



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique**



**Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement**  
**du Littoral**  
**Département Environnement et Aménagement**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en sciences de la mer**  
**Spécialité : Gestion et Protection Du Littoral**

## **THEME**

# **Exploitation Des Energies Renouvelables Marines Au Niveau Du Littoral Centre Algérien**

**Réaliser par :**

**Bensedira Assia Kheira**

**Promoteur :**

**Pr. Khoudir Mezouar**

**Soutenu publiquement, le 08/07/2024, devant le jury composé de :**

<b>M.Bouaicha F.</b>	<b>MAA</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>M.Ghougali S.</b>	<b>MCB</b>	<b>ENSEREDD</b>	<b>Examineur</b>
<b>M.Mezouar K.</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>

**Année Universitaire : 2023/2024**



## **Dédicaces**

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de ma vie.*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit : Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi*

*A mes chères grandes parents et spécialement à "Sidi Ghalem" qui a été la première personne qui a fait le premier pas avec moi dans cette école.*

*"Mima Kheira" et "Jedi Tayeb"*

*Pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral et financier.*

*A mes chères, petits frère et sœur  
"Abdelrrazak" et "Maria" la douceur et la joie de la famille  
que Dieu les protège.*

*A l'âme de mon oncle "El Hadj" et ma grande mère "Rahmouna"  
bien-aimés...*

*J'aurais souhaité que vous soyez à mes côtés maintenant car  
vous m'avez toujours encouragé à réussir, mais la volonté de  
Dieu est au-dessus de tout et loué soit-Il.*

*Donc, je vous dis d'ici que j'ai réalisé ce que vous m'avez  
toujours poussé à accomplir, et j'espère que ce travail sera une  
aumône continue pour vous deux, que Dieu enveloppe vos âmes  
pures de Sa vaste miséricorde et de Son pardon, et qu'Il vous  
place dans le paradis. Je vous aime..."*

*À ma fidèle amie "Nesma", qui a été la compagne et le  
réconfort tout au long de ces années, et qui a été comme une  
famille en mon absence auprès d'eux..."*

*A toutes ma famille pour leur soutien tout aulong de mon  
parcours académique.*

# Remerciement

*Louange à <<Allah>> le tout puissant. Prière et salut sur le prophète Mohammed, nous remercions le bon Dieu, tout-puissant, de nous avoir donné la force et le savoir, ainsi que l'audace pour dépasser et surmonté toutes les difficultés.*

*Je coule dans un premier temps remercier, mon encadrant monsieur **Pr.Khoudir Mezouar**, de m'avoir aidé et d'avoir mis son savoir à mon disposition et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils et pour ça confiance, tout cela a contribué à alimenter ma réflexion et mon envie à réaliser ce mémoire.*

***Madame Maouel** le responsable de l'incubateur de l'enssmal pour son dévouement à son travail, pour ses précieux conseils et informations et son aide continue pour moi*

*Je remercie également les enseignants qui m'ont aidé*

**Mr.Zaoui.N, Mr.Louadj.A**

**Mr.Ghouggali.S Et Mr.Okba.M**

*Ainsi les membres de spécialistes du CDER **Mr.Meziane.F** et **Mr.Bakhti.A** pour leurs conseils et orientation afin de réaliser ce travail*

*Plus spécialement les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*En fin, je tiens à remercier spécialement mes très chers parents, mes grands-parents, mes petits frère et sœur, mon amie Nesma et bien sur toutes personnes qui m'ont apporté son soutien moral et de m'avoir encouragée et de m'avoir aidée par tous les moyens.*

## Table des matières

Dédicaces .....	3
Remerciement.....	5
Table des matières .....	3
Liste des figures .....	6
Liste des tableaux .....	9
Liste des équations .....	10
Résumer.....	11
Introduction Générale.....	12
Chapitre 1 : Généralité .....	14
1. Généralités sur les Energies Renouvelables Marines.....	15
Introduction .....	15
1.1. Présentation des Energies Renouvelable Marines.....	15
1.2. Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables marines .	26
1.3. Méthode de transport et de stockage de l'électricité.....	26
Conclusion .....	28
2. Généralité sur la zone d'étude.....	29
Introduction .....	29
2.1. Situation géographique .....	29
2.2. Cadre géomorphologique.....	31
2.3. Facteurs météo-océaniques .....	32
Conclusion .....	42
Chapitre 2 : Modélisation Hydrodynamique.....	43
Introduction .....	44
1. Analyse de l'état de la mer et des évènements extrêmes.....	44
2. Modélisation hydrodynamique .....	48
2.1. Présentation du modèle.....	48
2.2. Méthodologie du travail .....	49
2.3. Résultats et discussions .....	53
Conclusion.....	59
Chapitre 3 : Conception et Simulation.....	60
1. Conception Et Dimensionnement D'une Hydrolienne A Axe Horizontale (Solidworks) .....	61
Introduction .....	61
1.1 Conception de la partie mécanique.....	61
1.2. Conception de la partie électrique .....	69
Conclusion.....	71
2. Conception Et Simulation (QBlade) et Assemblage du model.....	72

<b>Introduction .....</b>	<b>72</b>
<b>2.1. Présentation Du QBlade .....</b>	<b>72</b>
<b>2.2. Conception Sur QBlade .....</b>	<b>74</b>
<b>2.3. Conception du modelé d'hydrolienne par 3 profils NACA (Avec et sans optimisation) Forme des pales.....</b>	<b>77</b>
<b>2.4. Simulation des 3 profils NACA .....</b>	<b>79</b>
<b>2.5. Résultats .....</b>	<b>80</b>
<b>2.6. Montage des différentes parties de l'hydrolienne à axe horizontal .....</b>	<b>82</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>83</b>
<b>Chapitre 4 : Résultats et Discussions.....</b>	<b>84</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>85</b>
<b>1. Calcul de la Vitesse de rotation passé par la boîte à vitesse .....</b>	<b>85</b>
<b>Dimensions des engrenages : .....</b>	<b>85</b>
<b>1.2. Calcul de rapport de transmission.....</b>	<b>85</b>
<b>2. Calculs des Puissances (Théorique, Mécanique et Electrique) .....</b>	<b>86</b>
<b>2.1. Calcul de la puissance théorique.....</b>	<b>86</b>
<b>2.2. Calcul de la puissance mécanique.....</b>	<b>86</b>
<b>2.3. Calcul de la puissance électrique.....</b>	<b>87</b>
<b>2.4. Résultats .....</b>	<b>87</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>88</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>89</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>ANNEXE 1 : Business Model Canvas .....</b>	<b>93</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>94</b>
<b>1. Présentation du projet .....</b>	<b>95</b>
<b>2. Aspect innovants.....</b>	<b>97</b>
<b>3. Analyse Stratégique du marché .....</b>	<b>97</b>
<b>4. Processus de production .....</b>	<b>98</b>
<b>5. Plan financier.....</b>	<b>100</b>
<b>5.1. Le cout de projet.....</b>	<b>100</b>
<b>5.2. Les Amortissement .....</b>	<b>101</b>
<b>5.3. Les charges de projet .....</b>	<b>101</b>
<b>5.4. Les ventes prévisionnelles pour une année.....</b>	<b>101</b>
<b>5.5. Prix de Vente.....</b>	<b>102</b>
<b>5.6. Le chiffre d'affaires.....</b>	<b>103</b>
<b>5.7. Bénéfice net .....</b>	<b>103</b>
<b>5.8. Rentabilité .....</b>	<b>103</b>
<b>5.9. Prévision pour les 3 ans.....</b>	<b>103</b>

<b>6. Le prototype expérimental .....</b>	<b>104</b>
<b>Business Model Canva .....</b>	<b>108</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Hydrolienne Hydrowing. ( <a href="http://www.hydrowing.tech">www.hydrowing.tech</a> ) .....	16
Figure 2 : Hydrolienne D10 de Sabella. ( <a href="http://www.sabella.bzh">www.sabella.bzh</a> ).....	16
Figure 3 : Hydrolienne à axe horizontal caréné. ( <a href="http://www.cbc.ca">www.cbc.ca</a> ).....	16
Figure 4 : Hydrolienne flottante. ( <a href="http://www.hydrolien.fr">www.hydrolien.fr</a> ).....	17
Figure 5 : Hydrolienne A axe verticale : OceanQuest. ( <a href="http://www.hydrolien.fr">www.hydrolien.fr</a> ) .....	17
Figure 6 : Hydrolienne oscillante : Stingray. (Nasir.M et al 2021) .....	18
Figure 7 : Hydrolienne à aile ondulante. ( <a href="http://www.hydrolien.fr">www.hydrolien.fr</a> ) .....	18
Figure 8 : Hydrolienne cerf-volant : Minesto. ( <a href="http://www.hydrolien.fr">www.hydrolien.fr</a> ).....	19
Figure 9 : Hydrolienne Flumill. ( <a href="http://www.shutterstock.com">www.shutterstock.com</a> ) .....	19
Figure 10 : Système marémotrice. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ).....	20
Figure 11 : système (simple effet au Vidange). ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ) .....	20
Figure 12: système (simple effet au remplissage). ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ) .....	20
Figure 13 : Système Houlomotrices. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ) .....	21
Figure 14 : Le système de chaîne flottante articulée. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ).....	22
Figure 15 : Paroi oscillante immergée. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ).....	22
Figure 16 : Colonne à oscillation verticale. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ).....	23
Figure 17: Capteur de pression immergé. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ) .....	23
Figure 18 : Les différents types des systèmes houlomoteurs bords à quai. ( <a href="http://www.cerema.fr">www.cerema.fr</a> ) .....	24
Figure 19 : Chambre d'eau oscillante (Colonne d'eau). ( <a href="http://www.europa-azul.es">www.europa-azul.es</a> ).....	24
Figure 20 : Piège à déferlement. ( <a href="http://www.connaissancedesenergies.org">www.connaissancedesenergies.org</a> ) .....	25
Figure 21 : Les flotteurs oscillants. ( <a href="http://www.cerema.fr">www.cerema.fr</a> ) .....	25
Figure 22 : Les composants d'un câble sous-marin. ( <a href="http://www.kvcable.com">www.kvcable.com</a> ) .....	27
Figure 23 : Situation géographique de la zone d'étude. ( <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> ) .....	29
Figure 24 : Situation géographique de la baie de BouIsmaïl. ( <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> ).....	30
Figure 25 : Situation géographique de la baie d'Alger. ( <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> ) .....	30
Figure 26: Situation géographique de la baie de Zemmouri. ( <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> ) .....	31
Figure 27 : La bathymétrie et topographie du large de la région Algéroise. (Mouhoubi.N et al.2021) .....	32
Figure 28 : Roses des vents semestriels et annuels au large de La Baie de Bouismaïl. (1992-2021).....	34
Figure 29 : Roses des vents semestriels et annuels au large de la baie d'Alger. (1992-2021).....	35
Figure 30 : Roses des vents semestriels et annuels au large de la baie de Zemmouri. (1992-2021).....	36
Figure 31 : Roses des houles semestrielles et annuelles au large de La Baie de BouIsmaïl. (1992-2021).....	39
Figure 32 : Roses des houles semestrielles et annuelles au large de la baie d'Alger. (1992-2021).....	40
Figure 33 : Roses des houles semestrielles et annuelles au large de la baie de Zemmouri. (1992-2021) .....	41
Figure 34 : Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement. ....	45
Figure 35 : Représentation de la méthode POT sur les hauteurs de houles entre 1992 –2021. ....	45
Figure 36 : Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel. ....	45
Figure 37 : Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction. ....	47
Figure 38 : Maillage de la zone d'étude à une échelle régionale. ....	50
Figure 39 : Carte bathymétrique de la baie de Zemmouri. ....	50
Figure 40 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger. ....	51
Figure 41 : Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl. ....	51
Figure 42 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord-Nord-Est du Littoral centre. ....	54
Figure 43 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord du Littoral centre. ....	54
Figure 44 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord-Ouest du Littoral centre. ....	55
Figure 45 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord-Nord-Est). ....	56
Figure 46 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord). ....	56
Figure 47 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord-Ouest). ....	56
Figure 48 : Modélisation des champs des courants du Littoral centre (houle Nord-Nord-Est). ....	57
Figure 49 : Modélisation des champs des courants de la baie d'Alger (houle Nord). ....	57
Figure 50 : Modélisation des champs des courants de la baie d'Alger (houle Nord-Ouest). ....	58

Figure 51 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord-Nord-Est).	58
Figure 52 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord).	59
Figure 53 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord-Ouest).	59
Figure 54 : éolienne. ( <a href="http://www.ecoreporter.de">www.ecoreporter.de</a> )	62
Figure 55 : Conception mécanique et dimensions de la pale du model 1 en 3D sur SolidWorks.	62
Figure 56 : Courantomètre valport. ( <a href="http://www.directindustry.fr">www.directindustry.fr</a> )	62
Figure 57 : Conception mécanique et dimensions de la pale du model 2 en 3D sur SolidWorks.	63
Figure 58 : Propeller de navire. ( <a href="http://www.wisegeek.net">www.wisegeek.net</a> )	63
Figure 59 : Conception mécanique et dimensions du Model 03 en 3D sur SolidWoks.	63
Figure 60 : Conception mécanique et dimensions Support De Fixation Liée A La Turbine en 3D sur SolidWorks.	64
Figure 61 : Conception mécanique et dimensions Support De Fixation Liée A L'arbre De Transmission en 3D sur SolidWorks.	64
Figure 62 : Conception mécanique et dimensions de l'arbre de transmission en 3D sur SolidWorks.	65
Figure 63 : Conception mécanique et dimensions de la boîte à vitesse en 3D sur SolidWorks.	65
Figure 64 : Conception mécanique et dimensions des engrenages de la boîte à vitesses en 3D sur SolidWorks.	66
Figure 65 : Conception mécanique et dimensions de Support de propulseur d'orientation sur SolidWorks.	66
Figure 66 : Conception mécanique et dimensions de propulseur d'orientation sur SolidWorks.	67
Figure 67 : Conception mécanique et dimensions de la Boîte Des Composantes en 3D sur SolidWorks.	67
Figure 68 : Conception mécanique et dimensions de La plateforme ou le Support d'Hydrolienne en 3D sur SolidWorks.	68
Figure 69 : Conception mécanique et dimensions de Tour rotatif en 3D sur SolidWorks.	68
Figure 70 : Conception mécanique et dimensions de la tour fixe en 3D sur SolidWorks.	69
Figure 71 : Générateur (PMSG) D'hydrolienne.	70
Figure 72 : Composantes d'un PMSG injecter dans une turbine. ( <a href="http://www.electricity-magnetism.org">www.electricity-magnetism.org</a> )	70
Figure 73 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 06.	74
Figure 74 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 06.	74
Figure 75 : Graphe de la couche limite de profile NACA 06.	75
Figure 76 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 0012.	75
Figure 77 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 0012.	75
Figure 78 : Graphe de la couche limite de profile NACA 0012.	75
Figure 79 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 0015.	76
Figure 80 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 0015.	76
Figure 81 : Graphe de la couche limite de profile NACA 0015.	76
Figure 82 : Graphe du taux de finesse par rapport au l'angle d'attack pour les 3 Profiles.	77
Figure 83 : Tableau et model de conception NACA 06.	77
Figure 84 : Tableau et model de conception NACA 0012 optimisé Betz 5deg.	78
Figure 85 : Tableau et model de conception NACA 0012.	78
Figure 86 : Tableau et model de conception NACA 0012 optimisé Betz 7deg.	78
Figure 87 : Tableau et model de conception NACA 0015.	79
Figure 88 : Tableau et model de conception NACA 0015 optimisé Betz 9deg.	79
Figure 89 : Tableau des paramètres BEM.	79
Figure 90 : Graphe de nombre de rotation par rapport à la vitesse au courant.	80
Figure 91 : Graphe de Cp paramètre du profile NACA 06 Optimisé 5deg et non optimisé.	80
Figure 92 : Graphe Cp paramètre Profile NACA 0012 Optimisé par betz 7deg et non optimisé.	81
Figure 93 : Graphe Cp paramètre du Profile NACA 0015 Optimisé par betz 9deg et non optimisé.	81
Figure 94 : Conception réalisée de Moyau d'Hydro_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.	82
Figure 95 : Forme des pales Hydro_NACA0012 Modifier en 3D sur Solidworks.	83
Figure 96 : Assemblage des pales et moyau d'Hydro_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.	83
Figure 97 : Assemblage réalisée de l'Hydro_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.	83
Figure 98 : Graphe de comparaison des Cp des profils NACA utilisées.	86

<b>Figure 99 : Graphe de comparaison de puissance électrique générée par les profils NACA utilisés. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figure 100 : Prototype expérimentale d'une hydrolienne à axe horizontale (HydroMed) .....</b>	<b>104</b>
<b>Figure 101 : modèles des pales d'hydrolienne en phase de développement .....</b>	<b>105</b>
<b>Figure 102 : Simulation Model 1.....</b>	<b>106</b>
<b>Figure 103 : Simulation Model 2.....</b>	<b>107</b>
<b>Figure 104 : Simulation Model 3.....</b>	<b>107</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Les résultats obtenus par la méthode POT .....	46
Tableau 2 : Les paramètres d'inputs des simulations pour une période de retours de 10 ans. ....	53
Tableau 3 : Calcul de vitesse après le passage d'une boîte à vitesse (cas multiplicateur). ....	85
Tableau 4 : Calcul de vitesse après le passage d'une boîte à vitesse (cas réducteur). ....	85
Tableau 5 : Résultats des Calculs des puissances (théoriques, mécaniques, électriques) minimale et maximale de l'hydrolienne NACA0012. ....	87
Tableau 6 : plan de réalisation .....	97
Tableau 7 : Besoin des emplois et leurs taches .....	99
Tableau 8 : Le cout de projet .....	101
Tableau 9 : Les amortissements .....	101
Tableau 10 : Les charges fixes et les charges variables .....	101
Tableau 11 : Les ventes prévisionnelles pour une année .....	102
Tableau 12 : Le Prix De Vent .....	102
Tableau 13 : Le Chiffre D'affaires .....	103
Tableau 14 : La Rentabilité .....	103
Tableau 15 : Prévisions pour 3 Ans .....	103

## Liste des équations

Equation 1.....	27
Equation 2.....	44
Equation 3.....	73
Equation 4.....	73
Equation 5.....	73
Equation 6.....	81
Equation 7.....	86
Equation 8.....	86
Equation 9.....	87

# Résumer

## En français

Les énergies hydroliennes sont parmi les plus récentes technologies et sont considérées comme respectueuses de l'environnement. C'est pourquoi dans cette étude, nous allons explorer les différentes façons d'investir dans cette énergie et de l'utiliser.

La meilleure manière, Avant de débiter n'importe quel projet, il est essentiel d'examiner si le site sur lequel vous souhaitez établir le projet est valide ou non. De plus, les coefficients, les forces, la puissance et le couple de l'hydrolienne ont été calculés.

Pendant ce deuxième semestre de cette année, j'ai collecté les informations requises sur les énergies renouvelables marines, notamment les hydroliennes à axe horizontal. Notre travail a porté sur la théorie hydrodynamique de la pale la plus rapide et la plus performante, en utilisant une finesse particulière. Ainsi, nous avons comparé 3 profils afin d'obtenir celui qui est le plus efficace et le plus performant afin de fournir un rendement électrique puissant.

**Mots-clés : Les énergies renouvelables marines- hydrolienne à axe horizontale - les pales - les profils - les performances.**

## Summary

### In English

Hydropower is one of the latest technologies and is considered to be environmentally friendly. That's why in this study we're going to explore the different ways of investing in and using this energy.

The best way, Before starting any project, it is essential to examine whether the site on which you wish to establish the project is valid or not. In addition, the coefficients, forces, power and torque of the tidal turbine have been calculated.

During the second half of this year, I collected the information required on marine renewable energies, in particular horizontal axis tidal turbines. Our work focused on the hydrodynamic theory of the fastest and best performing blade, using a particular finesse. Thus, we compared 3 profiles in order to obtain the most efficient and best performing one to provide a powerful electrical output.

**Keywords : Marine renewable energy - horizontal axis tidal turbine - blades - profiles - performance.**

## ملخص

### بالعربية :

تعد طاقة التيارات البحرية من أحدث التقنيات وتعتبر صديقة للبيئة. ولهذا السبب سنستكشف في هذه الدراسة الطرق المختلفة للاستثمار في هذه الطاقة واستغلالها.

الطريقة الأفضل، قبل البدء بأي مشروع، لا بد من فحص ما إذا كان الموقع الذي تريد إنشاء المشروع عليه صالحاً أم لا. بالإضافة إلى ذلك، يجب حساب المعاملات والقوى والقدرة وعزم الدوران لتوربينات التيار البحري.

خلال السداسي الثاني من هذا العام، قمت بجمع المعلومات المطلوبة حول الطاقات البحرية المتجددة، ولا سيما توربينات التيار البحري ذات المحور الأفقي. ركز عملنا على النظرية الهيدروديناميكية عن الشفرات الأكثر سرعة والأحسن في الأداء مع عامل الجودة ولذلك قمنا بمقارنة 3 مقاطع من الشفرات للوصول إلى المقطع الأكثر فعالية وأداء من أجل توفير مردود كهربائي قوي.

**الكلمات المفتاحية: الطاقات البحرية المتجددة – توربينات التيار البحري ذات المحور الأفقي – الشفرات – المقاطع – الأداء.**

# Introduction

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter.

Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies marines, issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre ou encore de la biomasse.

A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

L'exploitation 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 : la houle, les courants, les marées, le gradient de température entre les eaux de surface chaudes et les eaux froides en profondeur. Chacune de ces filières à un degré de maturité et des perspectives de développement spécifiques à plus ou moins long terme. Les technologies des énergies renouvelables en mer sont pour la plupart au stade de la recherche et de l'expérimentation et qui fait l'objet de ce mémoire.

**Alors notre problématique est basée sur :**

- Comment exploiter les énergies renouvelables marines sur notre littoral Algerian ?
- Quelle sont les étapes à suivre pour arriver à produire un dispositif qui peuvent rendre cette énergie cinétique à une énergie électrique ?

Dans notre mémoire nous sommes intéressés à des études théoriques et pratiques, pour la présentation des énergies renouvelables marines en générale et pour l'exploitation d'énergie hydrolienne en particulier au niveau du littoral centre Algerian. Pour ce faire, le présent travail a été structuré selon **4 chapitres** :

- **Le premier chapitre** est composée de 2 sous chapitres, le 1er est consacré à des généralités sur les énergies renouvelables marines en générales leurs caractéristique, fonctionnement et leurs propriétés leurs avantages et inconvénient et aussi une vue globale sur les méthodes de transport et stockage d'énergie électrique. Le 2ème dédié à des généralités de la zone d'étude comprend l'analyse du climat des houles et des vents au niveau de la baie d'Alger. L'objectif de cette partie est de visualiser les caractéristiques de houles et des vents notamment leurs directions de provenance et leurs fréquences d'apparition.
- **Le 2ème chapitre** met en évidence l'importance de la modélisation hydrodynamique dans le domaine marin pour la prévision des phénomènes liés aux houles et aux courants au niveau de la côte. Cela nous permet d'évaluer le potentiel énergétique des courants, houles et vagues implantées dans notre zone d'étude et d'avoir une idée sur la puissance théorique qui peut être générer par le courant marin. Dans cette étude, le software Mike 21 a été utilisé.

- **Le 3<sup>ème</sup> chapitre** porte sur la conception et le dimensionnement et la simulation des modèles d'hydrolienne avec des logiciels spécialisés (Solidworks, Qblade) on finalisant par l'assemblage générale.
- **Le dernier chapitre** : résultats et discussions : qui donne les résultats finals de l'étude avec l'interprétation nécessaire.

# **Chapitre 1 : Généralités**

# 1. Généralités sur les Energies Renouvelables Marines

## Introduction

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel...

Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les océans (marines), les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine.

À l'heure de la transition énergétique, les énergies renouvelables deviennent de plus en plus incontournables. Parmi, elles, l'énergie marine. Avec ses diverses solutions existantes (hydrolienne, marémotrice...), l'énergie de la mer présente de nombreux avantages et dispose d'un potentiel immense pour le monde. Et ce sous chapitre vous présente un tour d'horizon pour découvrir plus sur ce sujet.

## 1.1. Présentation des Energies Renouvelable 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 : la houle, les courants, les marées, le gradient de température entre les eaux de surface chaudes et les eaux froides en profondeur.

([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

On peut distinguer plusieurs types des énergies renouvelables marines qui sont :

- les courants (énergie hydrolienne) ;
- les vagues et la houle (énergie houlomotrice) ;
- les marées (énergie marémotrice) ;
- la différence de température de l'eau en surface et en profondeur (énergie thermique) ;
- le gradient de salinité à l'embouchure des fleuves (énergie osmotique) ;
- les vents soufflant au-dessus de la mer (éolienne) ;
- les panneaux solaires (l'énergie solaire)
- la biomasse des micro-algues (biocarburants).

### 1.1.1. L'énergie Hydrolienne

Par définition, une hydrolienne (turbine hydro cinétique) est une machine sous-marine qui produit de l'électricité avec l'énergie des courants marins ou fluviaux. Ce sont souvent des turbines qui entraînent un alternateur qui produit de l'électricité sous forme d'un courant alternatif. Un convertisseur est situé parfois après pour l'adapter au réseau.

Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne :

- La force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices.
- L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transmise à un alternateur.

- L'alternateur produit de l'énergie électrique, acheminée par des câbles sous-marins jusqu'au rivage.

Les hydroliennes sont des sortes d'éoliennes subaquatiques dont les pales sont mises en mouvement par les courants marins. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

On peut distinguer plusieurs types d'hydroliennes :

### 1.1.1.1. Hydrolienne a axe horizontal

#### 1.1.1.1.1. Classique

Ces machines ressemblent aux éoliennes. Elles ont un rotor muni de plusieurs pales, au moins deux mais parfois jusqu'à six comme la Sabella D10, elles disposent un arbre de rotation parallèle à l'écoulement et utilisent des rotors de type hélice. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))



Figure 1 : Hydrolienne Hydrowing. Figure 2 : Hydrolienne D10 de Sabella. ([www.sabella.bzh](http://www.sabella.bzh)) ([www.hydrowing.tech](http://www.hydrowing.tech))

#### 1.1.1.1.2. Carénées

Les carénages sont des structures fixes disposées en périphérie de rotor pour en augmenter la puissance. La compacité des hydroliennes facilite l'introduction de ce type de dispositif. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))



Figure 3 : Hydrolienne à axe horizontal caréné. ([www.cbc.ca](http://www.cbc.ca))

### 1.1.1.1.3. Flottantes

Les hydroliennes à axe horizontal flottantes sont installées sous une barge. Elles ressemblent de la surface à un bateau. Pour l'installation, la machine est souvent immergée avec un système de vérins hydrauliques : c'est facile et rapide. Puis la maintenance est faite aisément car il suffit de remonter la turbine pour la dépanner. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

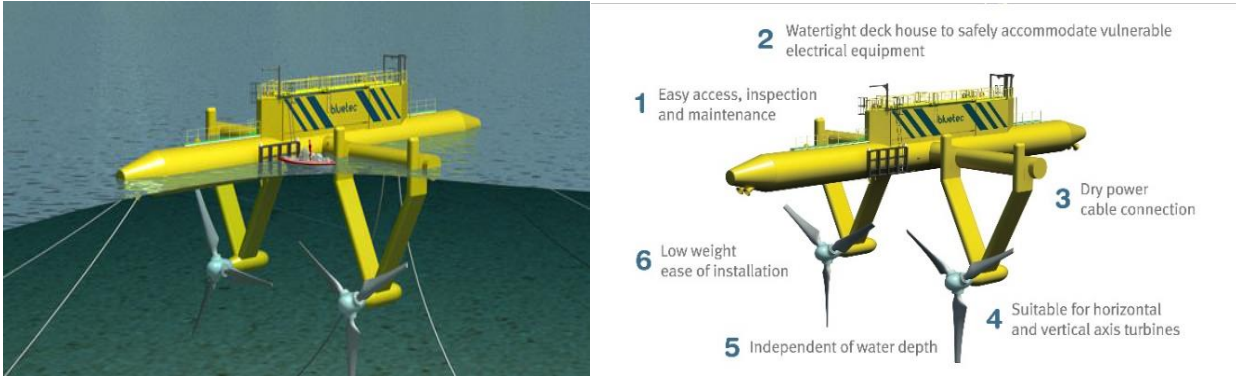


Figure 4 : Hydrolienne flottante. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

### 1.1.1.2. Hydrolienne a Axe Vertical

Les hydroliennes à axe vertical sont de hydroliennes munies des turbines à flux transverse mues par les forces de portance. Ces dernières sont composées de pales entraînées par les forces de portance autour d'un axe de rotation perpendiculaire au flux incident, ces turbines sont dites aussi verticales lorsque l'axe de rotation se trouve perpendiculaire au sol. Cependant, cet axe peut aussi être horizontal dans certaines applications particulières. Comme pour les turbines à flux axial, la vitesse de rotation est contrôlée en fonction de la vitesse du courant incident pour maximiser la performance. La puissance récupérée sur l'arbre est convertie directement par une génératrice, qui peut être partagée par plusieurs turbines empilées. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

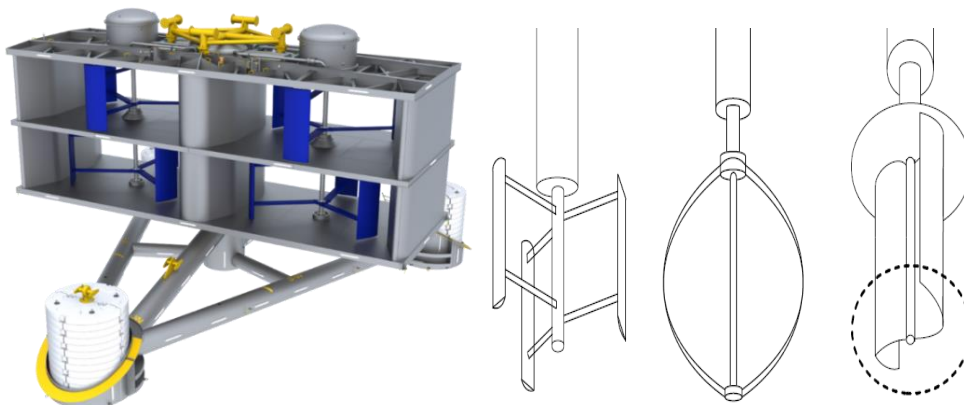


Figure 5 : Hydrolienne A axe verticale : OceanQuest. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

### 1.1.1.3. Les Systèmes Hydroplaneurs (Oscillation)

D'autres systèmes oscillants utilisent l'effort de portance généré par une aile oscillante dont l'incidence est contrôlée par un système approprié. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))



Figure 6 : Hydrolienne oscillante : Stingray. (Nasir.M et al 2021)

### 1.1.1.4. Ailes Ondulantes

L'aile est une membrane souple qui se déforme sous l'effet des courants marins. Des capteurs électromécaniques génèrent alors de l'énergie électrique. La membrane est conçue avec différents matériaux comme du caoutchouc, par exemple. L'avantage de cette technologie est qu'elle est utilisable en eaux peu profondes. Cela permettrait donc d'améliorer le potentiel exploitable.

Les courants minimaux pour faire démarrer la production de courant électrique sont souvent plus faibles que pour les technologies à turbine. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))



Figure 7 : Hydrolienne à aile ondulante. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

### 1.1.1.5. Cerf-volant

C'est le principe du fonctionnement du cerf-volant mais dans l'eau avec les courants marins. La machine de Minesto décrit des 8 sous l'effet de commandes électroniques pour créer un effet accélérateur. Un câble maintient l'hydrolienne comme pour un cerf-volant classique et la petite turbine produit du courant électrique. L'intérêt principal est qu'elle capterait des courants plus faibles pour démarrer. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

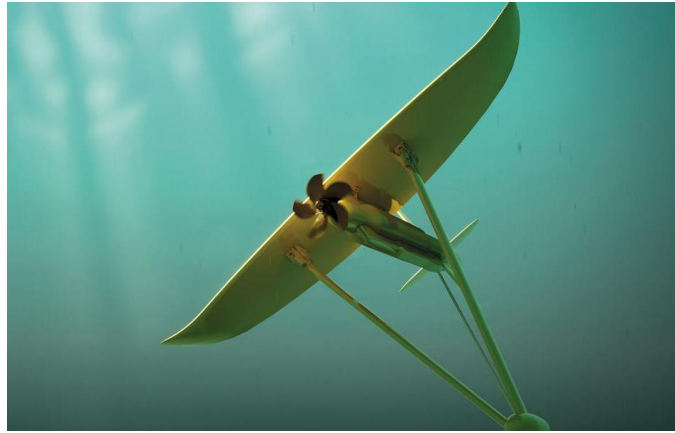


Figure 8 : Hydrolienne cerf-volant : Minesto. ([www.hydrolien.fr](http://www.hydrolien.fr))

### 1.1.1.7. Vis d'Archimède

C'est la vis d'Archimède qui sert aussi en hydraulique sur des petites rivières pour produire du courant électrique. ([www.blog.lendopolis.com](http://www.blog.lendopolis.com))

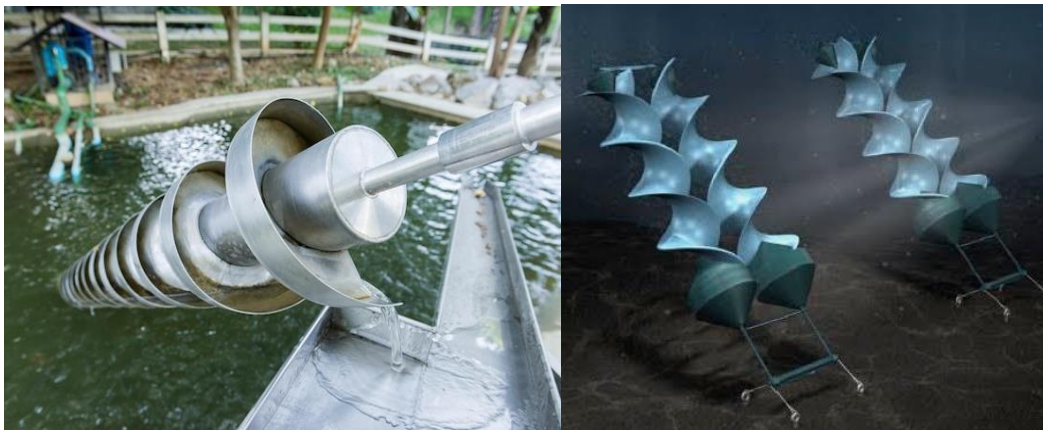


Figure 9 : Hydrolienne Flumill. ([www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com))

### 1.1.2. L'énergie Marémotrice

L'énergie marémotrice consiste à exploiter l'énergie issue des marées dans des zones littorales de fort marnage (différence de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse se succédant). Le phénomène de marée est induit par l'effet gravitationnel sur l'océan de deux astres à proximité de notre planète : la Lune et le Soleil. Contrairement aux hydroliennes qui captent l'énergie cinétique des courants de marée, le principe d'une centrale marémotrice s'appuie sur une énergie potentielle : cette source d'énergie utilise le marnage pour produire de l'électricité en exploitant la différence de hauteur entre deux bassins séparés par un barrage. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

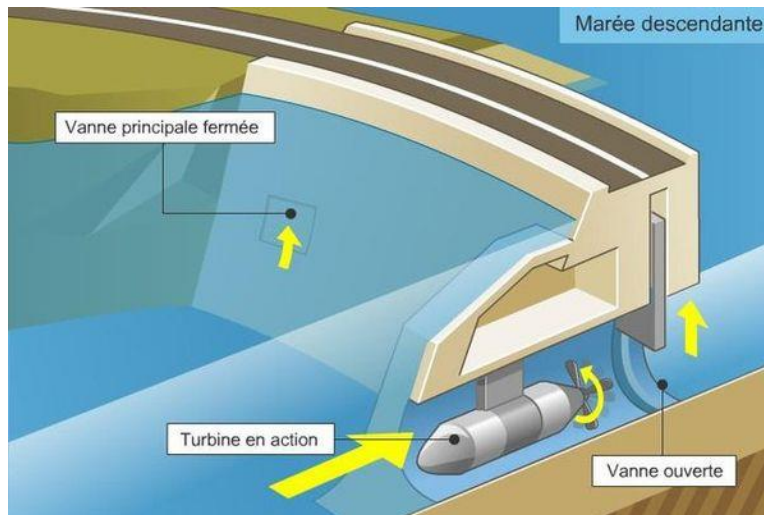


Figure 10 : Système marémotrice. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

Il est courant de distinguer deux grands types d'infrastructures marémotrices : le simple bassin et le double bassin.

