

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en  
Sciences de la Mer

Option : Gestion et protection du littoral

Thème :

**Développement d'un SIG-Web pour l'étude et  
l'évaluation des énergies renouvelables marines le  
long du littoral Algérien**

Réalisé par :

LARICHI Abir

Soutenu le 10 / 07 /2024 devant le jury composé de :

M. DAHMANI AEA	Maitre de conférences	Président	ENSSMAL
Mme. SALEM CHRIF	Maitre de conférences	Examinatrice	ENSSMAL
M. MEZOUAR K.	Professeur	Promoteur	ENSSMAL
M. SAF B	Ingénieur géographe	Co-promoteur	Geosystem Consult

Année universitaire : 2023 - 2024

# Remerciements

*Au terme de ce travail, je remercie **Dieu le Tout-Puissant** de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Je remercie particulièrement mon promoteur **M. MEZOUAR K.** Professeur à l'ENSSMAL, de m'avoir encadré pendant la période de la réalisation de ce travail. Sa disponibilité, malgré ses responsabilités administratives, ses orientations et ses conseils m'ont permis de mener à merveille ce travail. Veuillez trouver ici Monsieur l'expression de ma respectueuse considération et ma profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.*

*Je remercie énormément mon Co-promoteur **M. SAF B,** qui a bien voulu m'accompagner et me guider pour la réalisation de la partie de développement du SIG web. Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien et votre constante bienveillance malgré vos responsabilités professionnelles.*

*C'est avec un grand plaisir que je remercie **Mme. SALEM CHRIF Y.** enseignante à l'ENSSMAL pour avoir pris le temps d'examiner ce travail et de nous faire part de ces retours*

*Je tiens à remercier **M. DAHMANIAEA.,** Maître de conférences à l'ENSSMAL d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance.*

*Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance envers **Mme. MAOUEL,** enseignante à l'ENSSMAL, pour leur accompagnement et leur précieux conseil lors de la réalisation de la partie BMC.*

*Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.*

## Dédicaces

*A mes chers parents, vos sacrifices, votre amour inconditionnel et votre dévouement ont été des moteurs essentiels dans ma réussite. Je ne pourrai jamais assez vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

***Cher papa**, je tiens à vous exprimer toute ma gratitude pour l'amour et le soutien que vous m'avez donné. Vos précieux conseils ont illuminé mon chemin et m'ont guidé vers la réussite. Vous êtes et resterez à jamais le héros de ma vie. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragé à poursuivre mes objectifs. **Chère maman**, je vous remercie infiniment pour votre amour, votre confiance et vos encouragements constants qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs. Votre soutien sans faille a été un pilier essentiel dans mon parcours*

*A mes sœurs, **Ikram, Alaa**, mon frère **Mohamed**, je souhaite exprimer toute ma reconnaissance et mon affection envers vous. Vous êtes bien plus que des membres de ma famille, vous êtes mes compagnons de vie, mes soutiens indéfectibles et mes meilleurs amis*

*À toi Mr **Saf Brahim**, ta présence à mes côtés a été un véritable soutien. Ton écoute attentive, tes encouragements constants et ton soutien inconditionnel ont été essentiels pour traverser les moments les plus difficiles de ce parcours. Merci d'avoir toujours été là pour moi et d'avoir été un pilier solide dans ma vie.*

*À ma chère cousine **Chaïma**, je te remercie du fond du cœur d'avoir toujours été à mes côtés, de m'avoir soutenu et encouragé dans les moments les plus difficiles. Ta présence et ton soutien ont été d'une valeur inestimable tout au long de ce parcours.*

*À ma meilleure amie **Roumaïssa**, je veux te dire combien notre amitié est précieuse pour moi. Nos moments partagés et notre complicité ont rendu les défis plus légers à surmonter. Merci d'être une amie aussi spéciale.*

## **Table des matières**

Remerciements .....	I
Dédicaces.....	II
Table des matières .....	II
<b>Liste des figures</b> .....	<b>VII</b>
Liste des tableaux .....	X
Introduction Générale.....	2
Chapitre I. Généralistes .....	4
1 Hydrodynamique.....	4
1.1 Les phénomènes hydrodynamiques .....	4
1.1.1 La houle.....	4
1.2 Génération et évolution de la houle.....	5
2 Les énergies renouvelables : .....	6
2.1 Énergie hydrolienne : .....	7
2.2 Énergie marémotrice : .....	7
2.3 Énergie houlomotrice : .....	7
Chapitre II. Présentation de la zone d'étude .....	9
1 Situation Géographique de la zone d'étude : .....	9
2 Données climatologiques de la zone d'étude : .....	10
2.1 Climat de la houle : .....	10
2.1.1 La baie d'Annaba : .....	10
2.1.2 La baie d'Oran :.....	20
2.1.3 La baie de Bejaïa :.....	12
2.1.4 La baie de Bou Ismaïl : .....	18
2.1.5 La baie de Zemourri : .....	14
2.1.6 La baie d'Alger : .....	16
2.1.7 La baie de Mostaganem : .....	22
2.2 Climat de vent : .....	24
2.2.1 La baie d'Annaba : .....	24
2.2.2 La baie d'Oran : .....	34
2.2.3 La baie de Bejaïa : .....	26

2.2.4	La baie de Bou Ismaïl :	30
2.2.5	La baie de Zemourri :	28
2.2.6	La baie d'Alger :	30
2.2.7	La baie de Mostaganem :	36
Chapitre III. Analyse des évènements extrême .....		39
Introduction :		39
1	Théorie des valeurs extrêmes :	40
2	Méthode Peaks Over Threshold (POT):	40
Conclusion :		51
Chapitre IV Modélisation numérique.....		53
1	Présentation du modèle :	53
1.1	Mesh Generator :	53
1.2	Coupled model FM :	53
2	Les modules du modèle Mike21 :	54
2.1	Mike SW : Houles Spectrales.....	54
2.2	Mike HD : Hydrodynamique.....	56
3	Données bathymétriques d'entrées :	58
4	Maillage et Bathymétrie résultante :	58
4.1	Le maillage :	58
4.2	La bathymétrie :	62
5	Présentation et interprétation des résultats :	68
5.1	La baie d'Annaba :	68
5.2	La baie de Bejaïa :	70
5.3	La baie de Zemourri :	72
5.4	La baie d'Alger :	75
5.5	La baie de Bou Ismaïl :	78
5.6	La baie d'Oran :	81
5.7	La baie de Mostaganem :	84
Chapitre V : Identification des zones à fort potentiel énergétique.....		88
Introduction :		88
1	Choix des Critères de Sélection .....	88
1.1	Critères pour l'Énergie hydrolienne :	88
1.2	Critères pour l'Énergie Houlomotrice :	88

Retours d'expérience sur les projets existants .....	89
2 Importation et Traitement des Données .....	89
3 Interprétation des résultats : .....	91
Chapitre VI : Développement web Cartographique .....	94
Introduction : .....	94
VI .1 GEODATABASE : .....	94
1 Présentation générale de la GEODATABASE : .....	94
2 Organisation et structuration de la GEOSATABASE : .....	94
2.1 Présentation du schéma « Energie renouvelable » : .....	95
3 Accès à la GEODATABASE : .....	96
3.1.1 Accès à La GEODATABASE à Travers Pgadmin / Postgresql : .....	97
3.1.2 Accès à La GEODATABASE à Travers QGis: .....	98
4 Codifications des données : .....	99
5 Code SQL pour la génération de la structure de la GEODATABASE : .....	100
VI.2 Développement web cartographique : .....	101
Introduction : .....	101
1 Logiciel utilisé : .....	101
1.1 Wampserver : .....	101
1.2 Visual Studio Code (VS Code) : .....	101
1.3 Apache : .....	102
2 Langage utilisé : .....	102
2.1 HTML (HyperText Markup Language) : .....	102
2.2 JavaScript : .....	103
2.3 PHP (Hypertext Preprocessor) : .....	103
3 Méthode de travail : .....	103
4 Présentation du portail : .....	104
4.1 Fonctionnalités : .....	105
Conclusion générale : .....	107
Référence bibliographique : .....	108
<b>Annexes</b> .....	<b>63</b>

## Liste des figures

Figure N° 1: Caractéristiques générales de la houle .....	4
Figure N° 2: Illustration du phénomène de réfraction de la houle (thèse doctorat de Nicolas JARRY).....	6
Figure N° 3: Situation géographique de sept Baies le long du littoral Algérienne. (Basemap ArcGis 2024).....	9
Figure N° 4: Spectre de la hauteur de la houle de la baie d'Annaba. ....	10
Figure N° 5: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie d'Annaba. ....	11
Figure N° 6: Spectre de la hauteur de la houle de la baie d'Oran. ....	20
Figure N° 7: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie d'Oran.....	21
Figure N° 8: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Bejaïa. ....	12
Figure N° 9: Roses des houles annuelles et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie de Bejaïa. ....	13
Figure N° 10: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Bou Ismaïl. ....	18
Figure N° 11: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bou Ismaïl .....	19
Figure N° 12: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Zemourri. ....	14
Figure N° 13: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992-2019 de la baie de Zemourri.....	15
Figure N° 14: Spectre de la hauteur de la houle de la baie d'Alger.....	16
Figure N° 15: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Alger (Mémoire Alem, Saf).....	17
Figure N° 16: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Mostaganem. ....	22
Figure N° 17: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Mostaganem. ....	23
Figure N° 18: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Annaba. ....	24
Figure N° 19: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Annaba.....	25
Figure N° 20: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Oran. ....	34
Figure N° 21: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Oran.....	35
Figure N° 22: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Bejaïa. ....	26
Figure N° 23: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bejaïa.....	27
Figure N° 24: Figure N° 24: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Bou Ismaïl.....	32
Figure N° 25: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bou Ismaïl .....	33
Figure N° 26: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Zemourri. ....	28
Figure N° 27: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Zemourri.....	29
Figure N° 28: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Alger. ....	30

Figure N° 29: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Alger. (Mémoire Alem, Saf). .....	31
Figure N° 30: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Mostaganem.....	36
Figure N° 31: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Mostaganem. ....	37
Figure N° 32: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelles de chaque baie. ....	41
Figure N° 33: Représentation des valeurs dépassant le seuil dans chaque baie.....	42
Figure N° 34: Estimation des événements extrêmes pour chaque baie.....	43
Figure N° 35: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Annaba.....	44
Figure N° 36: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Bejaïa. ....	45
Figure N° 37: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Zemourri. ....	46
Figure N° 38: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Alger. ....	47
Figure N° 39: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Bou Ismaïl. ....	48
Figure N° 40: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Oran. ....	49
Figure N° 41: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Mostaganem. ....	50
Figure N° 42: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Annaba. ....	60
Figure N° 43: Maillage du modèle zoom sur la baie de Bejaïa.....	60
Figure N° 44: Maillage du modèle zoom sur la baie de Zemourri.....	60
Figure N° 45: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Alger.....	60
Figure N° 46: Maillage du modèle zoom sur la baie de Bou Ismaïl. ....	61
Figure N° 47: Maillage du modèle zoom sur la baie de Zemourri.....	61
Figure N° 48: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Oran.....	61
Figure N° 49: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Annaba. ....	66
Figure N° 50: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Bejaïa. ....	66
Figure N° 51: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Zemourri. ....	66
Figure N° 52: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger.....	66
Figure N° 53: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Bou Ismaïl.....	67
Figure N° 54: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Mostaganem.....	67
Figure N° 55: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Oran.....	67
Figure N° 56: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 6.62 m, Tp= 11.66 s).....	69
Figure N° 57: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 6.62 m, Tp= 11.66 s).....	69
Figure N° 58: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 3.27 m, Tp= 8.15 s).....	69
Figure N° 59: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 3.27 m, Tp= 8.15 s).....	69
Figure N° 60: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 7.98 m, Tp= 14.05 s).....	69
Figure N° 61: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 7.98 m, Tp= 14.05s).....	69
Figure N° 62: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 6.56 m, Tp= 12.80 s).....	71

Figure N° 63: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 6.56 m, Tp= 12.80 s).....	71
Figure N° 64: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 2.92 m, Tp= 9.92s).....	71
Figure N° 65: Champs des courants dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 2.92 m, Tp= 9.92s).....	71
Figure N° 66: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 4.07 m, Tp= 10.74). ....	71
Figure N° 67: Champs des courants dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 4.07 m, Tp= 10.74). ....	71
Figure N° 68: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 5.02 m, Tp= 10.51). ....	74
Figure N° 69: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 5.02 m, Tp= 10.51). ..	74
Figure N° 70: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 3.46 m, Tp= 9.68). ....	74
Figure N° 71: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 3.46 m, Tp= 9.68). ....	74
Figure N° 72: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 4.61 m, Tp= 8.71). ....	74
Figure N° 73: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 4.61 m, Tp= 8.71). ....	74
Figure N° 74: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.25 m, Tp= 9.46) .....	77
Figure N° 75: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.25 m, Tp= 9.46).....	77
Figure N° 76: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 3.34 m, Tp= 8.39). ....	77
Figure N° 77: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 3.34 m, Tp= 8.39).....	77
Figure N° 78: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.24 m, Tp= 8.51). ....	77
Figure N° 79: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.24 m, Tp= 8.51).....	77
Figure N° 80: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 4.42 m, Tp= 8.384)..	80
Figure N° 81: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl.(Hs= 4.42 m, Tp= 8.384)..	80
Figure N° 82: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 3.36 m, Tp= 10.84)....	80
Figure N° 83: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 3.36 m, Tp= 10.84)..	80
Figure N° 84: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 5.24 m, Tp= 9.65).....	80
Figure N° 85: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 5.24 m, Tp= 9.65)....	80
Figure N° 86: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.78 m, Tp= 9.17).....	82
Figure N° 87: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.78 m, Tp= 9.17).....	82
Figure N° 88: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.33 m, Tp= 9.18).....	82
Figure N° 89: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.33 m, Tp= 9.18).....	82
Figure N° 90: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 3.67 m, Tp= 8.56).....	82
Figure N° 91: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 3.67 m, Tp= 8.56).....	82
Figure N° 92: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06).....	83
Figure N° 93: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06).....	83
Figure N° 94: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 3.55 m, Tp= 8.76). 85	
Figure N° 95: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 3.55 m, Tp= 8.76).	
.....	85
Figure N° 96: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 4.23 m, Tp= 9.78)..	85
Figure N° 97: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 4.23 m, Tp= 9.78).	
.....	85
Figure N° 98: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem.(Hs= 2.81 m, Tp= 8.23)...	85
Figure N° 99: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem.(Hs= 2.81 m, Tp= 8.23). 85	
Figure N° 100: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06). ....	86
Figure N° 101: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06).....	86
Figure N° 102: Démonstration de l'exportation de résultats de simulation. ....	89
Figure N° 103: Démonstration de la sélection a l'aide des critères.....	90
Figure N° 104: Démonstration de la conversion des données brutes en format (*.shp). ....	90

Figure N° 105: Zones de fort potentiel énergétique " Baie d'Annaba". (Basemap ArcGIS 2024).....	91
Figure N° 106: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Bejaïa ". (Basemap ArcGIS 2024).....	92
Figure N° 107: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Zemourri". (Basemap ArcGIS 2024).....	92
Figure N° 108: Zones de fort potentiel énergétique " Baie d'Alger ". (Basemap ArcGIS 2024) .....	92
Figure N° 109: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Bou Ismaïl". (Basemap ArcGIS 2024).....	92
Figure N° 110: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Zemourri". (Basemap ArcGIS 2024).....	92
Figure N° 111: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Mostaganem". (Basemap ArcGIS 2024) .....	92
Figure N° 112: Modèle Physique de l'organisation de la GEODATABASE. ....	95
Figure N° 113: Présentation du code SQL de la base de données. ....	100
Figure N° 114: Interface de logiciel Visual Code Studio.....	102
Figure N° 115: Présentation du GEOPORTAIL.....	104
Figure N° 116: Exemple sur la fonctionnalité Recherche trait de côte. ....	105

#### **Liste des tableaux**

Tableau 1: Résultat de l'estimation des évènements extrêmes par la méthode POT .....	51
Tableau 2: système Applicatif et fonctionnalités .....	105

# **Introduction Générale**

### Introduction Générale

La mer espace de toutes les conquêtes, la mer dont la maîtrise a toujours fait les puissances de ce monde, révèle et structure depuis peu sa dimension économique intrinsèque et offre à l'humanité une facette insoupçonnée de ses promesses multiples. Jusqu'alors, la mer n'a porté que l'exploitation des ressources halieutiques et des zones de forages permettant d'atteindre les gisements pétrolifères contenus sous la croûte abyssale (Emmanuel Desclèves 2013). La production des énergies constitue un enjeu économique majeur, autant qu'une préoccupation de protection de l'environnement et une promesse sociétale, les trois piliers de ce qui est dénommé le « développement durable ». Des interrogations fondamentales agitent les sociétés, les marchés et les politiques, bloqués entre les lobbies puissants et les prévisions inéluctables sur la raréfaction de ressources fossiles, sur l'incompatibilité entre l'exploitation de l'atome et ses nuisances pour l'humanité. Aussi, la perspective de puiser dans les mers l'énergie dont la planète a besoin dans des conditions acceptables pour tous représente une nouvelle perspective de civilisation durable que nos dirigeants commencent à percevoir (SECRETARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE LA MER ET DE LA BIODIVERSITÉ 2023)

Les énergies marines renouvelables représentent une source d'énergie inépuisable, les océans couvrant 72 % de la planète. Bien que sous-exploitée, cette ressource est disponible dans de nombreux pays, bordés par une mer ou un océan, voire plusieurs comme en Algérie. Les énergies renouvelables marines représentent un secteur en pleine expansion, offrant des solutions durables pour répondre aux besoins énergétiques croissants tout en minimisant l'impact environnemental. (Gaëlle Gueguen-Hallouet et Harold Levrel, 2024)

Le littoral algérien, avec ses vastes étendues côtières et ses conditions marines favorables, présente un potentiel considérable pour le développement de ces énergies. L'intégration des différents modèles numériques et les technologies de Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans l'étude et l'évaluation de ces ressources permet d'optimiser la planification et la gestion des projets énergétiques marins.

Ce projet de fin d'études vise à développer un SIG web pour évaluer et étudier les zones de fort potentiel des énergies renouvelables marines le long du littoral algérien. En exploitant des données climatiques, bathymétriques et des analyses d'événements extrêmes, ce projet propose une approche méthodologique avancée pour la visualisation et la prise de décision en matière d'énergies marines renouvelables.

Le présent mémoire de projet de fin d'études aborde la création d'une application SIG-web pour l'étude et l'évaluation des énergies renouvelables marines le long du littoral algérien. Les chapitres suivants seront explorés :

- **Chapitre I** : Généralités sur l'hydrodynamique et les énergies renouvelable.
- **Chapitre II** : Zone d'étude et les données climatologiques le long du littoral algérien.
- **Chapitre III** : une estimation des événements extrêmes via la méthode POT.
- **Chapitre IV** : détermination de la propagation de la houle via la modélisation numérique.
- **Chapitre V** : identification des zones à fort potentiel houlomotrice et hydrolienne.
- **Chapitre VI** : développement d'une plateforme SIG-web .

# **Chapitre I**

## **Généralités**

## Chapitre I. Généralistes

### 1 Hydrodynamique

Les zones littorales sont des environnements dynamiques et complexes où se produisent de nombreuses interactions entre les agents responsables des différentes circulations hydrodynamiques. Ces derniers vont être brièvement résumés par la suite afin d'avoir les compréhensions de base.

#### 1.1 Les phénomènes hydrodynamiques

La surface de la mer est perturbée par de nombreux phénomènes physiques, tels que l'effet du vent, l'effet du mouvement des fonds marins sur la colonne d'eau causé par les tremblements de terre et les glissements de terrain, l'interaction entre la terre et les astres, ou encore la différence de pression atmosphérique. Les forces mises en jeu déforment la surface libre et provoquent le transfert d'énergie mécanique, qui se manifeste par la formation et la propagation d'ondes. Ce n'est que lorsqu'il existe une force de rappel qui tend à ramener le fluide à sa position d'équilibre, que ces perturbations peuvent osciller. Toutes les vagues qui existent dans la mer sont soumises à diverses forces de restauration, notamment la gravité, la force de Coriolis, la tension superficielle et la compressibilité des fluides.

On distingue donc les forces génératrices (forces éoliennes, tectoniques, astronomiques...) qui contribuent à la déformation de la surface libre des océans, et les forces de rappel qui permettent leur propagation. La diversité de ces phénomènes entraîne ainsi pour l'ensemble des oscillations, une plage de périodes possibles extrêmement large. (Jarry 2009).

##### 1.1.1 La houle

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulation ou de vagues en quittant leur zone de génération (fetch).

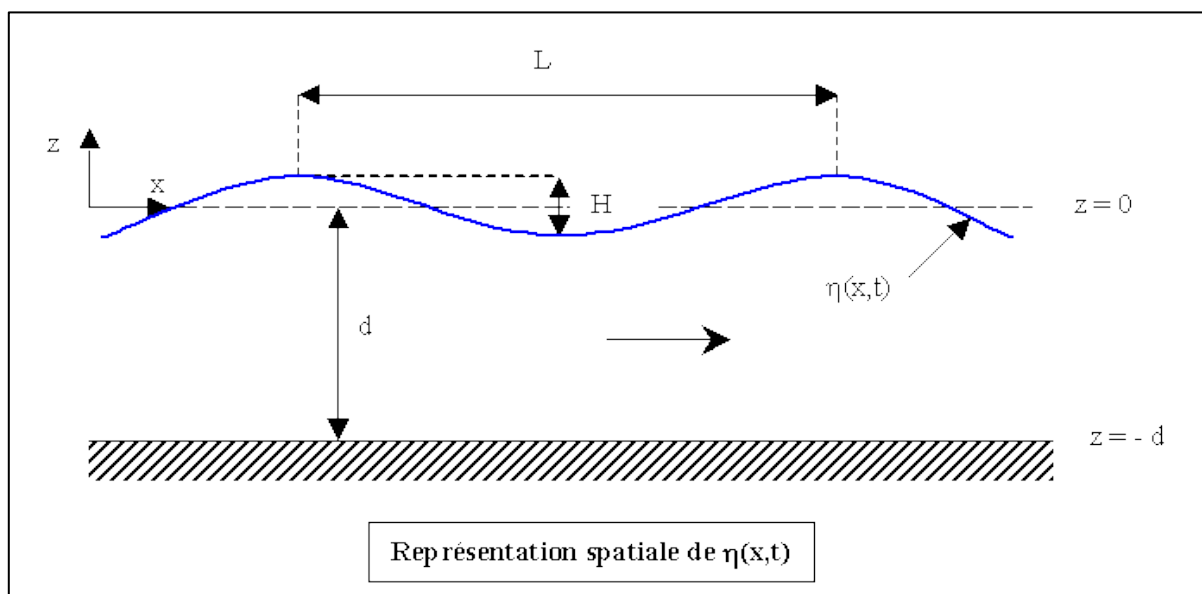


Figure N° 1: Caractéristiques générales de la houle

Avec :

H : amplitude

L : longueur d'onde

T : période

d : Profondeur

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  Fréquence angulaire

$k = \frac{2\pi}{L}$  Nombre d'onde

## 1.2 Génération et évolution de la houle

Les vagues grandissent selon le fetch, la vitesse et la durée du vent. Elles continuent de grandir tant que sa célérité d'onde ne dépasse pas celle du vent. Dans le cas contraire, elle déferle au large en « mouton » (Hamon 2014). Lorsque les vagues sont en formation et observées dans la zone de génération par le vent elles correspondent à “la mer de vent” : elles présentent un fort étalement directionnel, leurs hauteurs sont souvent irrégulières et leurs périodes comprises entre 2 et 8 s. Après leur formation, les vagues sont amenées à quitter la zone de génération et à se propager : elles présentent alors un aspect plus ordonné et leurs crêtes tendent à être parallèles entre elles et leurs périodes caractéristiques sont de l'ordre de 9 à 25 s. Ces vagues, nommées “houle océanique”, peuvent traverser les océans.

La houle créer sous l'action du vent sur la surface de la mer formant des ondulations qui se propagent du large (du point de leur formation) vers les côtes et cela sous différents aspects causés par des déformations résultant de la variation des profondeurs, les courants marins ainsi que les différentes directions du vent.

La houle subisse des déformations en fur et à mesure de sa propagation dont certains sont relatif à des phénomènes physiques entrants en jeu :

- Shoaling : Désigne la modification des caractéristiques de la houle du fait de la variation de la profondeur, indépendamment des changements de direction qu'elle pourrait subir.
- Réfraction de la houle : L'effet de la friction au fond est plus complexe car il dépend de la nature du fond, généralement variable et dont la topographie à l'échelle de quelques mètres est façonnée par l'action des vagues.

Le frottement au fond affecte les vagues seulement lorsqu'elles sont en eau suffisamment peu profonde (dès que la vitesse n'est pas nulle au fond). Cela implique que le frottement agit de façon préférentielle sur les basses fréquences du spectre d'énergie (André 2021).

Lorsque la houle cylindrique se propage par des profondeurs variables, sa longueur d'onde, son amplitude et sa direction subissent des modifications, alors que sa période reste constante.

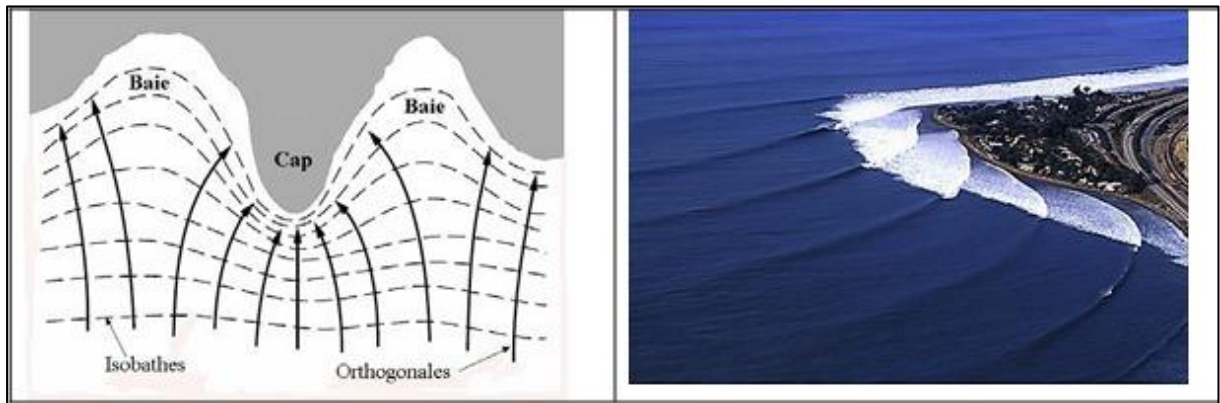


Figure N° 2: Illustration du phénomène de réfraction de la houle (thèse doctorat de Nicolas JARRY)

- **Diffraction** : Le passage de la houle à travers une passe ou à proximité d'une digue unique entraîne la rotation des crêtes et une réduction de l'amplitude par diffraction ; d'une façon générale l'amplitude des vagues décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne des musoirs et des digues, dans l'ombre géométrique de la houle incidente. La longueur d'onde et la période ne sont pas modifiées par la diffraction (Chapon 1984).
- **Réflexion de la houle** : Lorsque la houle atteint une paroi verticale, elle se réfléchit en formant un système d'ondes stationnaires appelé « clapotis » ; l'amplitude de ces ondes est sensiblement le double de celle de la houle incidente, leur longueur d'onde et leur période restant celles de la houle incidente (Chapon 1984).
- **Déferlement de la houle** : Lorsque la houle atteint une côte inclinée, la cambrure des lames augmente jusqu'au déferlement qui se traduit par un effondrement de la vague avec formation d'un bouillonnement (écume) sur la face antérieure ; sur un fond à faible pente, les lames déferlantes progressent sans perdre beaucoup de leur symétrie, en produisant vers la crête un point anguleux de l'ordre de  $120^\circ$  qui dépasse le niveau de repos des  $\frac{3}{4}$  de l'amplitude (Chapon 1984).

## 2 Les énergies renouvelables :

Toutes les installations présentes en mer et qui exploitent une ressource énergétique renouvelable liée à la mer, telle que définie par le droit international, peuvent entrer dans la catégorie des énergies marines renouvelables. L'énergie hydrolienne qui utilise l'énergie cinétique des courants marins issus des marées pour actionner des turbines généralement sous-marines ; l'énergie marémotrice qui exploite l'énergie des marées en utilisant le différentiel de niveau entre haute et basse mer : ou encore, le houlomoteur qui exploite l'énergie mécanique des vagues et de la houle formée par l'effet du vent soufflant sur la surface de l'océan. Certaines technologies sont toujours à l'étude comme les installations exploitant l'énergie thermique des

mers tirant de l'énergie de la différence de température entre les eaux superficielles des océans et les eaux profondes ou encore l'énergie osmotique (ou gradient de salinité) utilisant le phénomène de la pression osmotique. Et enfin, l'énergie éolienne qui à l'instar de sa cousine terrestre, fonctionne grâce à l'énergie du vent (Bonfils 2022).

### **2.1 Énergie hydrolienne :**

L'énergie hydrolienne offshore désigne l'exploitation des courants marins pour produire de l'électricité à l'aide de turbines sous-marines placées dans des zones de forts courants. Ces turbines sont conçues pour capturer l'énergie cinétique de l'eau en mouvement, transformant ce flux en rotation mécanique qui est ensuite convertie en électricité par un générateur électrique. L'installation des turbines peut se faire soit par ancrage au fond marin à l'aide de structures fixées au sol, soit par des systèmes flottants adaptés aux eaux plus profondes. L'énergie hydrolienne offshore offre un potentiel significatif en termes de prévisibilité et de disponibilité continue, complétant ainsi le mix énergétique avec une source d'énergie propre et renouvelable (Thierry 2018).

### **2.2 Énergie marémotrice :**

L'énergie marémotrice est une forme d'énergie renouvelable obtenue en exploitant les variations périodiques du niveau de la mer dues aux mouvements gravitationnels de la Lune et du Soleil. Les installations marémotrices captent cette énergie en utilisant des barrages ou des estacades pour créer des bassins de retenue. Lorsque la marée monte, l'eau est retenue dans ces bassins. Lorsque la marée descend, l'eau est libérée à travers des turbines hydroélectriques, générant ainsi de l'électricité. Les principaux types de systèmes marémoteurs incluent les installations à barrage, les systèmes à estacades et les dispositifs à flux oscillant. L'énergie marémotrice est une source d'énergie renouvelable prévisible et fiable, caractérisée par des cycles réguliers qui permettent de planifier la production d'électricité (Bonnefille 1976).

### **2.3 Énergie 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. 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 (Nicolae Lerma et al. 2014).

# **Chapitre II**

## **Présentation de la zone d'étude**

## Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

### 1 Situation Géographique de la zone d'étude :

Le littoral algérien, où s'est déroulée notre étude, s'étend d'ouest en est sur environ 1622 km, bordant le bassin occidental de la Méditerranée. Il se trouve entièrement au sud du 36ème parallèle près de la frontière marocaine, tandis qu'il est entièrement au nord du 36ème parallèle à la frontière tunisienne, entre 2,2° Ouest et 8,5° Est.

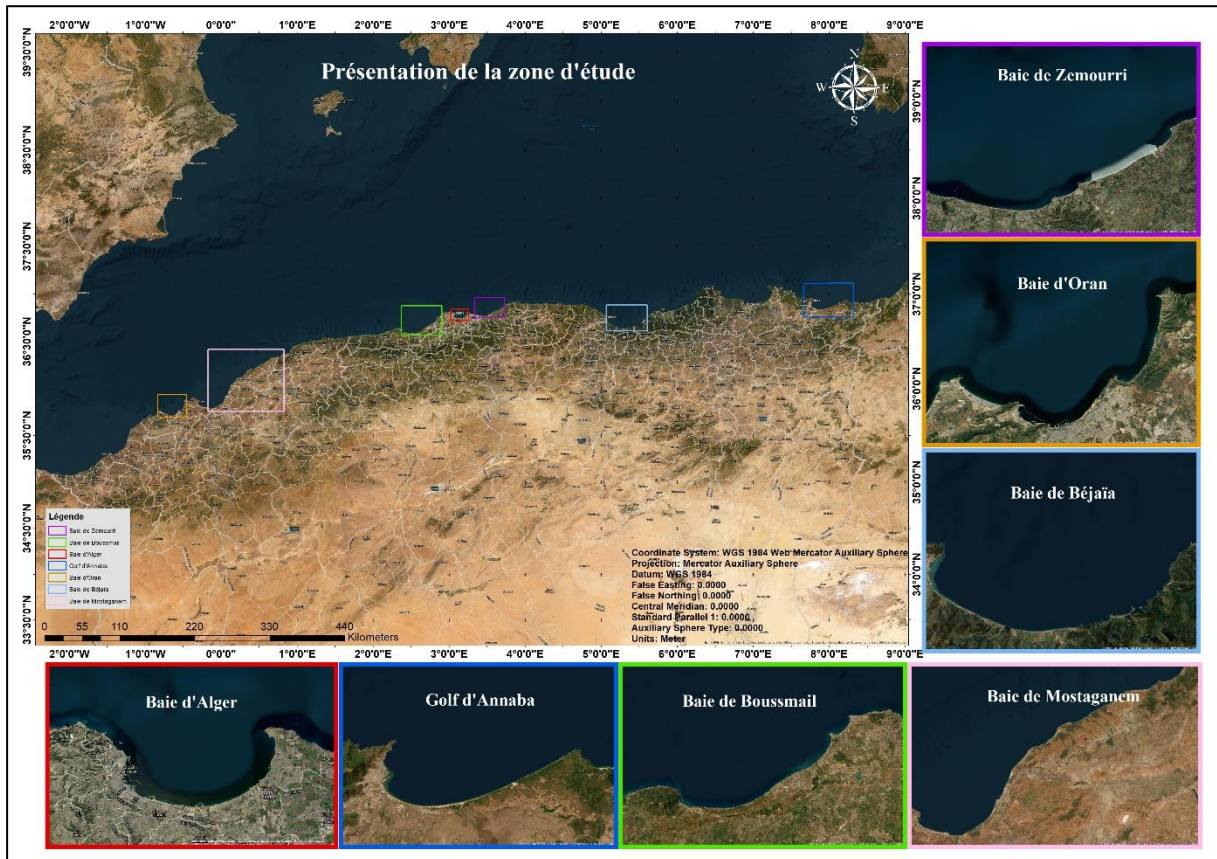


Figure N° 3: Situation géographique de sept Baies le long du littoral Algérien. (Basemap ArcGis 2024).

Cette région côtière présente une alternance de côtes rocheuses et de plages sablonneuses, avec une succession de baies plus ou moins ouvertes séparées par des régions très escarpées. De l'ouest à l'est, les principales baies et golfs sont les suivants : le golfe d'Oran, la baie de Boussmail, la baie d'Alger, la baie de Zemmouri, le golfe de Bejaïa, la baie de Mostaganem et le golfe d'Annaba.

## 2 Données climatologiques de la zone d'étude :

### 2.1 Climat de la houle :

Toutes les analyses des vagues ont été réalisées en utilisant la base de données Wave Climate extraite d'Infoplaza. Pour examiner le climat des vagues dans notre zone d'étude, nous avons opté pour l'utilisation des variables les plus caractéristiques de la houle, notamment :

- $H_s$  : La Hauteur significative de la houle en mètre (m).
- $T_p$  : La période pic de la houle en seconde (s).
- $H_{sd}$  : La direction de la houle en degré (°).

Cette base de données traitée est composée de 87 664 enregistrements de variables pour chaque fichier Excel, couvrant la période allant du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2019. Ces

Enregistrements sont effectués toutes les 3 heures et concernent l'analyse du climat des vagues pour les 7 wilayas mentionnées précédemment.

#### 2.1.1 La baie d'Annaba :

Les résultats de l'analyse des houles pour la Baie d'Annaba, basés sur les enregistrements de WaveClimate.com de 1992 à 2020, révèlent des schémas saisonniers distincts. En période hivernale, la direction Nord-Ouest est la plus virulente, avec une hauteur de houle autour de 7 m. En automne, les houles du Nord-Ouest persistent, avec une hauteur de houle entre 6 et 7 m, En été, les houles sont principalement de secteur Nord avec une hauteur entre 3 et 4 m, indiquant des conditions relativement plus calmes comparées aux autres saisons.

Au printemps, la direction du Nord-Ouest reste dominante, bien que légèrement diminuée avec une hauteur de houle de 5 et 6 mètres

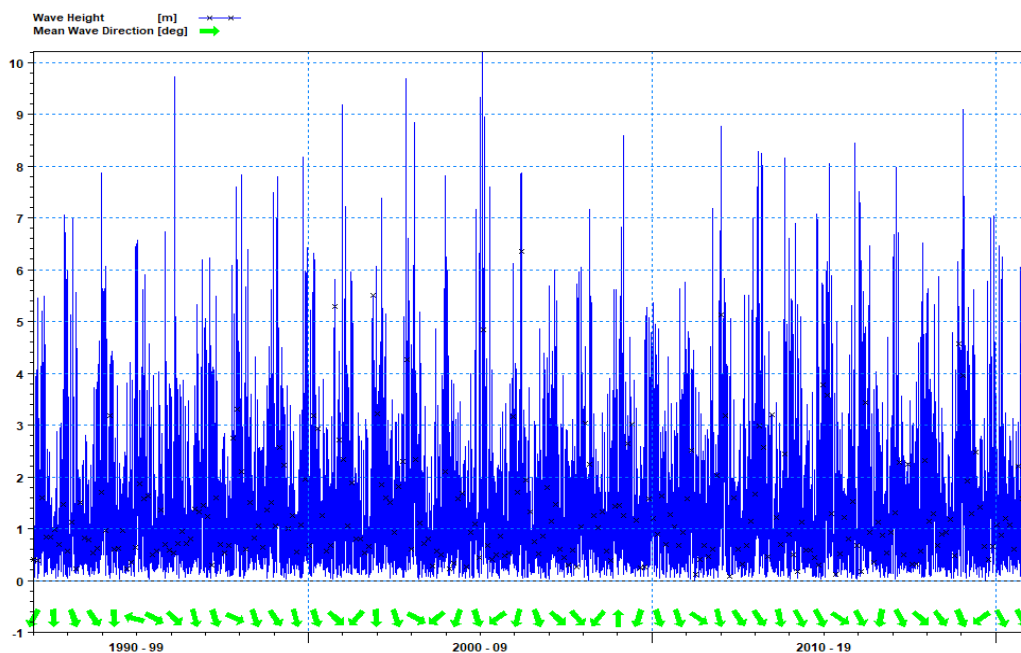


Figure N° 4: Spectre de la hauteur de la houle de la baie d'Annaba.

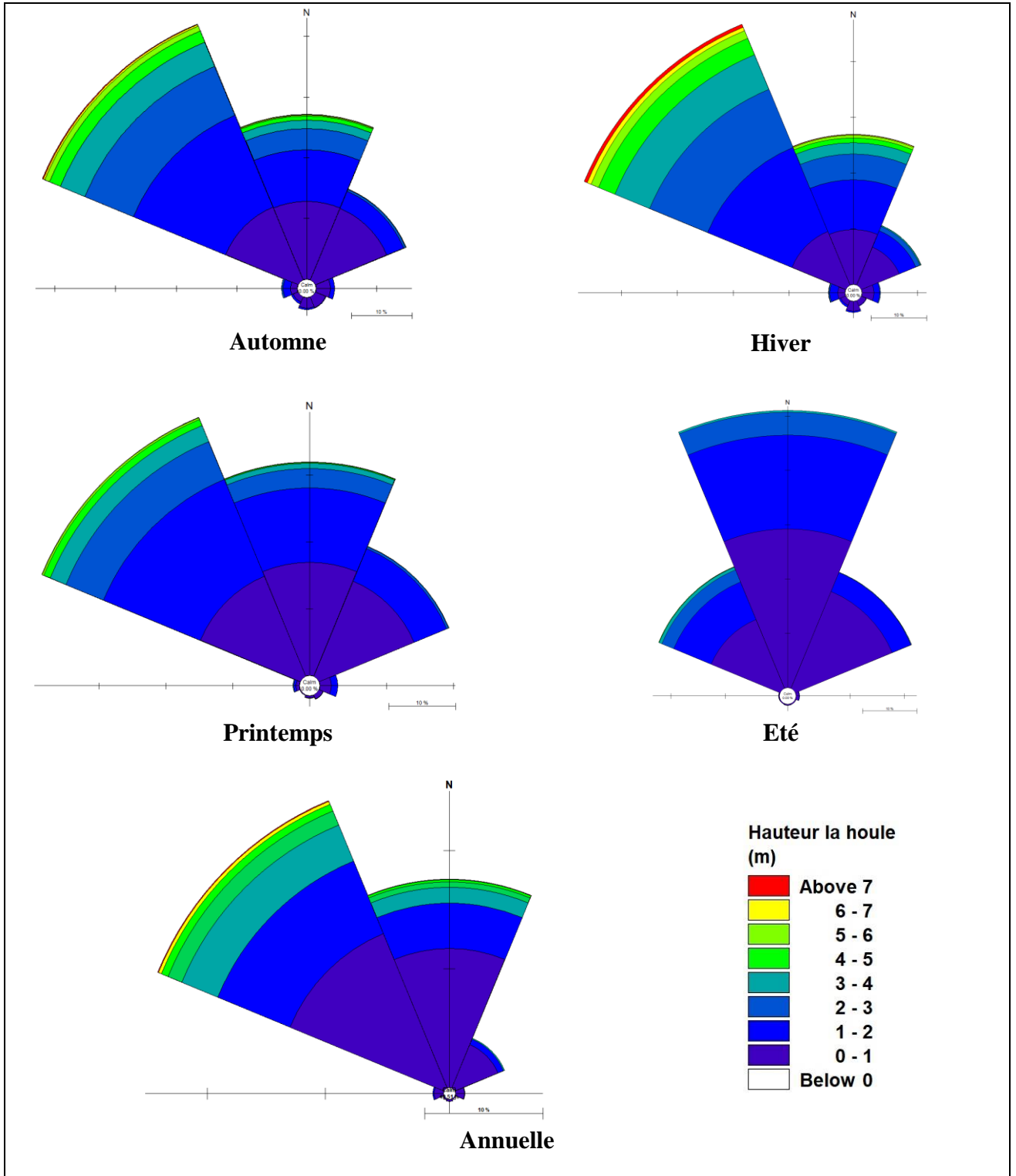


Figure N° 5: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie d'Annaba.

### 2.1.2 La baie de Bejaïa :

Les données indiquent des schémas saisonniers distincts pour les houles au niveau du Bejaïa, avec des hauteurs plus élevées en hiver, et des directions principalement vers le Nord pour toutes les saisons. En automne et hiver, les houles sont particulièrement prononcées avec des hauteurs moyennes de 6 à 7 m, suivant une direction Nord. Au printemps, la hauteur moyenne de la houle entre 4 et 5 m, toujours avec une direction Nord. En été, les houles sont plus modérées avec une hauteur moyenne de 2 à 3 m et une direction Nord.

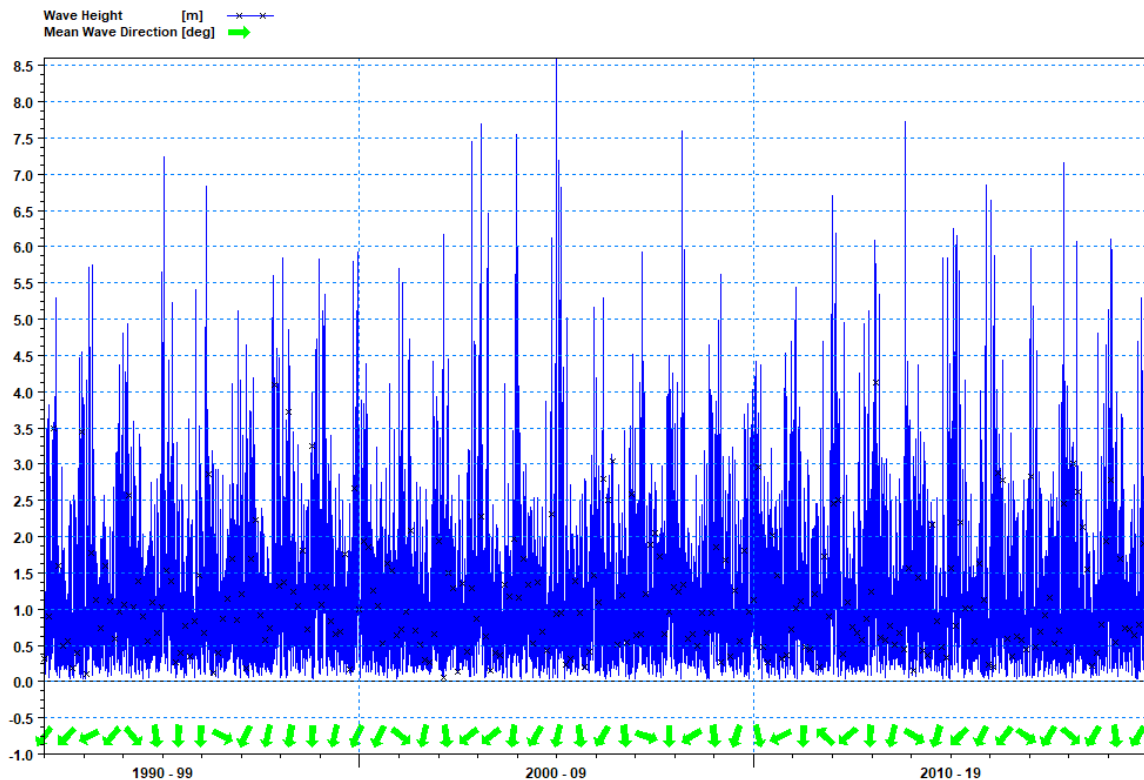


Figure N° 6: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Bejaïa.

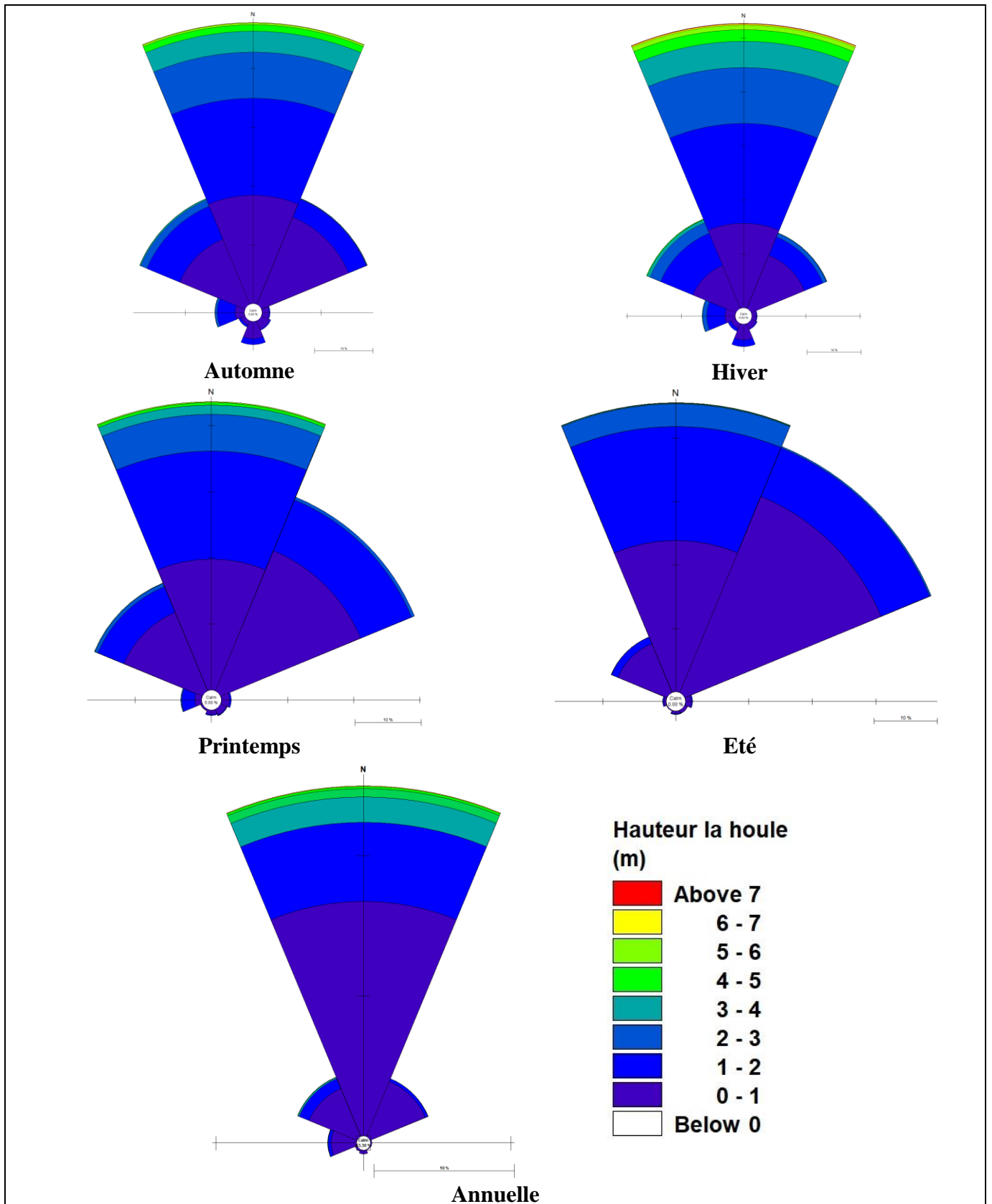


Figure N° 7: Roses des houles annuelles et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie de Bejaïa.

2.1.3 La baie de Zemourri :

Les données indiquent des variations saisonnières et annuelles distinctes dans les schémas de houle à Zemourri. Pendant l'hiver, les conditions maritimes se caractérisent par deux principales orientations des vagues, à savoir vers l'ouest et le nord, avec des hauteurs moyennes de 5 à 6 mètres. En automne, les houles persistent dans des directions similaires, avec une légère variation vers le nord-est et des hauteurs moyennes plus basses, entre 2 et 3 mètres. Pendant l'été et le printemps, les houles en provenance du nord-est prédominent, avec des hauteurs moyennes comprises entre 3 et 4 mètres.

En gros durant l'année la direction la plus dominantes et la direction Nord-Est qui à des hauteurs varie entre 3 et 4 m.

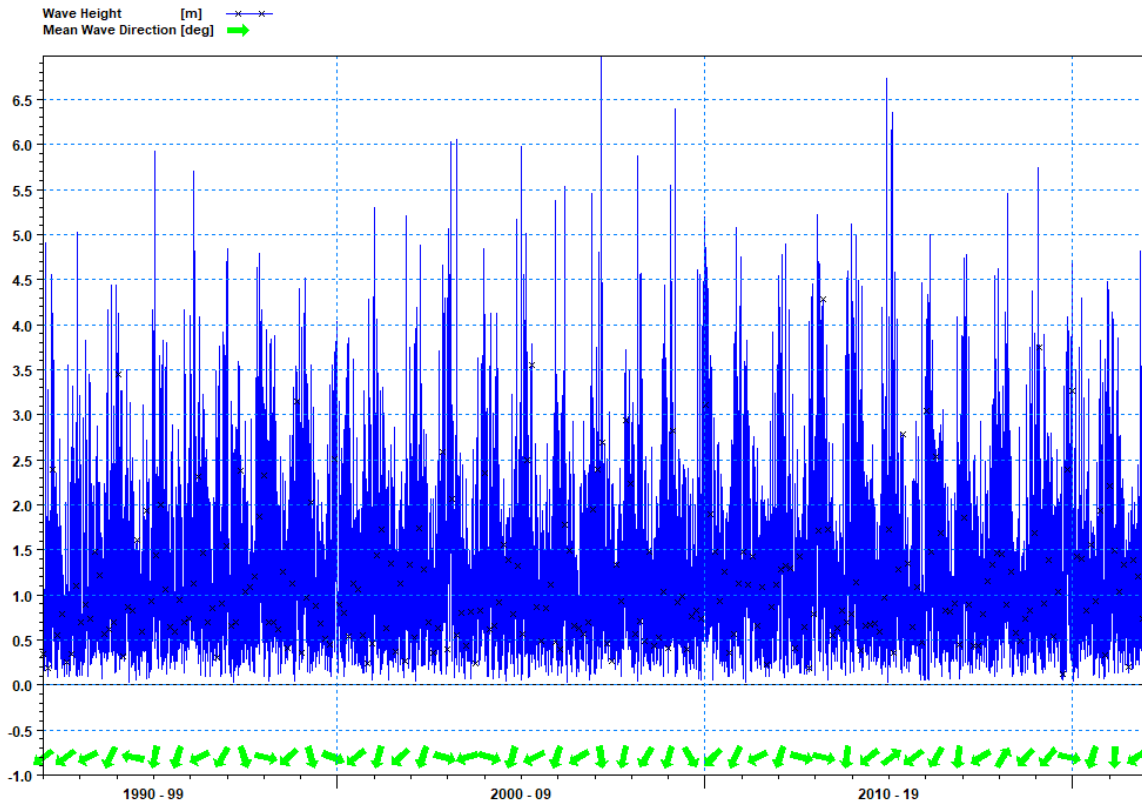


Figure N° 8: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Zemourri.

