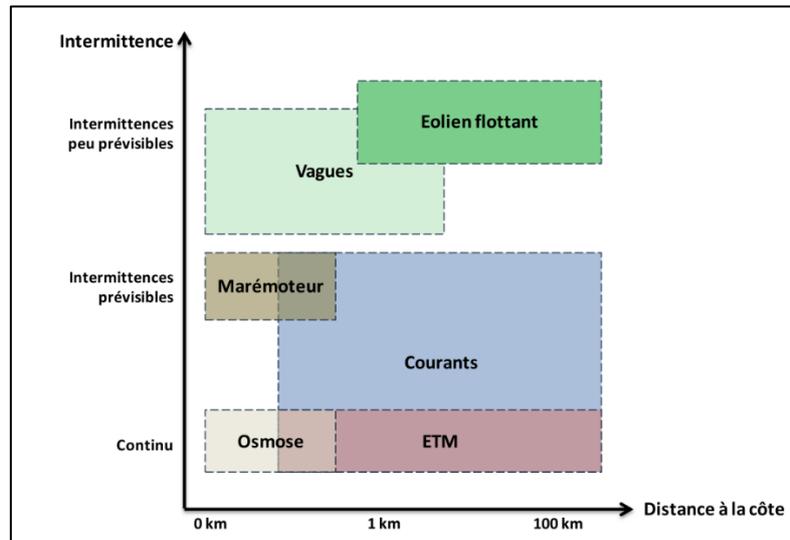


Fig. II. 16 – Comparaison entre les modèles d'énergies houlomotrice.

II.5.6. Analyse "SWOT"

La méthode SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) permet une évaluation des forces, faiblesses, opportunités et menaces associées à notre choix d'étude. Cela nous permettra de mieux comprendre les avantages et les inconvénients de chaque option de notre modèle comme il est illustré dans le tableau (II.2).

L'analyse SWOT présentée dans cette étape de notre travail (Tab II.2) est faite pour une validation de notre choix d'énergies houlomotrice de type "**Colonne d'eau oscillante**".

Dans cette étape on va suivre les démarches suivantes :

- 1- Les **Forces** (*Strengths*) : Identifiez les aspects positifs internes de notre modèle ;
- 2- Les **Faiblesses** (*Weaknesses*) : Identifiez les aspects négatifs internes de notre modèle ;
- 3- Les **Opportunités** (*Opportunities*) : Identifier les facteurs externes positifs qui peuvent bénéficier au projet ;
- 4- Les **Menaces** (*Threats*) : Identifier les facteurs externes négatifs qui peuvent nuire au projet.

<p style="text-align: center;">Strengths (Forces)</p>	<p style="text-align: center;">Weaknesses (Faiblesses)</p>
<p>1) Diversification du mix énergétique, L'Algérie est actuellement très dépendante des combustibles fossiles. L'introduction de l'énergie renouvelable houlomotrice OWC permettrait de diversifier le mix énergétique du pays, réduisant ainsi sa dépendance aux sources d'énergie non renouvelables ;</p> <p>2) L'implantation d'une OWC permettrait de générer une quantité significative d'électricité propre et durable ;</p> <p>3) Réduction des émissions de gaz à effet de serre : L'Algérie est fortement engagée dans la lutte contre le changement climatique L'utilisation de l'énergie renouvelable permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'énergie ;</p> <p>4) En exploitant cette propre ressource renouvelables, l'Algérie peut réduire sa dépendance aux importations d'énergies fossiles, assurant ainsi une plus grande autonomie énergétique et une meilleure sécurité énergétique à long terme.</p>	<p>1) Coûts de développement élevés : La technologie houlomotrice est encore relativement nouvelle et les coûts de développement et de déploiement peuvent être élevés ;</p> <p>2) Impact environnemental potentiel : L'installation de systèmes houlomotrice peut avoir un certain impact sur l'environnement marin et la vie marine locale ;</p> <p>3) Dépendance aux conditions des vagues : Les stations houlomotrices OWC sont étroitement liées aux conditions des vagues pour générer de l'énergie ;</p> <p>4) Complexité technique : La conception et l'exploitation d'une station houlomotrice OWC peuvent être complexes en raison de l'intégration de multiples composants, tels que les systèmes de capture des vagues, les turbines, les générateurs et les systèmes de conversion d'énergie. La complexité technique peut entraîner des défis de conception, de construction et de maintenance.</p>
<p style="text-align: center;">Opportunités (Opportunités)</p>	<p style="text-align: center;">Threads (Menaces)</p>
<p>1) Création d'emplois et développement économique ;</p> <p>2) Accès à l'énergie dans les régions éloignées ;</p> <p>3) Apprentissage pratique et expérimentation L'intégration de cette ressource énergétique renouvelable offre aux étudiants l'opportunité d'acquérir des compétences pratiques en matière de conception, d'installation et de maintenance de systèmes d'énergies renouvelables ;</p> <p>4) Création d'emplois verts : L'expansion des énergies renouvelables crée de nouvelles opportunités d'emploi dans les secteurs des technologies propres et de l'énergie verte. L'éducation axée sur les énergies renouvelables prépare les étudiants à ces emplois du futur et contribue au développement économique durable.</p>	<p>1) Concurrence avec d'autres sources d'énergie renouvelable : L'énergie houlomotrice doit faire face à la concurrence d'autres sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie éolienne et solaire, qui sont déjà plus largement développées et moins coûteuses ;</p> <p>2) Acceptation sociale et conflits d'utilisation de l'espace : Les projets de stations houlomotrices OWC peuvent rencontrer une résistance de la part des communautés locales, des pêcheurs et d'autres utilisateurs de l'espace marin. Des préoccupations environnementales, sociales, économiques ou culturelles peuvent se manifester, entraînant des conflits d'utilisation de l'espace et des défis dans le processus d'approbation et de permis.</p>

Tab. II. 2 - Analyse SWOT du modèle "Colonne d'eau oscillante".

Il est souvent utile de combiner plusieurs de ces techniques d'évaluation et d'analyse pour obtenir une vue d'ensemble complète de notre choix de modèle d'étude et faciliter notre décision finale.

On pose la question : Pour quoi la "Colonne d'eau oscillante" ?

- La colonne d'eau oscillante est le meilleur choix pour générer de l'énergie avec un impact minimal sur l'environnement si nous comparons l'avantage et les inconvénients de tous les systèmes (Tab. II. 1), nous constatons que : la station houlomotrice onshore est moins nuisible que la station offshore ;
- La technologie houlomotrice y compris les colonnes d'eau oscillantes utilise l'énergie des vagues, qui est une source d'énergie renouvelable abondante. Contrairement aux combustibles fossiles, cette énergie est durable et ne contribue pas aux émissions de gaz à effet de serre responsables du changement climatique ;
- Faible impact environnemental (relative). Les systèmes houlomoteurs, y compris les colonnes d'eau oscillante, ont généralement un impact environnemental minimal. Ils n'entraînent pas de pollution de l'air ou de l'eau et ne perturbent pas les écosystèmes marins (pas d'effet directe) ;
- Coexistence avec les activités marines, les colonnes d'eau oscillante houlomotrices peuvent être conçues pour minimiser l'impact sur les activités marines telles que la navigation, la pêche et la faune marine. Cela permet une coexistence harmonieuse entre la technologie et les autres utilisations de l'océan ;
- Coûts élevés des systèmes houlomoteurs offshore sont généralement coûteux à développer, installer et entretenir (par rapport à l'installation onshore). Les coûts d'ingénierie, de fabrication et de déploiement en mer peuvent être considérables, ce qui rend la technologie moins compétitive par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelable ;
- Conditions maritimes hostiles des systèmes houlomoteurs offshore doivent faire face à des conditions maritimes souvent difficiles, telles que des vagues puissantes, des tempêtes, des courants marins et la corrosion due à l'eau salée ainsi que la stabilité de la structure pour une bonne optimisation. Cela augmente la complexité de la conception, de la construction et de la maintenance des installations ;
- Impact sur l'environnement marin : Les systèmes houlomoteurs offshore peuvent avoir un impact sur l'environnement marin plus néfaste. Les structures immergées et les dispositifs de conversion de l'énergie peuvent causer des perturbations physiques, modifier l'écoulement des courants et potentiellement affecter les habitats et les espèces marines. Des études approfondies sont nécessaires pour évaluer et minimiser ces impacts ;
- Fiabilité et durabilité : Les systèmes houlomoteurs offshore sont soumis à des contraintes et des sollicitations constantes de l'environnement marin, ce qui peut entraîner des problèmes de fiabilité et de durabilité. Les vagues et les

tempêtes peuvent endommager les équipements, ce qui nécessite des opérations de maintenance fréquentes et coûteuses ;

- Conflits d'utilisation de l'espace maritime : L'implantation des systèmes houlomoteurs offshore peut entraîner des conflits d'utilisation de l'espace maritime. Les zones côtières sont souvent déjà utilisées pour des activités telles que la pêche, la navigation, l'exploitation pétrolière et gazière, et la protection de l'environnement. L'installation de parcs houlomoteurs peut susciter des préoccupations et nécessiter une planification minutieuse pour éviter les conflits d'intérêts.

II.6. Conclusion

La technologie de l'énergie des vagues est une source d'énergie renouvelable prometteuse, mais des efforts de recherche, de développement et de déploiement sont encore nécessaires pour atteindre son plein potentiel. Des investissements continus dans cette technologie, combinés à des politiques de soutien et à des incitations économiques, peuvent contribuer à son développement ultérieur et à son intégration plus large dans le bouquet énergétique mondial.

CHAPITRE.III.

Evaluation des Impacts Environnementaux

III.1. Introduction

L'étude de l'impact environnemental est un processus important pour évaluer les effets d'un projet, d'une activité ou d'une technologie sur l'environnement. Elle permet de comprendre les conséquences potentielles sur les écosystèmes, les ressources naturelles, la qualité de l'air, de l'eau et des sols, ainsi que sur la biodiversité. L'objectif principal de cette étude est de prendre en compte les aspects environnementaux afin de minimiser les effets négatifs et de favoriser des pratiques durables et respectueuses de l'environnement. En examinant attentivement les impacts environnementaux, nous sommes en mesure de prendre des décisions éclairées et de mettre en place des mesures d'atténuation appropriées pour préserver notre planète pour les générations futures.

III.2. Règlements

Le texte réglementaire	La date	Objectif
Décret exécutif n° 07-145	19 Mai 2007	Déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
Décret exécutif n° 18-255	9 Octobre 2018	Modifiant et complétant le décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
Décret exécutif n° 19-241	8 Septembre 2019	Modifiant et complétant le décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.

Tab.III.1- Réglementation.

Une étude d'impact sur l'environnement est élaborée sur la base de la dimension du projet et de ses incidences potentielles sur l'environnement, conformément aux textes réglementaires en vigueur suivants :

- Le décret exécutif n° 07-145 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Le décret exécutif n° 18-255 du 9 octobre 2018 modifiant et complétant le décret exécutif n° 07-145 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.

Le contenu de l'étude ou de la notice d'impact doit comprendre notamment :

N°	CONTENUE
1	La présentation du promoteur du projet, le nom ou la raison sociale ainsi que, le cas échéant, sa société, son expérience éventuelle dans le domaine du projet envisagé et dans d'autres domaines ;

2	La présentation du bureau d'études accompagnée d'une copie de la décision d'agrément délivrée par le ministre chargé de l'environnement ;
3	L'analyse des alternatives éventuelles des différentes options du projet en expliquant et en fondant les choix retenus au plan économique, technologique et environnemental ;
4	La délimitation de la zone d'étude en fonction des limites définies par le rayon d'affichage conformément aux dispositions du décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 et complété par le décret exécutif n° 18-255 du 9 octobre 2018, susvisé, pour les installations classées, et sur un rayon ne dépassant pas trois (3) Km pour les projets cités en annexes du présent décret ;
5	La description détaillée de l'état initial du site et de son environnement portant notamment sur ses ressources naturelles, sa biodiversité, ainsi que sur les espaces terrestres, maritimes ou hydrauliques, susceptibles d'être affectés par le projet accompagné d'un plan de situation à l'échelle de 1/2.500ème et d'un plan de masse à l'échelle de 1/200ème, et sur lequel figure l'affectation des constructions et terrains avoisinant le site du projet ainsi que toutes les servitudes ;
6	La description détaillée des différentes phases du projet, notamment la phase de construction, la phase d'exploitation et la phase post-exploitation (démantèlement des installations et remise en état des lieux) ;
7	L'estimation des catégories et des quantités de résidus, d'émissions et de nuisances susceptibles d'être générés lors des différentes phases de réalisation et d'exploitation du projet (notamment déchets, chaleur, bruits, radiation, vibrations, odeurs, fumées...) ;
8	L'évaluation des impacts prévisibles directs et indirects, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement (air, eau, sol, milieu biologique, santé...) ;
9	Les effets cumulatifs pouvant être engendrés au cours des différentes phases du projet et la méthode utilisée pour l'évaluation des impacts ;
10	La description des mesures envisagées par le promoteur pour supprimer, réduire et/ou compenser les conséquences dommageables des différentes phases du projet ;
11	Un plan de gestion de l'environnement détaillé qui est un programme de suivi des mesures d'atténuation et/ou de compensation mises en œuvre par le promoteur avec un planning d'exécution de ce plan ;
12	Les incidences financières allouées aux mesures préconisées ;
13	Tout autre fait, information, document ou étude soumis par les bureaux d'études pour étayer ou fonder le contenu de l'étude ou de la notice d'impact concernée ;

14	L'étude ou la notice d'impact doit être obligatoirement accompagnée par un rapport descriptif du projet, établi par le bureau d'études et mis à la disposition du public durant la période de l'enquête publique.
-----------	---

Tab.III.2 Le contenu de l'étude d'impact sur l'environnement.

III.3. Evaluation des Impacts Environnementaux

Le système houlomoteur est une technologie qui utilise l'énergie des vagues pour produire de l'électricité. Bien que cette technologie puisse être considérée comme une source d'énergie renouvelable et durable, elle peut avoir des effets sur la faune marine et côtière.

▪ Définition d'étude d'impact environnementale

L'étude d'impact, également connue sous le nom d'évaluation d'impact ou d'étude d'impact environnemental, est une démarche réglementaire visant à évaluer les conséquences d'un projet ou d'une activité sur l'environnement, la santé humaine et d'autres aspects sociaux, économiques et culturels. Elle est souvent exigée par la réglementation avant de pouvoir entreprendre un projet majeur ou une activité ayant un potentiel d'impact significatif.

