



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique.
Spécialité : Energie et environnement.

Présenté par :

- AINANA ILHAM
- ADIB ZAHRA

Thème

**DEFINITION DU CHOIX TYPE D'UNE EOLIENNE
APPLICATION DANS UN SITE FAVORABLE**

Soutenu publiquement, le 09 / 09 / 2020 , devant le jury composé de :

Mr FAROUANI Abdelkrim	Maître de conférence A	ESSA. Tlemcen	Président
Mme KHERBOUCHE Djamila	Maitre de conférence B	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr HADJIDJ Mohammed Salim	Docteur en physique	Université de Tlemcen.	Co- Directeur de mémoire
Mr BOUKLI-HACENE Fouad	Maître de conférence A	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Mr BENMOUSSA Nasr Eddine	Professeur	Université de Tlemcen.	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020.

Remerciement :

On tient à remercier dieu en premier lieu, qui nous a donné la force et la volonté et surtout la santé en cette année caractérisée par la pandémie du COVID-19 pour achever ce travail.

*Ensuite, un grand merci à Madame **KHARBOUCHE Djamila** de l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées de Tlemcen et à Monsieur **HADJIDJ Mohammed Salim** de l'Université Aboubekr **BELKAID** de Tlemcen qui n'ont lésiné sur aucun moyen pour nous permettre de réaliser ce travail.*

*Nos remerciements sont adressés à messieurs **FAROUANI Abdelkrim** pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant le jury et **BENMOUSSA Nasr Eddine** ainsi que **BOUKLI-HACENE Fouad** qui ont bien voulu l'assister.*

*Nos remerciements sont également exprimés à Messieurs **ROIUSSAT Boucherit** Directeur de **l'ESSAT** et **KARBOUA Abdelfettah** chef de la filière Electrotechnique (option Energies et Environnement) ainsi qu'à **MERAD Lotfi** Chef du Département de 2^o Cycle pour avoir mis à notre disposition les meilleures conditions de formation aussi bien au niveau de l'Ecole que lors des stages pratiques effectués dans les entreprises ou au niveau du **CDER** (Centre De Recherche Des Energies Renouvelables).*

*Nous tenons à remercier vivement Monsieur **BOUDIA Sidi Mohammed** du **C.D.E.R** pour son soutien sans faille et l'aide précieuse qu'il nous a apporté pour une formation accélérée sur le logiciel **WASP** (Wind Atlas Analysis And Application Program) lors du stage sur les éoliennes.*

Dédicace :

Je dédie ce travail :

À mon très cher père

À ma très chère mère

Qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années scolaires pour que je puisse atteindre mes objectifs. Quoi que je fasse ou dise, je ne pourrais jamais réussir à leur exprimer avec exactitude ma gratitude. Leur présence à mes côtés a toujours été une source de ma force pour faire face à des obstacles divers. J'espère qu'ils trouveront ici un témoignage de ma profonde gratitude.

A mon frère « Bachir » et mes sœurs

Pour leurs conseils précieux et leurs encouragements tout au long de mes études.

A ma chère binôme « AINANA Ilham »

Pour sa compréhension et sa sympathie.

A mes chères ami (e)s et toute ma familles

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Adib zahra

Dédicace :

Je dédie ce travail :

À mon très cher père

À ma très chère mère

Qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années scolaires pour que je puisse atteindre mes objectifs. Quoi que je fasse ou dise, je ne pourrais jamais réussir à leur exprimer avec exactitude ma gratitude. Leur présence à mes côtés a toujours été une source de ma force pour faire face à des obstacles divers. J'espère qu'ils trouveront ici un témoignage de ma profonde gratitude.

A mes sœurs

Pour leurs conseils précieux et leurs encouragements tout au long de mes études.

A ma chère binôme « ADIB Zahra »

Pour sa compréhension et sa sympathie.

A mes chères ami (e)s et toute ma familles

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Ainana ilham

TABLE DE MATIERE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : TECHNIQUES DES EOLIENNES	3
I.1 Introduction	4
I.2 Définition d'une éolienne	4
I.2.1 L'éolienne terrestre « onshore ».....	5
I.2.2 L'éolienne marine « offshore »	5
I.3 Historique	6
I.4 Les différents types des éoliennes	7
I.4.1 Eolienne à axe vertical	8
I.4.2 Eolienne à axe horizontal	10
I.5 Les principaux composants d'une éolienne	11
I.5.1 Le mat ou la tour	12
I.5.2 Les pales	14
I.5.3 le moyeu	16
I.5.4 Le rotor	16
I.5.5 La nacelle	16
I.5.5.1 Les arbres de transmissions	16
I.5.5.2 Le multiplicateur	17
I.5.5.3 Le générateur électrique	17
I.5.5.4 Le refroidisseur	18
I.5.5.5 Le frein mécanique	18
I.5.5.6 Le système de commande.....	18
I.5.5.7 Le système d'orientation de la nacelle	18
I.5.5.8 Le parafoudre	19
I.5.6 Les outils de mesures	19
I.5.7 La base de fondation	19
I.6 Conclusion	19
Référence	20

TABLE DE MATIERE

CHAPITRE II : CHOIX TYPE D'EOLIENNE.....	23
II.1 Introduction	24
II.2 L'éolienne en mer (offshore)	24
II.2.1 Définition	24
II.2.2 Enjeux par rapport à l'énergie	24
II.2.2.1 Avantages	24
II.2.2.2 Inconvénients	25
II.3 Nouvelles formes des éoliennes	25
II.3.1 Les éoliennes aéroportées ou volantes	25
II.3.2 L'éolienne à lentille « Wind Lens ».....	27
II.3.3 La Saphonienne ou la Zéro-Pales	28
II.4 Les quatre aérogénérateurs étudiés dans la simulation	29
II.4.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG »	29
II.4.1.2 Courbe de puissance	30
II.4.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore »	31
II.4.2.1 Fiche technique	31
II.4.2.2 Courbe de puissance	32
II.4.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore »	32
II.4.3.1 Fiche technique	32
II.4.3.2 Courbe de puissance	34
II.4.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » :	34
II.4.4.1 Fiche technique	34
II.4.4.2 Courbe de puissance	35
II.5 Intégration des éoliennes dans la bibliothèque du WAsP :	36
II.6 conclusion	38
Référence	39

TABLE DE MATIERE

CHAPITRE III : INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	40
III.1 Introduction	41
III.2 Résultats de la région d’Oran	41
III.2.1 Résultats graphique avec des différents types d’aérogénérateurs	41
III.2.1.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG »	41
III.2.1.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore »	43
III.2.1.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore »	46
III.2.1.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore »	48
III.2.2 Comparaison des résultats et le choix final :	50
III.3 Résultats de la région d’Arzew :	51
III.3.1 Résultats d’Arzew avec des différents types d’aérogénérateurs :	51
III.3.1.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG »	51
III.3.1.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore »	53
III.3.1.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore »	56
III.3.1.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore »	58
III.3.2 Comparaison des résultats et le choix final	60
III.4 Conclusion	61
Référence	62
CONCLUSION GENERALE	63

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1	Conversion de l'énergie cinétique du vent.	4
Figure I.2	Eoliennes onshores.	5
Figure I.3	Eoliennes offshore.	6
Figure I.4	Première éolienne créée par Charles et Brush.	7
Figure I.5	Éolienne de Poule La Cour.	7
Figure I.6	Eolienne a axe vertical Darrieus.	8
Figure I.7	Eolienne a axe vertical Savonius.	9
Figure I.8	Eolienne a axe horizontal position Amont.	10
Figure I.9	Eolienne a axe horizontale position Aval.	10
Figure I.10	Les principaux composants d'une éolienne.	11
Figure I.11	Tours tubulaires d'acier.	12
Figure I.12	Tours en treillis.	13
Figure I.13	Mâts haubanés.	13
Figure I.14	une pale.	15
Figure I.15	multiplicateur de vitesse.	17
Figure I.16	Génératrice.	18

CHAPITRE II

Figure II.1	Turbine M600 du start-up Makani Power.	26
Figure II.2	turbine volante avec un ballon géant.	27
Figure II.3	ferme éolienne à lentille offshore.	28
Figure II.4	la saphonienne ou la zéro-pales.	29
Figure II.5	courbe de puissance d'aérogénérateur GE 1.5s offshore WTG.	30
Figure II.6	courbe de puissance d'aérogénérateur Vestas V80 2 MW offshore.	32
Figure II.7	courbe de puissance d'aérogénérateur Siemens SWT-2.3-93 Offshore.	34
Figure II.8	courbe de puissance d'aérogénérateur Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore.	35
Figure II.9	l'éditeur des turbines du WAsP.	36
Figure II.10	les caractéristiques de la GE 1.5s offshore WTG.	37
Figure II.11	les caractéristiques de la Siemens SWT-2.3-93 Offshore.	38

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE III

Figure III.1	Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent	41
Figure III.2	Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent	42
Figure III.3	Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore» dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent.	44
Figure III.4	Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent.	44
Figure III.5	Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent.	46
Figure III.6	Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent.	46
Figure III.7	Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent.	48
Figure III.8	Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent.	49
Figure III.9	Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.	51
Figure III.10	Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.	52
Figure III.11	Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore» dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.	54
Figure III.12	Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.	54
Figure III.13	Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.	56
Figure III.14	Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.	56

LISTE DES FIGURES

Figure III.15	Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.	58
Figure III.16	Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.	59

Liste des tableaux

CHAPITRE III

Tableau III.1	Caractéristiques des éolienne de type «GE 1.5s offshore WTG» dans la zone favorable d'Oran.	42
Tableau III.2	Caractéristiques des éolienne de type «Vestas V80 2 MW offshore» dans la zone favorable d'Oran.	45
Tableau III.3	Caractéristiques des éolienne de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore» dans la zone favorable d'Oran.	47
Tableau III.4	Caractéristiques des éolienne de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Oran.	49
Tableau III.5	Caractéristiques des éolienne de type «GE 1.5s offshore WTG» dans la zone favorable d'Arzew.	52
Tableau III.6	Caractéristiques des éolienne de type «Vestas V80 2 MW offshore» dans la zone favorable d'Arzew.	55
Tableau III.7	Caractéristiques des éolienne de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore» dans la zone favorable d'Arzew.	57
Tableau III.8	Caractéristiques des éolienne de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Arzew.	59

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie éolienne est une source d'énergie utilisée depuis des siècles. Dans un premier temps, cette énergie n'a été exploitée que dans les domaines mécaniques. L'exemple le plus connu est le moulin à vent. Par la suite, ce type d'énergie a servi à produire l'électricité. Au 16ème siècle, elle a été utilisée pour pomper de l'eau et couper le bois.

A l'échelle mondiale, l'énergie éolienne a connu une forte croissance, cela a conduit les chercheurs en Génie Electrique à mener des recherches pour augmenter l'efficacité de la conversion électromécanique d'une part et à améliorer la qualité de l'énergie fournie d'une autre part.