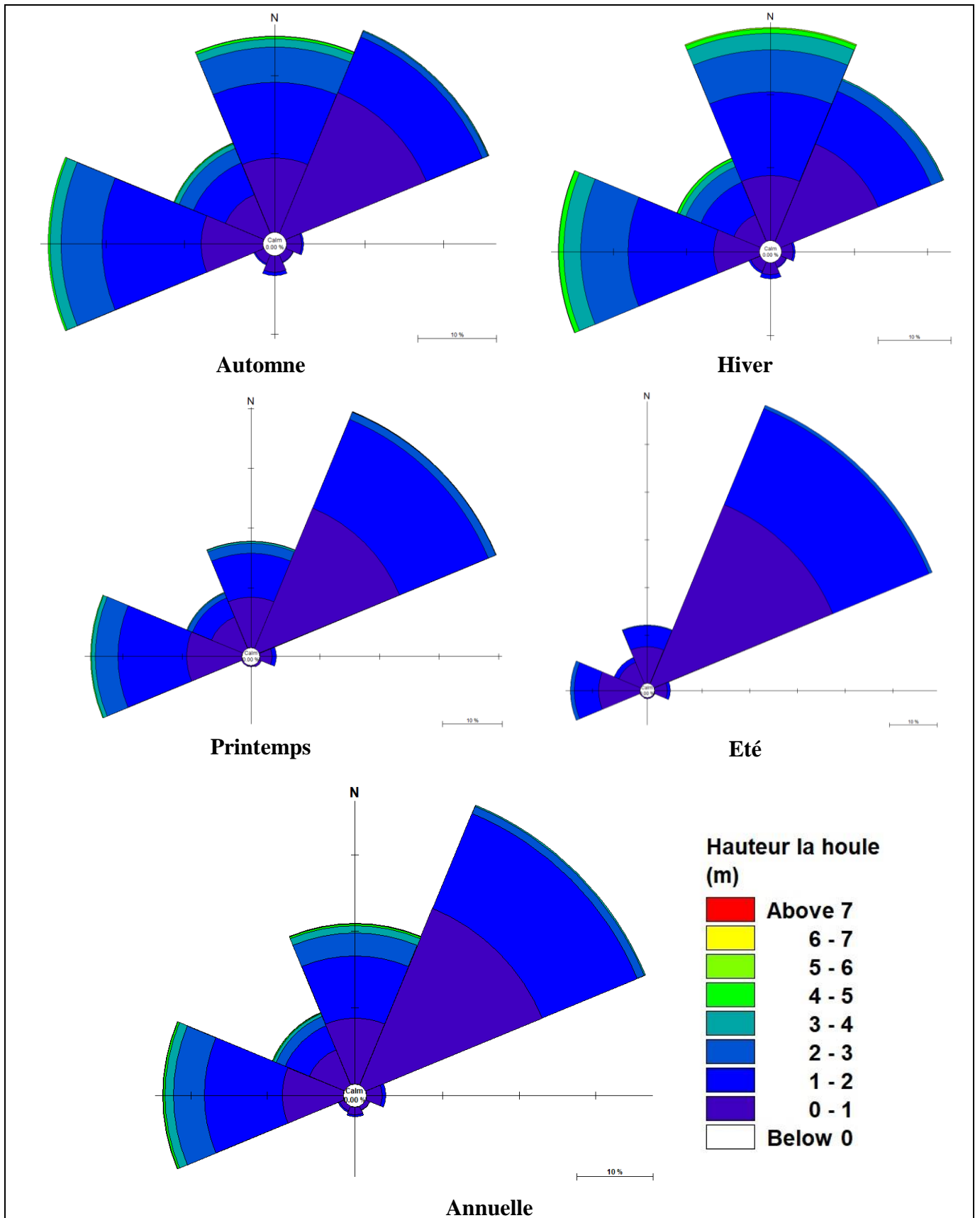


Figure N° 9: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992-2019 de la baie de Zemourri.



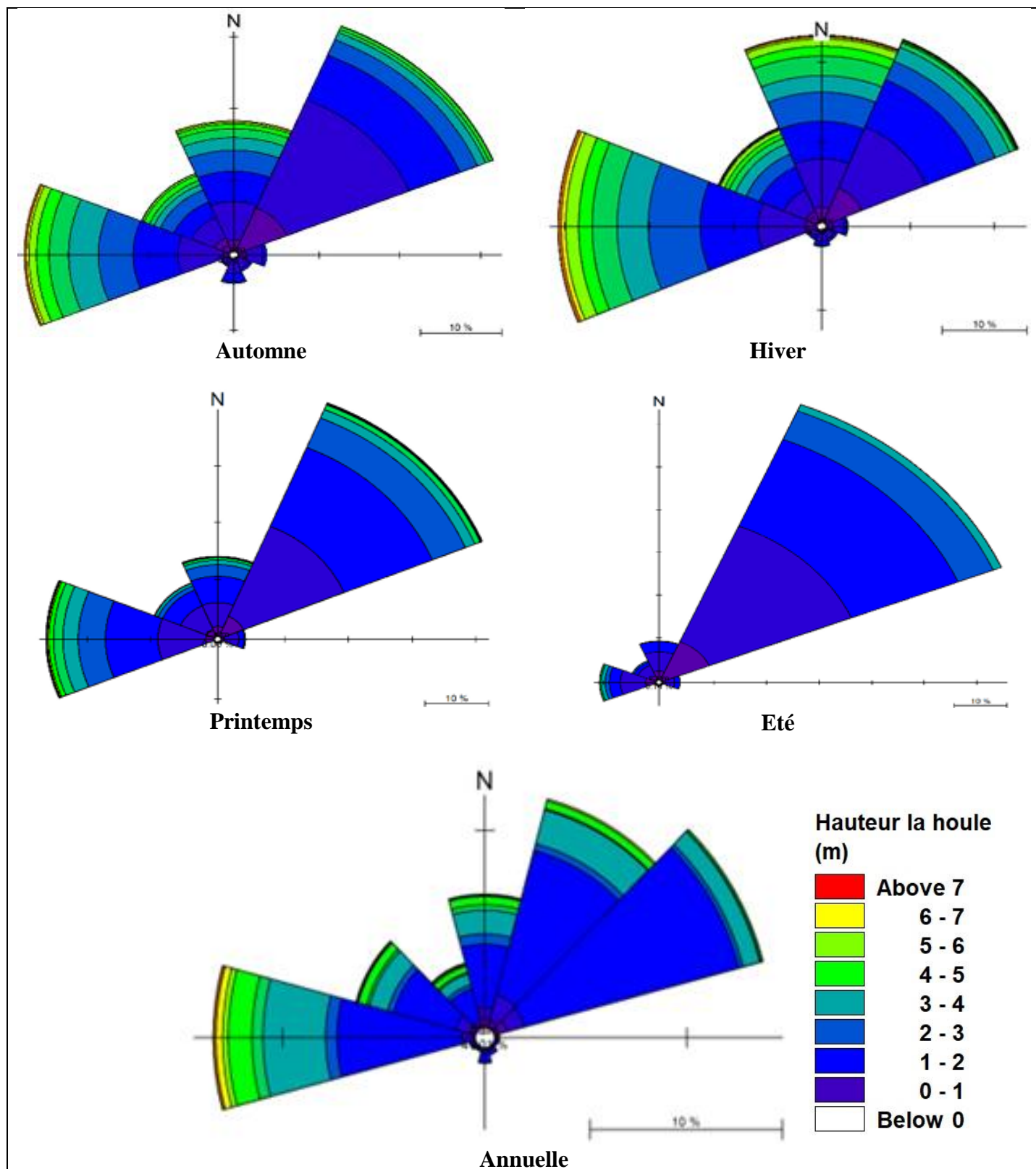


Figure N° 11: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Alger (Mémoire Alem, Saf).

### 2.1.5 La baie de Bou Ismaïl :

Ces données révèlent des schémas saisonniers distincts pour les houles à Bou Ismaïl. En hiver, les houles les plus hautes proviennent de la direction Ouest, avec des hauteurs moyennes entre 4 et 5 mètres. En automne, les houles du Nord-Est et de l'Ouest persistent avec des hauteurs moyennes de 3 à 4 mètres. Au printemps, les houles sont principalement de secteur Ouest avec des hauteurs moyennes entre 3 et 4 mètres. En été, les houles du Nord-Est sont plus modérées avec des hauteurs moyennes entre 2 et 3 mètres.

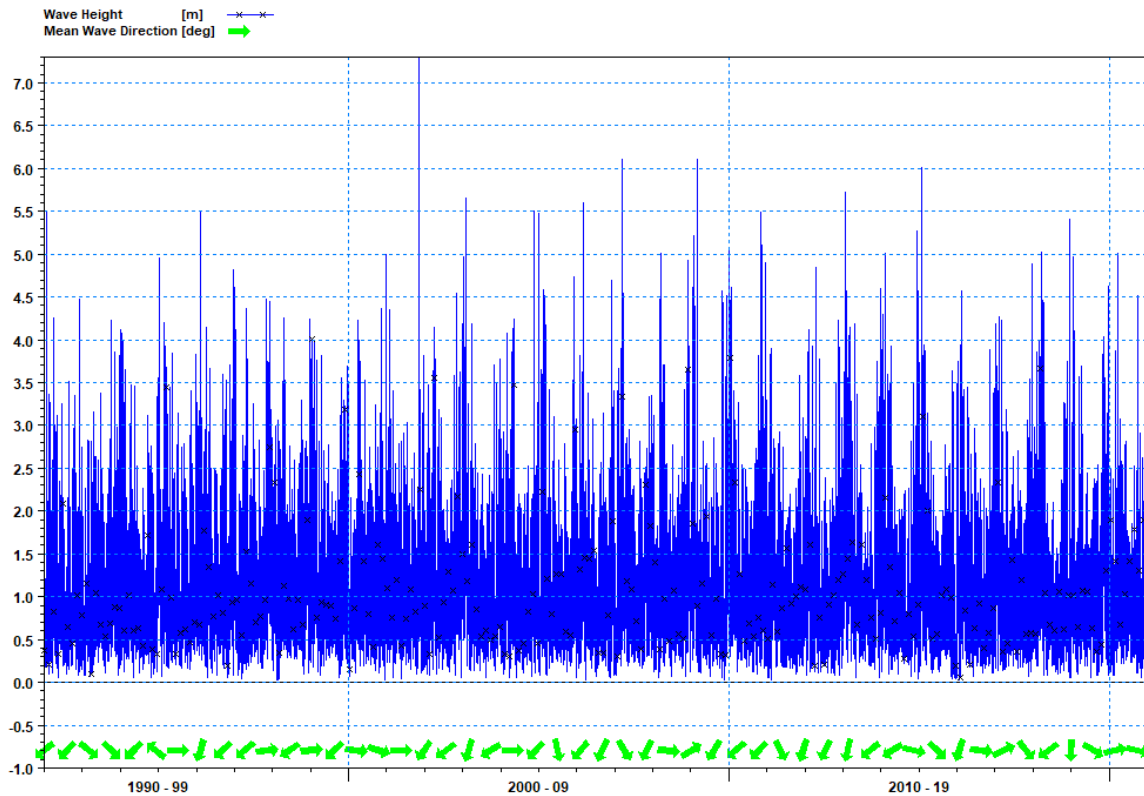


Figure N° 12: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Bou Ismaïl.

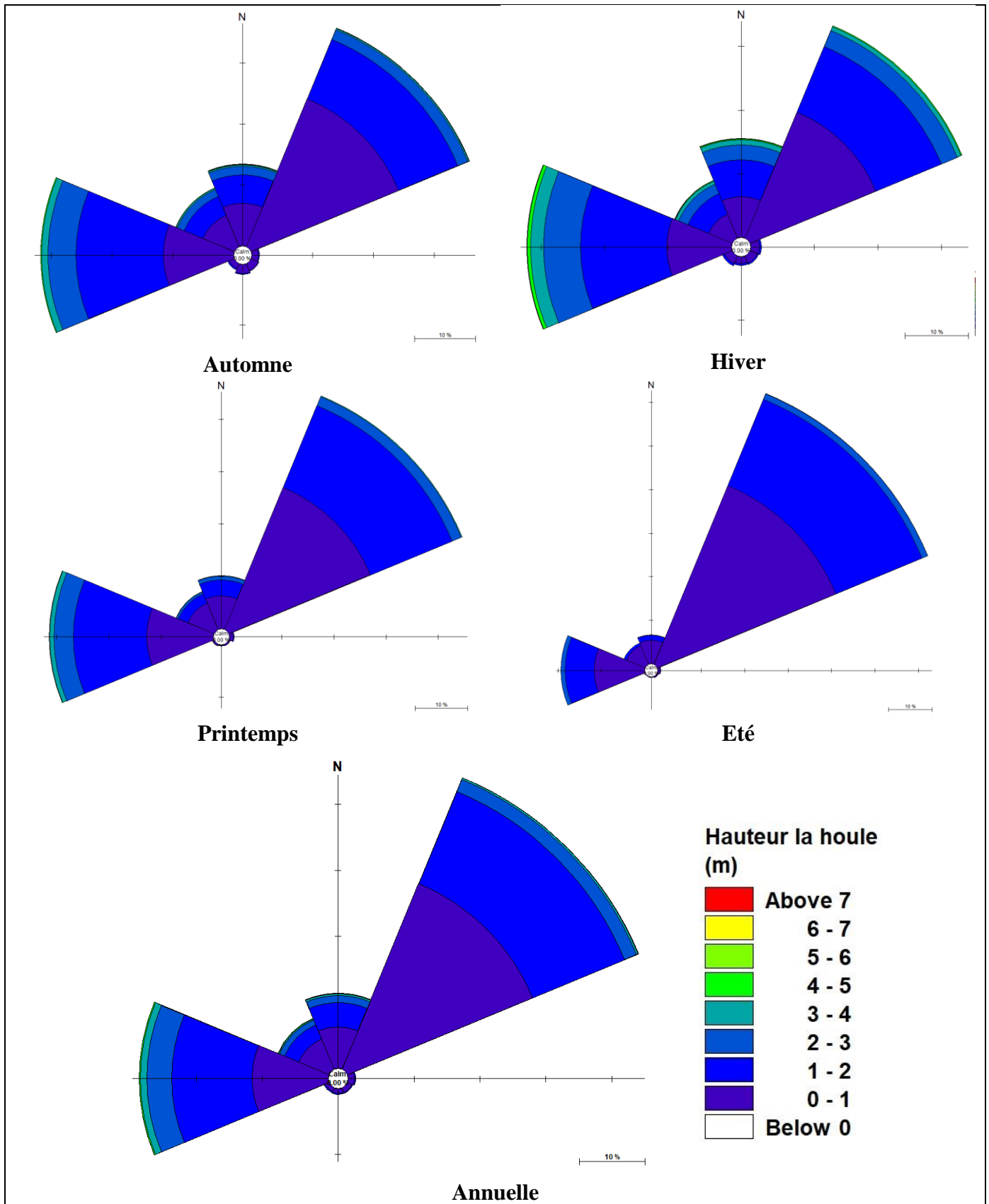


Figure N° 13: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bou Ismail

### 2.1.6 La baie d'Oran :

Les résultats de l'analyse des houles pour la Baie d'Oran sur la période de 1992 à 2019, moyennés sur des intervalles de 3 heures par WaveClimat.com, révèlent des schémas saisonniers distincts. Ces données indiquent des variations saisonnières dans les conditions de houle pour la wilaya d'Arzew. En automne et hiver, les houles sont plus fortes avec des hauteurs entre 5 et 6 m, principalement de direction Ouest. Au printemps, la hauteur de houle reste élevée autour de 5 m avec une direction similaire vers l'Ouest. En été, les houles diminuent à 3 m avec une direction Nord-Est.

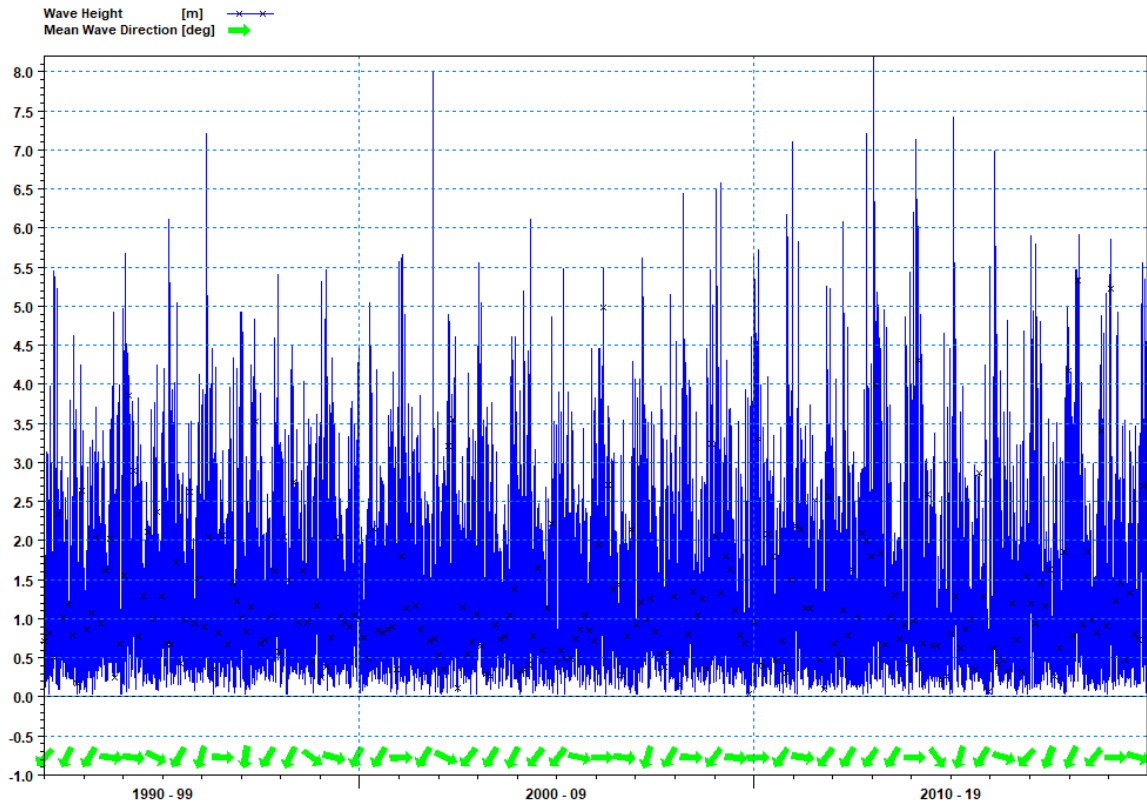


Figure N° 14: Spectre de la hauteur de la houle de la baie d'Oran.

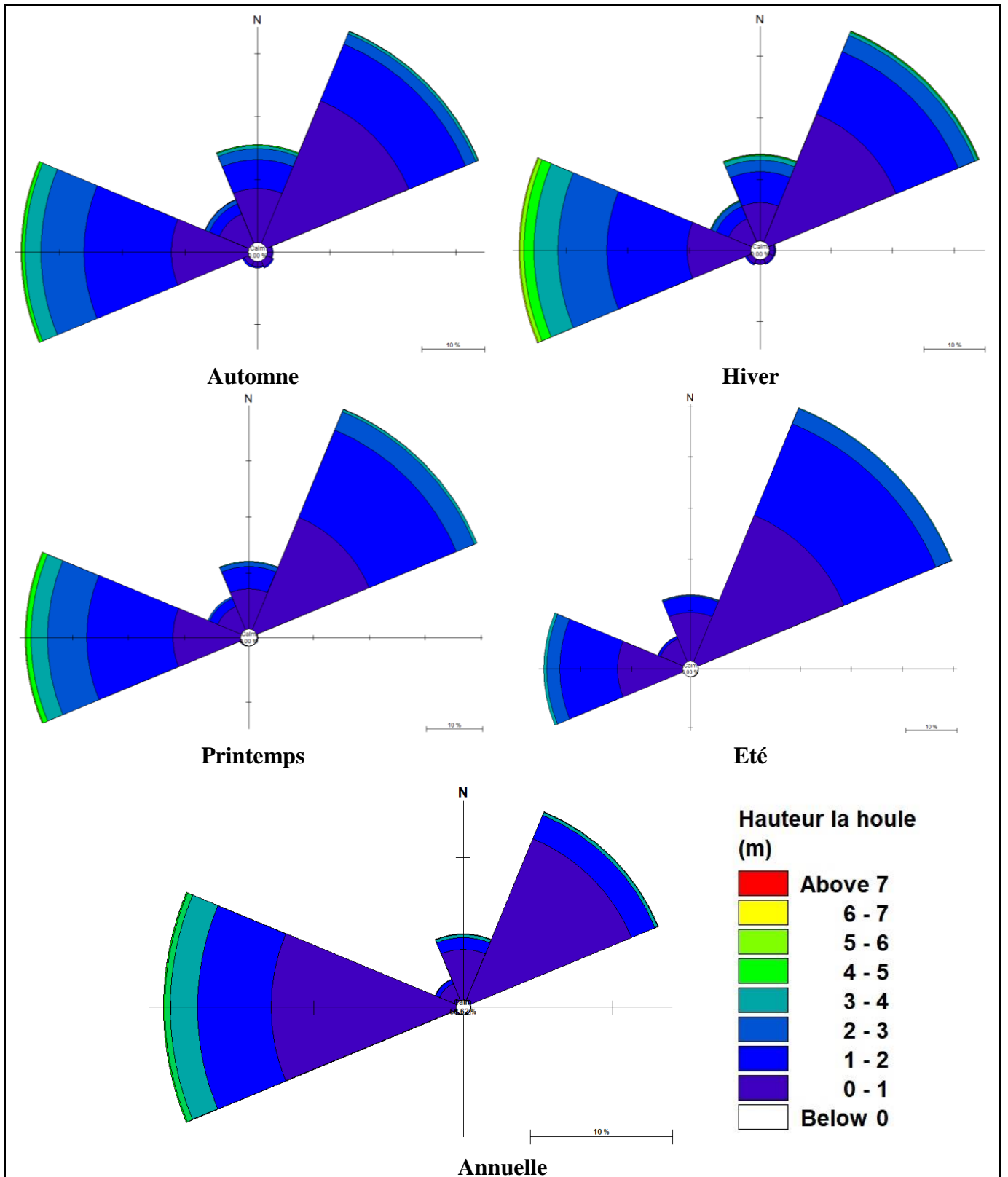


Figure N° 15: Roses des houles saisonniers et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la Baie d’Oran.

### 2.1.7 La baie de Mostaganem :

Les données montrent des variations distinctes dans les schémas de houle à Mostaganem tout au long de l'année. Pendant l'hiver, l'automne et le printemps, les conditions maritimes se caractérisent par deux principales orientations des vagues : vers l'Ouest et le Nord-Est, avec des hauteurs moyennes variant entre 4 et 5 mètres. En été, les houles prédominantes viennent du nord-est, avec des hauteurs moyennes légèrement inférieures, comprises entre 3 et 4 mètres.

En gros durant l'année la direction la plus dominante et la direction Nord-Est et l'Ouest qui a des hauteurs varie entre 4 et 5 m Pour le Nord-Est et 6 à 6 m pour l'Ouest.

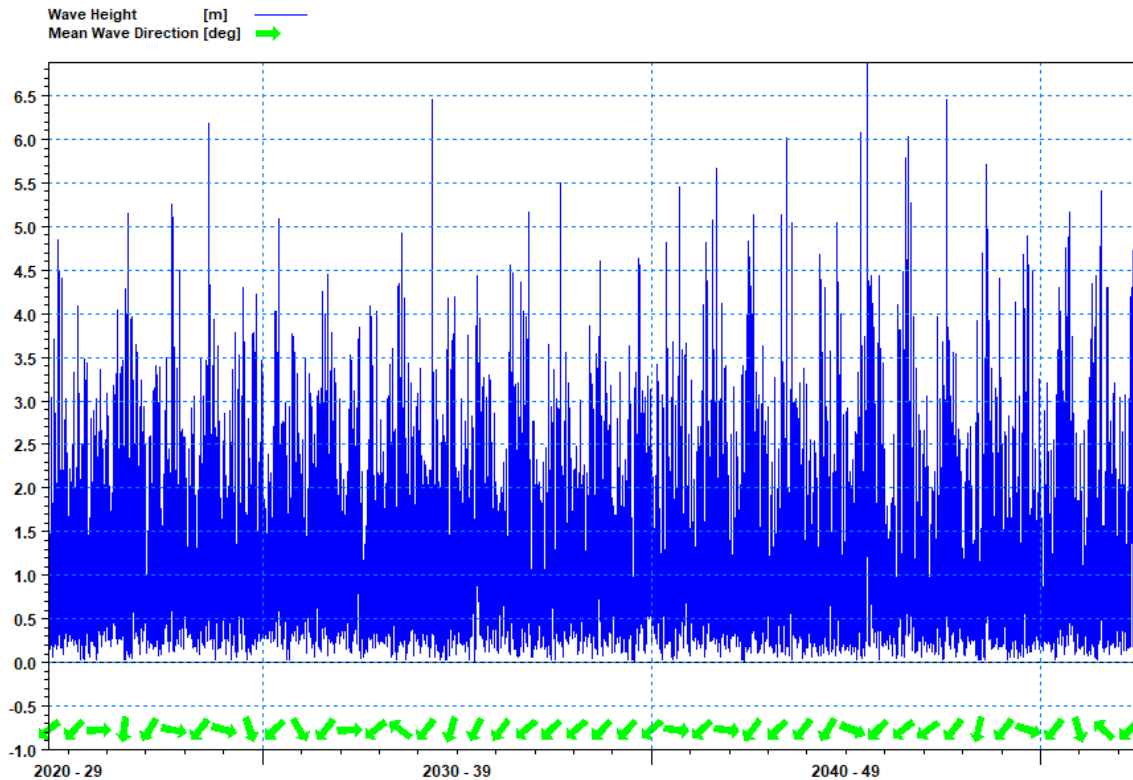


Figure N° 16: Spectre de la hauteur de la houle de la baie de Mostaganem.

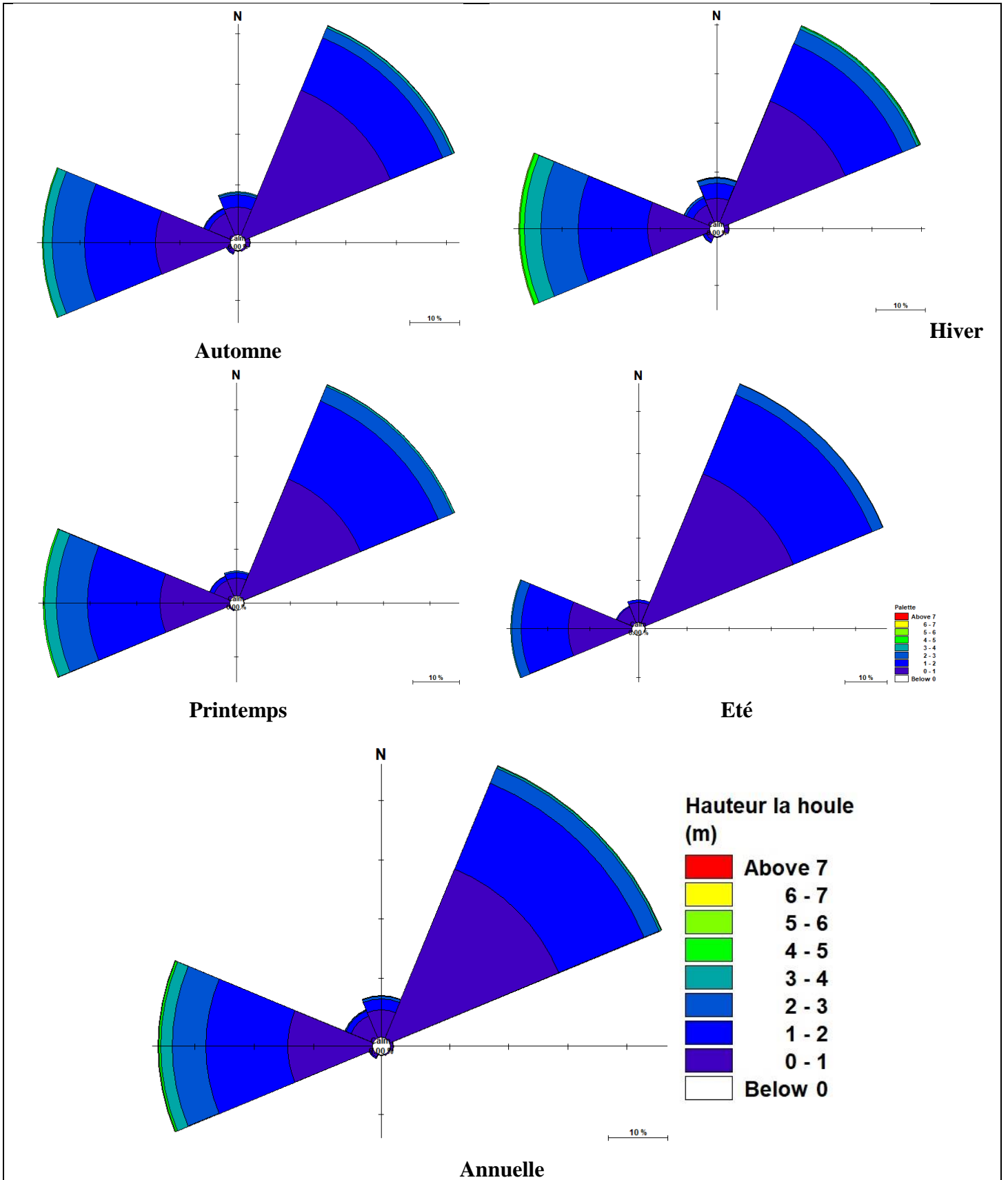


Figure N° 17: Roses des houles saisonnières et annuelles enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Mostaganem.

## 2.2 Climat de vent :

Toutes les analyses de vent ont été réalisées en utilisant la base de données Wave Climate extraite d'Infoplaza. Pour examiner le climat des vagues dans notre zone d'étude, nous avons opté pour l'utilisation des variables les plus caractéristiques de la houle, notamment :

- $U_{10}$  : La vitesse du vent en mètre par seconde (m/s).
- $U_{10}d$  : La direction du vent en degré (°).

Cette base de données traitée est composée de 87 664 enregistrements de variables pour chaque fichier Excel, couvrant la période allant du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2019. Ces

Enregistrements sont effectués toutes les 3 heures et concernent l'analyse du climat des vagues pour les 7 wilayas mentionnées précédemment.

### 2.2.1 La baie d'Annaba :

Les résultats de l'analyse de la corrélation du vent de 1992 à 2019 (vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 3h, WaveClimat.com), mettent en évidence les répartitions suivantes : Une prédominance des vents provenant des directions Ouest et Nord-Ouest avec des vitesses qui atteignent 20 à 22 m/s en hiver et automne, 18 à 20 m/s en printemps par contre en été les directions Nord, Nord-Est et Nord- Ouest sont les directions dominantes avec une vitesse peuvent atteindre 14 m/s.

En conclusion, durant l'année la direction Nord-Ouest et l'Ouest sont les plus pénalisantes avec une vitesse de 20 à 22 m/s.

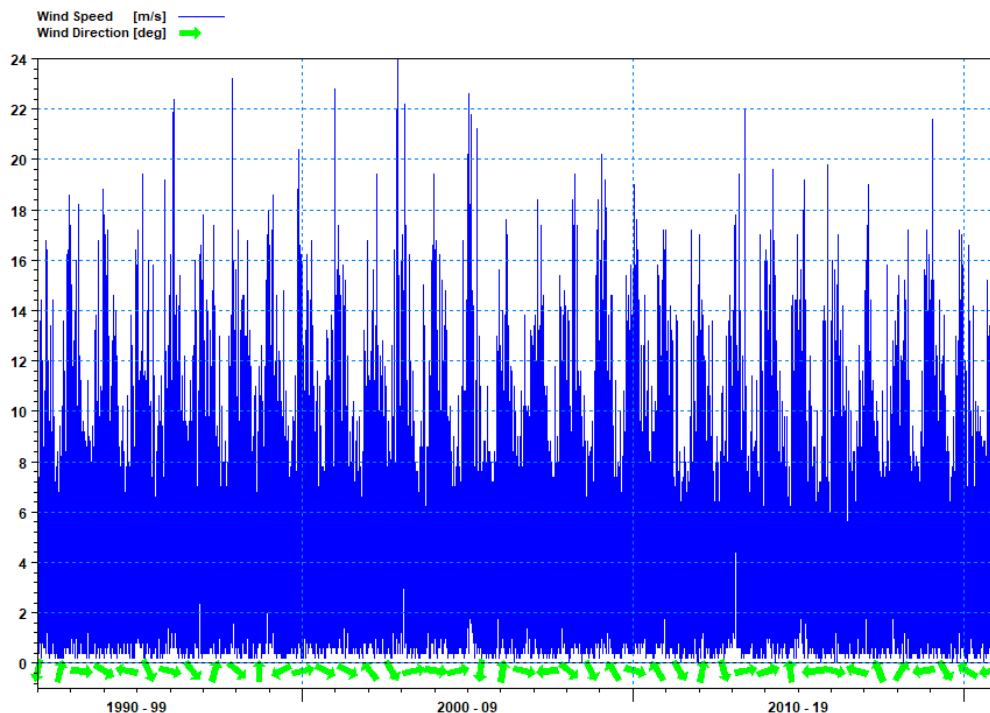


Figure N° 18: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Annaba.

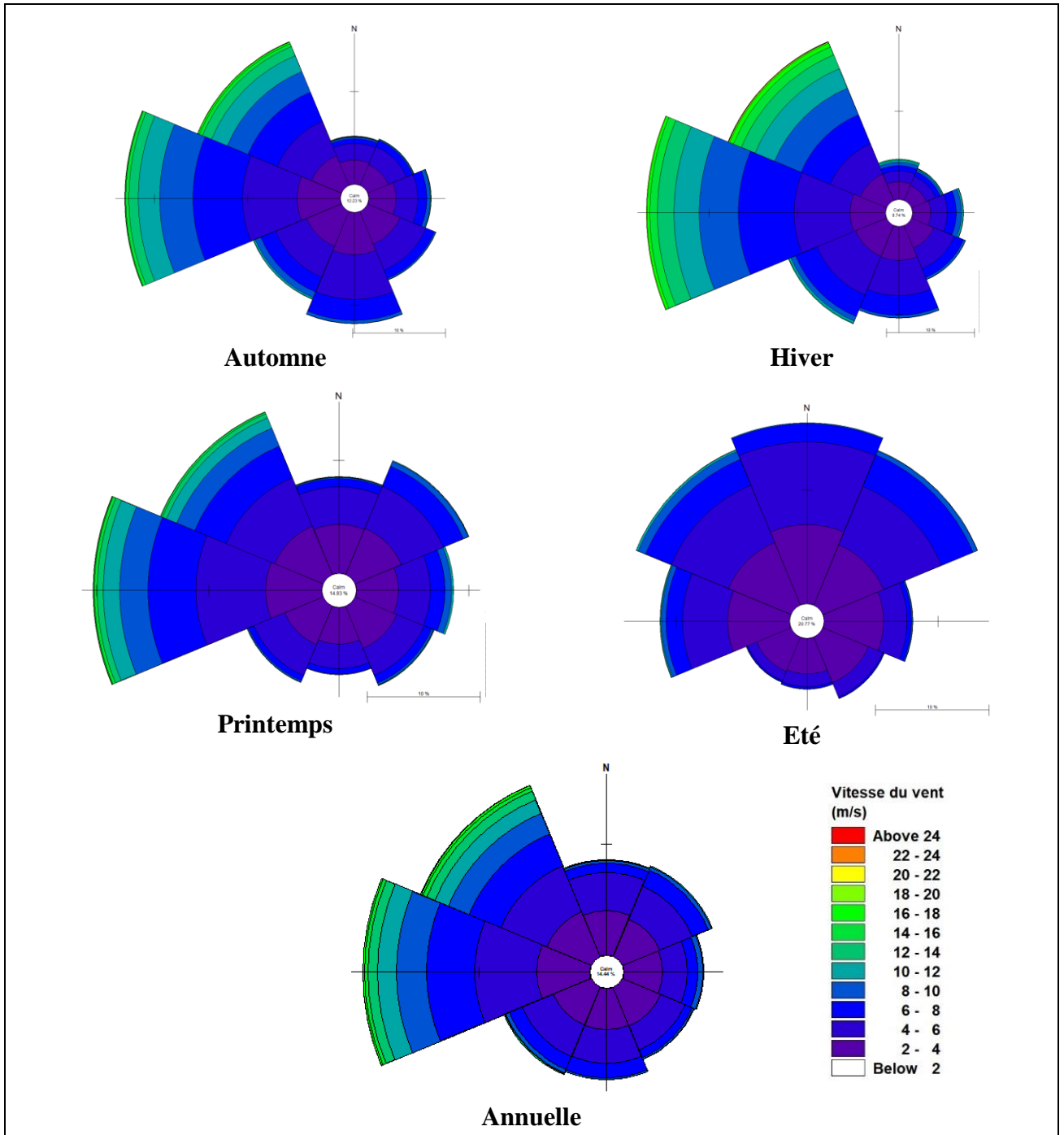


Figure N° 19: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Annaba.

### 2.2.2 La baie de Bejaïa :

Les données indiquent des schémas saisonniers distincts pour le vent à Bejaïa, avec une prédominance des vents provenant des directions Ouest et Sud avec des vitesses qui atteignent 18 à 20 m/s en hiver et automne, En printemps la direction Nord-Est rejoint la prédominance avec une vitesse entre 10 et 12 m/s par contre en été les directions Nord-Est est la direction dominante avec une vitesse peuvent atteindre 12 m/s.

Globalement, la direction Ouest est la plus contraignante tout au long de l'année, avec des vitesses de 18 à 20 m/s.

Ces conclusions sont basées sur une analyse des données de WaveClimat.com sur une période de 1992 à 2019.

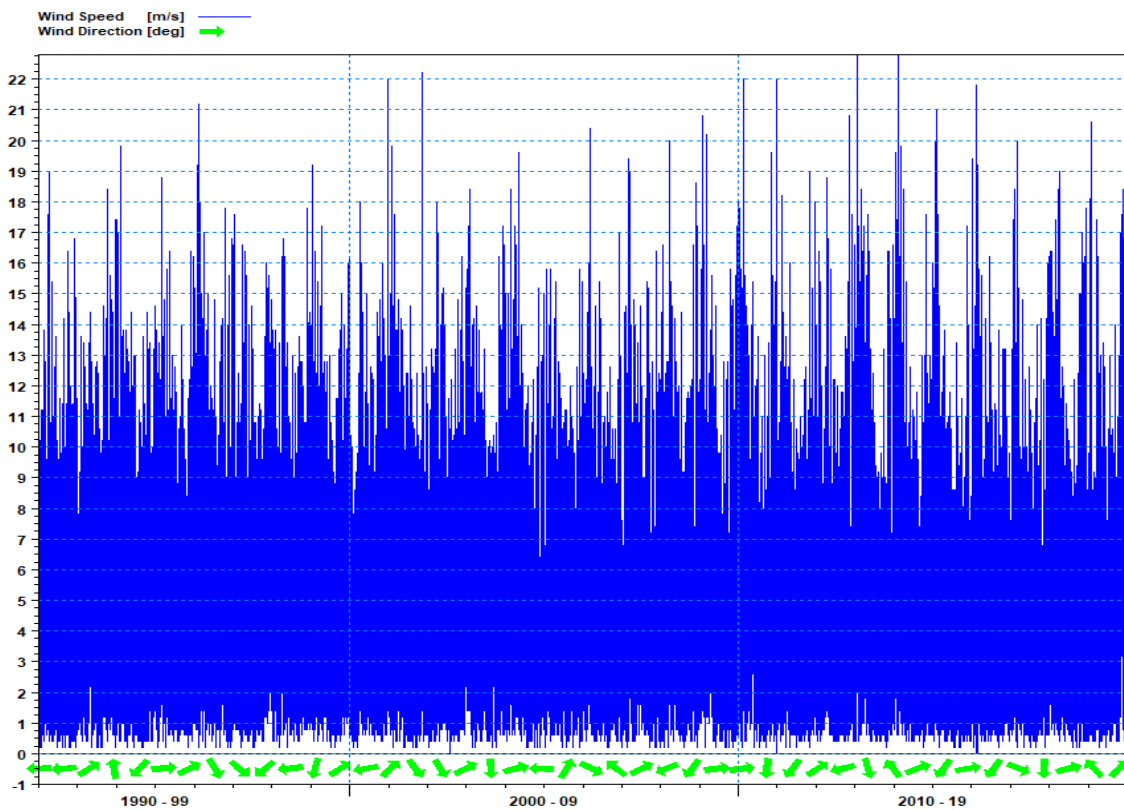


Figure N° 20: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Bejaïa.

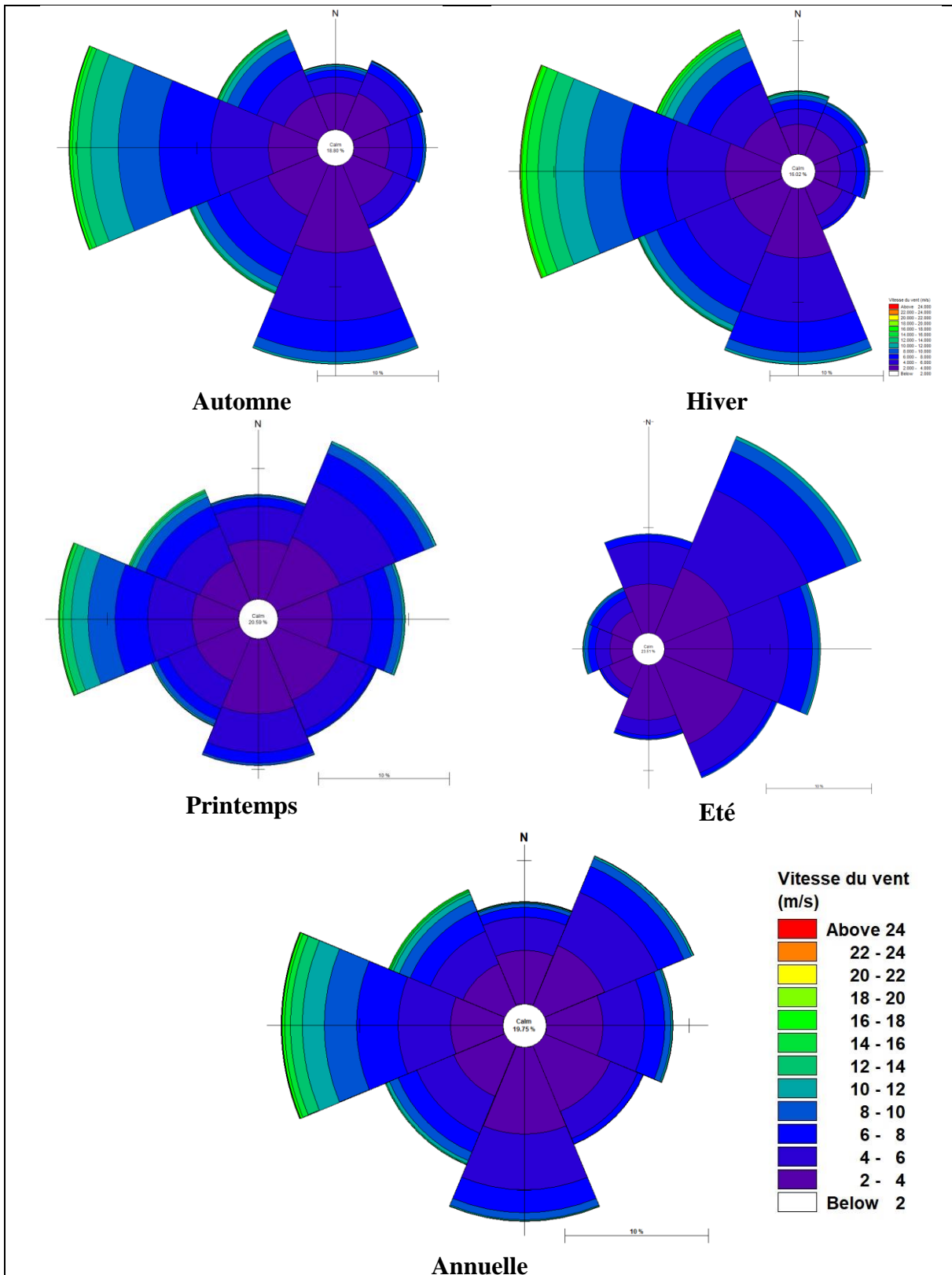


Figure N° 21: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bejaïa.

### 2.2.3 La baie de Zemourri :

Les conclusions de l'analyse de la corrélation du vent de 1992 à 2019, basée sur le vent horaire à 10 mètres et moyennée sur 3 heures (source : WaveClimat.com), révèlent les répartitions suivantes : Une prédominance des vents provenant de la direction Ouest avec des vitesses atteignant 16 à 18 m/s en hiver et automne, par contre en printemps et en été les directions dominantes sont l'Est et le Nord-Est avec une vitesse entre 10 à 12 m/s.

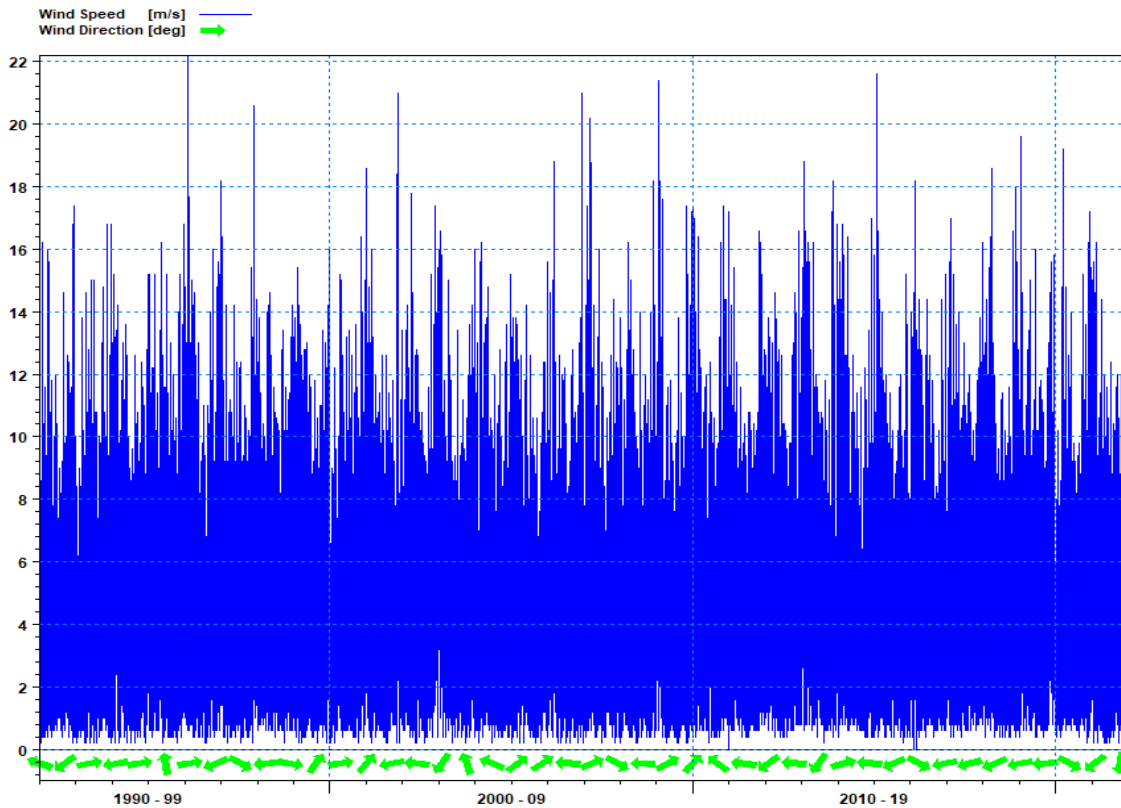


Figure N° 22: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Zemourri.

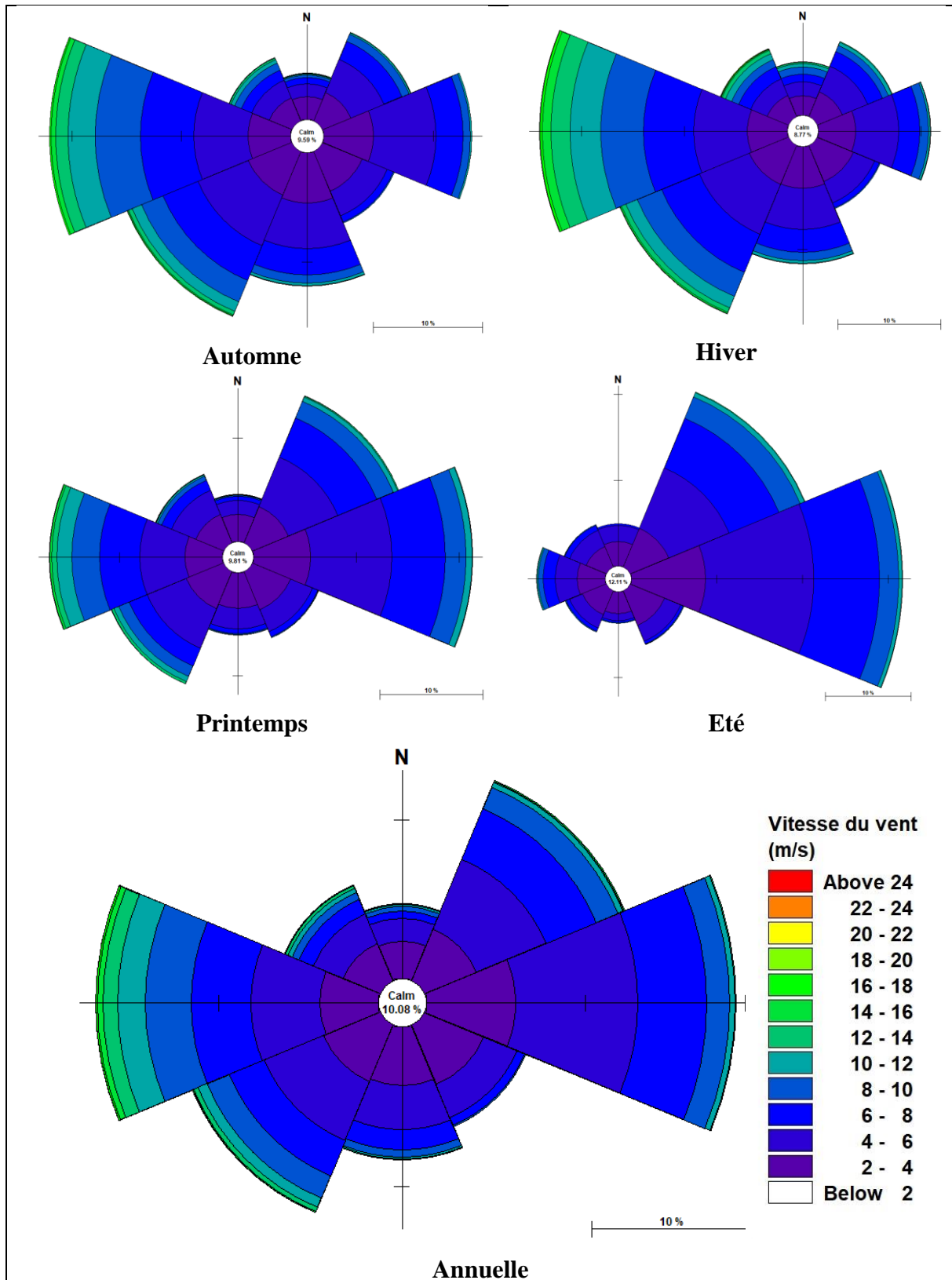


Figure N° 23: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Zemourri

### 2.2.4 La baie d'Alger :

Les données indiquent des schémas saisonniers distincts pour le vent à Alger. Une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest, Est et Ouest avec des vitesses qui atteignent 20 m/s selon les directions comprises entre 210° et 280° N. Pour les directions comprises entre 45° et 110° N on trouve des vitesses maximales des vents qui atteignent 15 m/s.. Les vents les plus fréquents et les plus violents sont : Les vents d'Ouest, Sud-Ouest, Nord-Est et Est. Ils peuvent atteindre jusqu'à 20 m/s en hiver.

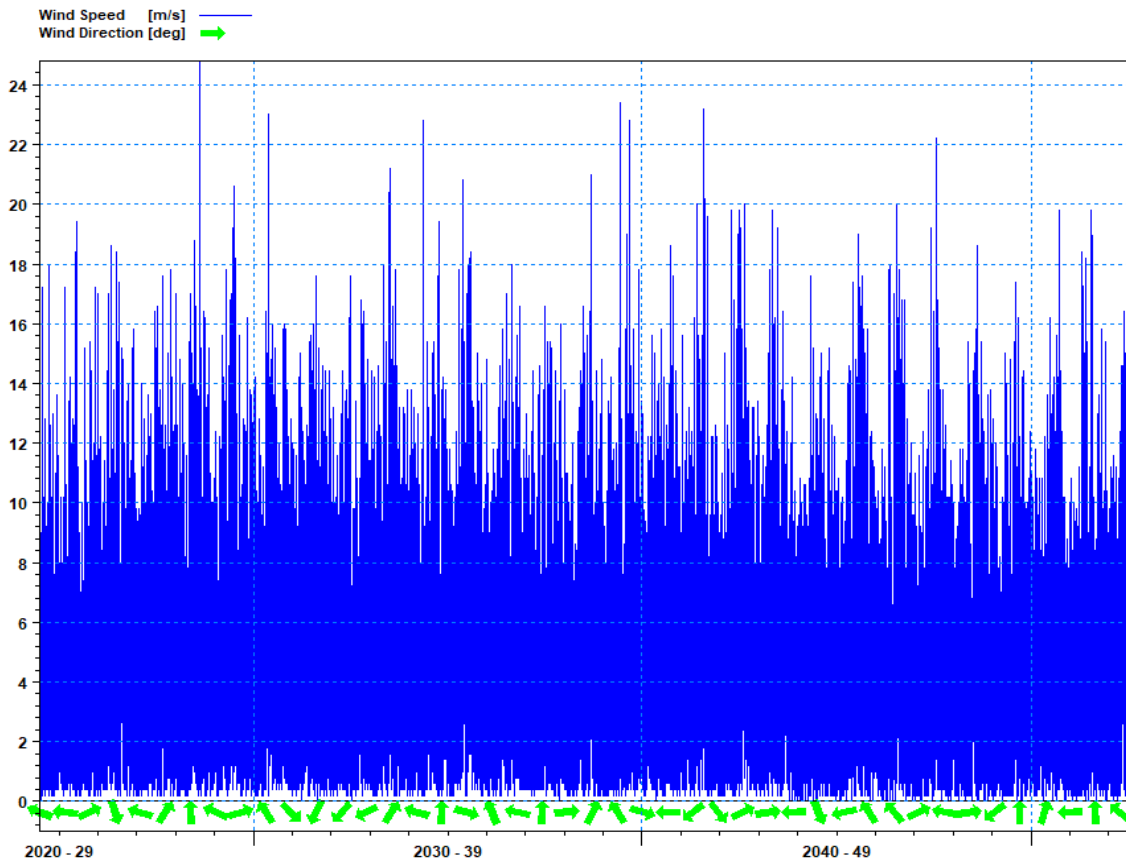


Figure N° 24: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Alger.