L'objectif principal de l'étude d'impact est d'anticiper, d'identifier et d'évaluer les effets potentiels d'une action sur l'environnement et la société. Elle vise à fournir une évaluation complète et objective des impacts négatifs et positifs du projet, ainsi que des mesures d'atténuation et de gestion proposées.

III.4. Contexte du travail

III.4.1. Situation géographique d'Oran

Oran est la deuxième ville d'Algérie et une des plus importantes du Maghreb. C'est une ville portuaire de la Méditerranée, située au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km de la capitale Alger.



Fig. III. 1 – La situation géographique d'Oran.

La wilaya d'Oran est délimitée territorialement comme suit :

- Vous avez envoyé
- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud-est par la wilaya de Mascara.
- A l'Ouest par la wilaya d'Ain Témouchent.
- A l'Est par la wilaya de Mostaganem.
- Au Sud par la wilaya de Sidi Bel Abbés.

La wilaya d'Oran s'étend sur une superficie de 2 114 000 km. La population totale de la wilaya est de 1 577 556 habitants, soit une densité de 746 habitants par Km. (ANDI,2013). Elle bénéficie d'un climat méditerranéen sec classique marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux. Pendant les mois d'été, les précipitations deviennent rares voire inexistantes, et le ciel est lumineux et dégagé. En revanche, la région est bien arrosée pendant l'hiver. Les faibles précipitations (420 mm de pluie) et leur fréquence (72,9 jours par an) sont aussi caractéristiques de ce climat (ANDI, 2013).

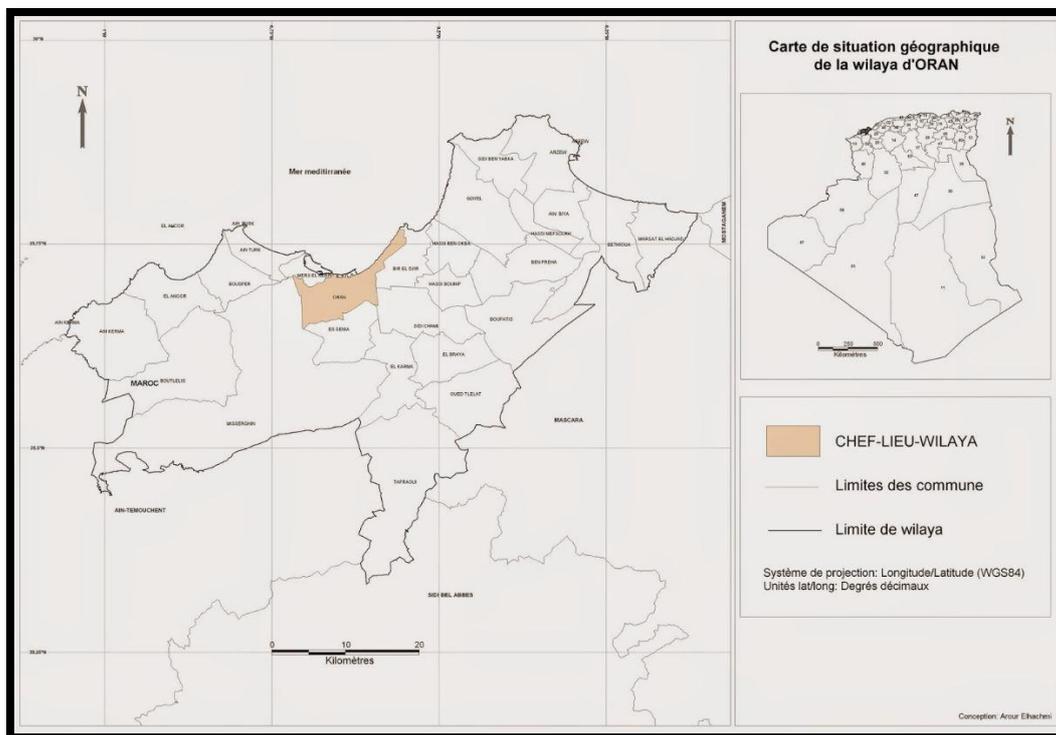


Fig. III. 2 – Situation géographique de la commune Kristel Gdyel.

III.4.2. Situation géographique de la commune de Kristel Gdyel

Kristel est un village enclavé, situé dans une crique, en bordure des villes d'Oran et d'Arzew, à 26 km à l'est d'Oran dans une région couverte par des maquis denses, mais également très peu peuplée⁵. Il relève administrativement de la commune de Gdyel (wilaya d'Oran). La côte du village est rocheuse et le relief de son territoire est accidenté, le Djebel Kristel atteint 490 m d'altitude³, le Djebel Bou Aïchem 630 m et le Djebel Orous 630 m (*WIKIPIDIA 2023*).



Fig. III. 3- Choix de la position.

III.4.3. Précipitations de wilaya d'Oran

D'Après les données météorologiques de la wilaya d'Oran illustrer dans la figure (Fig. III. 4) ; on remarque que le mois Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 1 mm. Les précipitations records sont enregistrées en Novembre. Elles sont de 66 mm en moyenne.

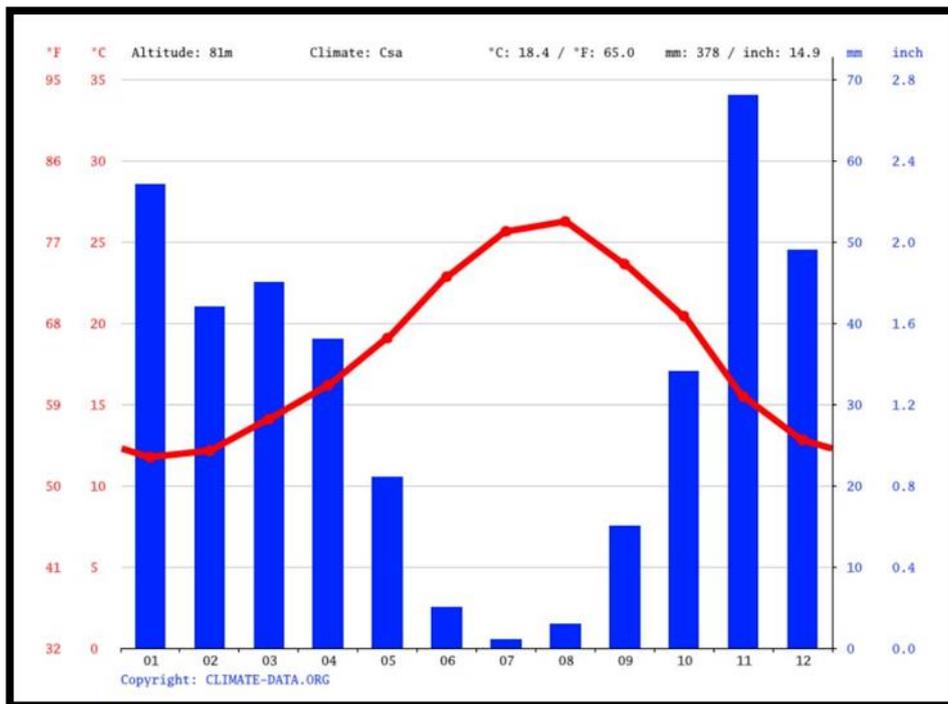


Fig. III. 4 – la courbe de records des précipitations c à Oran.

III.4.4. Climat

Un climat méditerranéen sec classique marque par une sècheresse estivale, des hivers doux.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	11.8	12.1	14.1	16.2	19.1	22.9	25.6	26.2	23.6	20.4	15.5	12.8
Température minimale moyenne (°C)	8.6	8.9	10.7	12.6	15.4	18.9	21.6	22.5	20.3	17	12.4	9.7
Température maximale (°C)	15.2	15.6	17.8	19.9	22.8	26.9	29.9	30.5	27.6	24.3	18.8	16.2
Précipitations (mm)	57	42	45	38	21	5	1	3	15	34	68	49
Humidité(%)	74%	73%	72%	69%	68%	65%	64%	66%	69%	72%	72%	74%
Jours de pluie (j/ée)	6	5	5	4	3	1	0	1	2	4	6	6
Heures de soleil (h)	7.4	8.1	9.1	10.1	11.1	11.8	11.8	10.9	10.0	8.9	7.7	7.2

Tab.III.2 B - climat de wilaya d’Oran.

Les précipitations moyenne annuelle sont de 384mm. Le mois de Juillet est le mois le plus sec avec seulement Imm, les précipitations record sont enregistrées en Décembre, elles sont de 64mm en moyenne []. (www.climate-data.org).

III.4.5. Température

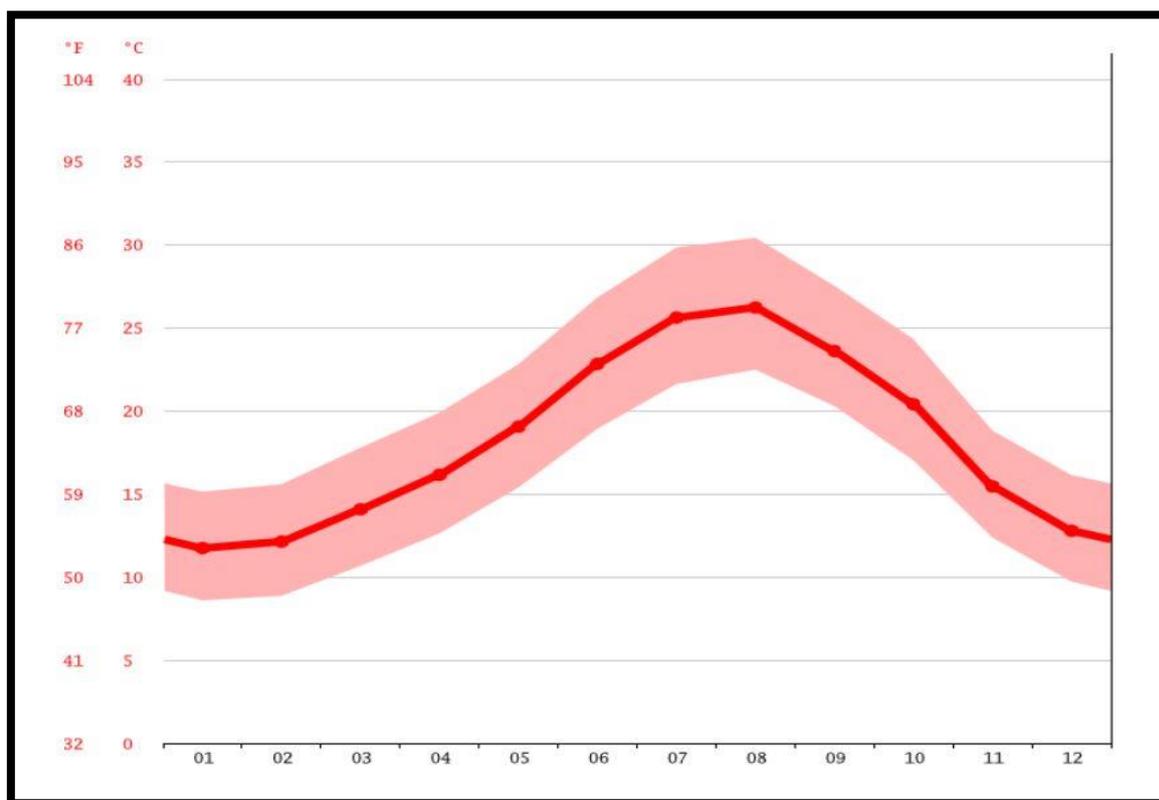


Fig. III. 5 – Butin de la température durant tout l’année.

Comme remarque, Aout est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 25.9 °C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 12.2 °C.

III.4.6. La température de l'eau "Kristel" (mer méditerranée)

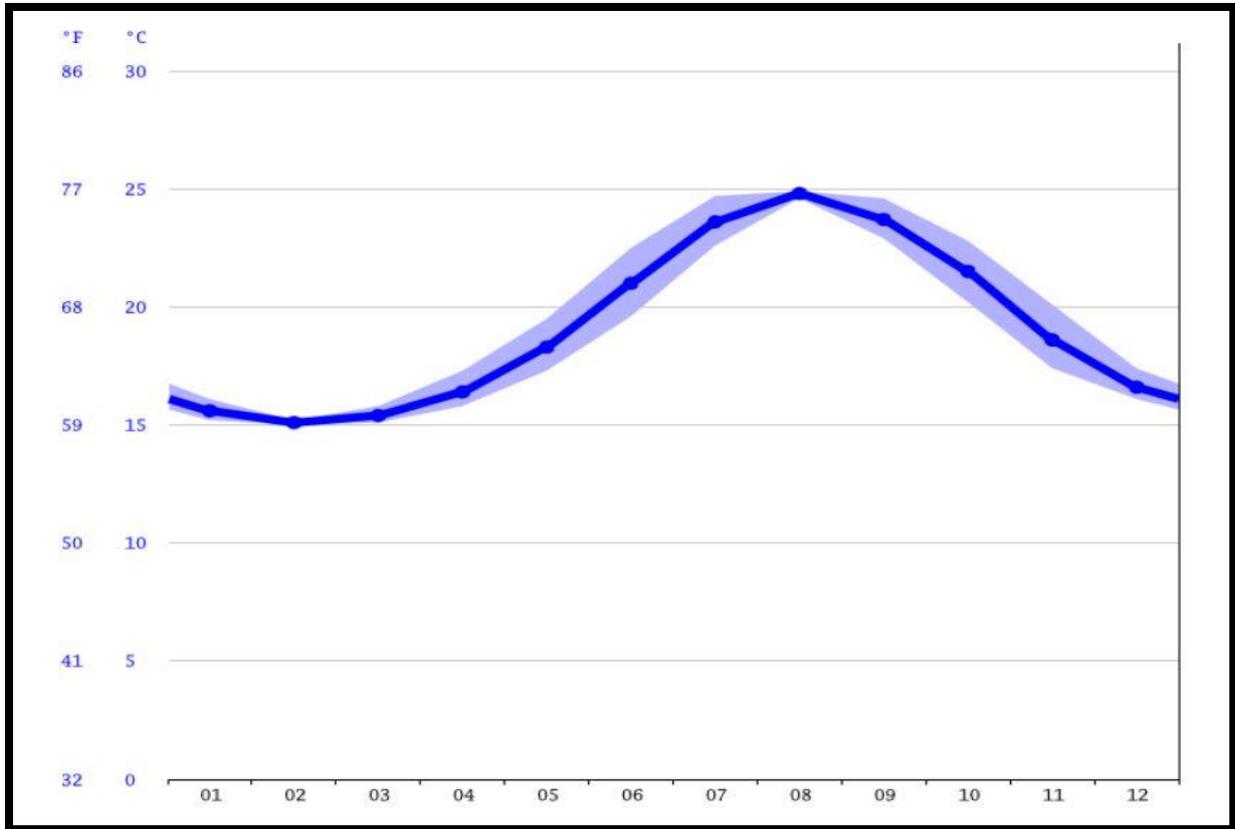


Fig.III.6 - La température de l'eau Kristell.