L'éolienne, que l'on nomme aussi aérogénérateur, est une machine qui permet de transformer l'énergie du vent en mouvement mécanique, puis le plus souvent en électricité. Lorsque l'on ne produit qu'une force mécanique pour actionner une pompe, on parlera seulement d'éolienne; par contre lorsque l'on produit de l'électricité, on parlera d'aérogénérateur. Ces machines peuvent être installées en terre « Onshore », ou en mer « Offshore ». Ces dernières exploitent des vents plus puissants par rapports à l'éolien Onshore, ce qui leur permet d'élever le rendement et la productivité énergétique.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressées plus particulièrement à la définition du choix du type d'éolienne à installer sur un site favorable. L'étude a été articulée autour de trois chapitres :

Le premier chapitre présentera quelques généralités sur les turbines éoliennes, la différence entre l'éolienne terrestre et l'éolienne maritime et les différents types d'éoliennes et leurs principales composants.

Le deuxième chapitre présentera les différents types d'aérogénérateurs proposés dans notre étude avec les caractéristiques de chacun d'eux et exposera la procédure de leur intégration dans la bibliothèque du WAsP.

Le troisième et dernier chapitre représentera les interprétations des résultats obtenus sur les quatre type d'aérogénérateurs mis en évidence par Logiciel WAsP pour les deux régions favorables étudiées « Oran et Arzew » et la détermination de l'aérogénérateur le plus rentable.

CHAPITRE I
TECHNIQUES DES EOLIENNES

I.1 Introduction :

L'énergie éolienne est connue depuis longtemps. Elle fut l'une des premières sources exploitées par l'homme. Pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique.

Selon l'observatoire des Energies Renouvelables, l'éolien est actuellement la filière énergétique la plus dynamique dans le monde.

L'exploitation de l'énergie éolienne se fait actuellement sous deux formes: terrestre et maritime ou offshore, Cette dernière alternative connaît actuellement un intérêt croissant de la part des acteurs du secteur, en raison de ses perspectives de rendement élevées.

Dans ce chapitre nous allons présenter, après une petite définition de l'énergie éolienne, la différence entre l'éolien onshore et offshore, un historique sur cette énergie ainsi que les types et les composants d'une éolienne.

I.2 Définition d'une éolienne :

Une éolienne est un dispositif qui utilise la force du vent pour pomper l'eau ou pour produire de l'électricité. L'aérogénérateur est un dispositif qui assure la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par une génératrice. [1] (**Figure I.1**).

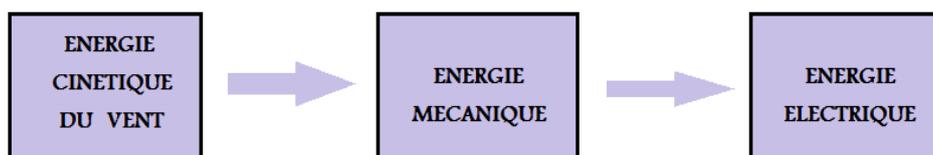


Figure I.1 : Conversion de l'énergie cinétique du vent.

Les installations des éoliennes peuvent être réalisées sur terre (les fermes éoliennes terrestres) et en mer (les fermes éoliennes offshore) en tenant compte de la présence d'un vent favorable.

IL existe deux modes d'exploitation de l'énergie éolienne :

- Les éoliennes terrestres dites "onshore" sont installées sur la terre.
- Les éoliennes marines dites "offshore" sont installées en mer.

I.2.1 L'éolienne terrestre « onshore »:

Une éolienne terrestre, ou onshore, est par définition installée sur la terre. Cette énergie renouvelable tirée par la force du vent au moyen d'un aérogénérateur. La production de l'énergie éolienne dépend des données géographiques, topographiques et météorologiques du site. [2].

L'énergie éolienne peut être utilisée de deux manières :

- La conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule, pour pomper de l'eau ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- La transformation en énergie électrique : l'éolienne est couplée à un onduleur électrique pour produire du courant continu ou alternatif. Il est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) ou une batterie [3].



Figure I.2 : Eoliennes onshores.

I.2.2 L'éolienne marine « offshore »:

Le terme anglais « offshore » signifie littéralement « hors côtes », par opposition aux éoliennes terrestres ou « onshore ». Les éoliennes offshore fonctionnent selon le même

principe que les éoliennes terrestres traditionnelles, elles utilisent l'énergie cinétique du vent pour la transformer en électricité.

La différence entre un modèle marin et un modèle terrestre d'éolienne tient à la nature des fondations, qui lui permettent d'être fixée dans le sol ou ancrée au fond de la mer [4].



Figure I.3 : Eoliennes offshores [4].

I.3 Historique :

Capter le vent est l'une des plus anciennes méthodes de production de l'énergie. Depuis l'antiquité, les voiliers utilisaient la pression du vent sur les voiles pour pousser les navires. Plus tard, les moulins à vent ont été utilisés pour transformer l'énergie du vent en énergie mécanique pour moulinier du grain ou pomper l'eau [5]. Les premiers prototypes d'éolienne ont été construits avec une technologie claquée sur les moulins à vent en Inde 400 ans avant J-C [2].

L'arrivée de l'électricité donne l'idée au britannique Lord Kelvin en 1802 de songer pour la première fois à transformer l'énergie éolienne en énergie électrique. La première éolienne destinée à produire de l'électricité (**figure I.2**) fut construite par Charles F. Brush en 1887 [6]. Elle était composée de 144 pâles et d'un diamètre de 17 m, elle ne produisait que 12 kW.

Le météorologiste Danois Poule La Cour qui voyait dans l'électricité une des techniques qui auraient le plus d'importance dans l'avenir, avait mené des recherches en 1891 pour améliorer l'efficacité des moulins à vent et améliorer l'invention de Charles F.Brush. Il concluait ainsi qu'une éolienne à rotation rapide (**Figure 1.3**) ayant un nombre de pales limité produisait plus d'électricité [2].

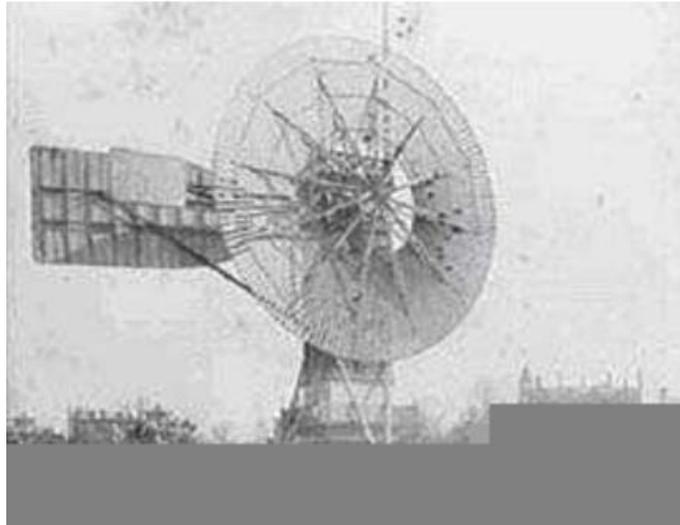


Figure I.4 : Première éolienne créée par Charles et Brush [2].



Figure I.5 : Éolienne de Poule La Cour [2].

Cette nouvelle application de l'énergie éolienne a connu un certain succès, et l'on comptait en 1920 jusqu'à 300 constructeurs d'aérogénérateurs, La crise pétrolière de 1973 a relancé de nouveau la recherche et les réalisations éoliennes dans le monde.

Aujourd'hui, l'énergie électrique d'origine éolienne est parfois considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables à développer pour remplacer le charbon, le pétrole, le gaz et même le nucléaire.

I.4 Les différents types des éoliennes :

Les turbines éoliennes se divisent en deux familles, elles sont classées selon l'orientation de leurs axes de rotation. Ces deux types sont : [7]

- L'éolienne à axe vertical VAWT (Vertical Axis Wind Turbine).
- L'éolienne à axe horizontal HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine).

I.4.1 Eolienne à axe vertical : [8]

L'axe du rotor est perpendiculaire au sol, Ses pales tournent autour d'une tige positionnée verticalement.

Il existe deux types d'éoliennes à axe vertical classés selon leurs caractéristiques aérodynamiques :

- **L'éolienne à axe vertical à rotor Darrieus :**

À pales verticales, paraboliques ou hélicoïdales, les éoliennes de type Darrieus utilisent la force de portance du vent, comme les éoliennes classiques. Leur encombrement plus faible représente un avantage en termes d'intégration paysagère et architecturale.

Ce type de solution réduit considérablement le bruit tout en permettant le fonctionnement avec des vents supérieurs à 220 km/h et quelle que soit leur direction.

Le principal défaut de ce type d'éolienne est leur démarrage difficile. En effet le poids du rotor pèse sur son socle, générant des frottements.



Figure I.6 : Eolienne a axe vertical Darrieus.

- **L'éolienne à axe vertical à rotor Savonius :**

Cette machine a été inventée par l'ingénieur finlandais Sigurd Savonius en 1924 et a été brevetée en 1929.

Constitué de demi-cylindres reliés à un axe vertical, ce type d'éolienne utilise la force de traînée du vent, sur le principe des moulins à vent. Son rendement est plus faible que celui des éoliennes qui utilisent la force de portance, mais ce type de machine permet d'exploiter des vitesses de vent plus faibles.



Figure I.7 : Eolienne a axe vertical Savonius.

Les principaux avantages et inconvénients d'éolienne à axe vertical : [7]

- **Les avantages :**

- S'adapte très bien aux différents sens du vent.
- Capte les vents faibles (vitesse de démarrage à partir de 2m/s).
- Elle nécessite moins d'espace que l'éolienne horizontale.

- **Les inconvénients :**

- Le rendement est moins élevé que celui de l'éolienne horizontale.
- Produit moins d'électricité.
- Exposée à des problèmes d'aéroélasticité et de contraintes de turbulences.

I.4.2 Eolienne à axe horizontal : [8]

L'éolienne à axe horizontal est une hélice perpendiculaire au vent, montée sur un mât. Elle est basée sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elle est constituée de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien.

Il existe deux catégories d'éolienne à axe horizontal :

- Amont : le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides, et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.

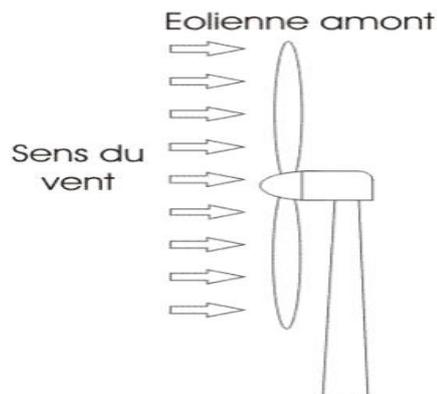


Figure I.8 : Eolienne a axe horizontal position Amont.

- Aval : le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto-orientable.