### 1.1.2.1. Le simple bassin

Consiste à barrer un bras de mer par un ouvrage capable de retenir un important volume d'eau. Le barrage délimitant le bassin est percé d'ouvertures, certaines étant dotées de vannes simples, d'autres étant dotées de vannes munies de turbines. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

- le « **simple effet au vidage** » : le bassin de retenue est, avec les vannes fermées, « clôturé » à marée haute. Puis on ouvre les vannes lorsque le niveau de la mer est redescendu suffisamment bas pour faire fonctionner les turbines (ou « bulbes ») connectées à des alternateurs ;
- le « **simple effet au remplissage** » : à l'inverse, on isole le bassin de retenue à marée basse afin d'obtenir une différence de hauteur au fur et à mesure de la marée montante. Lorsque la marée est haute, on ouvre les vannes et l'eau pénétrant dans le bassin de retenue par les vannes fait tourner les turbines. Cette méthode nécessite de conserver un niveau bas dans le bras de mer (côté bassin de retenue) sur une longue durée et peut poser des problèmes environnementaux et d'usages pour la navigation.

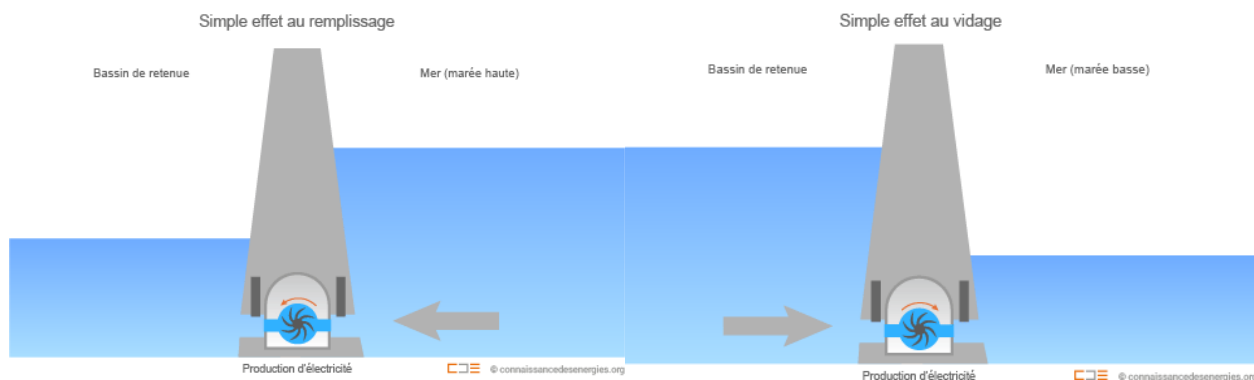


Figure 11 : système (simple effet au Vidange). ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

Figure 12: système (simple effet au remplissage). ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

- le « **double effet** » : on fait tourner les turbines à la fois lors du remplissage et lors du vidage, ce qui offre une plage de production plus longue (exemple de la Rance). Des pompes complémentaires permettent d'optimiser les différences de niveau tout en préservant le bilan énergétique.

### 1.1.2.2. Le double bassin

Consiste à rajouter un bassin artificiel, situé plus bas que le niveau de la mer (y compris à marée basse). Compte tenu du décalage quotidien de l'heure de la marée, la production électrique est disponible certains jours à l'heure de pointe et d'autre jour en période de faible consommation.

Un bassin supplémentaire permet l'exploitation d'une différence de potentiel quelle que soit la hauteur d'eau de la mer (il est également possible de « sur-remplir » le bassin de la vallée de la Rance et de turbiner au moment le plus opportun). Il constitue un moyen de stockage (comme une STEP) pour une meilleure maîtrise de la production en conjuguant turbinage et pompage. Ce dispositif offre des plages de production plus longues mais nécessite une infrastructure plus complexe et plus coûteuse.

Un concept de lagons artificiels plus au large est également à l'étude afin d'éviter les inconvénients liés aux grandes infrastructures sur le littoral. De tels dispositifs nécessiteraient toutefois des endiguements plus longs et seraient donc plus coûteux. Ils supposent en outre de faibles profondeurs d'eau, donc des zones déjà fortement convoitées pour d'autres usages. Aucun lagon artificiel n'a été réalisé à ce jour pour installer une centrale marémotrice. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3. Energie Houlomotrice

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

Il existe différents dispositifs pour exploiter cette énergie. De nombreux systèmes sont actuellement à l'étude, certains sont déjà commercialisés mais aucun n'est arrivé au stade de la maturité industrielle. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))



Figure 13 : Système Houlomotrices. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

Il existe un vaste inventaire de solutions houlomotrices, certaines d'entre elles étant immergées, d'autres installées en surface, sur le rivage ou au large. Les systèmes de capture d'énergie varient d'un prototype à un autre : capture d'énergie mécanique en surface (ondulations) ou sous l'eau (translations ou mouvements orbitaux), capture des variations de pression au passage des vagues (variations de hauteur d'eau) ou encore capture physique d'une masse d'eau (via une retenue).

On peut observer plusieurs types de capteurs d'énergie houlomotrice :

### 1.1.3.1. La chaîne flottante articulée

Système composé d'une suite de longs flotteurs qui s'alignent dans le sens du vent perpendiculairement aux vagues et dont la tête est ancrée au fond sous-marin par un câble. Les vagues créent une oscillation de la chaîne. Cette oscillation est exploitée aux articulations pour comprimer un fluide hydraulique qui entraîne à son tour une turbine. Il s'agit du procédé le plus connu exploitant l'énergie houlomotrice. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

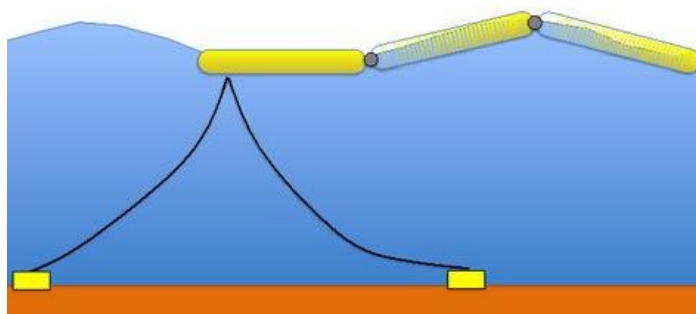


Figure 14 : Le système de chaîne flottante articulée. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3.2. La Paroi Oscillante Immergée (Batteur Inversée : Oscillant)

Système pivotant entraîné par le mouvement orbital de l'eau au passage des vagues. Ces oscillations permettent d'actionner des pompes pour comprimer et turbiner un fluide hydraulique. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

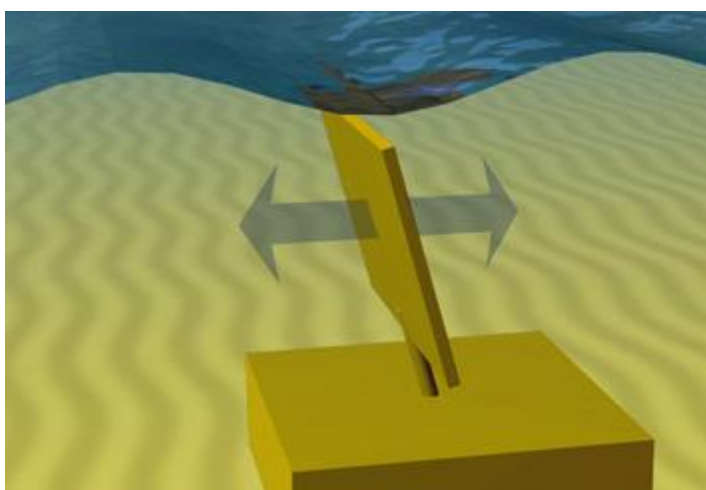


Figure 15 : Paroi oscillante immergée. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3.3. La Colonne A Oscillation Verticale

Structure flottante mise en place à la surface de la mer et transformant tous les mouvements horizontaux ou verticaux en déplacements de masselottes (éléments utilisant la force centrifuge pour créer un travail). L'énergie liée aux masselottes en mouvement est utilisée pour actionner une pompe et mettre sous pression un fluide hydraulique qui permet ensuite de faire tourner une turbine entraînant à son tour un alternateur. Une variante possible consiste à utiliser directement le déplacement pour entraîner l'alternateur. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

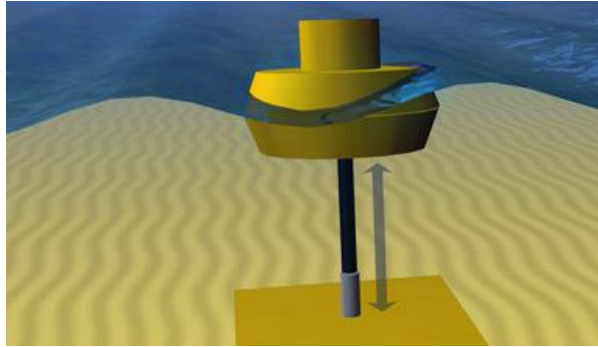


Figure 16 : Colonne à oscillation verticale. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3.4. Le Capteur De Pression Immergé

Système ancré au fond marin qui utilise le mouvement orbital des vagues pour comprimer un fluide hydraulique. Le capteur le plus simple à utiliser est un ballon. Il est possible de constituer un réseau de capteurs et recueillir le fluide comprimé à terre où il est turbiné pour produire de l'électricité. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

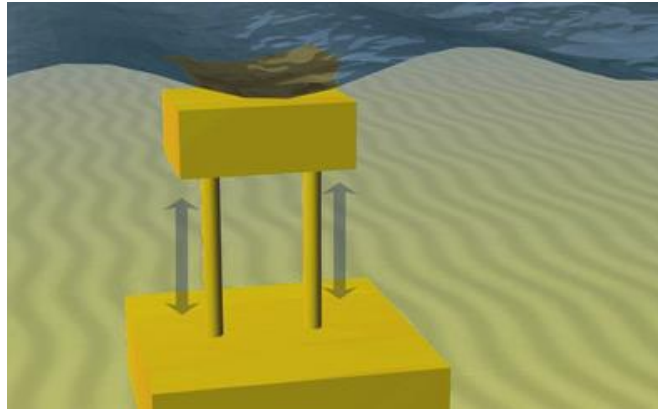


Figure 17: Capteur de pression immergé. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3.5. Systèmes houlomoteurs bords à quai

L'énergie des vagues est globalement plus faible « bord à quai » car les profondeurs sont plus faibles toute fois 3 points positifs : ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

- Le phénomène de réfraction de la houle sur le fond augmente l'énergie.
- Ce même phénomène diminue l'étalement directionnel de quai améliore le rendement
- La réflexion de la houle sur la digue peut augmenter le rendement

Les 3 familles des systèmes houlomoteurs bord à quai

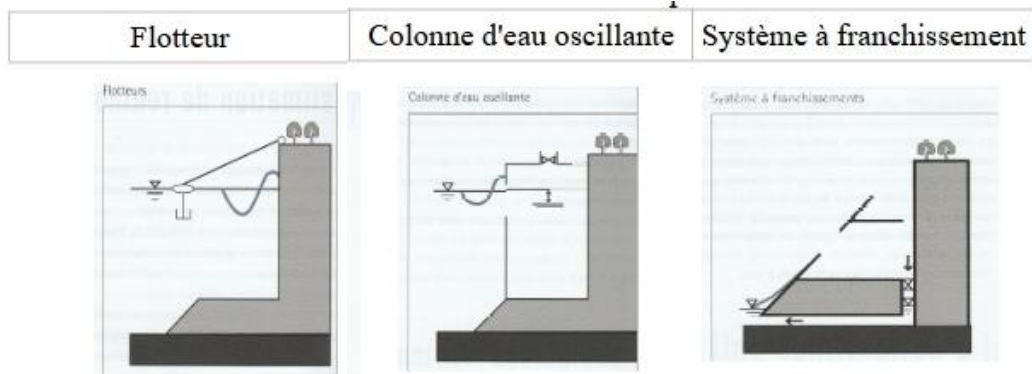


Figure 18 : Les différents types des systèmes houlomoteurs bords à quai. ([www.cerema.fr](http://www.cerema.fr))

#### 1.3.5.1. A La colonne d'eaux oscillantes (Chambre d'eau oscillante)

Structure flottante en acier ou en béton, ouverte à la base et fermée sur le dessus. Les vagues font monter et descendre le niveau de l'eau dans la colonne. Cela a pour effet de comprimer et de décompresser alternativement de l'air emprisonné dans la partie supérieure de la colonne. L'air active alors une turbine bidirectionnelle pour produire de l'électricité. Ce système peut être installé au large ou sur le rivage. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))



Figure 19 : Chambre d'eau oscillante (Colonne d'eau). ([www.europa-azul.es](http://www.europa-azul.es))

### 1.1.3.5.2. Système A franchissement

Système à franchissement qui retient l'eau des crêtes de vagues, créant une surpression dans le réservoir. Le volume d'eau piégée est turbiné. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

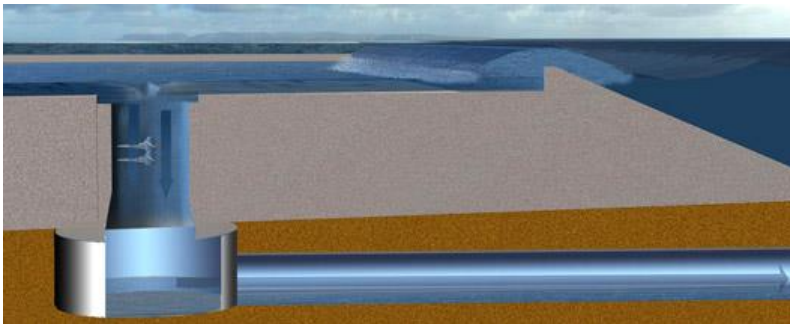


Figure 20 : Piège à déferlement. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

### 1.1.3.5.3. Les flotteurs oscillants

Dans le cadre d'une installation combinée avec une digue, des dispositifs houlomoteurs de type bouées pilonnantes ou flotteurs fonctionnant en tangage peuvent être envisagés. Les dispositifs de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique sont assez variés et dépendent du système et de la configuration d'installation retenue.

Dans le cas d'un convertisseur hydraulique, par exemple, le mouvement du flotteur peut être utilisé pour actionner une pompe et mettre sous pression un fluide hydraulique qui fait tourner un moteur hydraulique entraînant lui-même un alternateur.

Il peut également être envisagé d'utiliser directement le déplacement du flotteur pour entraîner un alternateur.

Ce dispositif utilise l'énergie cinétique et potentielle des vagues pour générer une pression hydraulique qui est ensuite transformée en électricité. ([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

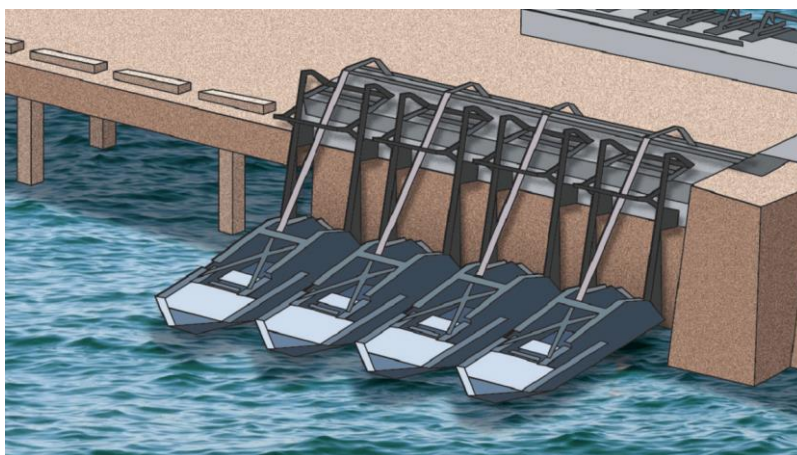


Figure 21 : Les flotteurs oscillants. ([www.cerema.fr](http://www.cerema.fr))

## 1.2. Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables marines

Les avantages de l'énergie marine sont nombreux. C'est une source potentielle d'approvisionnement très importante, une technologie largement éprouvée, du moins pour l'énergie marémotrice, et l'espace nécessaire est très réduit pour l'énergie hydrolienne, de même que l'impact visuel, contrairement aux éoliennes. Le principal inconvénient de l'énergie marine est son fonctionnement intermittent.

Par ailleurs, les coûts d'entretien sont souvent importants pour des installations situées en pleine mer et difficiles d'accès. De plus, l'impact sur l'environnement n'est pas forcément positif, les espèces marines pouvant être perturbées par ce type d'implantation. Enfin, l'investissement initial est particulièrement conséquent.

Il convient donc de s'appuyer sur une localisation particulièrement propice pour convaincre des investisseurs. ([www.lappeldusol.fr](http://www.lappeldusol.fr))

### 1.2.1. Les Avantages de l'énergie marine

Les points en faveur de l'énergie marine sont nombreux :

- Il s'agit d'une ressource illimitée
- E' énergie propre car elle ne produit pas d'émissions de gaz à effet de serre ni de déchets.
- Aucune combustion n'est nécessaire pour fonctionner
- C'est une excellente alternative aux énergies basées sur les combustibles fossiles non renouvelables tels que le gaz, le pétrole et le charbon.

De plus, comme environ 70 % de la surface de la terre est recouverte de mers et d'océans, il est évident que l'exploitation de cette source d'énergie pourrait fournir une grande partie de l'énergie nécessaire à la production d'électricité (besoins énergétiques mondiaux). ([www.lappeldusol.fr](http://www.lappeldusol.fr))

### 1.2.2. Inconvénients de l'énergie marine

Pourtant, aujourd'hui encore, l'énergie des mers et des océans, n'est pas exploitée comme on pourrait s'y attendre, mais pourquoi ? ([www.lappeldusol.fr](http://www.lappeldusol.fr))

Certains inconvénients jouent en défaveur de ce type de technologie, notamment :

- L'intermittence de la production d'énergie bien qu'il s'agisse d'une source d'énergie beaucoup plus constante que les autres énergies renouvelables.
- Potentiel impact sur l'environnement des installations sous-marines et des turbines, qui risquent d'éroder et de détruire les fonds marins, avec des conséquences très graves pour l'écosystème marin.
- Coûts d'installation élevée
- Difficultés à trouver des sites appropriés où installer les systèmes.

## 1.3. Méthode de transport et de stockage de l'électricité

L'énergie est une grandeur physique qui peut être mesurée et qui permet d'accomplir une action ou un travail.

Dans notre vie quotidienne nous utilisons de nombreux objets et appareils qui nécessitent de l'énergie pour fonctionner, en particulier de l'énergie électrique L'énergie électrique qui représente l'énergie fournie sous forme de courant électrique.

L'unité reconnue par le système international des unités (SI) est le Joule (J). L'énergie électrique est calculée en déterminant le produit de la puissance électrique et du temps d'utilisation. ([projetecolo.com/l-energie-electrique](http://projetecolo.com/l-energie-electrique))

$$E=P \times \Delta t$$

1

Où :

- **E**= représente l'énergie électrique (J) (J)
- **P**= représente la puissance (W) (W)
- **$\Delta t$** =représente le temps (s)

### 1.3.1. Méthodes de transport

Les câbles sous-marins ont trois marchés principaux : le pétrole offshore, le transport d'énergie transocéanique et l'énergie éolienne offshore. Lorsque le câble doit effectuer certaines applications ou tâches spéciales et très spéciales, le câble standard ne peut pas résoudre correctement le problème technique, des câbles spéciaux ou des câbles hybrides sont alors nécessaires pour résoudre ces applications spéciales. Dans ces applications spéciales, les tâches requises sont généralement plus exigeantes.

Les câbles sous-marins utilisés pour le transport de l'énergie électrique produite par les énergies renouvelables marines sont spécialement conçus pour résister aux conditions marines difficiles. Ils sont généralement constitués de plusieurs couches de matériaux isolants, de conducteurs électriques et de protections externes pour assurer la sécurité et la fiabilité du transport de l'électricité. ([www.grandocceanmarine.com](http://www.grandocceanmarine.com))

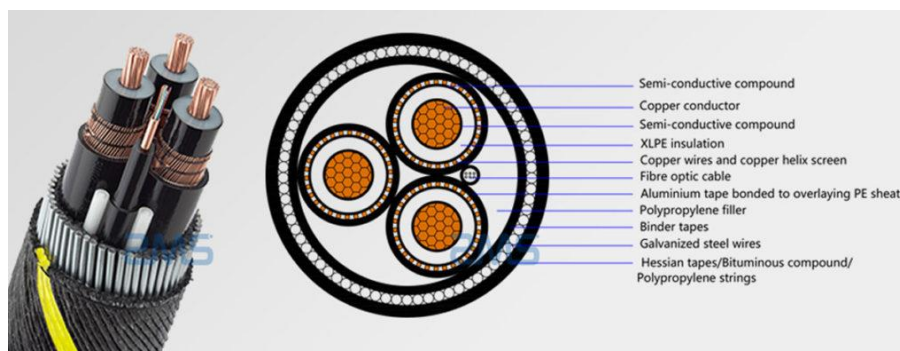


Figure 22 : Les composantes d'un câble sous-marin. ([www.kvcable.com](http://www.kvcable.com))

Les différents types des câbles sous-marins sont :

- **Câbles à fibres optiques** : Ils sont utilisés pour la transmission des données et des informations de surveillance des installations.
- **Câbles à conducteurs électriques** : Ils sont utilisés pour le transport de l'électricité elle-même.
- **Câbles hybrides** : Ils combinent à la fois des fibres optiques et des conducteurs électriques pour la transmission des données et de l'électricité.
- **Câble sous-marin haute tension** : Ils sont conçus pour transporter de grandes quantités d'électricité à des tensions élevées.
- **Câbles à basse tension** : Ils sont utilisés pour le transport de petites quantités d'électricité à des tensions plus basses.

- **Câbles à isolation en polyéthylène** : Ils sont fabriqués avec une isolation en polyéthylène pour protéger les conducteurs électriques de l'eau de mer et des autres éléments corrosifs.
- **Câbles à isolation en caoutchouc** : Ils sont fabriqués avec une isolation en caoutchouc pour une protection supplémentaire contre les dommages mécaniques.

([www.grandoceanmarine.com](http://www.grandoceanmarine.com))

### 1.3.2. Méthodes de stockage

Les différentes méthodes de stockage sont :

- **Stockage par pompage-turbinage** : Ce système consiste à utiliser l'énergie électrique excédentaire pour pomper de l'eau vers un réservoir situé à une altitude supérieure.
- **Stockage par accumulations d'eau de mer** : Dans ce système, l'énergie électrique est utilisée pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau de mer.
- **Stockage par air comprimé** : L'énergie électrique excédentaire est utilisée pour comprimer de l'air qui est stocké dans des réservoirs sous pression.
- **Stockage par volant d'inertie** : Cette méthode utilise un volant d'inertie qui stocke l'énergie cinétique sous forme de rotation.

([www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org))

## Conclusion

A travers notre étude de ce chapitre, nous concluons que les énergies renouvelables marines ont une grande importance. Chaque type d'énergie renouvelable marine a des caractéristiques distinctives et un principe de fonctionnement qui diffère de l'autre ; cela a poussé la plupart des pays développés à en dépendre pour produire de l'électricité et répondre à leurs besoins selon les capacités disponibles.

Après avoir extrait les informations nécessaires de ce chapitre, nous avons attribué l'hydrolienne à axe horizontale classique pour la conception et c'est ce que nous présentons dans **le chapitre 03 sous chapitre 2**.

## 2. Généralités sur la zone d'étude

### Introduction

La côte Algérienne se présente comme une succession de baies et de golfes plus au moins ouverts séparés par des régions très escarpées avec une longueur de 1622km.

Notre zone d'étude est située dans la région centre de la côte Algérienne entre Ras Bouak à Dellys et le mont Chenoua dans la baie de Bou-Ismaïl.

Elle se localise entre les longitudes 2°23'00''E à l'ouest jusqu'à 3°50'00'' à l'est. (**Google earth**)

Cette zone d'étude se situe sur une distance côtière d'environ 250 Km de long. Elle est subdivisée en trois baies : la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger et la baie de Zemmouri.

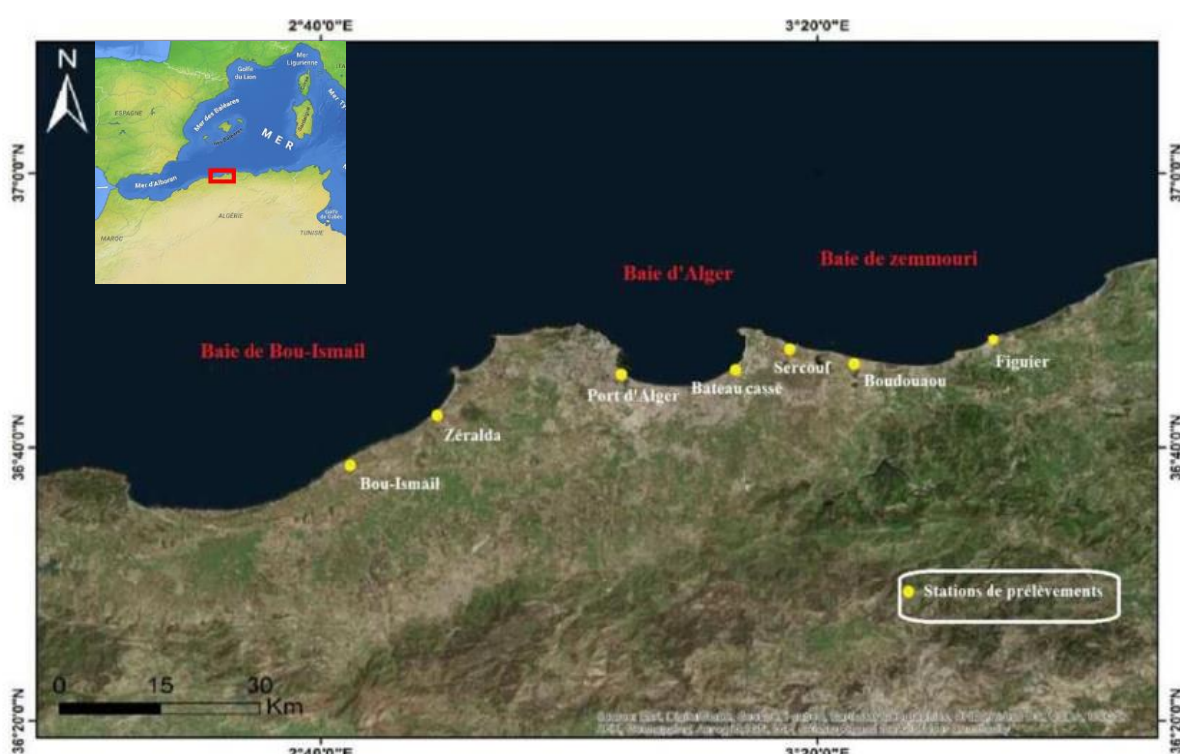


Figure 23 : Situation géographique de la zone d'étude. ([www.googleearth.com](http://www.googleearth.com))

### 2.1. Situation géographique

#### 2.1.1. La Baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail est limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua. La Baie couvre une superficie de 509 Km<sup>2</sup> avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud-Ouest au Nord-Est, soit 2° 54' Est et 36° 48' Nord à 2° 24' Est et 36° 38' Nord. (**Berkani.A, 2011**)

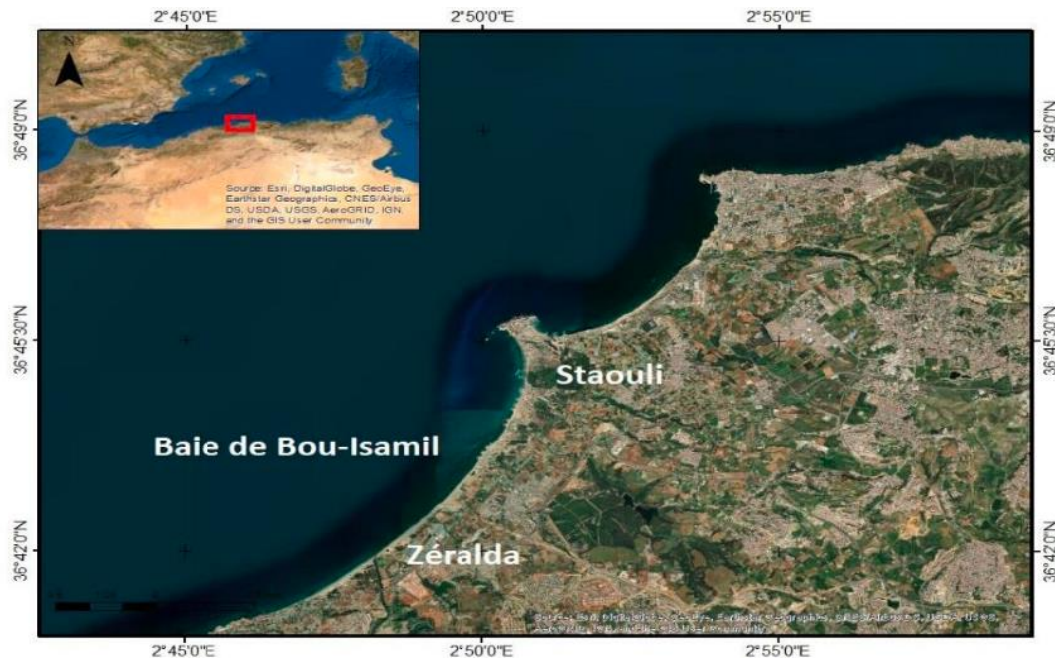


Figure 24 : Situation géographique de la baie de BouIsmail. ([www.googleearth.com](http://www.googleearth.com))

### 2.1.2. La Baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 km<sup>2</sup>, délimitée par deux caps, le Rais Hamidou à l'Ouest et Bordj El-Bahri à l'Est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03°14'50" à 03°00' 40" et une latitude Nord 36°49'35" à 36°49'3950". (Tamazirt.M, 2023).

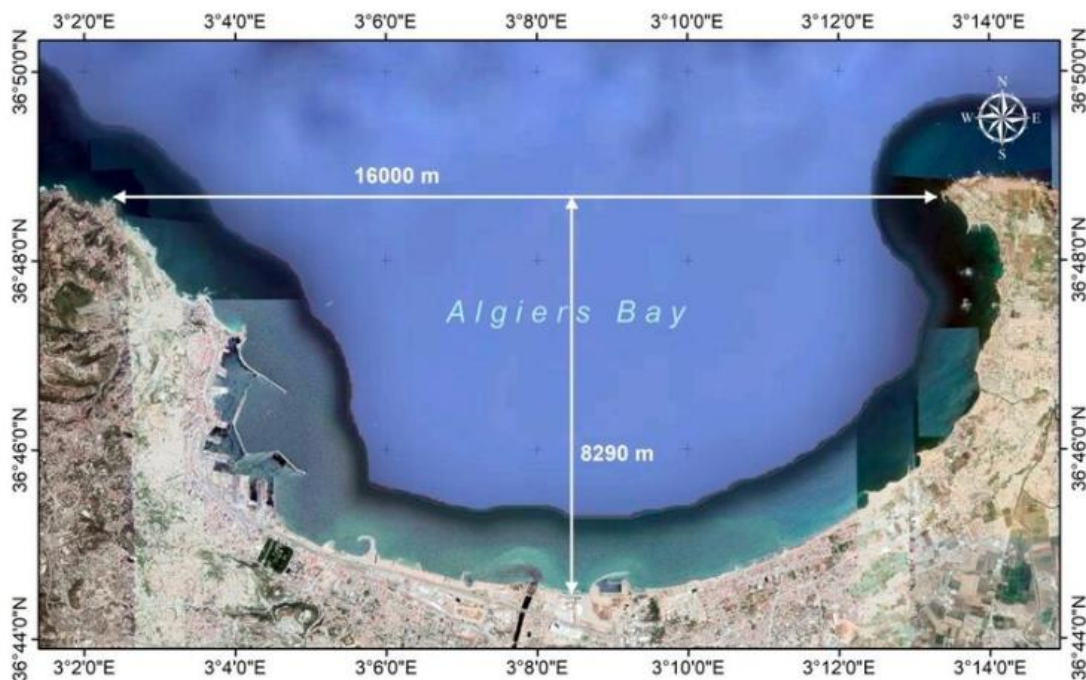


Figure 25 : Situation géographique de la baie d'Alger. ([www.googleearth.com](http://www.googleearth.com))

### 2.1.3. La Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri est située au Nord-Est d'Alger, limitée au Nord par la Méditerranée occidentale, au Sud par la plaine de la Mitidja, à l'Est par le Cap Djinet, et à l'Ouest par le Cap Matifou. Elle s'étale sur un linéaire côtier d'environ 54 km, très largement ouverte vers le nord, il est à noter l'existence d'un promontoire rocheux d'environ 100 m (Rocher Noir) : (Ch.AOUDJ et al.2020)

Les coordonnées géographiques la délimitant sont données ci-après :

36° 49' 25" N, G-03° 34' 24" et 36° 53'06" N, G-03° 41' 51"

36° 52' 28" N, G-03° 42' 23" et 36° 48' 44" N, G-03° 34' 56"



Figure 26: Situation géographique de la baie de Zemmouri. ([www.googleearth.com](http://www.googleearth.com))

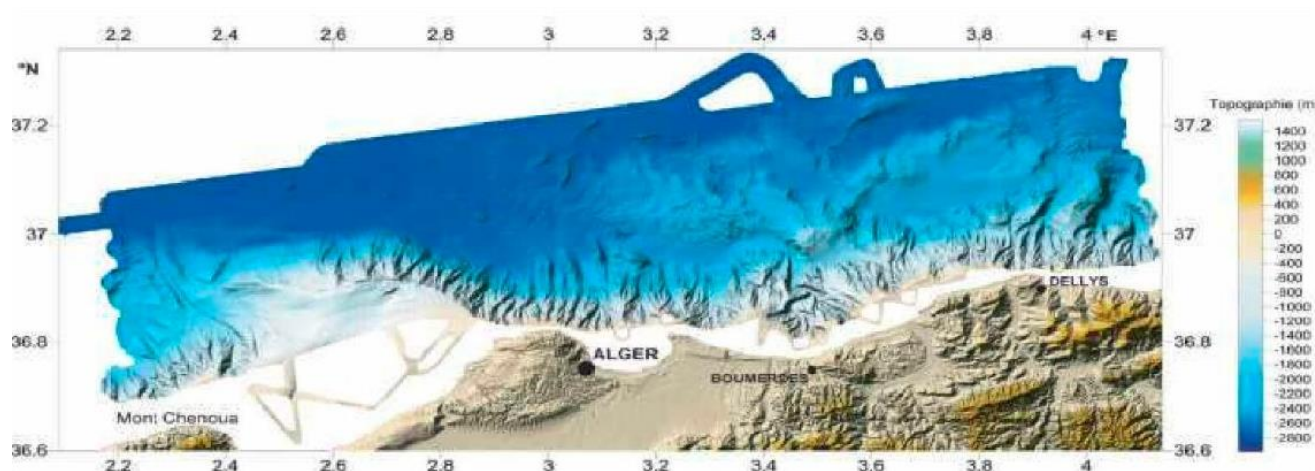
## 2.2. Cadre géomorphologique

Le plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl présente une extension maximale de 11 km (il est très étroit à proximité des massifs : 4 km pour le Chenoua, moins de 2 km pour Bouzaréah). Il a une surface de 509 Km<sup>2</sup> et une largeur de 55 km. Sa longueur se rétrécit au niveau des caps (2km à 3km) et s'élargit au milieu de la baie (11Km en face du Mazafran). (Leclaire, 1972). La pente est douce et perturbée par quelques appointements rocheux localisés au large de Mazafran de Bou-Ismaïl.