La température de l'eau à Kristel (mer Méditerranée) est, en moyenne annuelle, d'environ 19.20°C.

En Aout, la température de l'eau la plus élevée est atteinte avec une moyenne mensuelle de 25.20°C. Alors qu'en Février, les températures moyennes les plus basses de l'eau sont attendues avec environ 14.90 °C.

Les températures de l'eau les plus basses, 14.90°C, sont observées, au cours de l'année, vers le 17. Février. Les températures moyennes les plus élevées se situent autour de 25.20°C et sont mesurées vers le 25. Aout.

Kristel est située directement sur le plan d'eau suivant : mer Méditerranée.

III.4.7. Le vent

Le diagramme de Oran montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse. Un exemple intéressant est le plateau tibétain, où la mousson crée des vents forts et réguliers de Décembre à Avril et des vents calmes de Juin à Octobre.

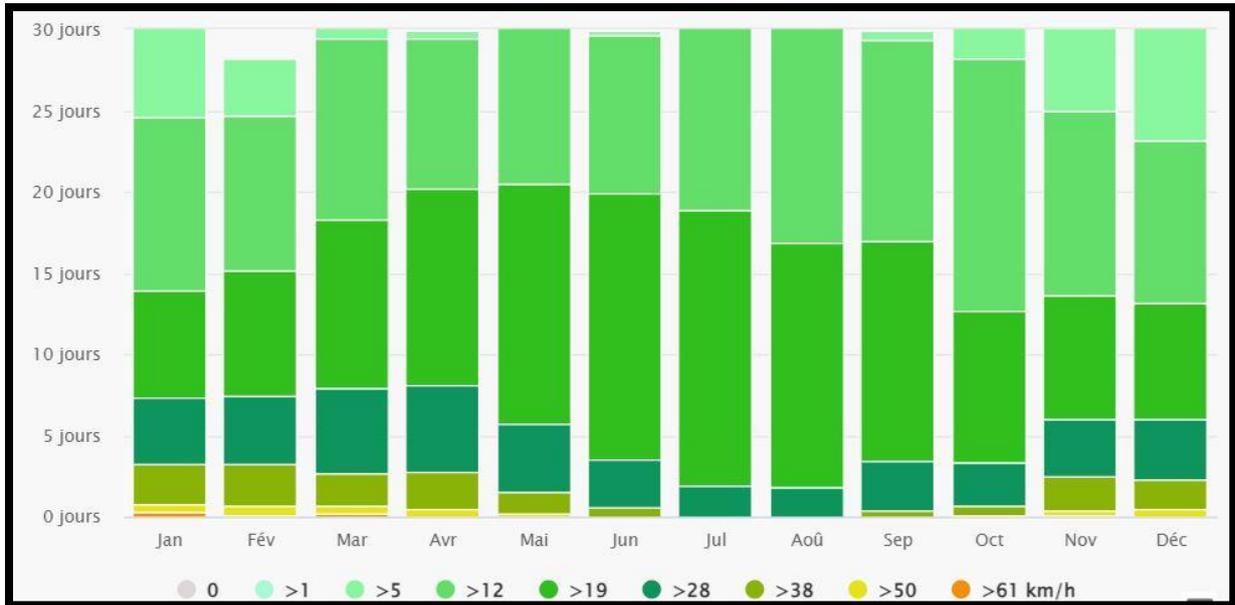


Fig. III. 7 – La vitesse de vent dans la mer méditerrané.

Les unités de vitesse du vent peuvent être modifiées dans les préférences (en haut à droite).

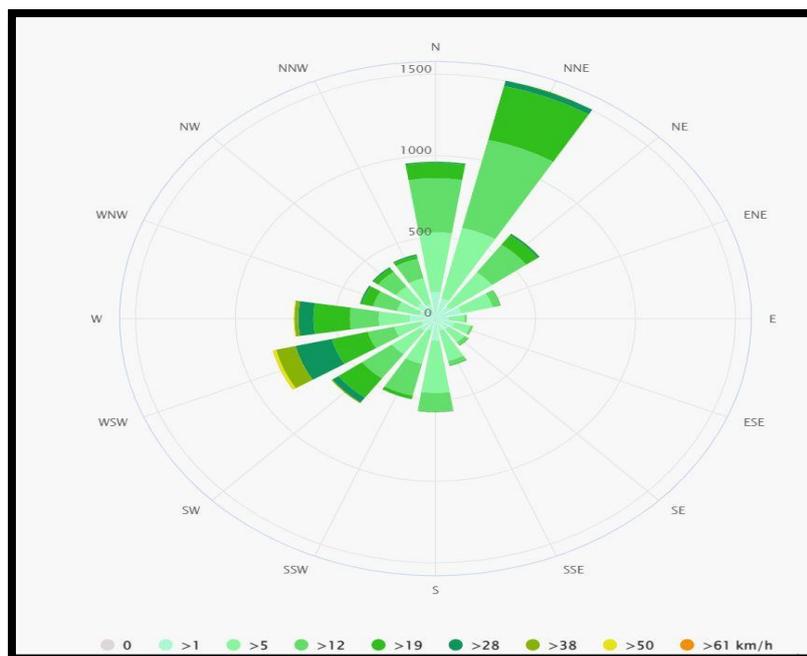


Fig.III.8 - La rose des vents.

III.4.8. L'humidité

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporera de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.

Oran connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure 4,0 mois, du 11 juin au 11 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 17 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Oran est août, avec 20,2 jours lourds ou plus accablants.

Le mois ayant le moins de jours lourds à Oran est janvier, avec 0,0 jour lourds ou plus accablants.

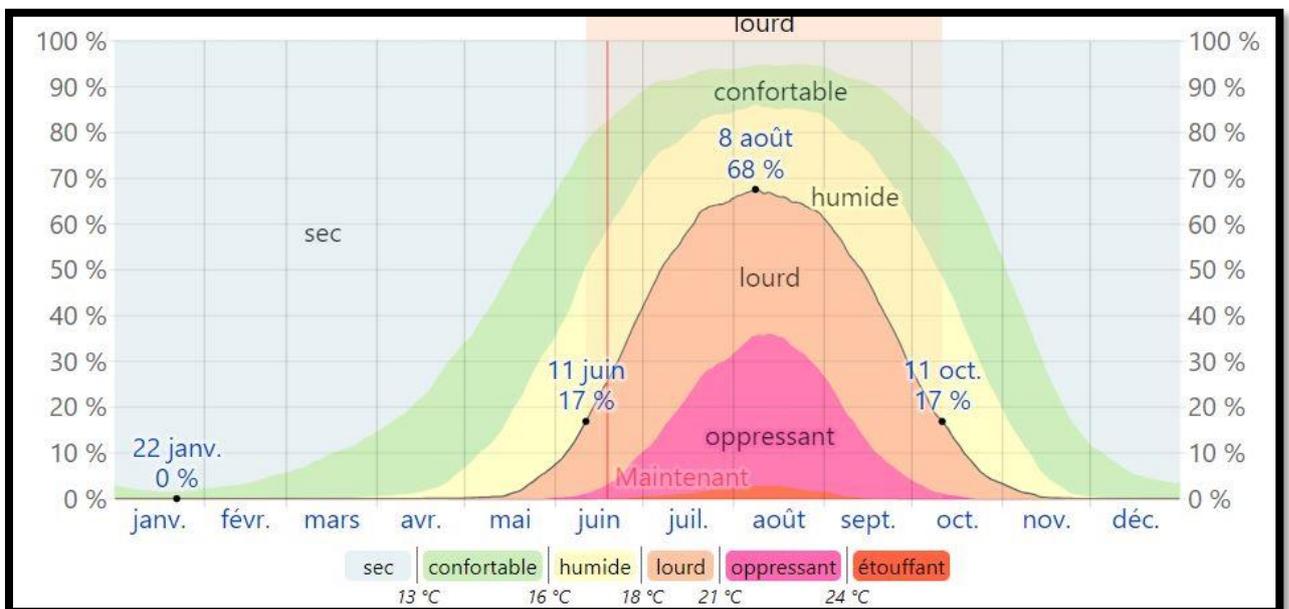


Fig. III. 11 - Niveau de confort selon l'humidité.

III.4.9. La détermination de l'étage climatique de la région d'étude

La méthode d'EMBERGER est utilisée pour déterminer les étages climatiques d'une région. Le Quotient est représenté dans l'équation (III. 1) :

$$Q_2 = (T \times 3,43) / (M - m) \quad (\text{Eq. III. 1})$$

Avec :

T : Total annuel des précipitations en [mm], égale à 66 [mm] ;

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud, égale à 25,9 [C] ;

m : Température moyenne de maxima du mois le plus froid, égale à 12,2 [C]

Alors :

D'après les données citées, on trouve que : $Q_2 = 16,52 [mm/C]$

Définition : La méthode d'Emberger est une approche utilisée pour déterminer les étages climatiques d'une région en se basant sur les variations de température, les précipitations, l'humidité, l'altitude et la végétation caractéristique.

III.5. Risque et Catastrophe Naturelles

III.5.1. Sismicité

L'Algérie est située au nord de l'Afrique, entre les plaques euro-africaines, ce qui entraîne régulièrement des séismes. Ces séismes sont généralement de faible à modérée intensité, mais parfois ils peuvent atteindre une forte magnitude et causer des destructions. La magnitude est une mesure de l'énergie libérée par un séisme, qui est intrinsèque au séisme lui-même et n'est pas liée à l'endroit où il est observé. Plus la magnitude est élevée, plus le séisme libère d'énergie.

Rendez-vous amoureux	Ordre de grandeur	Profondeur	Distance	Emplacement
2022	4.5	10	35 km	13 km au nord-ouest de Aïn el Bya, Algérie
2019	4.3	10	45 km	6 km au sud-ouest de El Amria, Algérie
2012	4.2	24.4	5 km	northern Algeria
2008	5.5	4	21 km	northern Algeria

Tab.III.3 - Historiques de séismes dans le nord d'Algérie.

III.5.2. Hydrologie

La commune de *Gdyel* est située dans la wilaya d'Oran en Algérie. En ce qui concerne l'hydrologie spécifique de la commune de *Gdyel*, voici quelques informations générales :

- Cours d'eau : La commune de *Gdyel* est traversée par l'*Oued Tafna*, qui est l'un des principaux cours d'eau de la région. L'*Oued Tafna* prend sa source dans les montagnes de l'Atlas et se jette dans la mer Méditerranée près de la commune de *Marsa Ben M'hidi*. Il joue un rôle important dans l'approvisionnement en eau de la région ;
- Ressources en eau : Comme la wilaya d'Oran dans son ensemble, la commune de *Gdyel* dispose de ressources en eau souterraine, avec la présence de nappes

phréatiques et de nappes profondes. Ces ressources sont utilisées pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole dans la commune ;

- Barrages : Bien qu'il n'y ait pas de barrage majeur dans la commune de Gdyel, certains barrages peuvent avoir une influence indirecte sur l'hydrologie de la région, en régulant le débit des cours d'eau situés en amont.

III.6. Impact sur le Milieu Naturel

III.6.1. Impact sur le milieu marin

III.6.1.1. Impacts sur les courants et les vagues

- Les dispositifs de débordement peuvent perturber les courants marins en modifiant les modèles de flux d'eau. Cela peut entraîner des changements dans la dynamique côtière et l'érosion des plages ;
- Lorsque les vagues débordent par-dessus les structures, cela crée une différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval. Cela peut influencer les modèles de vagues locaux et avoir un impact sur les zones environnantes, y compris la circulation des vagues et les processus de sédimentation.

III.6.1.2. Impacts sur la qualité de l'eau

- Les dispositifs de débordement peuvent modifier les caractéristiques hydrodynamiques de la zone, ce qui peut affecter la qualité de l'eau. Par exemple, ils peuvent influencer les échanges de nutriments, de matières organiques et de contaminants entre l'eau de mer et l'eau douce ;
- Les modifications des courants et des modèles de vagues peuvent également avoir un impact sur la dispersion des polluants et la circulation des substances chimiques dans l'eau ;
- Il est important de surveiller et d'évaluer régulièrement la qualité de l'eau autour des installations de débordement pour s'assurer que les niveaux de contaminants restent dans les limites acceptables et que les écosystèmes marins ne sont pas affectés négativement.

III.6.2. Impact sur la faune

L'installation OWC peut perturber l'habitat et le comportement des animaux marins, en particulier ceux qui sont sensibles aux bruits et aux vibrations. Les systèmes houlomoteurs peuvent également interférer avec les mouvements migratoires des poissons et des mammifères marins, en modifiant les courants et les mouvements de l'eau.

De plus, les câbles électriques qui transportent l'électricité produite peuvent poser des risques pour la faune marine. Les câbles peuvent entraver les mouvements des animaux marins et peuvent également produire un champ électromagnétique qui peut perturber les comportements de recherche de nourriture et de reproduction des animaux marins.

III.6.3. Impact sur la flore

L'installation de ces systèmes peut perturber l'environnement côtier, en modifiant les courants et les mouvements de l'eau, ce qui peut affecter la distribution des plantes et des algues marines.

De plus, la construction de structures d'installation telles que les ancrages, les câbles et les pylônes peut avoir des impacts physiques sur les écosystèmes côtiers. Les structures peuvent affecter les habitats de la faune et de la flore, en perturbant les zones de reproduction et de nourriture des espèces marines.

III.6.4. Impact sur le sol

L'impact d'une colonne d'eau oscillante sur la roche dépend de plusieurs facteurs, notamment l'amplitude et la fréquence des oscillations, la nature de la roche et sa résistance mécanique.

- Fatigue de la roche : Les oscillations répétitives de la colonne d'eau peuvent exercer des contraintes cycliques sur la roche, ce qui peut entraîner une fatigue progressive. Au fil du temps, cela peut affaiblir la roche et augmenter sa propension à se fissurer ou à se fracturer ;
- Érosion : Les mouvements de la colonne d'eau peuvent provoquer l'érosion de la roche en détachant les particules ou les fragments de la surface rocheuse. Cela peut se produire plus facilement si la roche est friable ou si elle contient des zones de faiblesse préexistantes, telles que des fissures ou des joints ;
- Affaissement ou déplacement de la roche : Dans certains cas, les oscillations de la colonne d'eau peuvent entraîner un affaissement ou un déplacement de la roche. Cela peut se produire si la roche est instable ou si les oscillations induisent des forces suffisantes pour déplacer les masses rocheuses.