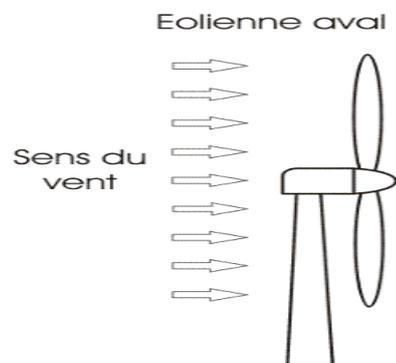


Figure I.9 : Eolienne a axe horizontale position Aval.

La disposition turbine en amont est la plus utilisée car elle est plus simple et donne des meilleurs résultats pour les fortes puissances. Les efforts de manœuvre sont moins importants et présentent une meilleure stabilité.

Les principaux avantages et inconvénients d'éolienne à axe horizontale : [7]

- **Les avantages :**

- son rendement est excellent.
- capte au mieux l'énergie du vent et s'oriente seule vers la direction du vent.

- **Les inconvénients :**

- elle est moins résistante aux vents forts que l'éolienne verticale.
- elle met plus de temps à se déclencher.

I.5 Les principaux composants d'une éolienne :

Les composants essentiels d'une éolienne à axe horizontal sont :

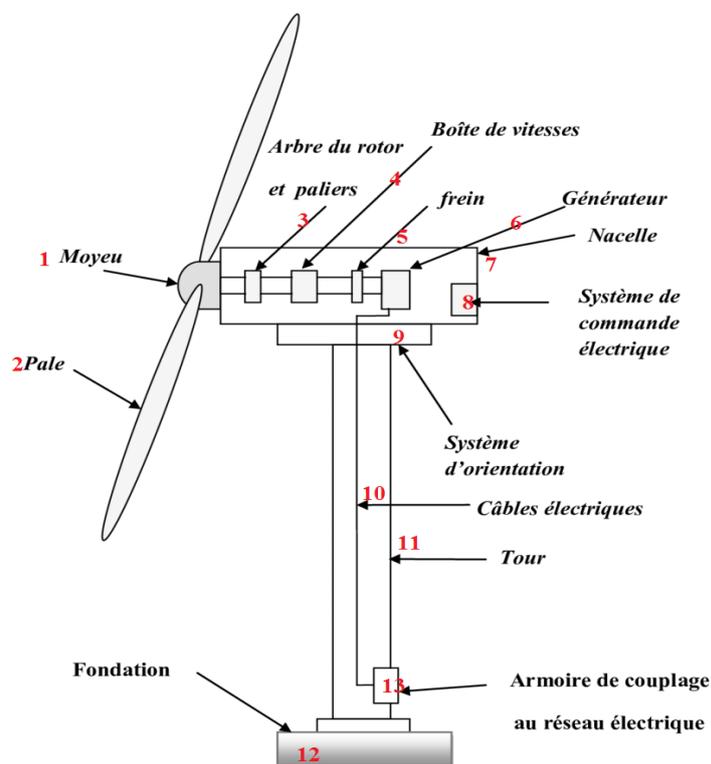


Figure I.10 : Les principaux composants d'une éolienne

I.5.1 Le mat ou la tour :

C'est le pylône qui supporte l'ensemble rotor, la nacelle et les pales. En plaçant le rotor à une hauteur suffisante, loin des turbulences du vent, on améliore la captation régulière de l'énergie cinétique du vent.

Il existe trois grands types de tours tel que :

- **Tours tubulaires d'acier** : une tour tubulaire d'acier, fabriquée dans des sections de 20 à 30 m qui sont munies de brides aux deux extrémités de chacune et assemblées par des boulons sur site. [9]



Figure I.11 : Tours tubulaires d'acier [10].

- **Tours en treillis** : L'atout principal d'une tour en treillis est son prix, celle-ci ne requérant que la moitié du matériau utilisé pour une tour tubulaire autoportante d'une rigidité similaire. On n'utilise pratiquement plus les tours en treillis pour les grandes éoliennes. [9]



Figure I.12 : Tours en treillis [10].

- **Mâts haubanés** : Un grand nombre de petites éoliennes sont construites avec des mâts étroits supportés par des haubans. En utilisant ce type de tour, on gagne surtout l'avantage d'une réduction du poids et donc du coût de la tour. [9]



Figure I.13 : Mâts haubanés [10].

I.5.2 Les pales :

Les pales d'une éolienne ont pour rôle de capter la vitesse du vent et de la transformer en force mécanique.

Les pales sont caractérisées par : [11]

- **leur longueur** : Le diamètre de l'hélice est en fonction de la puissance désirée et fixe la fréquence de rotation maximum que l'hélice ne devra pas dépasser (force centrifuge en bout de pale). Il faudra prendre en considération la fatigue et les risques de vibration, en particulier pour les longues pales.
- **leur largeur** : La largeur des pales a une influence sur la puissance maximale théorique de l'aérogénérateur « Limite de Betz ». Elle fait partie des paramètres sur lesquels il faut jouer pour se rapprocher de cette limite (avec la forme du profil, le poids, le nombre de pales...) et elle influe sur le couple de démarrage qui sera d'autant meilleur que la pale soit large. Pour obtenir des vitesses de rotation élevées, il est préférable d'opter pour des pales fines et légères
- **leur profil** : Il est nécessaire de choisir le profil en fonction du couple désiré. Pour les aérogénérateurs de grande puissance (> 100 kW), pour la majorité des aérogénérateurs de faible et moyenne puissance les pales ne sont pas vrillées.
- **leur nombre** : Les rotors multipales procurent un couple élevé au démarrage mais sont peu efficaces par vent forts.
- **leur matériau de construction** : Le matériau utilisé pour la fabrication des pales n'implique pas de difficultés d'ordre aérodynamique mais plutôt des difficultés dans la construction et dans la résistance des matériaux. Les pales doivent répondre à plusieurs exigences :

- ✓ légèreté
- ✓ non déformables
- ✓ homogènes
- ✓ résistantes
- ✓ fatigue mécanique, vibrations
- ✓ corrosion et érosion (plus particulièrement dans le cas des éoliennes offshore)
- ✓ mise en œuvre et usinage simple

- ✓ faible coût (rentabilité de l'aérogénérateur)

Les différents types de matériaux sont présentés ci-dessous :

- le bois : il est simple, facile à travailler, léger et résiste à la fatigue mais il a un manque d'homogénéité.
- Le métal : L'aluminium Al Si7Mg0.6 peut être utilisé. La technologie utilisée est le moulage sable par gravité avec un noyau interne pour éviter la pale.
- Les matières synthétiques composites, résines, fibres : La fibre de verre est un excellent matériau pour la construction de pales. Les matériaux composites à base de fibres de verre ou de carbone imprégnées de résines polyester ou époxyde se sont généralisés et produisent un très bon rapport rigidité/masse
- Nanotubes : les pales à nanotube de carbone en polyuréthane renforcé offrent une meilleure légèreté et une plus grande solidité que les pales classiques en fibre de verre.

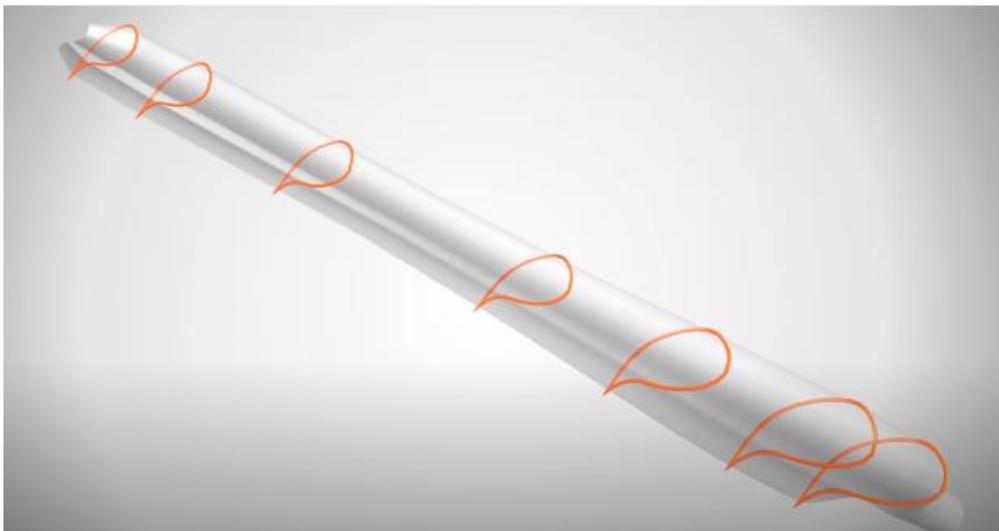


Figure I.14 : une pale.

I.5.3 le moyeu :

C'est le point de raccordement des pales et de l'arbre lent de la machine. C'est une pièce d'acier moulée. Il est pourvu d'un système de régulation qui permet la modification du pas des pales « pitch ». [12]

I.5.4 Le rotor :

C'est la partie tournante de l'éolienne. Il est composé des pales et du moyeu. Le diamètre du rotor détermine la puissance qui pourra être récupérée par l'éolienne et l'orientation de l'axe du rotor détermine la famille de l'éolienne.

Il est en fonte spéciale à graphite sphéroïdal et protégé par une coupe en polyester en forme d'obus de forme aérodynamique fonctionnelle. [13]

I.5.5 La nacelle :

C'est la structure soutenue par le mât abritant les différents éléments mécaniques, électriques et électroniques (la génératrice, le système de contrôle, multiplicateur,...etc.). Elle est structurée en acier ou en fonte et permet de fixer et supporter le rotor. [14]

La nacelle est continuellement et automatiquement orientée dans la direction dominante du vent.

Elle est composée de :

I.5.5.1 Les arbres de transmissions :

- ♣ L'arbre lent ou arbre primaire relie le moyeu du rotor au multiplicateur qui tourne lentement. Il est relié à l'arbre secondaire par l'intermédiaire du Multiplicateur.
- ♣ L'arbre rapide ou arbre secondaire relie le multiplicateur à la génératrice électrique, sa vitesse de rotation est élevée [15].

I.5.5.2 Le multiplicateur :

Il permet de transformer la puissance à vitesse lente et à un couple élevé produite par le rotor de l'éolienne, en une puissance à grande vitesse et à un couple faible utilisée par la génératrice. Il est aussi appelé boîte de vitesse ou encore boîte d'engrenages [16,17].

Il existe trois types de multiplicateurs :

- les multiplicateurs à deux ou trois étages épicycloïdaux.
- les multiplicateurs à trois étages parallèles.
- les multiplicateurs à trois étages, dont deux sont épicycloïdaux et un parallèle.

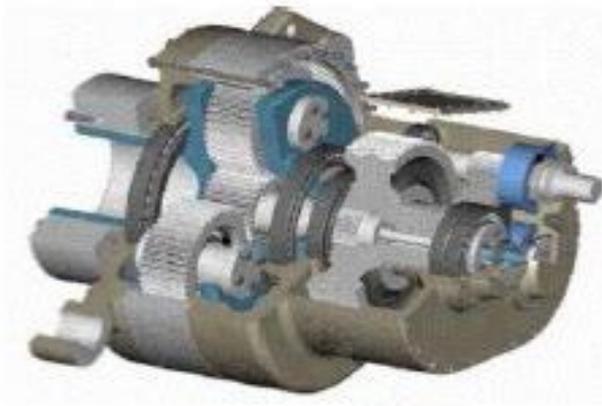


Figure I.15: multiplicateur de vitesse.