Le Plateau continental : Au débouché de la plaine de la Mitidja, entre le massif de La Bouzaréah et le Cap Matifou, le plateau continental est large d'environ 9 km et délimite la baie d'Alger. La superficie de cette baie est d'environ 140 km<sup>2</sup>. Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celui des 100 m (0° 35'). (Leclaire, 1972).

La baie de Zemmouri fait partie de la plaine littorale de la basse Kabylie qui est une zone que partage en deux parties égales les petits massifs de Thénia. C'est une baie largement ouverte sur la mer avec des reliefs sous-marins caractérisés de la mer méditerranée. La baie est caractérisée par l'étroitesse de

son plateau continental 1.5km (**Leclaire, 1972**), il se rétrécit au niveau de mont de Thénia où la tectonique est active, sa largeur ne dépasse pas les 3km, par ailleurs, en face de la zone basse d'Isser, la largeur du plateau peut atteindre 15km.



**Figure 27 : La bathymétrie et topographie du large de la région Algéroise. (Mouhoubi.N et al.2021)**

## 2.3. Facteurs météo-océaniques

L'étude des facteurs météo-océanique nous permettra de déterminer le rôle du vent, des vagues et houles et la marée sur la dynamique littorale ainsi que celui des courants.

L'ensemble des analyses des facteurs météo-océaniques qu'ont été effectuées nous permettre d'avoir ces résultats.

### 2.3.1. Les vents au large

Dans le cadre de cette étude nous avons analysé les données statistiques des vents au large extraites à partir de la base de données ([www.waveclimate.com](http://www.waveclimate.com)) pour une période de 29 ans (1992-2021). Les données des vents au large (Vitesses et directions) sont représentées sous forme de roses dans les figures suivantes (28, 29,30).

- **Baie de Bou-Ismaïl :**

D'après l'analyse des roses trimestrielles et annuelle des vents au large de la baie de Bou-Ismaïl, (**Figure 28**), on enregistre une prédominance des vents issus des directions NE, NW avec des fréquences respectives de 25% et 18% pour les deux trimestres (hiver et été) avec des vitesses relatives varient entre 12 et 15m/s. Les directions W, E et SW sont aussi fréquentes en printemps et en automne mais avec des fréquences relativement faibles (10% à 11%). Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses entre 8 et 12m/s.

- **Baie d'Alger :**

Les résultats des observations du vent effectuées au large de la baie d'Alger, sont rapportés sous forme de roses de vents pour chaque trimestre (**Figure 29**).

D'après les fréquences d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse pour chaque trimestre, on enregistre :

- **En Hiver** : le vent dominant issu de secteur SW et W, avec des fréquences respectives de 24% et 13%, la vitesse du vent se propage entre 15 à 18m/s.
- **En Été** : cette zone marque par la dominance du vent issu de secteur NE et E, avec des fréquences respectives de 23% et 17 %, leur vitesse se répartisse entre 8 à 13m/s.
- **Par contre en Automne et en Printemps**, il marque par la prédominance des vents de secteur NE et SW, talque en Printemps la fréquence du vent est de 13% et 11% et qui souffle à une vitesse qui varie entre 12 à 15m/s. En Automne la fréquence est de 11% et 12% pour les deux directions avec une vitesse qui varie entre 13 à 16m/s.

- **Baie de Zemmouri :**

L'analyse statique de ces données de vent (**Figure 30**) montre que les directions les plus dominantes sont :

- **Période printanier et automnale** : Une prédominance des vents de secteur compris entre Ouest à Sud-Ouest et Est à Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectives de 18.99% et 19.38%. les vents de cette direction ont des vitesses supérieures à 16 m/s.
- **Période hivernale** : les vents qui proviennent de secteur Ouest possèdent une grande fréquence qui est de 26.31% avec une vitesse comprise entre 12 et 16 m/s. Les autres directions sont moins fréquentes avec des fréquences relativement faibles.
- **Période estivale** : les vents les plus dominants sont ceux des deux directions Nord-Est et surtout la direction Est avec des fréquences d'apparition respectives de 24.26% et 33.44%. les directions du vent Nord-Ouest et Nord existent mais avec une prédominance moins remarquable.
- **Fréquence annuelle** : nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent d'Est, Ouest et de Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectivement estimées par 20.51%,18.46%et 14.75%.

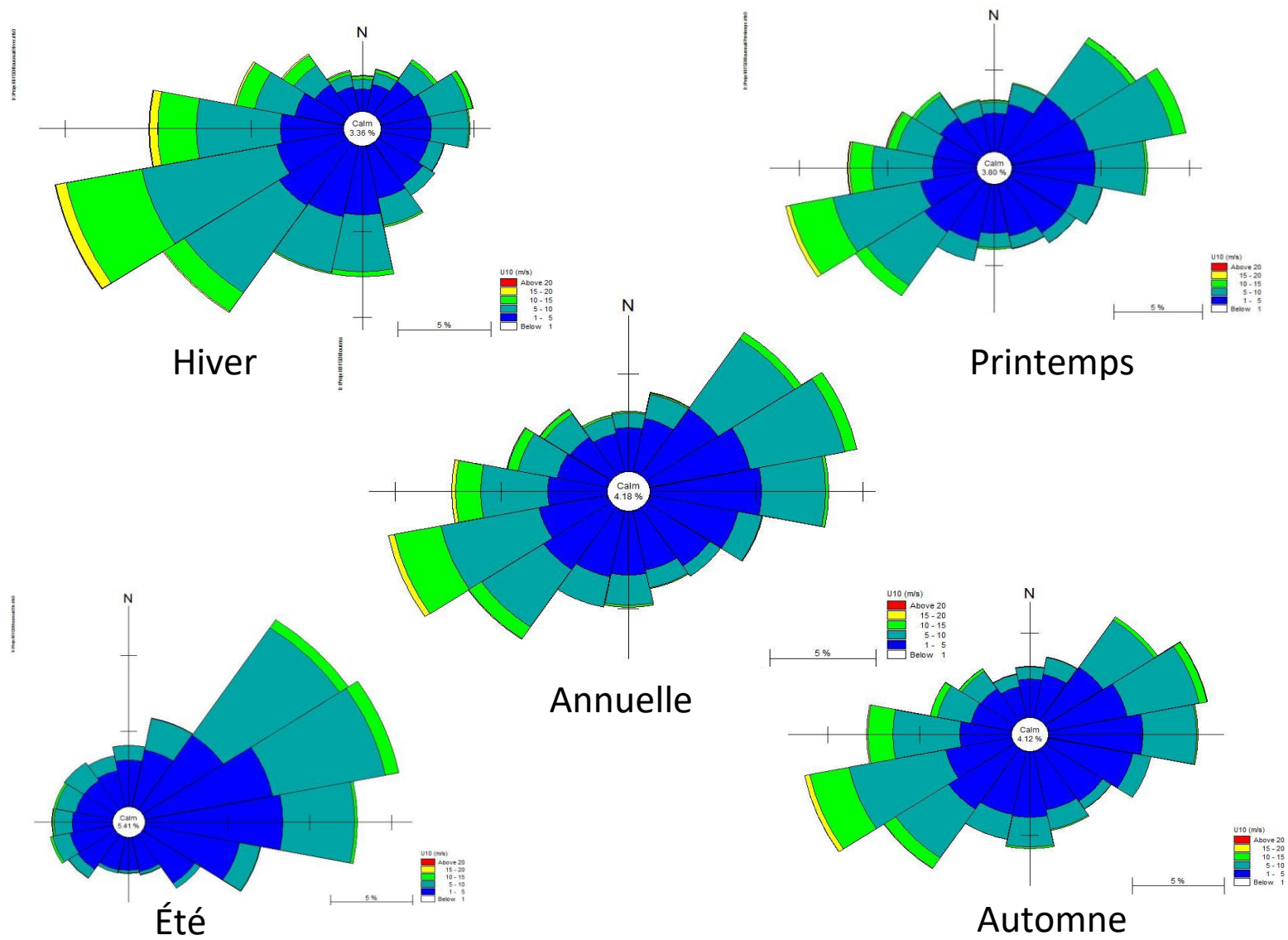


Figure 28 : Roses des vents semestriels et annuels au large de La Baie de Bouismail. (1992-2021)

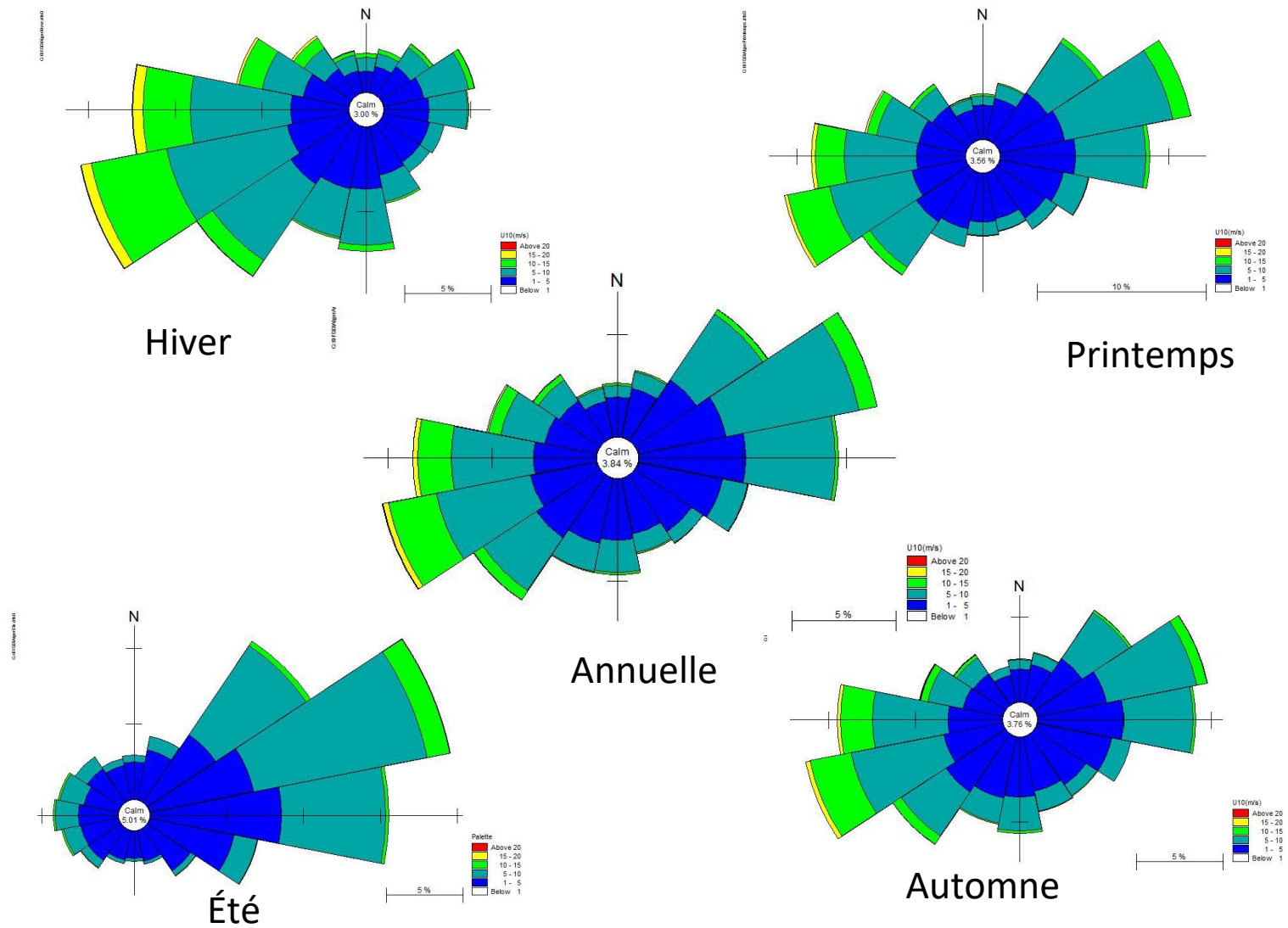


Figure 29 : Roses des vents semestriels et annuels au large de la baie d'Alger. (1992-2021)

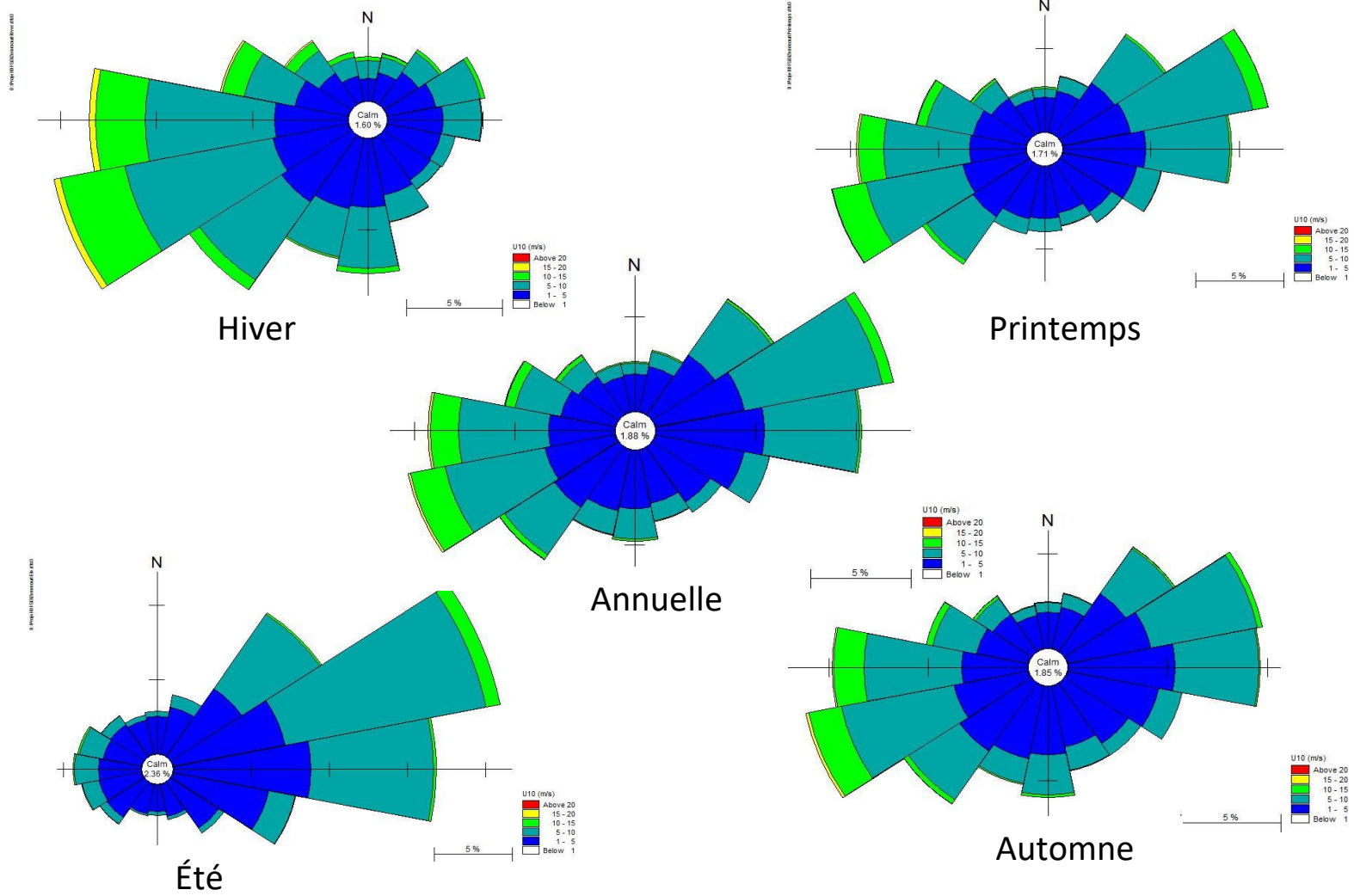


Figure 30 : Roses des vents semestriels et annuels au large de la baie de Zemmouri. (1992-2021)

### 2.3.2. Houle au large

L'analyse statistique des données de ([www.waveclimate.com](http://www.waveclimate.com)) nous a permis de tracer les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes algériennes pour la période 1992-2021 (**Figures 31, 32, 33**). L'analyse de ces roses fait ressortir la prédominance des houles issues des différents secteurs au large.

- **Baie de Bouismail**

Les données de houles calculées au niveau du point géographique dans la zone ouest dont les coordonnées géographiques sont, en latitude 37°N et en longitude 2°30'E.

Les résultats des observations de la houle effectuées au large de la baie de Bouismail, sont rapportés sous forme de roses de vents pour chaque trimestre (**Figure 31**).

L'analyse statique des roses de houle montre que :

- **En automne** : les houles dominantes sont du secteur Nord avec une fréquence de 15% et des amplitudes qui varient entre 0.5 et 1.5m, et un taux de calme de 0.51%.
- **Période hivernale** : les houles les plus élevées apparaissent pendant cette saison, avec une prédominance de deux secteurs, le secteur ouest avec une fréquence de 10% et une amplitude dominante de 1.25 à 2.5m et le secteur Nord Est qui a une fréquence de 10% et une amplitude de 1.25 à 2.5m.
- **Période printanier** : les houles dominantes sont de direction nord est entre 22.5 et 67.5, une fréquence d'environ 18% et une amplitude atteignant 0.5 à 1.25m, avec un taux de calme de 0.48 %
- **Période estivale** : les houles les plus dominantes sont de secteur nord est avec une fréquence d'apparition de 30% et une amplitude maximale de 0.5 à 1.25m, avec un taux de calme qui atteignant 0.26 %.

- **Baie d'Alger**

Après l'analyse de la rose des houles annuelle, il a été observé que deux directions étaient prédominantes : le Nord-Est représentant une fréquence environ 45 % des houles enregistrées et l'Ouest avec un pourcentage d'apparition de 26%.

- **Automne** : La (**Figure 32**) montre la dominance de deux directions avec des intensités différentes, le Nord Est avec une fréquence de 42% et l'Ouest avec un pourcentage d'apparition de 27%.
- **Hiver** : la rose des houles hivernales, fait apparaitre une prédominance de deux secteurs avec des intensités différentes. Le secteur le plus dominant est l'Ouest, avec une fréquence de 31%. Et le Nord-Nord-Est.
- **Printemps** : Après l'analyse de la rose des houles printanières, on peut distinguer deux secteurs prédominants : l'Ouest représentant près de 44 % des houles enregistrées et le Nord-Est, avec une fréquence de 28.42%. Il est intéressant de noter que la hauteur des vagues maximale qui est de 7.48m a été enregistrée durant cette saison.
- **Été** : on peut observer sur la (**Figure 32**) deux directions dominantes avec des intensités différentes : la direction la plu dominante est le Nord Est avec un pourcentage d'apparition de 65.56%. Ensuite, c'est le Nord Nord-Est qui domine.

- **Baie de Zemmouri**

L'analyse statistique des données des houles au large de cette baie nous a permis de tracer les roses des houles trimestrielles et annuelles (**Figure 33**). Et de déterminer la fréquence d'apparition de la houle par direction à deux échelles ; annuelles et saisonnières.

L'analyse statique des roses de houle annuelle montre que : les houles de provenance des deux secteurs Nord-Nord-Est, Nord-Est et Ouest sont les plus dominantes avec des fréquences d'apparition respective de 18.09%, 19.28% et 15.84% et une hauteur significative de 2.5 à 4 m.

L'analyse statique des roses de houle annuelle montre que :

- **Automne** : cette période est caractérisée par la dominance des secteurs Nord-Nord-Est, Nord-Est et Ouest avec les fréquences d'apparition respective de 20.02%, 17.89% et 16.47% avec une hauteur significative de 1.25 à 2.50 m.
- **Hiver** : elle est également caractérisée par la dominance des secteurs Nord-Nord-Est et Ouest par les fréquences d'apparitions respectivement de 19.86% et 19.05% avec une hauteur significative de 4 à 6 m.
- **Printemps** : les directions Nord-Nord-Est, Nord-Est et Ouest qui sont plus dominantes avec les fréquences d'apparition respectivement 16.88%, 19.24% et 17.97% avec une hauteur significative de 2.5 à 4 m.
- **Été** : c'est la direction Nord-Est qui domine avec une fréquence d'apparition de 30.12% avec une hauteur significative de 1.25 à 2.50 m.

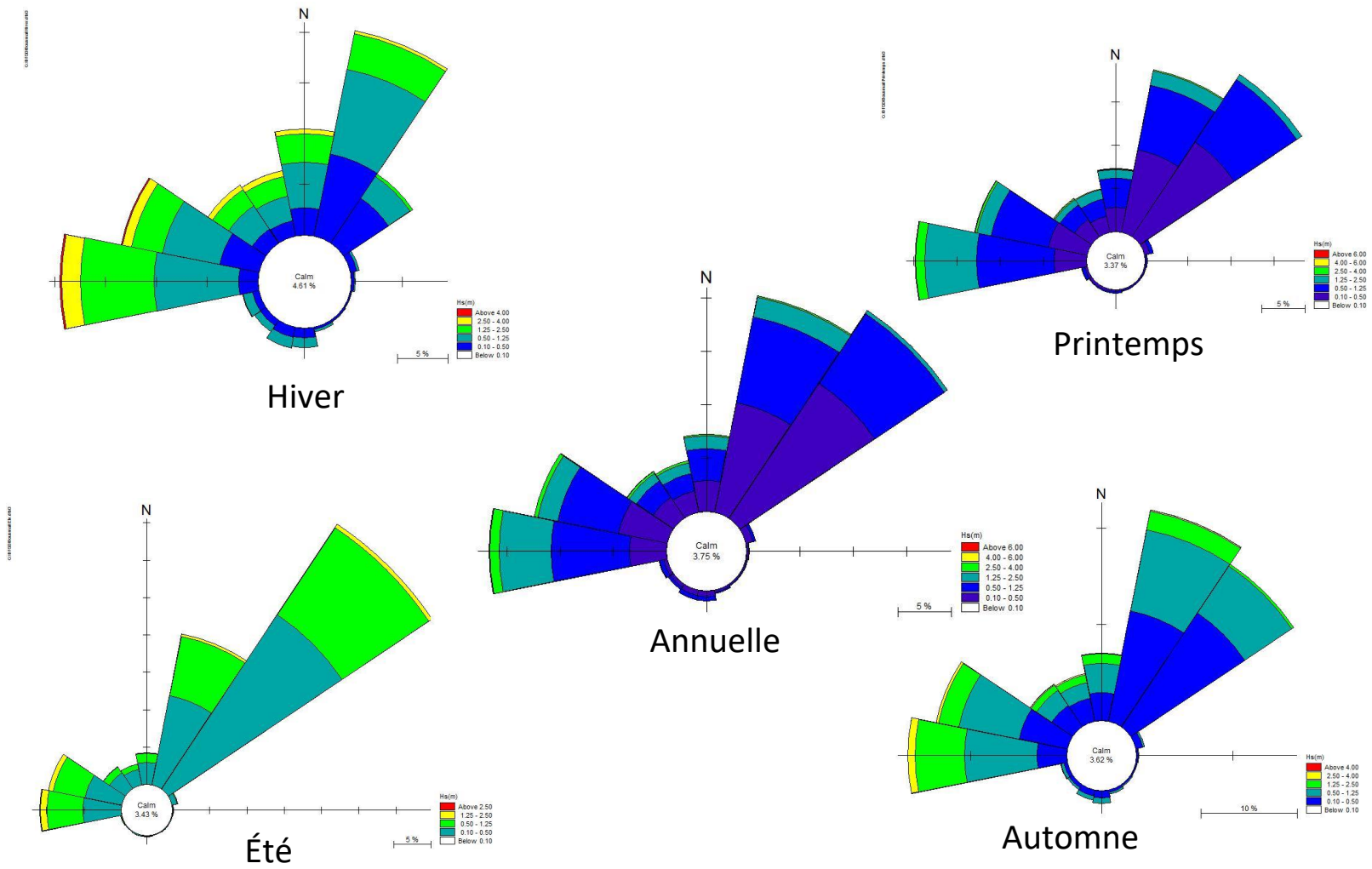


Figure 31 : Roses des houles semestrielles et annuelles au large de La Baie de BouIsmaïl. (1992-2021)



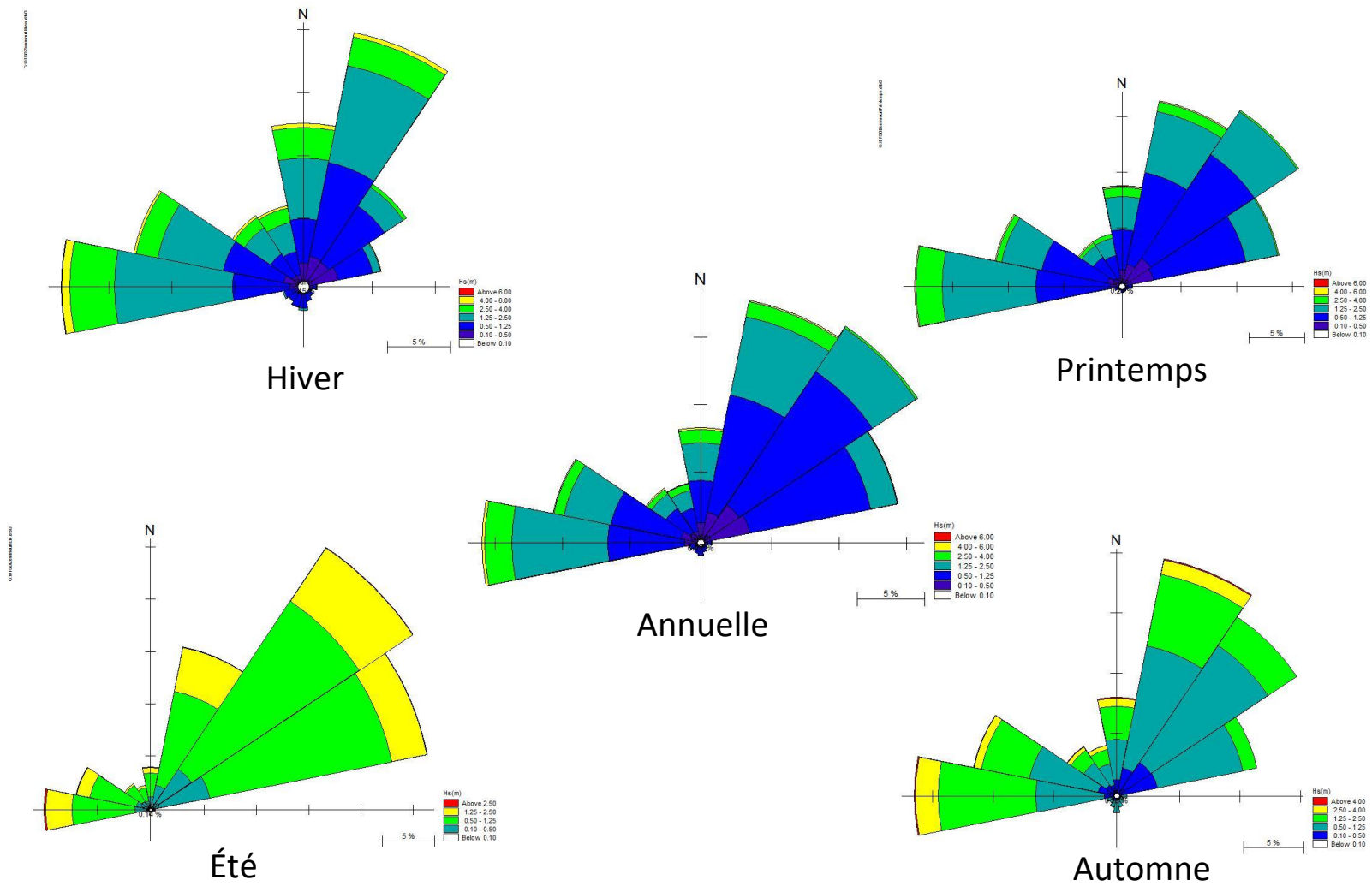


Figure 33 : Roses des houles semestrielles et annuelles au large de la baie de Zemouri. (1992-2021)

### **2.3.3. La marée**

La marée en mer Méditerranée et en particulier sur les côtes algériennes est relativement faible inférieur à 0.5 m en moyenne (**Leclaire, 1972**). Il s'agit plus d'une marée barométrique que d'une marée astronomique. De ce fait, il est plus intéressant de parler du niveau de la mer.

Quelques indications relatives de ce paramètre près des côtes Algériennes :

Le niveau maximal : +0,60 m (NGA), La moyenne des hautes mers de vive eau : +0,10 m (NGA), Et enfin, les plus basses mers : -0,34 m (NGA)

Avec NGA : Nivellement Générale Algérien.

## **Conclusion**

A travers ce sous chapitre on a montré une vue globale sur la région d'étude pour qu'on puisse savoir leurs caractéristiques de point de vue géographique, géomorphologique et météo-océanographique.

## **Chapitre 2 : Modélisation Hydrodynamique**

## Introduction

Bien que les vagues soient souvent traitées comme facteur naturel érosif, elles transportent toutefois une énergie renouvelable pouvant être exploitée notamment pour le développement durable des zones côtières rocheuses (i.e., falaises) où l'électrification classique est souvent difficile. Au niveau Méditerranéen, les travaux de **(Besio et al.2016)**, **(Hemdane et al.2016)** ont montré que 'la zone la plus énergétique de la Méditerranée se situe dans le bassin occidental entre les îles Baléares, la Sardaigne, la Corse et la côte nord de l'Algérie et ce, avec une puissance moyenne annuelle - le long de la côte - d'environ 10 kW/m'. En se basant sur l'étude des indicateurs de la morphologie côtière et sous-marine, couplée avec la modélisation du forçage induit par les vagues à la côte par le modèle Mike 21, des zones côtières potentiellement à ressource en énergie marine ont pu être identifiées.

### 1. Analyse de l'état de la mer et des évènements extrêmes.

La connaissance des états de la mer ainsi que les évènements extrêmes auxquelles est un facteur très important dans l'étude hydrodynamique et la répartition / distribution des énergies des vagues le long des côtes, de telles estimations requièrent l'utilisation de méthodes statistiques. **(Thompson et al. 2009)**.Le moyen de prédire ces évènements consiste en des prédictions probabilistes, en utilisant un échantillon de données. L'idée est de caractériser la probabilité d'occurrence. **(Clément A et al. 2018)**.

Existe plusieurs méthodes utilisées dans le calcul des approches pour le calcul des houles extrêmes sur une base de données de 29ans avec un pas d'enregistrement de 3h le long du littoral centre de l'Algérie, il est important de noter que la précision des résultats est positivement proportionnelle à la taille de l'échantillon. , dans le cadre de ce travail, on a fait le choix de travailler avec la méthode Peaks Over Threshold (POT) pour définir les valeurs extrêmes :

#### 1.1. Méthode Peaks Over Threshold (POT)

La méthode POT décrite par **(Kh. Tilbi, 2018)** repose sur l'approximation de la distribution des excès pour la loi de Pareto généralisée. Une méthode plus simple pour obtenir un échantillon d'excès plutôt qu'un échantillon de valeurs maximales. Dans la pratique, on remplace la valeur seuil  $u$  par la  $K$ -ième plus grande observation de l'échantillon, notée  $X_{(n-k+1)}$ . Pour appliquer cette méthode, il est recommandé de suivre les étapes suivantes.

Soit  $X_1, \dots, X_n$  un échantillon, à partir d'un certain seuil  $u$ , on note  $N_u$  le nombre d'observation qui dépassent ce seuil.

Soit  $Y_1, \dots, Y_{N_u}$  un échantillon des excès au-dessus du seuil  $u$  de distribution conditionnelle

$$F_{-u}(x) = \Pr(X - \mu \leq x | X > \mu) = (F(x + \mu) - F(\mu)) / (1 - F(\mu)) \quad 2$$

Pour déterminer le seuil, la bibliothèque py extrêmes du langage Python pour calculer la moyenne résiduelle et suivre ses fluctuations a été utilisée. L'objectif est de choisir le seuil optimal en observant la ligne droite de la moyenne résiduelle avant toute variation significative. Nous avons retenu la valeur de 3.5 m comme seuil **(Figure 34)**.

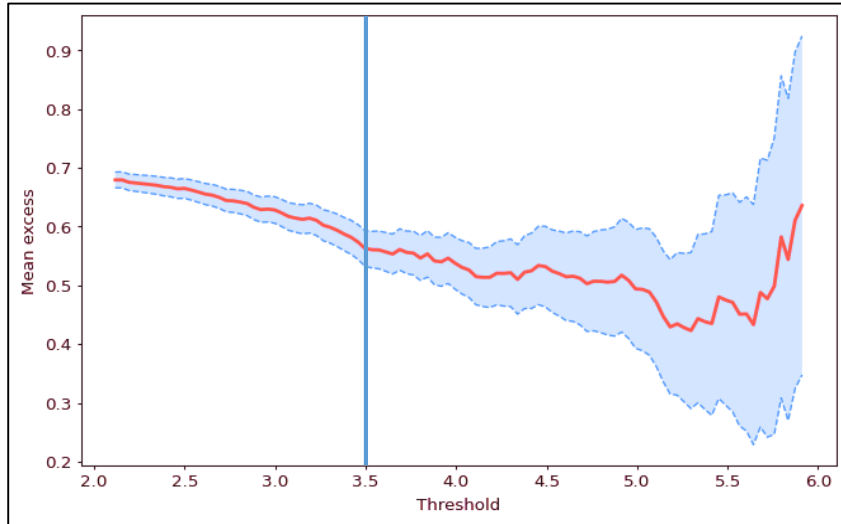


Figure 34 : Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelle de l'enregistrement.

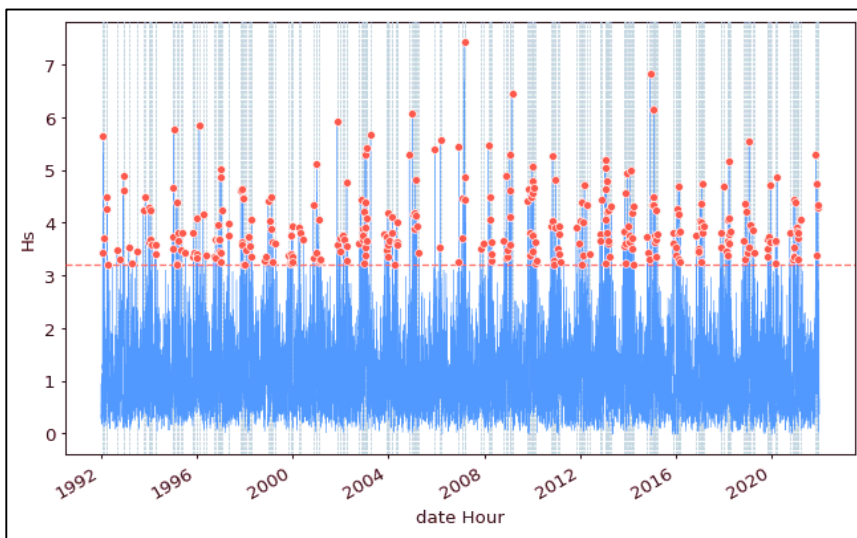


Figure 35 : Représentation de la méthode POT sur les hauteurs de houles entre 1992 –2021.