III.7. Impact sur le Voisinage

III.7.1. Impact sur l'air

La colonne d'eau oscillante utilisée pour l'énergie houlomotrice a un impact limité sur la qualité de l'air. Néanmoins, il convient de souligner que certains aspects indirects peuvent avoir des conséquences sur l'air. Voici quelques exemples des effets potentiels sur l'air associés à ces dispositifs :

- Émissions de poussière lors de la construction : Lors de la construction, des activités telles que l'excavation et la manipulation des matériaux peuvent générer de la poussière dans l'air. Cela peut avoir un impact sur la qualité de l'air dans les environs immédiats du site de construction ;
- Émissions de gaz à effet de serre : Bien que les colonnes d'eau oscillantes utilisent principalement l'énergie renouvelable des vagues et des courants, leur

construction et leur maintenance peuvent impliquer l'utilisation de machines et de véhicules fonctionnant aux combustibles fossiles. Ces activités peuvent entraîner des émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi au changement climatique ;

- Émissions sonores : Ce système utilise des mécanismes complexes qui peuvent générer du bruit lorsqu'ils fonctionnent. Bien que cela n'affecte pas directement la qualité de l'air, cela peut avoir des impacts indirects sur les populations aviaires et marines sensibles au bruit.

III.7.2. Impact paysager

Les colonnes d'eau oscillantes utilisés dans le contexte de l'énergie houlomotrice peuvent avoir des impacts sur le paysage environnant. Voici quelques-uns des effets potentiels sur le paysage lié à ces dispositifs :

- Modification visuelle du littoral : Ce dispositifs peut changer l'apparence du littoral en raison de leur taille, de leur forme et de leur position. Ils peuvent créer une structure visible en mer qui peut altérer la vue panoramique et l'aspect naturel du paysage côtier ;
- Impact sur les vues marines : Le *OWC* peuvent affecter les vues marines, tant pour les résidents locaux que pour les visiteurs. Les structures visibles en mer peuvent modifier les perspectives et réduire la vue dégagée sur l'horizon, ce qui peut potentiellement altérer l'expérience esthétique du paysage côtier.

III.7.3. Impact sonore

Les *OWC* utilisés pour l'énergie houlomotrice peuvent produire des niveaux sonores qui peuvent influencer l'environnement sonore local. Voici quelques exemples des possibles impacts acoustiques associés à ces dispositifs :

- Bruit de fonctionnement : Lorsque les *OWC* fonctionnent, ils peuvent produire du bruit en raison des mouvements de l'eau, des mécanismes internes et de l'interaction avec les structures. Ce bruit peut varier en intensité en fonction de la taille et de la conception des dispositifs ;
- Effets sur la faune marine : Le bruit généré par ce système peut avoir des conséquences sur la faune marine, en particulier sur les espèces sensibles au bruit. Les mammifères marins, les poissons et les organismes marins qui dépendent du son pour communiquer, se nourrir ou se déplacer peuvent être perturbés par le bruit, entraînant des impacts sur leur comportement et leur bien-être ;
- Effets sur les activités humaines : Le bruit émis peut également avoir des conséquences sur les activités humaines dans les environs. Cela peut inclure des impacts sur les activités de loisirs, la navigation, la pêche et d'autres activités qui dépendent d'un environnement calme.

III.7.4. Impact sur le trafic et la sécurité

Les OWC utilisés dans le cadre de l'énergie houlomotrice peuvent avoir des impacts sur le trafic et la sécurité, notamment :

- Navigation : Les OWC peuvent être situés dans des zones où la navigation est fréquente, tels que les voies maritimes ou les zones côtières. Cela peut entraîner des restrictions ou des changements dans les itinéraires de navigation, ce qui peut affecter les activités commerciales, le transport maritime et les loisirs nautiques ;
- Activités de pêche : Les OWC peuvent avoir un impact sur les activités de pêche dans les zones où ils sont installés. Les pêcheurs peuvent être confrontés à des restrictions ou des interdictions d'accès à certaines zones, ce qui peut affecter leurs revenus et leurs pratiques de pêche traditionnelles ;
- Sécurité maritime : Les OWC peuvent présenter des risques potentiels pour la sécurité maritime, en particulier lorsqu'ils sont situés dans des zones de fort trafic ou dans des conditions météorologiques difficiles. Il est essentiel de mettre en place des mesures de sécurité appropriées, telles que l'installation de balises lumineuses ou d'autres dispositifs de signalisation, pour avertir les navires de la présence des dispositifs de débordement ;
- Gestion du trafic : La construction et l'exploitation des OWC peuvent nécessiter des activités de construction, de maintenance et de logistique qui peuvent affecter temporairement le trafic maritime ou terrestre.

Il est important de mener des études d'impact approfondies, de consulter les parties prenantes et de collaborer avec les autorités maritimes et les communautés locales pour évaluer et atténuer les impacts potentiels sur le trafic et la sécurité associés aux dispositifs de débordement utilisés dans l'énergie houlomotrice.

III.7.5. Impact lié aux travaux de mise en exploitation

Les travaux de mise en exploitation des colonnes d'eau oscillante dans le cadre de l'énergie houlomotrice peuvent avoir plusieurs impacts, notamment :

- Perturbation des écosystèmes : Les travaux de construction et d'installation des dispositifs de débordement peuvent entraîner une perturbation temporaire des écosystèmes marins. Cela peut affecter la faune et la flore locales, en particulier les espèces sensibles aux changements environnementaux ;
- Modification des habitats : La mise en place des OWC peut entraîner une modification des habitats marins et côtiers. Cela peut avoir un impact sur les espèces marines qui dépendent de ces habitats pour se nourrir, se reproduire ou se déplacer. Il est essentiel de mener des études d'impact environnemental approfondies et de mettre en place des mesures de compensation pour minimiser les perturbations sur les habitats marins ;

- Impacts socio-économiques : Les travaux de mise en exploitation des dispositifs de OWC peuvent avoir des impacts socio-économiques sur les communautés locales. Cela peut inclure des changements dans les activités économiques traditionnelles, tels que la pêche, ainsi que des opportunités d'emploi liées aux travaux de construction et d'exploitation.

III.8. Bilan d’Evaluation des Impacts en Période de Construction

Le bilan d'évaluation des impacts en période de construction est un processus visant à évaluer les effets potentiels des activités de construction sur l'environnement et d'autres aspects pertinents. Ce type d'évaluation (Tab. III. 4) est souvent réalisé dans le cadre de projets de construction majeurs tels que les installations industrielles et des infrastructures d'énergies renouvelable comme notre cas d'étude *“Colonne d'eau oscillante”*.

Composante de l'environnement	Source d'impact	Description de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuations	Importance de l'impact résiduel
Milieu physique					
Qualité de l'air	<i>Travaux de démolition et terrassement ; Circulation de véhicules sur chemins bitumé et non bitumé.</i>	<i>Emission de poussières et gaz d'échappement.</i>		<i>Epandage d'eau sur les chemins non bitumé et sur les matériaux secs de démolition (pavage du chemin d'accès au besoin) ; Nettoyage des chemins bitumé ; Nettoyage des roues des camions sortant du chantier ; Utilisation de bâches pour couvrir les matériaux secs durant le transport ; Utilisation de machinerie bien entretenue.</i>	<i>Ne s'applique pas.</i>
Qualité des eaux	<i>Eaux de ruissellement générées lors des pluies ; Eaux de nettoyage des bétonnières ; Eaux sanitaires du chantier.</i>	<i>Aucun changement significatif n'est anticipé.</i>	<i>Ne s'applique pas.</i>	<i>Eaux de ruissellement collectées par le réseau de fossés existants et traitées aux installations ; Eaux de nettoyage des bétonnières</i>	
				<i>Approvisionnement et entretien des véhicules et équipements dans une aire réservée à cette fin. Les produits contaminants</i>	

Qualité des sols	<p><i>Entreposage et manutention de produits dangereux ;</i></p> <p><i>Gestion des matières résiduelles</i></p>	<p><i>Risque de contamination en cas de fuite.</i></p>	<p><i>Très faible</i></p>	<p><i>seront récupérés, adéquatement entreposés et éliminés selon la réglementation en vigueur ;</i></p> <p><i>Trousses d'intervention disponible en tout temps sur le chantier.</i></p> <p><i>Nettoyage régulier des aires de travaux ;</i></p> <p><i>Manipulation de produits potentiellement contaminants fera l'objet de mesures de confinement appropriées.</i></p>	<p><i>Très faible.</i></p>
Climat sonore	<p><i>L'équipement lourd utilisé dans les travaux de construction et les véhicules routiers.</i></p>			<p><i>Veiller au bon entretien des machines pour limiter la production de bruits liés à la leur défektivité ;</i></p> <p><i>Eteindre les moteurs des engins et des véhicules quand ils ne sont pas en service.</i></p>	
Milieu biologique					
Impact sur la faune marine		<p><i>Perte d'habitats pour la petite faune terrestre ;</i></p> <p><i>Perturbation des espèces marines.</i></p>	<p><i>Modéré</i></p>	<p><i>Surveillance de la faune, mise en place de corridors de migration, réduction des impacts sur les zones de reproduction et d'alimentation.</i></p>	<p><i>Très faible.</i></p>
Impact sur la flore marine		<p><i>Impact sur les habitats marins</i></p>	<p><i>Faible à modéré</i></p>	<p><i>Études d'impact environnemental, mesures de réhabilitation, création de récifs artificiels.</i></p>	
Perturbation de l'écosystème marin		<p><i>Activités de construction pouvant perturber les habitats marins.</i></p>		<p><i>Mise en place de zones de protection, respect des réglementations marines, surveillance écologique continue.</i></p>	
Conservation de la biodiversité	<p><i>Travaux de démolition et terrassement.</i></p>	<p><i>Protection des espèces et des habitats menacés pendant la construction et exploitation</i></p>	<p><i>Modéré à élevé</i></p>	<p><i>Études d'impact environnemental, identification et protection des zones sensibles, mise en place de mesures de compensation écologique</i></p>	<p><i>Faible à modéré</i></p>

Gestion des déversements		<i>Prévention et gestion des déversements de substances dangereuses</i>	<i>Modéré</i>	<i>Formation du personnel, plan d'urgence en cas de déversement, utilisation de systèmes de confinement et de récupération des déversements</i>
Bruit		<i>Émission de bruit pendant la construction et exploitation.</i>		<i>Utilisation de matériaux d'isolation acoustique, mise en place de barrières acoustiques, limitation des heures de fonctionnement</i>

Tab. III. 4 - Evaluation des Impacts en Période de Construction.

III.9. Bilan d'Évaluation des Impacts en Période d'Exploitation

Le bilan d'évaluation des impacts en période d'exploitation d'un projet d'énergie houlomotrice en général et dans notre type de cas "*Colonne d'eau oscillante*" fait référence à l'évaluation des effets potentiels d'une installation ou d'un projet une fois qu'il est entré en phase d'exploitation. Il vise à comprendre et à anticiper les conséquences de l'exploitation continue sur l'environnement (Tab. III. 5).

Composante de l'environnement	Source d'impact	Description de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuations	Importance de l'impact résiduel
Milieu humain					
Changement du paysage	OWC	<i>Ajout d'une structure en mer</i>	<i>Faible (positive)</i>	<i>Intégration architecturale, choix de couleurs discrètes, consultation des parties prenantes pour l'emplacement optimal</i>	<i>Faible (positive)</i>
Altération de la faune marine		<i>Perturbation des espèces marines</i>	<i>Très faible</i>	<i>Surveillance de la faune, mise en place de corridors de migration, réduction des impacts sur les zones de reproduction et d'alimentation</i>	<i>Faible</i>
Altération de la flore marine		<i>Impact sur les habitats marins</i>	<i>Faible à modéré</i>	<i>Études d'impact environnemental, mesures de réhabilitation, création de récifs artificiels</i>	

Risque d'échouage		<i>Augmentation des risques pour les mammifères marins</i>	Faible	<i>Surveillance des zones sensibles, mesures de prévention, limitation de la vitesse des navires dans la région.</i>
Perturbation des écosystèmes		<i>Modification des processus écologiques</i>		<i>Suivi écologique à long terme, modélisation de la dispersion des contaminants, mesures de gestion adaptatives.</i>
Consommation d'énergie		<i>Besoin d'électricité pour le fonctionnement</i>	Modéré	<i>Utilisation d'énergies renouvelables pour l'alimentation, optimisation de l'efficacité énergétique, stockage de l'énergie.</i>

Tab. III. 5 - Evaluation des Impacts en Période d'Exploitation.

III.10. Mesure d'Atténuation des Impacts Significatifs Pendant l'Exploitation de l'OWC

III.10.1. Mesures d'atténuation pendant l'exploitation de l'OWC

La mesure d'atténuation des impacts significatifs pendant l'exploitation fait référence à un processus ou à des actions pour réduire ou minimiser les effets négatifs ou indésirables de notre projet pendant sa phase d'exploitation (Tab.III.6). Il s'agit d'une étape cruciale de la gestion environnementale et de la responsabilité sociale organismes de construction.

Composante de l'environnement	Mesures d'atténuation proposées
Qualité de l'air	<i>Utilisation de technologies de traitement avancées pour réduire les émissions atmosphériques Surveillance régulière de la qualité de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du site du projet ; Adoption de pratiques de gestion des gaz à effet de serre pour réduire les émissions de CO2 et d'autres gaz à effet de serre.</i>
Qualité de l'eau de mer	<i>Mise en place de systèmes de filtration et de dépollution de l'eau de mer pour réduire les impacts potentiels ; Surveillance continue de la qualité de l'eau de mer pour détecter toute altération ou contamination ; Réalisation d'études d'impact sur les écosystèmes marins pour évaluer l'effet de l'OWC sur la biodiversité et les habitats marins.</i>
Qualité des eaux	<i>Mise en place de systèmes de traitement appropriés pour les effluents liquides et les eaux usées ; Routage des eaux usées vers une station d'épuration approuvée hors site pour un traitement adéquat ; Mise en place de mesures de prévention des fuites et de détection des fuites pour éviter les contaminations accidentelles.</i>
Qualité des sols	<i>Utilisation de techniques de gestion des sols pour prévenir la pollution et l'érosion ;</i>

	<p><i>Mise en place de pratiques de gestion des déchets pour éviter la contamination des sols ;</i> <i>Réalisation d'études préliminaires de l'état des sols pour identifier les zones à risque de contamination.</i></p>
Climat sonore	<p><i>Utilisation de technologies de réduction du bruit pour minimiser les niveaux de bruit émis par les équipements et les véhicules ;</i> <i>Surveillance régulière des niveaux de bruit pour s'assurer de la conformité avec les normes et les réglementations en vigueur.</i></p>
Faune et flore	<p><i>Réalisation d'études d'impact sur la faune et la flore pour identifier les espèces sensibles et les habitats critiques ;</i> <i>Mise en place de mesures de protection de la faune et de la flore, telles que des zones d'exclusion ou de limitation ;</i> <i>Collaboration avec des experts et des organismes locaux pour minimiser l'impact sur la faune et la flore.</i></p>

Tab. III.6 - Mesures d'atténuation pendant l'exploitation de l'OWC.