I.5.5.3 Le générateur électrique :

C'est un dispositif permettant de produire l'électricité à partir d'une autre forme d'énergie. Dans le cas d'une éolienne ce sera l'énergie mécanique transmise par le rotor à partir de l'énergie cinétique du vent. C'est de la conversion « mécano-électrique ».

Il est soit une génératrice synchrone ou asynchrone à courant alternatif ou une dynamo (à courant continu). La partie fixe de la génératrice appelé stator, est composée d'un bobinage en cuivre de plusieurs conducteurs cylindriques réunis en faisceaux. La partie mobile est appelée rotor [18,19].

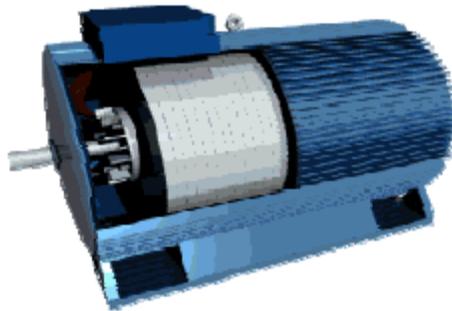


Figure I.16: Génératrice.

I.5.5.4 Le refroidisseur :

Il est placé sur le multiplicateur qui encaisse les efforts mécaniques de l'arbre lent à l'arbre rapide. Pour la génératrice. Il peut servir de ventilateur, de radiateur d'eau ou bien d'huile [20].

I.5.5.5 Le frein mécanique :

Appelé aussi système de protection, c'est un élément essentiel de la survie d'une éolienne car il évite la destruction de l'aéromoteur lorsque le vent est trop violent. Il est nécessaire d'équiper l'éolienne d'un système permettant de diminuer les contraintes mécaniques sur la machine en cas de survitesse du rotor [21].

On appelle « vitesse de régulation » la vitesse du vent à laquelle le mécanisme de régulation est activé.

I.5.5.6 Le système de commande :

Le système de contrôle de l'éolienne est composé d'un certain nombre d'ordinateurs qui surveillent sans cesse la condition de l'éolienne. Il contrôle le fonctionnement de l'éolienne et intervient automatiquement pour la stopper en cas de défaillance [22].

I.5.5.7 Le système d'orientation de la nacelle :

Le système d'orientation utilise des moteurs électriques pour faire pivoter la nacelle par le biais du pivot d'orientation (couronne dentée : crémaillère) de sorte à placer le rotor face au vent [23].

I.5.5.8 Le parafoudre :

Protection de l'éolienne contre les foudres.

I.5.6 Les outils de mesures :

- L'anémomètre : C'est l'appareil qui permet de mesurer la vitesse du vent.
- La girouette : C'est l'instrument qui indique la direction du vent.

I.5.7 La base de fondation :

Les fondations sont la base d'une éolienne, c'est elles qui devront supporter le poids de l'éolienne.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques généralités sur les systèmes éoliens et on a donné un bref historique sur l'utilisation de l'énergie éolienne, les modes d'exploitation de cette énergie (l'éolienne onshore et offshore) et les différents types de turbines (l'éolienne à axe verticale et l'éolienne à axe horizontale) avec leurs avantages et leurs inconvénients. Nous avons aussi montré les principales composantes d'une éolienne à axe horizontale.

Référence :

[1] **YAICHL.H, GUENDOUZ.S** « Modélisation et simulation d'un générateur synchrone à aimant permanent couplé à un aérogénérateur ». Mémoire de Master. UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR. Soutenu le 06/06/2018.

[2] **HADJIDJ.S** «Conception, modélisation, simulation et optimisation d'un projet d'une ferme éolienne Implantation sur site favorable». Thèse de doctorat. Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen. Soutenu en juin 2019.

[3] **Pascal MONJEAN** «Optimisation de l'architecture et des flux énergétiques de centrales à énergies renouvelables offshore et onshore équipées de liaisons en continu ». Paris tech (institut des sciences et technologie paris), Soutenu le 26 Septembre 2012.

[4] **Laura Kerner**. Interaction sol-structure sous sollicitations cycliques dynamiques : Application aux éoliennes offshore fondées sur monopieu. Géotechnique. Université Paris-Est, 2017.

[5] **MAGHSELS** « contribution a la modelisation et la commande d'une turbine eolienne ». Mémoire de Magister. Université du 20 AOÛT 1955 – SKIKDA Soutenu en 2012.

[6] **TOUAMA.N** « Évaluation du gisement éolien en Algérie à l'aide du logiciel RETScreen » Mémoire de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA. Soutenu le 24/06/2018.

[7] **Lila Croci**. Gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/supercondensateurs. Automatique. Université de Poitiers, 2013.

[8] **Christophe Coudurier**. Conception, modélisation et contrôle d'un tube anti-roulis multidirectionnel pour une barge offshore portant une éolienne. Automatique / Robotique. PSL Research University, 2017.

[9] **Edith Chezol**. La fabrique collective des paysages climatiques : une enquête avec les parcs éoliens citoyens en Frise du Nord. Géographie. Université Grenoble Alpes, 2018.

[10] **Adrien Courbois**. « Étude expérimentale du comportement dynamique d'une éolienne offshore flottante soumise à l'action conjuguée de la houle et du vent. Mécanique des fluides. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2013. Français.

[11] **Khaled Ziane**. Analyse, Évaluation et Réduction des Risques d'un Parc Éolien. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2017.

[12] **Melaine Desvaux**. Optimisation mécatronique de multiplicateurs magnétiques pour le grand éolien Génie mécanique [physics.class-ph]. École normale supérieure de Rennes, 2018.

[13] **Arnaud Vergnol**. Intégration dans le réseau électrique et le marché de l'électricité de production décentralisée d'origine renouvelable : gestion des congestions locales. Autre. Ecole Centrale de Lille, 2010. .

[14] **Imane Idrissi**. Contribution au Diagnostic des Défauts de la Machine Asynchrone Doublement Alimentée de l'Eolienne à Vitesse Variable.. Energie électrique. Normandie Université; Université Sidi Mohamed ben Abdellah (Fès, Maroc), 2019.

[15] **Arnaud Gaillard**. Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2010.

[16] **Vanja Westerberg**. Evaluation économique des changements des paysages littoraux : le cas du développement des parcs éoliens dans le mer Méditerranée. Humanities and Social Sciences. Université Montpellier 1, 2012.

[17] **S.A.Papathanassiou, M.P. Papadopoulos**, “ Dynamic behavior of variable speed wind turbines under stochastic wind”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, pp. 1617-1623, December 1999.

[18] **Lamine Chalal**. Coordination de systèmes multisources pour favoriser la production d'énergie électrique Renouvelable. Automatique / Robotique. Université Lille1, Sciences et Technologies, 2013.

[19] **Mahmoud Shahbazi**. Contribution à l'étude des convertisseurs statiques AC-DC-AC tolérants aux défauts. Autre. Université de Lorraine, 2012. Français.

[20] **Thiago de Paula Machado Bazzo**. Conception optimale multidisciplinaire de générateurs synchrones à aimants permanents pour éoliennes tenant compte de la courbe d'occurrence du vent. Energie électrique. Universidade federal de Santa Catarina (Brésil), 2017.

[21] **Ling Peng**. Reconfiguration du dispositif de commande d'une éolienne en cas de creux de tension. Autre. Ecole Centrale de Lille, 2010.

[22] **Armand Boyette**. Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne. Energie électrique. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006.

[23] **Christophe Coudurier**. Conception, modélisation et contrôle d'un tube anti-roulis multidirectionnel pour une barge offshore portant une éolienne. Automatique / Robotique. PSL Research University, 2017.

CHAPITRE II :
Choix Type D'éolienne

II.1 Introduction :

La technologie des éoliennes continue de progresser et de s'améliorer. Ce qui a permis à différents types d'éoliennes d'apparaître avec des caractéristiques et des modes de fonctionnements différents.

Dans ce chapitre, nous aborderons les différents types d'aérogénérateurs proposés dans notre étude avec les caractéristiques de chacun d'eux. Nous verrons également comment ces turbines sont incluses dans la bibliothèque du WAsP.

II.2 L'éolienne en mer (offshore) :

II.2.1 Définition :

L'éolien offshore, éolien marin ou maritime désigne l'installation de fermes éoliennes en mer et raccordé au réseau terrestre par un câble sous-marin. C'est l'une des voies de développement de l'éolien, car elle s'affranchit en grande partie du problème des nuisances esthétiques et de voisinage. D'autre part le vent est beaucoup plus fort et constant qu'à terre. Le far-shore désigne les éoliennes offshore installées à une très grande distance des côtes (plus de 30 kilomètres des côtes). [1]

Les éoliennes offshore sont spécialement conçues pour résister à la corrosion. Elles possèdent également des capteurs spécifiques pour un contrôle accru. La nacelle et la tour sont équipées de systèmes de contrôle et de régulation de l'humidité et de la température pour éviter tout risque de corrosion interne. [2]

II.2.2 Enjeux par rapport à l'énergie :

Les avantages et les inconvénients de cette technologie :

II.2.2.1 Avantages :

- En mer, le vent est souvent plus fort et régulier et moins turbulent que sur terre du fait d'une moindre rugosité de la surface de l'eau comparée à celle des terres.
- les éoliennes peuvent être de plus grande taille et de plus grande puissance. Une éolienne offshore peut atteindre une puissance de 5 MW.
- moins d'impact visuel et d'impact sur le paysage terrestre car elles sont implantées assez loin des côtes.

- il est assez simple de les installer dans les zones de grands espaces libres et où la mer est peu profonde.
- une éolienne offshore peut produire jusqu'à 2 fois plus d'électricité qu'une éolienne terrestre.

II.2.2.2 Inconvénients :

- l'installation d'éoliennes en mer est beaucoup plus coûteuse qu'à terre en raison des coûts additionnels liés aux fondations et au raccordement électrique et la mise en place du chantier.
- L'installation des éoliennes sur le fond de la mer est plus compliquée que sur terre.
- les mâts doivent être étudiés pour résister à la force des vagues et du courant.
- la protection contre la corrosion due à l'humidité et la salinité doit être renforcée.
- le raccordement électrique implique des câbles sous-marins coûteux et fragiles qui peuvent être distants de plusieurs kilomètres.
- La maintenance des éoliennes est également plus compliquée et plus coûteuse qu'à terre. Une importante perte de production peut être entraînée si une panne dépasse plusieurs jours avant la réparation.

II.3 Nouvelles formes des éoliennes :

L'énergie éolienne constitue un moyen propre et renouvelable pouvant produire de l'électricité. Son avenir devrait passer notamment par le développement et l'innovation dans la forme des aérogénérateurs.