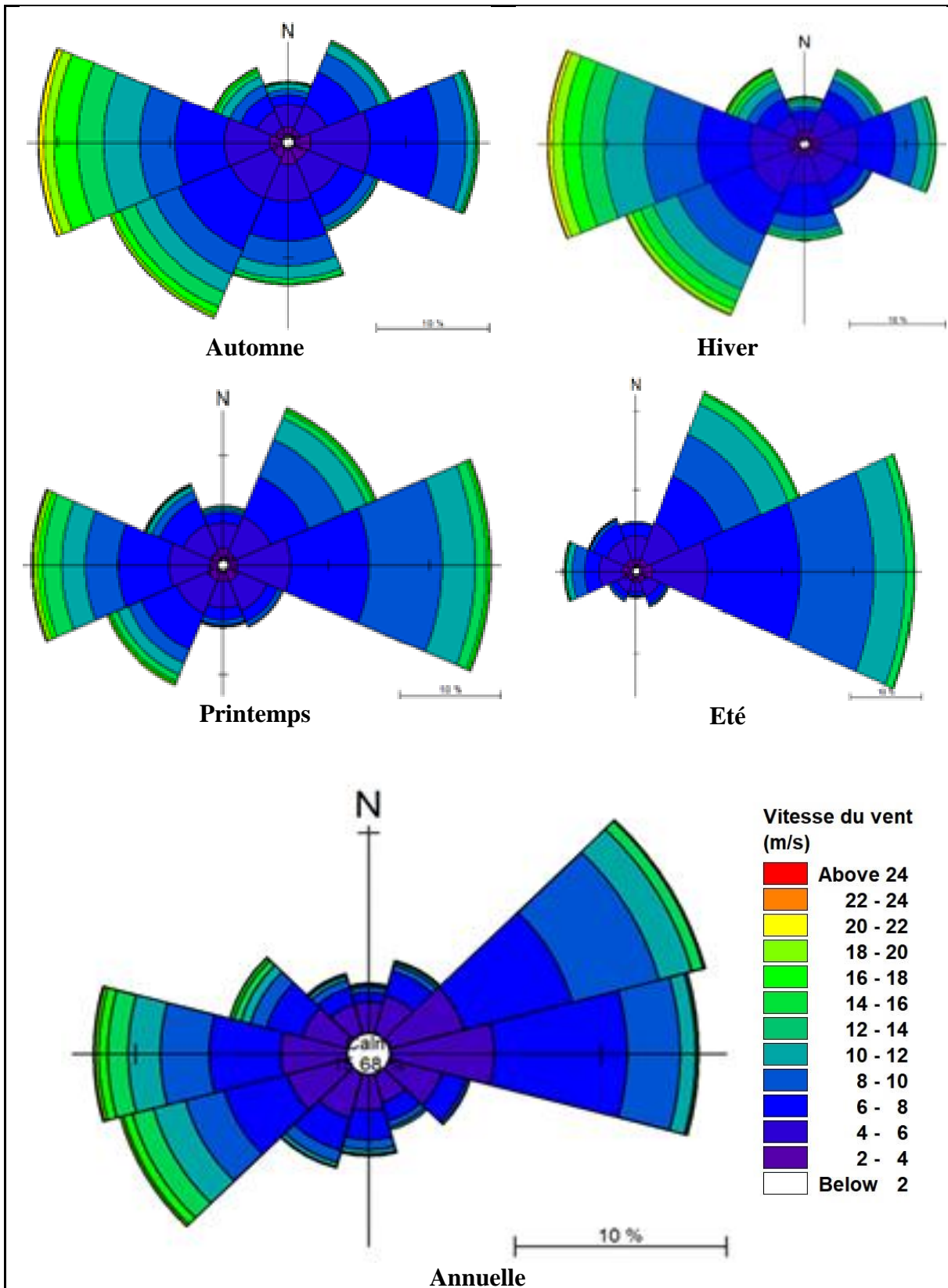


Figure N° 25: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Alger. (Mémoire Alem, Saf).

### 2.2.5 La baie de Bou Ismaïl :

Les données recueillies à La baie de Bou Ismaïl révèlent des schémas saisonniers distincts pour le vent, avec une prédominance des vents provenant des directions Ouest et Sud atteignant 14 à 16 m/s en hiver et automne, des directions Nord-Est et Est avec une vitesse entre 12 et 14 m/s, et une direction Nord-Est dominante pouvant atteindre 12 m/s en été. La direction Ouest reste la plus contraignante tout au long de l'année, avec des vitesses de 14 à 16 m/s. Ces conclusions sont basées sur une analyse des données de WaveClimat.com sur une période de 1992 à 2019.

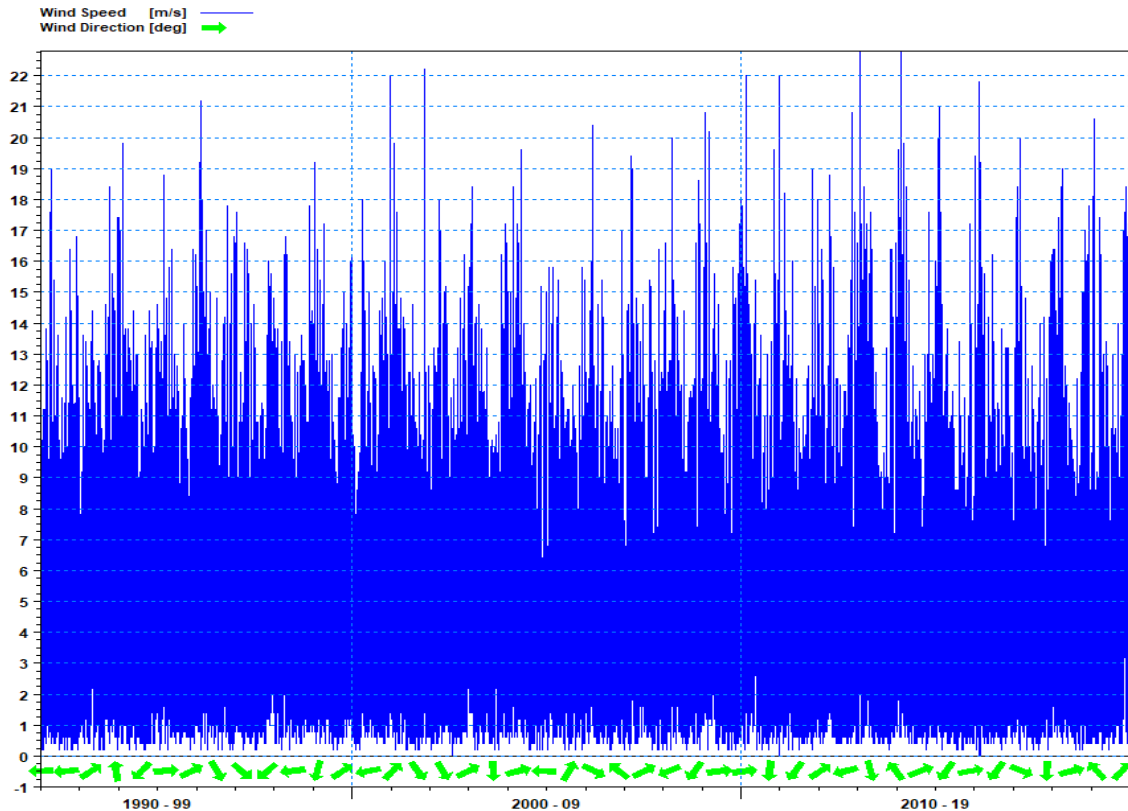


Figure N° 26: Figure N° 24: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Bou Ismaïl.

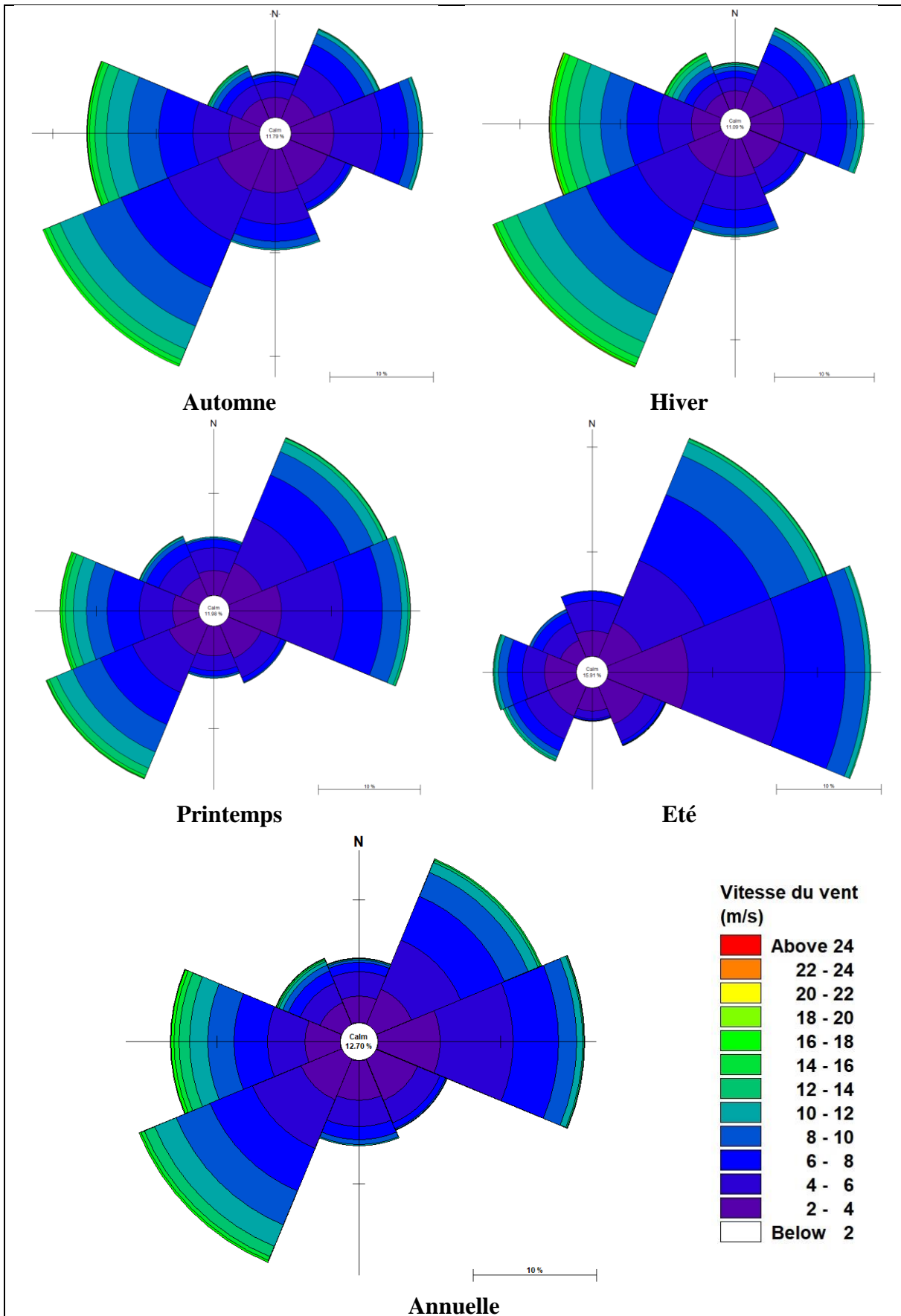


Figure N° 27: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Bou Ismaïl

### 2.2.6 La baie d'Oran :

Ces données révèlent des schémas saisonniers et annuels distincts pour le vent à Arzew. Avec une prédominance des vents provenant des directions Ouest et Sud avec des vitesses qui atteignent 18 à 20 m/s en hiver et automne, En printemps la direction Nord-Est rejoint la prédominance avec une vitesse entre 10 et 12 m/s par contre en été les directions Nord-Est est la direction dominante avec une vitesse peuvent atteindre 12 m/s.

Globalement, la direction Ouest est la plus contraignante tout au long de l'année, avec des vitesses de 18 à 20 m/s.

Ces conclusions sont basées sur une analyse des données de WaveClimat.com sur une période de 1992 à 2019.

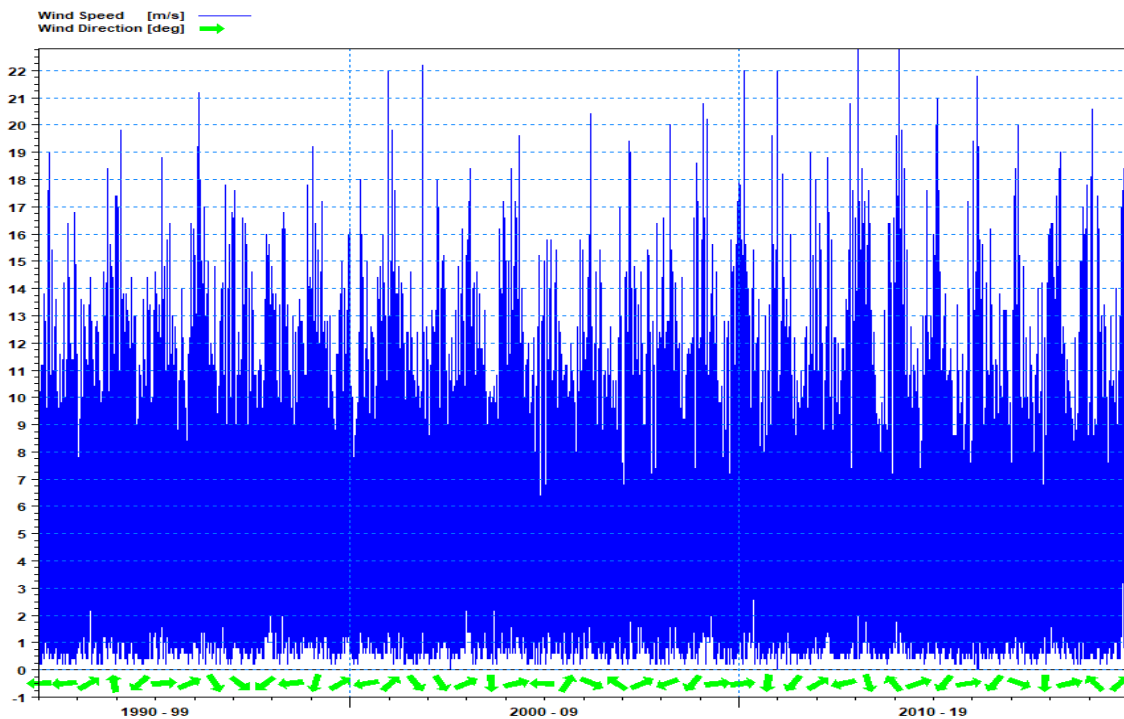


Figure N° 28: Spectre de la vitesse du vent de la baie d'Oran.

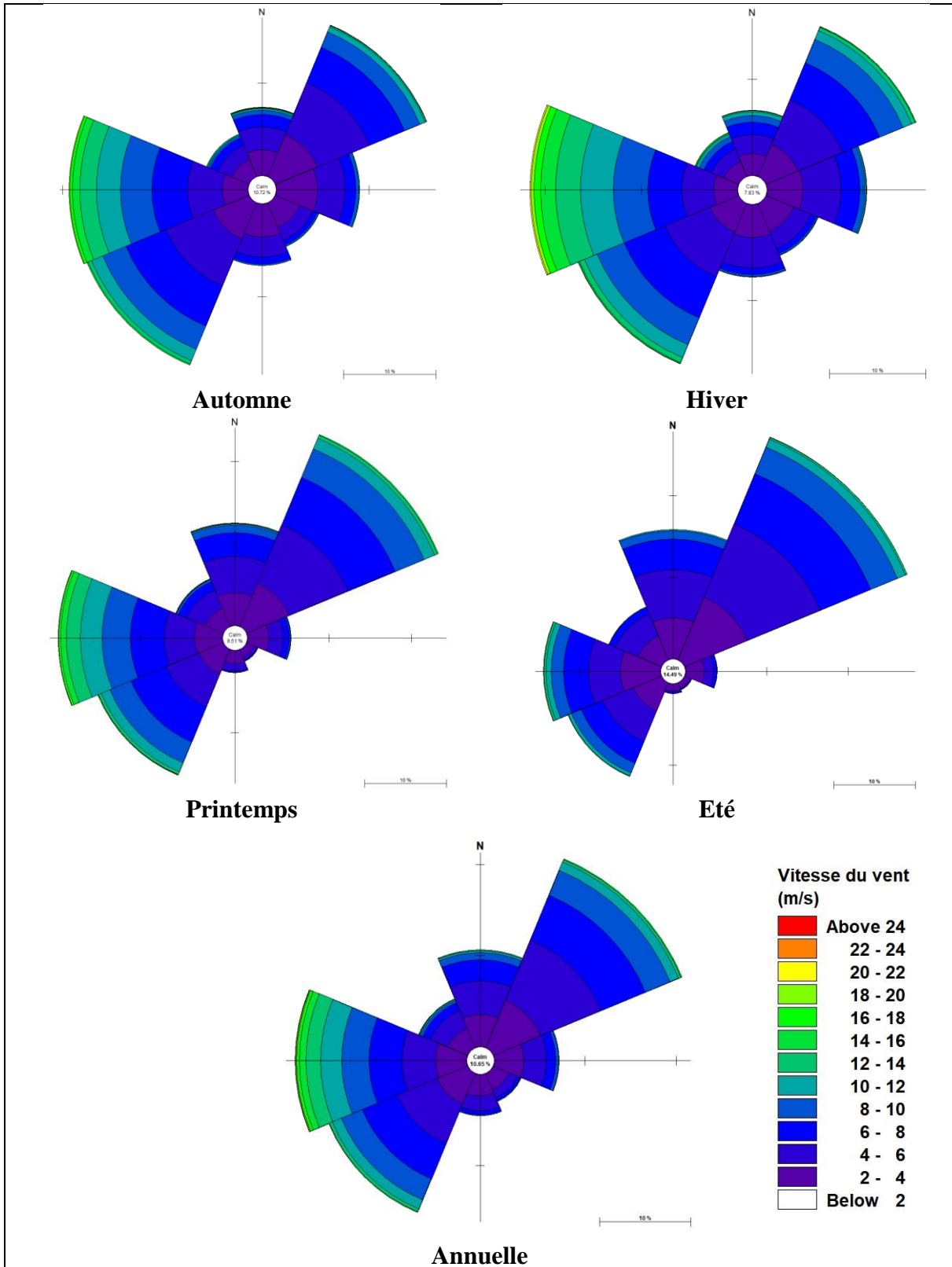


Figure N° 29: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie d'Oran.

### 2.2.7 La baie de Mostaganem :

Les données recueillies à La baie de Bou Ismaïl révèlent des schémas saisonniers distincts pour le vent, avec une prédominance des vents provenant des directions Ouest, Sud-Ouest et Nord-Ouest atteignant 14 à 16 m/s en hiver et automne, des directions Nord-Est et Est avec une vitesse entre 18 et 20 m/s au printemps la direction Nord-Est domine plus que l'Ouest avec une vitesse qui peut atteindre 16 m/s, et une direction Nord-Est dominante pouvant atteindre 14 m/s en été. La direction Ouest reste la plus contraignante tout au long de l'année, avec des vitesses de 14 à 16 m/s. Ces conclusions sont basées sur une analyse des données de WaveClimat.com sur une période de 1992 à 2019.

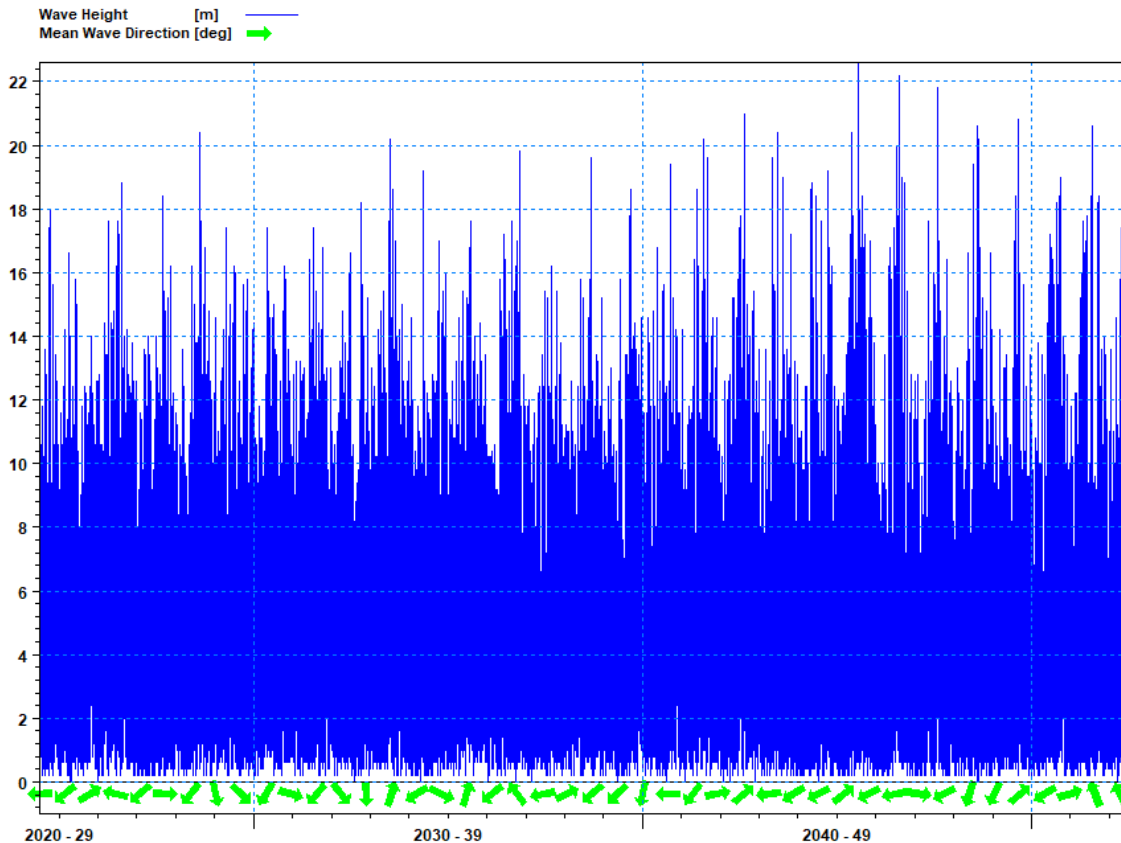


Figure N° 30: Spectre de la vitesse du vent de la baie de Mostaganem.

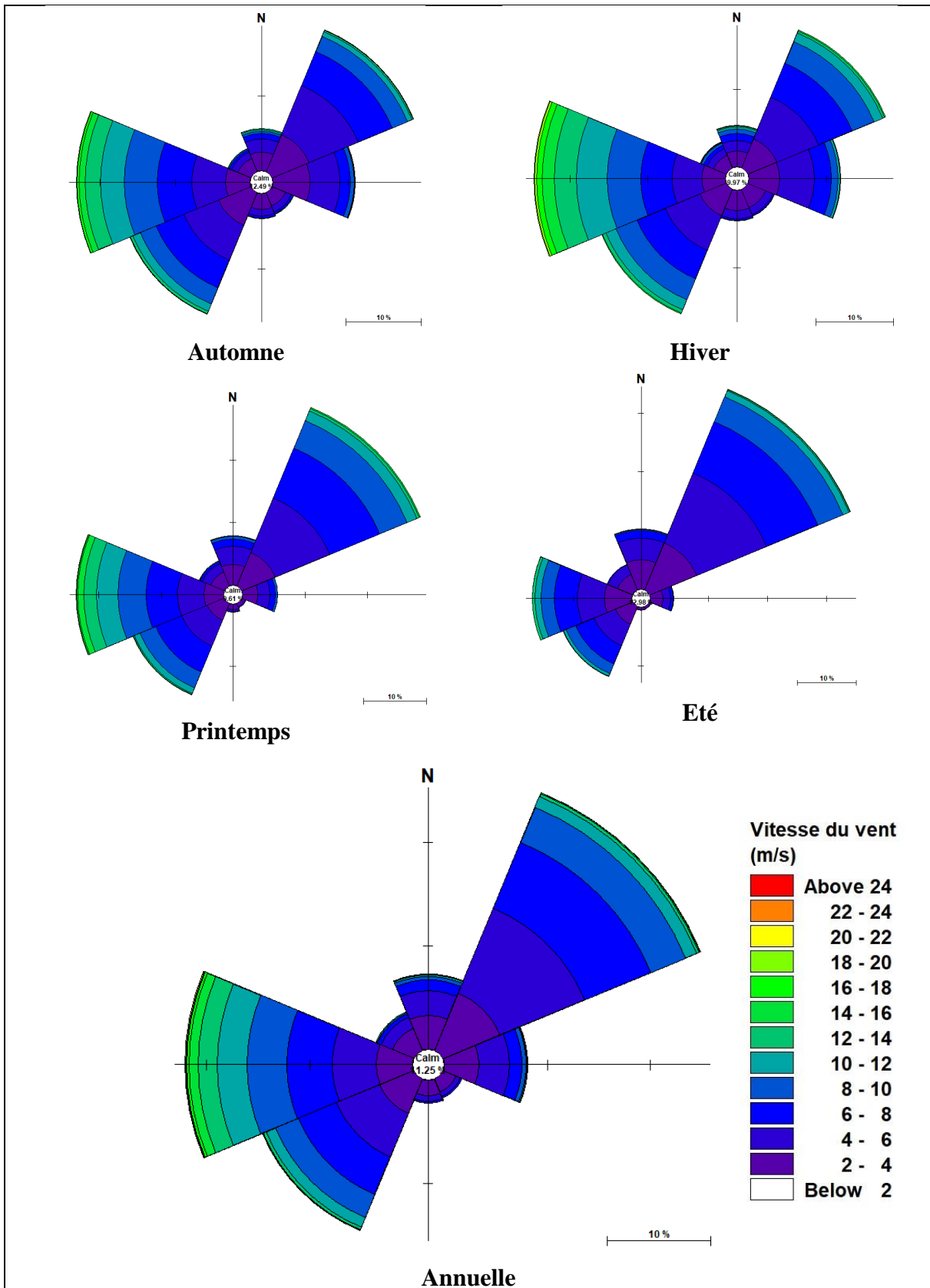


Figure N° 31: Roses des vents annuels et saisonniers enregistrées durant la période 1992 – 2019 de la baie de Mostaganem.

# **Chapitre III**

## **Analyse des évènements extrême**

**Chapitre III. Analyse des événements extrême****Introduction :**

Les événements extrêmes en mer jouent un rôle crucial dans l'identification des zones à fort potentiel pour l'exploitation des énergies renouvelables, car ils génèrent des conditions optimales pour la capture d'énergie. Les grandes houles et les vents forts offrent des opportunités significatives pour l'énergie marine. Pour évaluer le potentiel de ces zones, il est nécessaire d'estimer les hauteurs de houle et les vitesses de vent à des périodes de retour spécifiques, ainsi que leur incertitude. Ces estimations reposent sur des méthodes statistiques avancées (thompson et al. 2009). En caractérisant la probabilité d'occurrence de ces événements extrêmes, nous pouvons identifier les sites où l'énergie des vagues et du vent peut être exploitée de manière fiable et efficace, maximisant ainsi le rendement des infrastructures de production d'énergie renouvelable.

Pour identifier les zones de fort potentiel pour l'exploitation des énergies renouvelables marines, il est essentiel de comprendre les conditions extrêmes des événements de houle. En analysant ces événements, on peut déterminer les zones où les vagues atteignent des hauteurs et des périodes suffisamment significatives pour une exploitation énergétique efficace. Cela implique l'estimation des hauteurs de houles à différentes périodes de retour et l'évaluation de leur variabilité et incertitude. En utilisant des méthodes statistiques, on peut caractériser la probabilité d'occurrence de ces événements extrêmes. Ces informations sont cruciales pour évaluer la viabilité et l'efficacité des installations de conversion d'énergie des vagues et pour maximiser le rendement des énergies renouvelables marines.

L'identification des zones à fort potentiel pour l'exploitation des énergies renouvelables marines est grandement facilitée par la compréhension des conditions extrêmes de houle. En analysant ces événements, il devient possible de déterminer les zones où les vagues atteignent des hauteurs et des périodes suffisamment significatives pour permettre une exploitation énergétique efficace. Cela nécessite l'estimation des hauteurs de houles à différentes périodes de retour et l'évaluation de leur variabilité et incertitude. La mise en œuvre de méthodes statistiques pour ces estimations est indispensable, car elle permet de caractériser la probabilité d'occurrence de ces événements extrêmes. Ces informations sont essentielles pour évaluer la viabilité et l'efficacité des installations de conversion d'énergie des vagues, maximisant ainsi le rendement des énergies renouvelables marines.

## 1 Théorie des valeurs extrêmes :

Les événements extrêmes sont des phénomènes marins rares avec de faibles probabilités d'occurrence. Ils peuvent causer des dommages et menacent ainsi les vies humaines et les infrastructures côtières. En raison de leur imprévisibilité, il est essentiel de prendre des mesures pour s'en prémunir en minimisant leurs impacts. La théorie des valeurs extrêmes utilise des méthodes statistiques pour modéliser la distribution de probabilités des événements extrêmes. Cela permet d'optimiser les valeurs des données observées et pourra ainsi aider à mieux prévoir les risques associés (Coles 2001).

Dans ce travail on a basé sur la méthode qui est basée sur les dépassements d'un seuil choisi ( $u$ ), appelée la méthode Peaks Over Threshold (POT) (Solari et al. 2017).

## 2 Méthode Peaks Over Threshold (POT):

D'après (Marc Rebillat, Ouadie Hmad, Farid Kadri, Nazih Mechbal 2017), cette méthode est basée sur l'approximation de la distribution des excès pour la loi de Pareto généralisée. De plus elle présente un avantage par rapport à la méthode des blocs, en ce sens qu'il est plus facile d'avoir un échantillon d'excès que de max. Dans la pratique, on remplace  $u$  par  $X_{(n-k+1,n)}$  qui représente la  $K$  plus grande observation de l'échantillon. Pour réaliser cette méthode, on va 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

Avant de fixer le seuil, nous avons procédé au calcul de la moyenne résiduelle avec le langage python via la bibliothèque pyextreme afin de suivre ses variations et de pouvoir choisir le meilleur seuil possible. Le seuil doit être sur la ligne droite avant les variations de la moyenne résiduelle.

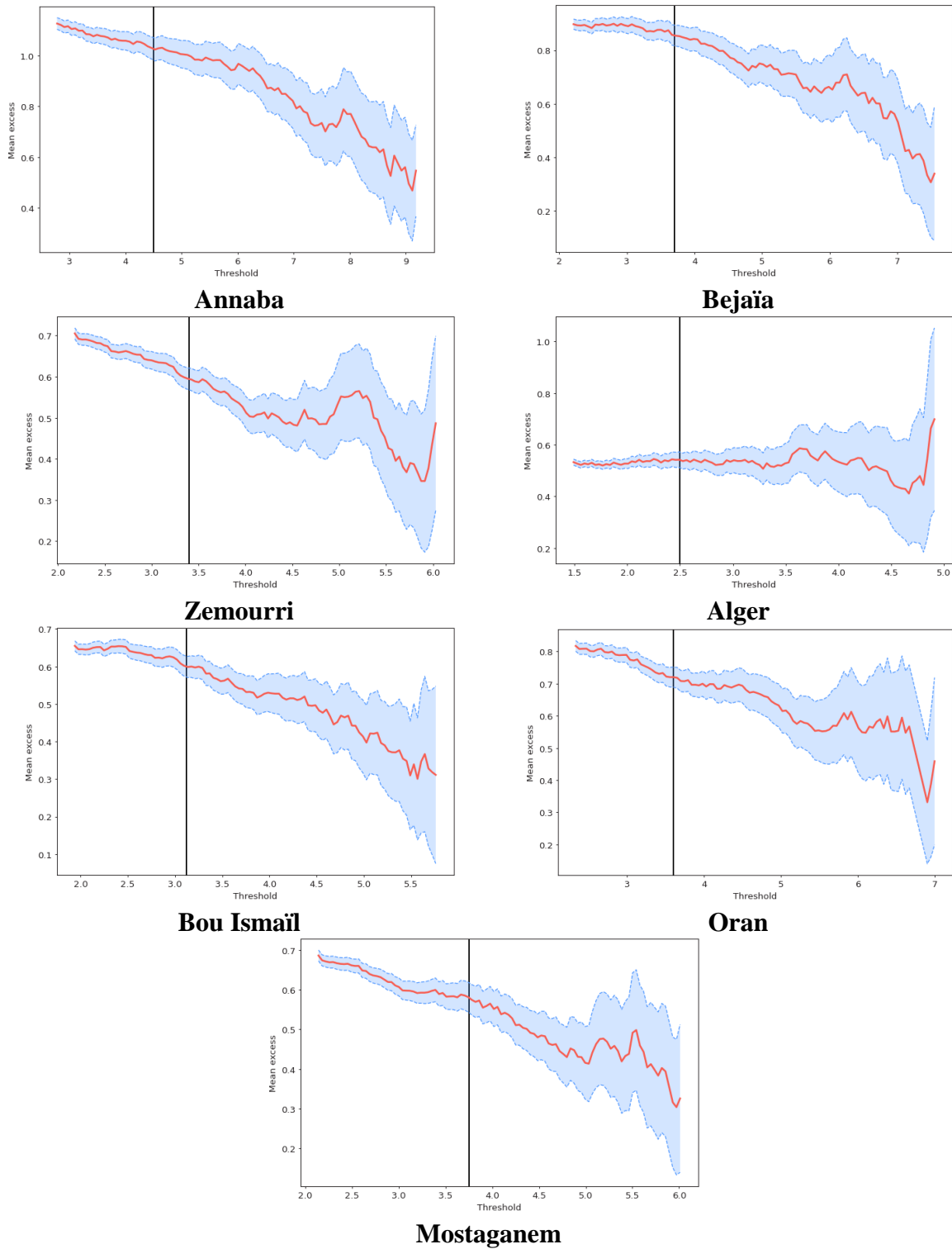


Figure N° 32: Moyenne résiduelle de la série des hauteurs omnidirectionnelles de chaque baie.

La Figure N° 1 illustre l'ensemble des points à utiliser pour le calcul après avoir fixé le seuil. Les hauteurs de houles à prendre en compte de l'ensemble des enregistrements sont extraites en utilisant la bibliothèque pyextremes du langage Python.

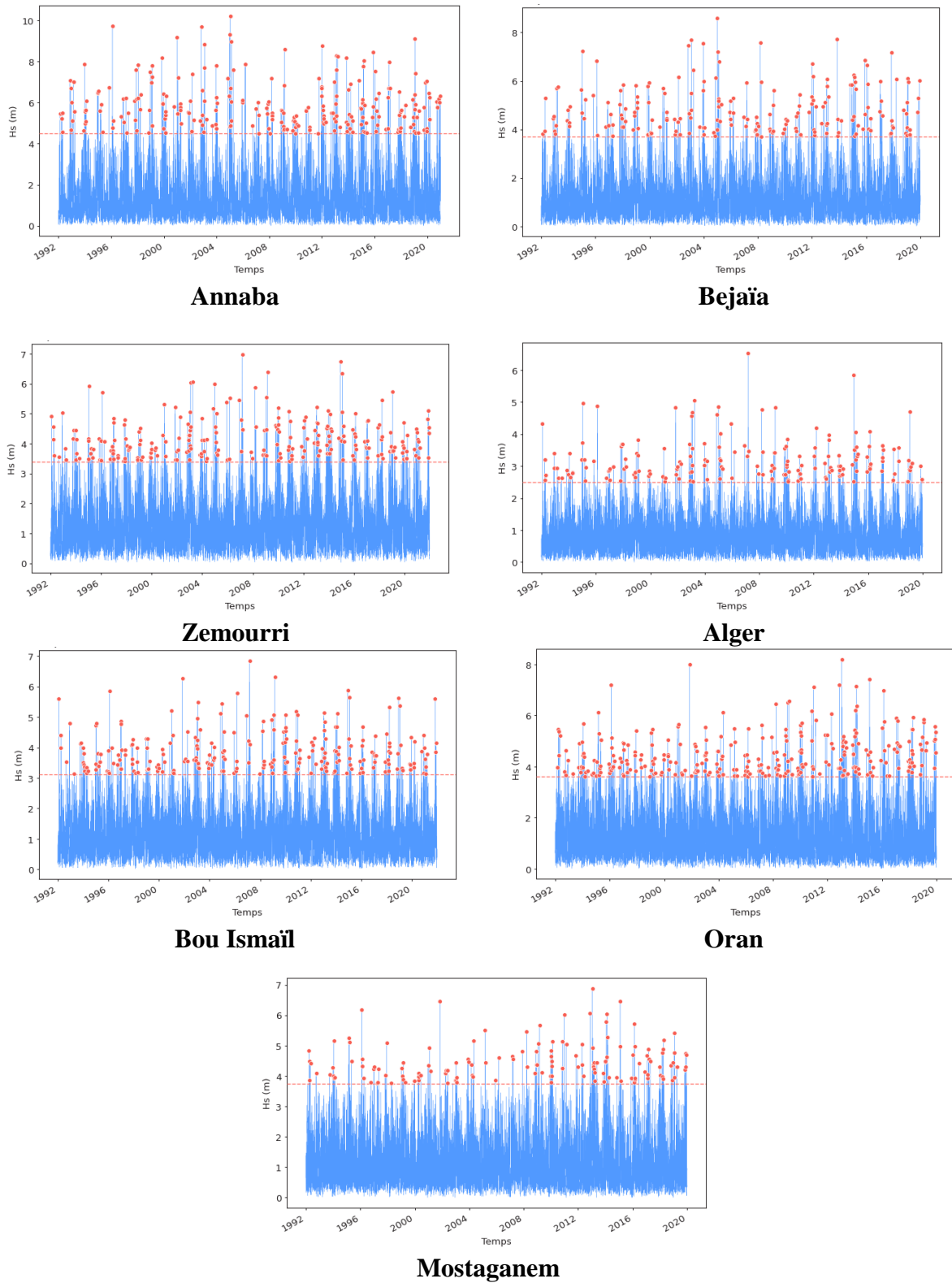
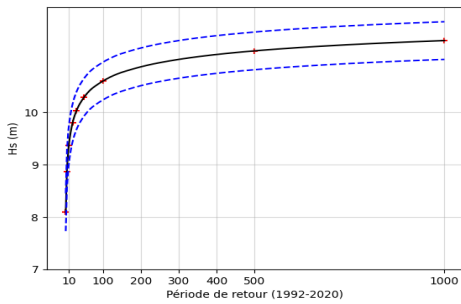
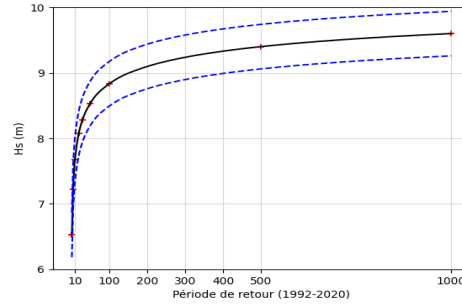


Figure N° 33: Représentation des valeurs dépassant le seuil dans chaque baie.

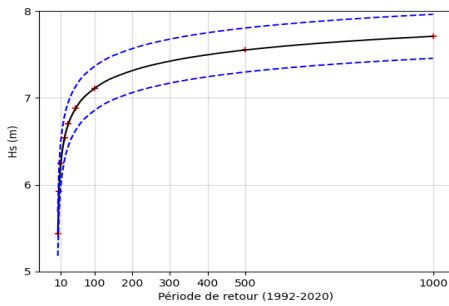
Les résultats figurants dans les graphes pour l'ensemble des zones étudié (Figure N°34), expliqués par des traits bleues qui désignent les limites de l'erreur acceptée pour les résultats de 15% près. Les croix rouges indiquent les valeurs de hauteurs de houles pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 et 1000 ans.



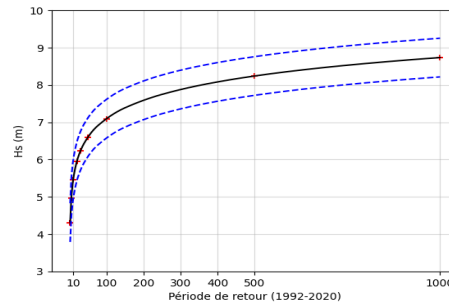
**Annaba**



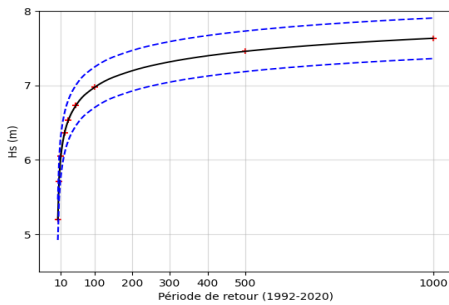
**Bejaïa**



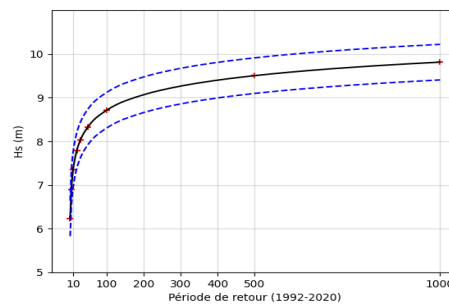
**Zemourri**



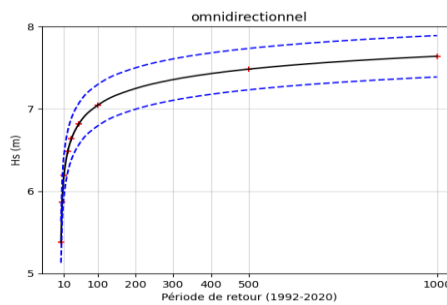
**Alger**



**Bou Ismail**



**Oran**



**Mostaganem**

Figure N° 34: Estimation des évènements extrêmes pour chaque baie.

La même méthodologie sera appliquée pour l'ensemble des autres directions pour chaque zone étudiée. Les résultats ci-dessous :

- **Annaba :**

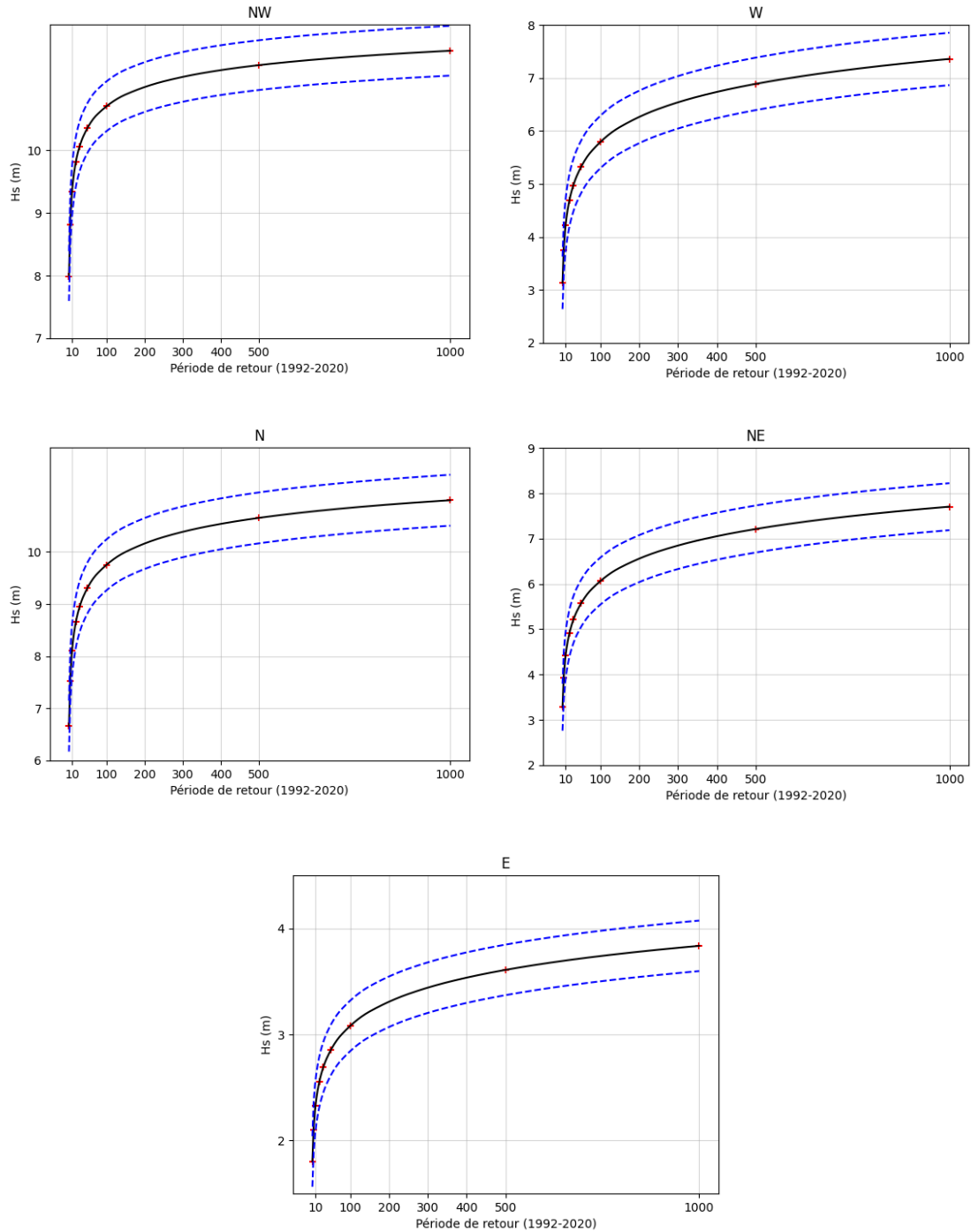


Figure N° 35: Estimation des évènements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Annaba.

• Bejaïa :

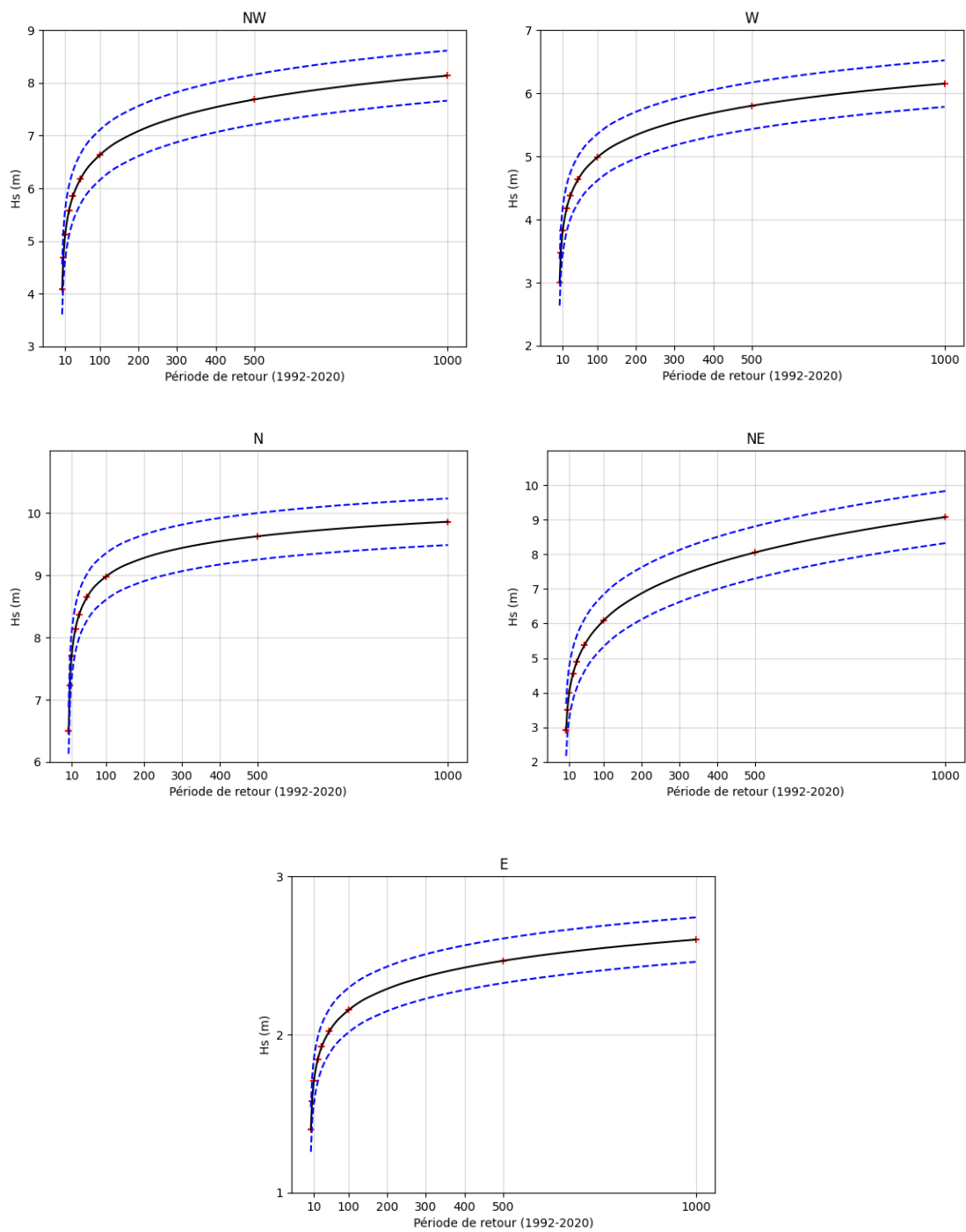


Figure N° 36: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Bejaïa.

• Zemourri :

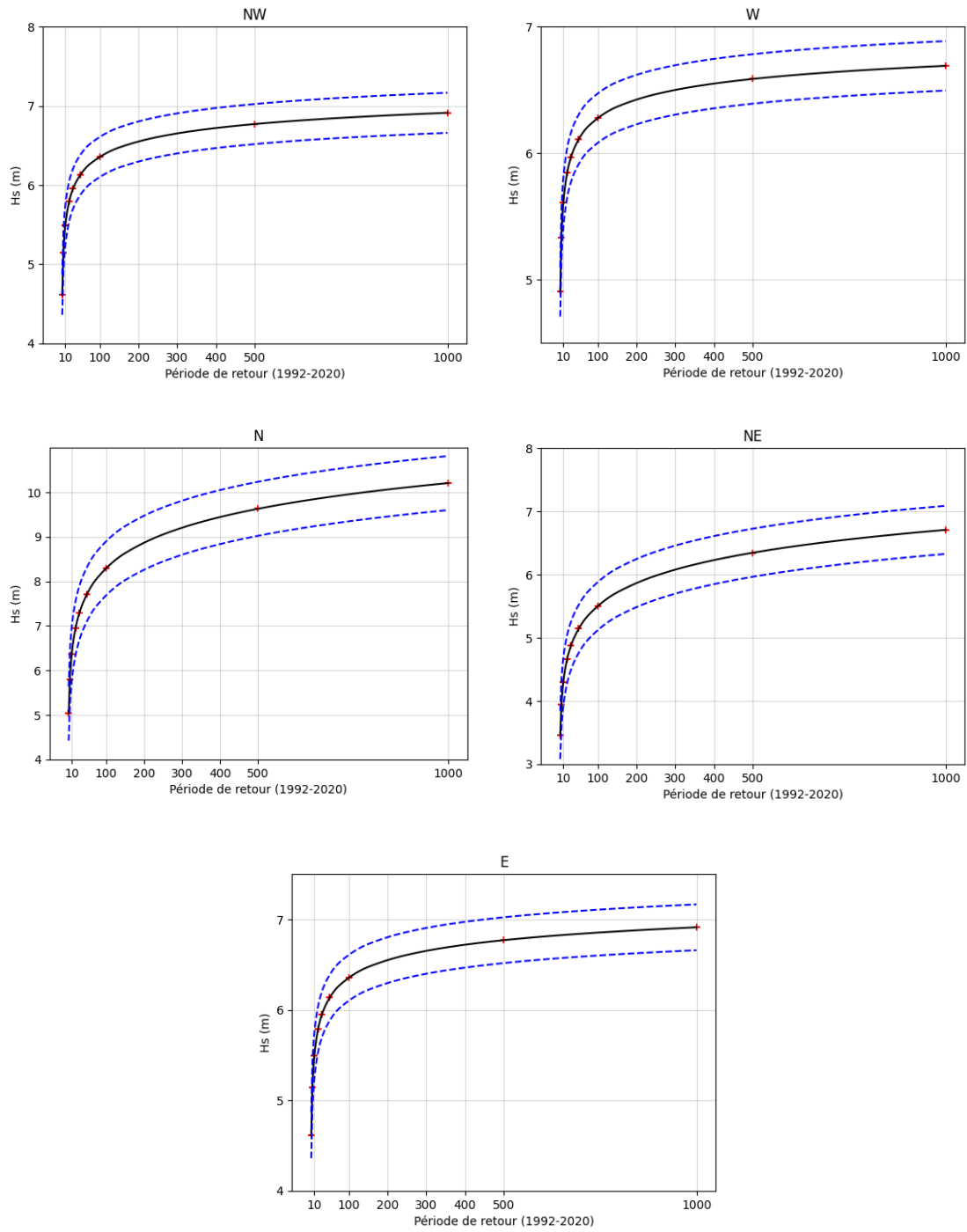


Figure N° 37: Estimation des évènements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Zemourri.