L'objectif de la mesure d'atténuation est de prévenir ou de réduire les conséquences néfastes sur l'environnement, les communautés locales et d'autres parties prenantes. Cela peut inclure des problèmes qui entravent l'augmentation de la production et/ou de la génération d'énergie et même gérer les émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'air, de l'eau ou du sol, la génération de déchets, le bruit, les vibrations, etc.

III.10.2. Mesures d'atténuation pendant la construction de l'OWC

La mesure d'atténuation des impacts significatifs pendant la construction fait référence à un processus ou à des actions pour réduire ou minimiser les effets négatifs ou indésirables de notre projet pendant sa phase de construction (Tab.III.7). Il s'agit d'une étape cruciale de la gestion environnementale et de la responsabilité sociale organismes de construction

Les répercussions potentielles significatives	Mesures d'atténuation proposées
Émissions atmosphériques pouvant dégrader la qualité de l'air ambiant	<p><i>Utilisation de technologies de traitement avancées pour minimiser les émissions atmosphériques ;</i> <i>Surveillance régulière de la qualité de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du site du projet ;</i> <i>Mise en place de systèmes de contrôle des émissions conformes aux normes environnementales applicables ;</i> <i>Adoption de pratiques de gestion des gaz à effet de serre pour réduire les émissions de CO2 et d'autres gaz à effet de serre.</i></p>
Contamination des sols et des eaux souterraines	<p><i>Séparation des effluents liquides issus de la production pour prévenir la contamination des sols et des eaux souterraines ;</i> <i>Utilisation de systèmes de traitement appropriés pour les effluents liquides et les eaux usées ;</i> <i>Routage des eaux usées vers une station d'épuration approuvée hors site pour un traitement adéquat ;</i> <i>Mise en place de mesures de prévention des fuites et de détection des fuites pour éviter les contaminations accidentelles.</i></p>

Génération de bruit pouvant causer des nuisances	<i>Utilisation de technologies de réduction du bruit pour minimiser les niveaux de bruit émis par les équipements et les véhicules ; Surveillance régulière des niveaux de bruit pour s'assurer de la conformité avec les normes et les réglementations en vigueur ; Mise en place de mesures de gestion du bruit pour atténuer les nuisances pour les employés et les populations locales.</i>
Altération de la faune et de la flore marines	<i>Étude préliminaire de l'environnement marin pour identifier les espèces sensibles et les habitats critiques ; Mise en place de mesures de protection de la faune et de la flore marines, telles que des zones d'exclusion ou de limitation ; Surveillance régulière de l'impact sur la faune et la flore marines et ajustement des activités en conséquence.</i>
Risque d'échouage des espèces marines Appropriées	<i>Mise en place de dispositifs de prévention des échouages pour protéger les espèces marines migratrices et les mammifères marins ; Formation du personnel pour une réponse rapide en cas d'échouage et de sauvetage des animaux échoués ; Collaboration avec les organismes locaux et les experts pour minimiser les risques d'échouage et prendre des mesures.</i>
Consommation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre	<i>Utilisation de technologies économes en énergie pour réduire la consommation d'énergie.</i>

Tab. III. 7 - Mesures d'atténuation pendant de construction de l'OWC.

L'objectif de la mesure d'atténuation est de prévenir ou de réduire les conséquences néfastes sur l'environnement, les communautés locales et d'autres parties prenantes. Cela peut inclure des problèmes qui entravent l'augmentation de la production et/ou de la génération d'énergie et même gérer les émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'air, de l'eau ou du sol, la génération de déchets, le bruit, les vibrations, etc.

III.11. Plan de Gestion Environnementale

Pour assurer une gestion environnementale efficace de l'exploitation d'une *Oscillating Water Colum (OWC)* en tant qu'énergie renouvelable, plusieurs mesures sont mises en place. Tout d'abord, un système de gestion environnementale complet est établi pour superviser toutes les phases du projet, conformément aux lois environnementales et aux accords conclus avec les autorités compétentes. Ce système est constamment mis à jour pour prendre en compte les spécificités de chaque phase du projet, de la construction à l'exploitation.

La surveillance environnementale joue un rôle essentiel dans ce système de gestion environnementale (Tab. III.8). Un programme de surveillance est mis en place pour suivre de près les travaux de construction et pour surveiller l'environnement pendant la phase d'exploitation. Ce programme comprend des mécanismes de collecte de données et de suivi pour vérifier la conformité aux exigences légales et environnementales. Il permet de détecter tout éventuel impact négatif sur l'environnement résultant de la réalisation ou de l'exploitation du projet.

En parallèle, un programme de suivi environnemental est également mis en œuvre pour évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation ou de compensation prévues dans l'étude d'impact.

Ce programme repose sur des observations et des mesures sur le terrain afin de confirmer les prévisions des impacts et d'ajuster les mesures en cas de besoin. Il permet de réduire les incertitudes persistantes et de prendre des actions correctives si nécessaire.

Pour garantir une participation citoyenne et prendre en compte les préoccupations des communautés environnantes, un comité de voisinage est créé dès le début du projet et est maintenu pendant la phase d'exploitation (Tab. III.8). Ce comité permet de recueillir les perceptions, plaintes et commentaires des habitants concernant les travaux de construction et de prendre des mesures pour minimiser les impacts négatifs sur le voisinage. Les réunions régulières du comité de voisinage permettent d'examiner les résultats de la surveillance et du suivi environnemental, ainsi que les plaintes ou commentaires des habitants, afin de résoudre les problèmes potentiels et d'améliorer la relation entre le projet et la communauté.

Composante de L'environnement	Mesures D'atténuation
Surveillance Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> - Programme de surveillance des travaux de construction ; - Programme de surveillance et de suivi environnemental ; - Collecte et analyse de données sur les impacts ; - Vérification de la conformité aux exigences légales ; - Détection des perturbations environnementales ; - Ajustement des mesures d'atténuation en cas de besoin.
Participation Citoyenne	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'un comité de voisinage ; - Collecte des perceptions, plaintes et commentaires ; - Réunions régulières pour examiner les résultats ; - Réponse aux préoccupations des communautés.
Mesures D'atténuation Spécifiques	<ul style="list-style-type: none"> - Minimisation des émissions atmosphériques ; - Prévention du rejet liquide ; - Gestion des déchets solides dangereux ; - Entretien des machines pour limiter le bruit ; - Sensibilisation à la sécurité et à la santé ; - Plantation de microflore épuratrices ; - Préservation de la qualité de l'eau ; - Sensibilisation à la gestion responsable des sols ; - Création d'espaces verts pour la faune.

Tab. III. 8 - Plan de Gestion Environnementale.

III.11.1. Surveillance et suivi pendant l'exploitation

Ce document prescrit les exigences et méthodes quant au suivi des rejets d'eaux usées, des émissions atmosphériques et du bruit, des matières résiduelles, des milieux récepteurs et des mesures de prévention et d'urgence. Le programme de surveillance touche le contrôle et la quantification des éléments suivants :

- Les rejets liquides avec la collecte et le traitement des eaux de ruissellement et de la mesure de leur débit et de leur qualité après traitement avant leur rejet aux Collecteurs de la région ;

- Les matières résiduelles avec des dispositifs de quantification et de collecte et d'entreposage sécuritaires pour l'environnement et le personnel. Ces matières seront valorisées autant que possible et leur disposition ou leur élimination sera effectuée selon leur type (matière dangereuse ou non) en fonction de la réglementation. En plus de la surveillance environnementale des installations, les éléments suivants feront l'objet d'un suivi environnemental durant l'exploitation ;
- Le bruit ambiant, dont les mesures seront réalisées au cours de la première année d'exploitation, après la mise en service complète des installations, afin de vérifier les niveaux de bruit dans les secteurs résidentiels avoisinants ;
- Les eaux usées ;
- Les émissions atmosphériques ;
- Les résultats des mesures dans l'air ambiant.

Tous les ans, un rapport synthèse couvrant l'ensemble des données de surveillance et de suivi recueillies au cours de l'année calendrier sur les eaux usées, la consommation d'eau, les émissions atmosphériques, les matières résiduelles et les milieux récepteurs sera remis à la Direction de l'Environnement de la Wilaya d'Oran.

III.11.2. Evaluation des couts des mesures compensatoires

L'évaluation des coûts des mesures compensatoires pour un projet de *Oscillating Water Column (OWC)* peut varier en fonction de plusieurs facteurs (Tab. III. 9), tels que la taille du projet, les impacts environnementaux spécifiques et les réglementations locales. Il est important de réaliser une analyse détaillée pour estimer les coûts spécifiques à chaque mesure compensatoire. Néanmoins, voici un exemple simplifié d'évaluation des coûts en Dinar algérien pour quelques mesures compensatoires courantes :

Mesure compensatoire	Coût estimé [en dinar algérien]
Plantation d'arbres autour du site	500 00 - 1000 00
Installation d'un système de surveillance de la qualité de l'air	200 00 - 3 000 00
Mise en place d'un système de traitement des effluents liquides	5 000 00 - 10 000 00
Gestion des déchets solides dangereux	1 000 00 - 2 000 00
Réduction du bruit des machines et des véhicules	3 000 00 - 5 000 00
Mesures de protection de la faune et de la flore	500 00 - 1 000 00
Études environnementales et suivi périodique	1 000 00 - 2 000 00
Sensibilisation et formation du personnel	500 00 - 1 000 00
Total	14 500 00 - 25 000 00

Tab. III.9 - Evaluation des couts des mesures compensatoires.

III.12. Des Impacts Environnementaux (*positifs*)

Les *Oscillating Water Columns (OWC)* peuvent avoir plusieurs impacts positifs sur l'environnement, l'économie et la société.

III.12.1. Impacts positifs sur l'environnement

- **Énergie renouvelable** : Les *OWC* utilisent les vagues de l'océan pour produire de l'énergie propre et renouvelable, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre (Tab. III.10) ;
- **Pas d'émissions polluantes** : Contrairement aux centrales électriques traditionnelles, les *OWC* ne produisent pas de polluants atmosphériques tels que les gaz d'échappement ou les particules fines, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air (Tab. III.10) ;
- **Préservation de la biodiversité marine** : Les *OWC* sont conçus pour minimiser les impacts sur la faune marine, en évitant les collisions avec les animaux et en fournissant des structures artificielles qui peuvent même servir d'habitats pour certaines espèces (Tab. III.10).

III.12.2. Impacts positifs sur l'économie

- **Création d'emplois** : La conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des *OWC* nécessitent une main-d'œuvre spécialisée, créant ainsi des emplois dans le secteur des énergies renouvelables (Tab. III. 10) ;
- **Stimulus économique local** : Les projets *OWC* peuvent générer des investissements locaux, notamment dans les industries de la construction, de la fabrication et des services connexes (Tab. III. 10) ;
- **Réduction des coûts énergétiques** : L'utilisation de l'énergie produite par les *OWC* peut contribuer à réduire les coûts énergétiques pour les communautés locales, en particulier dans les régions côtières où les *OWC* sont implantées (Tab. III. 10).

III.12.3. Impact technologique positif

- **Avancement des technologies** : Le développement et la mise en œuvre des systèmes *OWC* stimulent l'innovation technologique dans le domaine des énergies renouvelables. Cela peut conduire à des améliorations continues des performances des *OWC*, de leur efficacité et de leur fiabilité (Tab. III.10) ;
- **Intégration intelligente des réseaux électriques** : Les *OWC* peuvent être intégrés aux réseaux électriques existants, contribuant ainsi à la création de réseaux intelligents et à une meilleure gestion de l'énergie. Cette intégration permet une utilisation plus efficace de l'énergie produite par les *OWC* et facilite l'optimisation de l'équilibre entre l'offre et la demande d'énergie (Tab. III.10).

III.12.4. Impact social positif

- **Sensibilisation à l'énergie renouvelable** : Les *OWC* contribuent à sensibiliser le public à l'importance des énergies renouvelables et de la transition vers des

sources d'énergie plus propres et durables. Cela peut encourager l'adoption de modes de vie plus respectueux de l'environnement et une prise de conscience accrue de la nécessité de préserver les ressources naturelles (Tab. III.10) ;

- **Participation communautaire** : Les projets OWC peuvent impliquer la participation active des communautés locales, des autorités locales et d'autres parties prenantes. Cela favorise l'engagement et la prise de décision collective, renforçant ainsi le sentiment d'appartenance et de responsabilité envers la transition énergétique (Tab. III.10) ;
- **Création d'opportunités économiques locales** : Les projets OWC peuvent créer des opportunités économiques au niveau local, notamment en termes d'emplois, de développement de compétences et de stimulation des entreprises locales. Cela peut contribuer à améliorer les conditions socio-économiques des communautés environnantes (Tab. III.10).