II.3.1 Les éoliennes aéroportées ou volantes :

Une éolienne aéroportée est un système de production d'énergie éolienne maintenue en l'air. Il peut s'agir d'une turbine aéroportée. Elle a un concept d'une éolienne sans tour avec un rotor supporté dans l'air ou d'un système de type cerf-volant, voile ou drone, qui oscille dans le vent et transmet un mouvement au sol (ou en mer) via un câble, ce mouvement étant alors converti en électricité.

Ces machines d'un nouveau genre évoluent dans le ciel à des hauteurs supérieures à 400 mètres. Elles visent à exploiter des vents d'altitude, plus forts et réguliers, permettant un meilleur facteur de charge et peut-être une électricité moins chère.

Parmi tous les projets en développement, on distingue principalement deux familles d'éoliennes volantes :

✚ La première famille a l'apparence d'un cerf-volant ou d'un drone attaché au sol par un câble. Le principe est similaire à celui d'un « yoyo » inversé. L'appareil effectue un vol circulaire ou en forme de huit au cours duquel son altitude varie de plusieurs centaines de mètres. Le câble s'enroule ou se déroule donc en permanence sur un tambour dont la rotation entraîne un alternateur qui produit de l'électricité.

Parmi les start-up qui développent des prototypes avec la technique « yoyo », citons encore l'italienne « KiteGen » et la britannique « Kite Power Systems » et l'allemand « Ampyx Power » et la californienne « Makani Power ». [4]

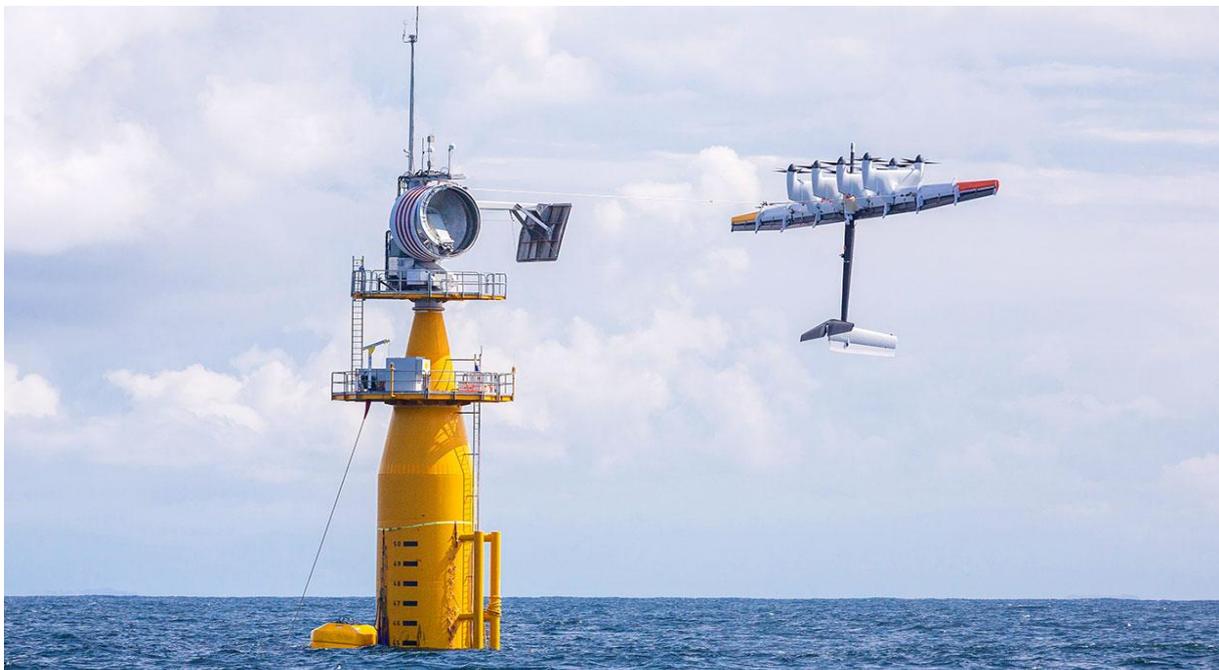


Figure II.1: Turbine M600 du start-up Makani Power.

✚ La deuxième famille d'éoliennes volantes fonctionne comme les moulins classiques mais elles sont maintenues à haute altitude par un ballon géant gonflé à l'hélium. La turbine est placée au centre de la structure. Les câbles qui la rattachent au sol transportent également l'électricité produite. [4]



Figure II.2 : turbine volante avec un ballon géant.

II.3.2 L'éolienne à lentille « Wind Lens »:

Wind Lens est une modification de l'éolienne créée par le professeur « **Yuji Ohya** » de l'Université de « **Kyushu** » au Japon dans le but d'être plus efficace dans la production d'électricité et moins invasive pour les humains et la nature. Bien qu'elle soit toujours en cours, l'éolienne à lentille a subi quelques changements de conception qui ont eu des répercussions sur la façon dont l'énergie éolienne peut être utilisée et exploitée tout en modifiant son impact sur le monde qui nous entoure. Elle semble presque identique à une turbine traditionnelle, mais avec l'ajout d'un anneau à rebord autour du rotor. En conséquence, plus d'air passe à travers, ce qui entraîne une plus grande puissance de sortie. Un autre avantage est que l'anneau agit comme un silencieux, ce qui rend l'ensemble de l'appareil plus silencieux et moins perturbateur pour la vie quotidienne. Pour cette raison, l'efficacité de l'éolienne peut être considérablement augmentée en raison d'une simple installation d'une Wind Lens.

Des études menées indiquent que l'éolienne à lentille peut produire deux à cinq fois plus de puissance que les turbines traditionnelles. [5]



Figure II.3 : ferme éolienne à lentille offshore.

II.3.3 La Saphonienne ou la Zéro-Pales :

Une Startup tunisienne spécialisée dans l'énergie verte a puisé dans le passé du pays et s'y est inspiré pour concevoir un moyen plus efficace pour produire de l'électricité à partir des forces du vent. Cette innovation consiste en une nouvelle turbine éolienne sans pales capables de convertir 80 % de l'énergie cinétique fournie par le vent en électricité et ce quelle que soit sa vitesse.

La Saphonienne remet en question la loi de l'allemand Albert Betz, qui détermina qu'une éolienne ne pourrait jamais convertir en énergie mécanique plus de 59 % de l'énergie cinétique contenue dans le vent. Elle n'est pas soumise mathématiquement à la limite de Betz puisqu'une voile est le seul système capable de capturer et de convertir la majorité de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

Ce convertisseur de l'énergie du vent à zéro pale « **la Saphonienne** » qui a la forme d'une parabole serait plus efficace que la turbine traditionnelle et peut convertir deux fois plus d'électricité que l'éolienne classique. [6]



Figure II.4 : la saphonienne ou la zéro-pales.

II.4 Les quatre aérogénérateurs étudiés dans la simulation :

II.4.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG » :

II.4.1.1 Fiche technique : [7,8]

✚ Pour la puissance :

- Puissance nominale : 1500 kW.
- Vitesse de démarrage : 3.0 m/s.
- Vitesse nominale du vent : 13.0 m/s.
- Vitesse de déconnexion : 25.0 m/s.

✚ Pour le rotor :

- Diamètre : 70.5 m.
- Surface du rotor : 3904 m².
- Nombre de pales : 3.
- Vitesse maximale de rotation : 22.2 tr/min.
- Vitesse minimale de rotation : 11 tr/min.
- Fabricant : LM Glasfieber
- Densité de puissance : 2.6 m²/kW.

✚ Pour la boîte de vitesse :

- Boîte de vitesse : oui
- Nombre de rapports : 3
- Ratio : 90
- Fabricant : Bosch Rexroth, Winergy, Metso, Eichhoff, GE Energy

✚ Pour la génératrice :

- Type : Asynchrone double alimentation.
- Nombre : 1.
- Vitesse maximale de rotation : 1500 tours/minute.
- Tension de sortie : 690 V.
- Fabricant : Bosch Rexroth, VEM, Loher

✚ Pour le pylône :

- Hauteur minimale de la nacelle : 54,7 m.
- Hauteur maximale de la nacelle : 100 m.

✚ Pour la masse ou le poids :

- Nacelle : 49 tonnes.
- Rotor + hub : 28 tonnes.

✚ Pour l'installation :

- Offshore : Oui.
- Onshore : Oui.

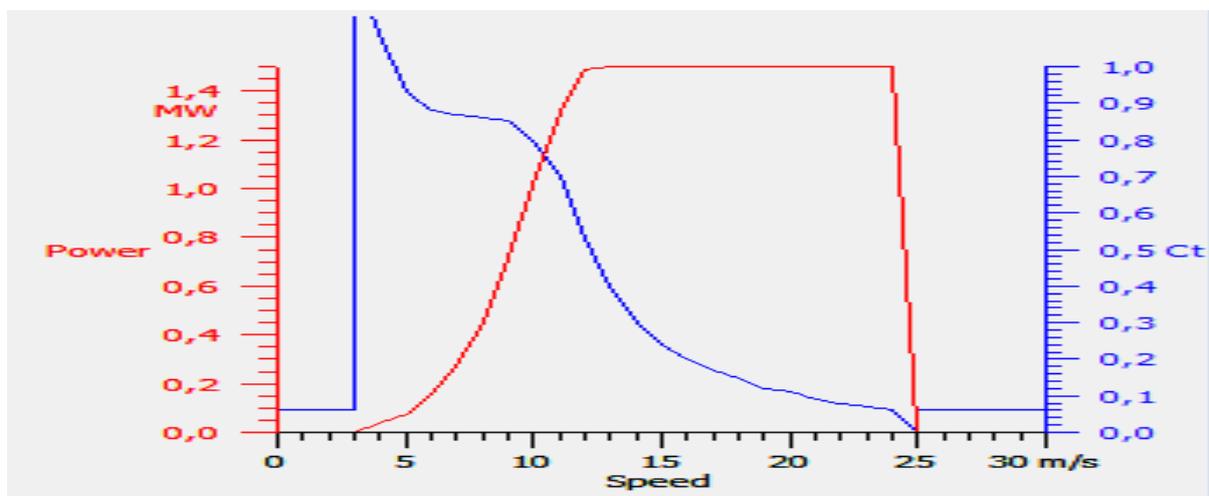
II.4.1.2 Courbe de puissance :

Figure II.5 : courbe de puissance d'aérogénérateur GE 1.5s offshore WTG.

II.4.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore » :**II.4.2.1 Fiche technique : [7,8]****+ Pour la puissance :**

- Puissance nominale : 2000 kW.
- Vitesse de démarrage : 4.0 m/s.
- Vitesse nominale du vent : 17.0 m/s.
- Vitesse de déconnexion : 25.0 m/s.

+ Pour le rotor :

- Diamètre : 80 m.
- Surface du rotor : 5027 m².
- Nombre de pales : 3.
- Vitesse maximale de rotation : 19 tr/min.
- Vitesse minimale de rotation : 9 tr/min.
- Fabricant : VESTAS
- Densité de puissance : 2.5 m²/kW.