- Alger :

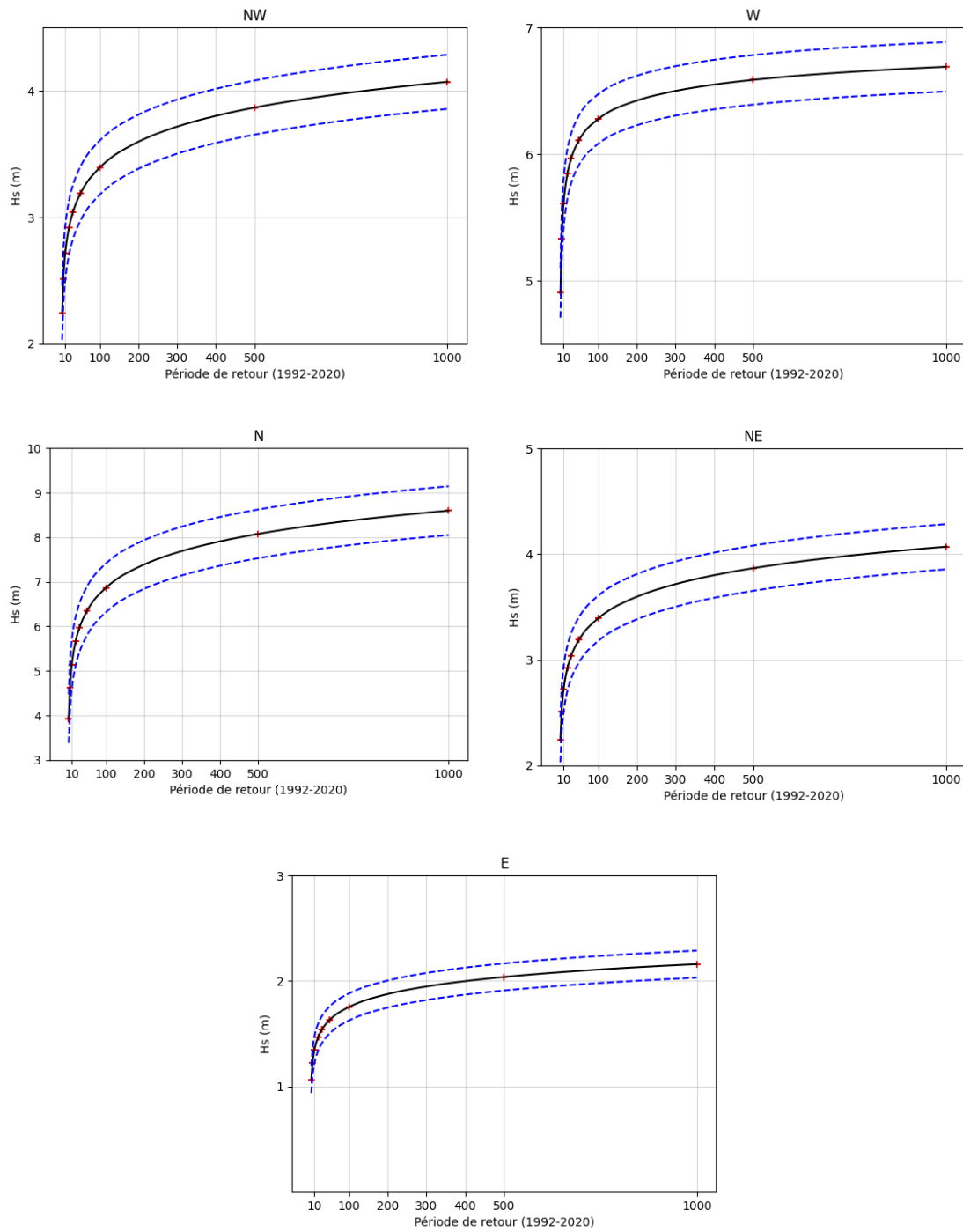


Figure N° 38: Estimation des évènements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Alger.

• Bou Ismail :

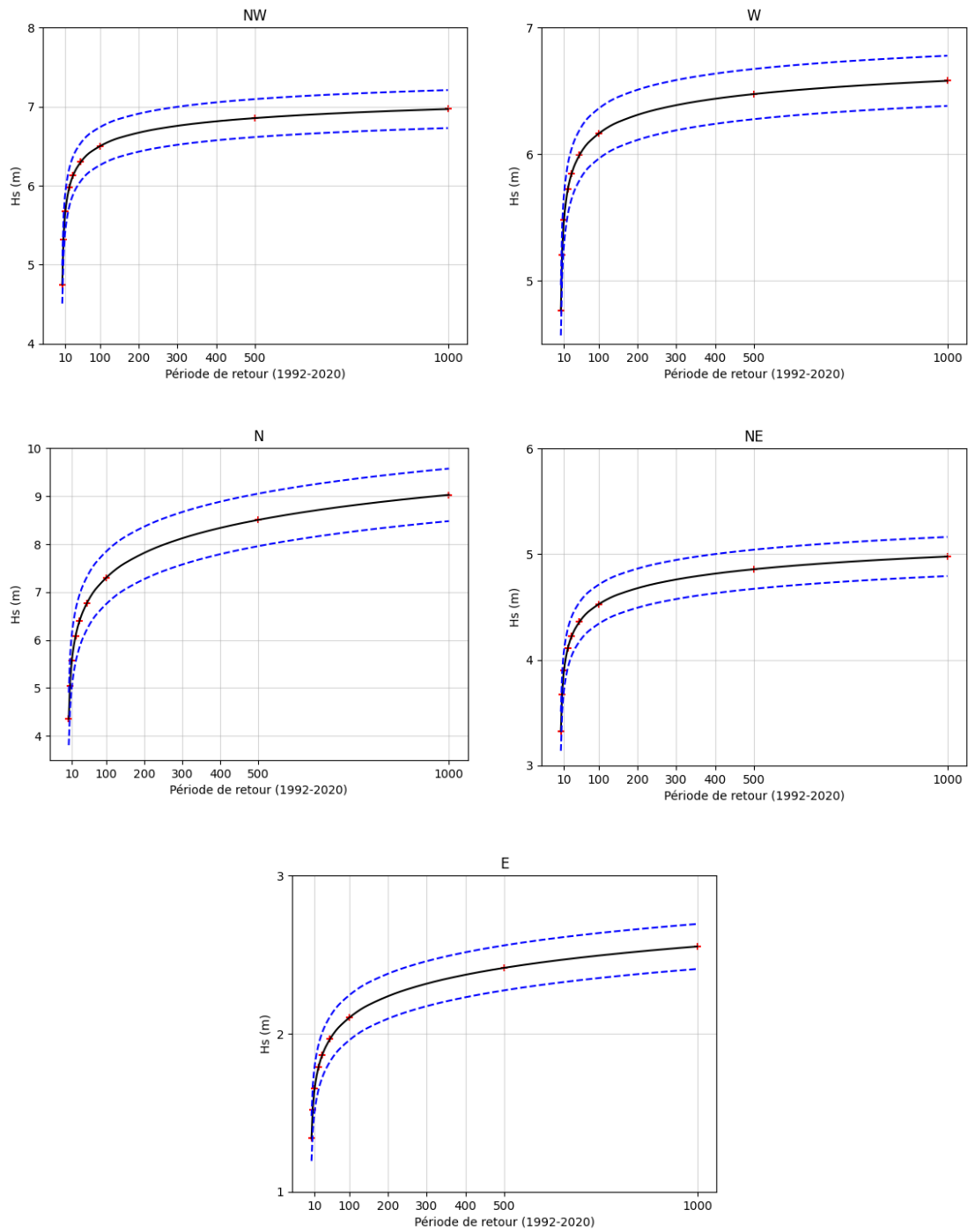


Figure N° 39: Estimation des événements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Bou Ismail.

- Oran :

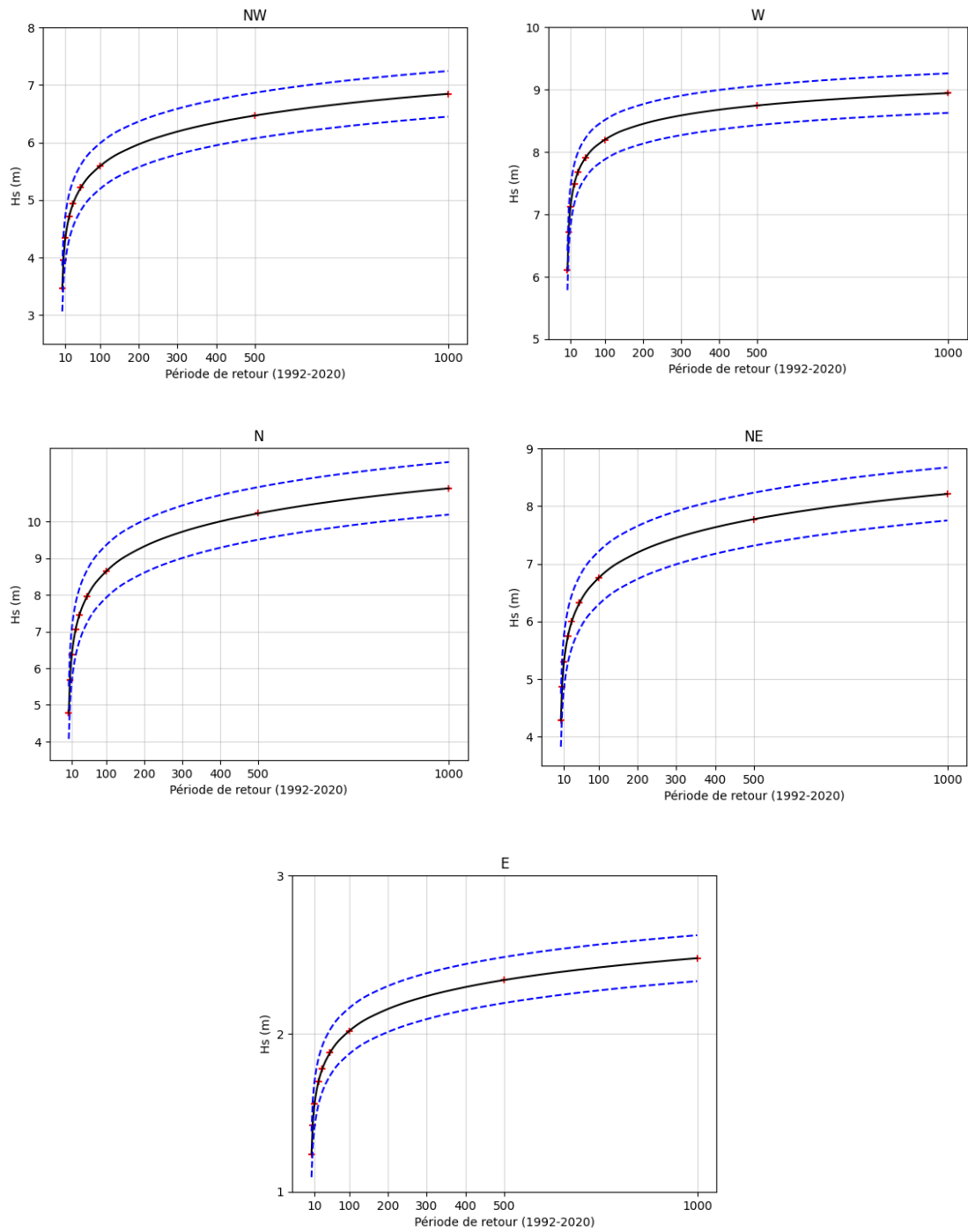


Figure N° 40: Estimation des évènements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie d'Oran.

- Mostaganem :

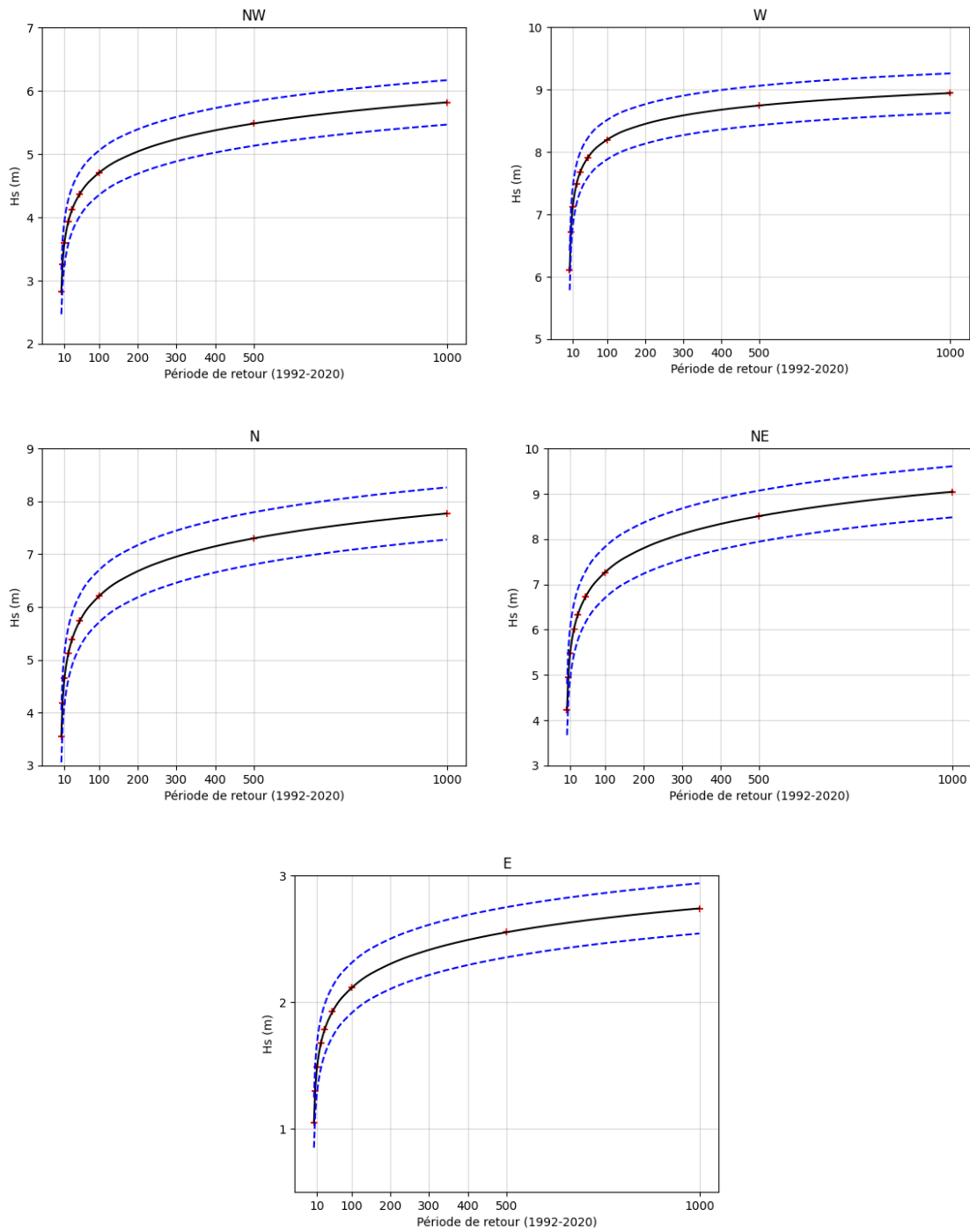


Figure N° 41: Estimation des évènements extrêmes par la méthode POT pour chaque direction dans la baie de Mostaganem.

- Afin de mieux lire les résultats obtenus par la méthode POT, le tableau suivant résume l'ensemble de hauteurs extrêmes obtenues pour les 7 wilayas mentionnées précédemment :

**Tableau 1: Résultat de l'estimation des événements extrêmes par la méthode POT.**

POT						
	Période de retour (année)	W	NW	N	NE	E
Zemmouri	2	3.36	4.61	5.03	4.9	1.73
	10	4.3	5.48	6.36	5.6	2.03
Annaba	2	3.13	7.98	6.65	3.28	1.79
	10	4.22	9.34	8.1	4.42	2.32
Bejaia	2	2.92	4.07	6.5	3	1.4
	10	3.81	5.12	7.7	4.99	1.7
Oran	2	6.09	3.46	4.79	4.29	1.24
	10	7.11	4.33	6.37	5.3	1.56
Mostaganem	2	5.16	2.81	3.55	4.23	1.04
	10	6.13	3.59	4.65	5.47	1.48
Bou Ismaïl	2	3.32	4.74	4.35	4.76	1.34
	10	3.9	5.67	5.56	5.48	1.64
Alger	2	1.3	4.24	4.25	3.34	1.06
	10	2.62	5.36	5.44	4.25	2.54

À partir du Tableau 1 qui représente les hauteurs de houles prédites par la méthode POT, nous avons pu déterminer les directions les plus susceptibles de générer des houles extrêmes pour différentes wilayas : Pour Annaba, Bejaia, Zemmouri, Alger et Bou Ismail, les directions des houles extrêmes les plus prédominantes sont Nord-Est, Nord et Nord-Ouest. Cela signifie que les houles les plus intenses et fréquentes dans ces régions proviennent principalement de ces directions. En revanche, les directions Est et Ouest sont moins susceptibles de générer des houles extrêmes.

Pour Oran et Mostaganem, les directions des houles extrêmes les plus prédominantes sont Nord-Est, Nord, Nord-Ouest et Ouest. Ces régions présentent une dynamique où les houles extrêmes proviennent principalement de ces quatre directions, avec une contribution moindre de la direction Est.

### Conclusion :

En résumé, l'étude des événements extrêmes a permis de définir les chances d'apparition des phénomènes marins rares et de créer des modèles de leurs distributions de probabilités. Ces données sont cruciales pour concevoir des défenses côtières efficaces et éviter les dommages dus à ces événements. Néanmoins, il est primordial de continuer à améliorer les méthodes d'estimation et de modélisation pour une prévision plus précise des risques associés à ces événements extrêmes.

# **Chapitre IV**

## **Modélisation numérique**

## Chapitre IV Modélisation numérique

### 1 Présentation du modèle :

Le MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans, développée par l'institut hydraulique Danois DHI Water & Environnement. Le produit MIKE 21 est un ensemble modulaire de moteurs de simulation conçu pour répondre à divers besoins applicatifs. Ces moteurs incluent la modélisation de flux de marée, de vagues de tempête, du transport de sédiments, du transport de sable, des perturbations portuaires et des états de mer dans les domaines offshore et onshore (DHI 2014). Néanmoins, les simulations nécessitent la création d'une maille (Mesh). Dans ce but, l'outil de génération de mailles (Mesh Generator) du logiciel Mike-Zero a été utilisé.

#### 1.1 Mesh Generator :

Le Mesh Generator de Mike 21 est un outil conçu pour créer des maillages numériques flexibles et fixes pour les modèles MIKE Zéro avec une possibilité d'ajustement de la résolution de la maille. L'outil offre deux options d'interpolation pour les éléments triangulaires, le voisin naturel et l'interpolation linéaire, qui peuvent être utilisées indépendamment du type de maillage. De plus, la fonction d'imbrication de plusieurs maillages est disponible pour le maillage fixe (DHI 2014). Pour la création de la Mesh avec le module 'Mesh Generator', on a utilisé :

- Le système de coordonnées géographiques parce qu'on a travaillé à l'échelle de pays.
- Le trait de côte et la bathymétrie de la zone enregistrés dans un fichier (.xyz).

#### 1.2 Coupled model FM :

Le modèle couplé FM Mike 21/3 développé par DHI est une plateforme avancée de modélisation numérique intégrant les modules FM (Flexible Mesh) et Mike 21. Le module FM est spécialisé dans la simulation hydrodynamique avec une grille flexible adaptative, assurant une résolution spatiale variable pour une précision accrue des courants marins. Quant au module Mike 21, il se concentre sur la modélisation détaillée des vagues et des niveaux d'eau, incluant les effets des marées et des conditions météorologiques sur les environnements côtiers et maritimes. Ensemble, ces modules permettent de simuler de manière intégrée les interactions complexes entre les courants, les vagues et les niveaux d'eau, offrant des applications variées comme la gestion des risques côtiers et la planification des infrastructures maritimes (DHI 2014).

## 2 Les modules du modèle Mike21 :

### 2.1 Mike SW : Houles Spectrales

La transformation des vagues du large à l'approche du littoral sous l'effet de la réfraction et du déferlement est simulée à l'aide du module SW (Spectral Waves) de MIKE 21. Le module SW intègre les développements les plus récents pour la simulation de la génération et de la transformation des vagues en eaux profondes et côtières. Les simulations permettent de reproduire les phénomènes de réfraction, de dissipation par déferlement et/ou frottement sur le fond, de génération des vagues par le vent, d'interaction non linéaire entre les vagues et d'interaction vagues-courants. Le module permet d'utiliser des données de vagues au large préétablies, qui doivent alors être connues grâce à des mesures ou autres données externes, ou de générer des vagues par le vent. La deuxième approche a été utilisée pour la présente étude.

Dans le module SW, c'est le paramètre  $T_p$  qui doit être utilisé. La relation suivante entre les paramètres  $T_z$  et  $T_p$  est utilisée afin de rentrer un paramètre  $T_p$

$$T_p = \frac{T_z}{\left(\frac{5+\gamma}{11+\gamma}\right)^{1/2}} \quad (02)$$

Où  $\gamma$  correspond au pic spectral du spectre de JONSWAP utilisé dans le module S.W. On utilise dans cette étude la valeur recommandée dans le module SW,  $\gamma = 3.3$ .

De plus, les données de vent disponibles dans cette base de données se présentent respectivement sous la forme de la composante zonale et méridienne du vent  $U$  et  $V$ . Ces données sont exprimées en radians. Afin d'obtenir la direction de propagation du vent en degrés  $Wd$  on utilise la relation suivante :

$$Wd = 270 - \left(\arctan(V, U) \frac{180}{\pi}\right) \quad (03)$$

Quand la vitesse du vent elle s'obtient en utilisant la relation suivante :

$$W_s = (U^2 + V^2)^{1/2} \quad (04)$$

Une fois ces données modifiées, on dispose de tous les paramètres caractéristiques ainsi que des conditions de vent des états de mer au large de la base de données.

La propagation de la houle se traduit à l'approche du rivage par une légère modification de ses caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

A noter que le paramètre  $H(m)$  représente la hauteur de la houle en mètre, les vecteurs représentent par leur sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$Kr = \frac{H_s \text{ local}}{(H_{s0} \cdot K_s)} \quad (05)$$

$$K_s = \frac{H}{H'_0} \quad (06)$$

$$\frac{C_0}{C_g} = K_0 d \left( 1 - \frac{1}{2} K_0 d + \frac{7}{72} (K_0 d)^2 \right) \quad (07)$$

Avec :

$$K_0 = \frac{2\pi}{L_0} \quad (08), \quad L = \frac{2\pi}{L_0} T^2 \quad (09)$$

Sachant que :

$H_{s0}$  : La hauteur de la houle au large ;

$H_s$  : Hauteur de la houle locale ;

$K_s$  : Coefficient de Shaoling ;

$H$  : Hauteur de la vague à une profondeur  $d$  ;

$H'_0$  : Hauteur de la vague équivalente au large ;

$C_0$  : Célérité de phase ;

$C_g$  : Célérité de groupe ;

$K_0$  : Nombre d'onde ;

$L_0$  : Longueur d'onde ;

$d$  : Profondeur ;

$T$  : Période de pic ;

## 2.2 Mike HD : Hydrodynamique

La modélisation des courants induits par la marée et les vagues (courants littoraux) repose sur le module FM (Flexible Mesh) de MIKE 21. Ce module utilise un maillage flexible aux volumes finis qui permet d'augmenter la résolution de la bathymétrie dans les zones d'intérêt. Celles-ci sont modélisées à l'aide d'un maillage relativement fin tandis que les champs éloignés sont modélisés avec un maillage plus grossier, permettant ainsi d'optimiser les temps de calculs. Dans le cas présent, d'après les niveaux de marée imposés aux limites de la zone modélisée, le module fournit les valeurs de niveaux et de vitesses d'écoulement intégrées sur la verticale en chacun des points de maillage de la bathymétrie. Le module intègre également les contraintes de radiation dues aux vagues (calculées à l'aide du module SW - voir section suivante), qui permettent de superposer les courants littoraux aux courants de marée (DHI, 2014).

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résout les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant par la méthode volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire. Il traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc....

Il nous permet de simuler les courants côtiers dus à l'action de la houle dans la zone de déferlement (DHI 2014).

L'équation en eau peu profonde dans le système de coordonnées Cartésien L'intégration des équations de quantité de mouvement horizontal et l'équation de continuité de la profondeur  $h=\eta+d$  en eau peu profonde produisent (DHI 2014):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (10)$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_s S \quad (11)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yy}) + hv_s S \quad (12)$$

Où :

$t$  : Temps ;

$x, y, z$  : Coordonnées cartésiennes ;

$\eta$  : Hauteur de la surface ;

$d$  : Profondeur de l'eau ;

$h$  : Profondeur totale de l'eau,  $h = \eta + d$  ;

$u, v, w$  : Composantes de la vitesse du courant dans les directions  $x, y$ , et  $z$  ;

$f$  : Paramètre de Coriolis,  $f = 2\Omega \sin\theta$  ;

$\Omega$  : vitesse angulaire de révolution ;

$\theta$  : Latitude géographique ;

$\rho_w$  : Densité de l'eau ;

$S_{xy}, S_{yx}, S_{xx}, S_{yy}$  : Composantes du tenseur de rayonnement ;

$\nu_t, A$  : Viscosités turbulentes verticale et horizontale, respectivement ;

$p_a$  : Pression atmosphérique ;

$\rho_0$  : Densité de référence de l'eau ;

$S$  : Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles ;

$(u_s, v_s)$  : Vitesses par laquelle l'eau est déchargée dans l'eau ambiante ;

$(\tau_{sx}, \tau_{sy}), (\tau_{bx}, \tau_{by})$  : Composantes  $x$  et  $y$  des contraintes de cisaillement du vent de surface et du fond, respectivement, La barre supérieure décrit une valeur moyenne.

$u, v$  : Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies par :

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad (13) , \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (14)$$

Les contraintes latérales  $T_{ij}$  comprennent le frottement visqueux, l'advection différentielle et le frottement turbulent. Ils sont estimés à l'aide d'une viscosité turbulente sur la base de la formulation des gradients de vitesse moyenne de la profondeur

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x'} \quad (15), \quad T_{xy} = A \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (16), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y'} \quad (17)$$

### 3 Données bathymétriques d'entrées :

La bathymétrie utilisée dans le cadre de ce travail est la combinaison de données de deux sources (NAVIONICS et GEBCO).

- La bathymétrie près de la cote a été obtenue par la digitalisation de la carte publiée par NAVIONICS Sonar Chart™, édition 2021 à l'échelle de 1/250000 avec une résolution qui varie entre -10 et 0.5m du large vers la cote.
- Par contre au large (inférieure à -100m de profondeur) on a travaillé avec la base de données GEBCO.

Pour préparer les données bathymétriques pour MIKE 21, nous avons suivi deux méthodes distinctes en fonction de l'origine des données. Dans le cas des données obtenues à partir de GEBCO, nous avons généré des contours à partir du MNT, puis exporté la table attributaire vers Excel. Ensuite, nous avons converti le fichier Excel en fichier texte, puis en format XYZ. Pour les données de Navionics, qui étaient sous forme de shapefiles, nous avons exporté la table attributaire vers Excel, puis effectué les mêmes conversions vers un fichier texte puis XYZ. Ces fichiers XYZ ont ensuite été utilisés pour créer la bathymétrie sur MIKE 21.

La génération de la Mesh est faite avec un maillage triangulaire imbriqué offrant une précision spatiale accrue pour représenter les caractéristiques locales de chaque baie. Cette approche ajuste sélectivement la densité du maillage selon les besoins, garantissant des résultats plus précis dans les zones d'intérêt et optimisant l'utilisation des ressources de calcul. La génération de la Mesh est suivie d'une interpolation ; deux méthodes d'interpolation sont disponibles pour les éléments triangulaires : le voisin le plus proche et l'interpolation linéaire. (DHI, 2014). Dans notre cas, la méthode d'interpolation du voisin le plus proche a été choisie.

### 4 Maillage et Bathymétrie résultante :

#### 4.1 Le maillage :

Le maillage résultant de la simulation MIKE 21, de type triangulaire, a été analysé pour sept wilayas côtières de l'Algérie, à savoir Bou Ismail, Alger, Zemmouri, Bejaïa, Mostaganem, Oran et Annaba. Les spécificités pour chaque baie sont présentées ci-dessous :

- **Annaba :**  
Le maillage se compose de 27202 éléments triangulaires et de 15204 nœuds.
- **Bejaïa :**  
Le maillage est composé de 6468 éléments triangulaires et de 3838 nœuds.
- **Zemmouri :**  
Le maillage pour la baie de Zemmouri comprend 24005 éléments triangulaires et 12834 nœuds..
- **Alger :**  
Pour la wilaya d'Alger, le maillage se compose de 21743 éléments triangulaires et de 12007 nœuds.

➤ **Bou Ismail :**

Le maillage utilisé dans notre étude pour la baie de Bou Ismail est constitué de 24005 éléments triangulaires et de 12834 nœuds.

➤ **Mostaganem :**

Le maillage pour la baie de Mostaganem comprend 9795 éléments triangulaires et 5749 nœuds.

➤ **Oran :**

Le maillage utilisé pour la wilaya d'Oran est composé de 7784 éléments triangulaires et de 4776 nœuds.

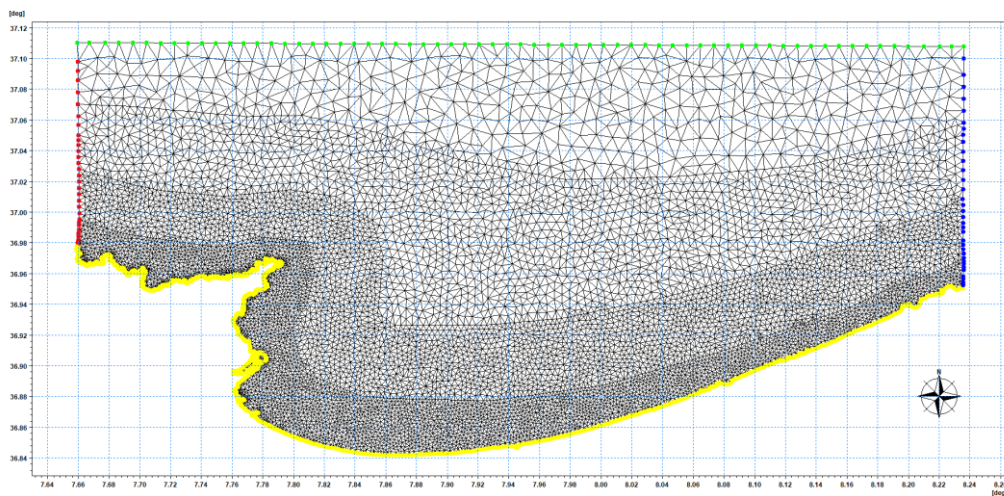


Figure N° 42: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Annaba.

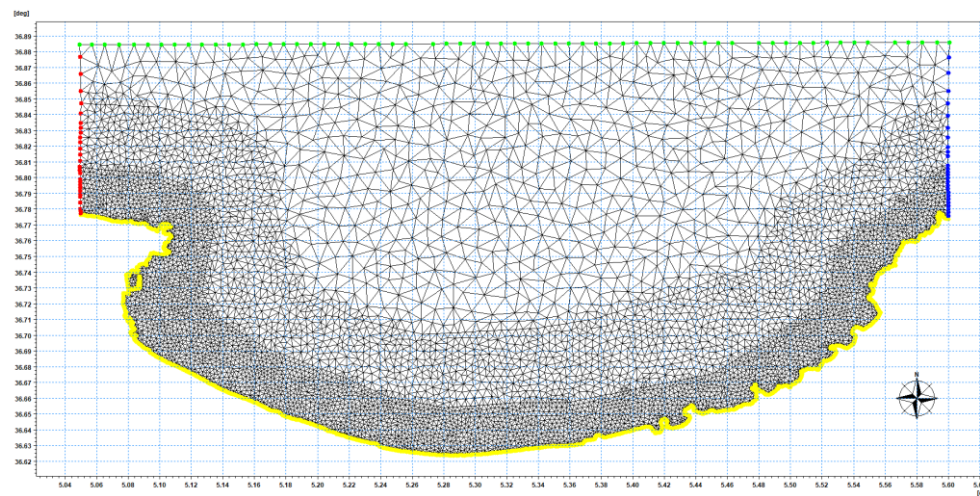


Figure N° 43: Maillage du modèle zoom sur la baie de Bejaïa.

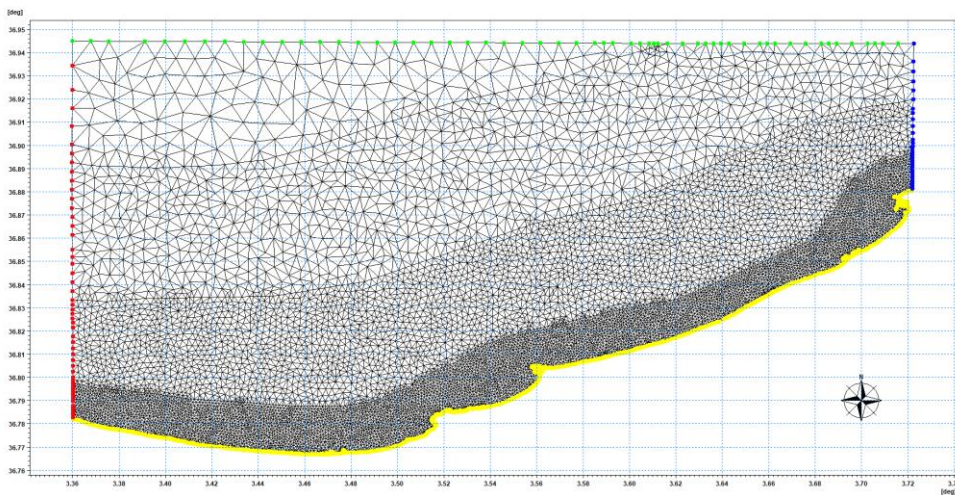


Figure N° 44: Maillage du modèle zoom sur la baie de Zemorri.

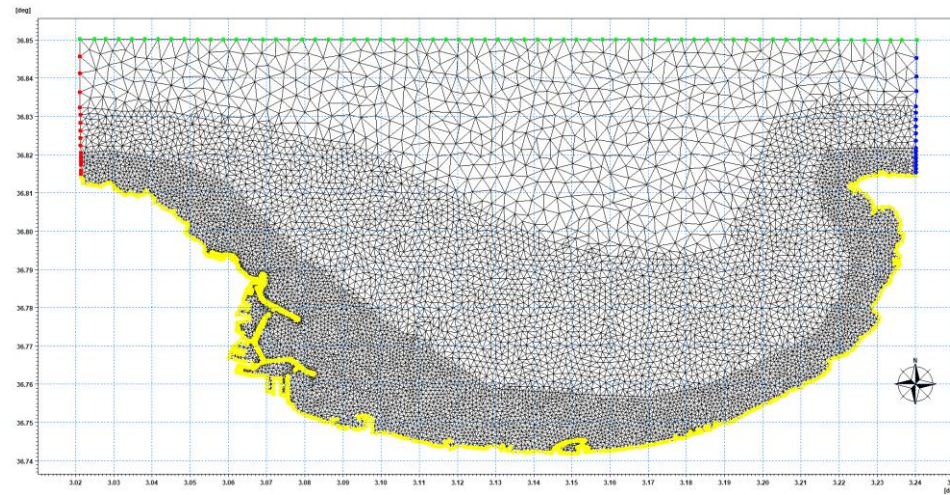


Figure N° 45: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Alger.

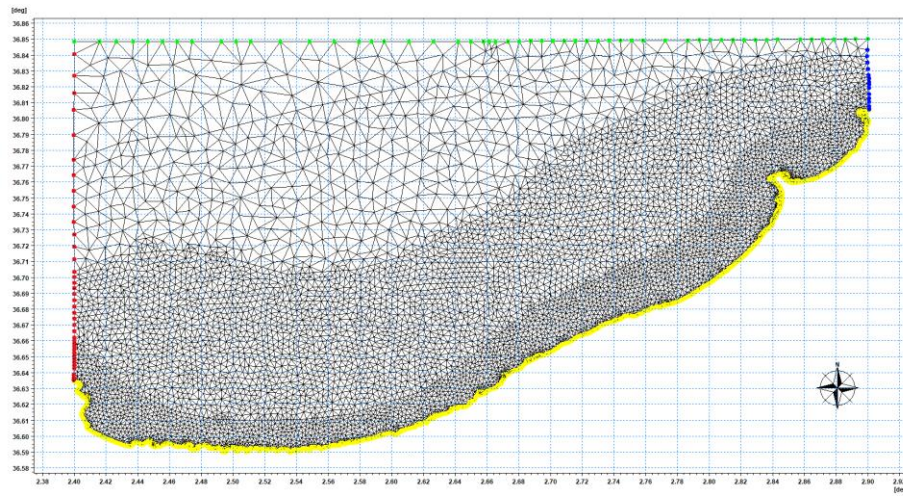


Figure N° 46: Maillage du modèle zoom sur la baie de Bou Ismail.

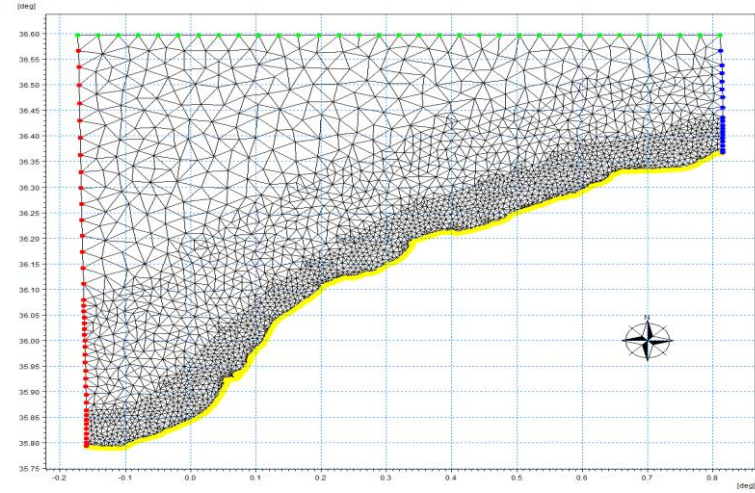


Figure N° 47: Maillage du modèle zoom sur la baie de Mostaganem.

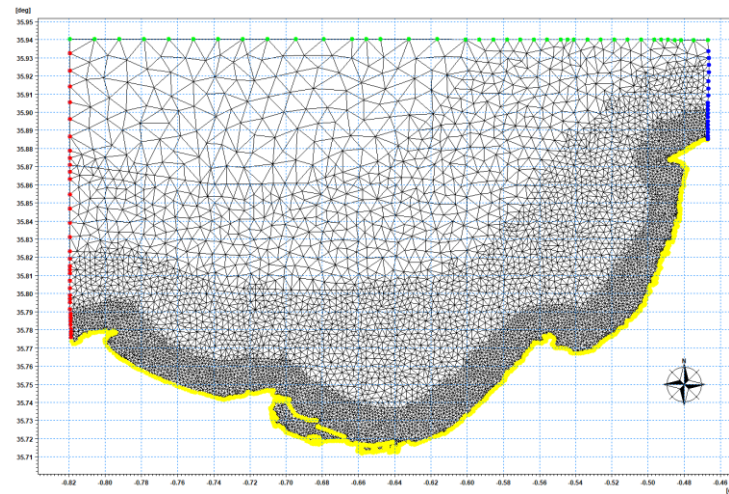


Figure N° 48: Maillage du modèle zoom sur la baie d'Oran.

## 4.2 La bathymétrie :

Après l'interpolation de la Mesh, nous avons obtenu les bathymétries de chaque baie étudiée dans le cadre de notre étude, s'étendant du trait de côte jusqu'au point d'extraction de données.

### ➤ La baie d'Annaba :

Au niveau du cap de Rosa, au niveau du EL tarf, les isobathes sont serrées, indiquant une pente sous-marine abrupte. On observe que le passage de la côte à l'isobathe -30 m se fait sur une distance relativement courte. En poursuivant vers l'est, cette pente abrupte se prolonge jusqu'à la zone dite de "source de roché", toujours en raison de la nature géologique du fond marin dans ce secteur. Les isobathes restent serrées, confirmant le caractère accidenté de cette partie de la bathymétrie. Cette morphologie accidentée est liée à la présence de falaises et de plages rocheuses, résultant de la géologie locale caractérisée par des formations résistantes.

Au-delà de la zone de "source de roché" au niveau d'Annaba, en allant vers l'est, les isobathes commencent à s'espacer progressivement. Cette configuration bathymétrique plus douce est liée à la morphologie de cette partie de la wilaya, avec un plateau continental qui s'élargit

Enfin, au niveau du cap de Garde à la partie ouest d'Annaba, la pente redevient plus marquée. Les isobathes se resserrent, montrant que le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une distance relativement courte. Cette configuration bathymétrique abrupte est liée à la fois à la géomorphologie du cap, composé de roches résistantes, et aux effets hydrodynamiques dans cette zone.

### ➤ La baie de Bejaïa :

Au niveau du cap Cavallo, à Jijel, les isobathes sont serrées, indiquant une pente sous-marine relativement abrupte. On observe que le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une distance relativement courte. Cette configuration bathymétrique accidentée est aux effets hydrodynamiques, avec une houle plus énergétique convergeant vers le cap, contribuant à façonner cette morphologie marquée. En poursuivant vers l'est, cette pente abrupte se prolonge jusqu'à la zone de Malbou.

La présence continue de falaises immergées dans ce secteur explique le maintien d'une bathymétrie accidentée, avec le passage de la côte à l'isobathe -30 m sur une faible distance, en allant vers l'ouest, les isobathes commencent à s'espacer progressivement. Cela traduit un adoucissement de la pente sous-marine dans cette partie. Cette morphologie plus douce est probablement due à une lithologie moins résistante du fond marin, permettant une accumulation de sédiments fins. De plus, l'hydrodynamisme est moins intense dans cette zone, ce qui contribue à façonner ce profil bathymétrique plus progressif.

Enfin, au niveau du cap de Carbon, à Bejaïa, on observe à nouveau un resserrement des isobathes, indiquant un retour à une pente sous-marine plus marquée. Le passage de la côte à l'isobathe -70 m se fait sur une distance relativement courte dans cette zone. Cette configuration est à nouveau liée à la présence d'une structure rocheuse immergée, ainsi qu'à des conditions hydrodynamiques plus énergétiques dans cette zone.

➤ **La baie de Zemmouri :**

Au niveau du cap Djinet à l'ouest de la wilaya de Zemmouri, les isobathes sont serrées, indiquant une pente sous-marine abrupte. Cette morphologie accidentée est liée à la nature rocheuse résistante de ce cap, ainsi qu'aux effets hydrodynamiques qui font de cette zone un secteur à fort potentiel énergétique. On observe que le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une distance relativement courte. En allant vers l'est, les isobathes s'espacent progressivement, signalant un adoucissement de la pente jusqu'au niveau du port de Zemmouri el Bahri.

Cependant, à l'approche du port, les isobathes se resserrent à nouveau, révélant une pente sous-marine plus marquée dans cette zone. Cette configuration est probablement due à une lithologie plus résistante du fond marin, combinée à des effets hydrodynamiques plus énergétiques. Cette alternance entre des zones à pente douce et des zones à pente plus abrupte se poursuit vers l'est. Ainsi, au niveau du cap Blanc, les isobathes se resserrent à nouveau, indiquant une bathymétrie plus accidentée due à la nature rocheuse de ce cap et à l'hydrodynamisme local. Comme pour le cap Djinet, on observe un passage rapide de la côte à l'isobathe -50 m.

Enfin, en poursuivant vers l'est au-delà du cap Blanc, les isobathes s'espacent une nouvelle fois, indiquant un élargissement progressif du plateau continental avec une pente plus douce jusqu'à des profondeurs importantes. Dans cette zone, l'hydrodynamisme est moins énergétique.

➤ **La baie d'Alger :**

La bathymétrie de la baie d'Alger présente des caractéristiques distinctes selon les zones : Près des caps rocheux à l'est et à l'ouest de la baie, la pente sous-marine est relativement abrupte. On observe que le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une distance relativement courte des deux côtés de la baie. Cette morphologie accidentée est liée à la nature géologique de ces formations, composées de roches plus résistantes.

Les effets hydrodynamiques sont plus intenses à proximité des caps, les orthogonales de la houle convergeant vers ces zones. Au contraire, la partie centrale de la baie d'Alger se distingue par une pente sous-marine plus douce dans son ensemble. Cette configuration plus progressive est attribuée à la lithologie de cette zone, constituée de roches plus tendres et meubles, permettant l'accumulation de sédiments fins apportés par les cours d'eau. L'hydrodynamisme plus modéré dans cette partie abritée de la baie contribue également à adoucir la pente du fond marin.

Enfin, au large de la baie d'Alger, le plateau continental s'achève rapidement, avec des isobathes rapprochées indiquant une pente abrupte. Cette morphologie sous-marine est caractéristique de la région centre algérienne, où le plateau continental est généralement étroit.

➤ **La baie de Bou Ismaïl :**

En partant de l'ouest de la baie de Bou Ismaïl, au niveau du port d'El Djamila et du port de Sidi Fredj, on observe que les isobathes sont serrées, indiquant une pente sous-marine relativement forte dans cette zone. Cette configuration bathymétrique accidentée est liée à la géomorphologie locale, caractérisée par la présence de structures rocheuses immergées, comme le cap Ténès. Les effets hydrodynamiques, avec une houle plus énergétique dans ces secteurs, contribuent également à façonner cette bathymétrie abrupte.

Cependant, en allant vers l'est, dans la partie centrale de la baie, les isobathes commencent à s'espacer progressivement. Cela traduit un adoucissement de la pente sous-marine et un élargissement du plateau continental dans cette zone. Cette morphologie plus douce est probablement due à une lithologie moins résistante du fond marin, permettant une accumulation de sédiments fins apportés par les cours d'eau. De plus, l'hydrodynamisme est moins intense dans cette partie abritée de la baie, favorisant ce profil bathymétrique plus progressif.

En poursuivant vers l'est, la pente sous-marine reste relativement douce, avec des isobathes toujours bien espacées. Le plateau continental s'élargit dans cette partie de la baie, avec une bathymétrie plus progressive jusqu'à des profondeurs importantes.

➤ **La baie de Mostaganem :**

Dans la partie Ouest, Au niveau du cap Ivi, les isobathes sont serrées, indiquant une pente sous-marine relativement abrupte. On observe que le passage de la côte à l'isobathe -30 m se fait sur une distance relativement courte. Cette configuration bathymétrique accidentée est aux effets hydrodynamiques, avec une houle plus énergétique convergeant vers le cap, contribuent à façonner cette morphologie marquée.

En allant vers l'est, les isobathes commencent à s'espacer progressivement. Cela traduit un adoucissement de la pente sous-marine dans cette partie. Cette morphologie plus douce est probablement due à une lithologie moins résistante du fond marin, permettant une accumulation de sédiments fins. De plus, l'hydrodynamisme est moins intense dans cette zone, ce qui contribue à façonner ce profil bathymétrique plus progressif.

➤ **La baie d'Oran :**

En partant de l'est de la wilaya d'Oran, on observe plusieurs zones où la pente sous-marine est abrupte et les isobathes sont serrées, indiquant des zones à fort potentiel énergétique. Tout d'abord, au niveau du phare du cap de l'Aiguille, on constate que le passage de la côte à l'isobathe -50 m se fait sur une distance relativement courte, révélant une pente sous-marine forte dans cette zone. Cette configuration bathymétrique accidentée, combinée aux effets hydrodynamiques, fait de ce secteur une zone à fort potentiel énergétique, où les orthogonales de la houle convergent.

Plus à l'ouest, au niveau du port d'El Mers El Kbir, la bathymétrie montre également une pente abrupte, avec le passage de la côte à l'isobathe -30 m sur une faible distance. Là encore, l'hydrodynamisme local est marqué, en raison de la morphologie sous-marine.

Enfin, au niveau du cap Falcon, la pente sous-marine est encore plus marquée, avec le passage de la côte à l'isobathe -60 m sur une courte distance. Cette zone est également soumise à des conditions hydrodynamiques énergétiques, liées à la présence du cap rocheux. Entre ces zones à forte pente, les isobathes s'espacent progressivement, indiquant un adoucissement de la bathymétrie. Cela se traduit par un élargissement du plateau continental dans ces secteurs intermédiaires, où l'hydrodynamisme est moins intense.

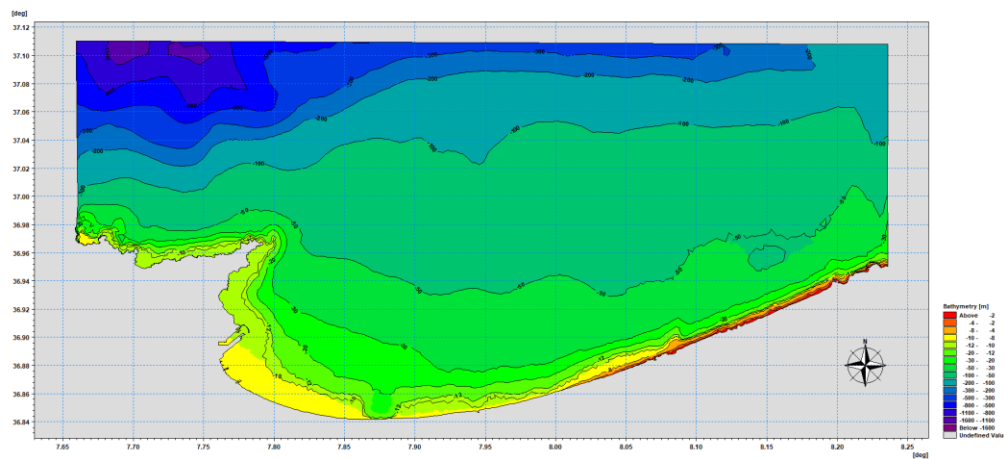


Figure N° 49: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Annaba.

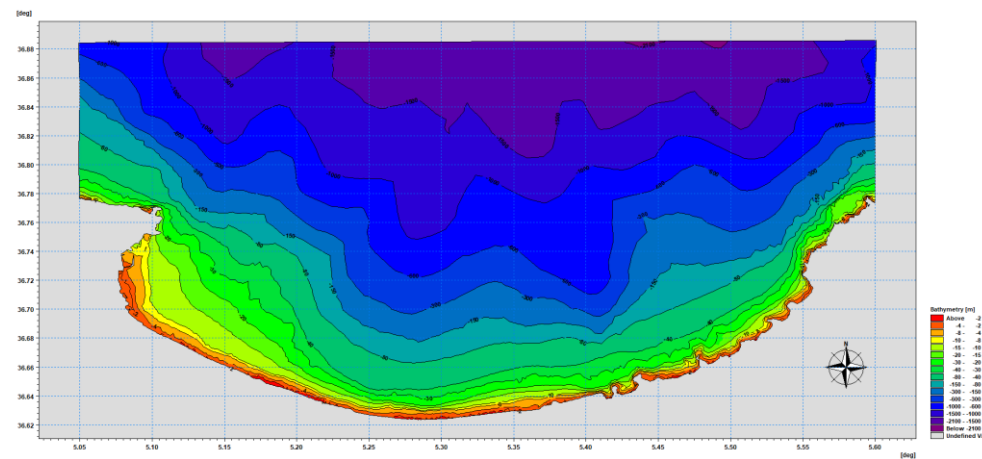


Figure N° 50: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Bejaïa.

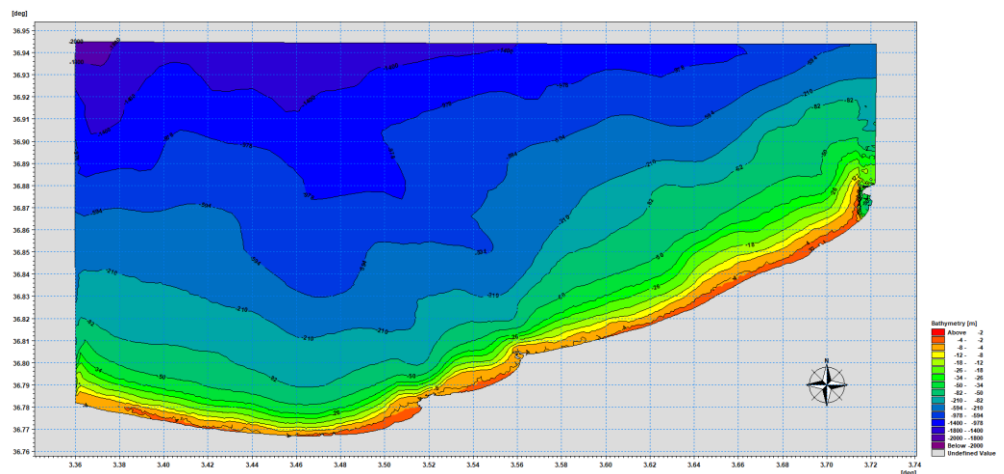


Figure N° 51: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Zemourri.

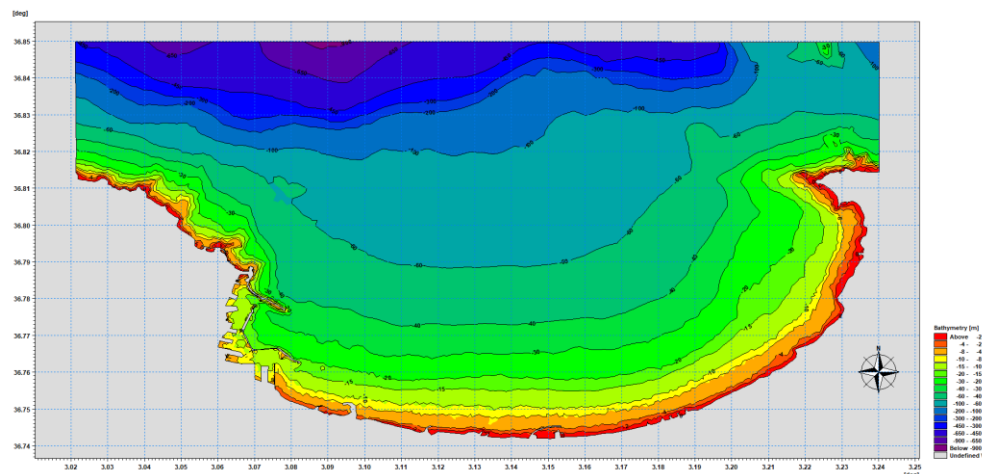


Figure N° 52: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Alger.