Aspect	Impacts	Description
Environnement	Réduction des émissions de CO ₂	<i>Les systèmes OWC produisent de l'énergie renouvelable sans émissions de CO₂, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone et à atténuer le changement climatique. En remplaçant les combustibles fossiles, ils permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.</i>
	Préservation des ressources naturelles	<i>L'utilisation de l'énergie des vagues comme source d'énergie renouvelable permet de préserver les ressources naturelles limitées, telles que les combustibles fossiles, qui sont épuisables. Les systèmes OWC exploitent une ressource inépuisable et abondante, contribuant ainsi à une utilisation durable des ressources.</i>
	Conservation de la biodiversité	<i>Comparé à d'autres formes d'énergie marine, les systèmes OWC ont un impact minimal sur la biodiversité marine. Ils n'impliquent pas de construction d'infrastructures lourdes en mer et minimisent les perturbations de l'écosystème marin, préservant ainsi la faune et la flore locales</i>
	Réduction de la pollution sonore	<i>Contrairement aux systèmes de production d'énergie traditionnels, les systèmes OWC génèrent moins de bruit, minimisant ainsi les perturbations acoustiques pour la faune marine. Cela contribue à préserver les habitats marins et à réduire les impacts négatifs sur les espèces sensibles au bruit</i>
Économie	Création d'emplois	<i>Le développement et l'exploitation des systèmes OWC nécessitent des compétences spécialisées, ce qui stimule la création d'emplois dans les secteurs de l'ingénierie, de la fabrication, de l'installation, de la maintenance et de la gestion des projets liés aux énergies renouvelables. Cela favorise la croissance économique et l'emploi local.</i>
	Développement régional	<i>L'implantation de systèmes OWC dans les régions côtières offre des opportunités de développement régional en stimulant les activités économiques locales. Cela inclut la création d'entreprises spécialisées, le tourisme lié aux énergies renouvelables, la fourniture de services aux projets OWC et l'attraction d'investissements dans la région.</i>

	Réduction des coûts de l'énergie	<i>Les systèmes OWC contribuent à la diversification du mix énergétique, ce qui réduit la dépendance aux combustibles fossiles et aux sources d'énergie importées. Cela peut entraîner une diminution des coûts de l'énergie à long terme, bénéficiant aux consommateurs et aux industries locales, tout en améliorant la sécurité énergétique et la stabilité des prix.</i>
	Avancement des technologies	<i>Stimule la recherche et le développement dans le domaine des énergies renouvelables, permettant des avancées technologiques continues pour les systèmes OWC. Cela se traduit par des améliorations de l'efficacité, de la performance et de la durabilité des installations, ainsi que par une réduction des coûts de production.</i>
	Diversification du mix énergétique	<i>Contribue à la diversification des sources d'énergie en ajoutant une option supplémentaire d'énergie renouvelable au mix énergétique. Cela réduit la dépendance aux combustibles fossiles et améliore la sécurité énergétique</i>
	Intégration intelligente	<i>Permet l'intégration intelligente des systèmes OWC avec les réseaux électriques existants. Grâce aux technologies de gestion de l'énergie, les systèmes OWC peuvent s'adapter aux variations de la demande et de l'offre d'électricité, favorisant ainsi une meilleure stabilité du réseau et une gestion plus efficace de l'énergie.</i>
Technologie	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	<i>Les systèmes OWC produisent de l'énergie renouvelable sans émissions de gaz à effet de serre. Ils contribuent ainsi à réduire les émissions de CO₂ et à lutter contre le changement climatique. En remplaçant les sources d'énergie fossile, les systèmes OWC permettent de réduire l'empreinte carbone et de promouvoir un développement durable.</i>
	Utilisation durable des ressources	<i>Exploite une ressource naturelle abondante et renouvelable : l'énergie des vagues. Contrairement aux combustibles fossiles, qui sont limités et non renouvelables, l'énergie des vagues est disponible de manière continue et inépuisable, offrant ainsi une solution durable pour répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs.</i>
	Innovation en matière de matériaux	<i>Favorise le développement de nouveaux matériaux et de technologies avancées pour la construction des systèmes OWC. Cela comprend l'utilisation de matériaux durables, résistants à la corrosion et adaptés à l'environnement marin, ainsi que l'exploration de nouvelles techniques de fabrication et de conception pour améliorer l'efficacité et la durabilité des installations.</i>
	Réduction de la dépendance énergétique	<i>Réduit la dépendance aux importations d'énergie en utilisant une ressource locale, l'énergie des vagues. Cela renforce la sécurité énergétique en réduisant les risques associés aux fluctuations des prix des combustibles fossiles importés et en favorisant l'autonomie énergétique des régions côtières.</i>

	Développement de compétences technologiques	<i>Favorise le développement de compétences spécialisées dans le domaine des énergies renouvelables, y compris l'ingénierie océanique, l'électronique de puissance, la gestion des systèmes énergétiques et la maintenance des installations.</i>
Social	Sensibilisation	<i>Contribue à sensibiliser le public à l'importance des énergies renouvelables et encourage l'adoption de modes de vie respectueux de l'environnement.</i>
	Participation communautaire	<i>Implique la participation active des communautés locales et des parties prenantes, renforçant l'engagement et la responsabilité envers la transition énergétique.</i>
	Création d'emplois	<i>Génère des emplois locaux tout au long du cycle de vie du projet, dans les phases de conception, construction, exploitation et maintenance des systèmes OWC.</i>
	Développement économique local	<i>Stimule l'économie locale en favorisant le développement d'industries et de fournisseurs locaux dans le secteur des énergies renouvelables.</i>

Tab. III. 10 – Classification des impacts Environnementaux (*positifs*).

III.13. Raisons de Mettre en Place des Systèmes OWC en Algérie

- ***Énergie propre et durable*** : Les *OWC* permettent de tirer parti de l'énergie renouvelable des vagues, offrant une source d'énergie durable et respectueuse de l'environnement ;
- ***Diversification du mix énergétique*** : Les *OWC* contribuent à diversifier le mix énergétique en ajoutant une source d'énergie renouvelable complémentaire aux autres formes d'énergie, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles ;
- ***Potentiel de développement côtier*** : Les régions côtières offrent un potentiel important pour l'installation de systèmes *OWC*, permettant de maximiser l'utilisation des ressources naturelles disponibles ;
- ***Énergie renouvelable*** : Les systèmes *OWC* exploitent l'énergie des vagues, une source d'énergie renouvelable et abondante. Les vagues sont générées par les forces naturelles du vent et de la gravité, ce qui en fait une ressource durable et inépuisable ;
- ***Réduction des émissions de gaz à effet de serre*** : En utilisant l'énergie des vagues pour produire de l'électricité, les systèmes *OWC* contribuent à réduire la dépendance aux combustibles fossiles, qui sont une source majeure de gaz à effet de serre. Cela permet de diminuer les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'atténuer les impacts du changement climatique ;
- ***Respect de l'environnement marin*** : Contrairement à certaines autres formes d'énergie marine, telle que l'énergie houlomotrice, les systèmes *OWC* ont un impact environnemental relativement faible sur les écosystèmes marins. Ils n'impliquent pas d'impacts directs tels que la construction de barrages ou

l'utilisation de dispositifs de capture d'énergie qui peuvent entraver la migration des poissons et d'autres espèces marines ;

- ***Diversification du mix énergétique*** : L'intégration des systèmes *OWC* dans le mix énergétique permet de diversifier les sources d'énergie utilisées pour répondre à la demande croissante en électricité. Cela réduit la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles et contribue à la sécurité énergétique à long terme ;
- ***Création d'emplois et développement économique*** : La mise en place de systèmes *OWC* nécessite la conception, la construction, l'installation et la maintenance des installations. Cela crée des opportunités d'emploi dans le secteur de l'énergie renouvelable, ainsi que dans les industries connexes telles que la fabrication d'équipements et les services de support. Cela peut stimuler la croissance économique et favoriser l'innovation technologique ;
- ***Réduction de la dépendance énergétique*** : En exploitant l'énergie des vagues, les systèmes *OWC* offrent une possibilité de réduire la dépendance aux importations d'énergie provenant de sources non renouvelables. Cela peut renforcer la sécurité énergétique d'un pays et réduire les vulnérabilités liées aux fluctuations des prix du pétrole et du gaz ;
- ***Potentiel de développement côtier*** : Les systèmes *OWC* peuvent être installés près des côtes, ce qui permet de valoriser les ressources énergétiques disponibles dans ces zones. Cela favorise le développement des régions côtières, crée des opportunités d'investissement local et contribue au développement durable des communautés côtières.

III.14. Conclusion

En conclusion, l'étude des impacts liés à la mise en place de systèmes de colonnes d'eau oscillantes (OWC) démontre de nombreux avantages potentiels sur les plans environnemental et économique. Les systèmes OWC exploitent l'énergie renouvelable des vagues, contribuant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à diversifier le mix énergétique et à promouvoir la durabilité environnementale. De plus, ils offrent des opportunités de création d'emplois, de développement économique et de renforcement de la sécurité énergétique.

Cependant, il est essentiel de prendre en compte les défis technologiques, les coûts, les impacts environnementaux potentiels et les aspects d'intégration dans les réseaux électriques existants. Une approche globale et intégrée, impliquant des études approfondies, des évaluations environnementales et une collaboration entre les parties prenantes, est nécessaire pour maximiser les avantages des systèmes OWC tout en minimisant les impacts négatifs.

CHAPITRE .IV.

Résolutions des Contrainte Environnementale de l'Installation

IV.1. Introduction

L'installation d'une énergie hydrolienne type *OWC* peut contribuer à résoudre plusieurs problèmes environnementaux, notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, en préservant la biodiversité marine et en favorisant la transition vers des sources d'énergie renouvelables. Dans ce chapitre on traite quelques résolutions environnementales qui peuvent être associées à l'installation d'une énergie hydrolienne de type *OWC*.

Il est important de noter que chaque projet hydrolien doit être évalué individuellement pour minimiser les impacts négatifs potentiels sur l'environnement local. Des études d'impact environnemental détaillées et une consultation avec les parties prenantes locales sont essentielles pour garantir que l'installation hydrolienne est réalisée de manière responsable et durable.

IV.2. Modèle de Notre Type

D'après l'évaluation des données globales du système choisie de type (OWC) dans les chapitre II, III et illustré dans la figure (IV. 1) et après avoir présenté les différentes raisons qui ont conduit au choix de ce type d'installation énergétique renouvelable.

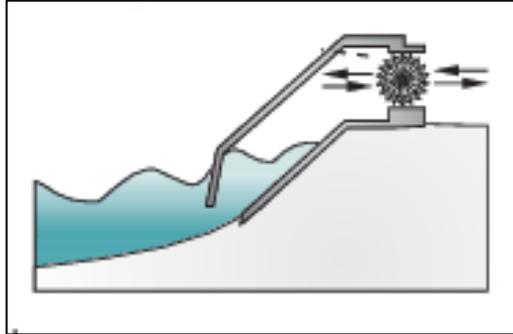


Fig. IV. 1 - Type d'installation (OWC).

Après vérification du site (structure, profondeur et nature géologique), on peut désormais s'accorder sur le contenu général du modèle à l'étude et à réaliser dans le futur, principalement en termes de lieu supposé pour la réalisation de l'installation énergétique, notamment sur le volet environnemental et cela représente notre mission avant-projet (Fig. IV. 2) dans cette étape.

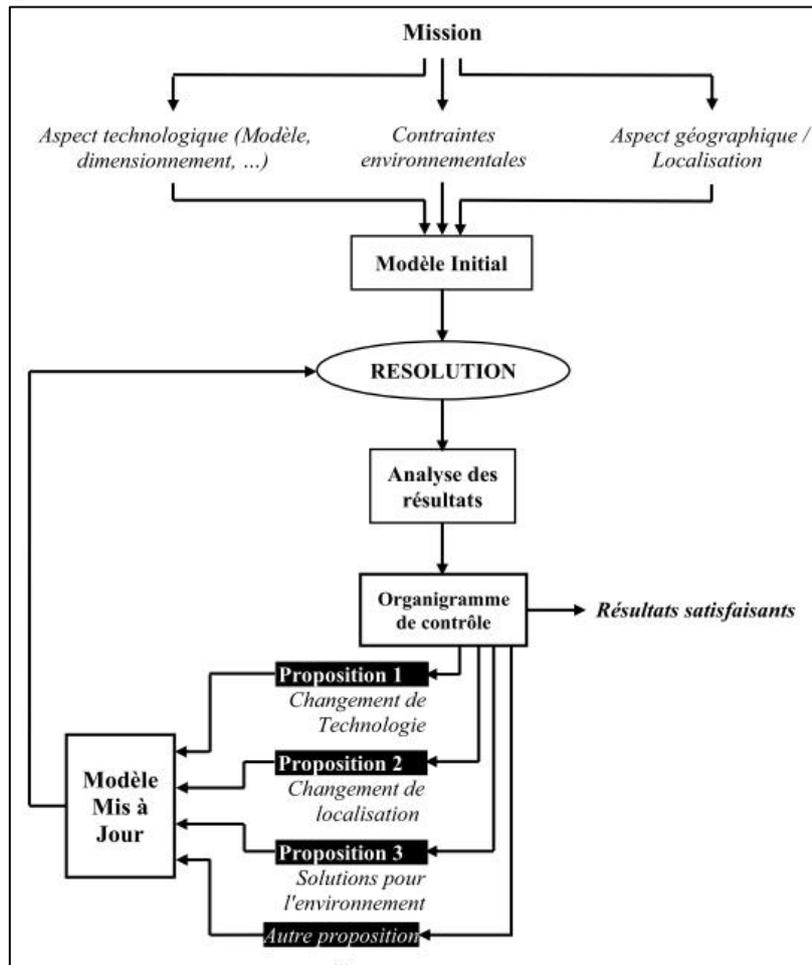


Fig. IV. 2 - Mission avant-projet de notre Model.

Dans le cas où les résultats de notre mission sont insatisfaisants et pour que notre étude soit plus sérieuse nous avons développé un organigramme de contrôle de situation (Fig. IV. 3), à travers lequel nous surveillons tous les aspects liés à notre étude, qui sont centrés en termes de :

- Aspect technologique ;
- Aspect géographique ;
- Aspect environnemental.

IV.3. La Localisation Réel

Le positionnement des dispositifs houlomoteurs doit tenir compte des caractéristiques de l'environnement marin, en évitant les zones sensibles telles que :

- Les aires protégées ;
- Les habitats fragiles ;
- Les zones de reproduction d'espèces (*particulièrement en voie de disparition*).

Dans notre cas d'étude de ce type de projet, le choix s'est porté sur la région de "CAP DE L'AIGUILLE" (Fig. IV. 3), qui a les caractéristiques suivantes :

- Un sol rocheux se fait entendre pour construire le modèle ;
- Profondeur adéquate (≥ 23 mètres) pour les marées continues ;

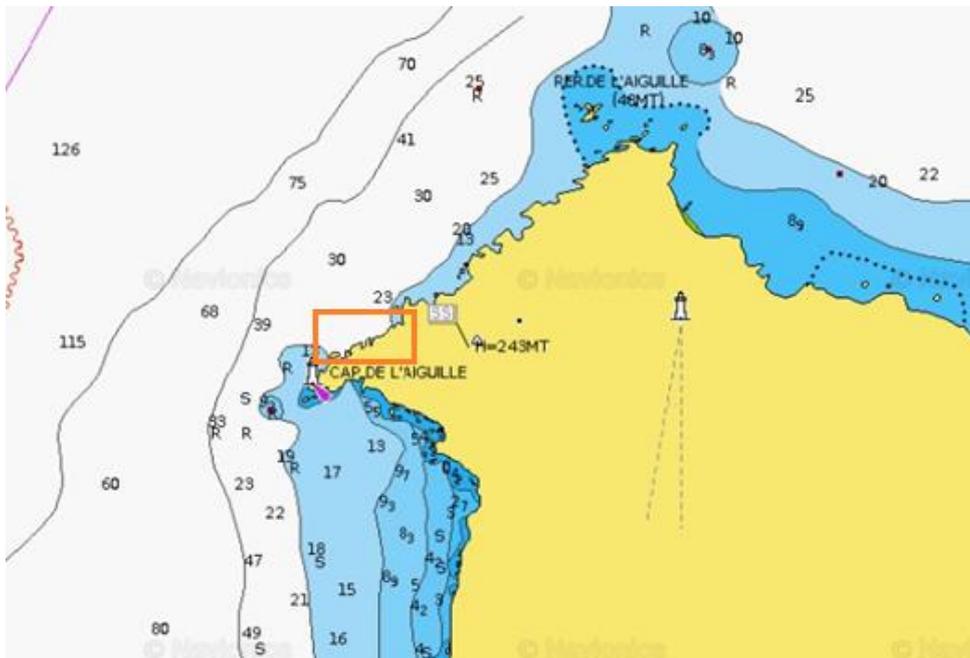


Fig. IV. 3 - Localisation Réel 'CAP DE L'AIGUILLE'.