+ Pour la boîte de vitesse :

- Boîte de vitesse : oui
- Nombre de rapports : 3
- Ratio : 100.5
- Fabricant : /

+ Pour la génératrice :

- Type : Asynchrone double alimentation.
- Nombre : 1.
- Vitesse maximale de rotation : 2016 tours/minute.
- Tension de sortie : 690 V.
- Fabricant : /

+ Pour le pylône :

- Hauteur minimale de la nacelle : 60 m.
- Hauteur maximale de la nacelle : 100 m.

+ Pour la masse ou le poids :

- Nacelle : 69 tonnes.
- Rotor + hub : 37 tonnes.

✚ Pour l'installation :

- Offshore : Oui.
- Onshore : Non.

II.4.2.2 Courbe de puissance :

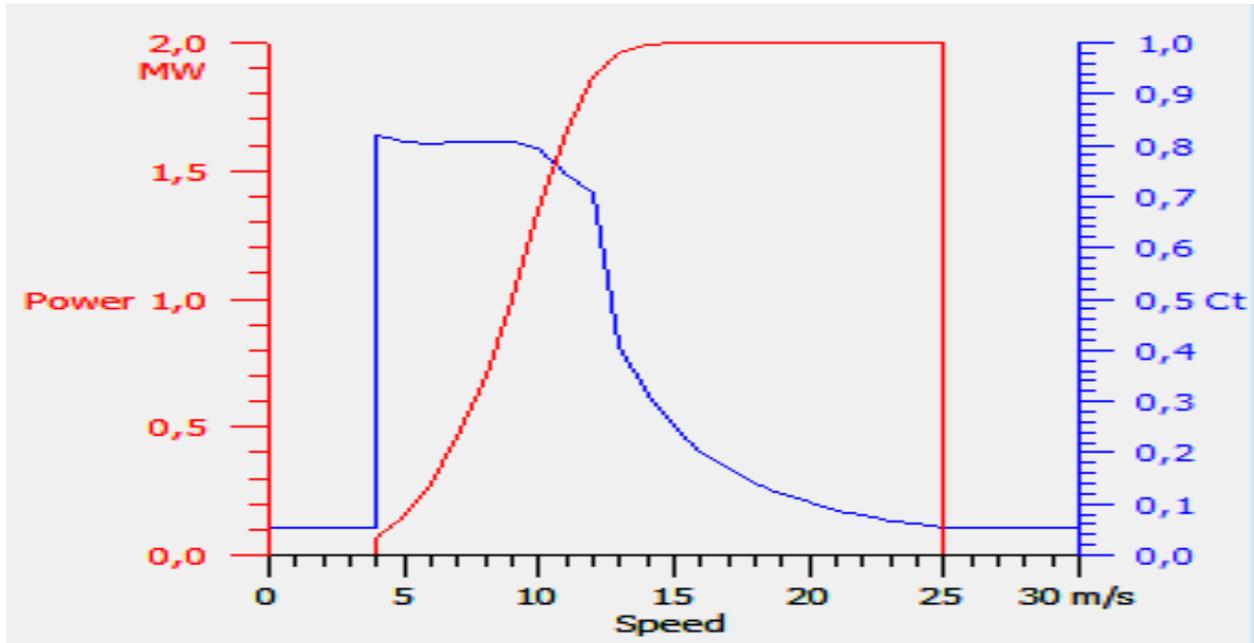


Figure II.6 : courbe de puissance d'aérogénérateur Vestas V80 2 MW offshore.

II.4.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » :

II.4.3.1 Fiche technique : [7,8]

✚ Pour la puissance :

- Puissance nominale : 2300 kW.
- Vitesse de démarrage : 3.5 m/s.
- Vitesse nominale du vent : 13.0 m/s.
- Vitesse de déconnexion : 25.0 m/s.

✚ Pour le rotor :

- Diamètre : 93 m.
- Surface du rotor : 6793 m².
- Nombre de pales : 3.
- Vitesse maximale de rotation : 16 tr/min.

- Vitesse minimale de rotation : 6 tr/min.
- Fabricant : Siemens
- Densité de puissance : 3 m²/kW.

+ Pour la boîte de vitesse :

- Boîte de vitesse : oui
- Nombre de rapports : 3
- Ratio : 91
- Fabricant : Winergy / Hansen

+ Pour la génératrice :

- Type : Asynchrone.
- Nombre : 1.
- Vitesse maximale de rotation : 1600 tours/minute.
- Tension de sortie : 690 V.
- Fabricant : ABB/ Siemens

+ Pour le pylône :

- Hauteur minimale de la nacelle : 80 m.
- Hauteur maximale de la nacelle : 101 m.

+ Pour la masse ou le poids :

- Nacelle : 82 tonnes.
- Rotor + hub : 60 tonnes.

+ Pour l'installation :

- Offshore : Oui.
- Onshore : Non.

II.4.3.2 Courbe de puissance :

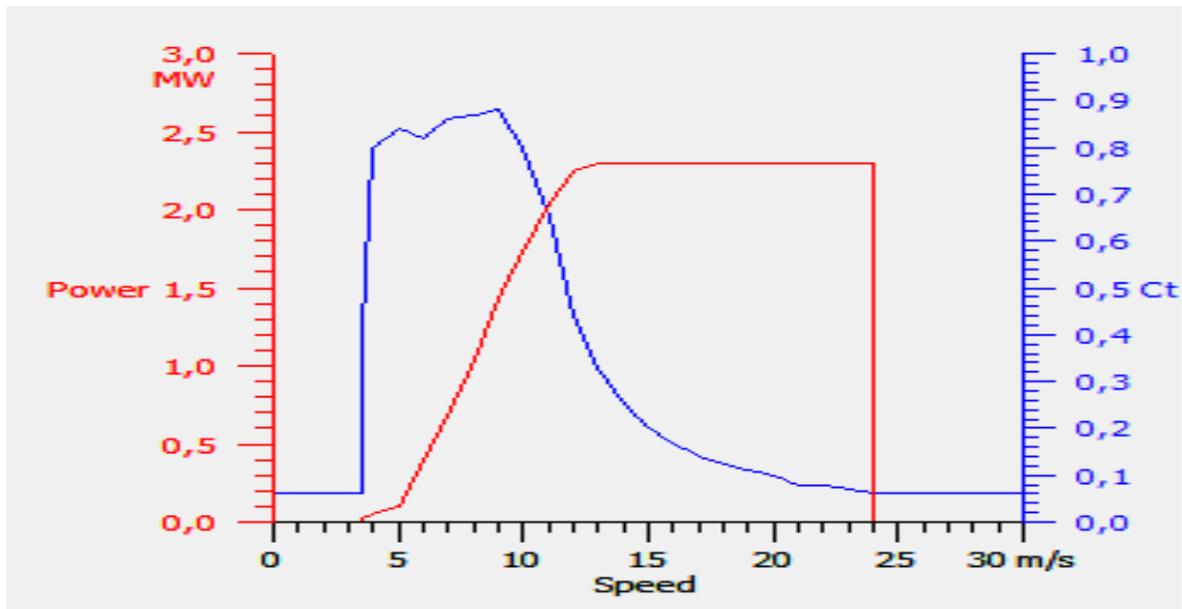


Figure II.7 : courbe de puissance d'aérogénérateur Siemens SWT-2.3-93 Offshore.

II.4.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » :

II.4.4.1 Fiche technique : [7,8]

✚ Pour la puissance :

- Puissance nominale : 3000 kW.
- Vitesse de démarrage : 3 m/s.
- Vitesse nominale du vent : 12.5 m/s.
- Vitesse de déconnexion : 25.0 m/s.

✚ Pour le rotor :

- Diamètre : 112 m.
- Surface du rotor : 9852 m².
- Nombre de pales : 3.
- Vitesse maximale de rotation : 17.7 tr/min.
- Vitesse minimale de rotation : 4.4 tr/min.
- Fabricant : Vestas
- Densité de puissance : 3.3 m²/kW.

✚ Pour la boîte de vitesse :

- Boîte de vitesse : oui
- Nombre de rapports : 4

- Ratio : 113.2
- Fabricant : Hansen

✚ **Pour la génératrice :**

- Type : Synchronous permanent
- Nombre : 1.
- Vitesse maximale de rotation : /
- Tension de sortie : 690 V.
- Fabricant : /

✚ **Pour le pylône :**

- Hauteur minimale de la nacelle : 84 m.
- Hauteur maximale de la nacelle : 119 m.

✚ **Pour la masse ou le poids :**

- Nacelle : /
- Rotor + hub : 41 tonnes.

✚ **Pour l'installation :**

- Offshore : Oui.
- Onshore : Non.

II.4.4.2 Courbe de puissance :

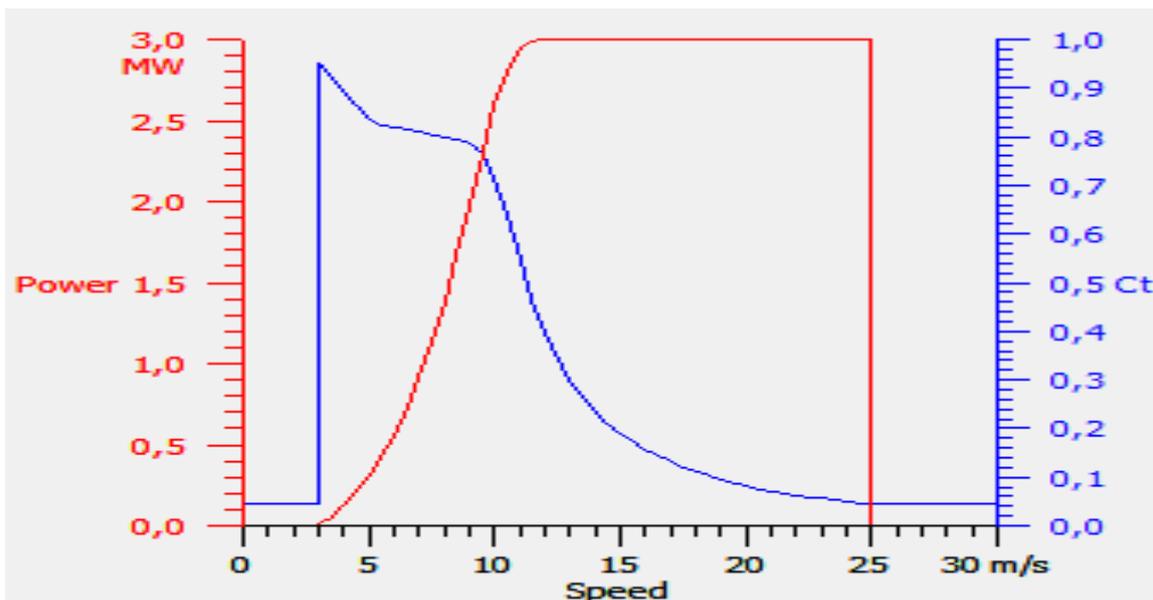


Figure II.8 : courbe de puissance d'aérogénérateur Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore.