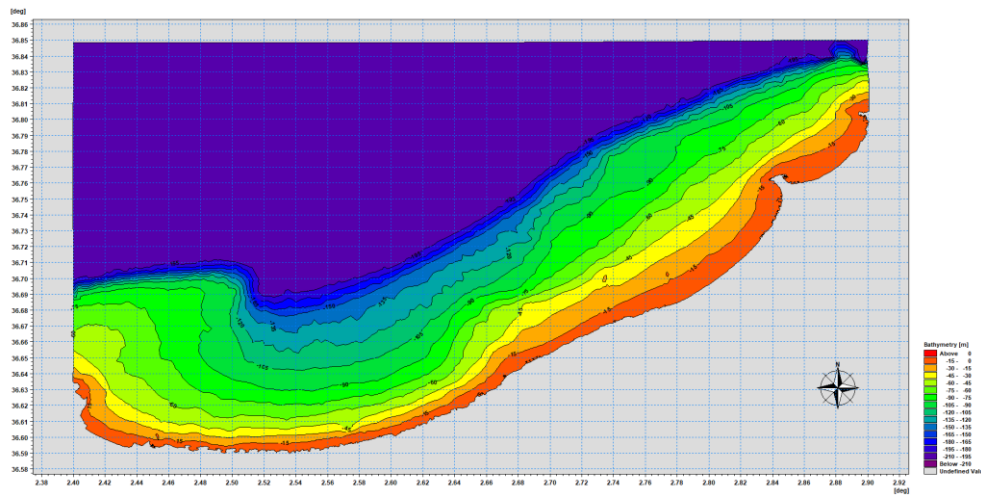


Figure N° 53: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Bou Ismaïl.

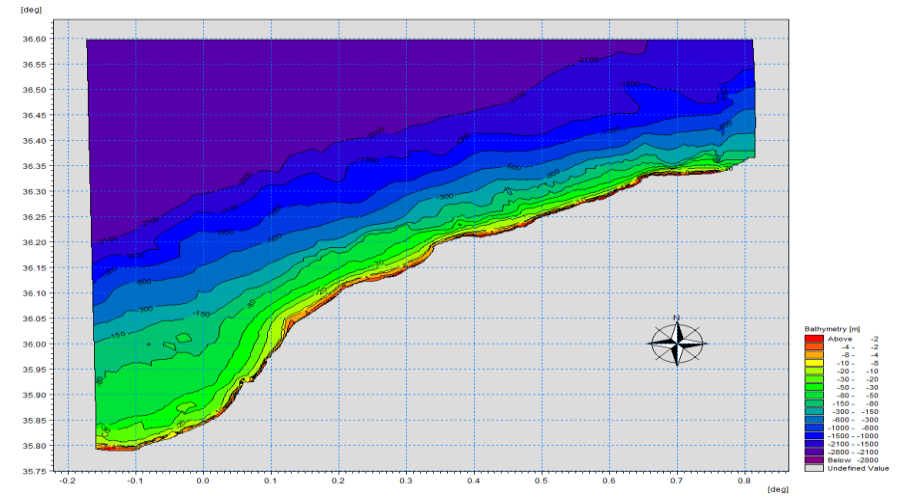


Figure N° 54: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie de Mostaganem.

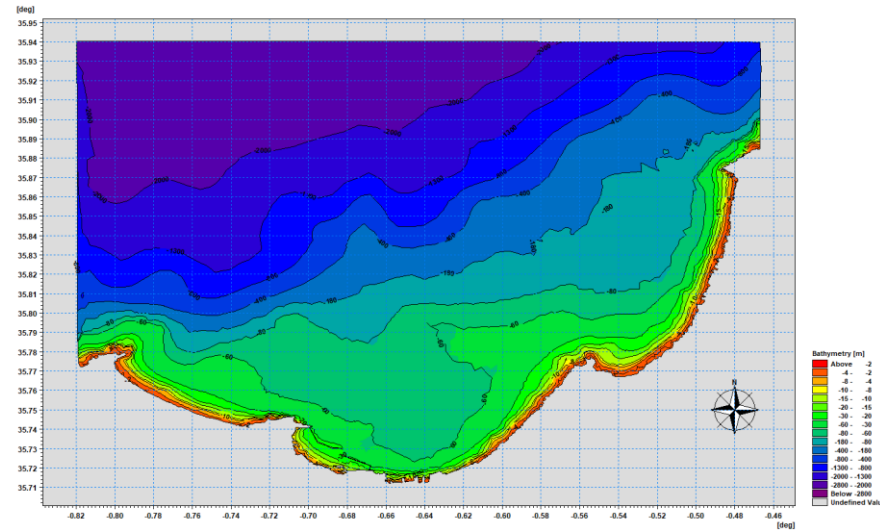


Figure N° 55: Bathymétrie du modèle zoom sur la baie d'Oran.

## 5 Présentation et interprétation des résultats :

### 5.1 La baie d'Annaba :

L'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. La bathymétrie obtenue pour la baie d'Annaba présente des valeurs comprises entre 0 m et -50m.

Au large, ces houles de direction Nord-Est ( $45^\circ$ ) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, elle change ses caractéristiques du large. Sa hauteur significative diminue considérablement dans la partie Ouest au niveau d'Annaba pour atteindre avec des valeurs moins élevées qui varient entre 1.75 m et 2.75m de suite à la diffraction et à la réfraction de la houle au voisinage de la cote.

D'après la figure N°56 on observe que les houles de secteur Nord-Est donnent naissance à des courants longitudinaux moins importants par rapport aux autres directions. Ces courants sont dirigés vers l'Ouest avec des vitesses qui varient entre 0.32 m/s et 0.48 m/s au niveau d'El Kala. Et quasiment nul au niveau d'Annaba

D'après les cartes (figure N°56 et 57), on remarque que les houles de secteur  $360^\circ$ N arrivent sur la cote d'une manière frontale avec des angles de déviation presque nul. Les houles de cette direction se réfractent légèrement, toutefois, elles subissent des déformations au niveau du cap de garde. Presque la totalité de la cote de la baie d'Annaba est exposée à la houle Nord avec une valeur entre 3.5 m et 4.5 au niveau d'Annaba et entre 4.5 m et 5.5 m au niveau EL Kala

Les vagues venant du secteur Nord génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses importantes varient entre 1.05m /s à 1.35m /s dans la zone Kala et Berrihane, Ces vitesses diminuent en allant vers l'ouest pour atteindre des valeurs entre 0.60 m/s et 0.90 m/s au niveau sidi mbarek et on remarque des courants de retours dans cette zone avec une vitesse entre 0.15m/s et 0.30m/s

Les houles issues de secteur  $315^\circ$ N arrivent sur la côte avec une réfraction importante. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre  $3^\circ$  et  $10^\circ$  par rapport à la direction initiale du large. Elle perd une bonne partie de son énergie pour atteindre la cote avec des hauteurs de houle ente 1.2m et 1.8m parce que cette zone abritée par le cap par contre au niveau d'El Kala arrivent d'une manière frontale. Elles arrivent au niveau de la cote avec des hauteurs varient entre 5.4 m et 6.6 m. Ces houles engendrent des courants de dérive littorale Ouest-Est le long de la cote avec des vitesses qui varient entre 0.48m/s et 0.72m/s orienté d'Est en Ouest au niveau Berrihane (El tarf) jusqu'à El Kala.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

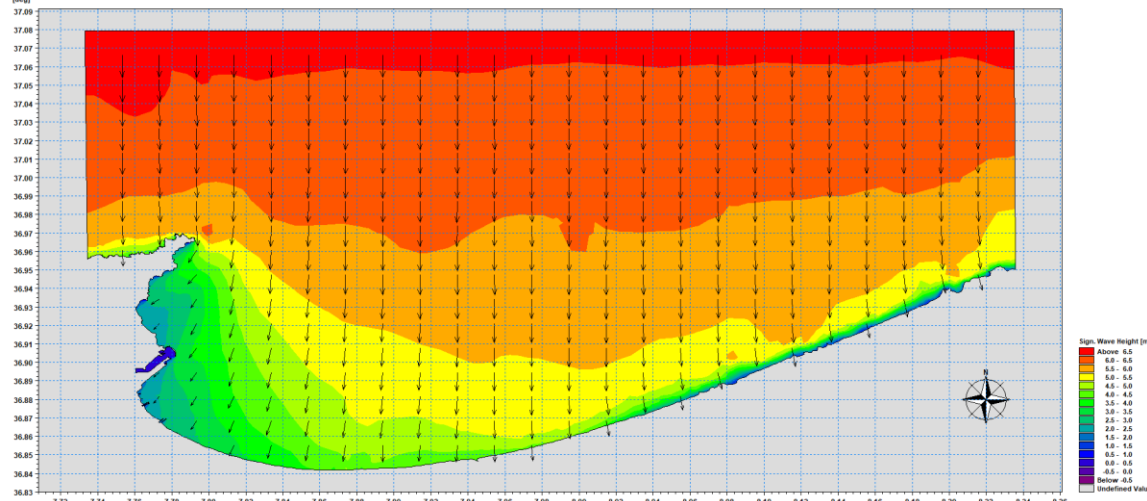


Figure N° 56: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 6.62 m, Tp= 11.66 s).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

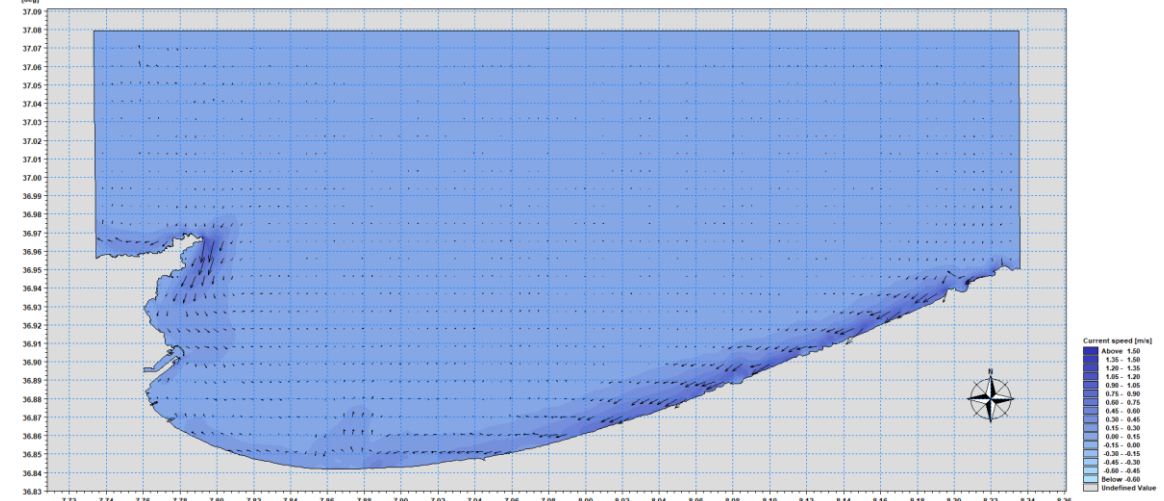


Figure N° 57: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 6.62 m, Tp= 11.66 s).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

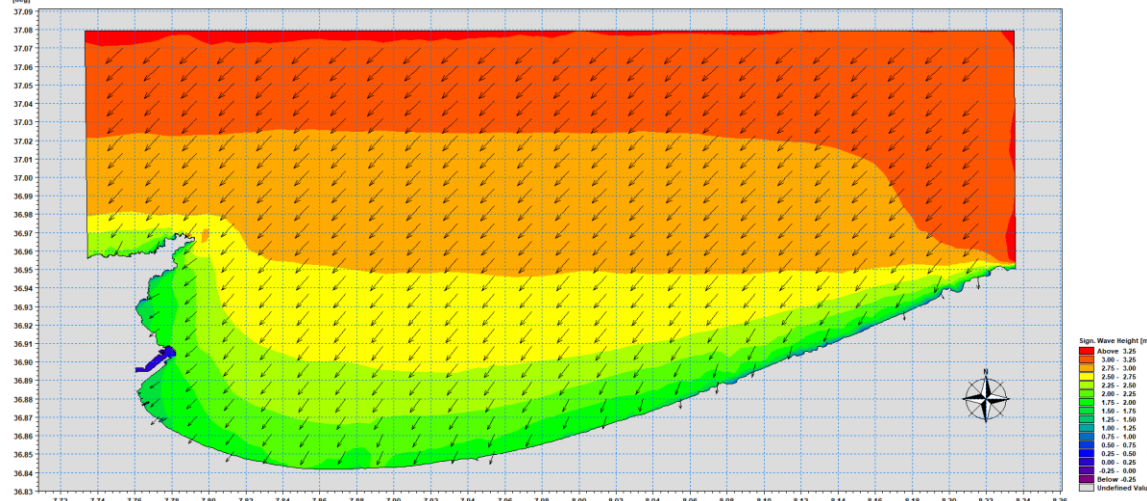


Figure N° 58: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 3.27 m, Tp= 8.15 s).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

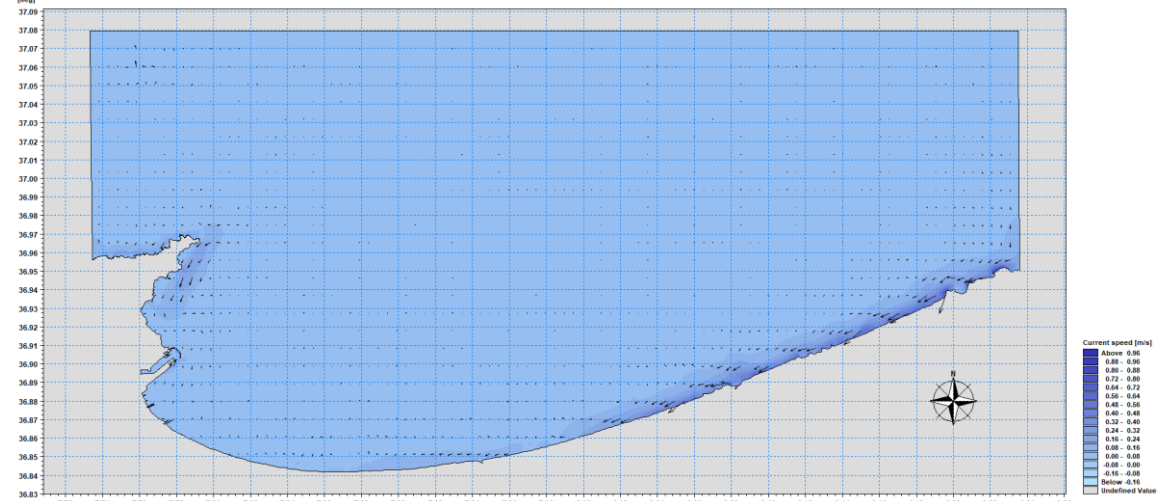


Figure N° 59: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 3.27 m, Tp= 8.15 s).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

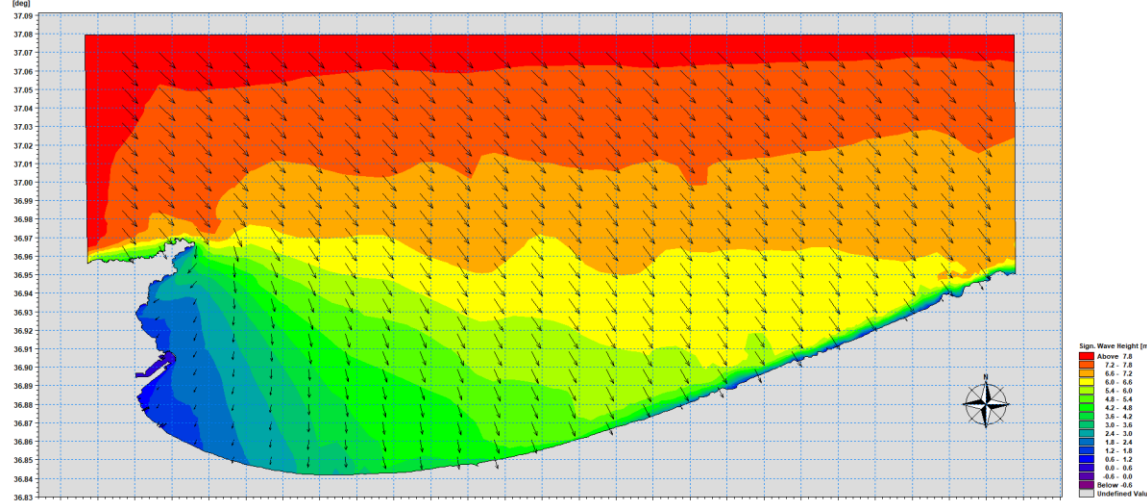


Figure N° 60: Champs des houles dans la Baie d'Annaba. (Hs= 7.98 m, Tp= 14.05 s).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

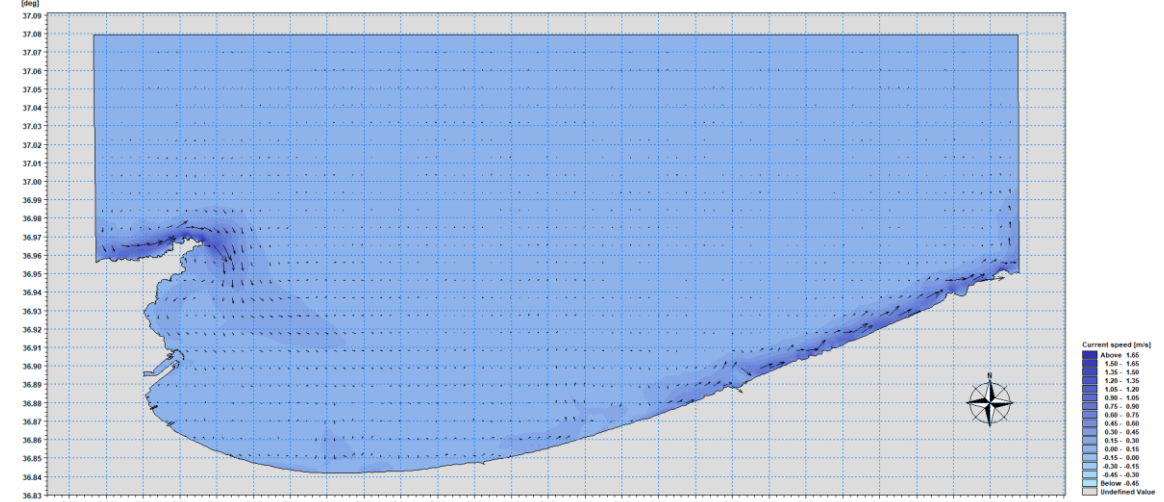


Figure N° 61: Champs des courants dans la Baie d'Annaba. (Hs= 7.98 m, Tp= 14.05s).

## 5.2 La baie de Bejaïa :

Les houles 45°N (figure N° 62 et 63) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanière, par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles a la cote 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 3m), mais au fur et à mesure, qu'elles propagent vers la cote et l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inférieures qui varient entre 1.6m et 2.6 m en fonction de la morphologie des fonds.

Le plan de vague se diffracte dans la partie Ouest au niveau de cap carbon. Dans la partie Est la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, sauf au niveau Ziama El mansouriah, la zone est abritée par la jetée, cette zone est protégée des houles du secteur Nord-Est, la hauteur de la houle est comprise entre 0.8 m et 1.2m

Les vagues venant du secteur Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses faibles comprises entre 0.48 m /s et 0.60m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire au niveau Cascade de msid el bab

Les houles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 4m et 5.5m, ce qui rend la partie Est et Ouest très vulnérable. Des hauteurs moins élevées (2.5m et 3.5m) sont enregistrées à labri du cap Carbon.

Les vagues venant du secteur Nord génèrent deux courants de dérive littorale parallèle à la côte avec deux directions différentes l'un orienté d'Est en Ouest et l'autre d'ouest en Est avec des vitesses comprises entre 0.8 m /s et 1.2m/s dû généralement à la diffraction de la houle et à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées au niveau de Ziama El mansouriah et cascade de msid el bab, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages

Figure N°66 montre le plan de propagation de la houle, venant de la direction Nord-Ouest. Les houles issues de secteur 315°N, elles sont réfractées. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 2° et 8°. Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte (Figure N° 65) avec des hauteurs qui varient entre 1.2m et 2.4m, ces vagues génèrent des courants orienté d'Ouest en Est de Tichy jusqu'à Ziama El mansouriah avec des vitesses plus en plus importante entre 0.8 m /s et 1.2m/s.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

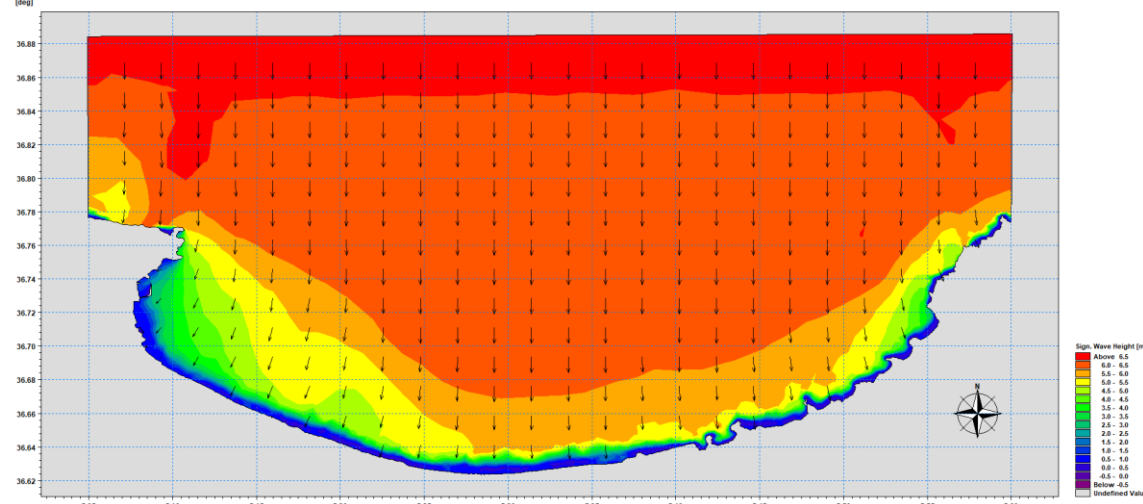


Figure N° 62: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 6.56 m, Tp= 12.80 s).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

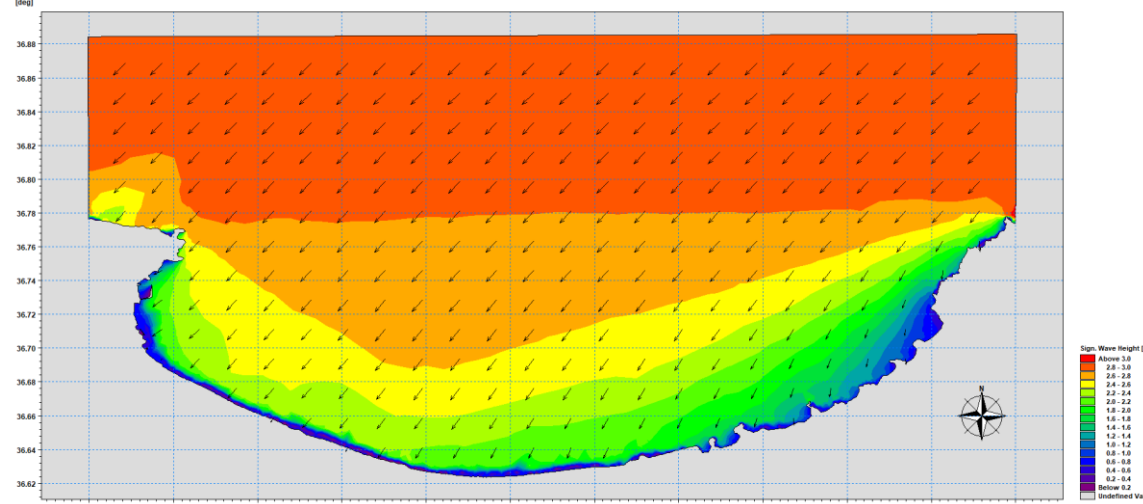


Figure N° 64: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 2.92 m, Tp= 9.92s).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

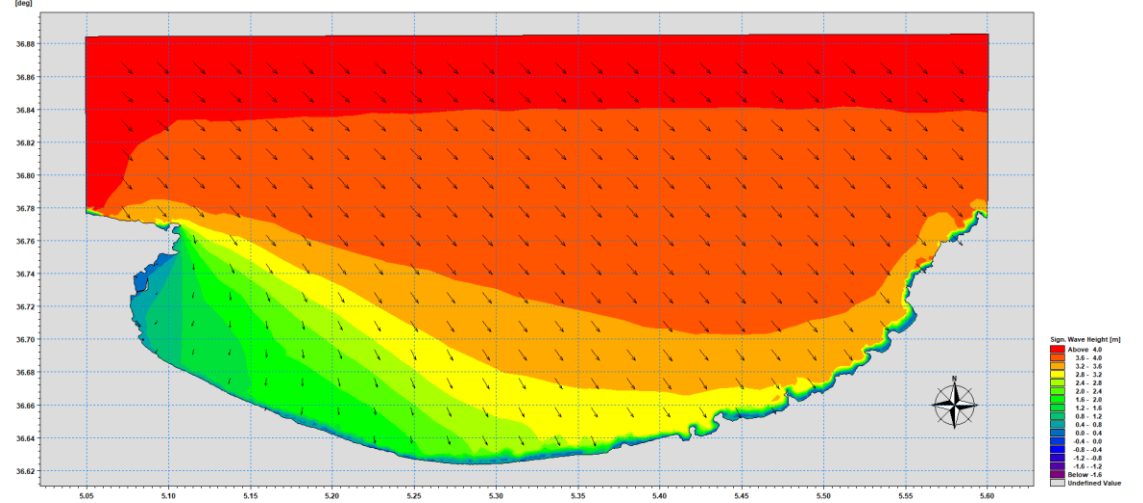


Figure N° 66: Champs des houles dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 4.07 m, Tp= 10.74).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

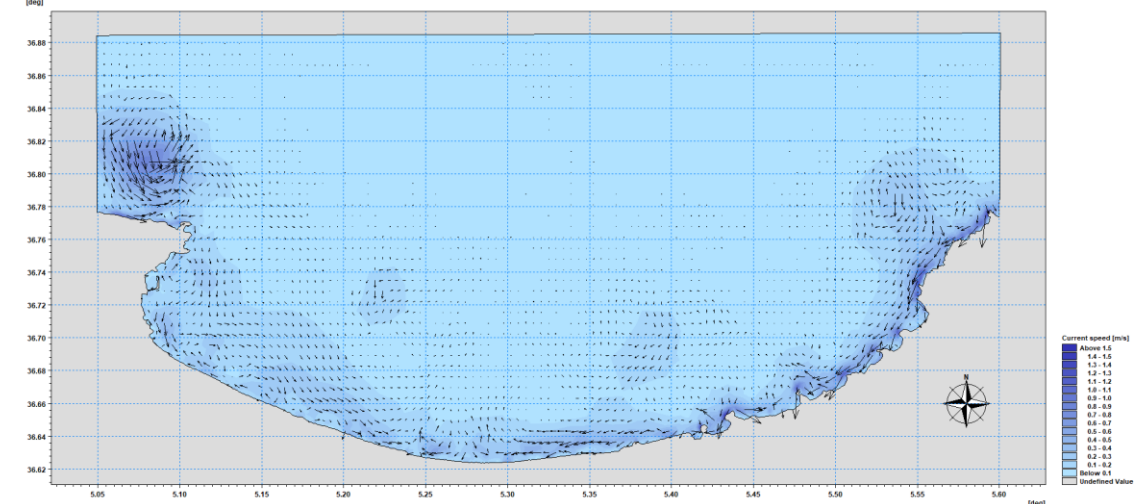


Figure N° 63: Champs des courants dans la Baie Bejaïa. (Hs= 6.56 m, Tp= 12.80 s).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

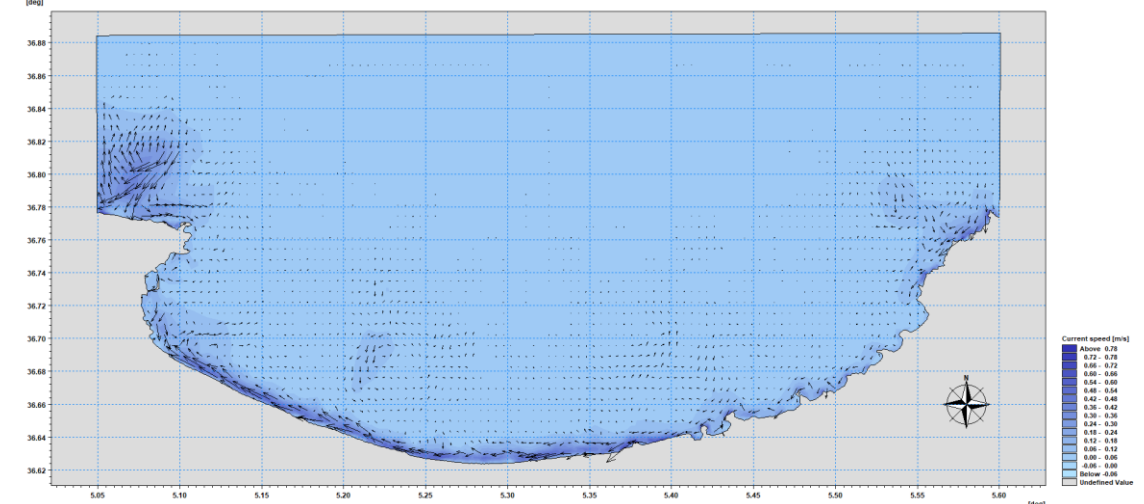


Figure N° 65: Champs des courants dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 2.92 m, Tp= 9.92s).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

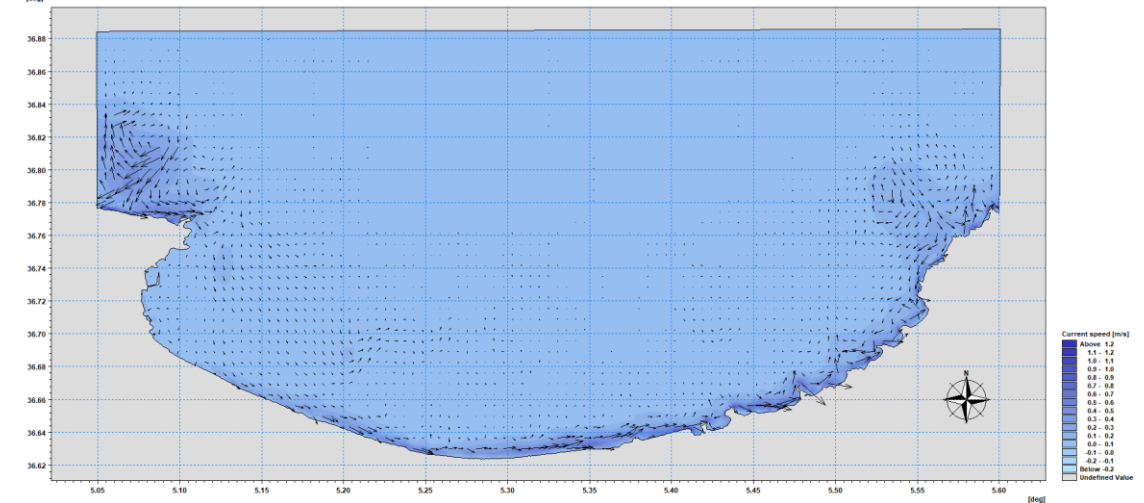


Figure N° 67: Champs des courants dans la Baie de Bejaïa. (Hs= 4.07 m, Tp= 10.74).

### 5.3 La baie de Zemourri :

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles 45°N (figure N°70) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanières, elles arrivent avec une obliquité de 25 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 côte pour atteindre des valeurs inférieures qui varient en fonction de la morphologie des fonds.

Le plan de vague se diffracte dans la partie Ouest au niveau de l'îlot de Réghaia (Hadjrat Bounatah). Dans la partie Est la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, la houle semble ne pas conserver son énergie du large, la zone apparaît naturellement abritée par le Cap. Les orthogonales pivotent légèrement à l'approche du rivage vers les directions Nord et Nord-Est de la zone.

La houle atteint la côte avec des hauteurs variables selon la bathymétrie, des valeurs entre 1.25m et 2.8m enregistrées dans la partie Ouest (Ain taya, Reghaia et Boudouaou el Bahri) et dans la zone Est (plage de Zemmouri). Des valeurs faibles de l'ordre de 0.5m -1.5m dans les zones abritées (plage Boumerdes, port de Zemmouri...). À l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, une diminution moyenne des hauteurs varie de 1.6m et 2.0m de hauteur au voisinage de certaines plages (plage du Cap Djinet), cela signifie que la houle perd une partie de son énergie presque trois quarts 3/4 lors de son évolution vers la côte.

Représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 360°N et cela pour une seule période (8.5s).

Au large, ces houles de direction Nord (360°) ne subissent aucune modification, 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 -21m de profondeur, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

D'après la carte, au voisinage de la côte on remarque que les houles de secteur 360°N sont frontales, c'est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nuls, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux de Réghaia et Ain Taya, et d'autre part c'est lié à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles.

À l'approche de la côte à des profondeurs inférieures à -1m, une diminution remarquable des hauteurs des vagues (Hs varie entre 0.69 m et 0.71 m), avec des angles d'incidences de direction

moyenne vers le Nord-Est au niveau de la partie Est, et cela signifie que la houle perd une grande partie de son énergie presque 4/5 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré. Les valeurs de Hs varient entre 1,6 à 2,4 m au côté Ouest de la baie.

A l'exception de la zone de Cap Djinet, les hauteurs de la houle atteignent les 2.75m juste auprès de la jetée principale, cela est dû généralement au déferlement important des vagues ainsi que la diffraction de la houle sur les jetées du port.

Donc pour la direction 360°, on peut dire que la houle a une propagation quasi frontale et suit presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction 45°

D'après La figure N°69 on observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres directions, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages. Au niveau de la zone Est des vitesses relativement faibles d'environ 0.08m/s. on constate des courants avec une vitesse un peu élevée au niveau de la zone centre de Zemmouri 0.5m/s - 1m/s.

Les houles issues de secteur 315°N (figure N°72), sont généralement des houles hivernales. Au large, ces houles de direction Nord-Ouest ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement, elles sont réfractées au voisinage de la cote. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 3° et 10°. Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de Réghaia Plage qui est abritée par un îlot orienté dans le sens opposé des crêtes de houles. Par conséquent, le climat de houles reste modéré au niveau de cette plage. En effet dans cette localité les houles subissent une diffraction à 1 Km du rivage. 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.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

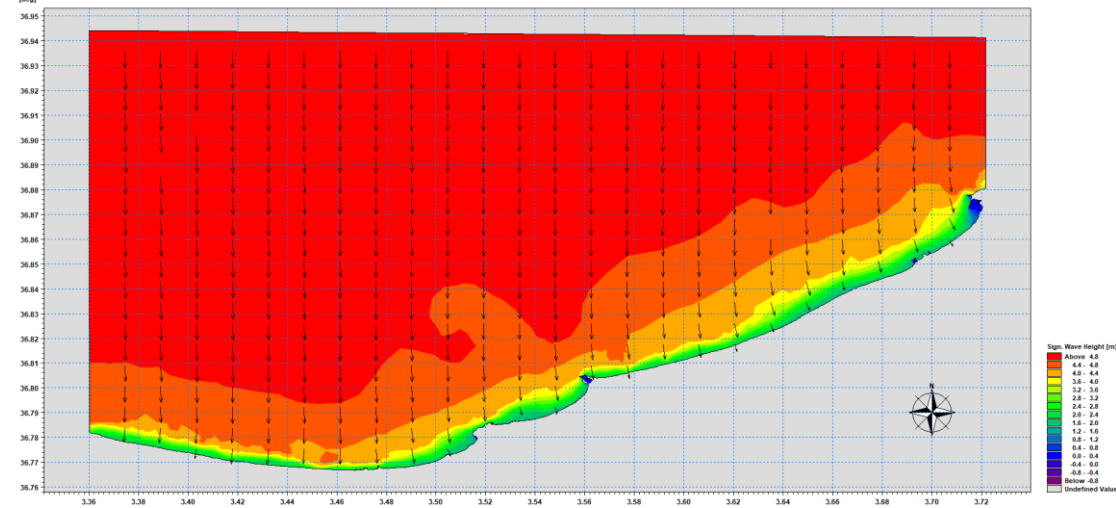


Figure N° 68: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 5.02 m, Tp= 10.51).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

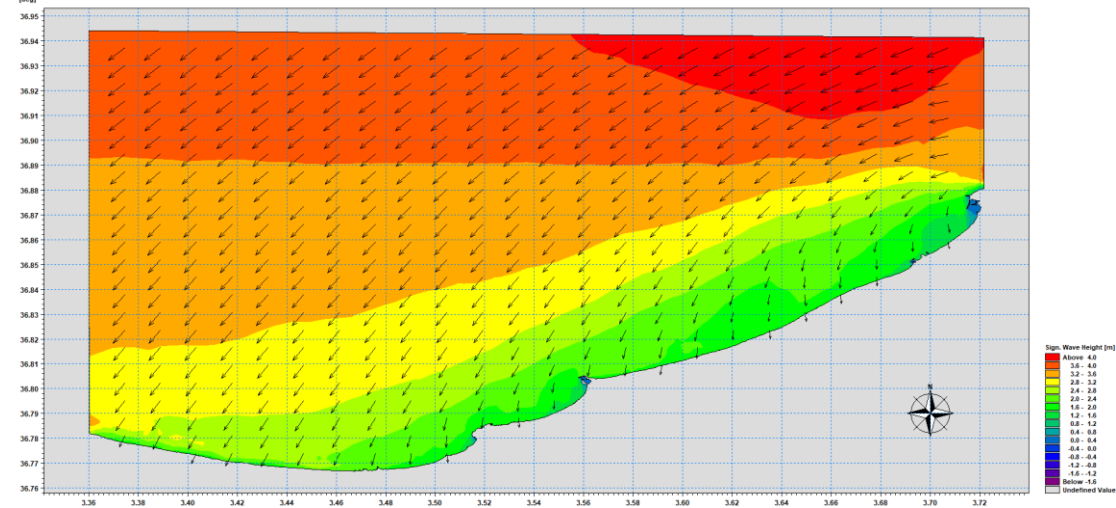


Figure N° 70: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 3.46 m, Tp= 9.68).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

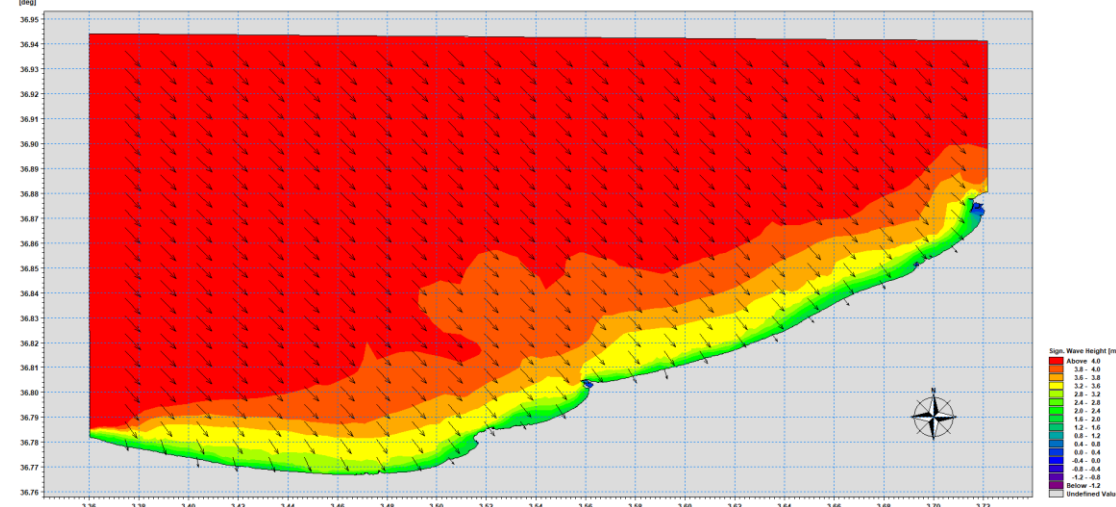


Figure N° 72: Champs des houles dans la Baie de Zemourri. (Hs= 4.61 m, Tp= 8.71).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

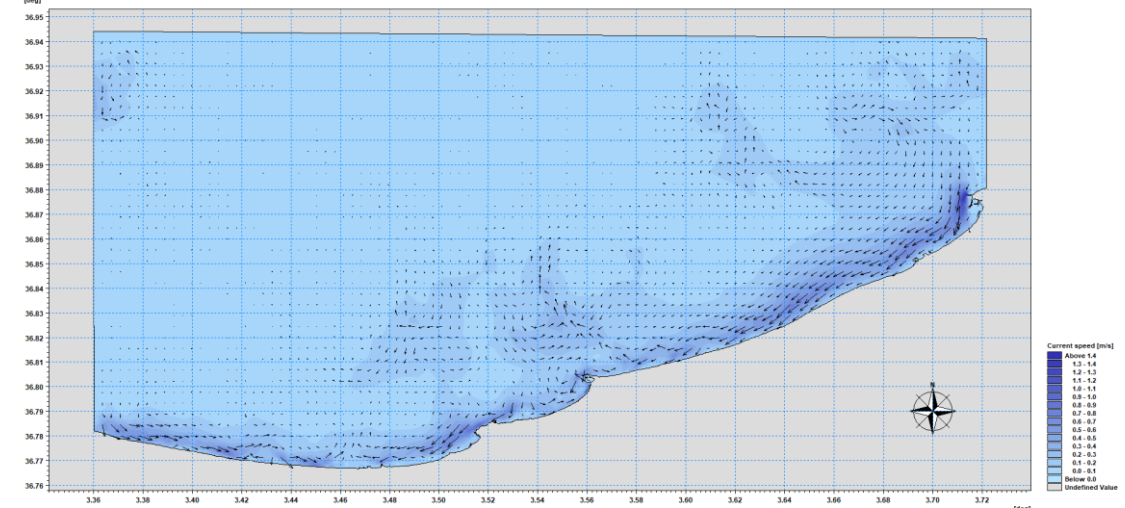


Figure N° 69: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 5.02 m, Tp= 10.51).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

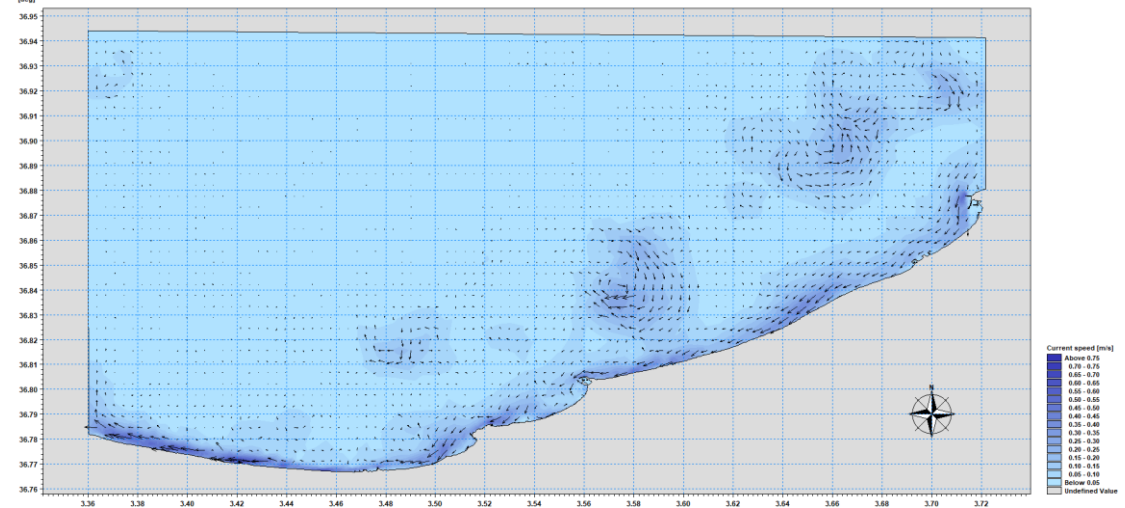


Figure N° 71: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 3.46 m, Tp= 9.68).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

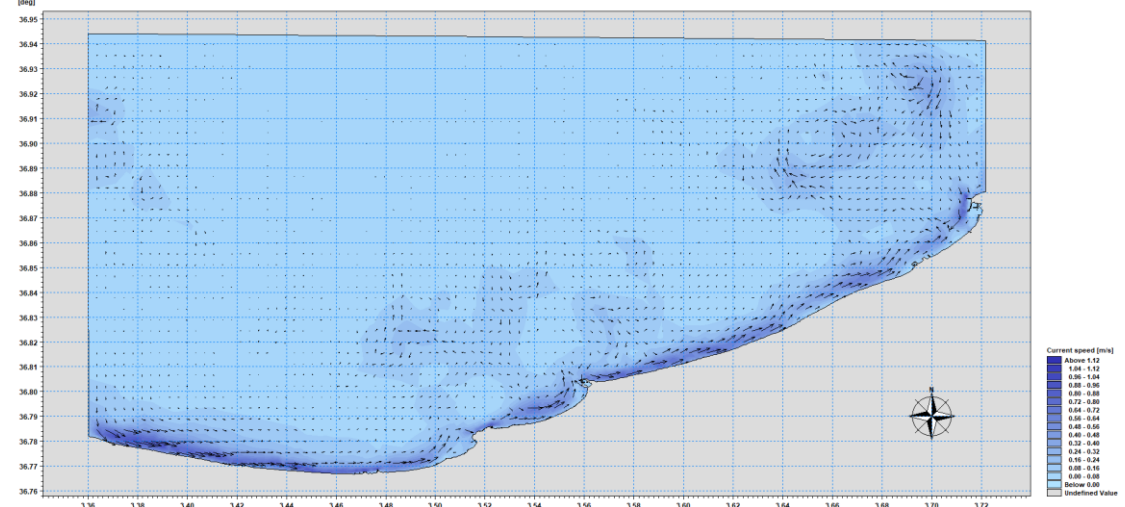


Figure N° 73: Champs des courants dans la Baie de Zemourri. (Hs= 4.61 m, Tp= 8.71).

#### 5.4 La baie d'Alger :

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Au large, ces houles de direction Nord-Est ( $45^\circ$ ) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la houle change ses caractéristiques du large, la hauteur de la houle diminue considérablement dans la partie Ouest suite à la diffraction et à la réfraction de la houle. La partie Ouest est abritée, elle ne subit que les houles diffractées au niveau du Cap Matifou. L'étude de la réfraction montre que cette zone d'étude (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) est protégée des houles du secteur Nord-Est, la hauteur de la houle est comprise entre 0.2 m et 0.5m

Au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la houle change ses caractéristiques du large, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées. La partie centrale (Mazella, Pins Maritimes, la Sirène I, Sirène I et Verte Rive) est exposée aux houles de ce secteur, cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord et qui reçoit l'énergie de la houle oblique. La hauteur de la houle ne dépasse pas 1m à la cote.

La partie Est (au voisinage du port d'Alger, sablette,) est exposée à l'action de la houle de ce secteur Les houles du Nord-Est qui arrivent en oblique à la côte sont très peu réfractées. Les houles de cette direction dominante gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Cependant, les houles significatives varient de 3 m du large vers la côte, Les vagues venant du secteur Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses faibles comprises entre 0.10 m/s et 0.40m/s au niveau de la partie centrale jusqu'au port d'Alger. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone Ouest dû généralement à la diffraction de la houle et à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone. Ce courant de dérive accentue l'érosion des plages

Les houles issues de secteur  $315^\circ\text{N}$  (figure N°78), ce sont des houles hivernales, elles sont réfractées. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre  $3^\circ$  et  $10^\circ$ . Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de la Sablette, la plage qui est abritée par des jetées orienté dans le sens opposé des crêtes de houles, Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement opposée mais avec des vitesses nettement faibles dans la partie Est ou les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.3m/s.

La figure ci-après (figure N°74) montre le plan de propagation de la houle à des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord avec une hauteur significative de 3.5m.

D'après la carte, 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 de Cap Matifou

et d'autre part c'est lié à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles. Presque la totalité de la cote de la baie d'Alger est exposée à la houle Nord. Les houles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,8 et 1.04 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. On observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport à la direction Nord Est, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.4 m/s dans la partie Est. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

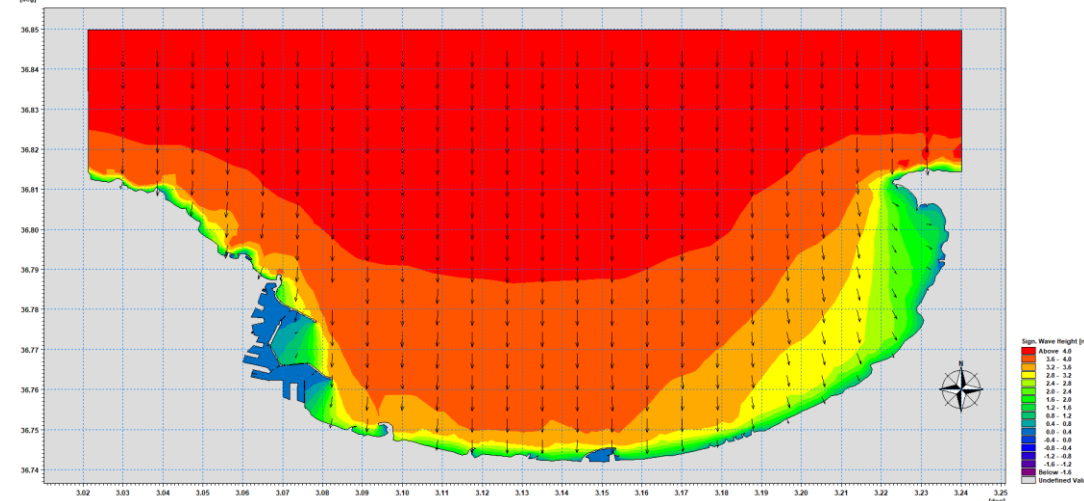


Figure N° 74: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.25 m, Tp= 9.46)

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

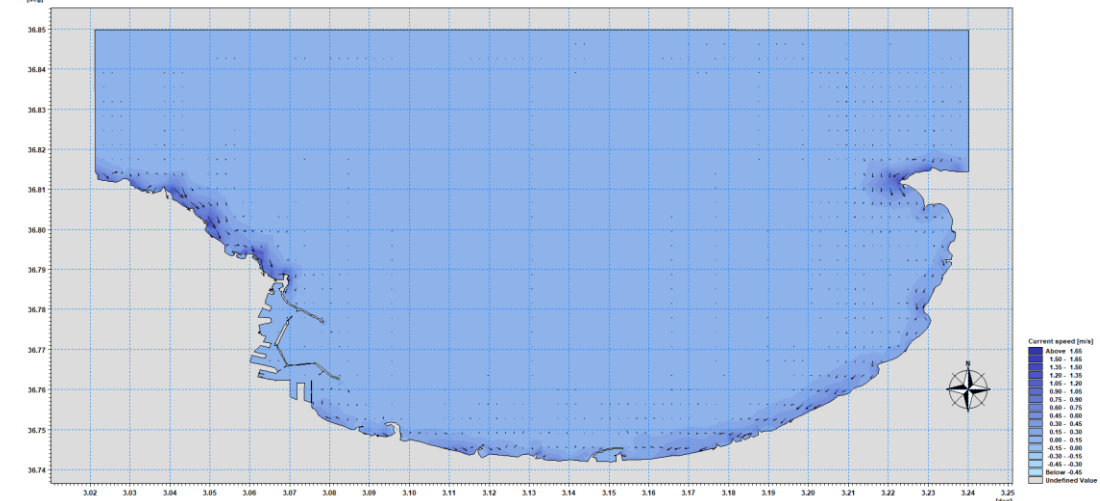


Figure N° 75: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.25 m, Tp= 9.46)

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

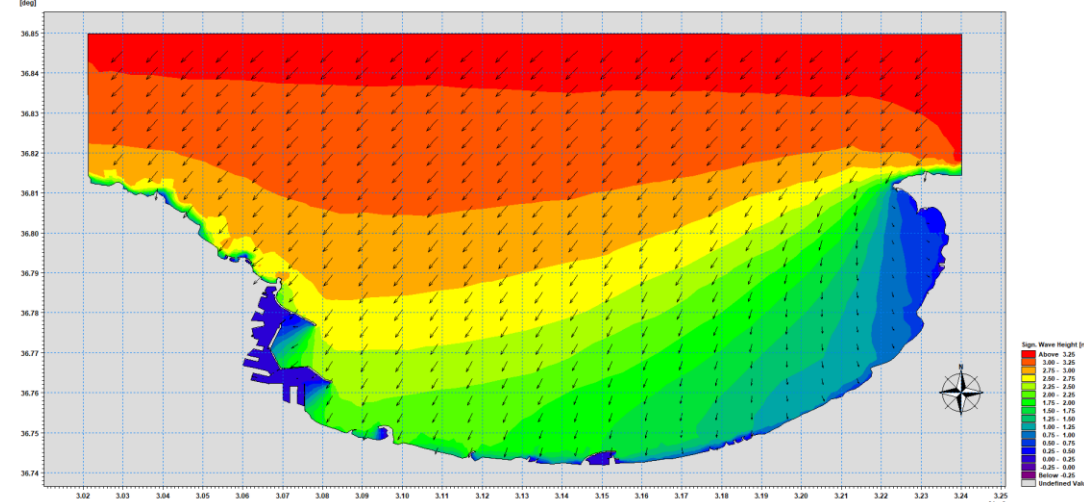


Figure N° 76: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 3.34 m, Tp= 8.39).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

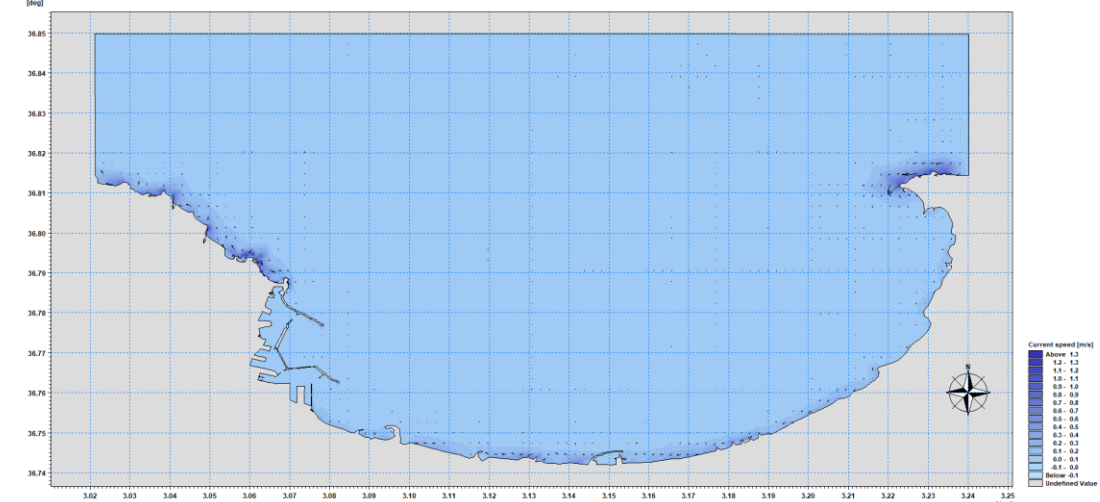


Figure N° 77: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 3.34 m, Tp= 8.39).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

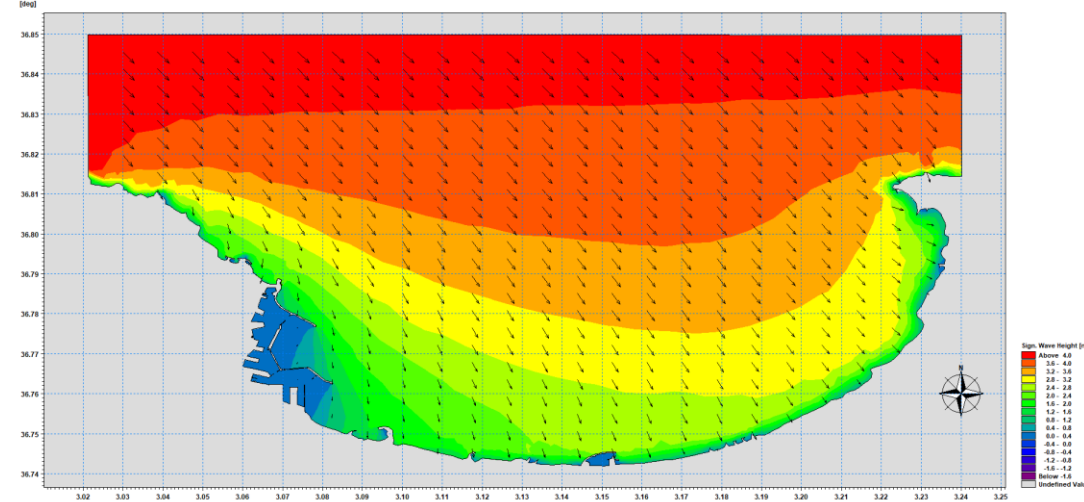


Figure N° 78: Champs des houles dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.24 m, Tp= 8.51).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

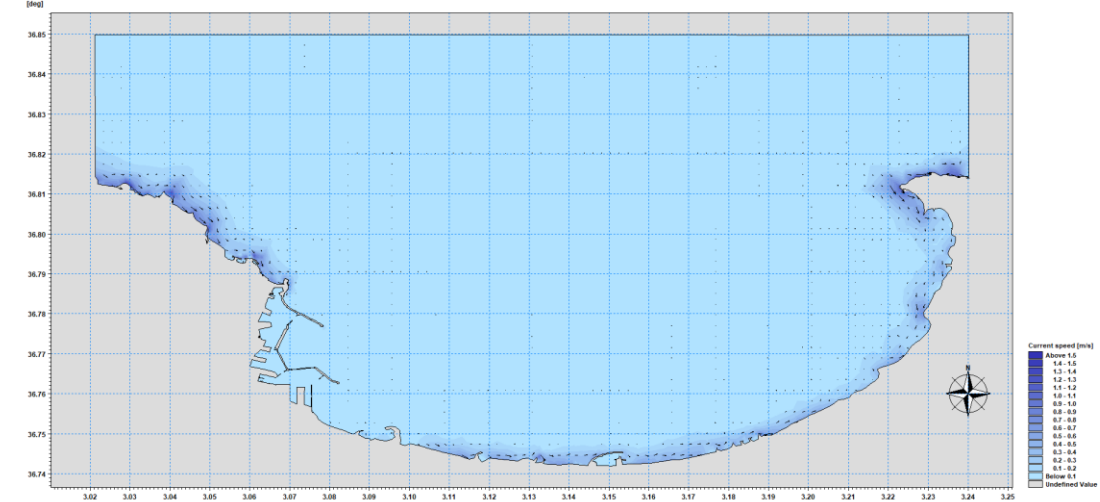


Figure N° 79: Champs des courants dans la Baie d'Alger. (Hs= 4.24 m, Tp= 8.51)

### 5.5 La baie de Bou Ismaïl :

Les houles 45°N (figure N°82) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanières, elles arrivent avec une obliquité de 20 à 40° par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles à la cote 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 cote et l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inférieures variant en fonction de la morphologie des fonds. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 1.25m et 2.75m, ce qui rend la cote très vulnérable.