IV.4. Solution Clé pour Protection de l'Environnement

IV.4.1. L'écosystème côtiers et marin de l'Algérie

Il est dénombré, actuellement en Algérie près de 4 500 espèces marines, cette richesse spécifique est constituée à plus de 71 % d'arthropodes, de mollusques et d'annélides benthiques, de poissons, d'algues macrophytes et d'espèces zooplanctoniques. Il est donc important de protéger et de conserver ce vaste écosystème et avec la possibilité d'installer une station houlomotrice *OWC* dans notre pays, nous avons fait un *EIE* et nous avons constaté que nous sommes confrontés à un problème avec les poissons de petite taille qui ne peuvent pas dépasser la marée et se traîner sous la colonne oscillante tant dis que les poissons meurent et commence à se diluer.

IV.4.2. Le concept d'utilisation d'un système de sonorisation en réseau pour guider les poissons

Ce concept est une approche innovante qui combine la technologie acoustique avec le comportement des poissons pour influencer leur mouvement dans les environnements aquatiques. Cette approche vise à éloigner les poissons des zones dangereuses ou à les diriger vers les endroits souhaités à diverses fins, comme contourner les barrages, protéger les habitats sensibles ou favoriser le passage des poissons.

Réaction du poisson avec le son

Les poissons réagissent au son de différentes manières, principalement en fonction de l'intensité, de la fréquence et du motif du son, ainsi que de l'espèce de poisson spécifique. Voici quelques réactions courantes des poissons au son :

- ***Réorientations*** : Certains poissons peuvent utiliser les sons comme un moyen de s'orienter dans leur environnement ;
- ***Curiosité*** : Certains poissons peuvent être attirés par certains types de sons, en particulier lorsqu'ils sont associés à des stimuli tels que la nourriture ;
- ***Stress et/ou perturbation*** : Des niveaux sonores excessivement élevés ou des fréquences spécifiques peuvent causer du stress ou des perturbations chez les poissons et les poissons s'éloignent vers une position où ils sont à l'aise avec le niveau de son.

IV.4.3. Audition de poisson

- ***Haute sensibilité*** : « spécialistes de l'ouïe » : Clupéidés, cyprinidés (famille des carpes), silures, etc.
- ***Sensibilité modérée*** : La plupart des poissons ronds, par ex. la morue.
- ***Faible sensibilité*** : Poissons de fond et sans vessie natatoire.

IV.5. Projecteur de Son Array (SPA)

Un projecteur de son en configuration array utilisé comme déflecteur de poissons pour notre structure qui représente une application spécifique où la technologie acoustique est utilisée principalement pour dévier ou guider les poissons dans les zones souhaitées.

Cette approche vise à influencer le comportement des poissons en utilisant des signaux sonores pour les empêcher d'entrer dans des zones dangereuses ou pour les diriger vers des itinéraires plus sûrs comme illustré dans la figure (IV.4).



Fig. IV. 4 - Système des projecteurs sonores (*Sound array system*).

Dans notre concept de l'installation type OWC, le *Fish Guidance Systems* produit des projecteurs sonores basse fréquence et des transducteurs haute fréquence. La différence entre les deux est dans la forme et la taille du faisceau sonore de sortie. Les projecteurs basse fréquence sont capables de projeter un niveau sonore approximativement égal dans toutes les directions, créant un champ sonore omnidirectionnel. Lorsqu'un projecteur est monté près d'un mur, le son qui se déplace vers l'arrière se réfléchit à la surface et se déplace vers l'avant, renforçant le son ressenti par les poissons.

Dans le cas d'un système à haute fréquence, les transducteurs typiques produisent des faisceaux sonores étroits, semblables à un faisceau de torche, et s'étendent généralement à une portée plus courte lorsque le son à haute fréquence est absorbé à une distance croissante. *Fish Guidance Systems* produit des transducteurs haute fréquence sur mesure qui peuvent être déployés pour focaliser le signal dans une zone très précise, mais *FGS* a également développé un transducteur à haute puissance fournissant un champ sonore proche de l'hémisphère qui peut être utilisé pour filtrer de plus grandes zones devant les entrées.

En raison de la diversité de l'environnement marin, des variables spécifiques doivent être prises en compte au moment de décider quel transducteur fournira les résultats les plus efficaces pour dissuader les poissons, et *Fish Guidance Systems* travaille avec chaque client pour déterminer le système le plus approprié et la conception du transducteur pour chaque application.

A la fin, de notre étude dans ces différents aspects, ont conclu que les différentes fréquences de notre installation ne dépassent pas (200 à 450). Sachant que ces fréquences sont résulté de :

- Bruit de système ;
- Réflexions des vagues ;
- Mouvement et/ou vibration de la turbine.

La plupart des poissons sont sensibles aux sons inférieurs à 3000 Hz (Fig. IV. 5).

- Les audiogrammes peuvent être mesuré en utilisant le Tronc cérébral acoustique
- Composition en fréquence de signal peut être ajusté au besoin

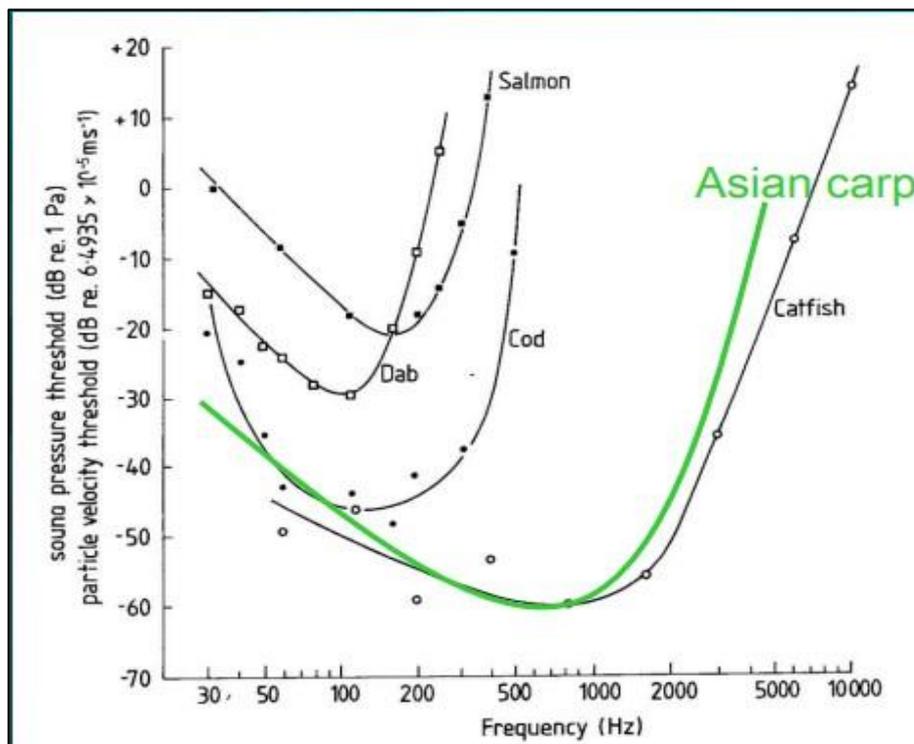


Fig. IV. 5 – Fréquences de différents espèce marine.

Ce type de système offre la possibilité de créer des itinéraires sonores précis et personnalisés pour guider les poissons vers des zones spécifiques, telles que des habitats protégés, des zones de reproduction ou des voies de migration.

IV.6. Conclusion

En conclusion, le concept d'utilisation d'un système de sonorisation en réseau pour guider les poissons présente un potentiel fascinant pour la conservation des écosystèmes aquatiques et la protection des populations de poissons.

Ce type de système on a la possibilité de créer des itinéraires sonores n utilisant des signaux sonores adaptés aux caractéristiques sensorielles des poissons ciblés, il est possible d'influencer leur comportement de manière non invasive et respectueuse de leur bien-être.

L'utilisation d'un système de sonorisation en réseau permet également une surveillance et une gestion efficaces des populations de poissons. Les capteurs intégrés au réseau peuvent fournir des données en temps réel sur les mouvements des poissons, leur abondance et leurs schémas comportementaux. Cela permet aux biologistes marins et aux gestionnaires des ressources de mieux comprendre les habitudes des poissons, d'identifier les problèmes potentiels et de prendre des mesures préventives pour assurer leur protection.

Cependant, il est important de souligner que l'implémentation d'un tel système nécessite une approche prudente et basée sur des connaissances scientifiques solides. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement les réponses des différentes espèces de poissons aux signaux sonores, ainsi que les effets potentiels à long terme de ces interventions sur l'écosystème dans son ensemble.

En conclusion, le concept d'utilisation d'un système de sonorisation en réseau pour guider les poissons offre une perspective passionnante pour la conservation des poissons et de leurs habitats. Cependant, il est crucial de mener des études approfondies, de travailler en étroite collaboration avec les experts en écologie aquatique et de mettre en place des mesures de suivi adéquates afin de garantir l'efficacité et la durabilité de ce type de système dans la protection des populations de poissons.

Conclusion Générale

Conclusion

Cette étude approfondie de l'impact environnemental de la colonne d'eau oscillante (OWC) démontre les avantages potentiels et les préoccupations environnementales associées à cette technologie d'énergie marine. Les résultats obtenus soulignent que les OWC ont un large potentiel en tant que source d'énergie renouvelable, offrant des avantages significatifs tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la préservation de la biodiversité marine.

Cependant, il est crucial de mettre en place des mesures d'atténuation appropriées afin de minimiser les impacts négatifs potentiels et de garantir une utilisation responsable et durable de la OWC. Notre étude d'impact environnemental approfondie, basées sur des évaluations précises des écosystèmes marins locaux, sont indispensables pour identifier les risques potentiels et évaluer les interactions avec les espèces et les habitats sensibles.

Du point de vue technique, il est essentiel de concevoir et d'implanter les installations de OWC de manière à minimiser les perturbations pour l'environnement marin. La surveillance continue des effets de la OWC sur la qualité de l'eau, les courants marins, les habitats benthiques et la migration des espèces est également primordiale.

En adoptant une approche équilibrée entre la production d'énergie renouvelable et la préservation de l'environnement marin, la OWC peut contribuer de manière significative à la transition vers un avenir énergétique durable. La sensibilisation du public, la consultation des parties prenantes locales et la collaboration entre les chercheurs, les décideurs et les développeurs de projets sont essentielles pour favoriser une acceptation et une mise en œuvre responsables de la OWC à grande échelle.

En conclusion, cette étude fournit des informations précieuses pour guider le développement futur de la OWC en tant que source d'énergie renouvelable. En intégrant les recommandations issues de cette recherche, nous pouvons exploiter le potentiel de la OWC tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement marin. Ainsi, nous pourrions avancer vers un avenir énergétique durable, où la OWC et d'autres technologies marines émergentes joueront un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique et la protection de notre écosystème marin précieux.

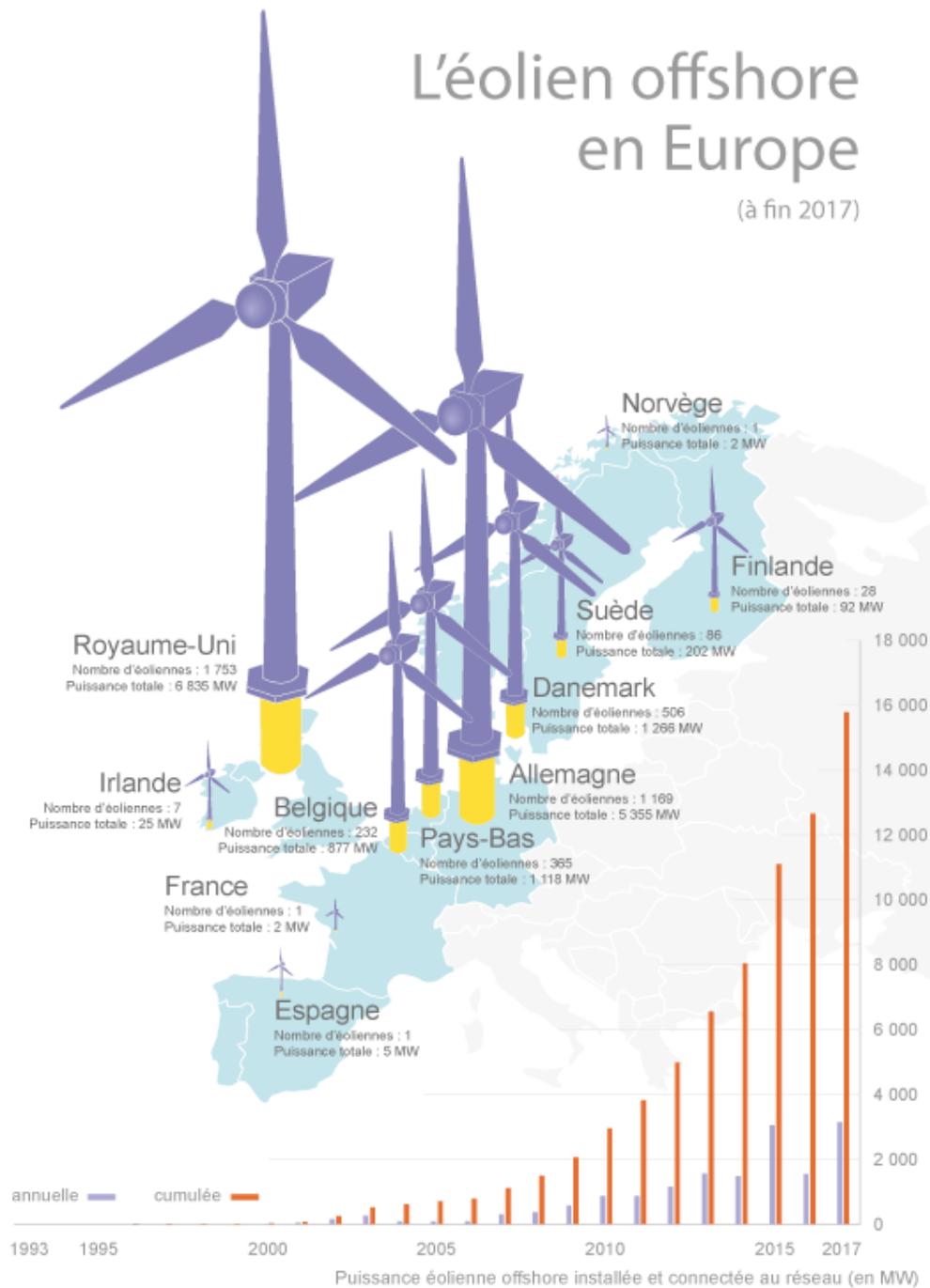
En adoptant une approche équilibrée entre la production d'énergie renouvelable et la préservation de l'environnement marin à *Gdyel*, les OWC peuvent contribuer de manière

significative à la transition vers un avenir énergétique durable dans la région d'Oran. Cependant, cela nécessite une sensibilisation du public ainsi qu'une consultation active des parties prenantes locales. La collaboration entre les chercheurs, les décideurs et les développeurs de projets est également essentielle pour garantir une acceptation responsable et une mise en œuvre efficace des OWC à grande échelle.