II.5 Intégration des éoliennes dans la bibliothèque du WAsP :

Pour les besoins de l'étude, on a choisi quatre turbines dont deux qui figuraient déjà dans la bibliothèque (Wind Turbine Generators), à savoir la « **Vestas V80 2 MW offshore** » et « **Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore** » et deux autres qu'on a insérées et intégrées dans la bibliothèque. Il s'agit de la « **GE 1.5s offshore WTG** » et « **Siemens SWT-2.3-93 Offshore** ».

Dans ce cadre, on a intégré au WAsP Turbine Editor les deux dernières turbines avec leurs caractéristiques à savoir, le diamètre du rotor et la hauteur du mat et les variations prévisibles de la puissance P et du coefficient de poussée C_t (Thrust coefficient) pour chacune d'elles en fonction de la vitesse du vent.

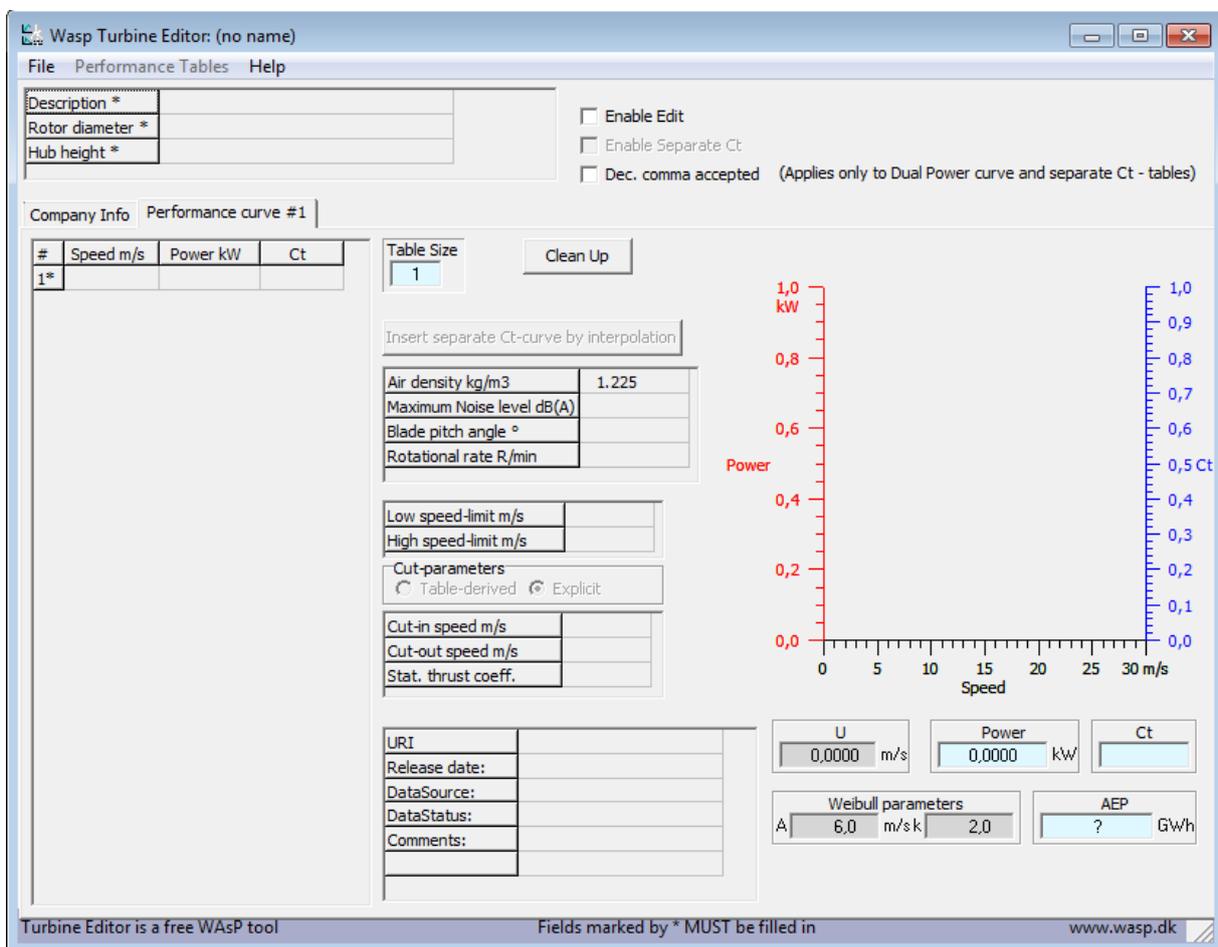


Figure II.9 : l'éditeur des turbines du WAsP.

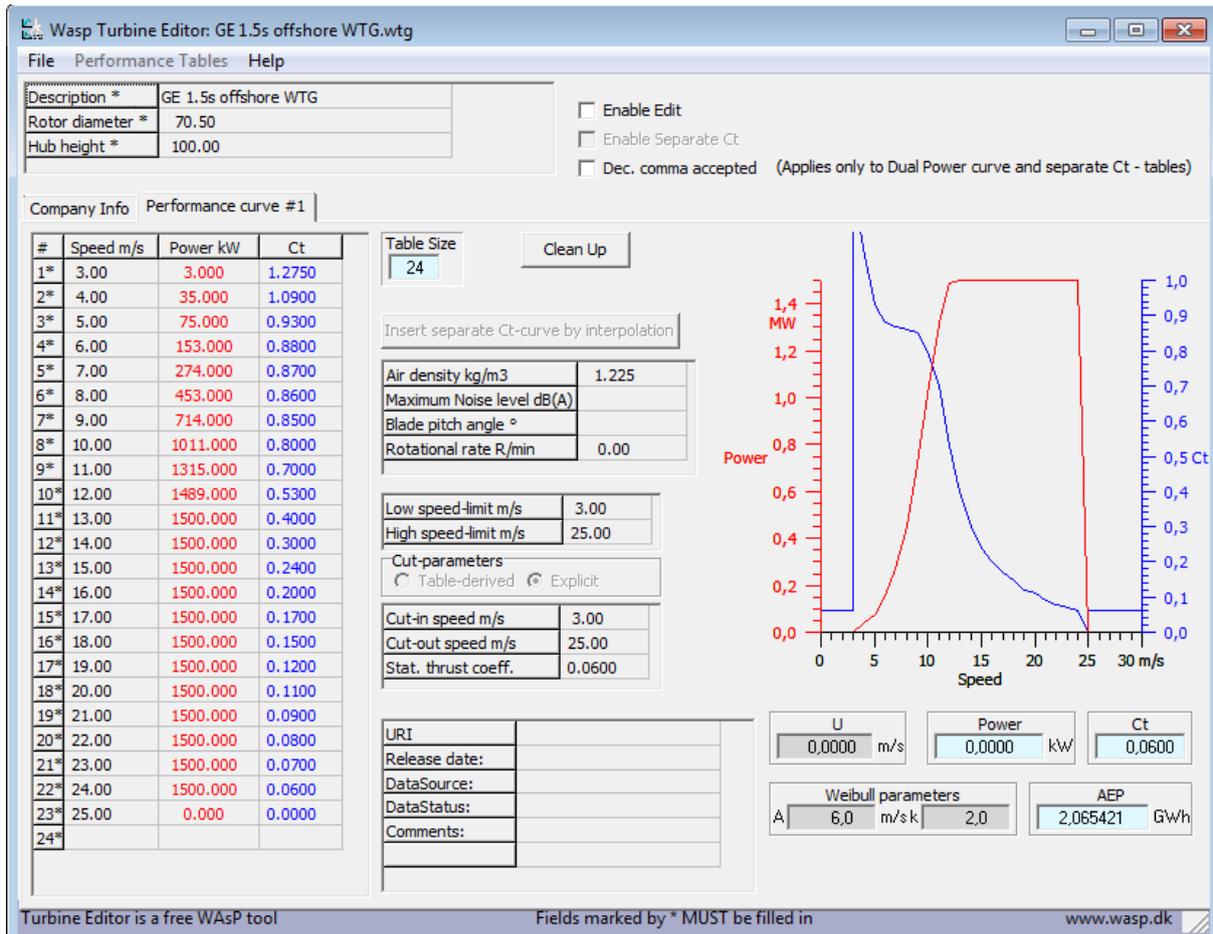


Figure II.10 : les caractéristiques de la GE 1.5s offshore WTG.

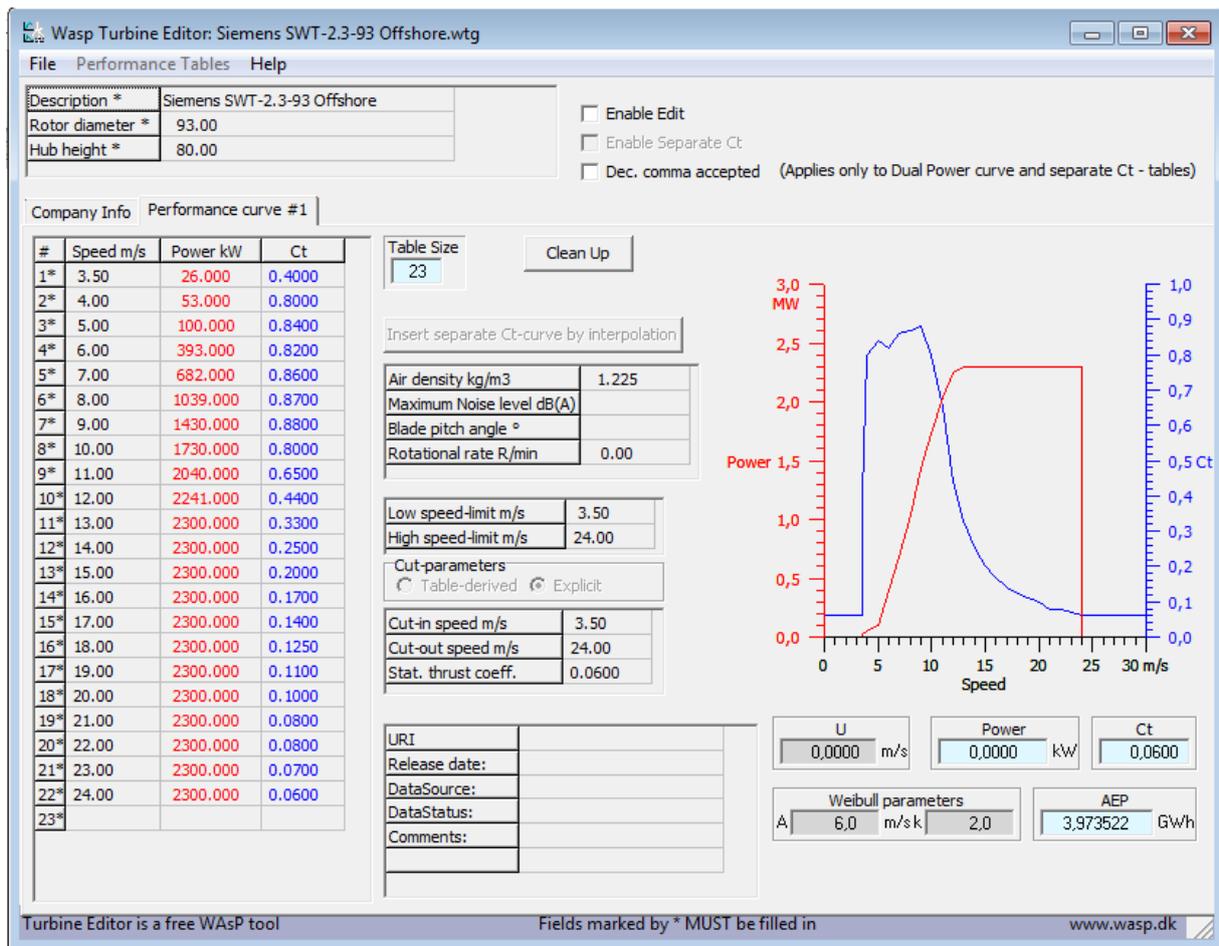


Figure II.11 : les caractéristiques de la Siemens SWT-2.3-93 Offshore.