Les houles du Nord-Est ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte ouest (plage Chenoua et Grand bleu) en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,57 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant les houles significatives arrivant du Nord-Est (entre 1 m et 3,8 m) ont des hauteurs plus élevées par rapport aux autres directions.

Au niveau de la partie Est (Douaouda, El Khaloufi, Complexe touristique, Sable d'Or, Azur, Palm Beach et Plage Ouest de Sidi Fredj). Les houles du Nord-Est sont moyennement réfractées par le cap Caxine, perdant une partie de leurs énergies du large, le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,3 et 0,52, ce qui favorise la formation des plages sableuses.

La simulation montre que le champ de houle dans la zone de Sidi Fredj se propage de la direction Nord est avec une hauteur maximale de 3.25 m en diminuant progressivement du fait du fond jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.25 m au pied de la côte.

D'après la figure N°81 on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques dans toute la zone, surtout dans la partie Sud-Est où on observe un courant important qui est dirigé vers l'Ouest avec une vitesse de 0.35 m/s. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone centre et dû généralement à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone.

On remarque au niveau de la plage de Moretti des vitesses allant de 0.6 m/s à 1.3 m/s due à la concentration de l'énergie de la houle suivant la direction Est – Ouest. Suite à la présence des ouvrages de protection la vitesse du courant diminue à un intervalle de 0.8 m/s à 1.2 m/s et on remarque un changement de direction du fait de la dissipation d'énergie.

La figure ci-après (figure N°80) montre le plan de propagation de la houle à des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord avec une hauteur significative de 3.5m. Les houles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,9 et 1.06 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 2m et 3m, ce qui rend la partie centre et Ouest très vulnérable. Des hauteurs moins élevées (1m et 2m) sont enregistrées au voisinage de presque Ile de Sidi Fredj. Pour cette direction (360° N) de houle, la zone de Sidi Fredj est exposée directement aux houles de façon perpendiculaire.

On observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.7 m/s dans la partie Est.

La figure ci-après montre le plan de propagation de la houle à des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord-Ouest. Les houles issues de secteur 315°N, ce sont des houles hivernales, elles sont réfractées. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 2° et 8°. Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte (figure N°84).

La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone Est où on observe des hauteurs qui varient entre 1.2m et 2.5m.

Les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,7 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

Au niveau de la zone de Sidi Fredj, on observe la houle commence à perdre ses caractéristiques jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.30 m de hauteur près de la côte dû généralement à la diffraction de la houle au niveau de la jetée principale du port.

Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est ce courant prend une direction avec des vitesses moyennes dans la partie centre où les vitesses des courants de dérive ne dépassent pas 0.7m /s. (figure N°85)

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

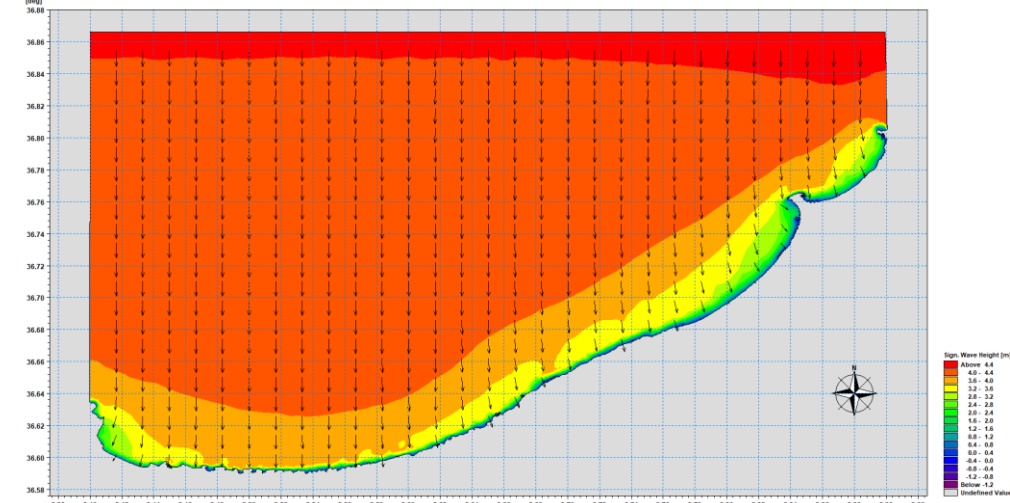


Figure N° 80: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 4.42 m, Tp= 8.384).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

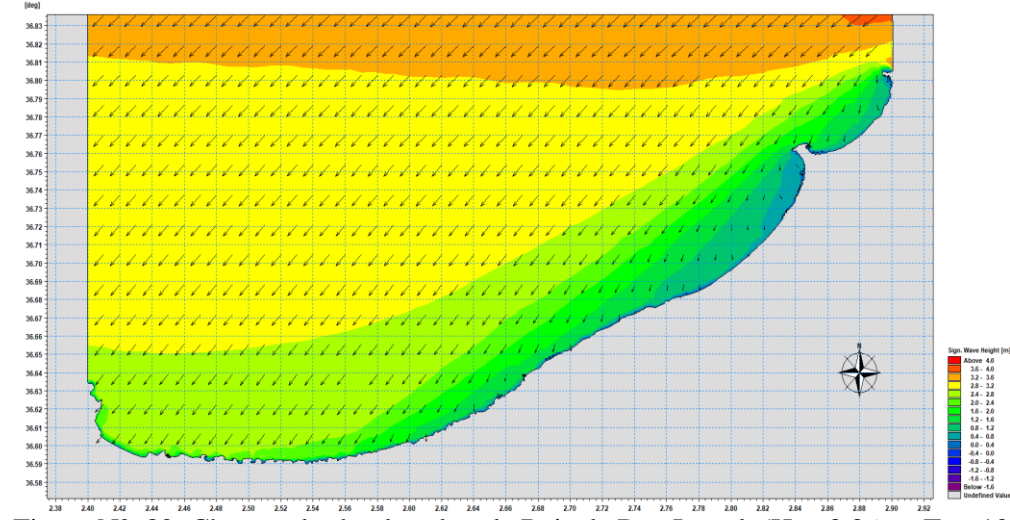


Figure N° 82: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 3.36 m, Tp= 10.84).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

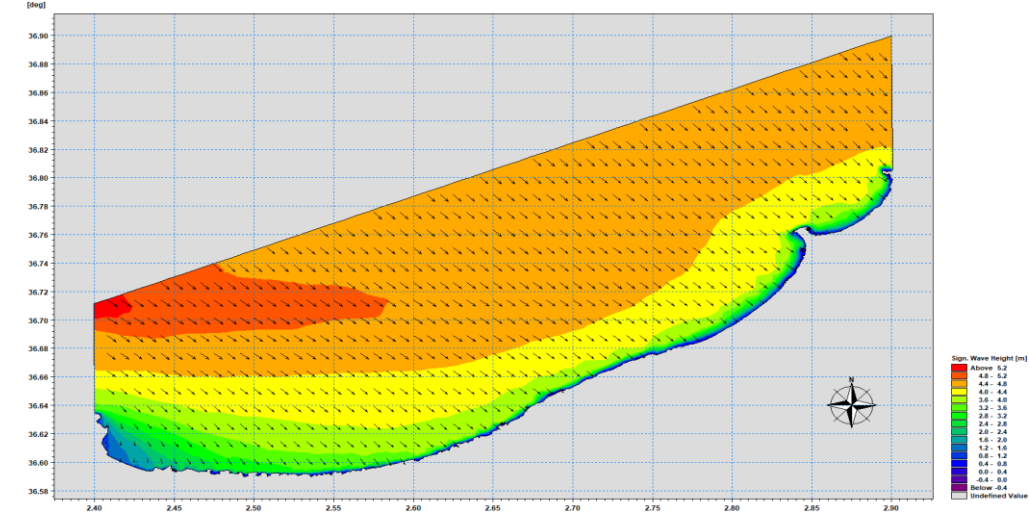


Figure N° 84: Champs des houles dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 5.24 m, Tp= 9.65).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

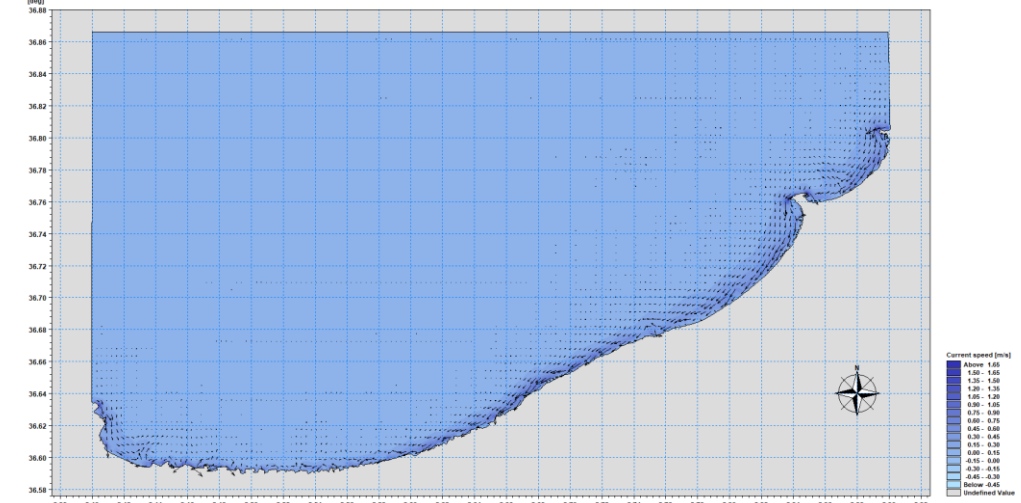


Figure N° 81: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 4.42 m, Tp= 8.384).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

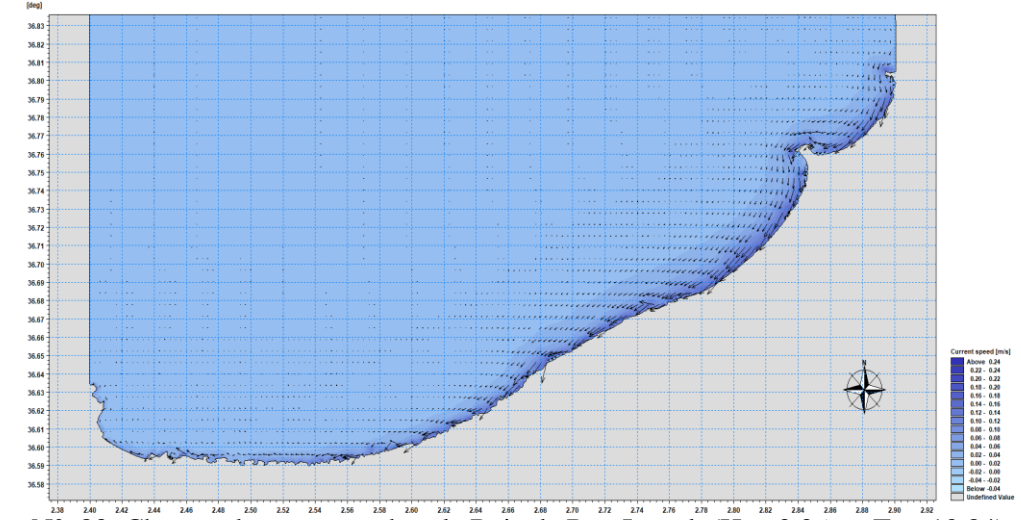


Figure N° 83: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 3.36 m, Tp= 10.84).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

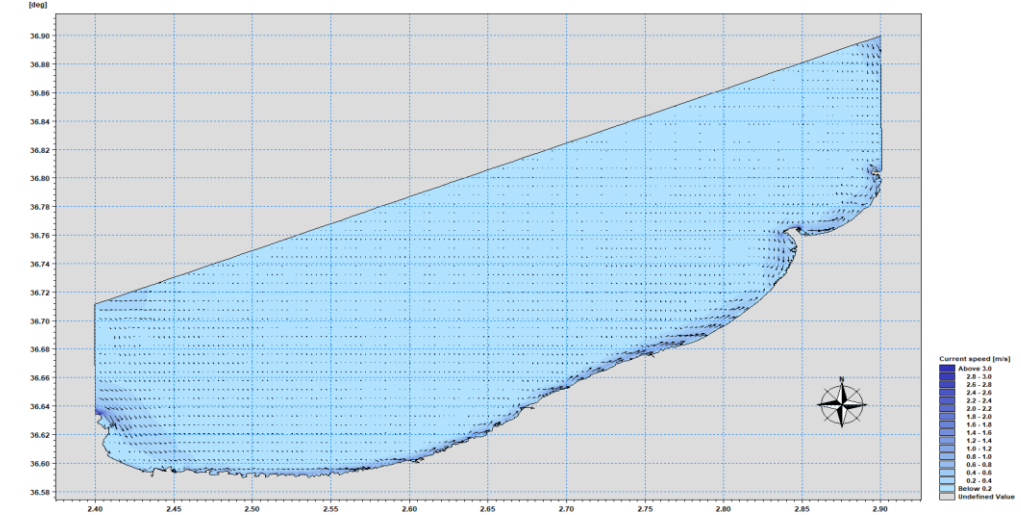


Figure N° 85: Champs des courants dans la Baie de Bou Ismaïl. (Hs= 5.24 m, Tp= 9.65).

### 5.6 La baie d'Oran :

Au large, ces houles de direction Nord-Est ( $45^\circ$ ) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, elle change ses caractéristiques du large. Sa hauteur significative diminue considérablement dans la partie Est pour atteindre le voisinage de la cote avec des valeurs moins élevées qui varient entre 0.8 m et 1.6m de suite à la diffraction et à la réfraction de la houle parce que cette zone abritée par le cap l'Aiguille et quasiment nul au niveau du port El mers El kbir qui est abritée par des jetées orienté dans le sens opposé des crêtes de houles.

D'après la figure N°88, on observe que les houles de secteur Nord-Est donnent naissance à des courants longitudinaux. Ces courants sont dirigés vers l'Ouest avec des vitesses qui varient entre 0.88 m/s et 1.1 m/s au niveau canastel et des mouvements turbionnaires au niveau cap falcon.

D'après la carte (figure N°86), les houles de secteur  $360^\circ$ N atteignent la côte de manière frontale avec des angles de déviation presque nuls. Bien que légèrement réfractées, ces houles subissent des déformations au niveau du Cap l'Aiguille. La quasi-totalité de la côte de la baie d'Oran est exposée à ces houles de nord, avec des hauteurs significatives variant entre 2 m et 3,2 m dans la partie est, et entre 3,2 m et 4,5 m au niveau de la plage Genet. Le port d'El Mers El Kbir, abrité par des jetées, et la zone derrière le Cap Falcon, sont tous deux soumis à une énergie des houles quasiment nulle, avec des hauteurs n'excédant pas 1,2 m.

Les vagues venant du secteur Nord génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses importantes varient entre 1.05m /s à 1.50m /s a partir au niveau gdyel , Ces vitesses diminuent en allant vers l'ouest pour atteindre des valeurs entre 0.60 m/s et 0.90 m/s au niveau bir el djir et on remarque des mouvements turbionnaires au niveau du cap falcon avec des vitesses qui varient entre 0.75m/s et 1.05m/s.

Les houles issues de secteur  $315^\circ$ N (figure N°90) arrivent sur la côte avec une réfraction importante. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre  $3^\circ$  et  $10^\circ$  par rapport à la direction initiale du large. Elle perd une bonne partie de son énergie pour atteindre la cote avec des hauteurs de houle entre 1.25m et 1.75m parce que cette zone abritée par le cap falcon par contre au niveau bir el djir , gdyel et cap l'Aiguille arrivent d'une manière frontale. Elles arrivent au niveau de la cote avec des hauteurs varient entre 2.75 m et 3.25 m. Ces houles engendrent des courants de dérive littorale d'Est en Ouest avec des vitesses qui varient entre 0.88 m/s et 1.04m/s.

Les houles issues de secteur  $270^\circ$ N ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, elle change ses caractéristiques du large. Sa hauteur significative diminue considérablement dans la partie ouest pour atteindre le voisinage de la cote avec des valeurs moins élevées qui varient entre 0.8 m et 1.2m de suite à la diffraction et à la réfraction de la houle parce que cette zone abritée par le cap Falcon et arrive d'une manière frontale dans la partie Est au niveau gdyel ou les vagues atteignent des hauteurs de l'ordre de 4.4m. Ces houles engendrent des courants de dérive littorale d'ouest en Est avec des vitesses qui varient entre 0.8 m/s et 1.0m/s.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

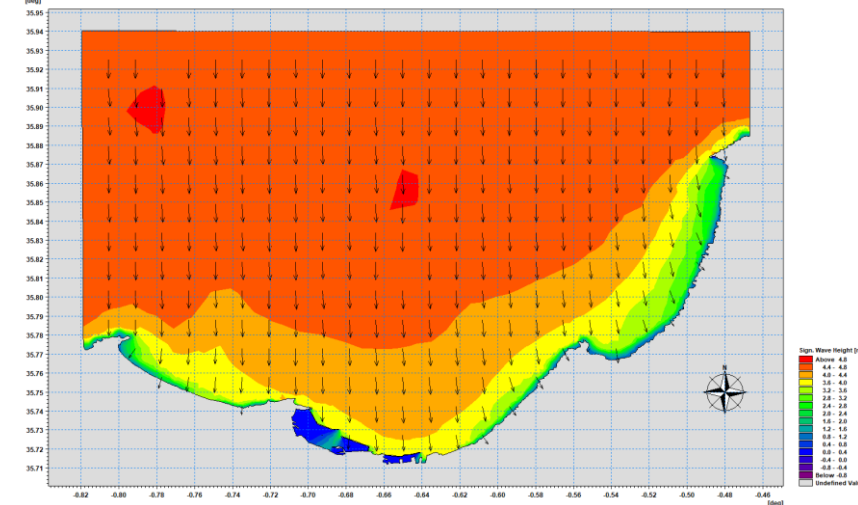


Figure N° 86: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.78 m, Tp= 9.17).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

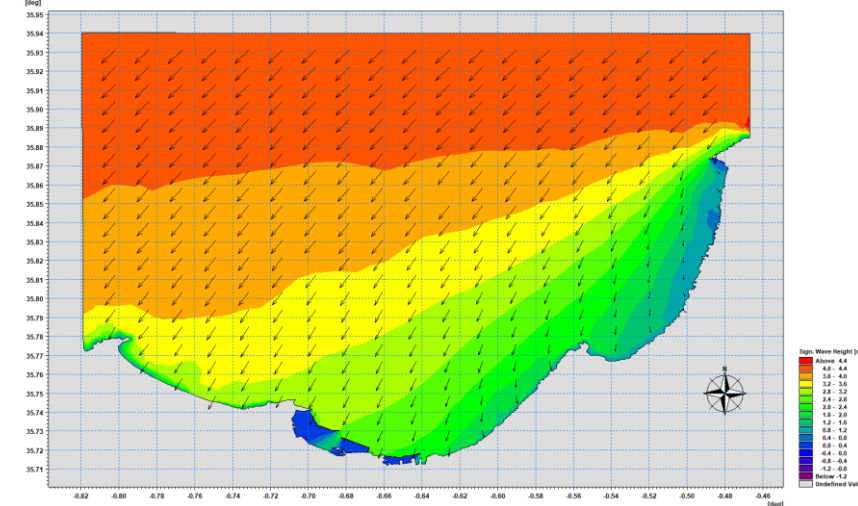


Figure N° 88: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.33 m, Tp= 9.18).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

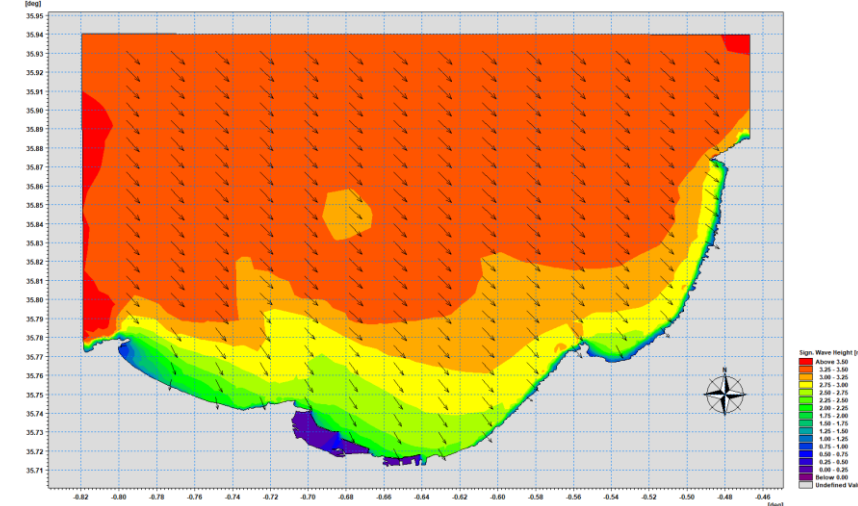


Figure N° 90: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 3.67 m, Tp= 8.56).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

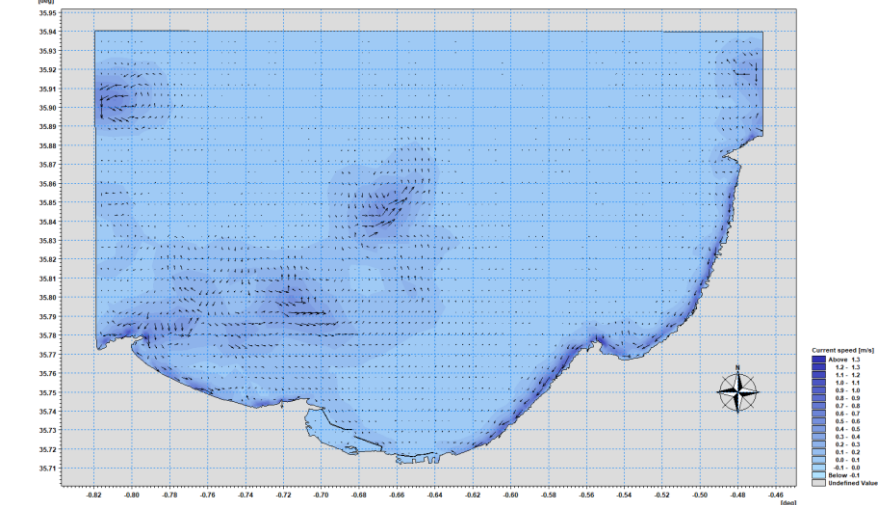


Figure N° 87: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.78 m, Tp= 9.17).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

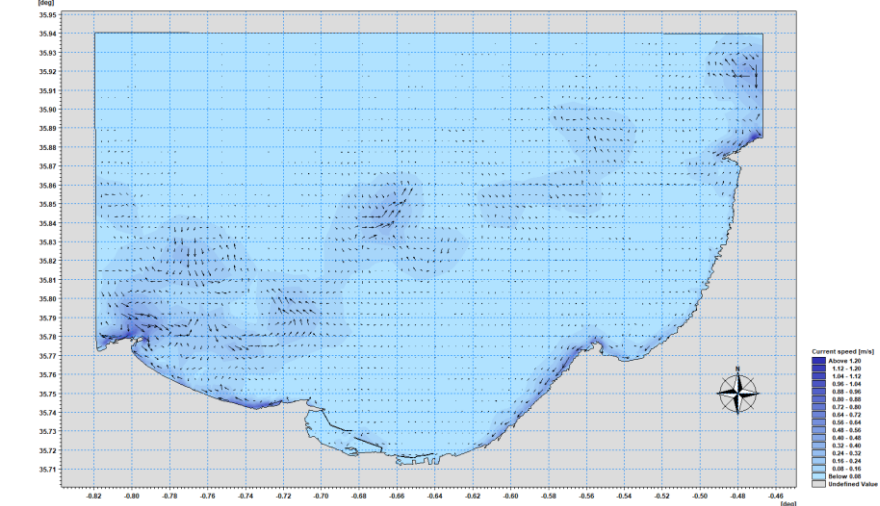


Figure N° 89: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 4.33 m, Tp= 9.18).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

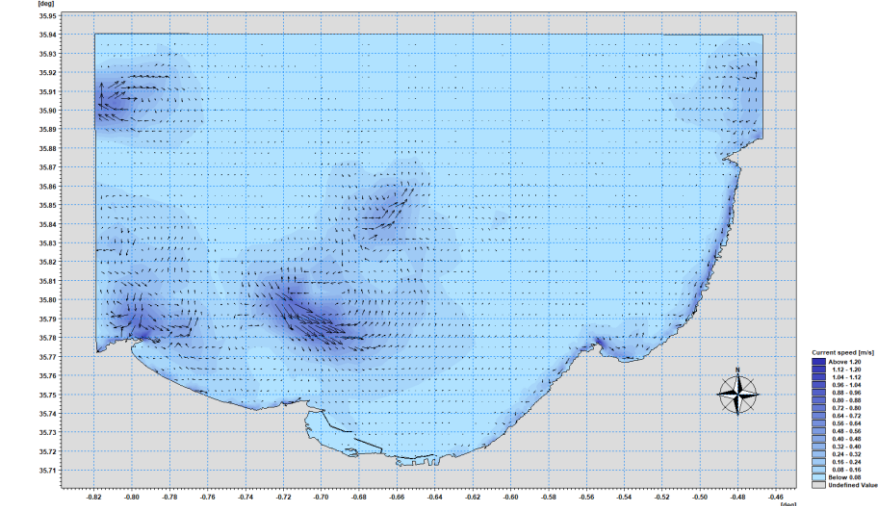


Figure N° 91: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 3.67 m, Tp= 8.56).

SW- Direction W (période de retour 2 ans)

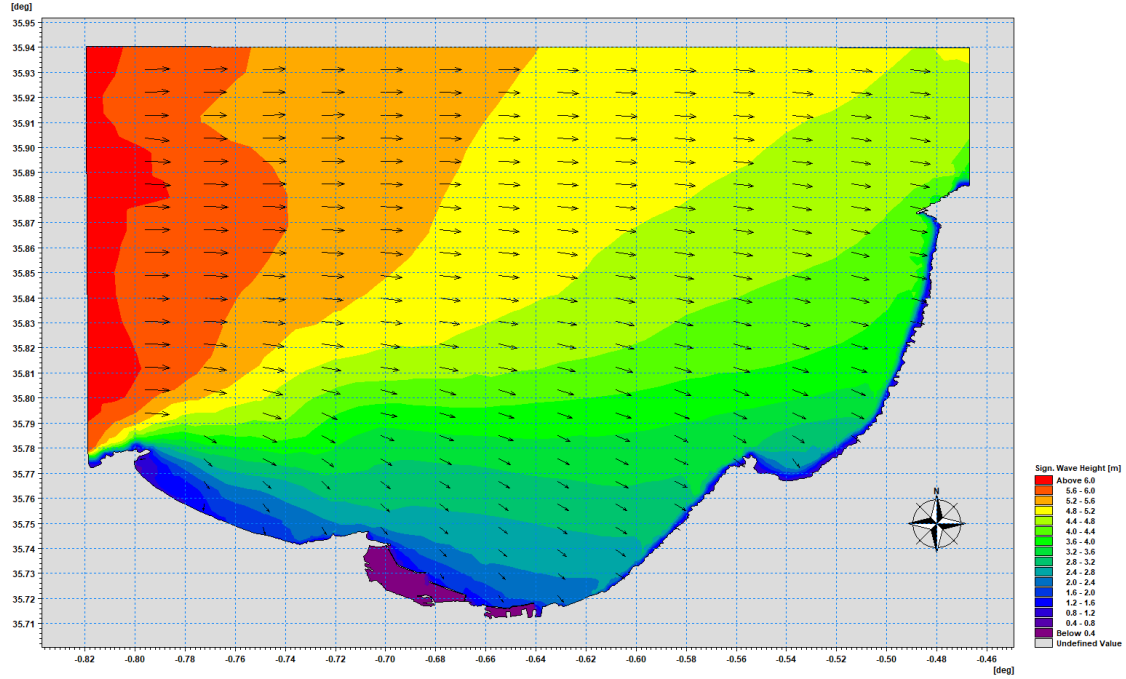


Figure N° 92: Champs des houles dans la Baie d'Oran. ( $H_s = 6.08$  m,  $T_p = 10.06$ ).

HD- Direction W (période de retour 2 ans)

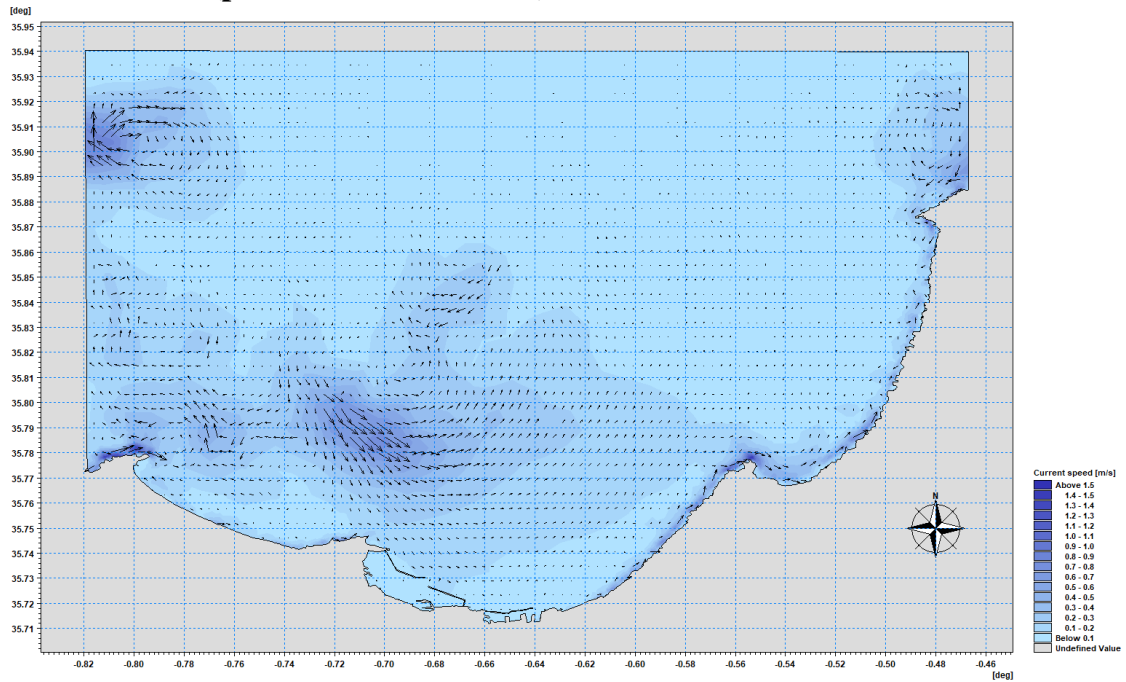


Figure N° 93: Champs des courants dans la Baie d'Oran. ( $H_s = 6.08$  m,  $T_p = 10.06$ ).

### 5.7 La baie de Mostaganem :

Au large, ces houles de direction Nord-Est ( $45^\circ$ ) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, elle change ses caractéristiques du large. Sa hauteur significative diminue considérablement dans la partie Est pour atteindre le voisinage de la cote avec des valeurs moins élevées qui varient entre 1.6 m et 2.4m de suite à la réfraction de la houle, on observe que les houles de secteur Nord-Est donnent naissance à des courants longitudinaux. Ces courants sont dirigés vers l'Ouest avec des vitesses qui varient entre 0,78 m/s et 0.81 m/s. (figure N°96 et 97)

D'après la carte (figure N°94 et 95), les houles de secteur  $360^\circ$ N atteignent la côte avec des hauteurs significatives variant entre 2 m et 2.4 m Les vagues venant du secteur Nord génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses importantes varient entre 0.80m /s à 0.98m /s a partir au niveau ouled boughalem, Ces vitesses diminuent en allant vers l'ouest pour atteindre des valeurs entre 0.36 m/s et 0.60 m/s au niveau mazagran

Les houles issues de secteur  $315^\circ$ N (figure N°98 et 99) arrivent sur la côte avec une réfraction importante. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation à la direction initiale du large. Elle perd une bonne partie de son énergie pour atteindre la cote avec des hauteurs de houle ente 2m et 2.3m, Ces houles engendrent des courants de dérive littorale d'ouest en est avec des vitesses qui varient entre 0.64 m/s et 0.80m/s.

Les houles issues de secteur  $270^\circ$ N ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, elle change ses caractéristiques du large. Sa hauteur significative diminue considérablement dans la partie Est pour atteindre le voisinage de la cote avec des valeurs moins élevées qui varient entre 2 m et 2.6m au niveau ouled boughalem de suite à la diffraction et à la réfraction de la houle et arrive d'une manier frontale dans la partie ouest au niveau salamandre ou les vagues atteindre des hauteurs de l'ordre de 4m. Ces houles engendrent des courants de dérive littorale d'ouest en Est avec des vitesses qui varient entre 0.8 m/s et 1.0m/s.

SW- Direction N (période de retour 2 ans)

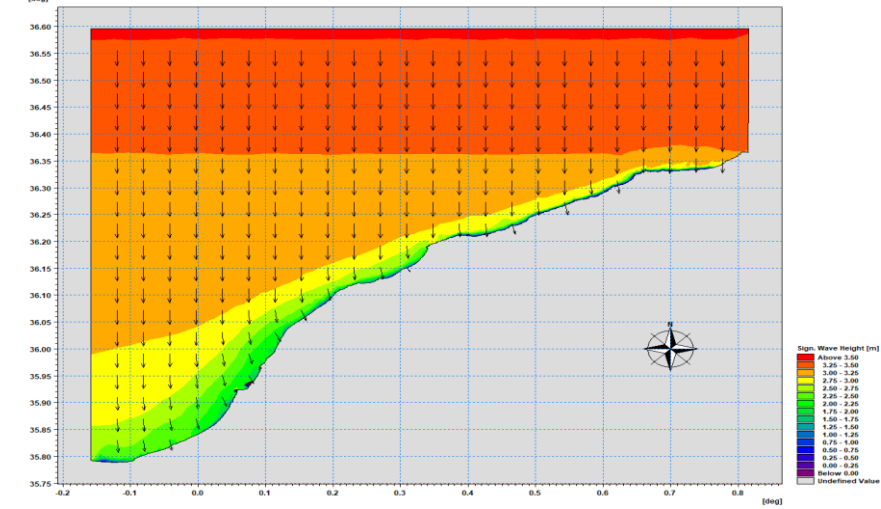


Figure N° 94: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 3.55 m, Tp= 8.76).

SW- Direction NE (période de retour 2 ans)

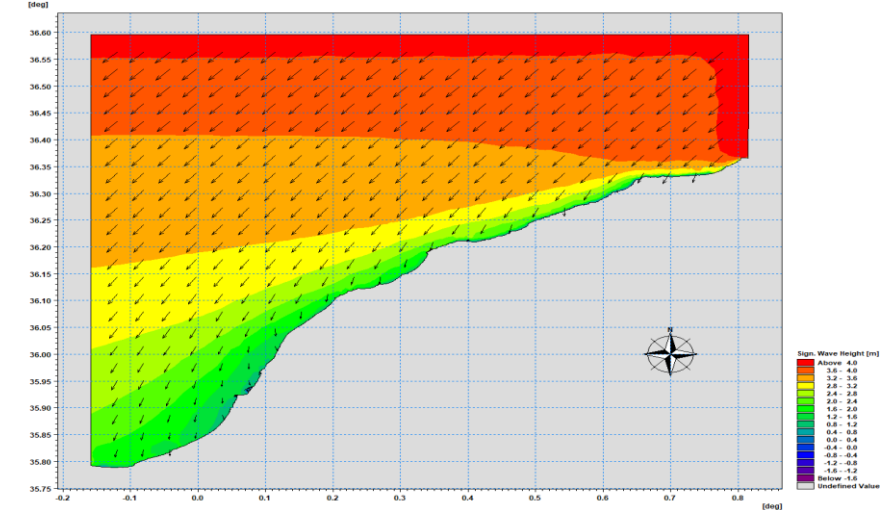


Figure N° 96: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 4.23 m, Tp= 9.78).

SW- Direction NW (période de retour 2 ans)

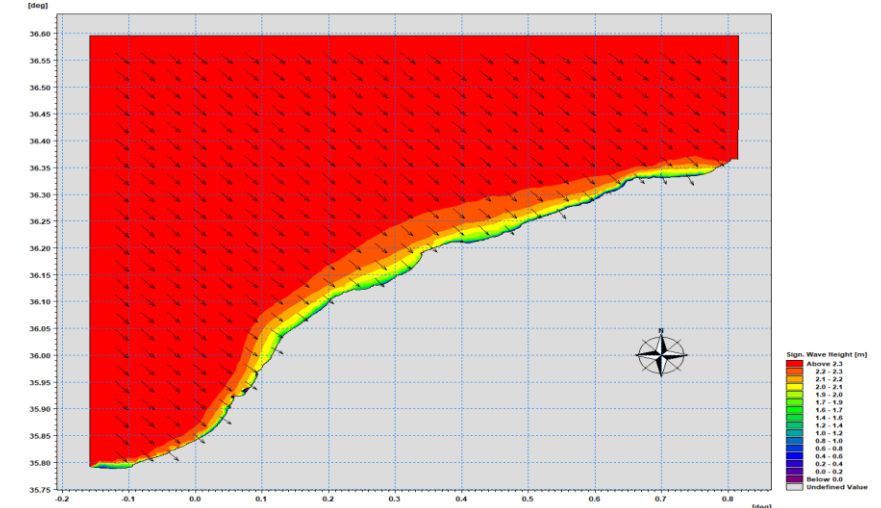


Figure N° 98: Champs des houles dans la Baie de Mostaganem.(Hs= 2.81 m, Tp= 8.23).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

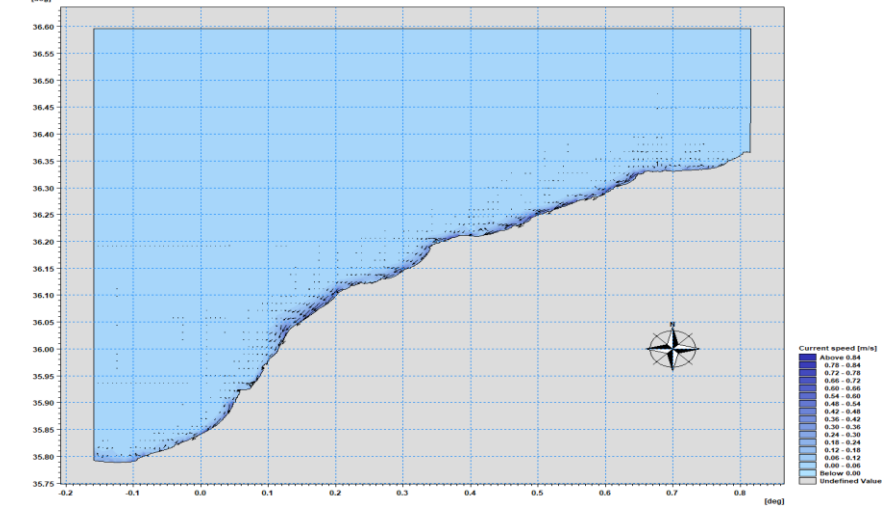


Figure N° 95: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 3.55 m, Tp= 8.76).

HD- Direction N (période de retour 2 ans)

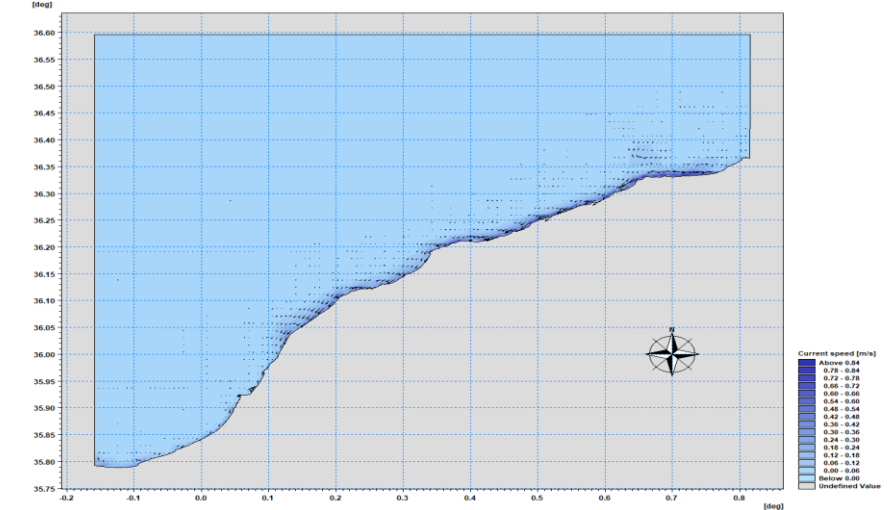


Figure N° 97: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem. (Hs= 4.23 m, Tp= 9.78).

HD- Direction NW (période de retour 2 ans)

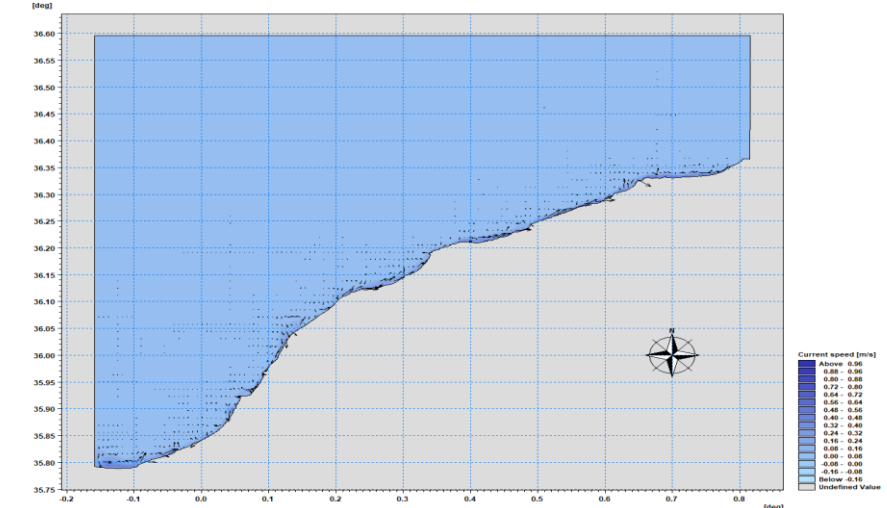


Figure N° 99: Champs des courants dans la Baie de Mostaganem.(Hs= 2.81 m, Tp= 8.23).

SW- Direction W (période de retour 2 ans)

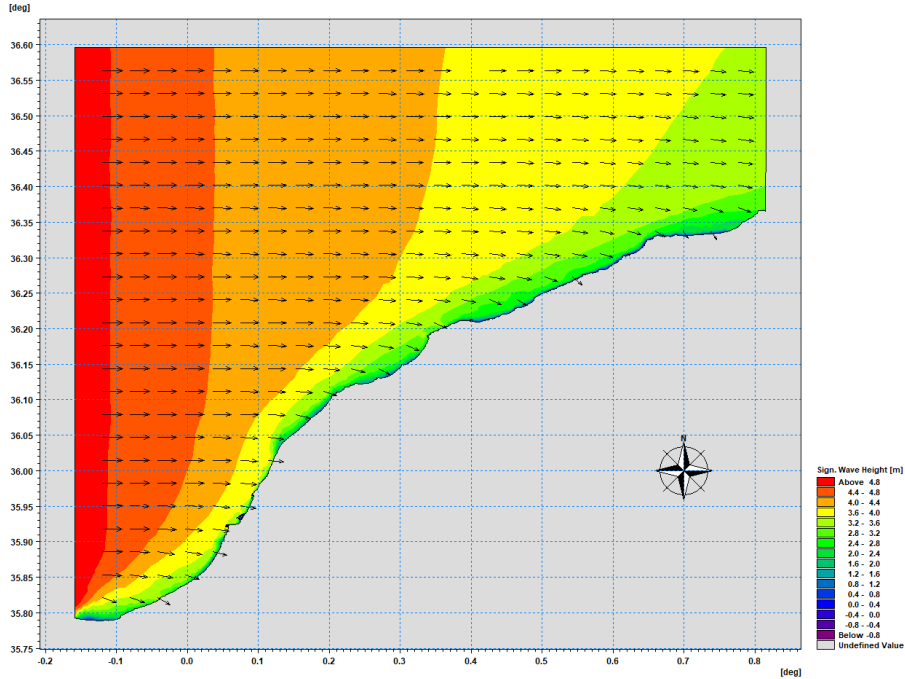


Figure N° 100: Champs des houles dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06).

HD- Direction W (période de retour 2 ans)

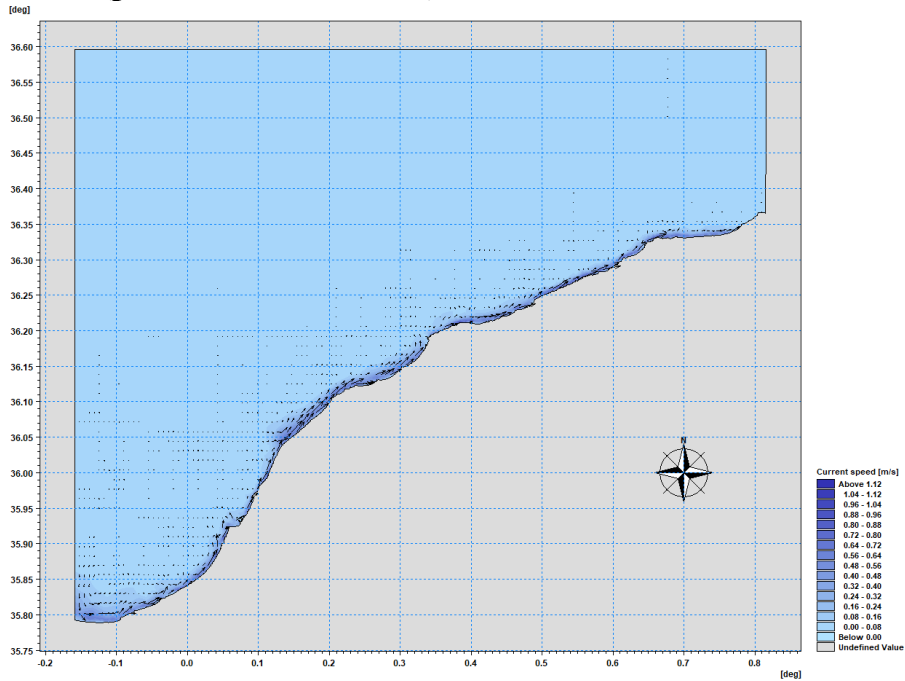


Figure N° 101: Champs des courants dans la Baie d'Oran. (Hs= 6.08 m, Tp= 10.06).

# **Chapitre V : Identification des zones à fort potentiel énergétique**

**Chapitre V : Identification des zones à fort potentiel énergétique****Introduction :**

Dans ce chapitre, nous décrivons le processus d'identification des zones à fort potentiel pour les énergies houlomotrices et hydroliennes. Nous présentons les critères de sélection, l'intégration des résultats de simulation dans ArcGIS, et la cartographie des zones identifiées.

**1 Choix des Critères de Sélection****1.1 Critères pour l'Énergie hydrolienne :**

Pour justifier le choix des intervalles de vitesse des courants marins (0.5-1 m/s, 1-1.5 m/s, >1.5 m/s) dans le cadre de l'évaluation du potentiel de récupération d'énergie, nous nous basons sur plusieurs critères scientifiques et techniques. La puissance récupérable à partir des courants marins est proportionnelle au cube de la vitesse du courant, ce qui signifie que même de petites augmentations de vitesse entraînent des augmentations significatives de la puissance récupérable. Les vitesses de courant inférieures à 0.5 m/s sont généralement considérées comme insuffisantes pour une récupération d'énergie efficace. Par conséquent, la plage de 0.5-1 m/s représente des courants modérés avec un potentiel énergétique bas, adaptée aux technologies spécifiques aux courants faibles. La plage de 1-1.5 m/s est souvent considérée comme optimale pour de nombreux dispositifs de récupération d'énergie disponibles, offrant un bon équilibre entre puissance récupérable et coût d'installation, justifiant ainsi son classement comme potentiel énergétique moyen. Enfin, les courants supérieurs à 1.5 m/s, classés comme ayant un potentiel énergétique élevé, offrent un rendement maximal, idéal pour des projets de grande envergure malgré des coûts d'installation initiaux plus élevés. Ces choix sont soutenus par des études existantes, les spécifications techniques des dispositifs de récupération d'énergie, et les pratiques et normes internationales établies dans le domaine des énergies marines renouvelables (Marion 2009).

**1.2 Critères pour l'Énergie Houlomotrice :**

Pour identifier les zones à fort potentiel houlomotrice, nous avons sélectionné les critères suivants :

- Hauteur des vagues : Intervalles de 2 à 5 mètres.
- Profondeur de l'eau : Intervalles de 30 à 70 mètres.

Ces choix sont justifiés par :

À des profondeurs comprises entre 30 et 70 mètres, la puissance des vagues reste suffisamment élevée, généralement supérieure à 20 kW/m, ce qui est considéré comme un seuil intéressant pour le développement de l'énergie houlomotrice (NARIMENE 2021). Même à des hauteurs de vagues entre 2 et 5 mètres, la puissance disponible reste exploitable pour la production d'électricité (M. Gauthie 1981).