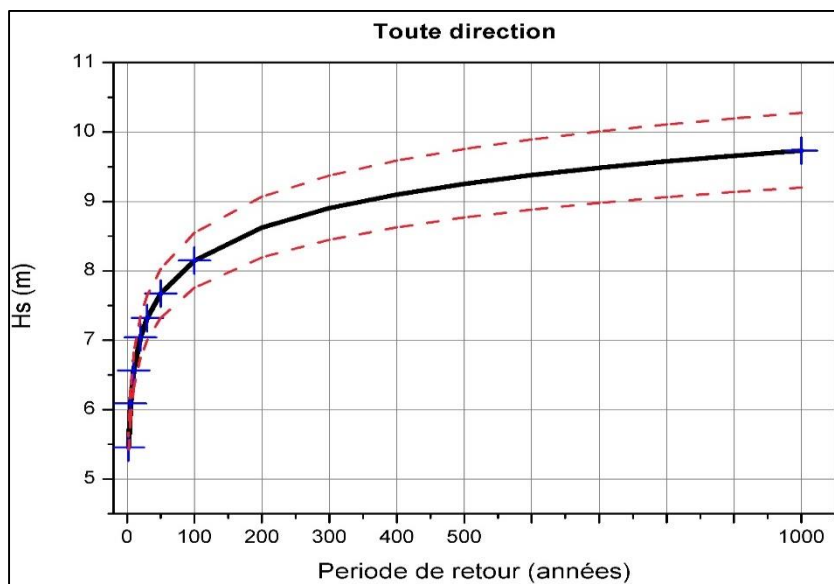


Figure 36 : Estimation des événements extrêmes via la méthode POT pour omnidirectionnel.

La **Figure 35** illustre l'ensemble des points à être utilisés pour le calcul. Pour calculer les hauteurs de houle ainsi que leurs périodes de retour nous avons utilisé la bibliothèque py extrêmes en langage Python. Les résultats obtenus sont présentés dans les **Figures 36 et 37**.

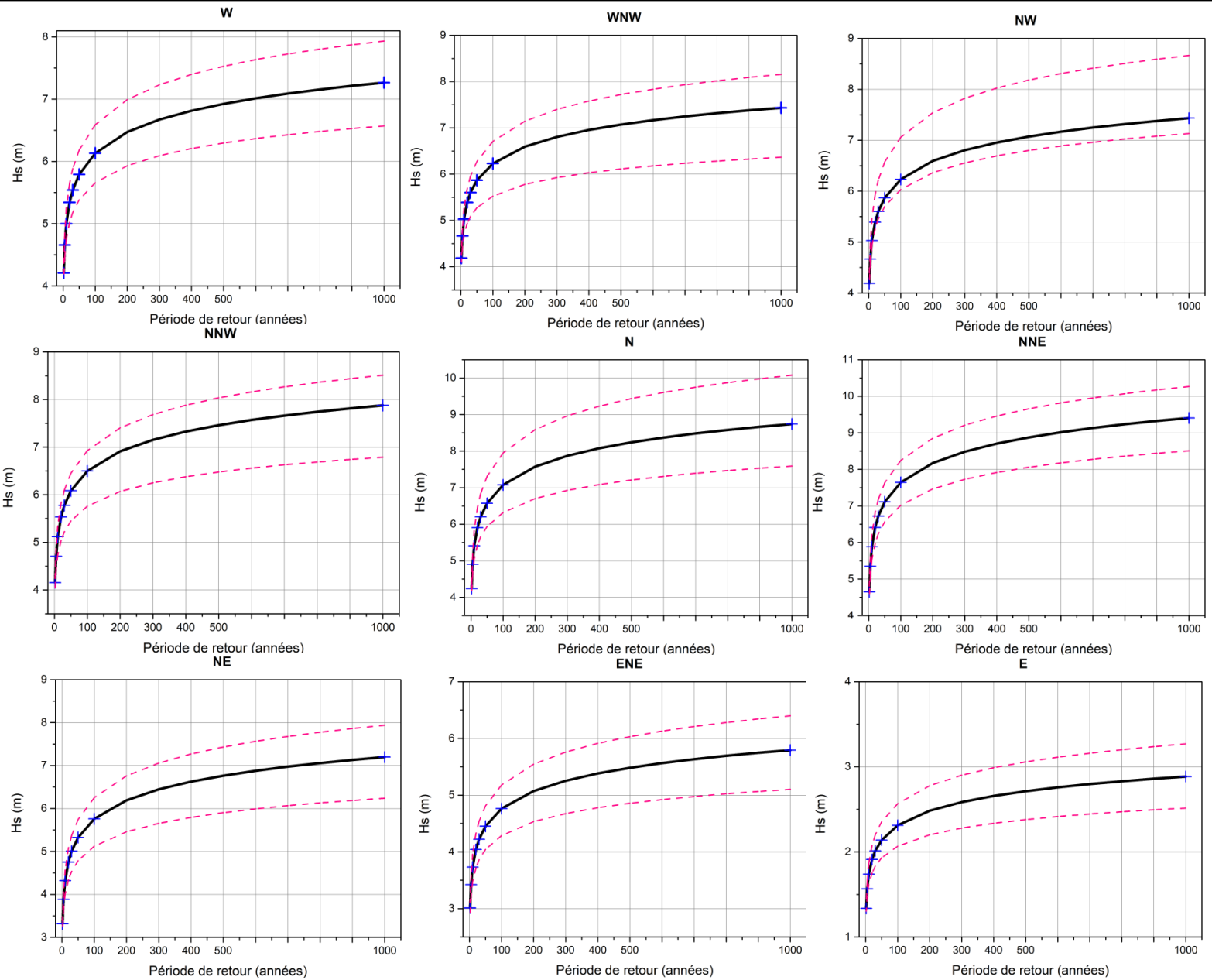
La **Figure 36** montre un graphe où les limites sont représentées par des traits bleus pour indiquer une erreur maximale de 15% pour les résultats obtenus. Les croix rouges représentent les hauteurs de houle pour les différentes périodes de retour allant de 2 à 1000 ans pour chaque direction. Afin de déterminer les directions dominantes le long de la cote, nous allons appliquer cette méthodologie pour les autres directions.

Pour faciliter la compréhension des résultats obtenus à partir de la méthode POT, le tableau ci-dessous présente toutes les hauteurs extrêmes enregistrées pour différents événements extrêmes futurs, classés selon leur période de retour.

POT										
	Hauteur de houle prédite par direction (m)									
Périodes de retour (années)	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	Omni
2	4.21	4.19	4.25	4.16	4.24	4.65	3.31	3.01	1.34	5.21
5	4.66	4.67	4.79	4.71	4.91	5.35	3.89	3.42	1.57	5.96
10	5.00	5.03	5.20	5.12	5.41	5.88	4.32	3.73	1.74	6.45
20	5.34	5.39	5.62	5.53	5.91	6.41	4.75	4.04	1.91	6.92
30	5.54	5.60	5.86	5.78	6.20	6.72	5.01	4.22	2.01	7.19
50	5.79	5.87	6.16	6.08	6.57	7.11	5.33	4.45	2.14	7.53
100	6.13	6.23	6.57	6.50	7.08	7.64	5.76	4.76	2.31	7.98
1000	7.27	7.43	7.94	7.88	8.74	9.41	7.20	5.79	2.89	9.49

**Tableau 1 : Les résultats obtenus par la méthode POT**

**Tableau 1** présente les hauteurs de houle prédites par la méthode POT, on remarque que la direction Est est la moins susceptible de générer des houles extrêmes, tandis que les directions Nord-Nord-Est, Nord et Nord-Ouest sont les plus susceptibles de produire les plus grandes hauteurs de houle. Cependant, il convient de noter que l'analyse des hauteurs omnidirectionnelles a donné les résultats les plus élevés, car le modèle a utilisé les hauteurs maximales possibles de la série de données.



**Légende :**

- - - Limite supérieure.
- Hauteurs de houles.
- - - Limite inférieure.
- + Hsde2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et 1000ans.

**Figure 37 : Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction.**

## 2. Modélisation hydrodynamique

### 2.1. Présentation du modèle

Mike 21 DHI est un logiciel développé par l'Institut Hydraulique Danois. Les modèles de houle spectrales basés sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de Shoaling liés aux variations bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de l'énergie de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études et les zones d'intérêt particulier. (DHI, 2014).

Afin de pouvoir commencer les simulations, la génération d'une mesh est indispensable. Pour la création des meshes, on a utilisé l'outil (**MeshGenerator**) du logiciel Mike-zéro.

MeshGenerator : fournit un environnement de travail, conçu pour créer des maillages numériques maillage flexible (FM) et fixe à utiliser dans les modèles MIKE Zéro, toutefois ce dernier permis l'imbrication de plusieurs maillages au sur la même mesh. Doter de ces modèles de nouvelle génération d'un maillage adapté est primordial pour obtenir des résultats fiables à partir des simulations du Mike.

Les méthodes d'interpolation sont valables indépendamment du type de maillage utilisé. Le générateur de maillage offre deux possibilités d'interpolation pour les éléments triangulaires. Les deux méthodes d'interpolation possibles son Voisin naturel et l'Interpolation linéaire (DHI, 2014).

La création de la mesh avec le module 'MeshGenerator' nécessite :

- Système de projection adapté à la zone d'étude, dans notre cas c'est le 'WGS\_84\_UTM\_ZONE\_31',
- Le trait de côte et la bathymétrie de la zone préalablement enregistré dans un fichier .xyz.
- Un maillage de différente taille de maille est nécessaire pour avoir de bons résultats et diminuer les temps de calculs du logiciel.

#### **MIKE SW**

Il s'agit d'un modèle spectral de vague de 3ème génération qui simule l'augmentation des vagues sous l'effet du vent, l'interaction non linéaire entre les vagues, la dissipation due au déferlement et à la friction sur le fond, la réfraction due aux variations de profondeur et l'interaction entre les vagues et le courant. Les calculs effectués par le modèle MIKE21-SW sont basés sur une grille à maillage flexible non structuré (DHI, 2014). Le modèle est basé sur la résolution des équations tridimensionnelles incompressibles de Reynolds moyennées de Navier-Stokes, sous les hypothèses de Boussinesq et de pression hydrostatique.

#### **MIKE HD**

Un modèle résout les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant, sur maillage structuré ou non structuré, en tenant compte du frottement sur le fond, de l'effet des événements météorologiques (vent et gradient de pression atmosphérique), de la force de Coriolis, de différentes modélisations de la turbulence de l'écoulement et de la variation de géométrie du domaine au cours du temps (zones couvrantes et découvrantes au cours des variations de marée). Il permet également de calculer les courants littoraux en prenant en compte les contraintes de radiation dues à la houle dans la zone de déferlement.

## **2.2. Méthodologie du travail**

### **2.2.1. Génération de la mesh**

Pour couvrir la zone d'étude qui s'étend sur 242Km, nous avons utilisé une échelle régionale incluant toute la zone de l'Algérois (de la baie de Bouismail à l'Ouest jusqu'à la baie de Zemmouri à l'Est, en passant par la baie d'Alger) et une distance de 35 Km au nord. Cette échelle a été adoptée afin de pouvoir intégrer la station de mesure de données de houle qui se situe aux coordonnées suivantes : 37° Nord et 3° Est. Cette dernière propose une précision plus importante de la bathymétrie dans la baie et un trait de côte.

### **2.2.2. Données bathymétriques pour la génération de la Mesh**

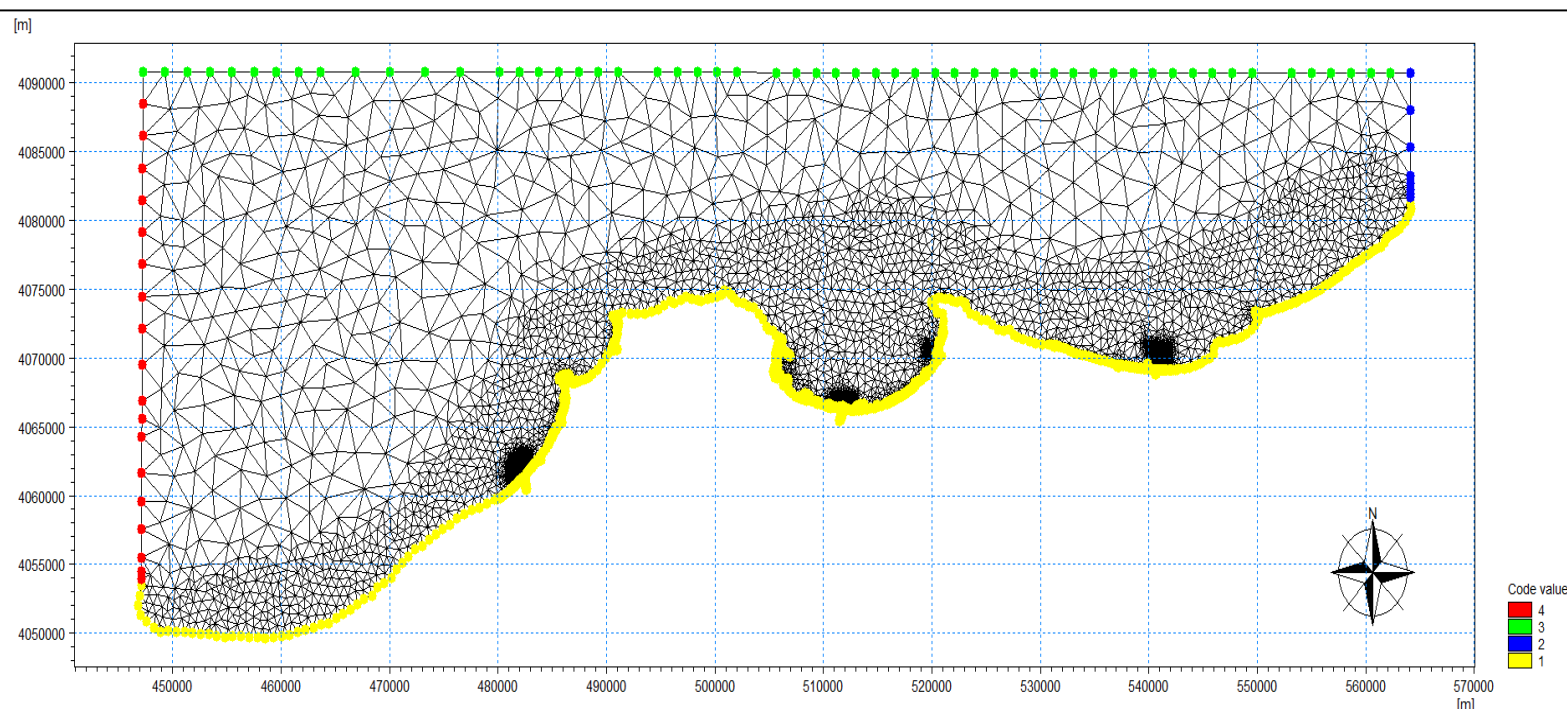
Cette bathymétrie a été obtenue par la fusion des données provenant de quatre sources différentes (Données du terrain, NAVIONICS, GEBCO et cartes marines). La numérisation de la carte publiée par NAVIONICS SonarChart™, édition 2021 à l'échelle de 1/250000 avec une résolution variante entre 100 et 0,5m du large vers la côte. Pour ce maillage, la bathymétrie en haute mer (inférieure à - 200 m de profondeur) a été obtenue à partir des cartes GEBCO avec une résolution qui varie entre 500m et 1 Km. Cette dernière a été complétée par une bathymétrie issue de la numérisation des cartes marines de la région centrale algérienne et de la bathymétrie à l'échelle de la baie précédemment élaborée.

Afin d'obtenir une bathymétrie globale de la région, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS 10.4, qui est un ensemble de logiciels d'information géographique (SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute). Il est composé de plusieurs modules interconnectés (ArcMap, ArcScène, ArcCatalogue,...). L'exploitation des données bathymétriques sur Mike21 nécessite la conversion du shapfile d'ArcMap de la bathymétrie en fichiers XYZ, avec l'outil de conversion d'ArcToolBox.

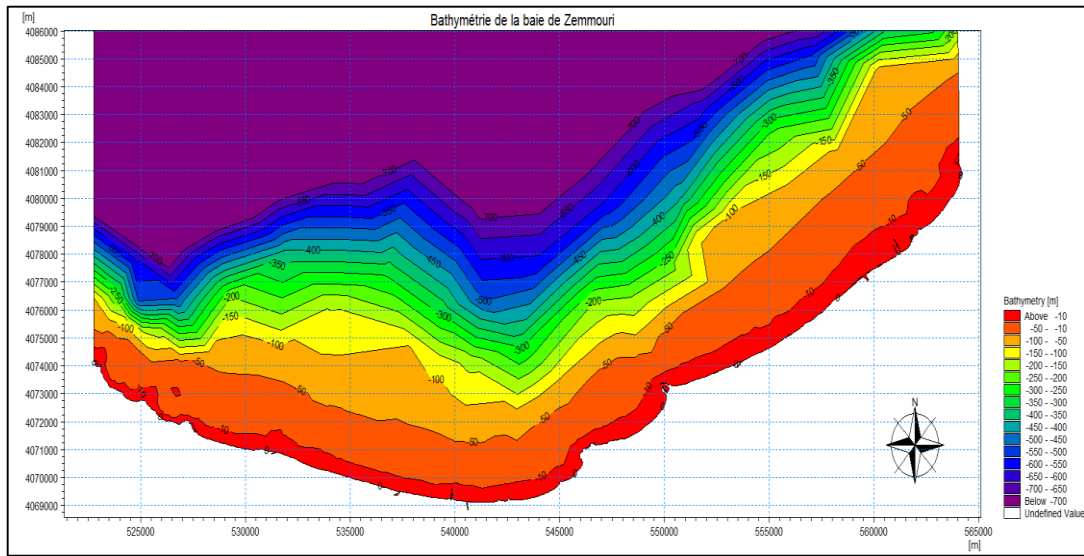
Suite à la génération de la mesh, une interpolation des points de la bathymétrie selon le maillage de la mesh est nécessaire. Les méthodes d'interpolation sont variables indépendamment du type de maillage utilisé. Le générateur de maillage offre deux possibilités d'interpolation pour les éléments triangulaires. Les deux méthodes d'interpolation possibles sont le voisin le plus proche et l'Interpolation linéaire (DHI, 2014).

### **Données bathymétriques d'entrées pour la mesh :**

Se compose de 19278 nœuds et 33242 éléments triangulaires avec un pas variant de 20 m auprès de la côte à 5 Km au large. Une dégradation du maillage est faite graduellement du large vers la côte (Figure 38).



**Figure 38 : Maillage de la zone d'étude à une échelle régionale.**



**Figure 39 : Carte bathymétrique de la baie de Zemouri.**

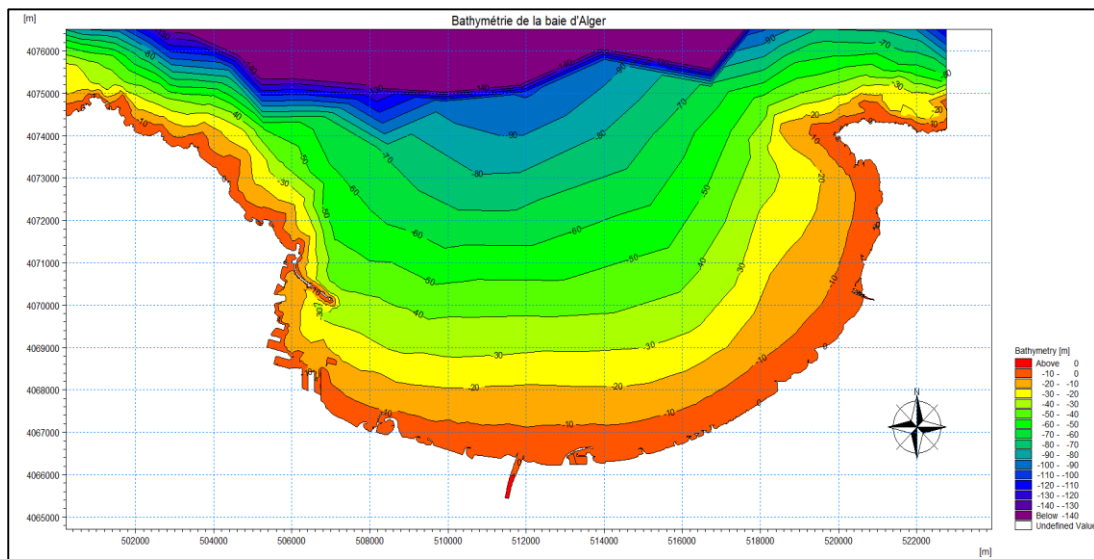


Figure 40 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger.

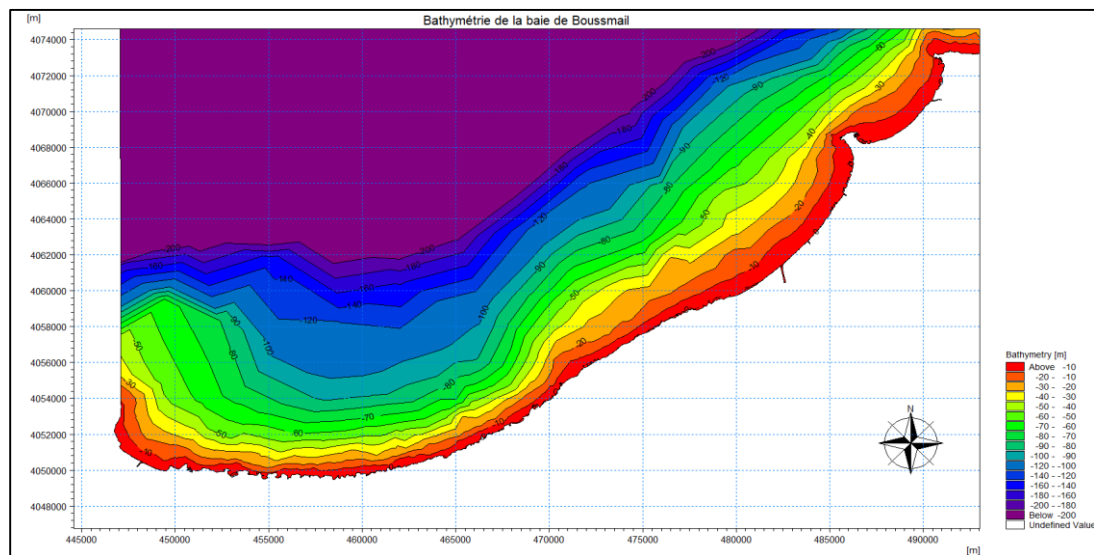


Figure 41 : Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl.

D'après :

L'analyse de la carte bathymétrique de la baie de Zemmouri (Figure 39) on peut distinguer deux zones morphologiques bien différentes sont mises en évidence :

Une zone au large caractérisée par un fond régulier et donc des isobathes sont espacées et parallèles au rivage de la baie de Zemmouri traduisant une pente douce à l'exception des environs du Cap Djinet ou les isobathes sont légèrement perturbés.

Une zone côtière, entre le trait de côte et l'isobathe environ -10 m. cette zone est caractérisée par un fond un peu accidenté avec des isobathes rapprochés caractérisé par la présence des rides d'avant cote bien développés réparti d'une manière discontinue le long de la baie. Cette morphologie sous-marine particulière témoigne d'une dynamique des particules sédimentaires du fond sous l'action des houles et des courants. Les isobathes de cette zone sont rapprochées traduisant une pente abrupte. Ce pendant les régions près des embouchures possèdent un fond plus ou moins régulier avec des isobathes

espacées les unes aux autres traduisant une pente douce, du généralement aux apports terrigènes des Oueds (Oued Boudouaou et Oued Réghaia...) et aussi à la présence des ouvrages de protection (Ain Taya et Boumerdes) qui transforme la morphologie de cette partie.

#### **La bathymétrie dans la baie d'Alger est subdivisée en trois zones distinctes (Figure 40) :**

Une zone centrale caractérisée par une pente faible dans son ensemble qui est dû à la lithologie de cette partie plus friable et plus meuble (présence de plage sablonneuse alimentées par les apports terrigènes des deux oueds de la baie), aussi elle est due aux effets de la houle qui moins énergétiques dans cette partie.

Les zones Est et Ouest, près des caps, se caractérisent par une forte pente, ceci est due à la géomorphologie du cap généralement d'une lithologie plus dure et plus résistante (falaises), aussi les effets hydrodynamiques font que les caps sont des zones à fort potentiel énergétique (les orthogonales de la houle se converge près des cap) ; car on observe le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une petite distance par rapport à la côte des deux côtés de la baie d'Alger.

Pour la partie au large de la baie d'Alger, on aperçoit la fin du plateau continental directement à la sortie de la baie. Ceci est caractérisé par les isobathes serrées, ce qui confirme ce qui a été dit dans la partie échelle régionale sur la morphologie globale de la région centre algérienne.

#### **L'analyse de la carte bathymétrique de la baie de Bouismail est devisée en deux zones distinctes (Figure 41) :**

La zone Est montre des isobathes plus au moins régulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous-marine dans la partie Ouest de cette zone (plage Chenoua et Grand bleu) est légèrement chahutée jusqu'à -20 m, par contre la partie Est de cette zone (plage Matares) présente des isobathes plus espacées. La deuxième zone montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de cette zone présente une barre sous-marine et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières traduisant une pente plus douce, généralement dû aux apports solides de cet Oued.

#### **2.2.3. Paramètres d'entrées du model Mike 21**

Les vitesses et directions moyennes du vent mentionné dans les différents tableaux ont été obtenues après le traitement de la base de données ([www.waveclimate.com](http://www.waveclimate.com)) sur le climat des vagues avec des enregistrements allant de 1992 à 2022 dans la baie d'Alger.

La détermination de la probabilité d'occurrence des couples vents/houles, appelée communément la probabilité conjointe ou croisée est la méthode qui a été utilisée pour éviter la surestimation de résultats due au couplage d'un vent d'une période de retour avec une houle de la même période de de retour.

Baie de Zemmouri					NGA=+0.34m Elévation futur = 0 mTotale=0.34m
Paramètres	Hs	Tp	U10	U10direction (°)	
Direction					
N	6.02	10.22	12	359.8	
NNW	5.35	9.49	12	336.44	
NNE	5.44	9.59	12	22.66	
Baie d'Alger					NGA=+0.34m Elévation futur = 0 mTotale=0.34m
Paramètres	Hs	Tp	U10	U10direction (°)	
Direction					
N	5.06	9.16	12	359.8	
NNW	4.52	8.54	12	336.44	
NW	3.79	7.64	12	313.21	
NNE	4.56	8.58	12	22.66	
Baie de Bouismail					NGA=+0.34m Elévation futur = 0 mTotale=0.34m
Paramètres	Hs	Tp	U10	U10direction (°)	
Direction					
N	4.92	9	12	359.8	
NNW	5.44	9.59	12	336.44	
NNE	5.18	9.30	12	22.66	

Tableau 2 : Les paramètres d'inputs des simulations pour une période de retours de 10 ans.

## 2.3. Résultats et discussions

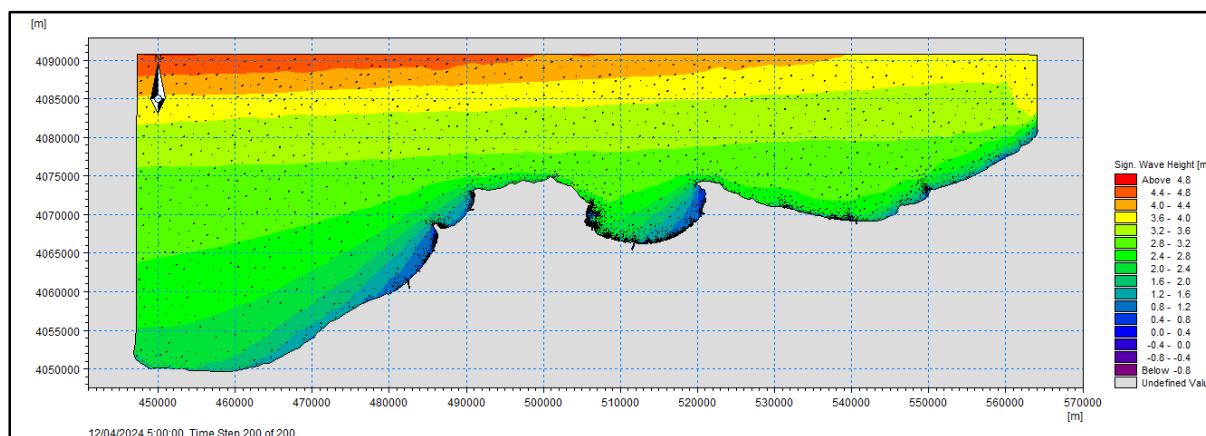
### 2.3.1. Champs des houles

L'étude de la propagation de la houle montre le long du littoral centre (**baie de Zemmouri, Alger et Bouismail**) face aux houles des secteurs Nord-Nord-Est, Nord et Nord-Ouest.

Pour chaque simulation, il est possible d'extraire les caractéristiques de la houle (période, hauteur, direction) en tout point du maillage. Ces caractéristiques sont également représentées sous forme de cartes, indiquant la direction (vecteurs) ainsi que les contours des iso hauteurs et des iso périodes.

Les houles de direction Nord-Nord-Est (**Figure 42**) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanières, elles longent les cotes des différentes baies et arrivent avec une obliquité de 15 à 40° par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles à la côte et des courants de retours dans le sens opposé. Les cartes montrent que les orthogonales sont peu réfractées. Au large, les houles de direction Nord –Est ne subissent aucune modification et gardent leurs caractéristiques initiales (Hs de 4m), mais au fur et à mesure, qu'elles propagent vers la côte et

l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inferieures varient en fonction de la morphologie des fonds (entre 0.8m et 1.2m).

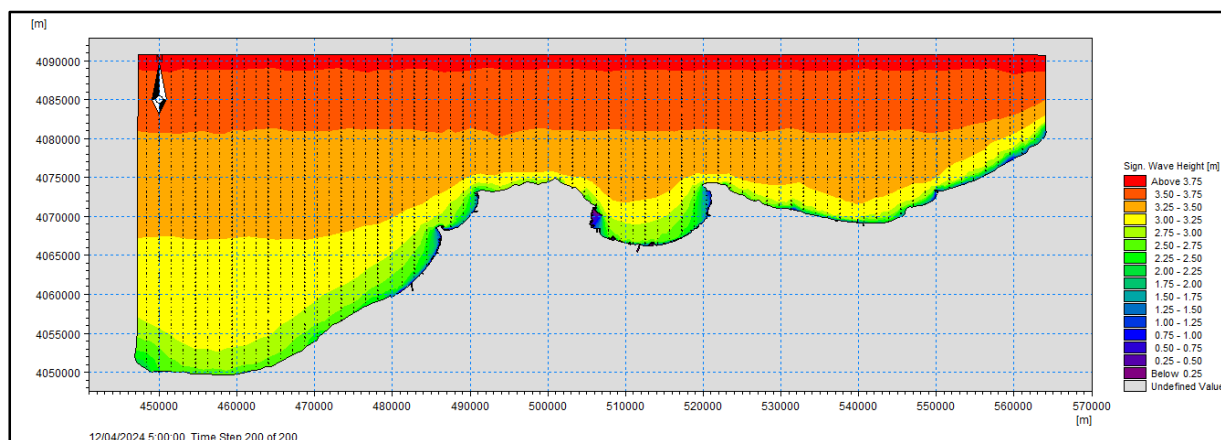


**Figure 42 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord-Nord-Est du Littoral centre.**

Les houles de direction Nord ( $360^\circ$ ) (**Figure 43**) ne subissent aucune modification au large, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement. Au voisinage des profondeurs de 30m, on observe que la hauteur de la houle varie, elle est de 4.4m environ, au-delà de cette profondeur on observe une diminution de cette hauteur avec une valeur de 3.6m à -20m de profondeur, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

Au voisinage de la côte on remarque que les houles de secteur  $360^\circ\text{N}$  sont frontales, c'est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nul, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux, et d'autre part c'est lié à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles.

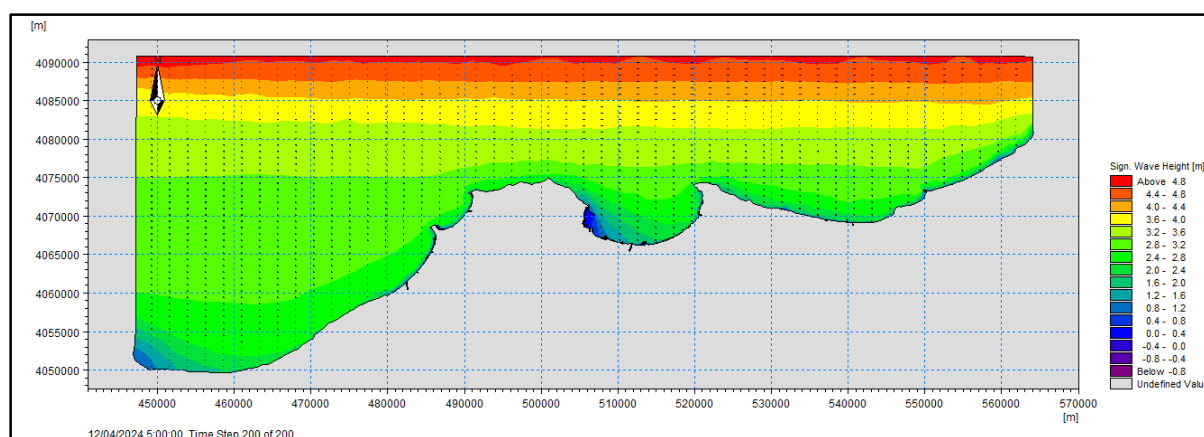
A l'approche de la côte à des profondeurs inferieures à -2m, une diminution remarquable des hauteurs des vagues ( $H_s$  varie entre 0.69 m et 0.9 m). Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré. Les valeurs de  $H_s$  varient entre 1,6 à 2,4 m selon les zones de chaque baie.



**Figure 43 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord du Littoral centre.**

Les houles issues de secteur  $315^\circ\text{N}$  (**Figure 44**), sont généralement des houles hivernales. Au large, ces houles de direction Nord-Ouest ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure qu'elles

se rapprochent de la côte, la hauteur de la houle diminue considérablement, elles sont réfractées au voisinage de la côte. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre  $3^\circ$  et  $10^\circ$ . Ces houles engendrent des courants de dérive littorale Ouest-Est et est-Ouest le long de toute la côte sauf au niveau des zones rocheuses et des zones abritées par un îlot orienté dans le sens opposé des crêtes de houles. Par contre, la propagation semble se faire de façon quasi-frontale. La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage. Les houles arrivent sur les rivages avec des valeurs qui varient entre 0.5 m jusqu'à 1.5m sur les côtes de la baie de Bouismail exposée direct à la houle de cette direction.