Liste des ANNEXES

ANNEXE 1

Depuis la mise en service au Danemark du premier parc éolien offshore au monde en 1991, la filière éolienne offshore s'est très fortement développée en mer du Nord, en profitant d'un excellent régime de vents et d'une faible profondeur des eaux (inférieure à 50 m). À fin 2017, cinq pays bordant la mer du Nord (Allemagne, Belgique, Danemark, Pays-Bas, Royaume-Uni) comptaient à eux seuls pour 82% des capacités éoliennes offshore installées dans le monde. <https://www.connaissancedesenergies.org/>

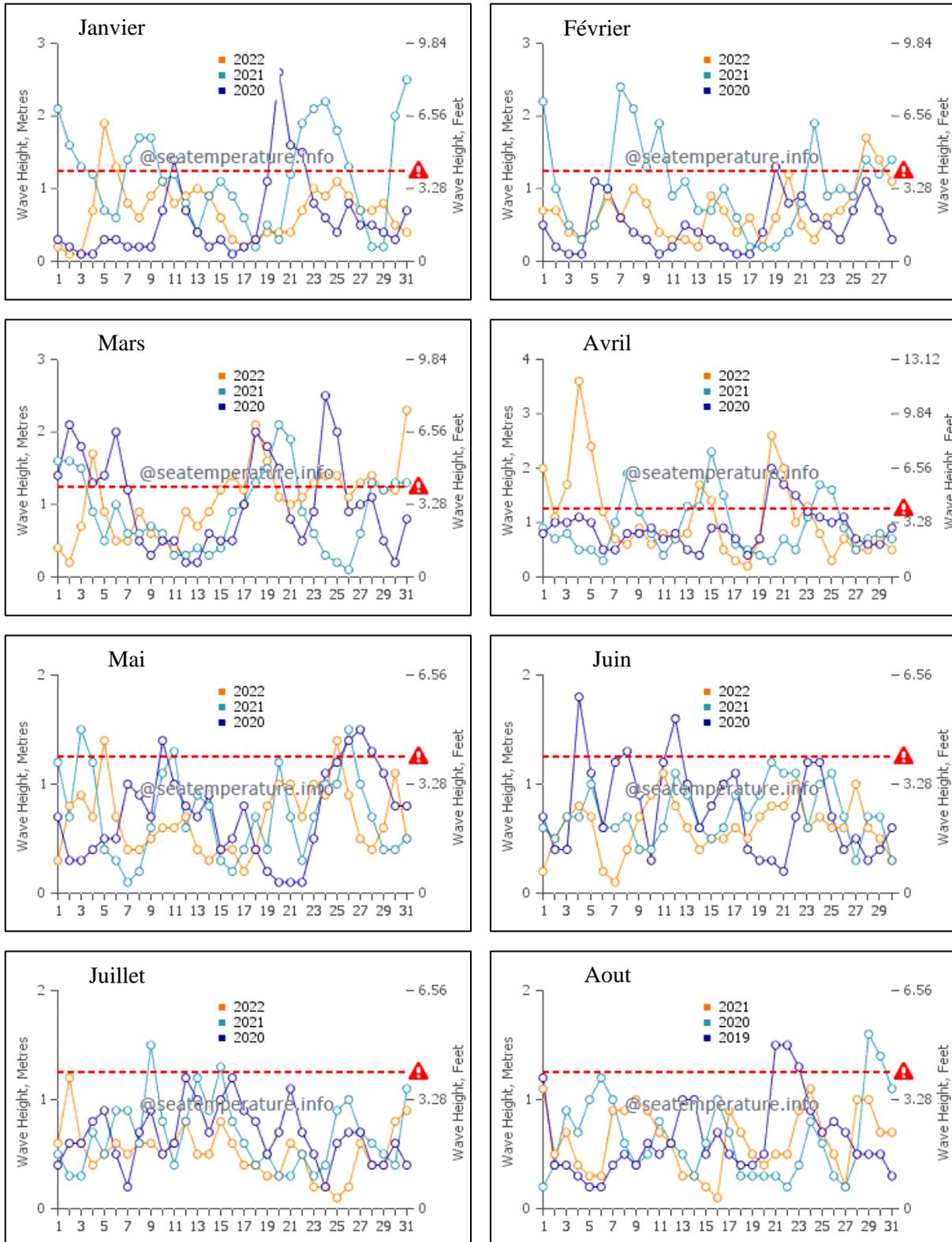


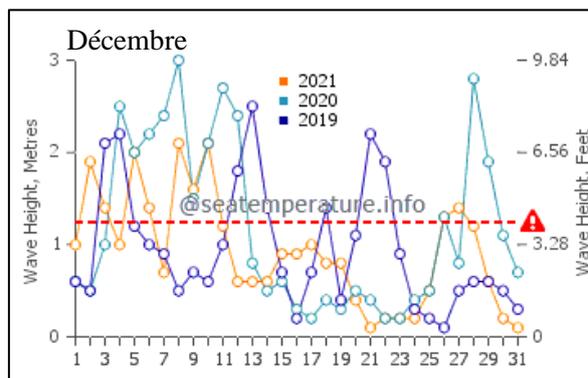
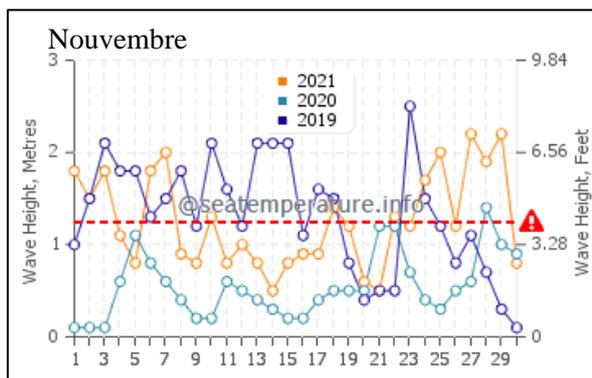
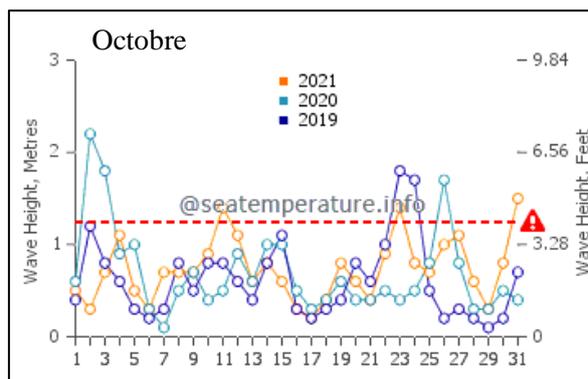
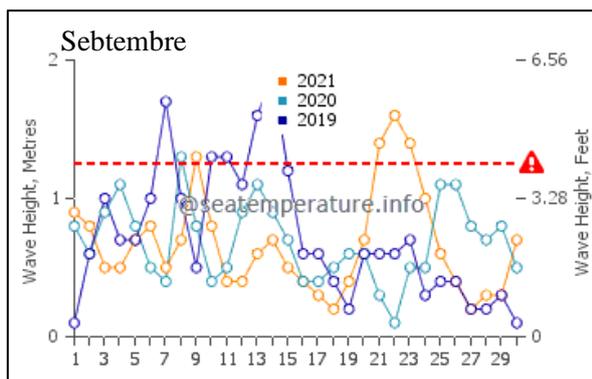
Source : WindEurope

© 2018 – [connaissancedesenergies.org](https://www.connaissancedesenergies.org/)

ANNEXE 2

Graphique comparant la hauteur des vagues à Oran, statistique des 3 dernières années





[Seatemperature.info]

Nous fournissons les dernières données sur les conditions d'eau de mer pour la région de la wilaya d'Oran pour obtenir des prévisions énergétiques précises. Nous prenons en compte la hauteur des vagues, l'état de la mer et la direction du vent afin que nous puissiez avoir toutes les informations sur les chargements appliquées sur notre structure.

Références

- [1] Avery, William H. and Chih Wu. Renewable Energy From the Ocean, "Power from the Sea" Popular Mechanics, December 1930, pp 881-882 detail article and photos of Cuban power plant.
- [2] Jacques Nougier, « Les énergies marines renouvelables », Jeune Marine, janv-févr.2018 et mars-avril 2018, n° 241, p.38-40 et n° 242, p.36-39. (ISSN 2107-6057)
- [3] Les énergies marines renouvelables, juin 2012 [archive], enea-consulting.com. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2016 — Global Status Report [archive], ren21.net, [PDF] Vincent de Laleu, La mer, nouvelle source d'énergies renouvelables, Compte rendu de la conférence-débat du 19 mars 2009 [archive], Mines - Environnement et développement durable, 2009
- [4] Lewis, Anthony, et al. IPCC 2016: Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011, World Energy Council, 2000, Pelc and Fujita, 2002, DiChristina, Mariette (May 1995). "Sea Power". Popular Science: 70–73. Retrieved 2016-10-09. "Ocean Thermal Energy Conversion".
- [5] Avery, William H. and Chih Wu. 1994., Renewable Energy From the Ocean: A Guide to OTEC. New York: Oxford University Press. 1994.[page needed]. US patent 3312054, J.H. Anderson, "Sea Water Power Plant", issued 1967-04-04. Bruch, Vicki L. (April 1994).
- [6] Mitsui T, Ito F, Seya Y, Nakamoto Y (September 1983). "Outline of the 100 kW OTEC Pilot Plant in the Republic of Nauru". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. PAS-102 (9): 3167–3171. Bibcode:1983ITPAS.102.3167M. doi:10.1109/TPAS.1983.318124. S2CID 8924555. Archived from the original on 2008-05-02.
- [7] Daly, John (December 5, 2011). "Hawaii About to Crack Ocean Thermal Energy Conversion Roadblocks?". OilPrice.com. Retrieved 28 March 2013. "Average Retail Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector, by State". Energy Information Administration. September 2007. L.
- [8] "OTE Receives Approval for OTEC System in the USVI". 18 July 2016. Archived from the original on 12 February 2019. Retrieved 26 February 2017. Mekeel, Tim. "Ocean Thermal to begin talks for renewable energy plants in St. Croix, St. Thomas". LancasterOnline".
- [9] BELADJEMI. Y. 2021 ‘‘ ENERGIE HOULOMOTRICE’’. Mémoire de Master, Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l’Univers, Juin 2021.
- [10] Archived from the original on 2022-02-17. Retrieved 2021-07-09. Chiles, Jamesin (Winter 2009). "The Other Renewable Energy". Invention and Technology. 23 (4): 24–35.

- [11] BELADJEMI. Y. 2021 ‘‘ ENERGIE HOULOMOTRICE’’. Mémoire de Master, Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l’Univers, Juin 2021.
- [12] Bharathan, D.; Parsons, B. K.; Althof, J. A. (1988). Direct-Contact Condensers for Open-Cycle OTEC Applications: Model Validation with Fresh Water Experiments for Structured Packings. 272 pp.; NREL Report No. TR-253-3108. Bharathan, D.; Kreith, F.; Schlepp, D.; Owens, W. L. (January 1984). "Heat and Mass Transfer in Open-Cycle OTEC Systems". *Heat Transfer Engineering*. 5 (1–2): 17–30.
- [13] An Assessment of Research and Development Leadership in Ocean Energy Technologies (Report). Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories: Energy Policy and Planning Department. doi:10.2172/10154003. SAND93-3946. Finney, Karen Anne. "Ocean Thermal Energy Conversion". *Guelph Engineering Journal*. 2008.
- [14] http://eductice.ens-lyon.fr/EducTice/recherche/jeux/jpael/climaction/20112012/data/le_pelamis.pdf
- [15] What Are The Advantages And Disadvantages Of Point Absorber. <https://www.bartleby.com/essay/What-Are-The-Advantages-And-Disadvantages-Of-FCXBYYG3U>
- [16] Meyer; D. Cooper; R. Varley. "Are We There Yet? A Developer's Roadmap to OTEC Commercialization" (PDF). Hawaii National Marine Renewable Energy Center. Archived from the original (PDF) on 24 October 2020. Retrieved 28 March 2013.
- [17] M. Alves., 2016 Oscillating water columns (OWC) use the kinetic energy in the air caused by ocean waves. From: *Comprehensive Energy Systems, 2018.*, in *Numerical Modelling of Wave Energy Converters, 2016.*
- [18] OTEC Okinawa Project". otecokinawa.com. "Makai Ocean Engineering working with Navy on Big Island OTEC project". Retrieved 28 March 2013. "Makai Ocean Engineering to add 100kW turbine generator to Kona, Hawaii OTEC test facility". International District Energy Association. Archived from the original on 2014-11-10. Retrieved 2013-03-28.
- [19] Takahashi, Masayuki Mac (2000) [1991]. *Deep Ocean Water as Our Next Natural Resource*. Translated by Kitazawa, Kazuhiro; Snowden, Paul. Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing Company. ISBN 978-4-88704-125-7.
- [20] M. LARINIER (1) and F. TRAVADE., 2002 ‘‘ DOWNSTREAM MIGRATION: PROBLEMS AND FACILITIES’’ CSP-CEMAGREF, GHAAPPE - Institut de Mécanique des Fluides, Avenue du Professeur Camille Soula, 31400 TOULOUSE - France. (2) Electricité de France - Research & Development, 6 Quai Watier, 78401 CHATOU Cedex - France.