Facilité d'installation et de maintenance

La plage de profondeur entre 30 et 70 mètres permet une installation et une maintenance des équipements houlomoteur plus simples et moins coûteuses que pour des profondeurs plus

importantes (LAOOMBE 1957).

Les systèmes d'ancrage, de connexion et d'entretien sont plus faciles à mettre en œuvre à ces profondeurs intermédiaires.

**Retours d'expérience sur les projets existants**

Le projet de ferme houlomotrice au Pays Basque, en Espagne, prévoit une implantation à une profondeur comprise entre 60 et 70 mètres, ce qui s'inscrit dans la plage de profondeur de 30 à 70 mètres identifiée comme favorable (Babarit 2018)

Bien que peu de projets aient été réalisés à des hauteurs de vagues entre 2 et 5 mètres, certaines expérimentations ont montré la faisabilité technique de tels systèmes (Ruellan 2008).

**2 Importation et Traitement des Données**

Nous avons suivi plusieurs étapes. Tout d'abord, nous avons importé les données brutes issues des résultats de simulation numérique dans ArcGIS. Ces données comprenaient des informations sur les hauteurs des vagues et les vitesses des courants marins.

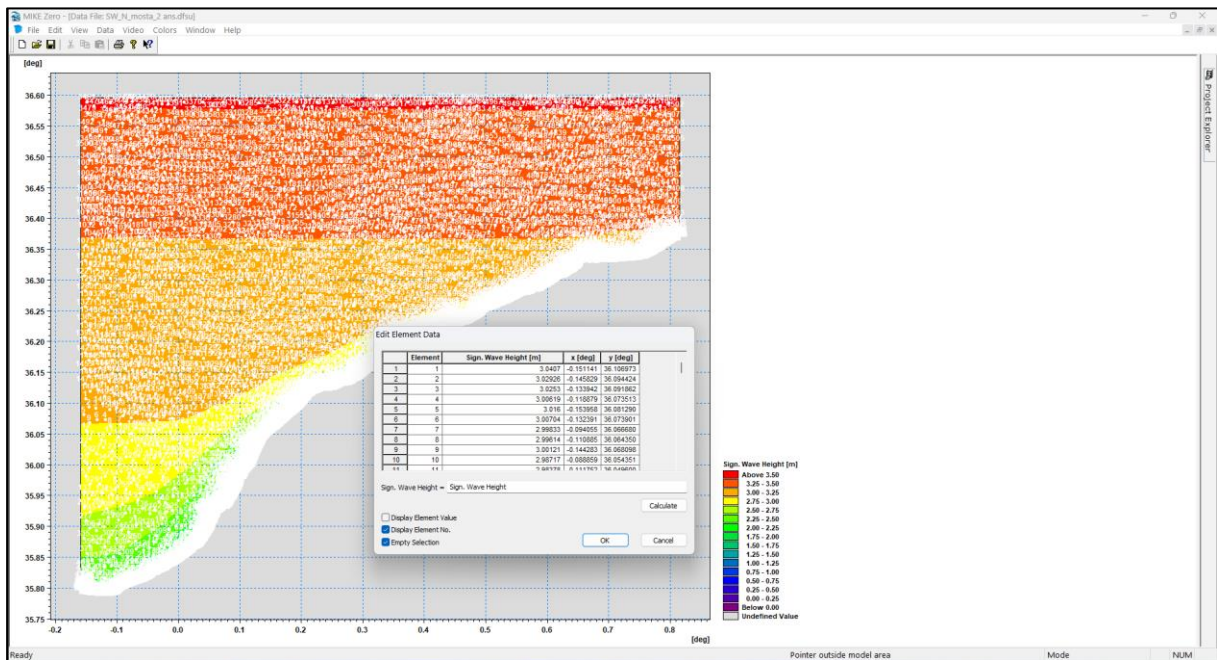


Figure N° 102: Démonstration de l'exportation de résultats de simulation.

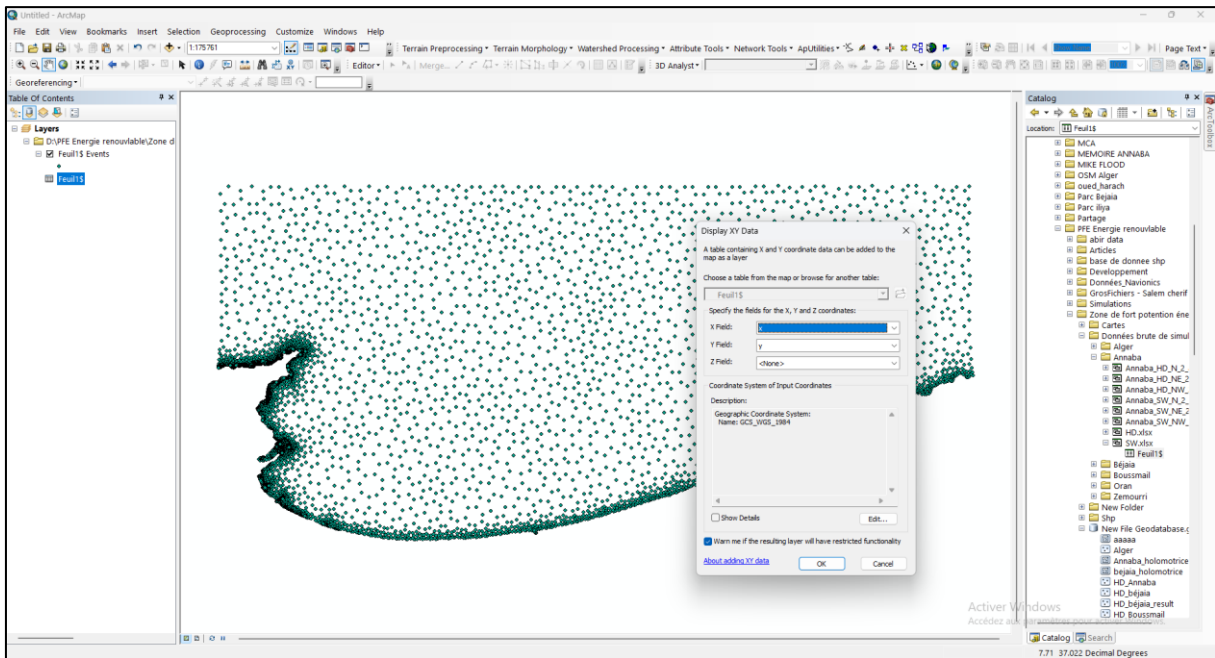


Figure N° 103: Démonstration de la conversion des données brutes en format (\*.shp).

Ensuite, nous avons appliqué des critères de sélection spécifiques : pour l'énergie houlomotrice, nous avons considéré des hauteurs de vagues comprises entre 3 et 5 mètres et des profondeurs de 30 à 70 mètres ; pour l'énergie hydrolienne, nous avons pris en compte des vitesses de courant marin supérieures à 0.5 m/s, divisées en trois intervalles (0.5-1 m/s, 1-1.5 m/s, et > 1.5 m/s).

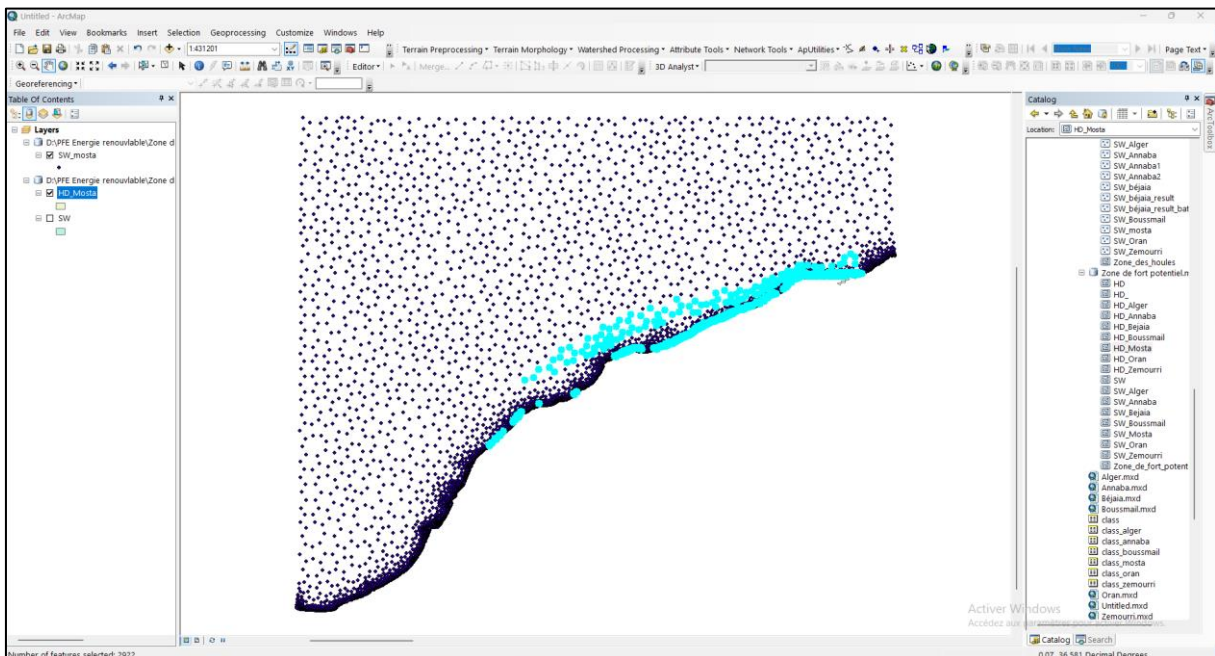


Figure N° 104: Démonstration de la sélection à l'aide des critères.

### 3 Interprétation des résultats :

Pour l'énergie houlomotrice, les wilayas d'Oran et d'Alger présentent le plus grand potentiel grâce à leurs vastes zones favorables situées à des profondeurs de 30 à 70 mètres et exposées à des hauteurs de vagues de 2 à 5 mètres. Ces caractéristiques techniques sont particulièrement propices au développement de l'énergie des vagues, justifiant des études de faisabilité approfondies sur ces secteurs prioritaires.

Mostaganem et Bou Ismaïl occupent la deuxième position avec des zones intéressantes, bien que plus restreintes que celles d'Oran et d'Alger.

Annaba et Bejaïa offrent des zones limitées, principalement au niveau des caps, qui sont minimales comparées aux autres baies. Bejaïa présente la zone la plus restreinte, limitant son potentiel houlomoteur par rapport aux autres wilayas.

Pour l'énergie hydrolienne, Annaba et Bou Ismaïl se distinguent avec des vitesses de courants dépassant 1,5 m/s, offrant ainsi le plus fort potentiel de récupération d'énergie.

À Bejaïa, Zemmouri, Alger, Oran et Mostaganem, la vitesse maximale des courants est de 1,5 m/s. Zemmouri se démarque par la plus grande superficie exploitable, suivie par Bejaïa, Alger, Oran et Mostaganem où les zones exploitables sont plus restreinte

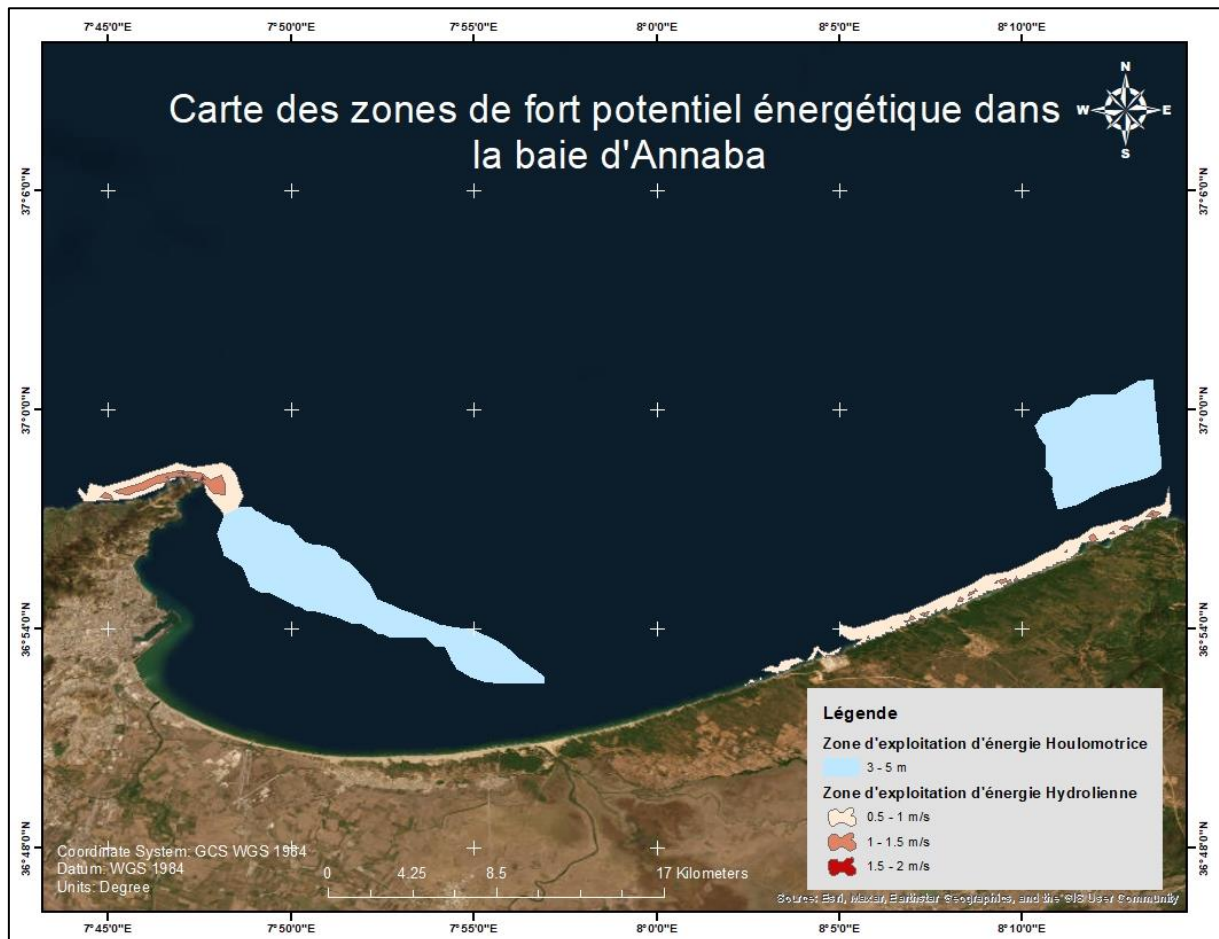


Figure N° 105: Zones de fort potentiel énergétique " Baie d'Annaba". (Basemap ArcGIS 2024)

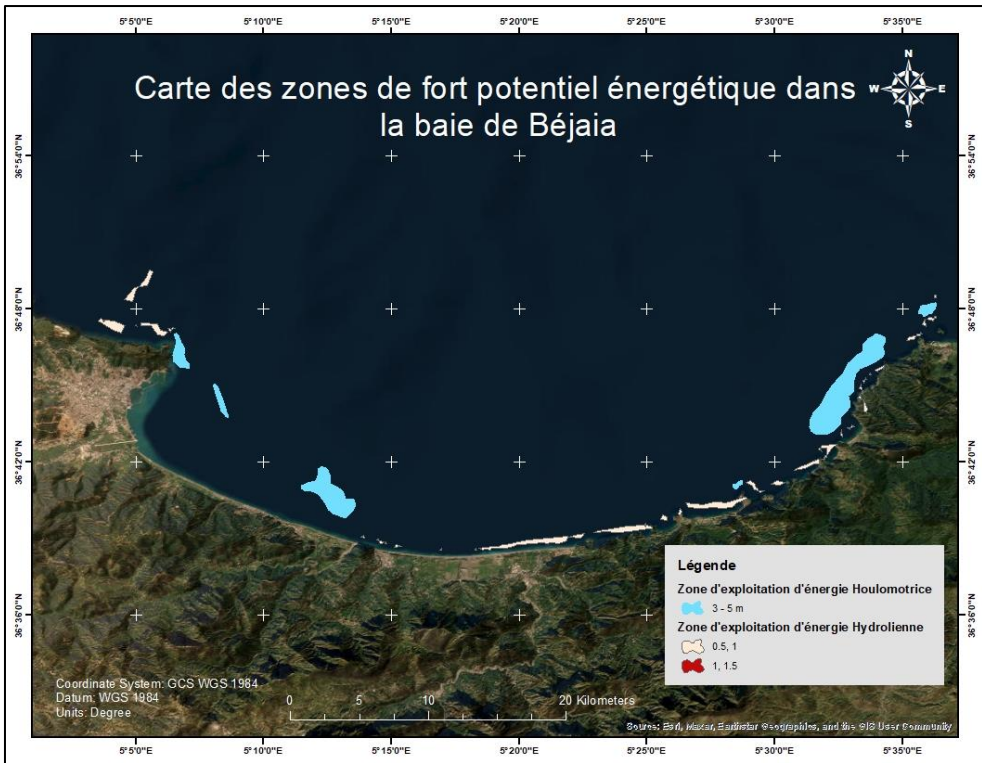


Figure N° 106: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Bejaïa ". (Basemap ArcGIS 2024).

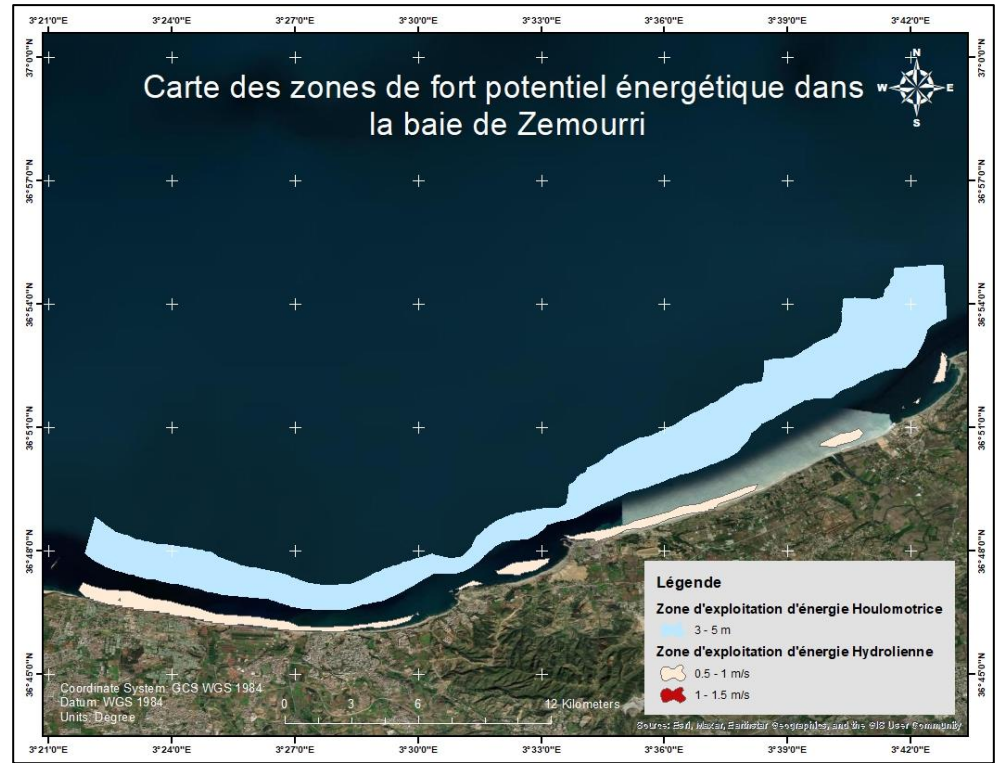


Figure N° 107: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Zemourri ". (Basemap ArcGIS 2024).



Figure N° 108: Zones de fort potentiel énergétique " Baie d'Alger ". (Basemap ArcGIS 2024)

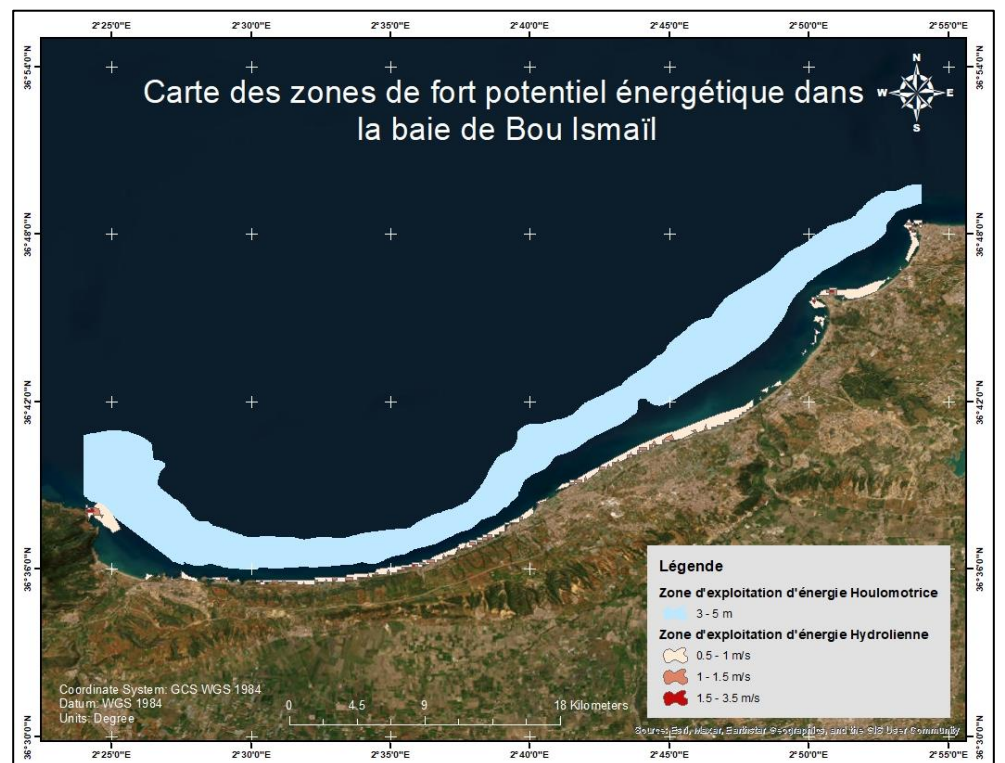


Figure N° 109: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Bou Ismaïl ". (Basemap ArcGIS 2024).

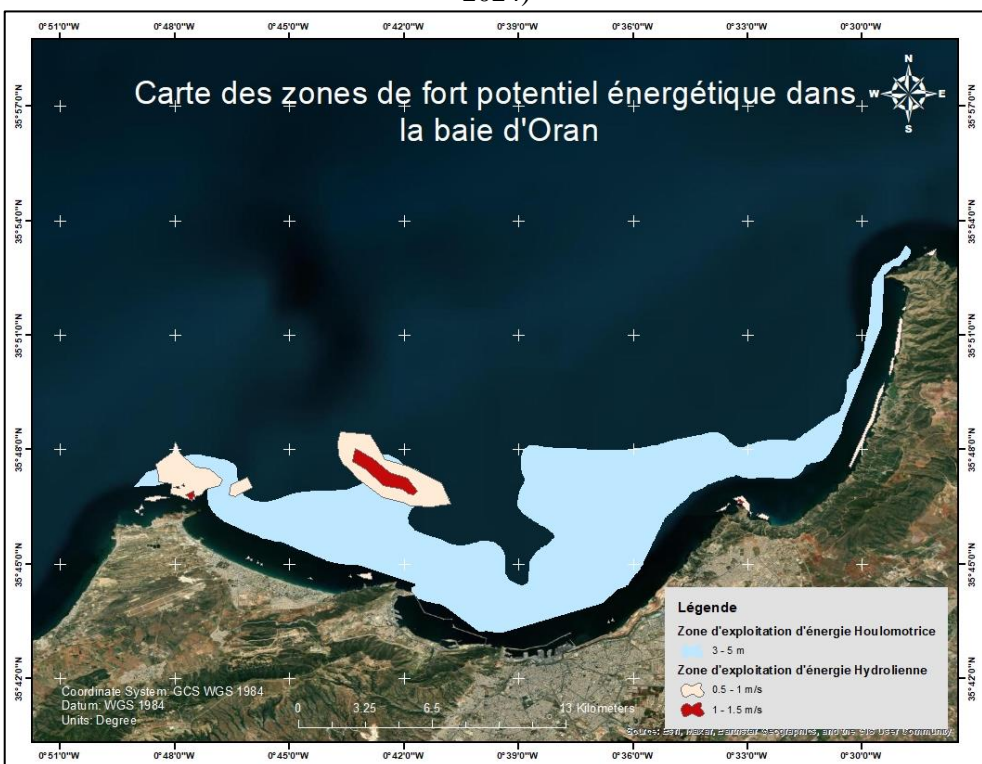


Figure N° 110: Zones de fort potentiel énergétique " Baie d'Oran ". (Basemap ArcGIS 2024)

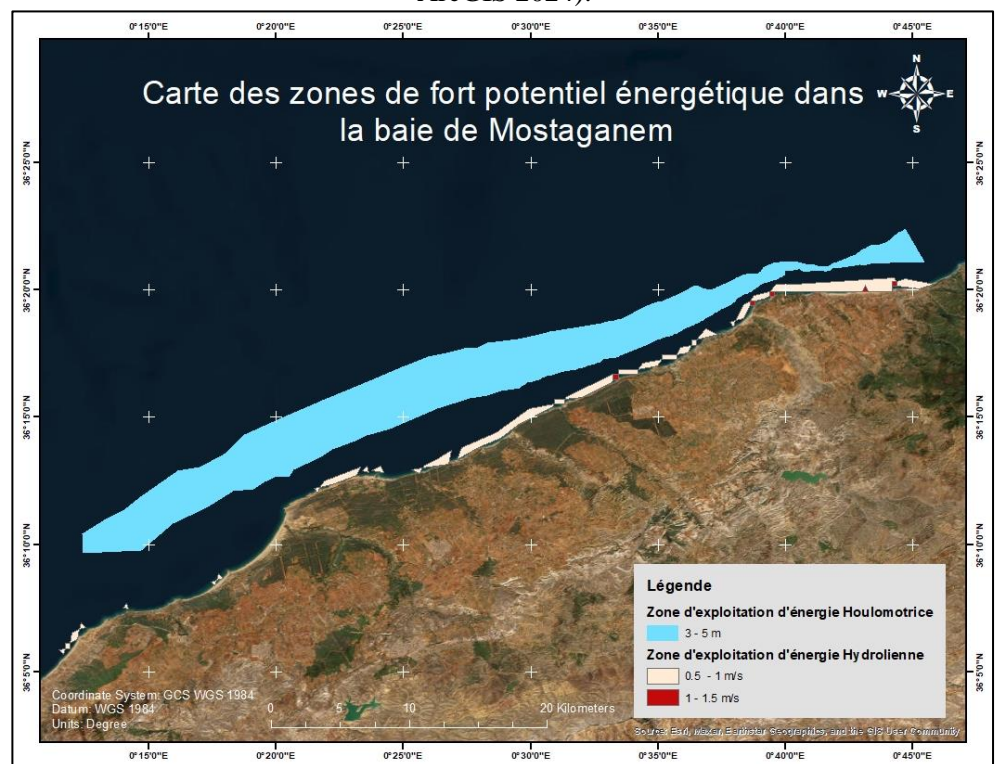


Figure N° 111: Zones de fort potentiel énergétique " Baie de Mostaganem ". (Basemap ArcGIS 2024)

# **Chapitre VI : Développement web Cartographique**

## Chapitre VI : Développement web Cartographique

### Introduction :

Le développement SIG web désigne l'utilisation de technologies web pour créer, gérer et analyser des systèmes d'information géographique (SIG) via des applications accessibles via un navigateur web. Il permet l'intégration de données géographiques avec des interfaces utilisateur interactives, facilitant ainsi la visualisation et l'analyse spatiale à distance.

### VI.1 GEODATABASE :

#### 1 Présentation générale de la GEODATABASE :

Une GéoDatabase est constituée de tables liées les unes aux autres, contenant des informations sur chaque entité, reliées à des objets points, lignes et polygones référencés géographiquement.

La gestion et la maintenance des données est assurée par des logiciels qui permettent aux utilisateurs d'interagir avec la base de données, c'est l'intermédiaire, ou l'interface, entre l'utilisateur et les données existantes. On les appelle les Systèmes de Gestion de Bases de Données Relationnelles (SGBDR).

PostgreSQL est le SGBDR (open source) sur lequel est bâti la GéoDatabase du Ministère, auquel un module « PostGis » lui a été greffé, pour activer la manipulation d'informations géographiques. Cette extension permet à PostgreSQL d'être un SGBD spatial pour pouvoir être utilisé par les systèmes d'informations géographiques (SIG).

Les SGBDR utilisent le langage SQL (Structured Query Language) pour stocker, manipuler interroger des données de façon interactive. Au sein de SQL, il existe une interface intégrée, devant permettre la définition des données (DDL) et la manipulation des données (DML) :

- **DDL** : est un langage de définition de données utilisé pour définir des structures de données. Par exemple : créer une table, modifier une table sont des instructions en SQL
- **DML** : est un langage de manipulation de données utilisé pour manipuler les données elles-mêmes. Par exemple : insert, update, delete sont des instructions en SQL

Le langage de définition de données (DDL) et le langage de manipulation de données (DML) forment ensemble un langage de base de données. La différence fondamentale entre DDL et DML réside dans le fait que DDL est utilisé pour spécifier la structure de la base de données du schéma de base de données. D'autre part, DML est utilisé pour accéder aux données, les modifier ou les récupérer à partir de la base de données.

#### 2 Organisation et structuration de la GEOSATABASE :

Du point de vue architectural, les données sont implémentées physiquement sur desktop local (local host), autour d'une GéoDatabase unique et centralisée, afin d'éviter le problème de redondance de la donnée et par voie de conséquence de sa fiabilité qui constitue un problème de fonds.

La GEODATABASE est fondée d'un seul domaine « Energie renouvelable », ce domaine constitue un schéma de la base de données qui contient 4 table géographique et une table sémantique.

**2.1 Présentation du schéma « Energie renouvelable » :**

➤ **Présentation du modèle physique :**

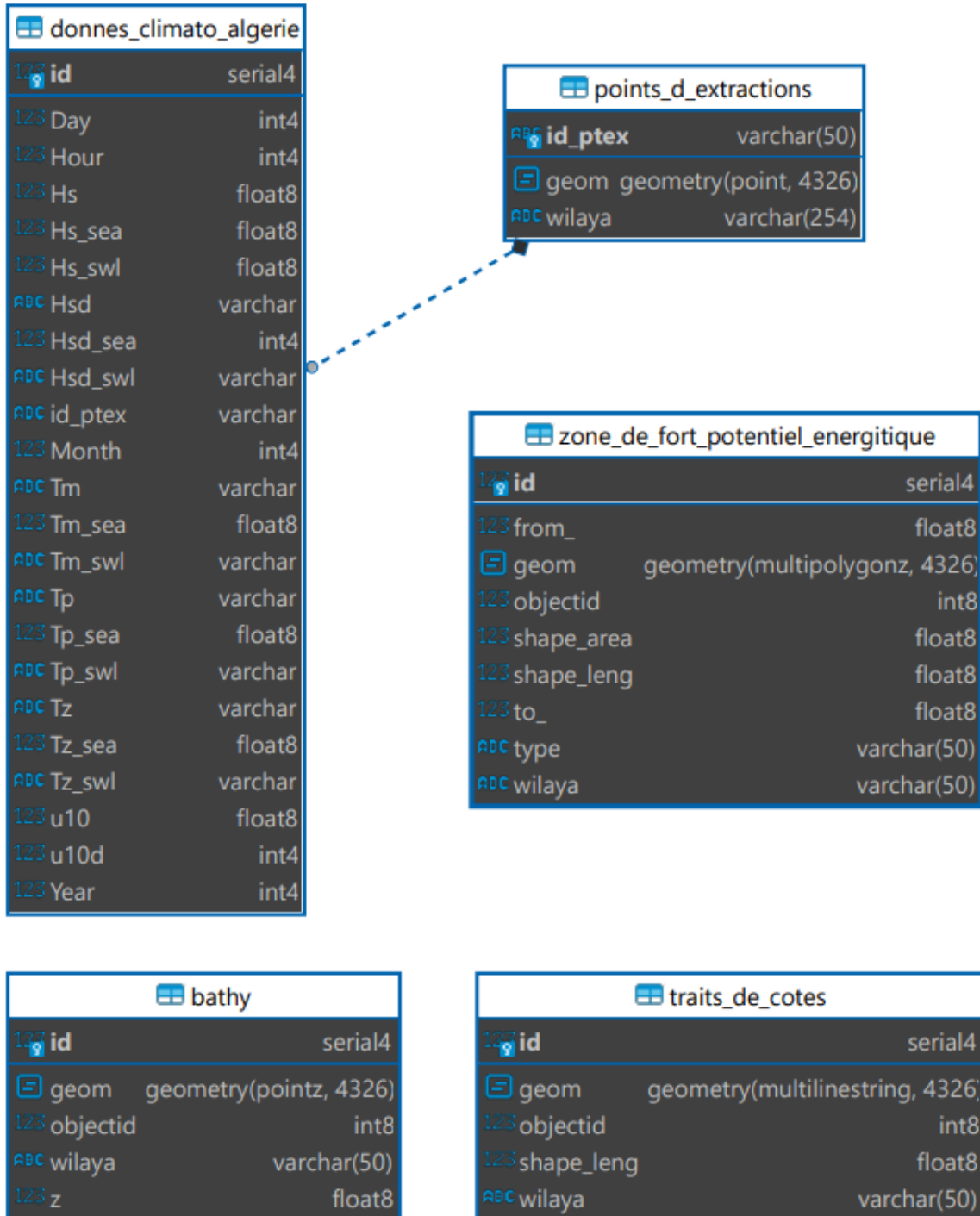


Figure N° 112: Modèle Physique de l'organisation de la GEODATABASE.

➤ Liste et contenu des tables :

schéma	Libellé des Tables	Nom des Tables	Nombre enregistrements
Energie renouvelable	Traits de cotes	traits_de_cotes	7
	Bathymétrie	bathy	478001
	Points d'extractions	points_d_extractions	7
	Les données climatologiques	donnees_climato_algerie	584416
	Les zones de fort potentiel énergétique	zone_de_fort_potentiel_energitique	23

**3 Accès à la GEODATABASE :**

L'accès à la GEODATABASE se fera à travers des connexions en local host, utilisant les outils de travail compatibles avec le SGBDR PostgreSQL tels que :

➤ **PgAdmin :**

PgAdmin est une interface graphique open-source pour la gestion des bases de données PostgreSQL. Il permet aux utilisateurs d'administrer et de gérer leurs bases de données PostgreSQL de manière intuitive à travers une interface utilisateur graphique (GUI) (Pgadmin.org 2024).

➤ **QGis :**

QGIS, également connu sous le nom de Quantum GIS, est un logiciel open-source de système d'information géographique (SIG) qui permet la visualisation, l'édition et l'analyse de données géospatiales. Il est développé par une communauté mondiale d'utilisateurs et de développeurs, offrant une alternative gratuite et puissante pour la manipulation des données géographiques (Qgis.org 2024).

➤ **PostGis :**

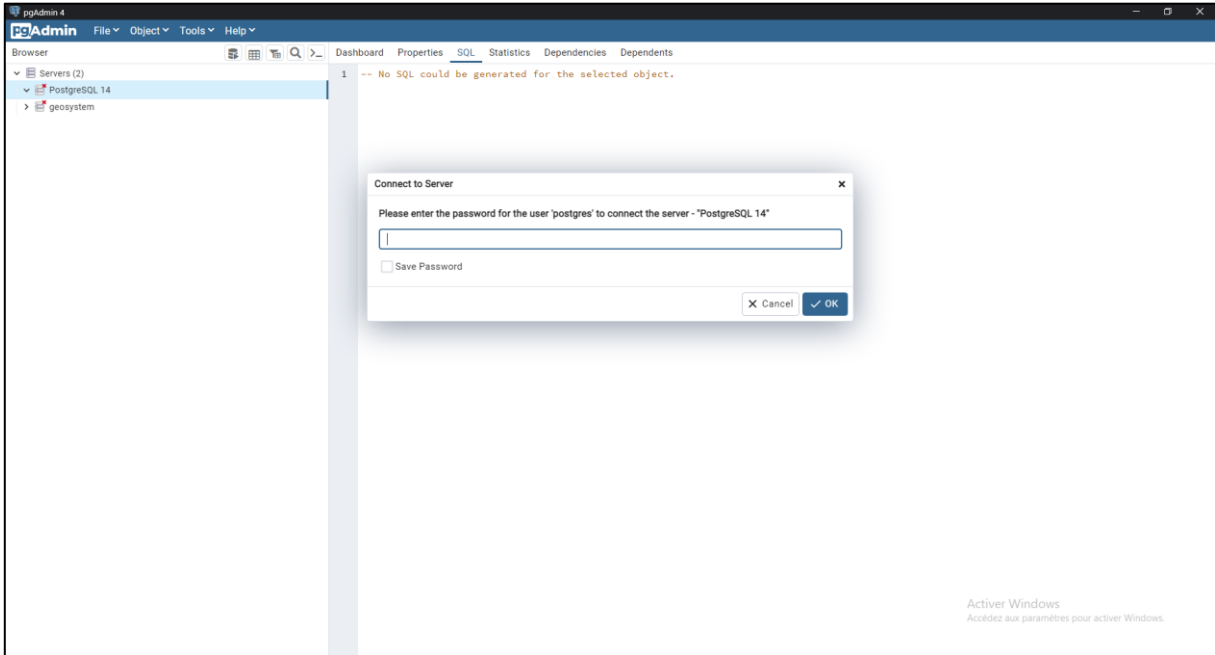
PostGIS est une extension open-source pour PostgreSQL qui ajoute un support géospatial avancé à ce système de gestion de base de données relationnelle. Il permet le stockage, la gestion et l'analyse de données géographiques et géospatiales directement au sein de PostgreSQL (PostGIS.net 2024).

Pour effectuer les opérations de maintenance de la GEODATABASE. Il est utile de pouvoir interfacier ces outils entre eux, notamment pour pouvoir travailler sur une même base de données depuis ces logiciels.

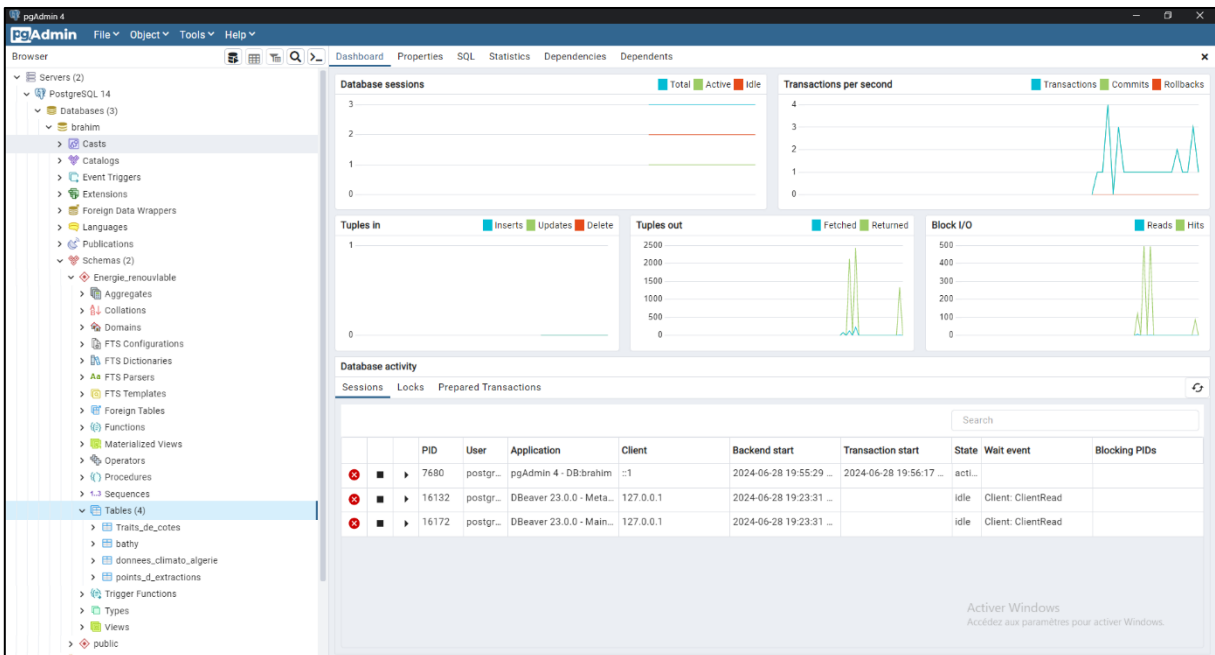
3.1.1 Accès à La GEODATABASE à Travers Pgadmin / Postgresql :

Les étapes pour accéder à la GEODATABASE sont décrites ci-dessous et doivent être exécutées en séquence :

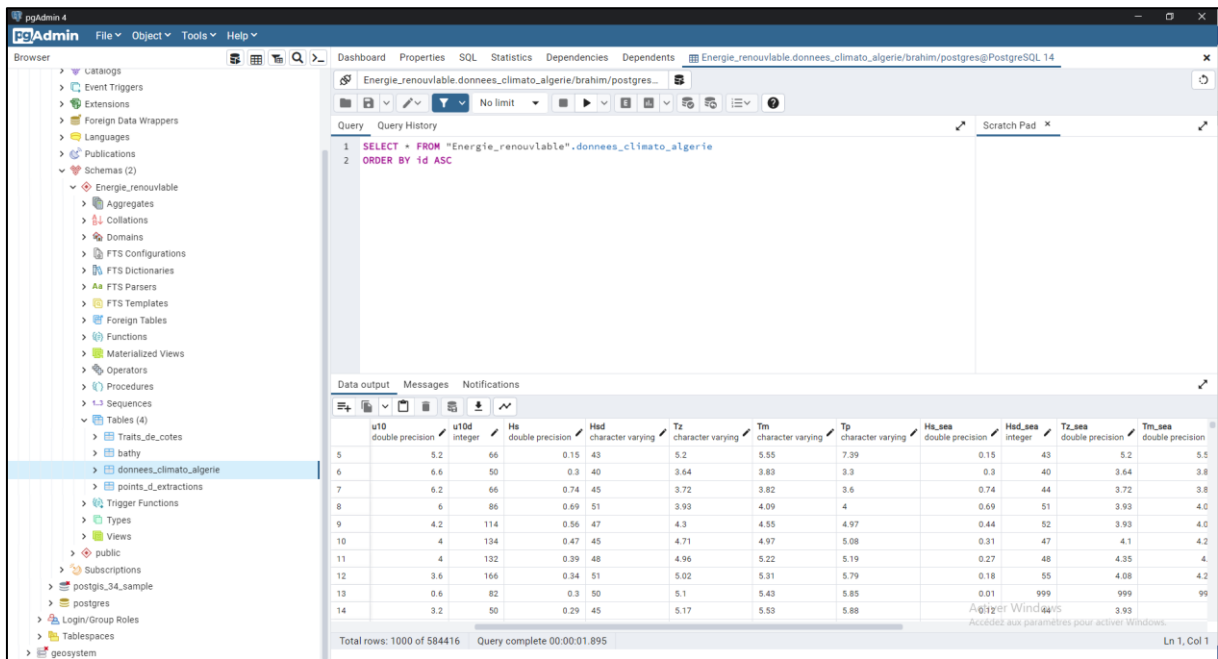
- Lancer PgAdmin en cliquant sur le raccourci qui se trouve sur la barre des tâches
- Introduire le mot de passe puis cliquez sur OK



- Développez l'arborescence : Serveur / Base de Données / Schémas / Tables



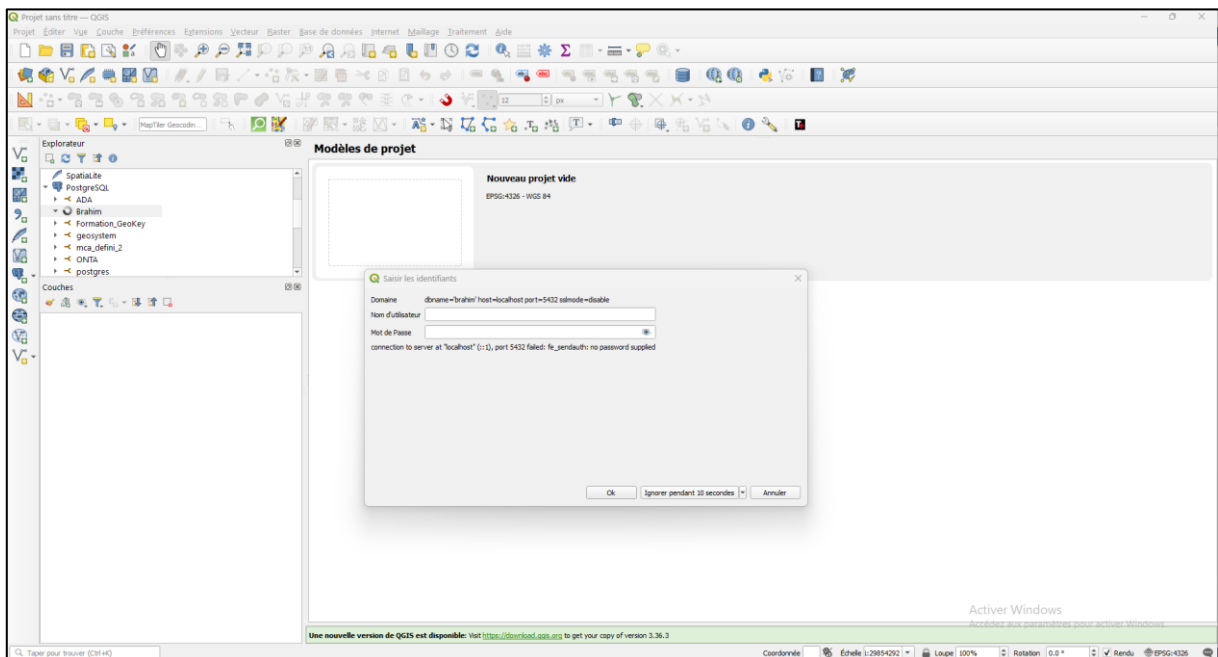
- Affichage des données d'une table par exemple « Les données climatologiques » :



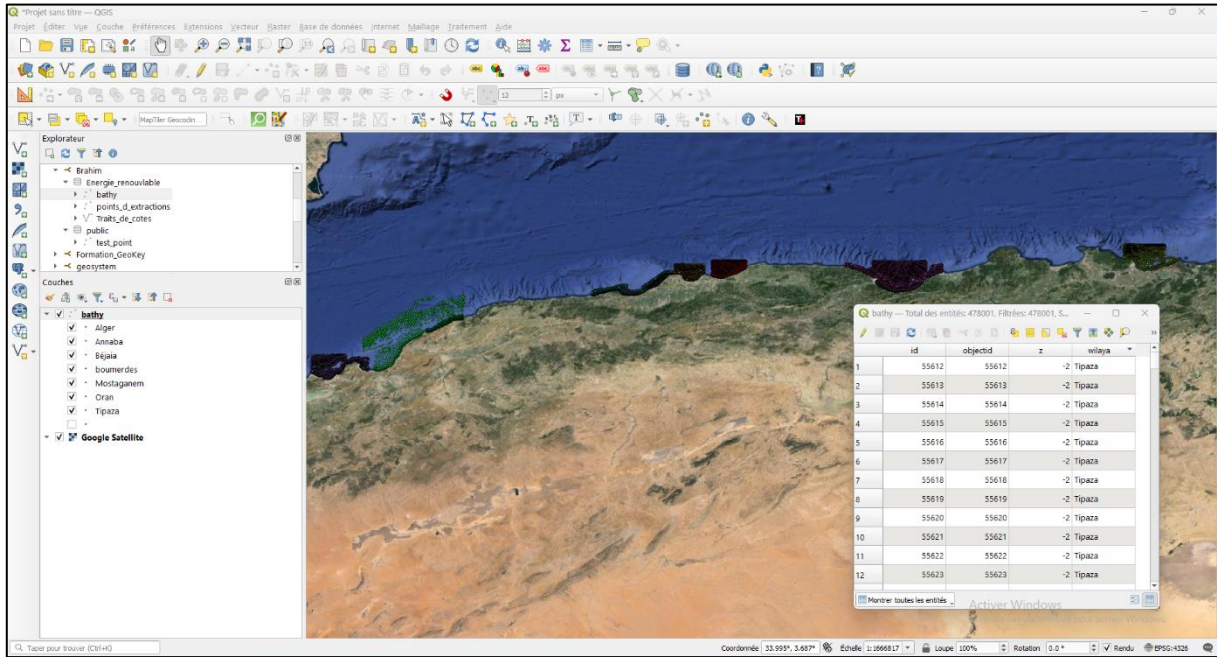
### 3.1.2 Accès à La GEODATABASE à Travers QGIS:

Les étapes pour accéder à la GEODATABASE sont décrites ci-dessous et doivent être exécutées en séquence :

- Lancer QGIS en cliquant sur le raccourci qui se trouve sur la barre des tâches
- Introduite le nom d'utilisateur et le mot de passe puis cliquez sur ok.



- Développez l'arborescence : Serveur / Base de Données / Schémas / Tables.
- Affichage des données géographique d'une table par exemple « bathymétrie ».



**4 Codifications des données :**

Le processus de codification consiste à identifier l'ensemble des entités et leur assigner un code sous forme de valeurs à chaque entité, de manière univoque. Pour éviter la redondance, il faut que chaque code ne soit présent qu'une seule fois dans la Base de Données.

Dans une base de données relationnelle, le code de l'objet ou l'identifiant (ID) représente la clé primaire, permettant d'identifier de manière unique un enregistrement dans la table.

Il en ressort de cette GEODATABASE un identifiant, ayant le rôle de clé primaire pour chaque table :

- Des codes pour identifier les points d'extractions de chaque baie
- Des codes automatiques pour identifier mes autres tables.

## 5 Code SQL pour la génération de la structure de la GEODATABASE :

```

-- SCHEMA: Energie_renouvable
-- DROP SCHEMA IF EXISTS "Energie_renouvable" ;
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS "Energie_renouvable"
  AUTHORIZATION postgres;
-- Table: Energie_renouvable.Traits_de_cotes
-- DROP TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable"."Traits_de_cotes";
CREATE TABLE IF NOT EXISTS "Energie_renouvable"."Traits_de_cotes"
(id integer NOT NULL DEFAULT nextval("Energie_renouvable"."Traits_de_cotes_id_seq"::regclass),
 geom geometry(MultiLineString,4326),
 objectid bigint,
 wilaya character varying(50) COLLATE pg_catalog."default",
 shape_leng double precision,
 CONSTRAINT "Traits_de_cotes_pkey" PRIMARY KEY (id))
TABLESPACE pg_default;
ALTER TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable"."Traits_de_cotes"
  OWNER to postgres;
-- Table: Energie_renouvable.bathy
-- DROP TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".bathy;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS "Energie_renouvable".bathy
(id integer NOT NULL DEFAULT nextval("Energie_renouvable".bathy_id_seq"::regclass),
 geom geometry(PointZ,4326),
 objectid bigint,
 z double precision,
 wilaya character varying(50) COLLATE pg_catalog."default",
 CONSTRAINT bathy_pkey PRIMARY KEY (id))
TABLESPACE pg_default;
ALTER TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".bathy
  OWNER to postgres;
-- Table: Energie_renouvable.donnees_climato_algerie
-- DROP TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".donnees_climato_algerie;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS "Energie_renouvable".donnees_climato_algerie
(id integer NOT NULL DEFAULT nextval("Energie_renouvable"."donnees climato algerie_id_seq"::regclass),
 "Year" integer,
 "Month" integer,
 "Day" integer,
 "Hour" integer,
 u10 double precision,
 u10d integer,
 "Hs" double precision,
 "Hsd" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tz" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tm" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tp" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Hs_sea" double precision,
 "Hsd_sea" integer,
 "Tz_sea" double precision,
 "Tm_sea" double precision,
 "Tp_sea" double precision,
 "Hs_swl" double precision,
 "Hsd_swl" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tz_swl" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tm_swl" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 "Tp_swl" character varying COLLATE pg_catalog."default",
 id_ptex character varying(50) COLLATE pg_catalog."default",
 CONSTRAINT "donnees climato algerie_pkey" PRIMARY KEY (id),
 CONSTRAINT "donnees climato algerie_id_ptex_fkey" FOREIGN KEY (id_ptex)
  REFERENCES "Energie_renouvable".points_d_extractions (id_ptex) MATCH SIMPLE
  ON UPDATE NO ACTION
  ON DELETE NO ACTION)
TABLESPACE pg_default;
ALTER TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".donnees_climato_algerie
  OWNER to postgres;
-- Table: Energie_renouvable.points_d_extractions
-- DROP TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".points_d_extractions;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS "Energie_renouvable".points_d_extractions
( geom geometry(Point,4326),
 wilaya character varying(254) COLLATE pg_catalog."default",
 id_ptex character varying(50) COLLATE pg_catalog."default" NOT NULL,
 CONSTRAINT points_d_extractions_pkey PRIMARY KEY (id_ptex))
TABLESPACE pg_default;
ALTER TABLE IF EXISTS "Energie_renouvable".points_d_extractions
  OWNER to postgres;
-- Table: energie_renouvelable.zone_de_fort_potentiel_energitique
-- DROP TABLE IF EXISTS energie_renouvelable.zone_de_fort_potentiel_energitique;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS energie_renouvelable.zone_de_fort_potentiel_energitique
(id integer NOT NULL DEFAULT nextval('energie_renouvelable.zone_de_fort_potentiel_energitique_id_seq'::regclass),
 geom geometry(MultiPolygonZ,4326),
 objectid bigint,
 from_ double precision,
 to_ double precision,
 type character varying(50) COLLATE pg_catalog."default",
 wilaya character varying(50) COLLATE pg_catalog."default",
 shape_leng double precision,
 shape_area double precision,
 CONSTRAINT zone_de_fort_potentiel_energitique_pkey PRIMARY KEY (id))
TABLESPACE pg_default;
ALTER TABLE IF EXISTS energie_renouvelable.zone_de_fort_potentiel_energitique
  OWNER to postgres;

```

Figure N° 113: Présentation du code SQL de la base de données.