**Figure 44 : Modélisation des champs des houles de la direction Nord-Ouest du Littoral centre.**

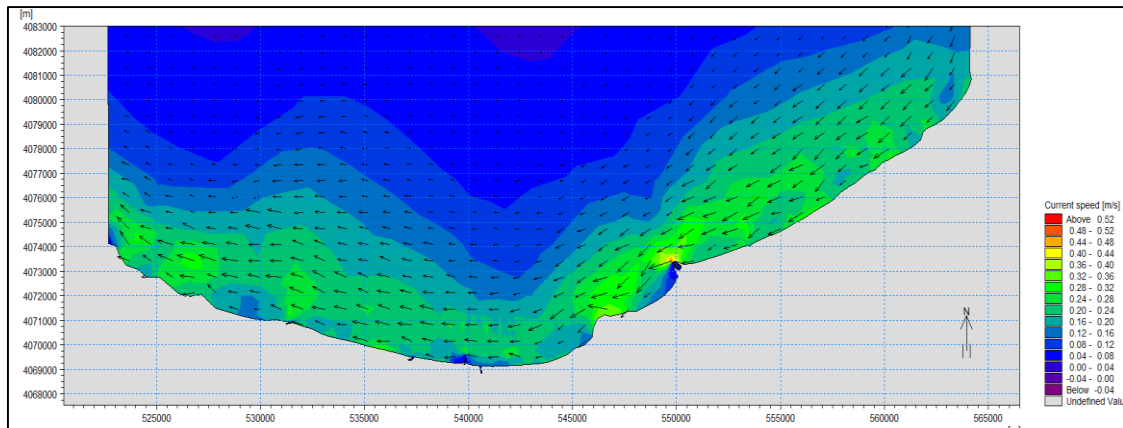
### 2.3.2. Champs des courants

#### Baie de Zemmouri

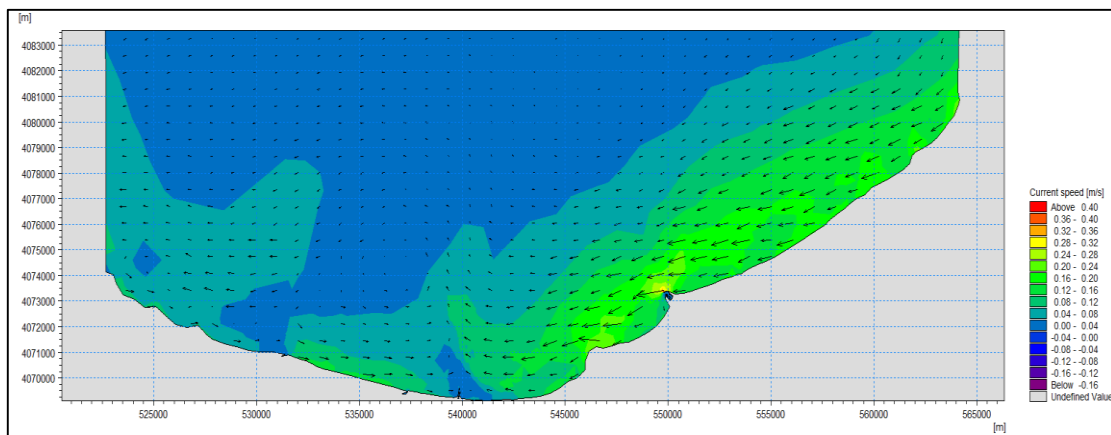
Les houles provenant du secteur Nord-Nord-Est (**Figure 45**) génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte, orienté d'est en ouest. Dans la zone de Zemmouri, des vitesses significatives jusqu'à 0,7m ont été enregistrées. Ces vitesses diminuent en se dirigeant vers l'ouest en raison du léger changement dans l'orientation de la côte. Ces observations suggèrent que la dynamique des courants dans la zone reste relativement stable, indépendamment des variations de hauteur et de période des vagues en haute mer.

Les houles provenant du secteur Nord (**Figure 46**) génèrent des courants moins puissants que ceux des autres directions, se dirigeant vers l'Ouest à une vitesse moyenne de 0,5 m/s. On observe également une circulation tourbillonnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, notamment dans la zone du port de Zemmouri, principalement en raison de la diffraction des houles au niveau de leurs extrémités. Des valeurs qui dépassent les 0.8 m/s enregistrées au niveau des zones rocheuses.

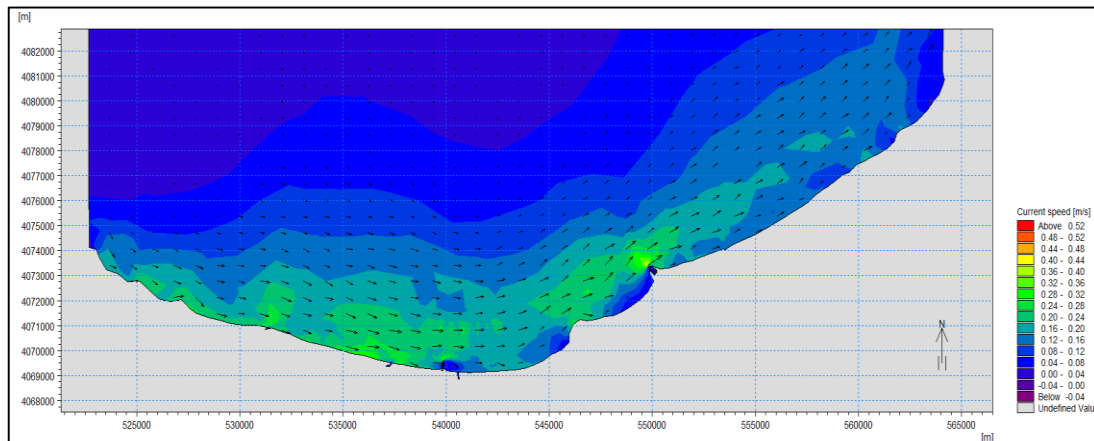
Les houles du secteur Nord-Ouest (**Figure 47**) génèrent près de la côte un courant de dérive orienté vers l'est, avec des vitesses faibles ne dépassant pas 0,4 m/s. En revanche, dans la partie Ouest, au niveau des plages de Zemmouri Est, on observe des courants importants avec des vitesses dépassant 0.5 m/s. Ce courant joue un rôle crucial dans la récupération des énergies hydro motrice.



**Figure 45 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord-Nord-Est).**



**Figure 46 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord).**



**Figure 47 : Modélisation des champs des courants de la baie de Zemmouri (houle Nord-Ouest).**

### Baie d'Alger

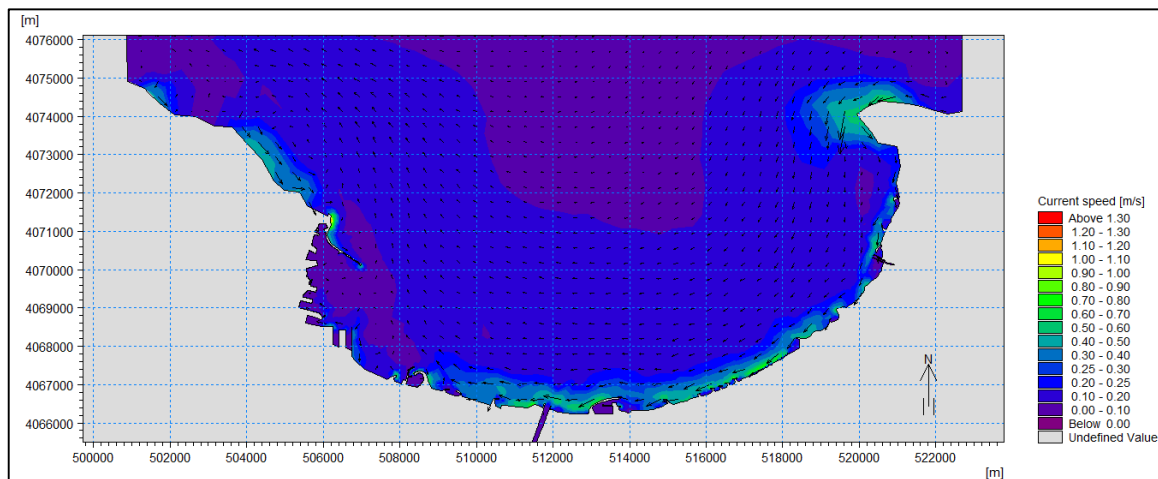
L'hydrodynamique observée est probablement influencé par l'effet cumulé des vagues, l'effet frontal causé par les caps avancés et la bathymétrie complexe de la baie, ainsi que la réfraction des vagues due aux variations bathymétriques.

Les houles venant de la direction Nord-Nord-Est (**Figure 48**) induisent un courant côtier qui se déplace d'Est en Ouest à une vitesse moyenne variant entre 0,3 m/s et 0,4 m/s dans l'ensemble des

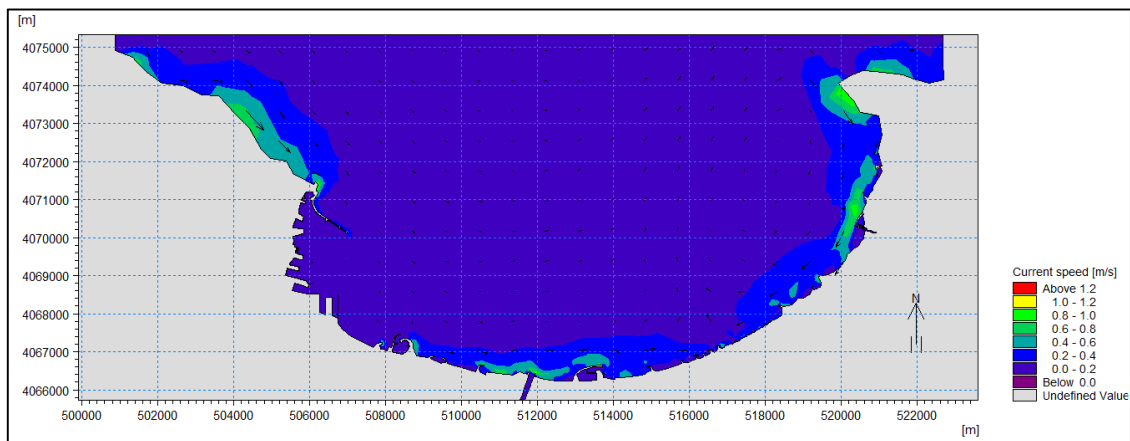
périodes de retour étudiées. Ces observations indiquent que la dynamique des courants dans la zone n'est pas sensiblement influencée par les variations de hauteur et de période des vagues en haute mer.

Les houles du secteur Nord (**Figure 49**) engendrent des courants moins puissants que ceux provenant d'autres directions, se dirigeant vers l'Ouest avec une vitesse entre 0,2 m/s et 0,4 m/s. On observe également une circulation tourbillonnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, notamment dans le port d'Alger, principalement en raison de la diffraction des houles à leurs extrémités.

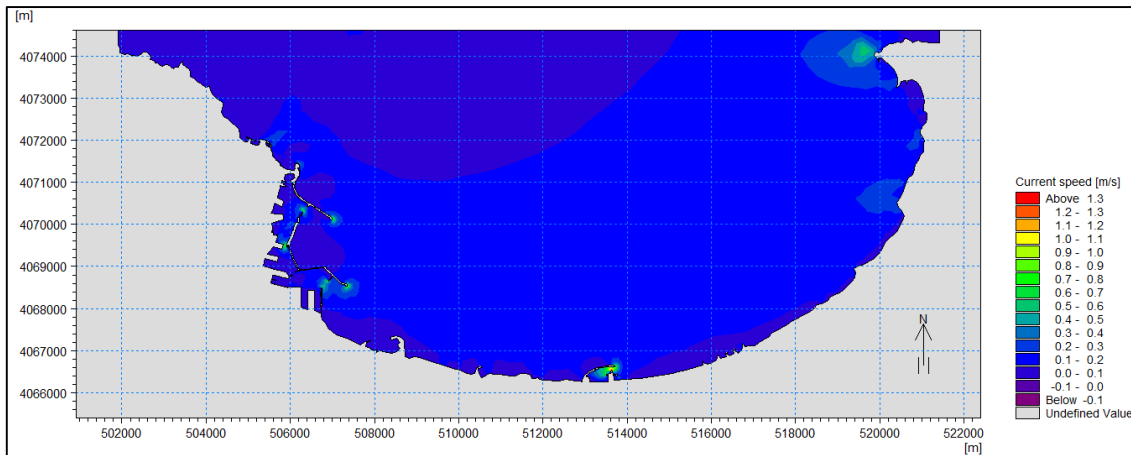
La direction d'incidence des houles joue un rôle crucial dans la création de courants littoraux dans les eaux peu profondes près de la côte. Les houles provenant du Nord-Ouest (**Figure 50**) génèrent près de la côte un courant de dérive orienté vers l'est, avec des vitesses moyenne de 0,3 m/s et plus de 0.6m/s dans les zones rocheuses.



**Figure 48 : Modélisation des champs des courants du Littoral centre (houle Nord-Nord-Est).**



**Figure 49 : Modélisation des champs des courants de la baie d'Alger (houle Nord).**



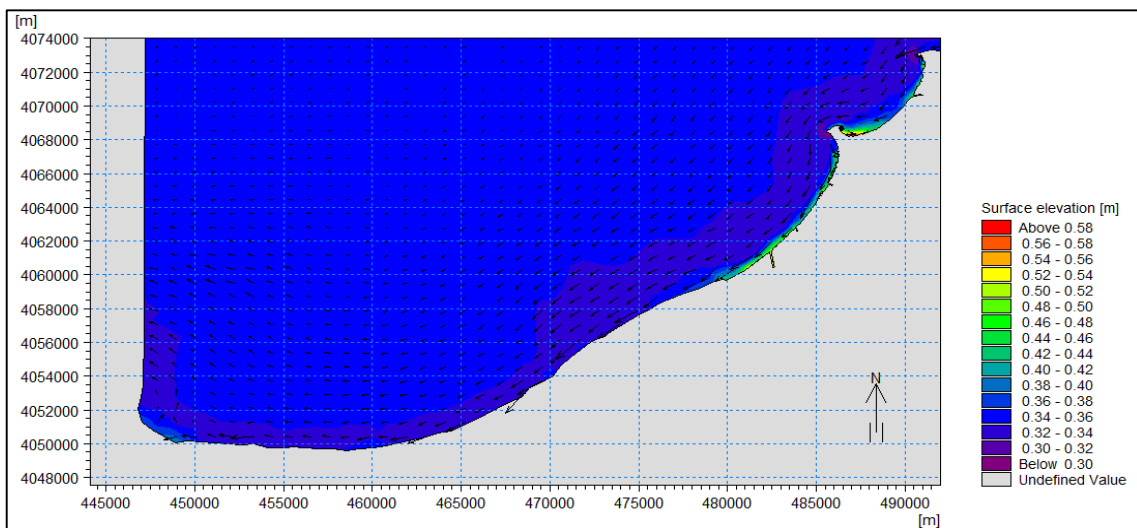
**Figure 50 : Modélisation des champs des courants de la baie d'Alger (houle Nord-Ouest).**

### Baie de Bouismail

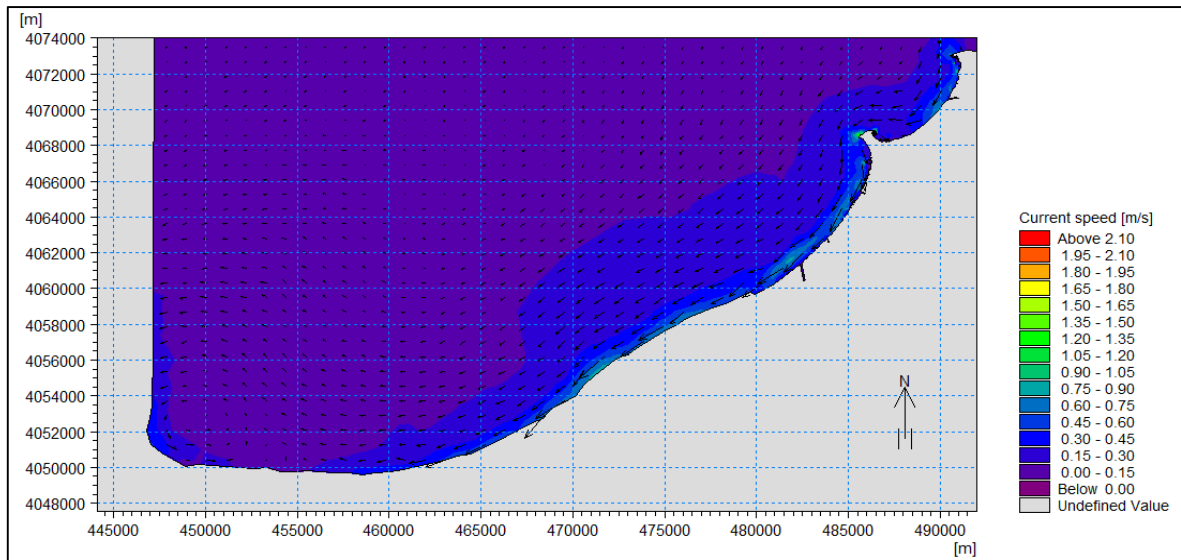
Les houles provenant du secteur Nord-Nord-Est (**Figure 54**) génèrent des courants dirigés vers l'Ouest, avec des vitesses plus élevées que les autres directions oscillant de 0,20 m/s à 0,8m/s et arrivant jusqu'à 1.2m/s. Ces courants se déplacent presque parallèlement au rivage.

Les houles du secteur Nord (**Figure 55**) génèrent des courants moins puissants que ceux des autres directions, se dirigeant vers l'Ouest avec des vitesses comprises entre 0,3 m/s et 0,8 m/s et dépassant les 1m/s dans certaines zones hocheuses ; Ces courants favorisent le déplacement de quantités importantes de d'eau, ils jouent un rôle crucial dans la génération des énergies marine hydrolienne.

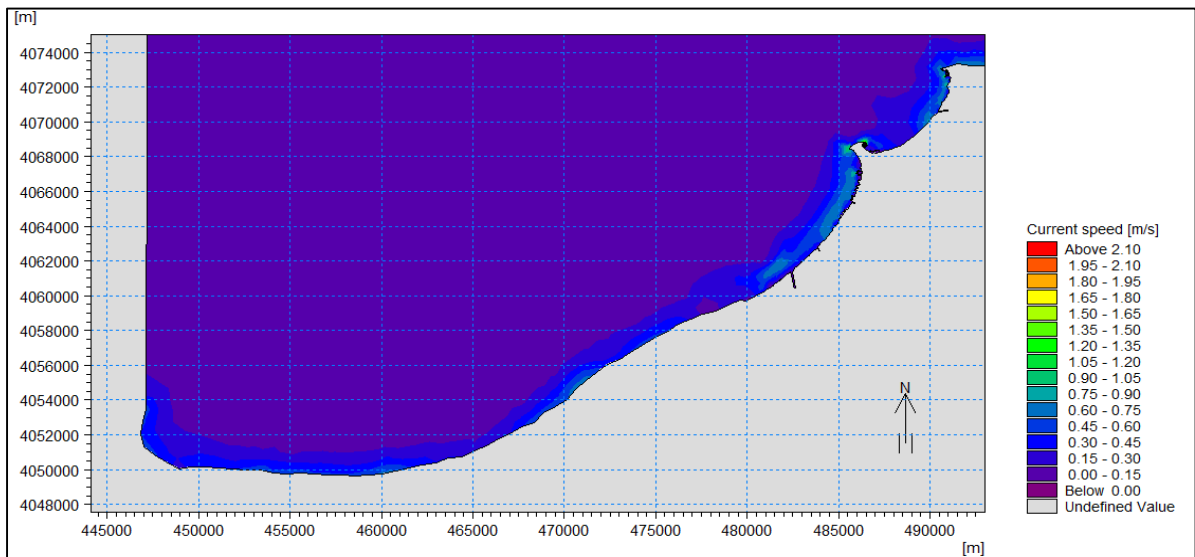
Les houles provenant du Nord-Ouest (**Figure 56**) génèrent un courant de dérive littorale orienté vers l'est. Dans la partie centrale, ce courant affiche des vitesses moyennes ne dépassant pas 0,4 m/s. On observe un changement de direction et des vitesses dépassant les 0.8 m/s, à la plage de Moretti, en raison de la dissipation d'énergie causée par la présence des ouvrages de protection.



**Figure 51 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord-Nord-Est).**



**Figure 52 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord).**



**Figure 53 : Modélisation des champs des courants de la baie de Bouismail (houle Nord-Ouest).**

## Conclusion

Grâce à la modélisation hydrodynamique, nous avons pu connaître les directions de houle et les courants les plus favorables pour chaque baie, la chose qui nous sert à identifier les zones de fort potentiel énergétique sur notre zone d'étude.

## **Chapitre 3 : Conception et Simulation**

# 1. Conception Et Dimensionnement D'une Hydrolienne A Axe Horizontale (Solidworks)

## Introduction

Ce sous chapitre sera dédié à la conception et au dimensionnement d'une hydrolienne à axe horizontal, qui est devisé en 2 parties :

1. Conception de la partie mécanique ou nous vous présentons plusieurs pièces méticuleusement élaborées sur le logiciel SolidWorks.
2. Conception de la partie électrique on nous vous présentons la conception du générateur et ces spécifiques caractéristiques.

Notre objectif sera de les intégrer harmonieusement en une structure unique, tout en conservant la flexibilité nécessaire pour le remplacement éventuel des pales.

## 1.1 Conception de la partie mécanique

### 1.1.1 Définition de SolidWorks

SolidWorks est un programme de conception assistée par ordinateur largement utilisé dans le dessin technique, l'analyse de mouvement, la simulation et la modélisation 3D. Ce logiciel est utilisé dans une variété d'applications industrielles, y compris la conception de produits, l'ingénierie mécanique et la fabrication de moules. Avec SolidWorks, vous pouvez créer des dessins techniques détaillés et des nomenclatures de pièces, exécuter des simulations pour vérifier les performances et communiquer des conceptions avec une grande précision. ([www.my.solidworks.com](http://www.my.solidworks.com))

### 1.1.2. Conception des composantes

Il existe de nombreux composants mécaniques inclus dans les hydroliennes dont nous discuterons individuellement. L'utilisation du logiciel SolidWorks, nous permet de concevoir toutes les pièces en 3D.

#### 1.1.2.1. Conception des Modelés Du Turbine (Pale avec moyau)

Les pales hydrolienne sont sans aucun doute le composant essentiel de ces machines, jouant un rôle important dans la conversion de l'énergie cinétique du courant marin en énergie mécanique utilisable pour faire tourner l'arbre d'hydrolienne. Ces pales sont régulièrement ajustées pour améliorer leur hydrodynamisme et leurs performances.

L'hydrodynamisme des pales est un aspect majeur de leur conception, étant spécialement conçues pour permettre un flux de courant marin plus important et faciliter la rotation de la turbine. Des innovations constantes sont apportées à la conception des pales, notamment en termes de forme, de matériau et de revêtement, afin de réduire les pertes d'énergie et d'augmenter la productivité de l'hydrolienne.

L'optimisation de l'hydrodynamisme des pales vise à réduire les contraintes exercées sur la structure de l'hydrolienne. Des pales bien conçues peuvent réduire les vibrations, la pression et améliorant ainsi la durabilité des hydroliennes et réduisant les coûts de maintenance.

Il est important de souligner que la conception des pales doit prendre en compte non seulement les performances hydrodynamiques, mais également la résistance structurelle. Les pales doivent être

suffisamment solides pour résister aux forces du courant, aux turbulences et à diverses conditions environnementales.

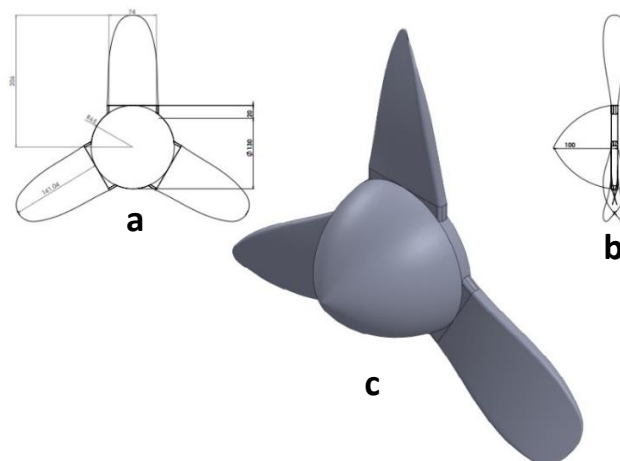
## Présentation des modèles

### Model 1

Le premier model représenté dans (**Figure 54**) est inspiré de la forme d'éolienne mais avec des caractéristiques et des inclinaisons qui servent à l'adaptation de la turbine dans un milieu marin.



Figure 54 : éolienne. ([www.ecoreporter.de](http://www.ecoreporter.de))



a. Face Frontale ; b. Face Latérale ; c. Vu Droite

Figure 55 : Conception mécanique et dimensions de la pale du model 1 en 3D sur SolidWorks.

### Model 2

Le 2ème model représenté dans (**Figure 56**) est inspiré de la forme du courantmètre valport qui sert à détecter des courants faibles qui le fait tourner.

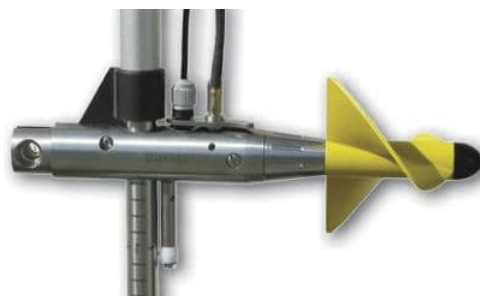
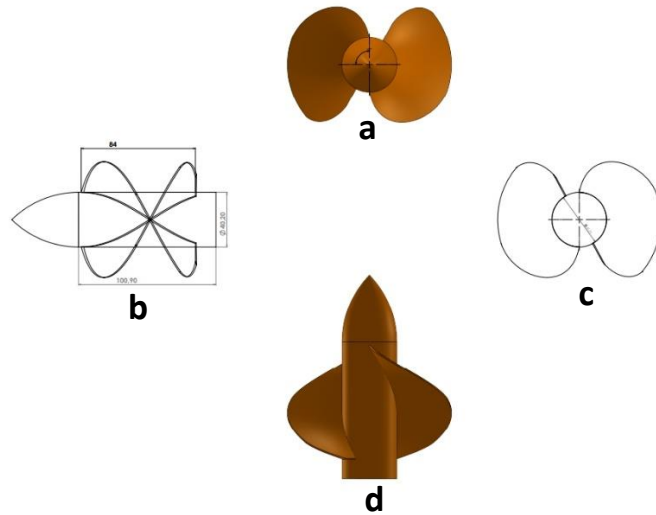


Figure 56 : Courantmètre valport. ([www.directindustry.fr](http://www.directindustry.fr))



a. Face Frontale ; b. Face latérale ; c. Face Arrière ; d. Face Droite

Figure 57 : Conception mécanique et dimensions de la pale du model 2 en 3D sur SolidWorks.

### Model 3

Le 3ème model représenté dans (Figure 58) est inspiré de la forme de propeller des navires c'est une forme qui sert à faire une interaction efficace avec le milieu marin.

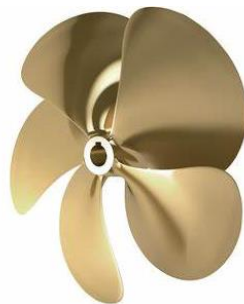
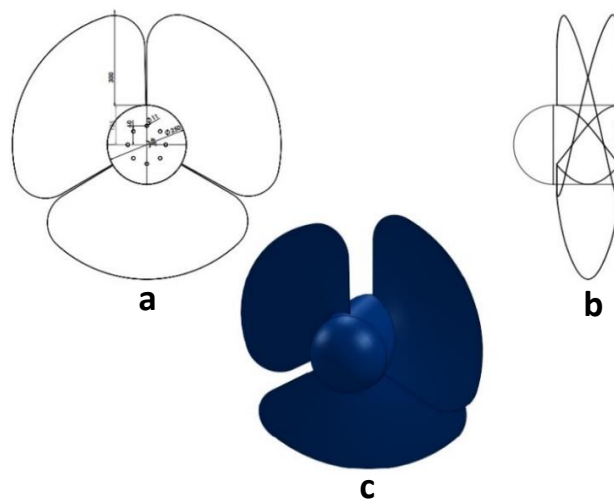


Figure 58 : Propeller de navire. ([www.wisegeek.net](http://www.wisegeek.net))

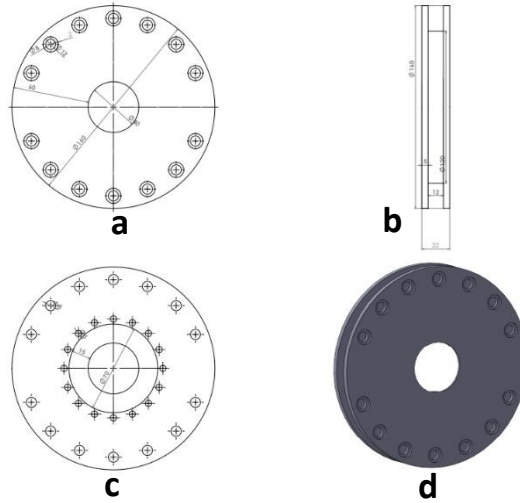


a. Face Frontale ; b. Face Latérale ; c. Vu en 3D

Figure 59 : Conception mécanique et dimensions du Model 03 en 3D sur SolidWoks.

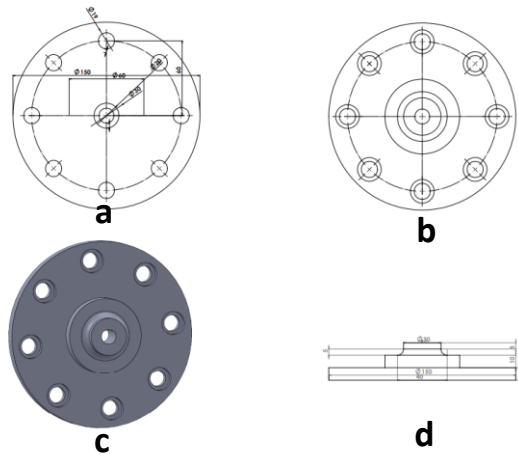
### 1.1.2.2. Support de la fixation de la turbine

Ce support présentée dans (Figure 60) est une structure conçue pour fixer et liée la turbine avec la partie intérieure d'hydrolienne et de maintenir les pales dans leur position et orientation correctes par rapport au courant marin. Il assure la stabilité et l'efficacité de la turbine en minimisant les vibrations et les déformations qui pourraient affecter leur performance. Son rôle est de fournir un soutien structurel à la turbine pour assure son fonctionnement.



a. Face Frontale ; b. Face Latérale ; c. Face Arrière ; d. Vu en 3D

Figure 60 : Conception mécanique et dimensions Support De Fixation Liée A La Turbine en 3D sur SolidWorks.

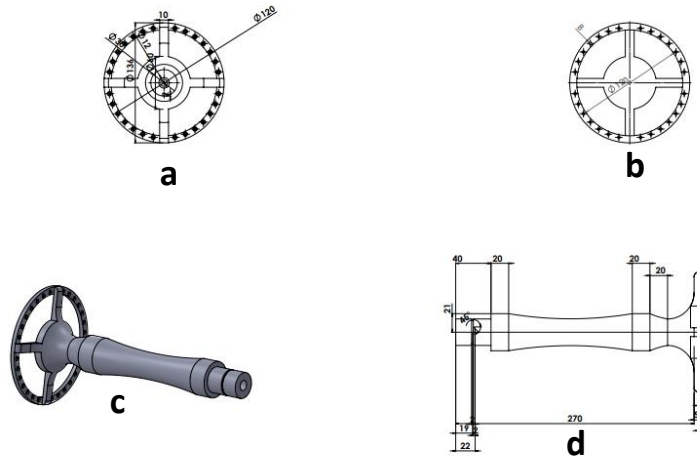


a. Face Frontale ; b. Face Arrière ; c. Vu en 3D ; d. Face Latérale

Figure 61 : Conception mécanique et dimensions Support De Fixation Liée A L'arbre De Transmission en 3D sur SolidWorks.

### 1.1.2.3. Arbre de transmission

Représenté sur (Figure 62) est capable supporter les forces de torsion générées par la rotation des pales, il est chargé de transmettre le mouvement rotatif du moyeu au générateur électrique situé à l'intérieur de l'hydrolienne et constitué à partir des matériaux solide et résistant.

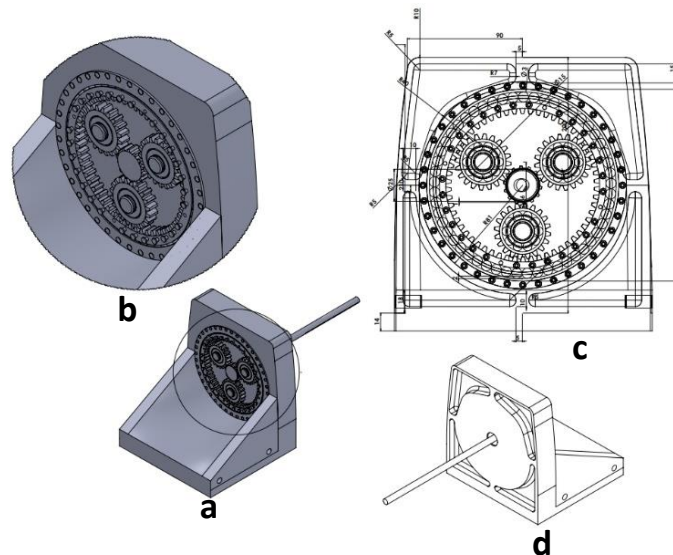


a. Face Frontale ; b. Face Arrière ; c. Vu en 3D ; d. Face Latérale

Figure 62 : Conception mécanique et dimensions de l'arbre de transmission en 3D sur SolidWorks.

#### 1.1.2.4. Boîte à Vitesse

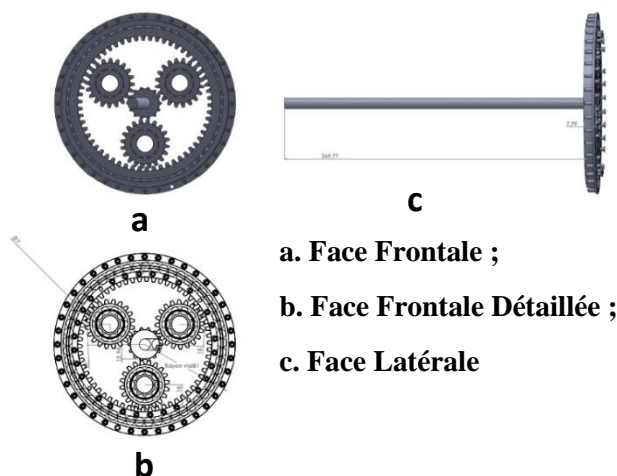
Une boîte de vitesses présentée dans (Figure 63) est un mécanisme utilisé dans le contexte des hydroliennes à axe horizontal placée entre le rotor de l'hydrolienne et le générateur électrique. Pour ajuster la vitesse de rotation du générateur électrique en fonction des variations de vitesse du courant marin. Son rôle principal est d'optimiser la conversion d'énergie des courants marins en électricité exploitable. Lorsque le courant est faible, la boîte de vitesses utilise un rapport de vitesse plus élevé pour augmenter la vitesse de rotation du générateur et compenser la baisse de puissance.



a. Face Frontale ; b. Face Frontale Zoomée ; c. Face Frontale Détaillée ; d. Face Arrière

Figure 63 : Conception mécanique et dimensions de la boîte à vitesse en 3D sur SolidWorks.

Les engrenages présentée dans (**Figure 64**) dans la boîte de vitesses présentées dans la figure jouent un rôle crucial en convertissant l'énergie cinétique du courant marin en énergie électrique. Ils permettent le transfert de puissance des pales vers le générateur électrique, adaptent la vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement aux besoins du générateur, et ajustent le couple transmis pour assurer un fonctionnement stable et efficace. Les engrenages contribuent ainsi à optimiser l'efficacité globale du système hydrolienne dans la production d'électricité renouvelable.

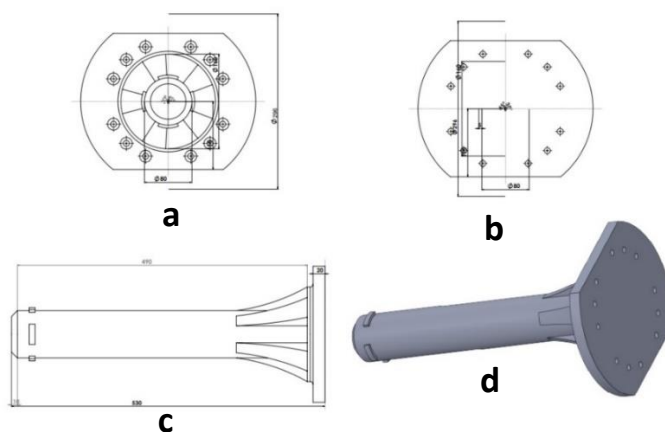


**a. Face Frontale ;**  
**b. Face Frontale Détaillée ;**  
**c. Face Latérale**

**Figure 64 : Conception mécanique et dimensions des engrenages de la boîte à vitesses en 3D sur SolidWorks.**

#### 1.1.2.5. Support de propulseur d'orientation

Le support d'aile d'orientation présentée dans (**Figure 65**) est une composante qui permet de fixer l'aile d'orientation sur la structure d'hydrolienne conçue pour maintenir solidement les ailes dans la position souhaitée.

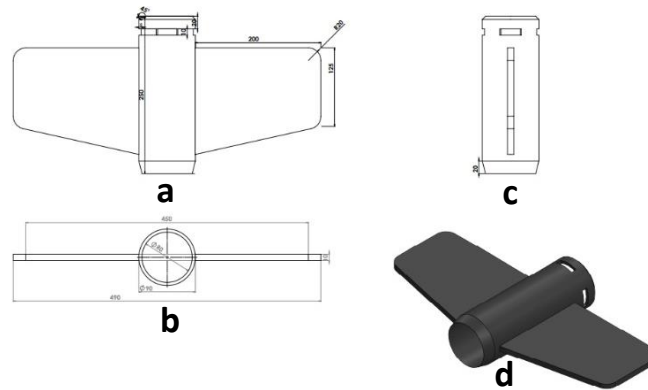


**a. Face Supérieure Détaillée (inclue dimensionnement face inférieure) ;**  
**b. Face Supérieure Non Détaillée ; c. Face Latérale ; d. Vu en 3D**

**Figure 65 : Conception mécanique et dimensions de Support de propulseur d'orientation sur SolidWorks.**

### 1.1.2.6. Propulseur d'orientation

L'aile d'orientation présentée dans (**Figure 66**) est un élément qui est attachés au support d'aile d'orientation pour aider à ajuster la position de l'hydrolienne par rapport au courant marin afin d'optimiser la capture d'énergie. En manipulant l'orientation de l'hydrolienne, elles permettent de positionner les pales de manière à maximiser l'efficacité de la conversion d'énergie cinétique en mouvement rotatif. Ainsi, les ailes d'orientation jouent un rôle crucial dans le contrôle de l'hydrolienne pour exploiter au mieux l'énergie des courants marins.

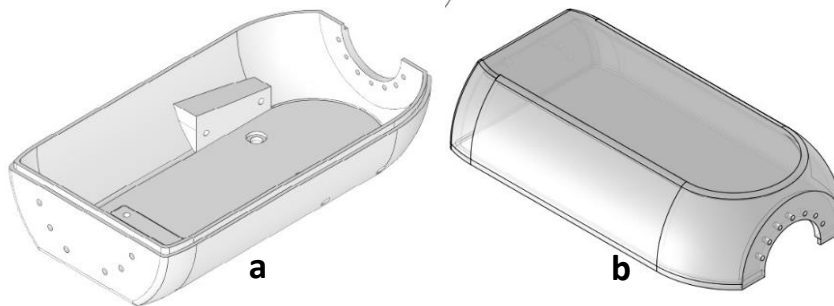


a. Face Supérieure ; b. Face Latérale ; c. Face Arrière ; d. Vu en 3D

Figure 66 : Conception mécanique et dimensions de propulseur d'orientation sur SolidWorks.

### 1.1.2.7. La Boite Des Composantes

C'est la boîte qui sert à enveloppée toute les composantes interne de l'hydrolienne et aussi qui sert à réaliser une liaison entre tous les composantes externes et internes représenté dans (**Figure 67**).



a. Boite Inférieure en 3D ; b. Boite Supérieure en 3D

Figure 67 : Conception mécanique et dimensions de la Boite Des Composantes en 3D sur SolidWorks.

### 1.1.2.8. Plateforme ou support

Présentée dans (**Figure 68**) cette structure est utilisée pour supporter l'ensemble de l'hydrolienne et la maintenir et fixer au fond la mer. Cela permet de faciliter l'installation et la stabilité et la maintenance de l'hydrolienne.



composants de la turbine en place, assurant ainsi la sécurité et la durabilité du système. Plus la base qui est une composante fondamentale présentée dans la figure qui assure la fixation de l'hydrolienne au fond marin et qui garantit sa stabilité pendant son fonctionnement. Cette base est conçue pour résister aux forces hydrodynamiques générées par les courants marins, ainsi pour assurer une résistance suffisante aux contraintes environnementales et aux charges appliquées.

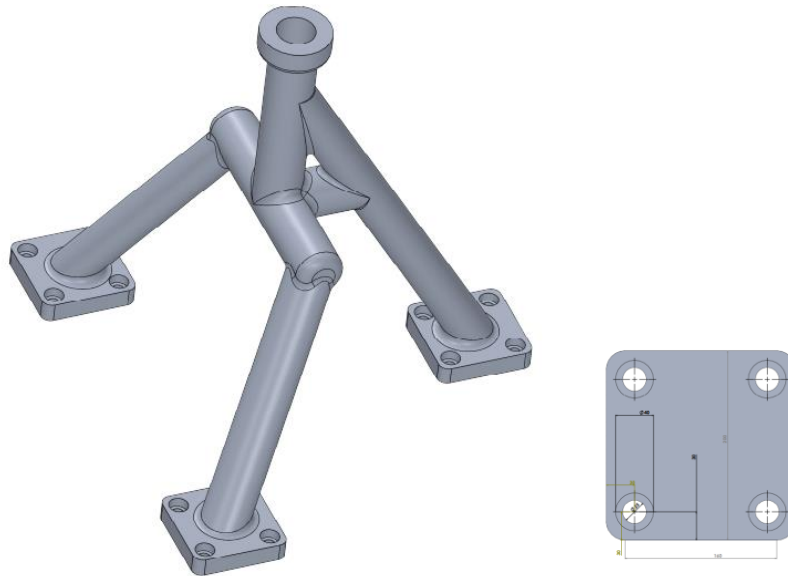


Figure 70 : Conception mécanique et dimensions de la tour fixe en 3D sur SolidWorks.

## 1.2. Conception de la partie électrique

### 1.2.1. Générateur électrique (PMSG)

Le générateur électrique est chargé de convertir l'énergie mécanique provenant de l'arbre de transmission en énergie électrique. Il utilise le principe de l'induction électromagnétique pour produire de l'électricité, qui est ensuite transmise au réseau électrique pour alimenter les utilisateurs finaux.

Notre génératrice est synchrone à aimant permanent (**PMSG**) présenté dans (**Figure 71**) est un type de générateur électrique qui utilise des aimants permanents au lieu des enroulements de champ traditionnels dans le rotor. Cette conception permet au PMSG de produire de l'électricité à une fréquence constante, quelle que soit la vitesse du rotor.

Cette caractéristique fait de la PMSG un composant essentiel dans diverses applications modernes, telles que les éoliennes, les véhicules électriques, etc. ([www.electricity-magnetism.org](http://www.electricity-magnetism.org))

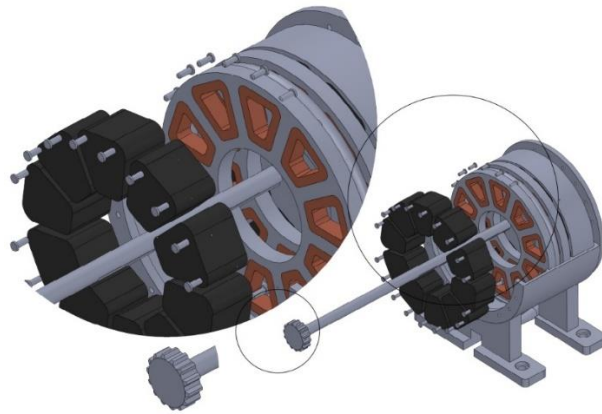


Figure 71 : Générateur (PMSG) D'hydrolienne.

### 1.2.2. Principe de fonctionnement de la PMSG

Le fonctionnement d'un PMSG est basé sur la loi de Faraday de l'induction électromagnétique. Lorsque le rotor, équipé d'aimants permanents, tourne, il crée un champ magnétique en mouvement. Ce mouvement induit une force électromotrice (**FEM**) dans les enroulements du stator, ce qui génère de l'électricité. La force électromotrice produite et, par conséquent, la fréquence de sortie dépendent directement de la vitesse de rotation du rotor. ([www.electricity-magnetism.org](http://www.electricity-magnetism.org))

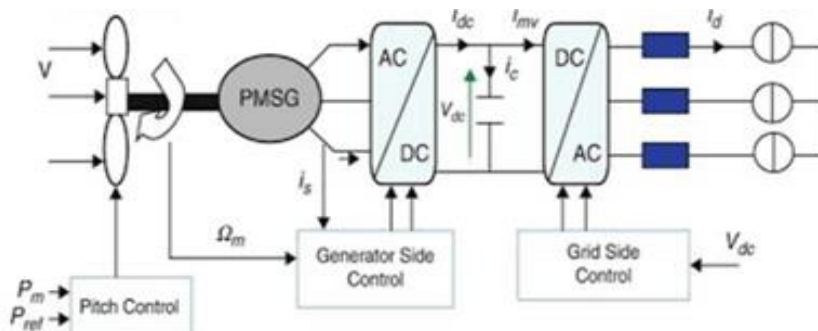


Figure 72 : Composantes d'un PMSG injecter dans une turbine. ([www.electricity-magnetism.org](http://www.electricity-magnetism.org))

- **Aimants permanents** : Les aimants fournissent un champ magnétique constant, ce qui élimine la nécessité d'une source d'énergie externe pour exciter le générateur.
- **Stator** : Il se compose d'enroulements triphasés où la tension de sortie est induite.
- **Rotor** : Contrairement aux générateurs synchrones classiques, le rotor d'un PMSG n'a pas d'enroulements, de bagues collectrices ou de balais, ce qui réduit les besoins de maintenance et améliore la fiabilité.

### 1.2.3. Avantages du PMSG

Le PMSG offre plusieurs avantages par rapport aux générateurs électriques traditionnels. Il offre un rendement élevé, car il n'y a pas de pertes associées à l'excitation du rotor. L'absence de bagues collectrices et de balais garantit une maintenance réduite et une grande fiabilité. En outre, les PMSG

sont plus compacts et plus légers, ce qui les rend idéaux pour les applications où l'espace et le poids sont des considérations critiques. ([www.electricity-magnetism.org](http://www.electricity-magnetism.org))

#### **1.2.4. Applications de la PMSG**

Les caractéristiques polyvalentes des PMSG en ont fait un choix privilégié pour de nombreuses applications. ([www.electricity-magnetism.org](http://www.electricity-magnetism.org))

Voici quelques domaines clés dans lesquels les PMSG sont couramment utilisés :

- **Systèmes d'énergie éolienne** : L'utilisation des PMSG dans les éoliennes améliore considérablement leur efficacité et leur fiabilité.
- **Véhicules électriques** : Dans les véhicules électriques, les GSPM contribuent à une plus grande efficacité, à un meilleur contrôle du couple et à une réduction de la taille.
- **Propulsion marine** : Les PMSG sont utilisés dans les systèmes de propulsion marine en raison de leur densité de couple élevée, de leur efficacité et de leur taille compacte.

#### **1.2.5. Stockage d'énergie électrique généré par PMSG**

La PMSG génère une tension alternative AC triphasée cette tension ne peut pas être branchée directement vers la consommation on le stocke, car elle n'est pas stable, elle doit passer par des convertisseurs statiques DC/ DC

- Si la consommation dépasse la puissance maximale disponible les batteries fourniront le reste d'énergie nécessaire.
- Si le PMSG ne génère pas d'énergie ou génère une énergie inférieure à la puissance minimale requise, la batterie deviendra notre source d'énergie.

### **Conclusion**

Durant ce sous chapitre, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour mener à bien diverses conceptions mécaniques des composants de la turbine hydrolienne à axe horizontal. Grâce à cet outil, nous avons pu accomplir différentes tâches de manière aisée, telles que la conception, la mise en plane et l'assemblage de quelque pièce. On a aussi présenté la partie électriques qui faire face au choix du générateur PMSG et ces caractéristique et le stockage d'énergie récupérer. Pour la simulation les 3 modelés des turbines désignée, nous n'avions pas le temps et les connaissances nécessaires pour terminer le travail à temps, nous avons donc laissé ce travail pour des études ultérieures lorsque nous aurons le temps et les connaissances nécessaires et suffisants pour le terminer. Sachant qu'on a lancé la simulation sur Ansys fluent mais avec des résultats non valable et des erreurs techniques.

## 2. Conception Et Simulation (QBlade) et Assemblage du model

### Introduction

Ce sous chapitre sera consacré à la conception des pales avec des profils NACA par QBLADE et à la simulation de ces profils afin de faire un choix à travers la performance de l'hydrolienne qui se termine par l'assemblage de modèle finale du système avec les différentes parties reliées les unes aux autres pour former l'ensemble de la structure mécanique générale.

### 2.1. Présentation Du QBlade

#### 2.1.1. QBlade

QBlade est un logiciel de simulation de prochaine génération pour le développement, la conception, la simulation et la certification des éoliennes. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

##### 2.1.1.1. Objectif de QBlade

QBlade est conçu pour faciliter le développement aéro-servo-hydro-élastique complet des éoliennes. Il permet des simulations détaillées d'éoliennes de différents types, notamment les éoliennes à axe horizontal (HAWT), les éoliennes à axe vertical (VAWT), les éoliennes multirotors et les flotteurs. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

##### 2.1.1.2. Interface utilisateur sophistiquée

QBlade propose une interface graphique intuitive et conviviale pour la préparation et l'analyse des simulations. Les résultats des simulations sont également affichés en temps réel dans des visualisations 3D. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

##### 2.1.1.3. Performances ultra-rapides

QBlade tire parti de l'architecture informatique actuelle en utilisant des techniques de parallélisations CPU et GPU. Il offre des simulations aéro-servo-hydro-élastiques complètes à une vitesse plus de 30 fois supérieure à la vitesse réelle. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

##### 2.1.1.4. Validation et vérification rigoureuses

QBlade a été validé et vérifié à l'aide de données expérimentales et d'autres codes aéroélastiques. La communauté d'utilisateurs a également contribué activement à cette validation. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

##### 2.1.1.5. Utilisations possibles de QBlade

- Conception d'éoliennes (HAWT, VAWT et multirotor)
- Conception et tests de flotteurs
- Tests et optimisation de contrôleurs
- Certification des charges de conception selon les normes IEC
- Simulations de parcs éoliens et études d'interaction des sillages
- Création de jumeaux numériques dans des environnements Python ou Matlab

([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

## 2.1.2. La Théorie Du Bem

QBlade utilise La méthode de moment d'élément de pale (BEM) pour modéliser les performances aérodynamiques des éoliennes, en tenant compte des propriétés géométriques et aérodynamiques des pales.

La (BEM), également connue sous le nom de Blade Element Momentum Method (BEM), est un outil essentiel pour modéliser les forces aérodynamiques agissant sur un rotor, tel qu'une éolienne. Permettez-moi de vous expliquer brièvement les concepts clés associés à cette méthode. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

### 2.1.2.1. Théorie de la méthode de moment d'élément de pale (BEM)

La BEM combine deux théories : la théorie du disque d'action et la théorie de l'élément de pale.

La théorie du disque d'action considère le plan du rotor comme un disque d'action qui provoque une chute de pression uniforme sur toute la surface du rotor, tandis que la vitesse du flux varie continuellement à travers ce disque.

La théorie de l'élément de pale permet de calculer les charges agissant sur chaque section de pale en fonction des propriétés géométriques et aérodynamiques de ces sections individuelles.

En combinant ces deux théories, la BEM permet d'exprimer les forces de pale dans un segment annulaire en fonction des propriétés géométriques du tube de flux et des facteurs d'induction axiaux et tangentiels. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

#### Facteurs d'induction

L'introduction des facteurs d'induction ( $a$ ) et ( $a'$ ) permet d'exprimer la vitesse dans le plan du rotor en fonction de la vitesse d'entrée ( $u_0$ ).

$$u = (1-a)u_0 \quad 3$$

Le coefficient de performance ( $C_T$ ) (poussée) et le coefficient de puissance ( $C_P$ ) peuvent également être exprimés en fonction du facteur d'induction axial ( $a$ ) :

$$C_T = 4a(1-a) \quad 4$$

$$C_P = 4a(1-a)^2 \quad 5$$

### 2.1.2.2. Application pratique

La BEM est utilisée pour évaluer les performances aérodynamiques d'une éolienne avec une faible dépense informatique et des temps d'exécution courts. ([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

Elle est utile pour :

- Évaluer une conception de pale de manière préliminaire.
- Obtenir des résultats approximatifs concernant les paramètres de performance du rotor.

## 2.1.3. Simulation par LA BEM dans QBLADE

### 2.1.3.1. BEM Steady Analysis

Le module d'analyse BEM permet d'effectuer des simulations aérodynamiques avec une faible dépense informatique, des temps d'exécution courts et des résultats préliminaires généralement précis en ce qui concerne les paramètres de performance du rotor. Il est utile pour :

- Évaluer une première conception de pale.
- Estimer rapidement la production d'énergie annuelle (AEP).
- Identifier des stratégies de contrôle via des études de paramètres.

([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

### 2.1.3.2. Sous-modules de BEM dans QBlade

#### 2.1.3.2.1. Rotor BEM

Permet des simulations de pales de rotor sur une plage de rapports de vitesse en bout de pale (TSR). Les simulations sont effectuées avec des arguments sans dimension.

#### 2.1.3.2.2. Caractéristiques BEM

Permet des simulations sur une plage spécifiée de vitesses du vent, de vitesses de rotation et d'angles de pas. Utile pour concevoir des stratégies de contrôle personnalisées.

#### 2.1.3.2.3. Turbine BEM

Permet des simulations BEM à l'état stationnaire pour des éoliennes complètes. Le type d'éolienne (régulation de puissance par décrochage ou limitation de pas) est spécifié.

#### 2.1.3.2.4. Correctionnel modélisés

QBlade propose également un modèle plus avancé appelé Unsteady BEM (UBEM), qui tient compte des effets non stationnaires. UBEM est amélioré par plusieurs modèles de correction.

([www.qblade.org](http://www.qblade.org))

## 2.2. Conception sur QBlade

### 2.2.1. Caractéristiques des profils NACA Choisi

#### 2.2.1.1. Profil NACA 0006

- Symétrique (pas de cambrure).
- Épaisseur maximale : 6 % de la longueur de la corde.
- Coefficient de portance nul pour une incidence nulle.

([www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

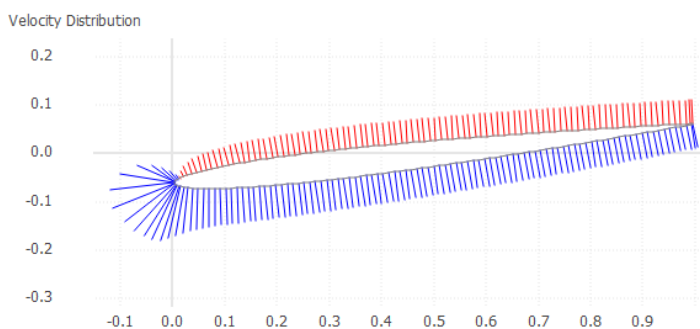


Figure 73 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 06.

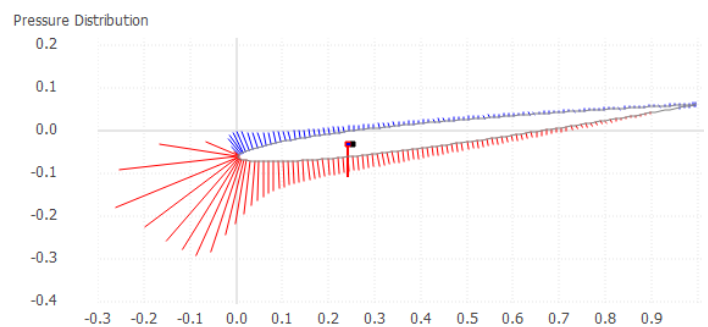
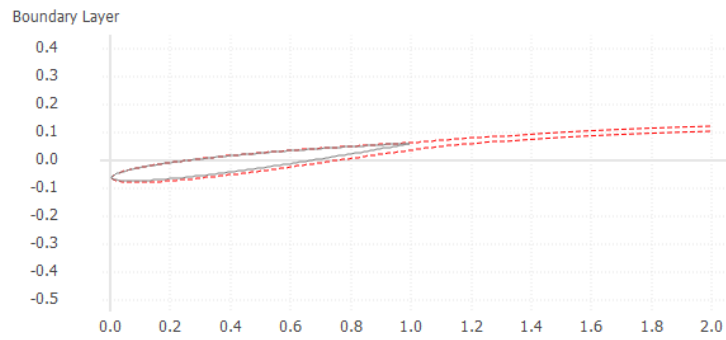


Figure 74 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 06.

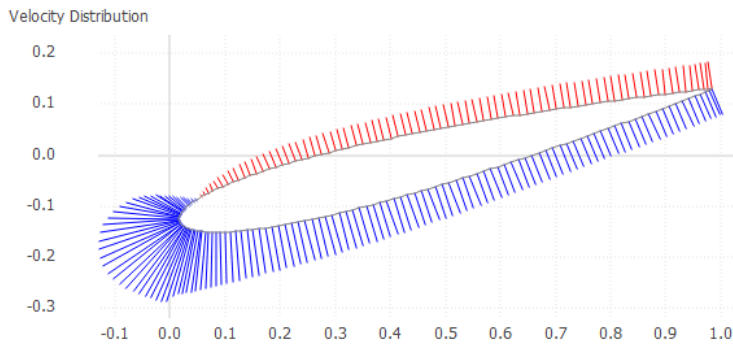


**Figure 75 : Graphe de la couche limite de profil NACA 06.**

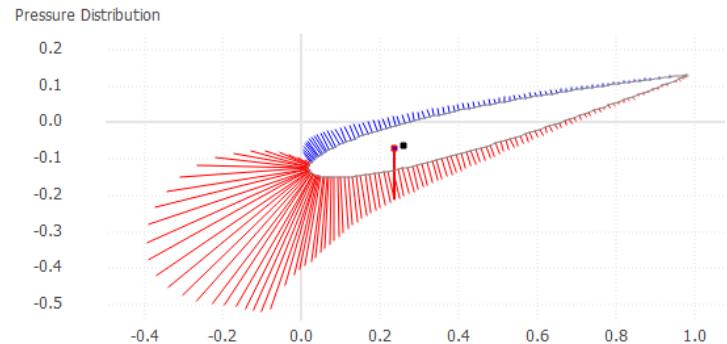
### 2.2.2. Profil NACA 0012

- Symétrique (pas de cambrure).
- Épaisseur maximale : 12 % de la longueur de la corde.
- Très utilisé pour les ailes d'avions.
- Bon compromis entre portance et traînée.

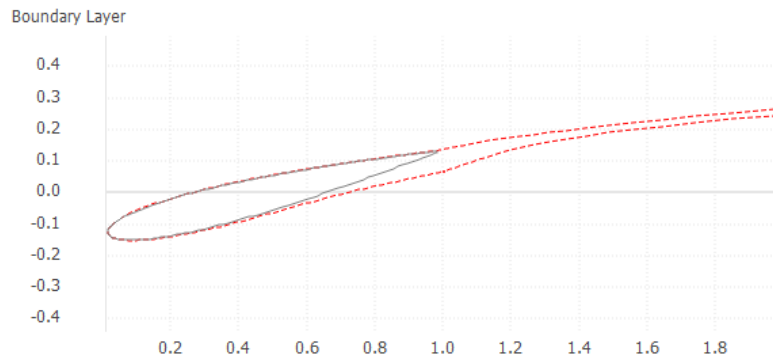
([www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))



**Figure 76 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 0012.**



**Figure 77 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 0012.**



**Figure 78 : Graphe de la couche limite de profil NACA 0012.**

### 2.2.3. Profil NACA 0015

- Symétrique (pas de cambrure).
- Épaisseur maximale : 15 % de la longueur de la corde.
- Également utilisé pour les ailes d'avions.
- Comme le profil NACA 0012, il offre un bon équilibre entre portance et traînée.

([www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

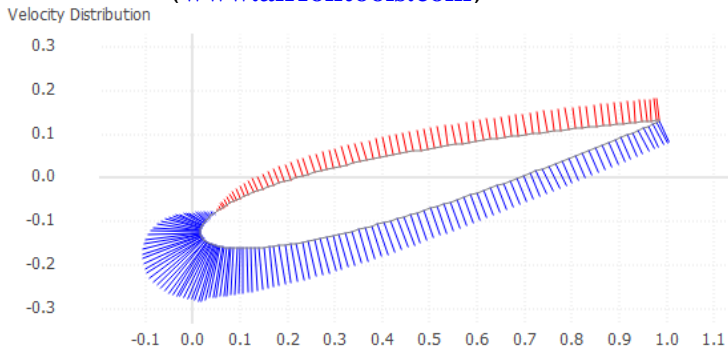


Figure 79 : Graphe de la distribution de vitesse du profil NACA 0015.

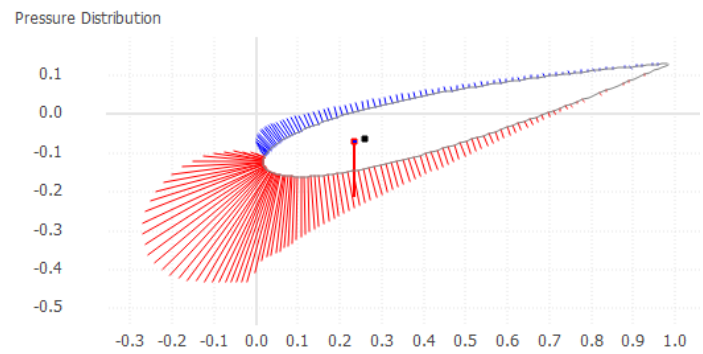


Figure 80 : Graphe de la distribution de pression du profil NACA 0015.

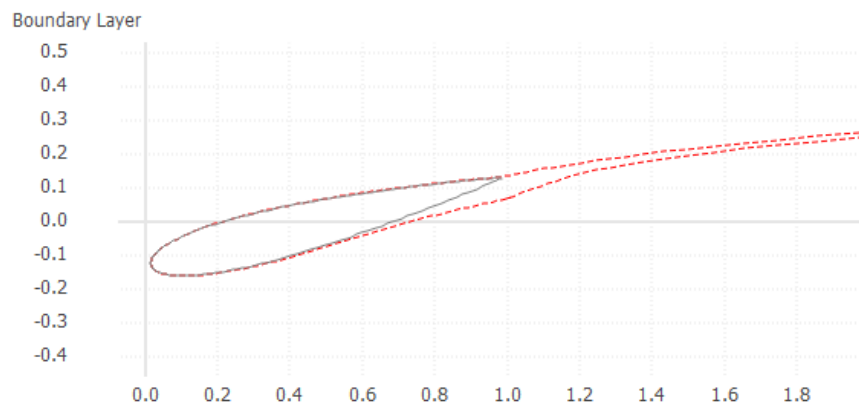


Figure 81 : Graphe de la couche limite de profile NACA 0015.

## NACA Profiles optimal Angel

- NACA 06 : 5deg
- NACA 0012 : 07deg
- NACA 0015 : 09deg

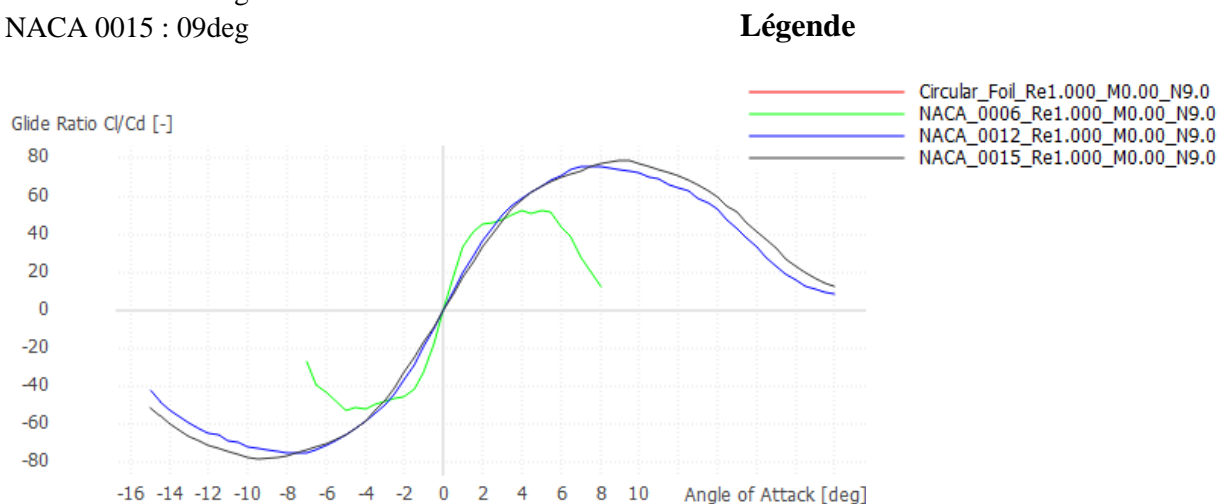


Figure 82 : Graphe du taux de finesse par rapport au l'angle d'attack pour les 3 Profiles.

## 2.3. Conception du modelé d'hydrolienne par 3 profils NACA (avec et sans optimisation) forme des pales

Notre forme a été inspirée par la forme de l'hydrolienne Sabella D10, Cette hydrolienne marine a été la première à injecter de l'électricité sur le réseau français. Voir (Figure 2). Elle a un diamètre de 10 mètres et une puissance de 1 MW. Elle a été immergée dans le passage du Fromveur, au large des côtes de l'île d'Ouessant, entre juin 2015 et juillet 2016.

Alors j'ai essayé de faire une conception afin de réaliser une forme qu'il rassemble on utilise ces NACA profils :

### NACA 06

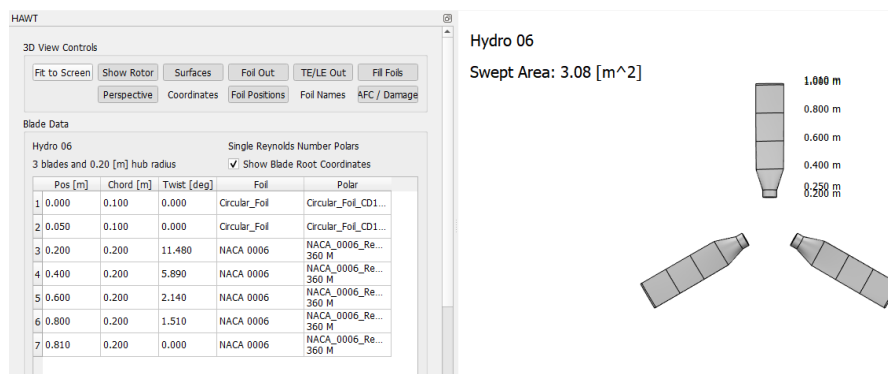


Figure 83 : Tableau et model de conception NACA 06.

## NACA 06 Optimise par Betz 5deg

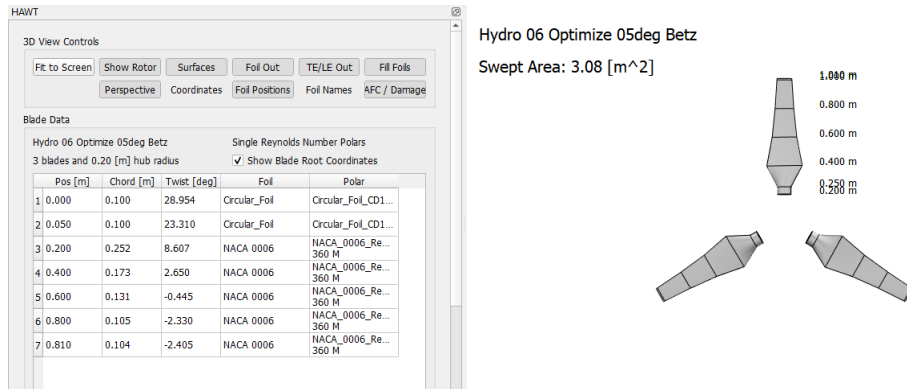


Figure 84 : Tableau et model de conception NACA 0012 optimisé Betz 5deg.

## NACA 12

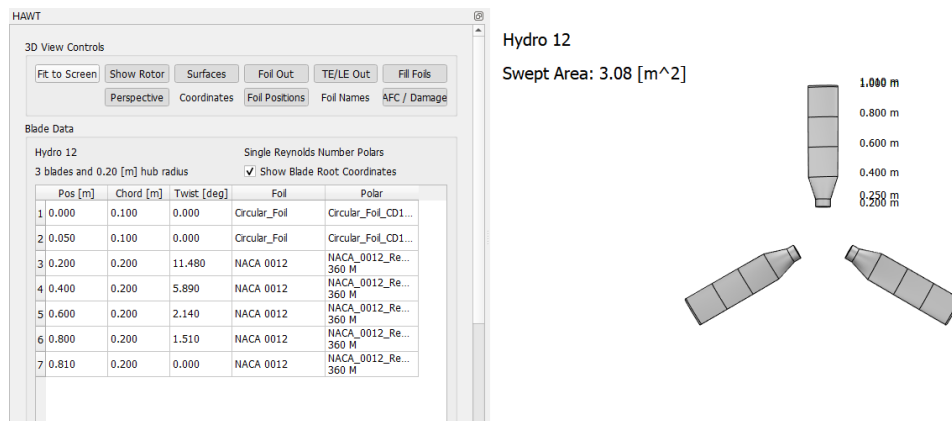


Figure 85 : Tableau et model de conception NACA 0012.

## NACA 12 Optimise par Betz 7deg

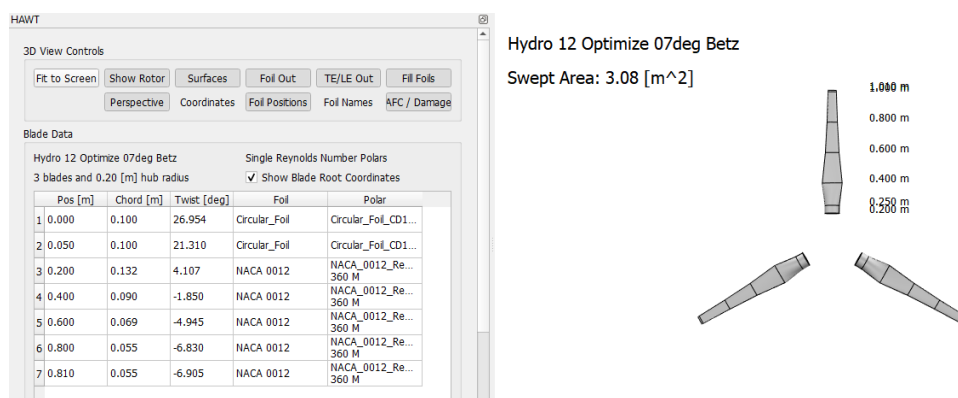


Figure 86 : Tableau et model de conception NACA 0012 optimisé Betz 7deg.

## NACA 15

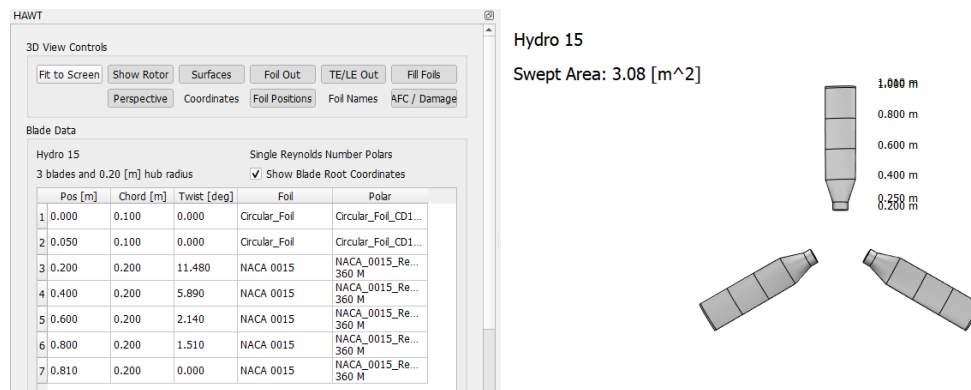


Figure 87 : Tableau et model de conception NACA 0015.