## VI.2 Développement web cartographique :

### Introduction :

Le développement web cartographique consiste en la conception et la mise en œuvre d'applications web qui intègrent des fonctionnalités cartographiques interactives. Ces applications permettent aux utilisateurs de visualiser, manipuler et analyser des données géographiques sur des cartes interactives via Internet. Le processus implique l'utilisation de technologies telles que les systèmes d'information géographique (SIG), les bibliothèques de cartographie (comme Google Maps, Leaflet, OpenLayers), et l'intégration de données spatiales provenant de différentes sources (arcgis.com 2024).

### 1 Logiciel utilisé :

#### 1.1 Wampserver :

WampServer est une plateforme de développement web qui combine Apache, MySQL et PHP sur un environnement Windows. Il permet aux développeurs de créer et de tester des sites web localement avant de les déployer sur un serveur en ligne (wampserver.aviatechno.net 2024).

#### 1.2 Visual Studio Code (VS Code) :

Visual Studio Code est un environnement de développement léger et open source développé par Microsoft. Il est conçu pour être hautement personnalisable grâce à son architecture extensible via des extensions. VS Code supporte une large gamme de langages de programmation et offre des fonctionnalités avancées telles que la coloration syntaxique, l'auto-complétion intelligente, le débogage intégré, le contrôle de version, et la gestion de projet.

Sa polyvalence en fait un outil apprécié tant par les développeurs débutants que par les professionnels. Son interface utilisateur intuitive et ses nombreuses extensions disponibles via le marché d'extensions de Visual Studio Code permettent aux utilisateurs de personnaliser leur environnement de développement en fonction de leurs besoins spécifiques (code.visualstudio.com 2024).

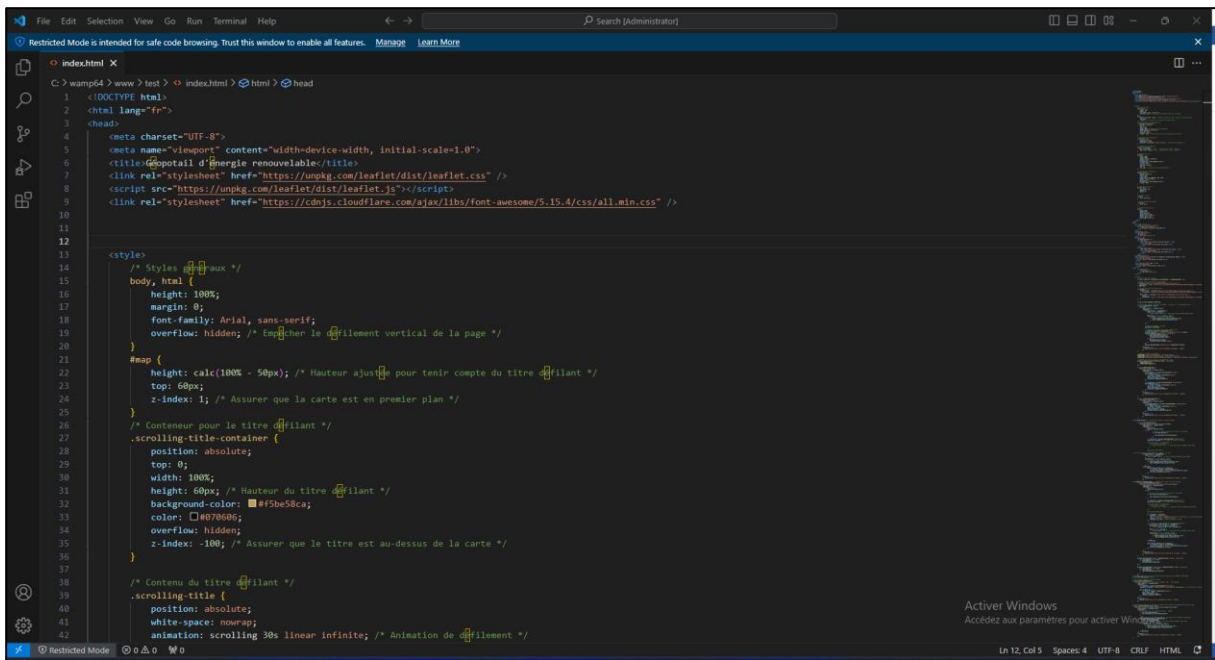


Figure N° 114: Interface de logiciel Visual Code Studio.

### 1.3 Apache :

Apache, dans le contexte des technologies web, fait référence principalement à Apache HTTP Server, également connu sous le nom d'Apache. C'est un serveur web open-source développé et maintenu par l'Apache Software Foundation (ASF). Apache HTTP Server joue un rôle central dans l'infrastructure web mondiale en tant que serveur web leader, utilisé pour servir des pages web statiques et dynamiques sur Internet. Il est connu pour sa fiabilité, sa modularité, sa sécurité et sa capacité à être étendu via des modules tiers. Apache HTTP Server est largement utilisé dans divers environnements informatiques pour héberger des sites web, des applications web et d'autres services en ligne (Apache.org 2024).

## 2 Langage utilisé :

Dans le développement web de notre SIG-web dans le cadre de notre projet fin d'étude nous avons utilisé plusieurs langage de programmation telle que :

### 2.1 HTML (HyperText Markup Language) :

HTML est le langage standardisé utilisé pour créer et structurer le contenu des pages web. Il repose sur l'utilisation de balises pour définir la structure logique et le formatage du contenu textuel, multimédia et interactif sur le Web. Chaque balise encadre un élément spécifique comme un paragraphe, un titre, une liste, une image ou un lien hypertexte, permettant ainsi aux navigateurs web de rendre et d'interagir avec le contenu de manière cohérente et prévisible pour les utilisateurs.

Il est conçu pour être indépendant du matériel et du logiciel utilisé pour accéder aux informations sur le Web, ce qui en fait un outil essentiel pour la création de documents universellement accessibles(developer.mozilla.org 2024).

## **2.2 JavaScript :**

JavaScript est un langage de programmation de scripts principalement utilisé pour créer des pages web interactives. Contrairement à HTML, qui définit la structure d'une page web, JavaScript permet de créer des fonctionnalités dynamiques et interactives, telles que des animations, des effets visuels, des formulaires interactifs, des jeux, et plus encore. Il est souvent intégré dans le code HTML des pages web pour contrôler le comportement des éléments et réagir aux actions des utilisateurs.

JavaScript est un langage de script côté client, ce qui signifie qu'il est exécuté par le navigateur web de l'utilisateur final. Il est interprété à mesure que la page web se charge et peut être utilisé pour manipuler le contenu HTML et CSS existant, ainsi que pour communiquer avec des serveurs web pour obtenir des données supplémentaires sans recharger la page entière (Theo D'Hondt 2010).

## **2.3 PHP (Hypertext Preprocessor) :**

PHP est un langage de programmation principalement utilisé pour le développement web côté serveur. Initialement conçu pour la création de pages web dynamiques, PHP est aujourd'hui largement utilisé pour développer des applications web complexes. Il est intégré directement dans le code HTML des pages web et permet d'exécuter des scripts côté serveur pour générer du contenu dynamique à la demande.

PHP est particulièrement puissant pour interagir avec les bases de données, gérer les sessions utilisateur, gérer les formulaires web, et effectuer d'autres tâches côté serveur nécessaires au fonctionnement des applications web interactives. Il est open source et supporte une large gamme de plateformes serveur, ce qui en fait un choix populaire parmi les développeurs web (Php.net 2024).

## **3 Méthode de travail :**

Nous avons écrit un code HTML (HyperText Markup Language) pour créer un GEOPORATIL intégrant une carte Leaflet et plusieurs fonctionnalités liées aux énergies renouvelables en Algérie, en utilisant une combinaison de langages et de technologies comme suite :

- HTML est utilisé pour structurer le contenu de la page avec des balises telles que <div>, <h1>, <ul>, <li>, et <select>, assurant une organisation claire et logique des informations affichées.
- Les feuilles de style en cascade (CSS) contrôlent l'apparence et la présentation des éléments HTML. Elles permettent d'appliquer des styles personnalisés à des éléments précis, tels que la carte Leaflet (#map), le titre qui défile (#scrolling-title) et les panneaux latéraux (#sidebar). Les règles CSS définissent les aspects visuels, comme

les couleurs, les polices et les mises en page, afin d'offrir aux utilisateurs une expérience attrayante et homogène.

- JavaScript permet d'interagir avec la carte Leaflet et de la rendre dynamique. Il permet de charger des données GeoJSON à la volée et de gérer les actions des utilisateurs comme la sélection de régions (wilayas) ou la recherche de données. Les fonctions JavaScript insérées dans les balises <script> ajoutent des fonctionnalités avancées telles que la gestion des couches de la carte et l'affichage en direct des résultats de recherche.
- Leaflet, une bibliothèque indispensable, génère des cartes interactives utilisant les tuiles (OpenStreetMap, OpenTopoMap), Les utilisateurs peuvent ainsi interagir avec les données géospatiales sur les énergies renouvelables en Algérie. De plus, Leaflet permet d'afficher des données GeoJSON avec des styles adaptés et des fenêtres contextuelles qui fournissent des informations supplémentaires.
- Font Awesome est une bibliothèque d'icônes qui permet d'ajouter des symboles graphiques (comme des icônes de localisation) à une interface utilisateur. Ces icônes vectorielles sont accessibles à tous et améliorent l'expérience de navigation d'une page en rendant l'information plus visuelle et intuitive.

En résumé, cette application web combine de manière harmonieuse HTML pour la structure, CSS pour le style, JavaScript pour l'interactivité, Leaflet pour la cartographie dynamique, et Font Awesome pour les icônes. Elle offre une plateforme robuste et conviviale pour explorer et analyser les données géospatiales sur les énergies renouvelables en Algérie, tout en garantissant une expérience utilisateur optimale et intuitive.

#### 4 Présentation du portail :

L'application développée est appelée à fonctionner dans l'environnement Web sous forme d'un GEOPORTAIL cartographique est concernera la thématiques : « Identification des zones à fort potentiel énergétique ».

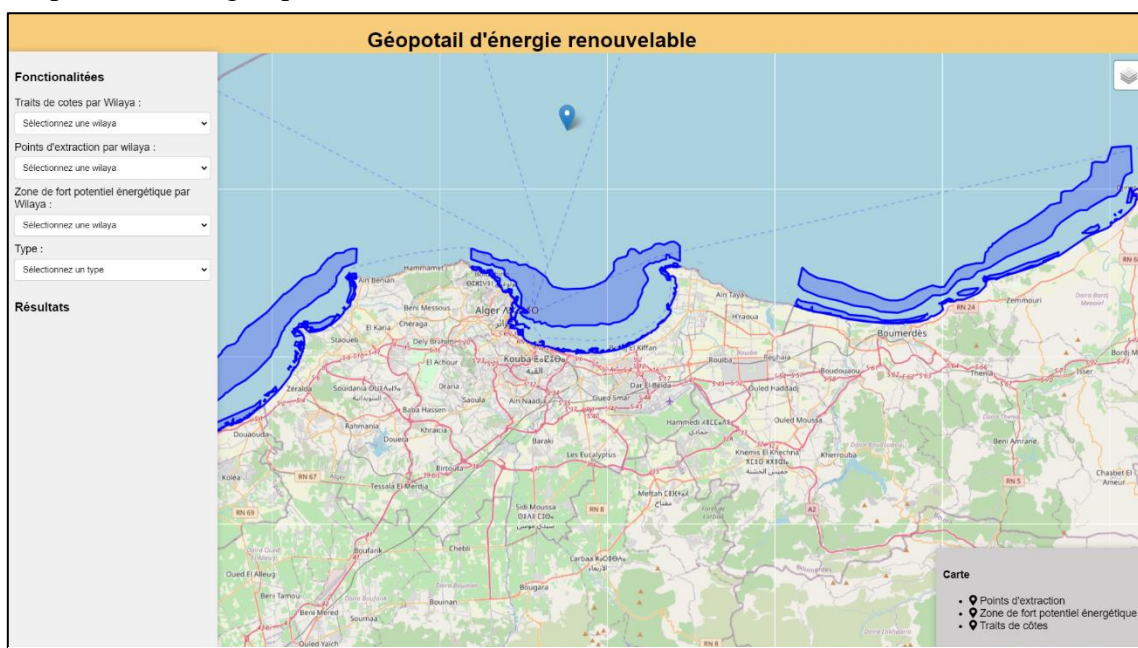


Figure N° 115: Présentation du GEOPORTAIL.

**4.1 Fonctionnalités :**

- Le GEOPORTAIL contient trois fonctionnalités (Recherche Trait de côte, points d’extractions et les zones à fort potentiel énergétique), qui sont en relations avec les couches dans la base de données PostgreSQL, ces recherche ils sont des filtres comme suite :

**Tableau 2: système Applicatif et fonctionnalités**

Fonctionnalités	Filtres
Recherche trait de cote	Un filtre par wilaya
Recherche point d'extractions	Un filtre par wilaya
Recherche des zones à fort potentiel énergétique	Deux filtres: - Par wilaya - Par nature de l’énergie.

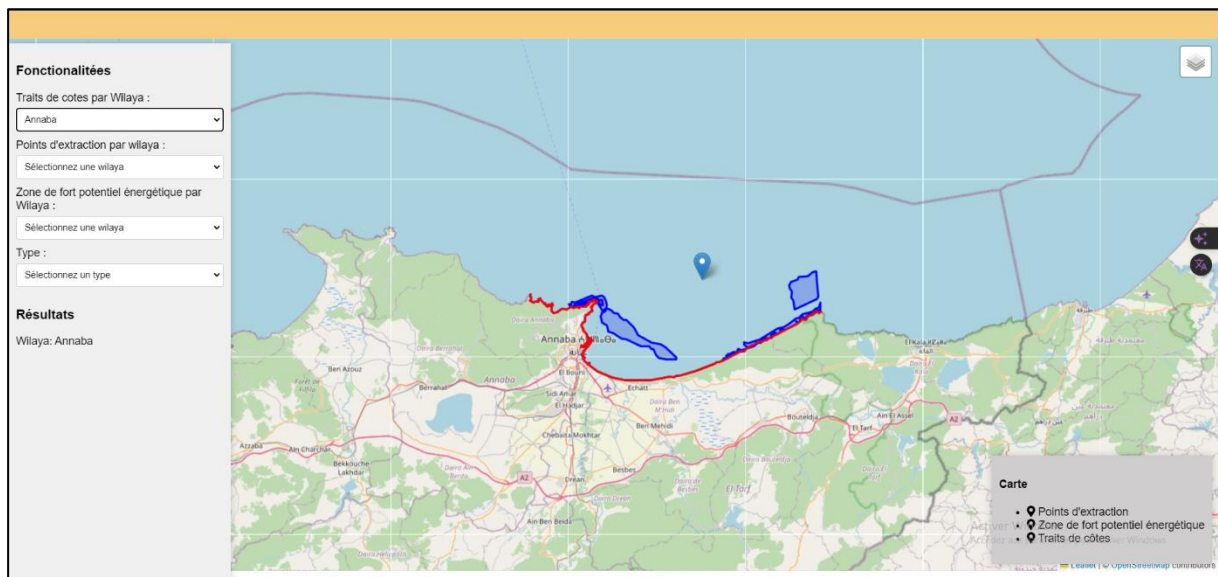


Figure N° 116: Exemple sur la fonctionnalité Recherche trait de côte.

# **Conclusion général**

### **Conclusion générale :**

Le développement durable et la transition vers des énergies renouvelables sont des impératifs pour répondre aux défis énergétiques et environnementaux du 21<sup>ème</sup> siècle. Le littoral algérien, avec ses conditions marines favorables, offre une opportunité unique pour exploiter les énergies renouvelables marines. Ce projet de fin d'études a démontré l'importance et l'efficacité de l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) web dans l'évaluation et l'exploitation de ces ressources.

En intégrant des données climatiques, bathymétriques, et des analyses d'événements extrêmes, nous avons pu identifier les zones de fort potentiel pour le développement des énergies renouvelables marines le long du littoral algérien. Les simulations effectuées avec Mike 21 SW et HD ont fourni des informations précises sur les conditions hydrodynamiques, permettant une évaluation rigoureuse des ressources disponibles.

La création d'une base de données SIG web a permis de centraliser et de visualiser ces informations de manière interactive et accessible, facilitant ainsi la prise de décision pour les parties prenantes. Cette plateforme représente un outil puissant pour la planification, la gestion et le développement des projets énergétiques marins en Algérie.

Ce projet met en lumière la synergie entre les technologies géospatiales avancées et l'ingénierie côtière pour promouvoir une utilisation optimale et durable des ressources marines. Il illustre également l'importance de la collaboration multidisciplinaire dans la réalisation de projets complexes et innovants. De plus, l'architecture flexible du SIG web permet de l'adapter à diverses thématiques, ce qui en fait un outil polyvalent pouvant être développé selon n'importe quelle thématique, comme la gestion des ressources halieutiques, la protection de l'environnement côtier, ou encore la planification urbaine côtière.

À terme, ce SIG web pourrait servir de modèle pour d'autres régions côtières, non seulement en Algérie, mais aussi à l'échelle internationale. En fournissant des analyses précises et des visualisations claires, il contribue à une meilleure compréhension et gestion des énergies renouvelables marines, favorisant ainsi une transition énergétique globale vers des sources d'énergie plus durables.

En conclusion, ce projet de fin d'études représente une avancée significative dans l'étude et l'évaluation des énergies renouvelables marines, démontrant l'importance des outils SIG pour une gestion efficace et durable des ressources côtières. Il ouvre la voie à de nouvelles recherches et développements dans ce domaine, avec l'espoir de contribuer à un avenir énergétique plus propre et plus durable.

# **Référence bibliographique**

### Référence bibliographique :

**Alem, A., Saf, B. (2021)**, Etude hydrodynamique et d'agitation portuaire – Cas du port d'Alger, mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du Littoral. Dely-Ibrahim: ENSSMAL, 46, 880.

**Amara, L., Chalal, Y. (2022)**. Machine learning pour l'étude de la performance hydraulique des ouvrages portuaires, cas Marina d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Gestion et protection du littoral. dely brahim: ENSSMAL. P. 1

**André, TEMPERVILLE. 2021.** « Vagues et houles ». *Encyclopédie de l'environnement*. <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/vagues-houles/> (7 juillet 2024).

**Andrew Mark Symonds., (2017)**, « Comparison Between Mike 21 FM, Delft3D and Delfts3D FM Flow Models of Western Port Bay, Australia », Coastal Engineering Proceedings, no 35: 11, <https://doi.org/10.9753/icce.v35.currents.11.>, 12p.

**arcgis.com. 2024.** « A propos des SIG Web ». <https://enterprise.arcgis.com/fr/server/10.4/create-web-apps/windows/about-web-gis.htm> (7 juillet 2024).

**Babarit, Aurélien. 2018.** *L'énergie des vagues : Ressource, technologies et performance*. ISTE Group.

**Bonfils, Alizé. 2022.** « La gestion des risques dans les contrats internationaux d'énergies marines renouvelables: exemple de l'éolien en mer ».

**Bonnefille, René. 1976.** « Les réalisations d'Electricité de France concernant l'énergie marémotrice ». *La Houille Blanche* 62(2): 87-149. doi:10.1051/lhb/1976007.

**Chapon. 1984.** « Travaux maritimes 1 - le milieu marin ».

**code.visualstudio.com. 2024.** <https://code.visualstudio.com/> (7 juillet 2024).

**Coles, Stuart. 2001.** « Threshold Models ». In *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, éd. Stuart Coles. London: Springer, 74-91. doi:10.1007/978-1-4471-3675-0\_4.

**DHI. 2014.** « MIKE 21 Spectral Wave Module ».

**DHI. 2014.** « MIKE 21/3 Couple Model FM ».

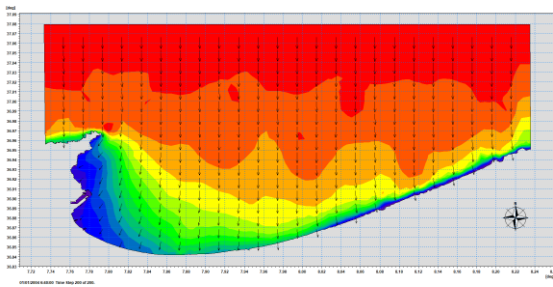
**DHI. 2014.** « MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator ».

**Jarry, Nicolas. 2009.** « Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier ».

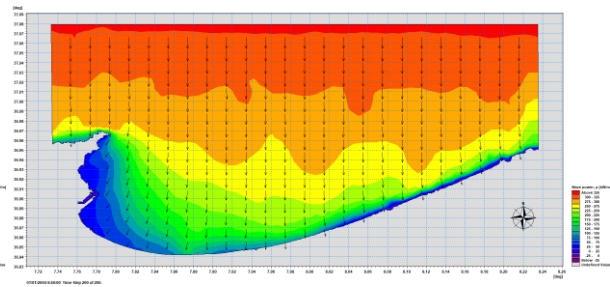
- LAOOMBE. 1957.** « ÉNEBGIE MÉCANIQUE DE LA HOULE : ÉTAT DANS LA NATURE ».
- M. Gauthie. 1981.** « Production d'énergie à partir de la houle ».
- Marion, CORRE LABA. 2009.** « NOTE D'OPPORTUNITES SUR L'EXPLOITATION DES COURANTS MARINS EN BAIE DE SAINT PAUL ».
- NARIMENE, CHERTOUK. 2021.** « L'UTILISATION DES CAPTEURS D'ÉNERGIE DES VAGUES POUR DIMINUER L'ÉROSION CÔTIÈRE ».
- Nicolae Lerma, Alexandre, Thomas Bulteau, Sophie Lecacheux, et Déborah Idier. 2014.** « Période de retour des évènements de fortes houles le long des côtes françaises (Atlantique et Manche) ». In *XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Dunkerque, France, 10p. <https://hal.science/hal-00996905> (7 juillet 2024).
- pgadmin.org. 2024.** <https://www.pgadmin.org/docs/> (7 juillet 2024).
- php.net. 2024.** « PHP: Hypertext Preprocessor ». <https://www.php.net/index.php> (7 juillet 2024).
- PostGIS.net. 2024.** *PostGIS*. <https://postgis.net/> (7 juillet 2024).
- Qgis.org. 2024.** <https://www.qgis.org/fr/site/> (7 juillet 2024).
- Rébillat, Marc, Ouadie Hmad, Farid Kadri, et Nazih Mechbal. 2018.** « Peaks Over Threshold–Based Detector Design for Structural Health Monitoring: Application to Aerospace Structures ». *Structural Health Monitoring* 17(1): 91-107. doi:10.1177/1475921716685039.
- Ruellan, Marie. 2008.** « Méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération de l'énergie des vagues ».
- Solari, Sebastián, Marta Egüen, María J. Polo, et Miguel Losada. 2017.** « Peaks Over Threshold (POT): A methodology for automatic threshold estimation using goodness of fit p-value ». *Water Resources Research* 53. doi:10.1002/2016WR019426.
- Theo D'Hondt. 2010.** « The Essence of JavaScript | SpringerLink ». [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14107-2\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14107-2_7) (7 juillet 2024).
- Thierry, MAÎTRE. 2018.** « Les hydroliennes ».
- wampserver.aviatechno.net. 2024.** « Wampserver ». <https://wampserver.aviatechno.net/> (7 juillet 2024).

# **Annexes**

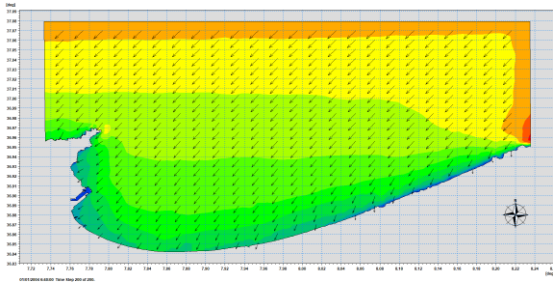
**Annaba N 2 ans:**



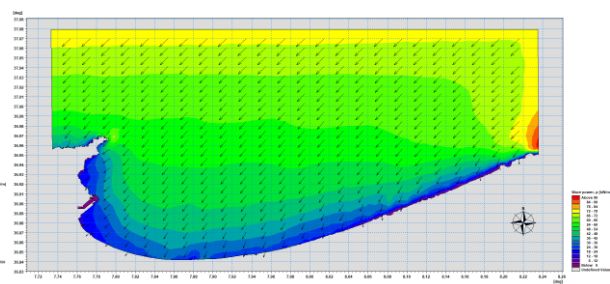
**Annaba N 10 ans:**



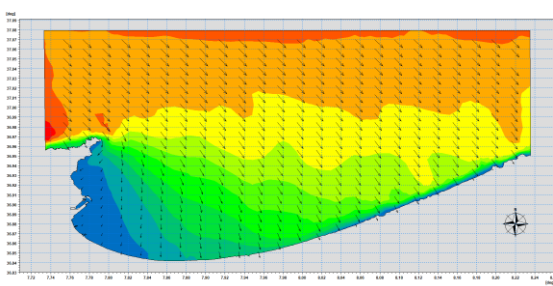
**Annaba NE 2 ans :**



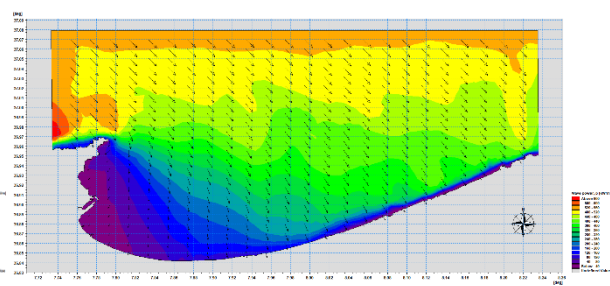
**Annaba NE 10 ans :**



**Annaba NW 2 ans :**

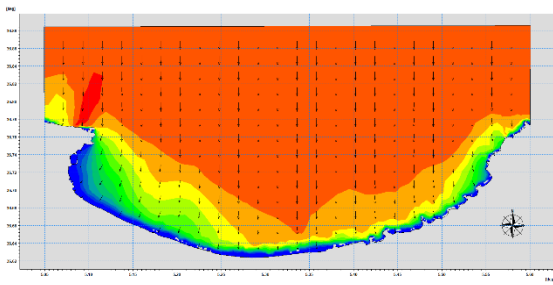


**Annaba NW 10 ans :**

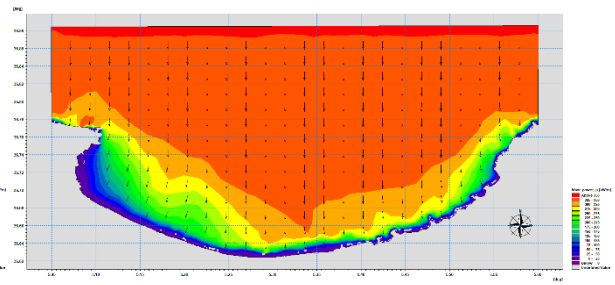


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie d'Annaba pour les périodes de retour 2 et 10 ans

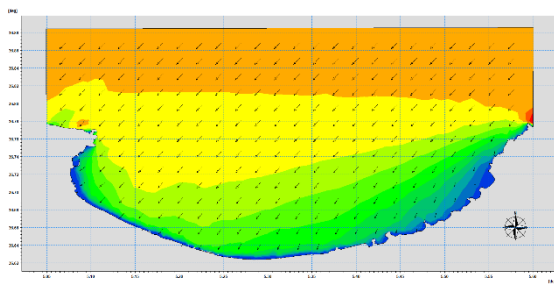
**Bejaïa N 2 ans:**



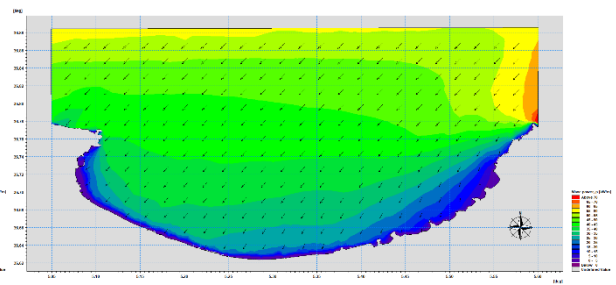
**Bejaïa N 10 ans:**



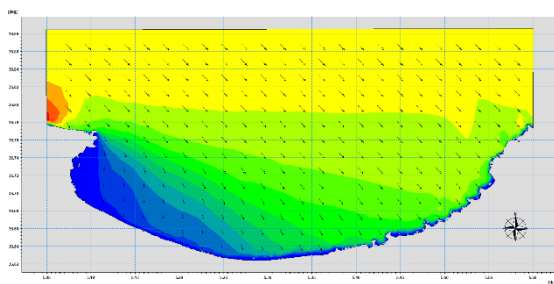
**Bejaïa NE 2 ans :**



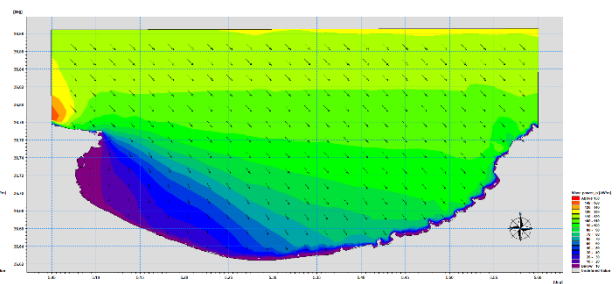
**Bejaïa NE 10 ans :**



**Bejaïa NW 2 ans :**

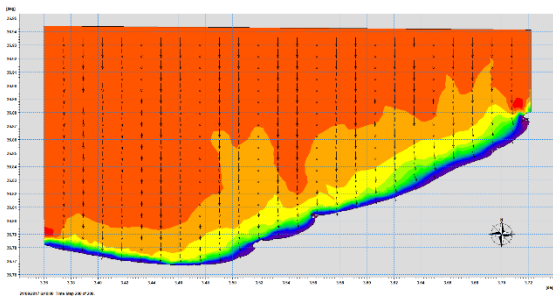


**Bejaïa NW 10 ans :**

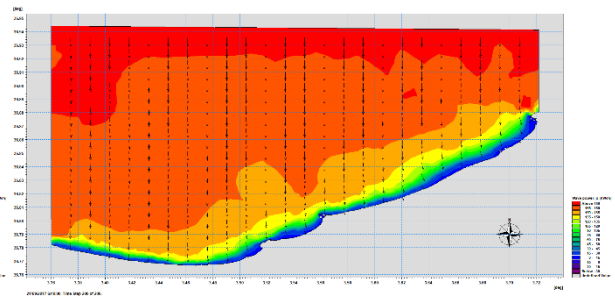


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie de Bejaïa pour les périodes de retour 2 et 10 ans

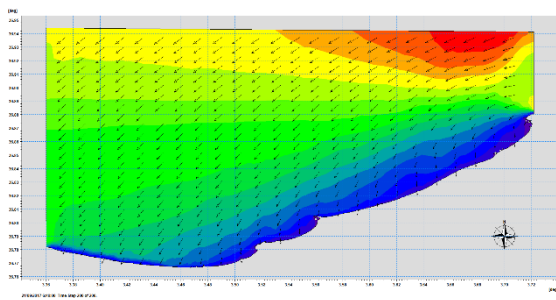
**Zemourri N 2 ans:**



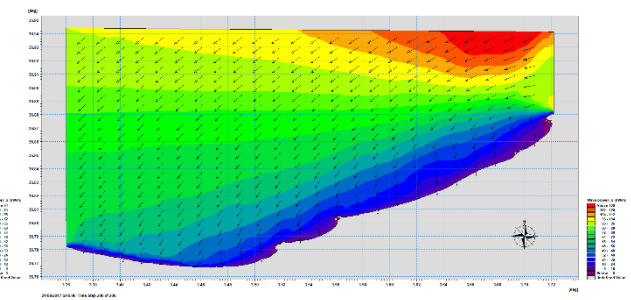
**Zemourri N 10 ans:**



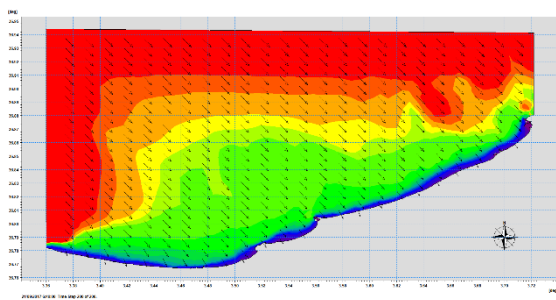
**Zemourri NE 2 ans :**



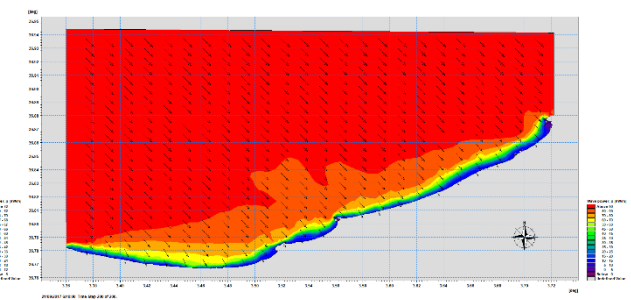
**Zemourri NE 10 ans :**



**Zemourri NW 2 ans :**

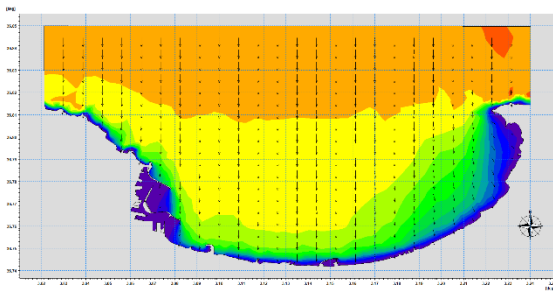


**Zemourri NW 10 ans :**

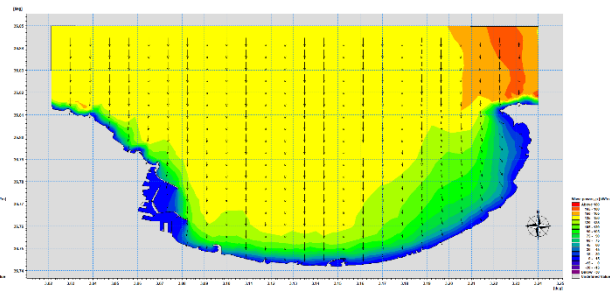


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie de Zemourri pour les périodes de retour 2 et 10 ans

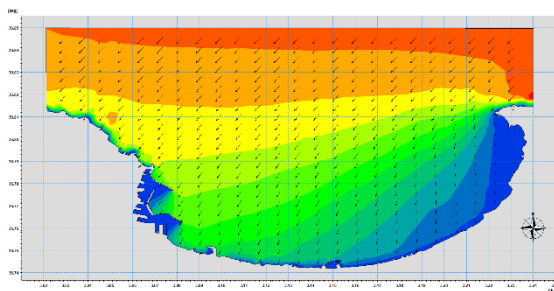
**Alger N 2 ans:**



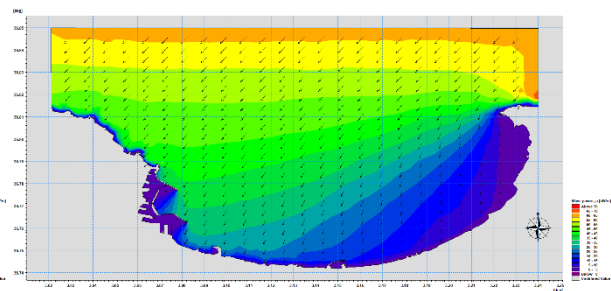
**Alger N 10 ans:**



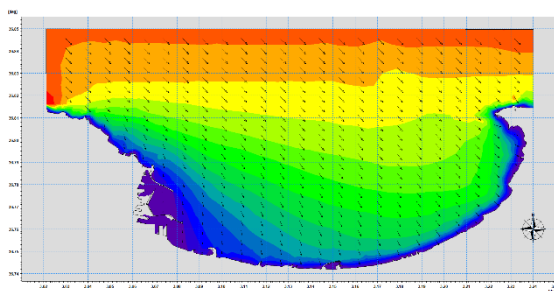
**Alger NE 2 ans :**



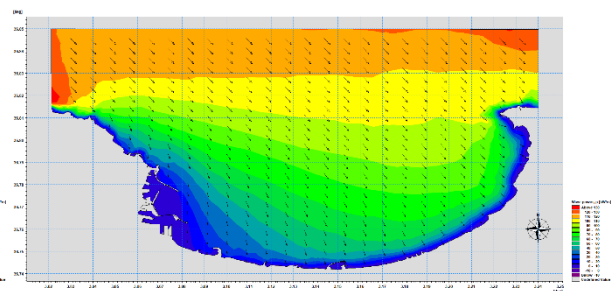
**Alger NE 10 ans :**



**Alger NW 2 ans :**

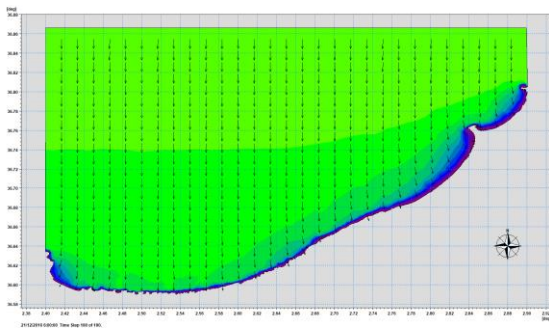


**Alger NW 10 ans :**

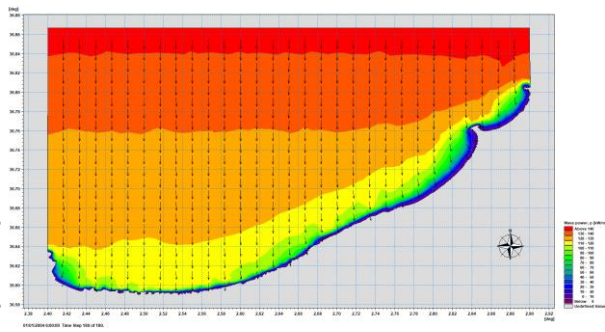


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie d'Alger pour les périodes de retour 2 et 10 ans

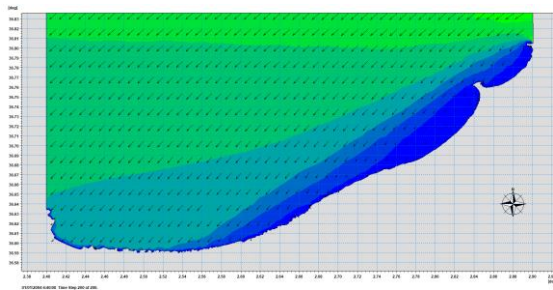
**Bou Ismaïl N 2 ans:**



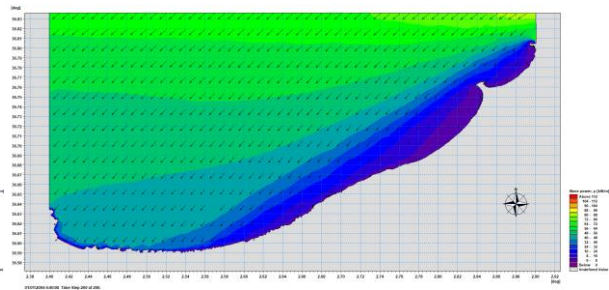
**Bou Ismaïl N 10 ans:**



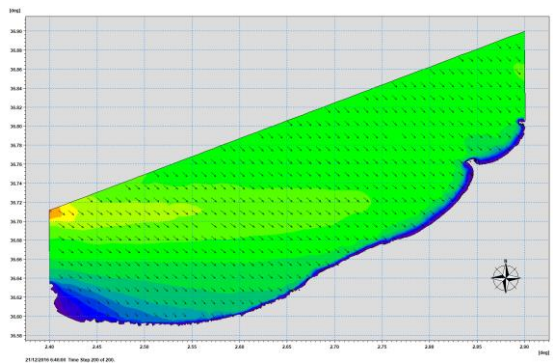
**Bou Ismaïl NE 2 ans :**



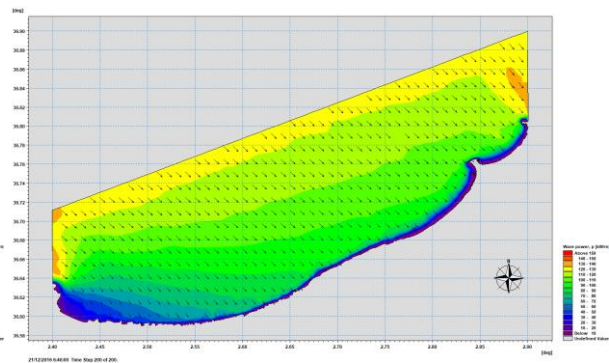
**Bou Ismaïl NE 10 ans :**



**Bou Ismaïl NW 2 ans :**

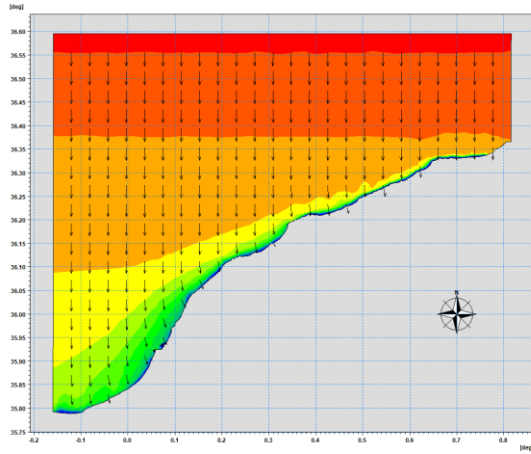


**Bou Ismaïl NW 10 ans :**

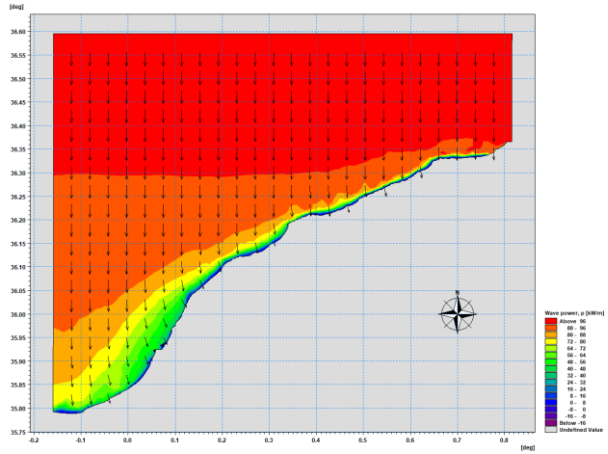


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie de Bou Ismaïl pour les périodes de retour 2 et 10 ans

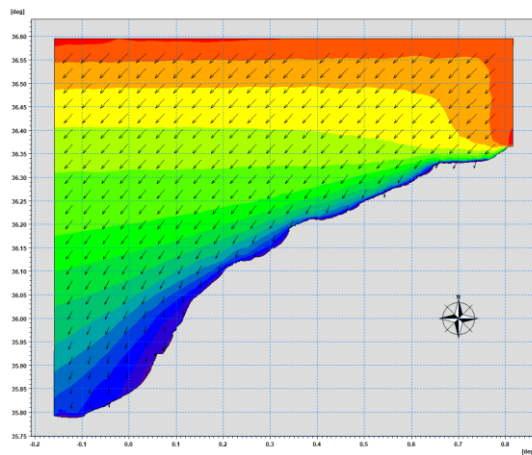
**Mostaganem N 2 ans:**



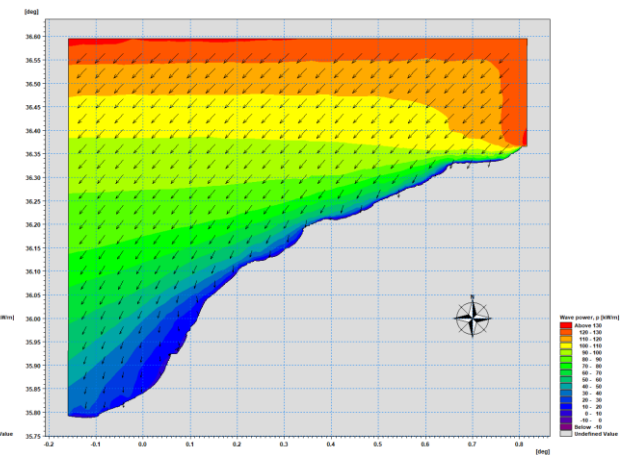
**Mostaganem N 10 ans:**



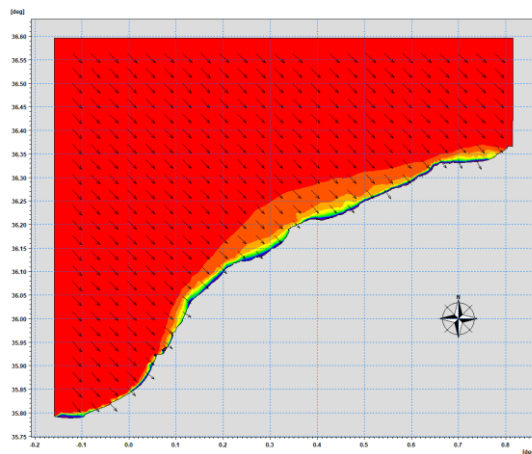
**Mostaganem NE 2 ans :**



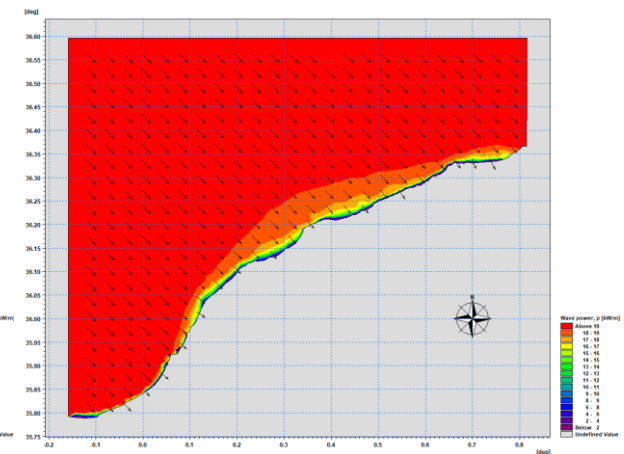
**Mostaganem NE 10 ans :**



**Mostaganem NW 2 ans :**

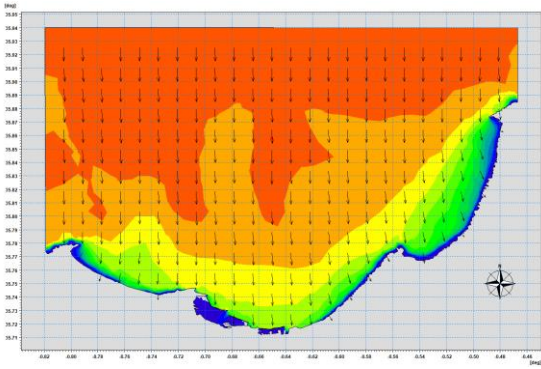


**Mostaganem NW 10 ans :**

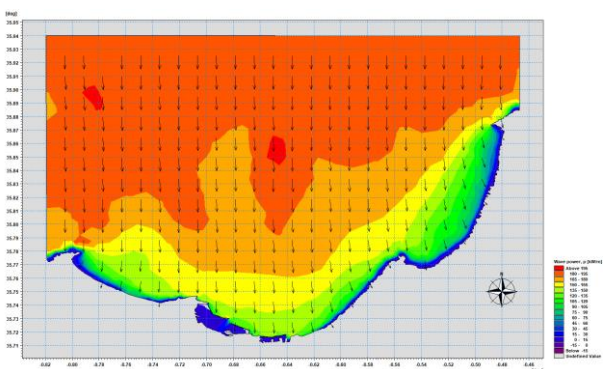


Cartes énergétique (Wave power) dans la baie de Mostaganem pour les périodes de retour 2 et 10 ans

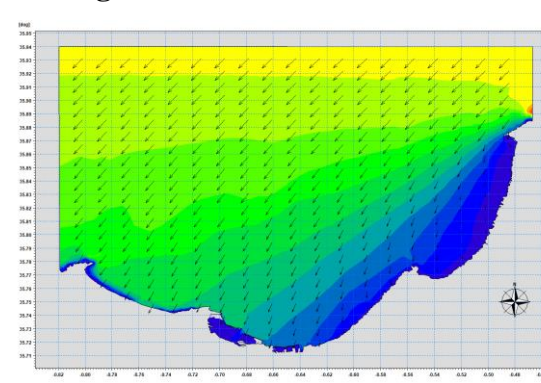
**Mostaganem N 2 ans:**



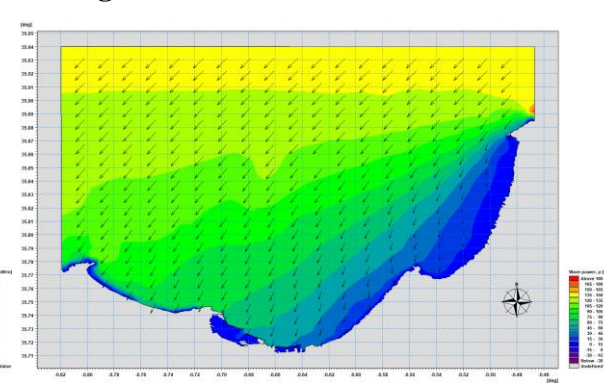
**Mostaganem N 10 ans:**



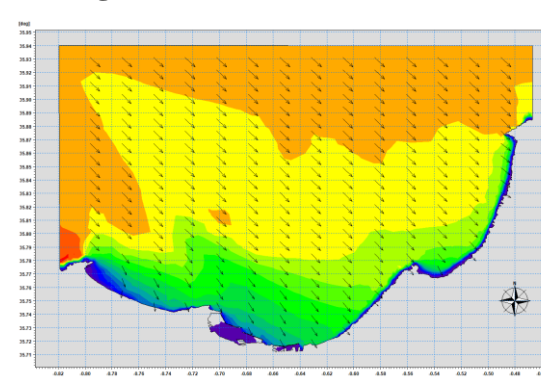
**Mostaganem NE 2 ans :**



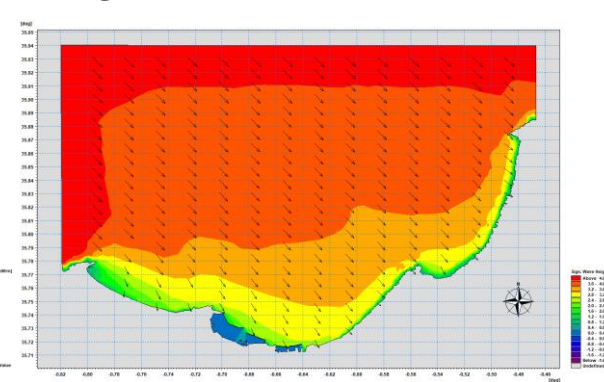
**Mostaganem NE 10 ans :**



**Mostaganem NW 2 ans :**



**Mostaganem NW 10 ans :**



Cartes énergétique (Wave power) dans la baie d'Oran pour les périodes de retour 2 et 10 ans

## **Résumé :**

Ce mémoire développe un Système d'Information Géographique Web (SIG-Web) pour évaluer les énergies renouvelables marines le long du littoral algérien.

Il examine les principes hydrodynamiques et les conditions climatologiques de sept baies : Annaba, Oran, Bejaïa, Bou Ismaïl, Zemourri, Alger et Mostaganem. L'étude inclut l'analyse des événements extrêmes et utilise le logiciel Mike21 pour modéliser les conditions hydrodynamiques, permettant d'identifier des zones à fort potentiel énergétique.

Le projet inclut également la création d'une GEODATABASE et d'un portail web interactif, facilitant l'accès aux données. En conclusion, ce travail illustre l'importance des SIG dans la gestion durable des ressources marines et propose un outil innovant pour la planification énergétique en Algérie.

Mots clés : Système d'Information Géographique (SIG), Énergies renouvelables marines, Modélisation numérique, Mike21, Événements extrêmes, GEODATABASE, Portail web cartographique.

## **Abstract:**

This thesis develops a Web Geographic Information System (Web GIS) to evaluate marine renewable energies along the Algerian coastline.

It examines hydrodynamic principles and climatic conditions in seven bays: Annaba, Oran, Bejaïa, Bou Ismaïl, Zemourri, Algiers, and Mostaganem. The study includes an analysis of extreme events and uses the Mike21 software to model hydrodynamic conditions, enabling the identification of areas with high energy potential.

The project also involves the creation of a GEODATABASE and an interactive web portal, facilitating data access. In conclusion, this work illustrates the importance of GIS in the sustainable management of marine resources and proposes an innovative tool for energy planning in Algeria.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Marine renewable energies, Numerical modeling, Mike21, Extreme events, GEODATABASE, Web cartographic portal.

## **الملخص:**

تقدم هذا البحث نظام معلومات جغرافية على الويب (SIG Web). لتقييم الطاقة المتجددة البحرية على طول الساحل الجزائري تبحث الرسالة في المبادئ الهيدروديناميكية والظروف المناخية في سبع خلايا: عنابة، وهران، بجاية، بو إسماعيل، زمردني، الجزائر، ومستغانم. تتضمن الدراسة تحليل الأحداث القصوى وتستخدم برنامج مايك 21 (Mike21) لنمذجة الظروف الهيدروديناميكية، مما يتيح تحديد المناطق ذات الإمكانيات العالية للطاقة.

يتضمن المشروع أيضًا إنشاء قاعدة بيانات جغرافية (GEODATABASE) وبوابة ويب تفاعلية، مما يسهل الوصول إلى البيانات. في الختام، توضح هذه الدراسة أهمية نظم المعلومات الجغرافية في الإدارة المستدامة للموارد البحرية وتقدم أداة مبتكرة للتخطيط الطاقوي في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، الطاقة المتجددة البحرية، النمذجة العددية، Mike21، الأحداث المتطرفة، قاعدة بيانات جغرافية (GEODATABASE)، بوابة ويب جغرافية تفاعلية.