## NACA 15 Optimise par Betz 9deg

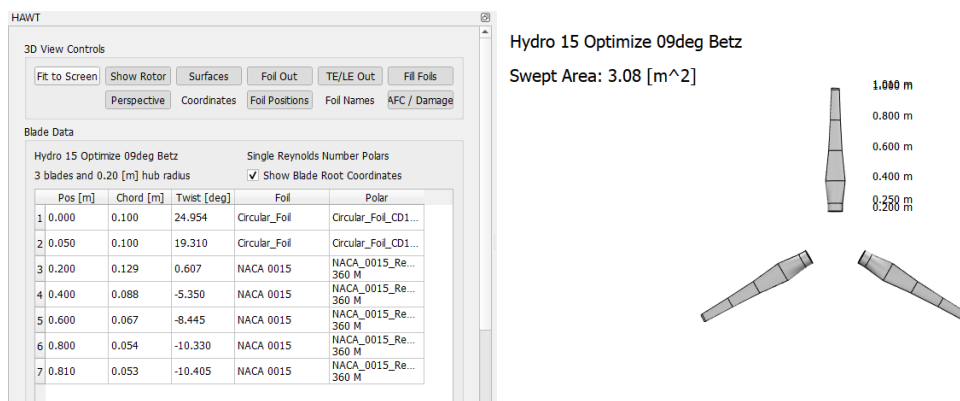


Figure 88 : Tableau et model de conception NACA 0015 optimisé Betz 9deg.

## 2.4. Simulation des 3 profils NACA

On définit les paramètres de simulation BEM et mentionne principalement :

- La vitesse du courant marin entre 0 et 1 m/s
- La densité de l'eau de mer 1020 kg/m<sup>3</sup>
- La viscosité de l'eau de mer 1.65 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

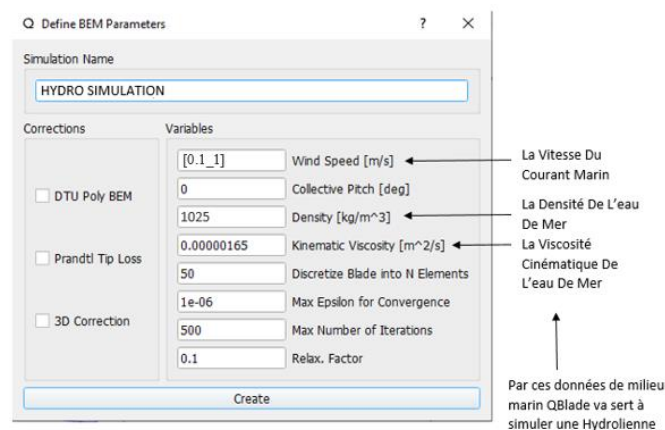


Figure 89 : Tableau des paramètres BEM.

## 2.5. Résultats

Le nombre de rotation par minute

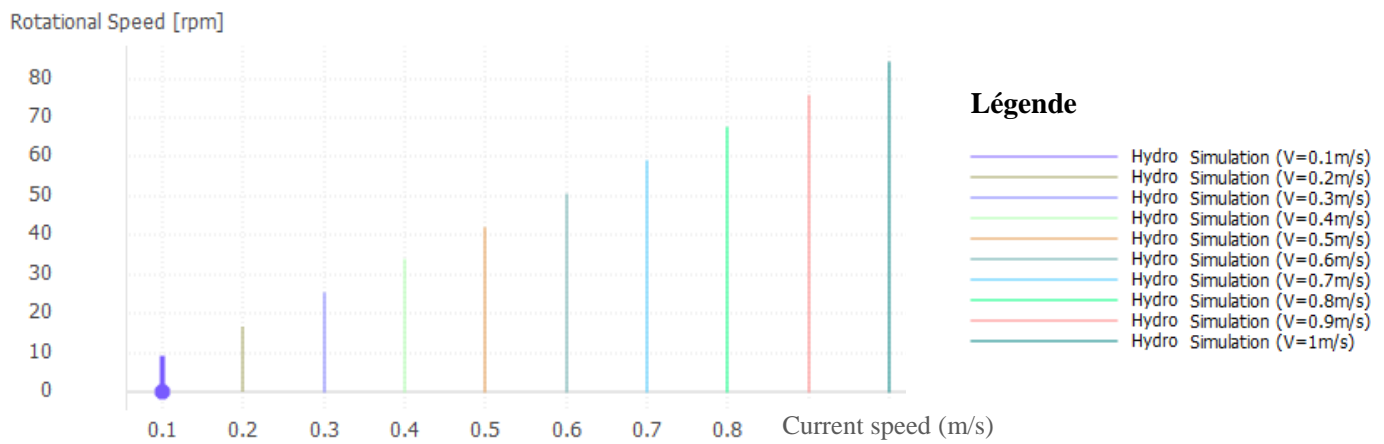


Figure 90 : Graphe de nombre de rotation par rapport à la vitesse au courant.

## Coefficient de performance (Cp)

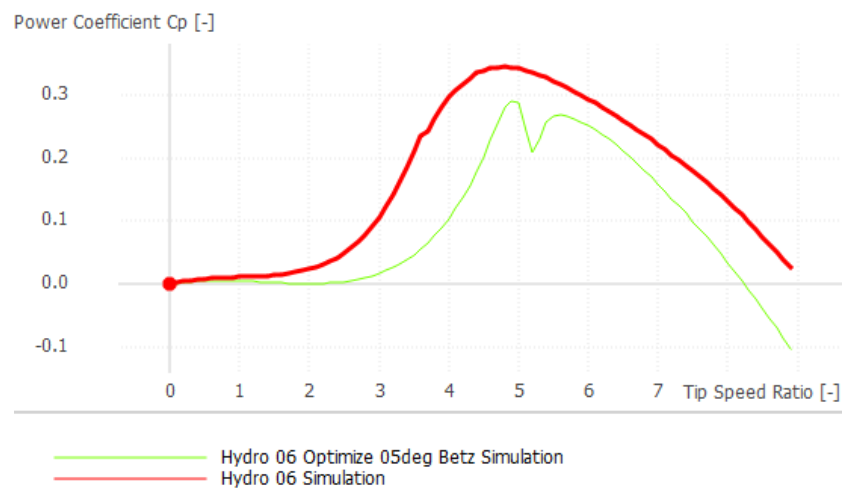


Figure 91 : Graphe de Cp paramètre du profile NACA 06 Optimisé 5deg et non optimisé.

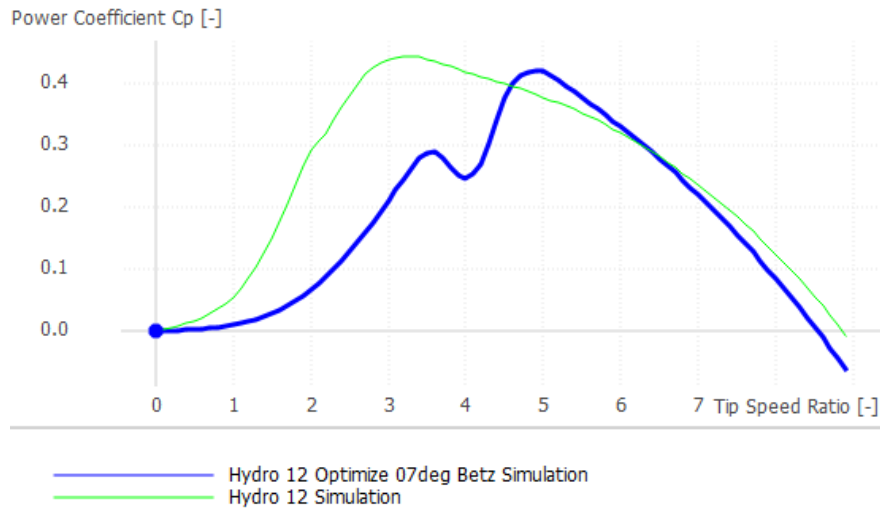


Figure 92 : Graphe Cp paramètre Profile NACA 0012 Optimisé par betz 7deg et non optimisé.

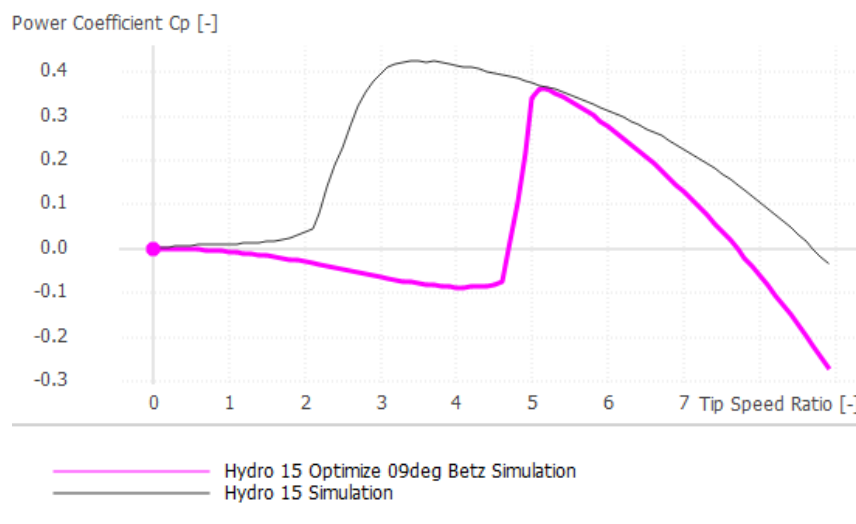


Figure 93 : Graphe Cp paramètre du Profile NACA 0015 Optimisé par betz 9deg et non optimisé.

### Interprétations

On définit la vitesse spécifique  $\lambda$  :

$$\lambda = (\omega R) / U \quad 6$$

Avec :

$\omega$  étant la vitesse de rotation de l'hydrolienne.

$R$  son rayon.

$U$  est la vitesse de l'écoulement.

Pour les 3 graphes représentant les 3 profils considérés, les courbes de variation du coefficient de puissance subissent un comportement similaire.

Pour des faibles vitesses spécifiques, le CP augmente lentement jusqu'à une certaine  $\lambda$  (entre 0.5 et 2) où le CP augmente avec un taux plus élevé.

La valeur maximale de CP est atteinte à environ  $\lambda=4.5$  pour le profil NACA06, tandis qu'elle est avancée à  $\lambda=3$  pour les deux autres profils.

Le CP subit en suite une chute brusque lorsque  $\lambda$  augmente.

Pour les cas optimisés, le  $\lambda$  correspondant à CP max est retardée jusqu'à 5. Pour cela, les cas originaux (non optimisés) sont considérés pour être réalisés, où le CP max le plus élevé des 3 profils correspond au **NACA0012**.

## 2.6. Montage des différentes parties de l'hydrolienne à axe horizontal

Ces pièces comprennent divers éléments tels que les pales, les fixateurs des pales et d'autres pièces connexes. Ces pièces sont montées strictement selon la conception finale du système. En bref, les figures montrent le modèle final du système après l'installation de toutes les pièces mécaniques requises.

La partie assemblage vise à réaliser une intégration complète entre la turbine idéal et le model globale de l'hydrolienne, Nous divisons le montage mécanique en deux parties :

### 2.6.1. Assemblage du model Hydro\_NACA0012

Par une exportation d'un fichier format (STL) on arriver à transmettre le fichier de la pale **HYDRO\_NACA12** faite par QBlade au solidworks pour faire l'assemblage avec le modèle globale de l'hydrolienne.

#### 2.6.1.1. Assemblage Pale\_Moyau

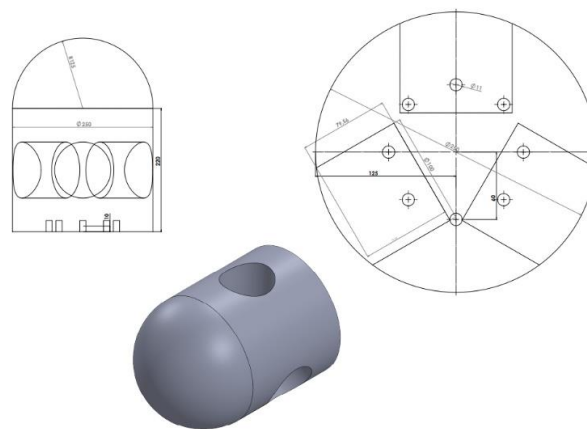
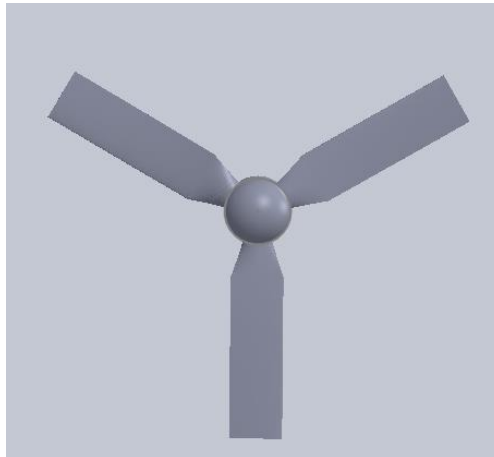


Figure 94 : Conception réalisée de Moyau d'Hydro\_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.

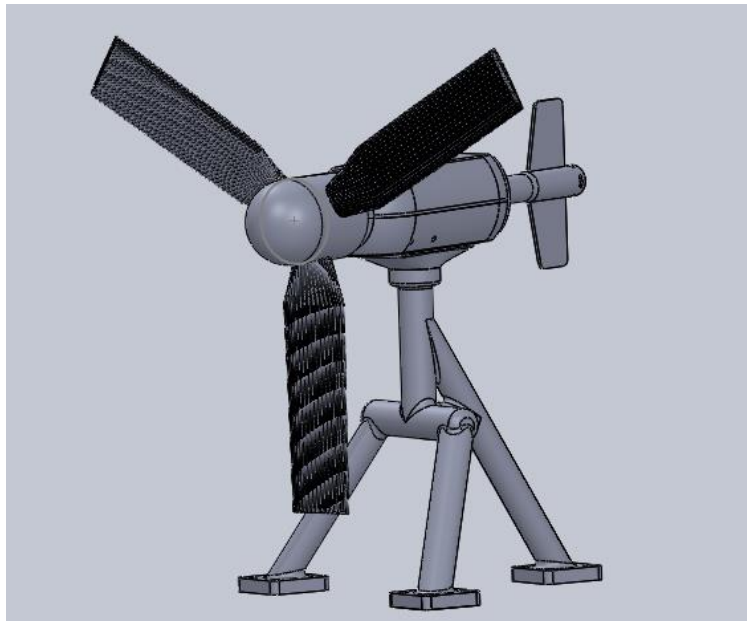


**Figure 95 : Forme des pales Hydro\_NACA0012 Modifier en 3D sur Solidworks.**



**Figure 96 : Assemblage des pales et moyau d'Hydro\_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.**

### **2.6.2. Assemblage du rotor Avec le Model Globale**



**Figure 97 : Assemblage réalisée de l'Hydro\_NACA0012 en 3D sur SolidWorks.**

## **Conclusion**

Après avoir déterminé les caractéristiques du profil de la pale, à la fin on a obtenu comme conclusion que le profil NACA0012 est le mieux à utiliser dans notre cas.

## **Chapitre 4 : Résultats et Discussions**

## Introduction

Dans ce chapitre on va faire des calculs afin de savoir la puissance électrique générer par notre hydrolienne afin de discuter leurs résultats, Ainsi que les calculs concernés par la boîte à vitesse injecter au notre système d'hydrolienne.

### 1. Calcul de la vitesse de rotation passé par la boîte à vitesse

En mécanique, une transmission de mouvement s'effectue fréquemment par le biais d'engrenages, des roues dentées encastrées les unes dans les autres, ce qui transmet le mouvement, mais modifie les vitesses de rotation des roues. Dans un engrenage, il y a toujours une roue motrice (menant), et une ou plusieurs roues entraînées (menées). Ces roues sont rarement d'un même diamètre si bien que les vitesses de rotation des roues sont différentes. Selon le rapport de taille qui existe entre les deux roues, avec une certaine vitesse de la roue menant, vous aurez une réduction ou une augmentation de la vitesse de rotation de la roue menée.

Dans notre cas on va calculer pour les 2 vitesses (0.1\_1) m/s

#### Dimensions des engrenages :

Diamètres :	Nombre des dents :
$D_1=116$ mm	$Z_1=29$
$D_2=80$ mm	$Z_2=20$
$D_3= 56$ mm	$Z_3=14$

### 1.2. Calcul de rapport de transmission

C'est le rapport entre 2 vitesses Angulaires il est égale au rapport entre le nombre des dents de la roue d'entrée et la roue de sortie, ou encore le rapport de leurs diamètres respectifs.

W2 : Pour l'engrenage 1 et l'engrenage 2 :  $\mathbf{Tr = 0.6897}$

W3 : Pour l'engrenage 2 et l'engrenage 3 :  $\mathbf{Tr = 0.7}$

Ces rapports de transmission nous donnent une idée de la réduction ou l'augmentation de la vitesse à chaque étape de système d'engrenages.

#### 1.2.1. Cas multiplicateur

V (m/s)	W1 (rpm)	W2 (rpm)	W3 (rpm)	W3 (rad/s)
Min 0.1	8.42	12.209	17.44	1.83

Tableau 3 : Calcul de vitesse après le passage d'une boîte à vitesse (cas multiplicateur).

#### 1.2.2. Cas de réducteur

V (m/s)	W1 (rpm)	W2 (rpm)	W3 (rpm)	W3 (rad/s)
Max 1	84.15	57.97	40.58	4.25

Tableau 4 : Calcul de vitesse après le passage d'une boîte à vitesse (cas réducteur).

## 2. Calculs des puissances (théorique, mécanique et électrique)

Remarque : les pertes et les contraintes mécaniques et électriques sont négligeables

### 2.1. Calcul de la puissance théorique

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad 7$$

- $P_t$  : La puissance théorique ou cinétique de l'hydrolienne qui peut être générée par le courant marin (Watt)
- $\rho$  : La densité de l'eau de mer égale à 1025 (Kg/m<sup>3</sup>)
- $A$  : la surface du cercle de rayon égale à la longueur d'une pale (m<sup>2</sup>)
- $V$  : la vitesse du courant marin (m/s)

(Ruer.J.2016)

### 2.2. Calcul de la puissance mécanique

$$P_m = P_t \cdot C_p \quad 8$$

- $P_m$  : la puissance mécanique de l'hydrolienne (Watt)
- $C_p$  : le coefficient de performance ou de puissance mécanique de l'hydrolienne

(Ruer.J.2016)

#### Le Coefficient de puissance ( $C_p$ )

Le coefficient de performance ( $C_p$ ) d'une hydrolienne, qui est une mesure de l'efficacité avec laquelle l'hydrolienne convertit l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique, peut varier en fonction de plusieurs facteurs, dont la conception de la turbine, les conditions du flux d'eau et les caractéristiques du site d'installation. En général, les hydroliennes bien conçues peuvent atteindre un  $C_p$  d'environ 0,35 à 0,50.

Dans notre cas : L'hydrolienne NACA 0012 génère un  $C_p$  maximale de 0.445

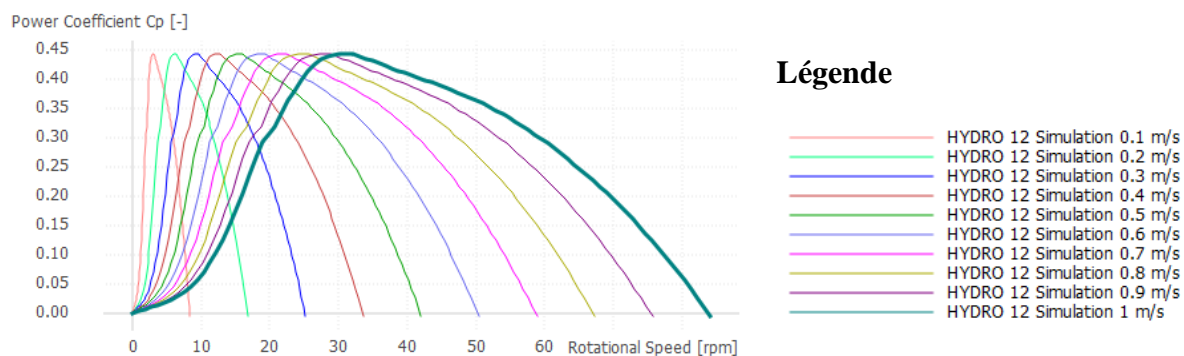


Figure 98 : Graphe de comparaison des  $C_p$  des profils NACA utilisés.

#### Exemple :

- pour un courant marin minimal de **0.1 m/s** la vitesse nominale de rotation est de **3 tours par minute**.
- pour un courant marin maximal de **1 m/s** la vitesse nominale de rotation est de **30.75 tours par minute**.

Ce qui veut dire que l'hydrolienne va donner un maximum de puissance mécanique quand elle est dans sa vitesse nominale de rotation et qui sert à donner une puissance électrique optimale.

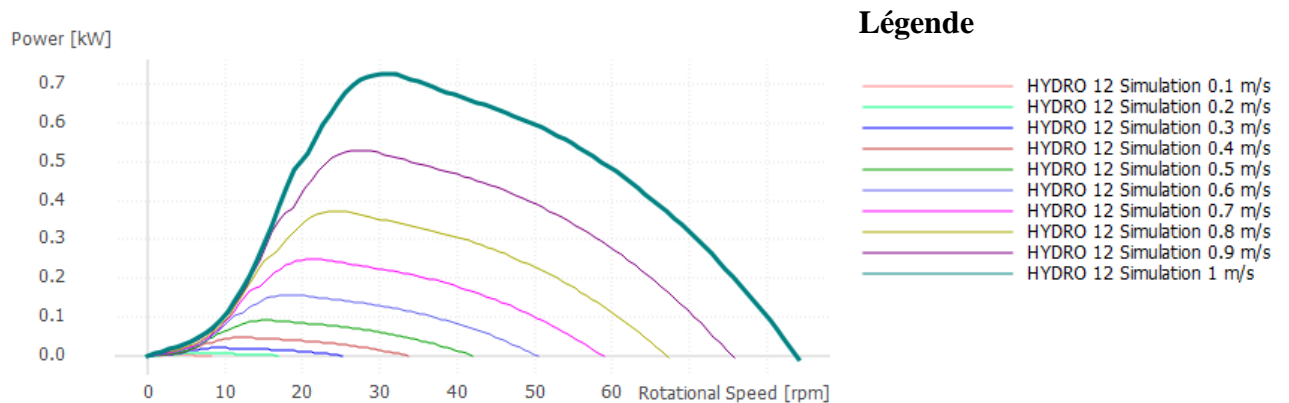


Figure 99 : Graphe de comparaison de puissance électrique générer par les profils NACA utilisées.

Dans ce cas il est nécessaire d'avoir une boite à vitesse liée à une commande pour augmenter la vitesse si elle est moins de la vitesse nominale et la réduire si elle est plus ou au moins la garder dans un intervalle qui peut générer un  $C_p$  optimale.

### 2.3. Calcul de la puissance électrique

$$P_e = P_m \cdot \eta \quad 9$$

- $P_e$  : la puissance électrique (Watt)
- $\eta$  : facteur de puissance de la génératrice PMSG : le coefficient de performance ou l'efficacité d'un PMSG dans un système hydrolien ou éolien se situe généralement entre 90% et 98%, en faisant l'un des générateurs les plus efficaces disponibles pour ces applications. (Shaffic.S et al.2020). On prend  $\eta$  égale à 0.9 (90%) (Ruer.J.2016)

### 2.4. Résultats

Turbine	A (m <sup>2</sup> )	Cp	V (m/s)		Pt (Watt)		Pm (Watt)		Pe (Watt)	
			Min	max	min	max	min	max	Min	max
Hydro NACA 12	3.08	0.445	0.1	1	15.78	1578.5	7.02	702.21	6.32	631.989

Tableau 5 : Résultats des Calculs des puissances (théoriques, mécaniques, électriques) minimale et maximale de l'hydrolienne NACA0012.

D'après les résultats obtenus par les calculs on a trouvé que notre hydrolienne **Hydro NACA 0012** : peut fournir une puissance électrique entre **6.32 et 631.989 Watt**.

Avec 632 watts, on peut alimenter des appareils électroménagers et électroniques courants, des outils bricolage légers, et plusieurs sources d'éclairage simultanément. C'est une puissance suffisante pour des tâches quotidiennes dans un foyer.

## **Conclusion**

A travers ce chapitre on a arrivé à calculer la puissance électrique et les transmissions mécaniques de notre turbine. Afin de voir la performance et le mécanisme de fonctionnement de notre hydrolienne

Cette approche nous a donné l'avantage précieux d'avoir un premier aperçu de ce qui serait fait, nous permettant ainsi d'identifier les problèmes potentiels dès la phase de conception, et de donner des notion sur l'alimentation électriques de l'hydrolienne.

# Conclusions

Pour conclure nous pouvons dire que les hydroliennes sont une perspective d'avenir. Elles sont composées de beaucoup d'éléments mais en réalité leur fonctionnement est simple. De plus elles sont très intéressantes par rapport aux autres sources d'énergie comme les centrales nucléaires ou à charbon qui rejettent du CO<sub>2</sub> ce qui est néfaste pour l'environnement.

D'autre part, pour installer des hydroliennes il faut d'abord connaître les critères de choix de milieu marin, leur puissance, leur rendement, leur forme de pale à partir de la vitesse de courant marin et la forme du profil de la pale à choisir.

Dans ce travail on a présenté l'énergie hydrolienne comme une énergie renouvelable marine, Elle est propre et basé sur le courant marin comme une matière première, l'hydrolienne est un convertisseur d'énergie cinétique à énergie électrique elle a deux type HAWT et VAWT, dans notre travail nous avons basé sur HAWT et on a parlé dans plusieurs coté pour simplifier.

Ce thème et donné les critères les plus important c'est les pales qui a commandé cette organe pour mettre ce projet, à la suite il ya les éléments de la pale c'est les profils, nous choisissons le code NACA parce que le plus utilisé dans ce domaine et conséquence la performance et la finesse.

On a choisi le profil NACA0012 après avoir comparé ces résultats avec les résultats des 2 autres profils NACA06 et NACA0015 car c'est le plus performant, puissant, adaptable et le mieux pour maîtriser dans notre cas.

Donc pour pouvoir juger une hydrolienne il faut d'abord s'informer et se faire des recherches parce qu'il est chaque hydrolienne il ya leur critère de fonctionnement.

Et à la fin de ce travail on a répondu à notre problématique qui été basé sur la méthode et le dispositif d'exploitation des énergies renouvelables marines sur notre littoral centre Algerian.

## **Bibliographie**

- **Alain,H Clément. F Fàbregas,Flavià (2018).** A numerical tool for the frequency domain simulation of large arrays of identical floating bodies in waves, V148 P.P299-311.
- **Aoudj,Ch. Mezouar,K. et al (2020).** Evolution Spatio-Temporelle Du Trait De Côte Du Littoral Centre Algérien : Cas De La Baie De Zemmouri. Xvièmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Le Havre, 2020.P169.
- **Berkani,A. Ouabadi,T (2011).** Contribution A l'étude De La Croissance Du Pagellus Acarne (Risso, 1826) Dans La Baie De Bou Ismail. Mémoire (*DEUA*). Dely brahim. ENSSMAL. P01.
- **Besio,G. Mentaschi,L. et al (2016).** 'Wave Energy Resource Assessment in the Mediterranean Sea on the Basis of a 35-Year Hindcast', Energy, Vol. 94, P.50 – 63.
- [Could Bay of Fundy tides generate enough power for all of Atlantic Canada?.\[en ligne\].\[consulté le 1/4/2024\].disponible sur le web : https://www.CBC News.](https://www.CBC News)
- [Courantomètre à moulinet - F1 - Seba Hydrometrie gmbh & Co. KG - pour eau / vertical / en acier inoxydable.\[en ligne\].\[consulté le 23/5/2024\].disponible sur le web : https://www.directindustry.fr.](https://www.directindustry.fr)
- [Deux nouvelles hydroliennes dans le Morbihan pour plus d'énergie verte.\[en ligne\].\[consulté le 29/5/2024\].disponible sur le web : https://www.bulletindescommunes.net.](https://www.bulletindescommunes.net)
- **DHI., (2014).** MIKE 21 Spectral Wave Module.
- **DHI., (2014).** MIKE 21/3 Couple Model FM.
- **DHI.,(2014).** MIKE ZERO : Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator.
- **Dominique, Lebresne.** [Hydrolienne : fonctionnement -HYDROLIEN. \[en ligne\].\[consulté le 1/4/2024\]disponible sur le web : https://www.hydrolien.fr.](https://www.hydrolien.fr)
- [Explorer les spécifications des câbles sous-marins : Un guide approfondi.\[en ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\].disponible sur le web : https://www.grandocéanmarine.com.](https://www.grandocéanmarine.com)
- **Fabrice, Symphorien (2024).**[l'énergie marine : avantages et inconvénients - Environnement et Bien-être.\[en ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\].disponible sur le web : https://www.lappeldusol.fr.](https://www.lappeldusol.fr)
- **Hemdane,Y. Bouhmadouche,M. et al.(2016).** Identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine renouvelable (vagues/houles) à travers l'étude de la morphologie côtière et sous-marine et hydrodynamique. Revue des Energies Renouvelables, 19(4), 543-552. [https://www.asjp.cerist.dz/en/article/121491.](https://www.asjp.cerist.dz/en/article/121491)
- [How-does-a-boat-propeller-work.htm.\[en ligne\].\[consulté le 23/5/2024\].disponible sur le web : https://www.wisegeek.net.](https://www.wisegeek.net)
- [Hydroliennes: l'énergie des courants marin au service de la transition énergétique.\[en ligne\].\[Consulté le 1/4/2024\].disponible sur le web : https://www.sabella.bzh.](https://www.sabella.bzh)
- [Hydrrowing Cost Effective Tidal Power.\[en ligne\].\[Consulté le1/4/2024\] disponible sur le web :https://www.hydrrowing.tech.](https://www.hydrrowing.tech)

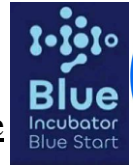
- **Leclaire (1972).**La Sédimentation Holocène Sur Le Versant Méridional Du Bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien) (1972) LIVRE.
- [L-energie-electrique.\[en ligne\].\[consulté le 2/4/2024\].disponible sur le web : https://www.projetecolo.com.](https://www.projetecolo.com)
- **Maël, Dancette (2012).** [Stockage d'énergie : définition, explications, formes et principes. \[en ligne\].\[consulté le 4/4/2024\].disponible sur le web : https://www.connaissancedesenergies.org.](https://www.connaissancedesenergies.org)
- **Maël, Dancette (2024).**[Énergie houlomotrice : production d'électricité avec la houle des vagues.\[en ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\]. Disponible sur le web : https://www.connaissancedesenergies.org.](https://www.connaissancedesenergies.org)
- **Maël, Dancette (2024).**[Energie marémotrice : définition, fonctionnement, schéma et chiffres.\[en ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\] disponible sur le web : https://www.connaissancedesenergies.org.](https://www.connaissancedesenergies.org)
- **Maël, Dancette (2024).**[Hydrolienne en mer : fonctionnement, rendement, développement. \[en ligne\].\[consulté le 1/4/2024\] disponible sur le web : https://www.connaissancedesenergies.org.](https://www.connaissancedesenergies.org)
- **Mehmood, N. Liang, Z. Khan, J. (2012).** Harnessing Ocean Energy by Tidal Current Technologies. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology.4(18).
- **Mouhoubi,N. Belkessa,R. et al. (2021).** Assessment of the vulnerability of zemmouri bay to coastal erosion, diachronic study be-tween 1957 and 2017.
- **NORGAL (2017).**[Archimedes Screw Archimedean Screw Screw pump Machine Stock Photo 554946385/Shutterstock.\[En ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\].disponible sur le web : www.shutterstock.com.](https://www.shutterstock.com)
- [Permanent Magnet Synchronous Generator \(PMSG\) | How it works, Application & Advantages. \[en ligne\].\[consulté le 23/5/2024\].disponible sur le web : https://www.electricity-magnetism.org.](https://www.electricity-magnetism.org)
- [Qblade - Next Generation Wind Turbine Simulation.\[en ligne\].\[consulté le 29/5/2024\].disponible sur le web : https://www.qblade.org.](https://www.qblade.org)
- **Ruer,J (2016).** L'énergie des courants de marée : Les hydroliennes.P20.
- [Senvion: Service-Auftrag über 122 MW.\[en ligne\].\[consulté le 23/5/2024\].disponible sur le web : https://www.ecoreporter.de.](https://www.ecoreporter.de)
- [Solidworks/guide.\[en ligne\]. \[consulté le 23/5/2024\] .disponible sur le web : https://my.solidworks.com.](https://my.solidworks.com)
- **Ssenyimba,S .Kiggundu,N. et al. (2020).**Designing a solar and wind hybrid system for small-scale irrigation: a case study for Kalangala district in Uganda.P10.
- [Submarine Cable Company Electric Transmission Manufacturer.\[en ligne\].\[consulté le 4/4/2024\].disponible sur le web : https://www.kvcable.com.](https://www.kvcable.com)
- [Systèmes houlomoteurs bords à quai : Guide de conception en phase avant-projet Cerema. \[en ligne\].\[Consulté le 2/4/2024\].disponible sur le web : https://www.cerema.fr.](https://www.cerema.fr)

- **Tamazirt,M (2023).** Modélisation des effets de la houle sur la stabilité et franchissement des ouvrages maritimes. Mémoire d'ingénieur (mémoire de master). Gestion et protection du littoral. Dely Brahim : Enssmal. P03.
- **Thompson,P. Reve,D. (2009).** Automated threshold selection methods for extreme wave analysis. Coastal Engineering. Disponible sur le web : <https://www.researchgate.net/publication/223739782>.
- **Tilbi,K. (2018).** Distribution des valeurs extrêmes généralisées - Application en hydrologie. Mémoire d'ingénieur. Probabilités et statistique. Jijel : Université Mohammed Seddik Ben Yahal.P.24.
- [hatts://ww.airfoil Tools.com](https://ww.airfoil Tools.com).
- <https://www.googleearth.com>.
- <https://www.waveclimate.com>.



**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique**



**Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral**

**Département Environnement et Aménagement  
Spécialité : Gestion et Protection Du Littoral**

**Un Business Model Canvas**

**En vue de l'obtention du diplôme Start-up**

**Projet :**

**Entreprise de conception et  
simulation et la vente des  
machines de récupération des  
énergies renouvelable marines**

**Réaliser par :**

**Bensedira Assia Kheira**

**Promoteur :**

**Pr. Khoudir Mezouar**

Soutenu publiquement, le **11/07/2024**, devant le jury composé de :

<b>Me.Salem Chrif</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>M.Sidi Moussa</b>	<b>AND</b>	<b>Examineur</b>
<b>Me.Echetaibi</b>	<b>ASAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>M.Mezouar</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>

**Année Universitaire : 2023/2024**

## Introduction

Dans ce travail on a élaborer une idée de projet qu'on a réalisé son BMC en annexe dans le cadre de 1275 suivant le guide, accompagner par notre équipe d'incubateur Blue Start qui nous a permet de suivi des formations sur le managements, le marketing, le finance et la rédaction de notre BMC.

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter.

Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies marines, issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre ou encore de la biomasse.

A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

L'exploitation 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 : la houle, les courants, les marées, le gradient de température entre les eaux de surface chaudes et les eaux froides en profondeur. Chacune de ces filières à un degré de maturité et des perspectives de développement spécifiques à plus ou moins long terme. Les technologies des énergies renouvelables en mer sont pour la plupart au stade de la recherche et de l'expérimentation et qui fait l'objet de ce mémoire.

Alors notre problématique est basée sur :

- Comment exploiter les énergies renouvelables marines sur notre littoral Algerian ?
- Quelle sont les étapes à suivre pour arriver à produire un dispositif qui peuvent rendre cette énergie cinétique a une énergie électrique ?

De cette problématique j'arrive à penser à une idée de projet de crée une entreprise de conception, simulation et la vente des machines des énergies renouvelables marines.

## 1. Présentation du projet

L'idée du projet a commencé par une inspiration d'un fonctionnement d'une dynamo d'un vélo, c'est l'aspect de la génération d'une énergie électrique par un mouvement cinétique par un processus d'induction électromagnétique. Coïncidant avec cette invention, dont j'ai toujours aimé, le monde souffrait encore d'une crise énergétique et de son grand besoin, car l'énergie électrique est tout ce dont le monde dépend pour travailler.

C'était donc bien pour moi de penser à l'idée de faire fonctionner cette invention à un niveau élevé, c'est-à-dire qu'elle puisse répondre à un besoin de plus en plus large.

Alors j'ai essayé de me poser des questions pour trouver des réponses et des solutions

Où je peux trouver ces énergies ? Comment je peux la récupérer et la transformer en énergies électrique ?

La réponse a été très simple. Les énergies que nous recherchons ont de très nombreuses sources disponibles et renouvelables, notamment l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie solaire, etc., et chacune d'elles a un moyen de l'exploiter et de récupération, et de là est née la solution. L'idée de créer une entreprise pour fabriquer ces machines pour nous permettre d'exploiter ces énergies....

Notre entreprise porte le nom "HydroCahrab" est une EURL spécialisée dans la conception et la vente des dispositifs de récupération d'énergies renouvelables marines. Notre mission est de contribuer à la transition énergétique en exploitant les ressources naturelles de manière durable. En utilisant les énergies renouvelables marines.

Notre idée de projet port un nom d'activités économiques (Fabrication de matériels, équipements liés aux domaines de l'énergie solaire, électrique et de l'énergie de différentes origines) par un code d'activité de 105509.

### Notre Logo



## Nos Activités principales

Nous assurons

- Etude de site
- Conception du modelé
- Simulation du modelé
- (La vente, location) des machines
- La vente d'abonnement d'électricité

## Nos activités par sous traitance

A l'aide des partenaires clés on peut assurer

- La fabrication des machines, le suivi et la maintenance (ateliers de mécaniques)
- L'installation des machines (Sonalgaz)

## Notre valeur ajoutée

- HydroCahrab fournit des machines de récupération des énergies renouvelables marines de haute qualité, des simulations précises pour évaluer la faisabilité des projets, et un soutien technique complet pour aider les utilisateurs à développer et à mettre en œuvre des projets énergétiques durables.
- Nous utilisons la technologie avancée pour convertir les énergies de la nature en énergies électrique. Notre technologie est basée sur une énergie saine et totalement naturelle qui sert à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à minimiser l'empreinte carbone qui va améliorer la santé publique et l'environnement en générale.
- Nos machines captent l'énergie ambiante provenant de sources telles que les vagues les courants marins, la marée....Cette énergie récupérée peut alimenter des capteurs, des objets connectés et d'autres appareils autonomes.
- Nos machines vise à l'indépendance énergétique on utilisant des ressources naturelle, et économique cela signifie atteindre une suffisance énergétique durable et renouvelable. Qui va réduire les couts énergétique à long terme et qui va offre un prix est très raisonnable par rapport à l'importance et à la qualité du service fourni.

Cette idée d'entreprise est créé par moi-même **Bensedira Assia Kheira**, étudiante en 5eme année gestion et protection du littoral, j'ai subi aussi à la formation BMC dans le cadre de 1275 qui me permettre de bien organiser mon travail sur le concept du marketing, management et finance.

Mon objectif est de reconstruire une base énergétique basée sur les énergies renouvelables marines et les exploiter à plus grande échelle, en vendant et en installant un plus grand nombre de machines.

Et pour estimer la réalisation il est très nécessaire de planifier un plan de réalisation qui sera formé comme suite :

Période (mois)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep
Travaux									
<b>Etude Economie</b>									

1	<b>Etude de marchet et faisabilité</b>		Faite							
2	<b>Identifier les partenaires et les clients</b>			Faite						
3	<b>Etude de marketing et financement</b>				Faite					
<b>Etude Réalisation</b>										
4	<b>Etude du dispositif (conception et simulation)</b>						Faite			
5	<b>Réalisation et installation des dispositifs</b>									Faite
6	<b>Suivi et maintenance</b>		Faite	Faite	Faite		Faite			Faite

**Tableau 6 : plan de réalisation**

## 2. Aspect innovants

L'idée de mon entreprise est une idée innovante à l'échelle nationale notamment dans le domaine des énergies marines renouvelables, car son énergie n'a pas encore été exploitée et aucune machine n'a été fabriquée pour ce but.

C'est le premier projet en Algérie basé sur l'utilisation de la technologie des énergies renouvelables marines sur le littoral Algérien dans le processus de production d'électricité.

## 3. Analyse Stratégique du marché

Le marché potentiel : c'est toute personne, entreprise, usine.....qui on en besoin de service d'électricité et spécialement qui se située sur la partie du littoral.

Le marché cible (le segment) : A travers cette entreprise, je cherche à couvrir le plus grand nombre possible de besoins électriques le long de la bande de littorale en exploitant l'énergie hydraulique.

Cela se fait en vendant ou en louant la machine ou en souscrivant au service d'alimentation électrique par les énergies renouvelables marines.

### Nos clients seront :

- Le gouvernement,
- les entreprises de production d'énergie,
- Les développeurs de projets énergétiques et les investisseurs intéressés par l'énergie renouvelable marine en Algérie.
- les stations de dessalement et de filtration de l'eau de mer,
- les stations d'alimentation électrique pour les véhicules électrique
- les usines réparties le long de littoral.

- les hôtels,
- Les cabanoux,
- Les clubs du sport aquatique,
- Les services de la restauration
- les parcs de loisirs et d'attraction,
- les ports (de plaisir, de pêche, commerciale...),
- les bateaux de pêche et de plaisance,
- Les gens qui campent dans des endroits isolés,
- des endroits éloignés qui ne sont finalement pas desservis en électricité,
- les systèmes de surveillance pour alimenter les capteurs

Pour les concurrents dans ce marché on trouve Sonalgaz et Sonatrac et Comme je suis une startup, il est très difficile de rivaliser avec ces deux géants, et pour cette raison la solution idéale est de conclure des accords de partenariat avec ces entreprises, d'autant plus qu'elles soutiennent le secteur des énergies renouvelables. Ce sera une opportunité inestimable pour permettre à l'institution de se positionner sur ce vaste marché.

#### **Notre stratégie de marketing s'appuie fortement sur**

- Relations gouvernementales,
- partenariats avec les entreprises et les développeurs de projets énergétiques,
- la publicité via les sites et les plateformes de médias sociaux, en particulier les pages touristiques (pour les clients) (B to C)
- la participation à diverses expositions (des salons et conférences spécialisés) pour présenter le produit et le service fourni, ainsi que sur le marketing direct, qui consiste à présenter des offres à des institutions ou à des personnes souhaitant travailler avec elles. C'est à dire vendre ou louer le produit ou proposer un abonnement dans le service fourni, ce dernier a pour but de présenter le produit aux entreprises, institutions et usines. (B to B).
- Ainsi que la sensibilisation à l'importance des énergies renouvelable et à leur rôle dans le développement économique et environnemental du pays
- Et enfin par la haute qualité et performance de nos produits et de nos services fournis et les promotions

#### **4. Processus de production**

1. Etude du site (les conditions du site et le taux d'énergies fourni)
2. Etude de modelé (planifier la conception en fonction des résultats souhaités)
3. Conception du modelé (crée le dessin)
4. Simulation du model (simuler la conception et connaitre son comportement, leur performances et ses problèmes techniques pour les résoudre)
5. Fabrication du model (réalisation)
6. Assemblage de la machine (assemblage des composantes)
7. Test de la machine (simulation physique)
8. Installation de la machine dans le site (pour récupérer l'énergie électrique)
9. Suivi et maintenance de la machines

Le processus de création de l'entreprise nous oblige à identifier nos investisseurs et nos partenaires les plus importants, et à partir de là, nous déterminons que nous envisageons d'être partenaires avec des centre de recherche et développement, des ateliers mécaniques pour assurer la fabrication des machines et Sonalgaz pour assurer l'installation des machines, et bien sur d'autres investisseurs qui sont intéressés par ce domaine d'industrie.

Notre entreprise dédiée a emploiera plus **de 10 emplois** dans un premier temps.

<b>Emplois</b>	<b>Nombre d'emplois</b>	<b>Taches</b>
Secrétaire	1	Planification des réunions, la gestion des agendas et des communications et être à jour à toute mouvement dans l'entreprise.
Agent commercial et comptable	1	Gestion des ventes et la négociation des contrats, la facturation, la gestion des comptes clients et fournisseurs.
Ingénieur en science de la mer	1	Etude du site.
Ingénieur en mécanique énergétique	1	Etude conception et simulation des modèles.
Ingénieur en électrotechnique	1	Etude des équipements électriques.
Ingénieur en informatique et programmation	1	Gérer les outils et les en pannes informatiques.
Assistants des ingénieurs pour chaque spécialité	4	Aide les ingénieurs à faire leurs taches.
Femme de manages	1	Assurer la propreté dans l'entreprise.
Agent de Sécurité	2	Assurer la sécurité et la bonne conduite d'entreprise.

**Tableau 7 : Besoin des emplois et leurs taches**

Notre entreprise cherche à développer ses services à long terme en créant un département qui garantit la fabrication et l'installation des machines, ainsi que d'autres départements spécialisés dans l'étude et l'exploitation d'autres énergies renouvelables, ainsi qu'en établissant des succursales dans toutes les zones côtières pour livrer le service jusqu'au point le plus éloigné, ce qui garantit à son tour la création de davantage d'emplois et un plus grand développement économique et énergétique dans la région.

## 5. Plan financier

### 5.1. Le cout de projet

Besoin	Nombre	Prix (DZD)
<b>matériels bureautique</b>		
Bureaux	7	350000
Climatiseurs	2	80000
Chaises	15	300000
Tables	5	150000
Papiers/Registres	12 ram	50000/an
Stylos	1000	20000/an
<b>Totale</b>		<b>950000 DZD</b>
<b>matériels informatique</b>		
Des Ordinateurs	7	840000
Des Imprimant scanaires	3	120000
Logiciels	Plus de 5	/
<b>Totale</b>		<b>960000 DZD</b>
<b>Autres</b>		
Loyer	1	600000/an
Dossier Administratif	/	800000
Equipement sanitaires	2	90000/an
<b>Totale</b>		<b>1490000 DZD</b>
<b>Les Abonnements</b>		
Electricité/Eau	/	40000
Abonnement internet	/	20000
<b>Totale</b>		<b>60000 DZD/an</b>
<b>Commerciale</b>		
Publicité/Promotion	/	240000
Création de site et une plateforme de vente pour l'entreprise	/	30000
<b>Totale</b>		<b>270000 DZD/an</b>
<b>Ressources Humaines</b>		
<b>Poste</b>	<b>nombre</b>	<b>Les salaires</b>
Secrétaire	1	420000
Agent commercial et comptable	1	480000
Ingénieur en science de la mer	1	570000
Ingénieur en mécanique énergétique	1	570000
Ingénieur en électrotechnique	1	570000
Ingénieur en informatique	1	570000
Assistants des ingénieurs pour chaque spécialité	4	2160000
Femme de manages	1	360000
Agent de Sécurité	2	840000
<b>Totale</b>		<b>6540000 DZD/an</b>
<b>La sous-traitance (Par demande)</b>		
Atelier de mécanique	/	40000000
Sonalgaz	/	20000000

<b>Totale</b>	<b>60000000 DZD/an</b>
<b>TOTALE</b>	<b>70270000 DZD</b>

**Tableau 8 : Le cout de projet**

## 5.2. Les Amortissement

<b>Les Besoins</b>	<b>Prix</b>	<b>Durée de vie (ans)</b>	<b>Amortissement par an</b>
<b>Equipement bureautique</b>	880000	20	44000
<b>Equipement Informatique</b>	960000	10	96000
<b>Equipement sanitaire</b>	90000	15	6000
<b>Total des amortissements</b>			<b>146000 DZD/an</b>

**Tableau 9 : Les amortissements**

## 5.3. Les charges de projet

<b>Les charges de projet de la premier Année</b>	
<b>Les charges fixes</b>	
Charge des Salaires	6540000
Les amortissements	146000
Loyer	600000
Dossier Administratif	800000
<b>Totale des CF</b>	<b>8086000 DZD/an</b>
<b>Les charges variables</b>	
Charges de recherches et développement	1000000
Charge de la sous-traitance (Par demande)	60000000
Autres Charges (Papiers Stylos, les abonnements, commerciale)	400000
<b>Totale des CV</b>	<b>61400000 DZD/an</b>
<b>Totale des charges</b>	<b>69486000 DZD/an</b>

**Tableau 10 : Les charges fixes et les charges variables**

## 5.4. Les ventes prévisionnelles pour une année

	<b>Le mois</b>	<b>JAN</b>	<b>FAB</b>	<b>MAR</b>	<b>AVR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JULY</b>	<b>AUG</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>
<b>Vente des machines</b>	<b>La quantité</b>	5	6	6	8	14	18	20	15	16	15	12	10
	<b>Le totale</b>	5	11	17	25	39	57	77	92	108	123	135	<b>145/an</b>

<b>Location des machines</b>	<b>La quantité</b>	4	4	7	6	8	12	16	20	10	12	11	10
	<b>Le totale</b>	4	8	15	21	29	41	57	77	87	99	110	<b>120/an</b>
<b>Vente d'abonnement d'électricité</b>	<b>N°.C</b>	11	14	20	23	28	30	30	34	36	36	38	40
	<b>Le totale</b>	11	25	45	68	96	126	156	199	235	271	309	<b>349/an</b>
<b>Vente de service d'étude de site</b>	<b>N°.étude</b>	3	5	4	2	4	6	7	9	5	4	8	7
	<b>Le totale</b>	3	8	12	14	18	24	31	40	45	49	57	<b>64/an</b>
<b>Vente de service de conception et simulation</b>	<b>N°.étude</b>	3	1	4	2	3	5	9	10	5	4	8	9
	<b>Le totale</b>	3	4	8	10	13	18	27	37	42	46	54	<b>63/an</b>

**Tableau 11 : Les ventes prévisionnelles pour une année**

## 5.5. Prix de Vente

<b>Service</b>	<b>Vente de machine</b>	<b>Location De machine</b>	<b>Vente d'abonnement d'électricité</b>	<b>Service d'étude de site</b>	<b>Service de conception et simulation</b>
<b>Prix de vente</b>	<b>550000 DZD</b>	<b>150000 DZD/an</b>	<b>2DZD/KW</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Pour une consommation moins de 600KW</b></li> </ul> <b>4.2DZD/KW</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Pour une consommation entre 601_4000KW</b></li> </ul> <b>6DZD/KW</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Pour une consommation plus de 4000 KW</b></li> </ul>	<b>60000 DZD</b>	<b>80000 DZD</b>

**Tableau 12 : Le Prix De Vent**

## 5.6. Le chiffre d'affaires

Quantité x Le prix de vente

Service	Vente de machine	Location De machine	Vente d'abonnement d'électricité	Service d'étude de site	Service de conception et simulation
Qn	145/an	120/an	349/an	64/an	63/an
Prix de vente	550000	150000DZD/an	MOY=40000DZD/an	60000 DZD	80000 DZD
C.A/an	79750000	18000000	13960000	3840000	5040000
<b>C.A TOTALE</b>					<b>120590000DZD/an</b>

Tableau 13 : Le Chiffre D'affaires

**5.7. Bénéfice net = CA – CT = 51104000 DZD/an**

## 5.8. Rentabilité

Chiffres d'affaires	120 590 000,00
Charges Variables	61 400 000,00
La marge des CV	59 190 000,00
Charges Fixe	8 086 000,00
Résultats	51 104 000,00
Seule de rentabilité CA	16 473 910,12
Seule de rentabilité Jr	50

Tableau 14 : La Rentabilité

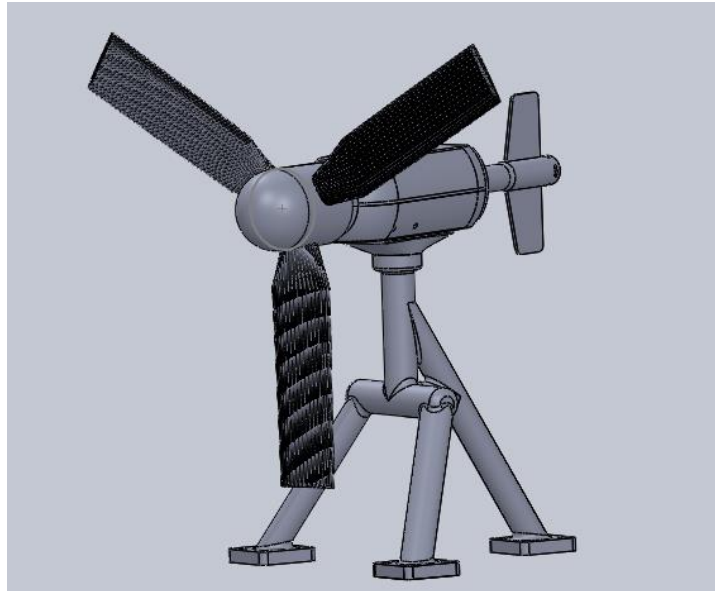
## 5.9. Prévision pour les 3 ans

	1er Année	2éme Année	3éme Année
C.F	8086000	8086000	8086000
C.V	61400000	58400000	66400000
C.T	69486000	66486000	74486000
C.A	120590000	100090000	130000000
Bénéfice net	51104000	33604000	55514000

Tableau 15 : Prévisions pour 3 Ans

## 6. Le prototype expérimental

Dans cet axe on vous représente notre prototype réalisée qui est une hydrolienne à axe horizontale qui a une forme inspiré de l'hydrolienne **SABELLA D10**, et qui consiste un équipement de haute performance, qui est bien démontré dans notre PFE. Cette machine est destinée au Client simple (B TO C)



**Figure 100 : Prototype expérimentale d'une hydrolienne a axe horizontale (HydroMed)**

**HydroMed** : peut fournir une puissance électrique entre **6.32** et **631.989 Watt**.

Avec **632 watts**, on peut alimenter des appareils électroménagers et électroniques courants, des outils bricolage légers, et plusieurs sources d'éclairage simultanément. C'est une puissance suffisante pour des tâches quotidiennes dans un foyer.

**Voici quelques exemples :**

**Électroménagers :**

- Un mixeur ou un blender.
- Une cafetière électrique.
- Un petit aspirateur.
- Un fer à repasser à basse consommation.
- Une mijoteuse.

**Électronique :**

- Un ordinateur portable.
- Un téléviseur LED de petite à moyenne taille (jusqu'à environ 32 pouces).
- Un routeur Wi-Fi et d'autres équipements de réseau.
- Un petit système de haut-parleurs pour ordinateur.
- Une console de jeux vidéo (comme une PlayStation ou une Xbox).

**Éclairage :**

- Plusieurs ampoules LED ou fluorescentes compactes.
- Un ensemble de luminaires pour une pièce.

### Outils électriques :

- Une perceuse électrique légère.
- Une petite ponceuse.
- Un pistolet à colle.

### Appareils de cuisine :

- Un grille-pain.
- Une bouilloire électrique.
- Un mini-réfrigérateur.
- Un batteur électrique.

### Chauffage et climatisation :

- Un petit radiateur soufflant pour une petite pièce.
- Un ventilateur de table ou sur pied.

### Autres pales d'hydrolienne à axe horizontale en phase d'étude et développement :

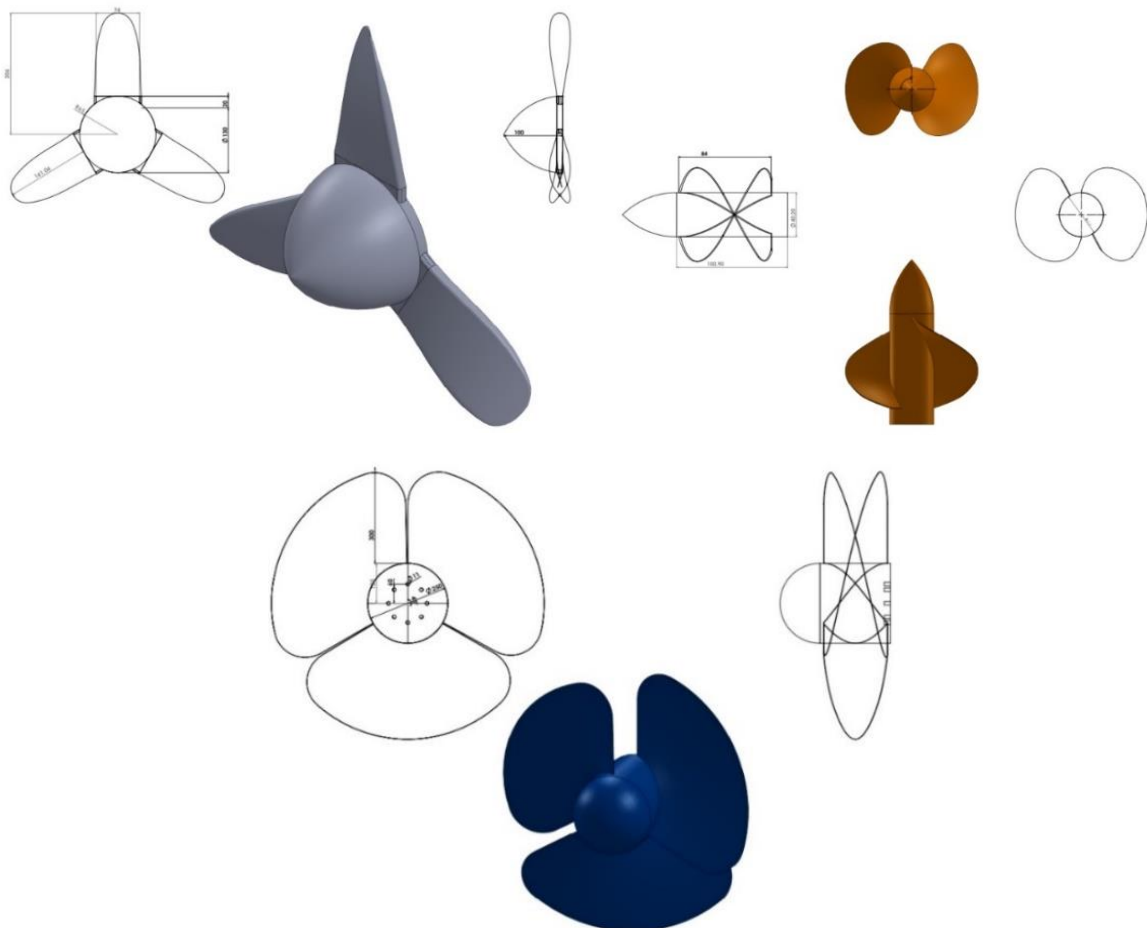
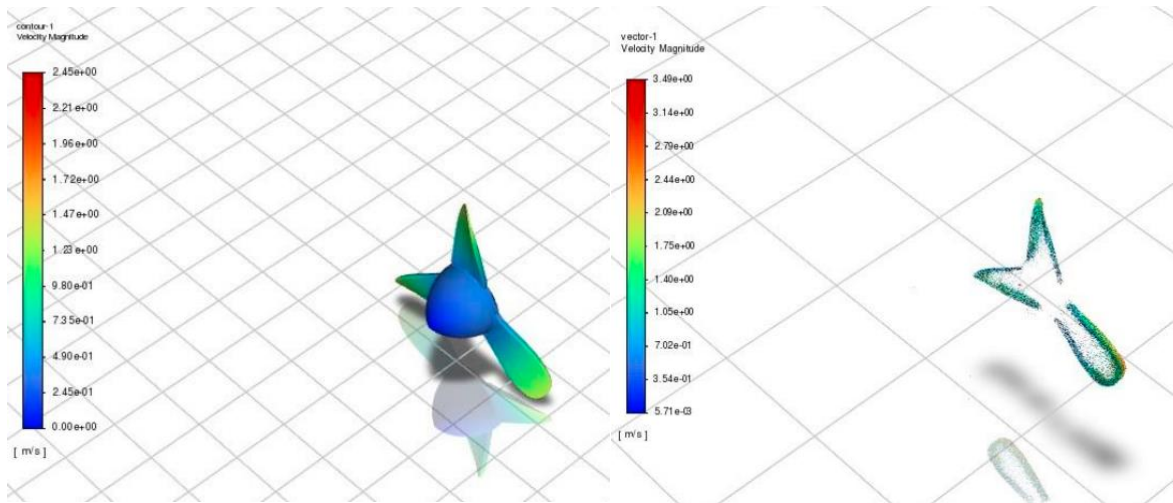


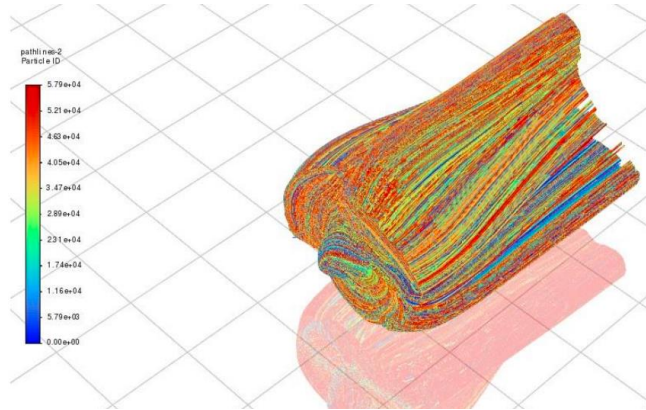
Figure 101 : modèles des pales d'hydrolienne en phase de développement

# Simulation des pales



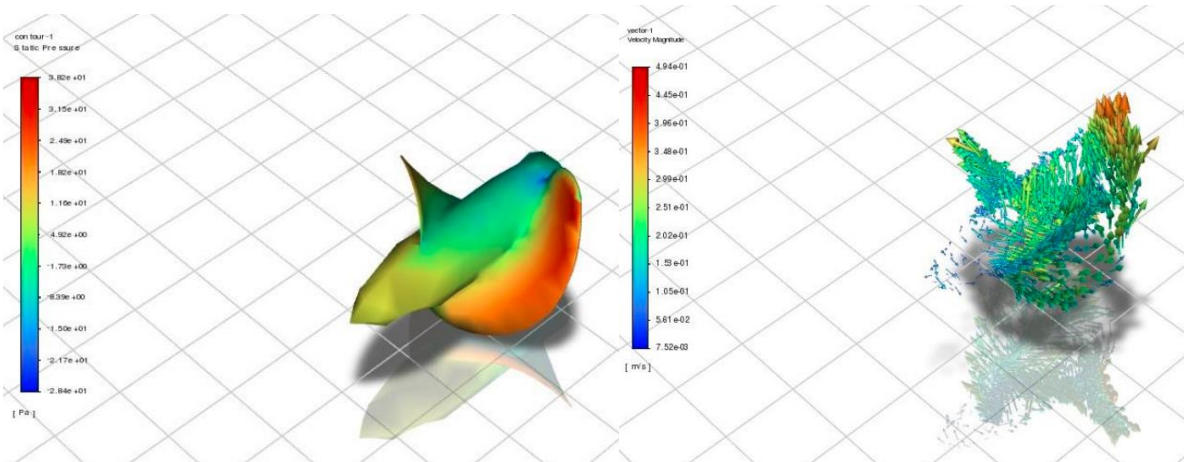
Contour

Vecteur



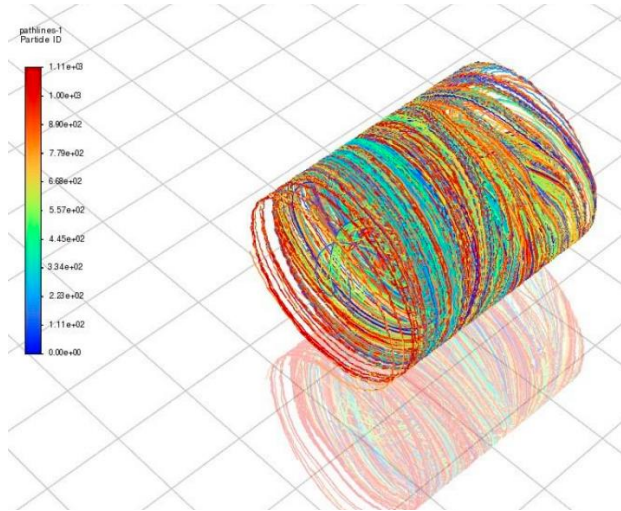
Ligne du chemin du Courant marin

Figure 102 : Simulation Model 1



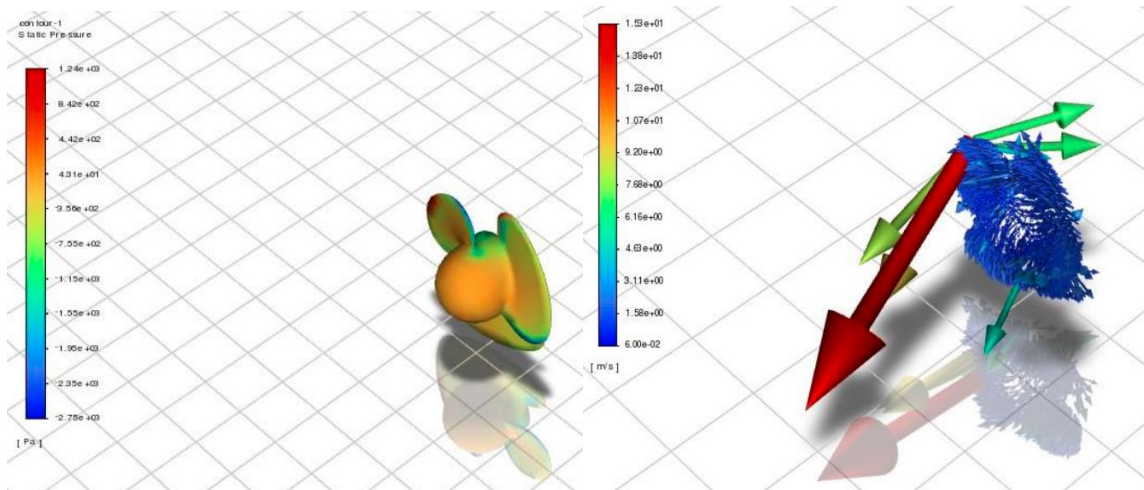
Contour

Vecteur



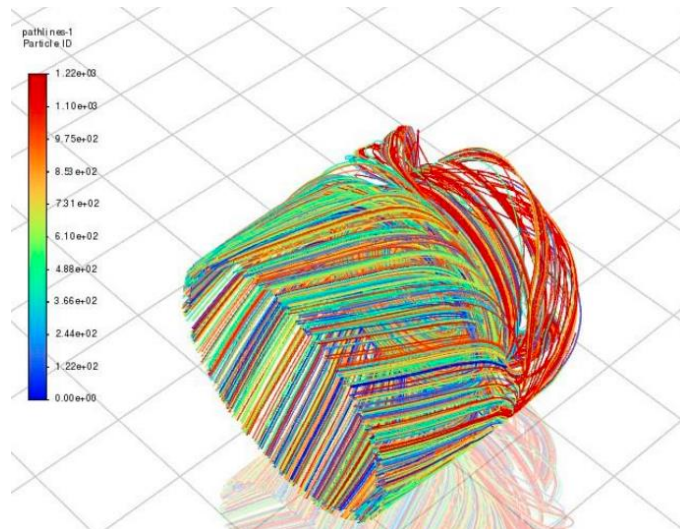
**Ligne du chemin du Courant marin**

**Figure 103 : Simulation Model 2**



**Contour**

**Vecteur**



**Ligne du chemin du Courant marin**

**Figure 104 : Simulation Model 3**

## Business Model Canva

Partenaires Clé	Activités Clé nous assurons	Valeurs Ajoutés	Relation Clients Notre relation client se base sur :	Segment client
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NSF</li> <li>• Les ateliers de fabrication mécanique. (EURL GMDI)</li> <li>• Sonalgaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude de site</li> <li>• Etude et Conception du modelé</li> <li>• Simulation du modelé</li> <li>• La vente et la location des machines</li> <li>• la vente d'abonnement d'électricité</li> </ul> <p><b>A l'aide de nos partenaires clés on assure :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Financement du projet,</li> <li>• La fabrication des machines,</li> <li>• L'installation des machines,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notre entreprise fournit des machines adaptable et de haute qualité de performance,</li> <li>• des simulations précises</li> <li>• un soutien technique complet,</li> <li>• Nous utilisons la technologie avancée pour convertir les énergies de la nature en énergies électrique,</li> <li>• Notre technologie est basée sur une énergie saine et totalement naturelle.</li> <li>• Nos machines servent à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à minimiser l'empreinte carbone et améliorer la santé publique et l'environnement en générale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Offre un service après-vente (support technique 24/7 avec une équipe expert pour assurer une utilisation optimale des machines, des formations d'utilisation des machines)</li> <li>• Offre des garanties et des contrats de maintenance régulière pour prévenir les pannes et prolonge la durée de vie des machines</li> <li>• Mettre en place un portail en ligne ou les clients peuvent accéder à des informations sur leurs machines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gouvernement,</li> <li>• les entreprises de production et d'industries au long de littoral Algérien,</li> <li>• Les développeurs de projets énergétiques et les investisseurs intéressés par l'énergie renouvelable marine en Algérie,</li> <li>• les stations de dessalement et de filtration de l'eau de mer,</li> <li>• les stations d'alimentation électrique pour les véhicules électrique</li> <li>• les hôtels,</li> <li>• Les cabanaux,</li> <li>• Les clubs du sport aquatique,</li> <li>• Les services de la restauration</li> <li>• les parcs de loisirs et d'attraction,</li> </ul>

	<p><b>Ressources Clé</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• matériels informatique puissant et performant</li> </ul> <p><b>Personnel qualifié en :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Télédétection, modélisation, Cartographie d'analyse géo spatiale</li> <li>• mécaniques (conception, Simulation)</li> <li>• électrotechnique</li> <li>• programmation et informatique</li> <li>• commerciale</li> <li>• Des centres de recherches et développement</li> <li>• Des ateliers mécaniques</li> <li>• Des entreprises d'installation électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'énergie récupérée d'après nos machines peut alimenter des capteurs, des objets connectés et d'autres appareils autonomes.</li> <li>• Nos machines visent à l'indépendance énergétique (suffisance énergétique durable et renouvelable).</li> <li>• Nos machines servent à réduire les couts énergétiques à long terme.</li> <li>• Nos prix est très raisonnable par rapport à l'importance et à la qualité du service fourni.</li> </ul>	<p><b>Les Canaux de distribution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les ventes directes</li> <li>• Un réseau de distributeurs et de revendeurs spécialisés dans les équipements marins et les énergies renouvelables,</li> <li>• Etablir des partenariats avec les chantiers navals qui intègrent les machines dans leurs constructions (COSIDER),</li> <li>• Des Publicités et des annonces de vente sur des plateformes commerciales,</li> <li>• Salons, les conférences et les événements, d'industries et d'énergie</li> <li>• Collaboration avec des agences gouvernementales (ministre d'environnement et des énergies renouvelables, ministre d'industrie).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• les ports (de plaisir, de pêche, commerciale...),</li> <li>• les bateaux de pêche et de plaisance,</li> <li>• Les gens qui campent dans des endroits isolés,</li> <li>• des endroits éloignés qui ne sont finalement pas desservis en électricité,</li> <li>• les systèmes de surveillance pour alimenter les capteurs.</li> </ul>
--	--	---	---	---

## **Structure des couts**

**70270000DZD**

## **Sources de revenus**

- Les services d'étude de site
- Les services d'étude et conception des modèles
- Les services de simulation des modèles
- La vente des machines
- La location des machines
- L'abonnement de service d'électricité
- Les contrats de maintenance et suivi
- Les services de publicité sur la plateforme de l'entreprise