II.6 conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons défini l'éolienne en mer d'une façon générale et cité les nouvelles innovations sur la forme des turbines.

Pour notre simulation, on a choisi quatre turbines à axe horizontal avec l'identification de leurs caractéristiques (puissance, rotor, génératrice, boîte de vitesse, pylône,...) et leurs courbes de puissance sans oublier la méthode d'insertion de ces turbines dans la bibliothèque du logiciel WAsP.

Référence :

- [1] **Eolien Offshore. Wiki Eolienne.** A l'adresse: https://eolienne.f4jr.org/eolien_offshore.
- [2] **Laura Kerner.** Interaction sol-structure sous sollicitations cycliques dynamiques : Application aux éoliennes offshore fondées sur monopieu. Géotechnique. Université Paris-Est, 2017.
- [3] **Yashank Gupta.** Magnus Based Airborne Wind Energy Systems. Automatic. Université Grenoble Alpes, 2018.
- [4] : **L'éolienne Volante. Révolution Energétique.** A l'adresse : <https://www.revolution-energetique.com/eoliennes-volantes-ce-nest-plus-de-la-science-fiction/>.
- [5] **Pascal MONJEAN** «Optimisation de l'architecture et des flux énergétiques de centrales à énergies renouvelables offshore et onshore équipées de liaisons en continu ». Paris tech (institut des sciences et technologie paris), Soutenu le 26 Septembre 2012.
- [6] **Adrien Courbois.** « Étude expérimentale du comportement dynamique d'une éolienne offshore flottante soumise à l'action conjuguée de la houle et du vent. Mécanique des fluides. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2013. Français.
- [7] **Fiona Foucault.** Optimisation de l'implantation de centrales éoliennes dans l'environnement d'un marché à prix locaux. Energie électrique. PSL Research University, 2016.
- [8] **Marcin Firla.** Traitement automatique du signal pour la surveillance vibratoire des éoliennes : recadrage temps-fréquence, association cinématique et démodulation multi-bandes. Traitement du signal et de l'image [eess.SP]. Université Grenoble Alpes, 2016.

CHAPITRE III
INTERPRETATION ET DISCUSSION
DES RESULTATS

III.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter l'ensemble des résultats obtenus lors de notre étude sur les deux régions « Oran et Arzew ». Nous avons pu faire ressortir les représentations graphiques de la vitesse moyenne annuelle et de la densité de puissance de vent [1] en utilisant quatre types différents d'éoliennes dans un site favorable avec une estimation de la production annuelle d'énergie du parc éolien.

Ce qui nous a permis ensuite de procéder à la comparaison des résultats de ces quatre éoliennes en vue de déterminer la plus performante.

III.2 Résultats de la région d'Oran :

III.2.1 Résultats graphique avec des différents types d'aérogénérateurs :

Dans notre étude, nous allons utiliser quatre types d'aérogénérateurs qui sont les suivants.

III.2.1.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG »:

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « GE 1.5s offshore WTG » avec un diamètre de rotor égal à 70.5 mètre. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 1500kW. Par conséquent, la totalité de la puissance nominale de la ferme est égale à 22.5 MW.

Les Figures (**Figure III.1**, **Figure III.2**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « GE 1.5s offshore WTG » dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

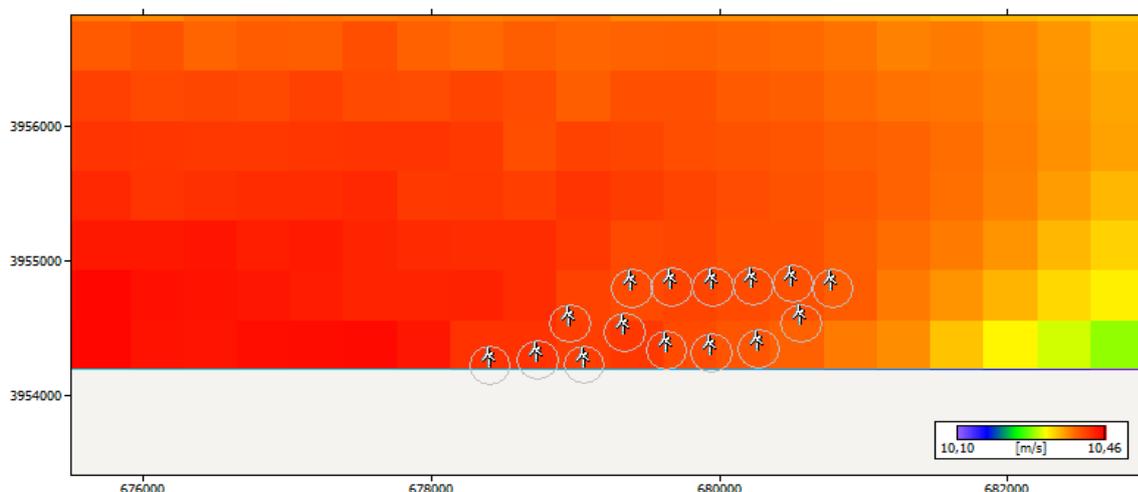


Figure III.1 : Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent

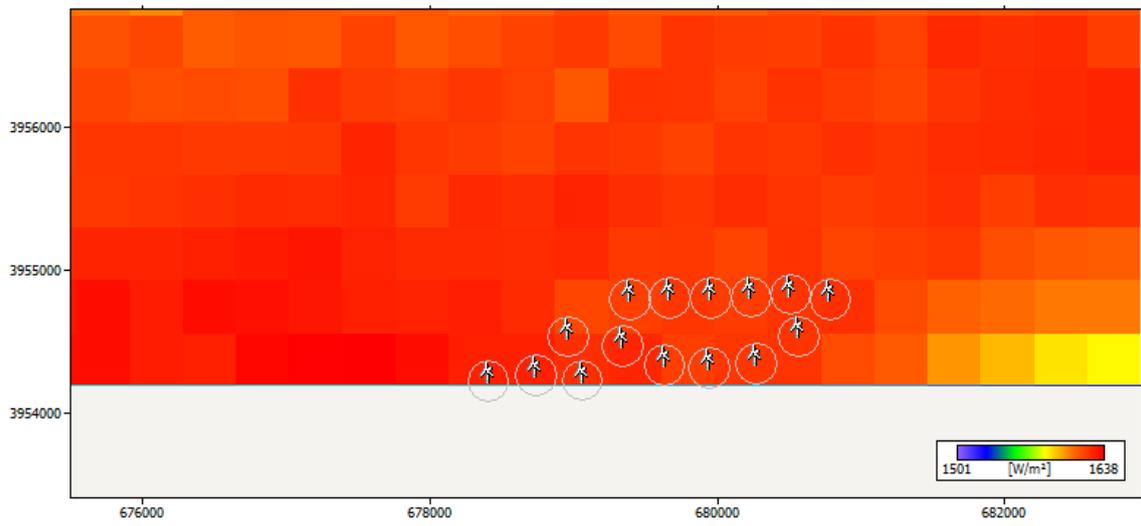


Figure III.2: Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent

Le « **Tableau III.1** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l'intégration des données nécessaires à savoir les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U , la densité de puissance moyenne annuelle P , les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette « AEP Net » et le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	678407.4	3954227.0	50.8	0.0	0.0	100.0	10.43	6.704	6.546	2.36
Turbine site 002	678740.8	3954264.0	51.7	0.0	0.0	100.0	10.43	6.698	6.311	5.77
Turbine site 003	679060.5	3954228.0	52.5	0.0	0.0	100.0	10.43	6.691	6.242	6.71
Turbine site 004	679338.9	3954469.0	53.1	0.0	0.0	100.0	10.42	6.688	6.148	8.07
Turbine site 005	679632.1	3954336.0	54.8	0.0	0.0	100.0	10.42	6.682	6.232	6.73
Turbine site 006	679943.3	3954318.0	55.4	0.0	0.0	100.0	10.41	6.674	6.218	6.82
Turbine site 007	680272.8	3954345.0	56.0	0.0	0.0	100.0	10.39	6.665	6.190	7.13
Turbine site 008	680565.8	3954537.0	57.3	0.0	0.0	100.0	10.39	6.662	6.166	7.45
Turbine site 009	680785.4	3954794.0	58.0	0.0	0.0	100.0	10.39	6.660	6.337	4.86
Turbine site 010	680508.6	3954831.0	57.7	0.0	0.0	100.0	10.40	6.669	6.288	5.71

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Turbine site 011	680234.1	3954812.0	57.2	0.0	0.0	100.0	10.40	6.675	6.272	6.04
Turbine site 012	679953.3	3954806.0	56.6	0.0	0.0	100.0	10.41	6.680	6.292	5.81
Turbine site 013	679666.5	3954806.0	56.1	0.0	0.0	100.0	10.41	6.686	6.302	5.74
Turbine site 014	679391.9	3954794.0	55.6	0.0	0.0	100.0	10.41	6.691	6.367	4.84
Turbine site 015	678961.6	3954535.0	53.5	0.0	0.0	100.0	10.42	6.697	6.357	5.08

Tableau III.1 : Caractéristiques des éoliennes de type «GE 1.5s offshore WTG» dans la zone favorable d'Oran.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne estimée de 94.269 GWh/an avec une moyenne de 6.285 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne estimée de 100.222 GWh/an avec une moyenne de 6.681 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie de 10.39 et 10.43 m/s avec une moyenne estimée de 10.41 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 1619 à 1635 W/m² avec une moyenne estimée de 1626 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 2.36 % et 8.07 %.

III.2.1.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « Vestas V80 2 MW offshore » avec un diamètre de rotor égal à 80 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 2000 kW. Par conséquent, la totalité de la puissance nominale de la ferme est égale à 30 MW.

Les (Figure III.3, Figure III.4) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Vestas V80 2 MW offshore » dans le site en terme de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

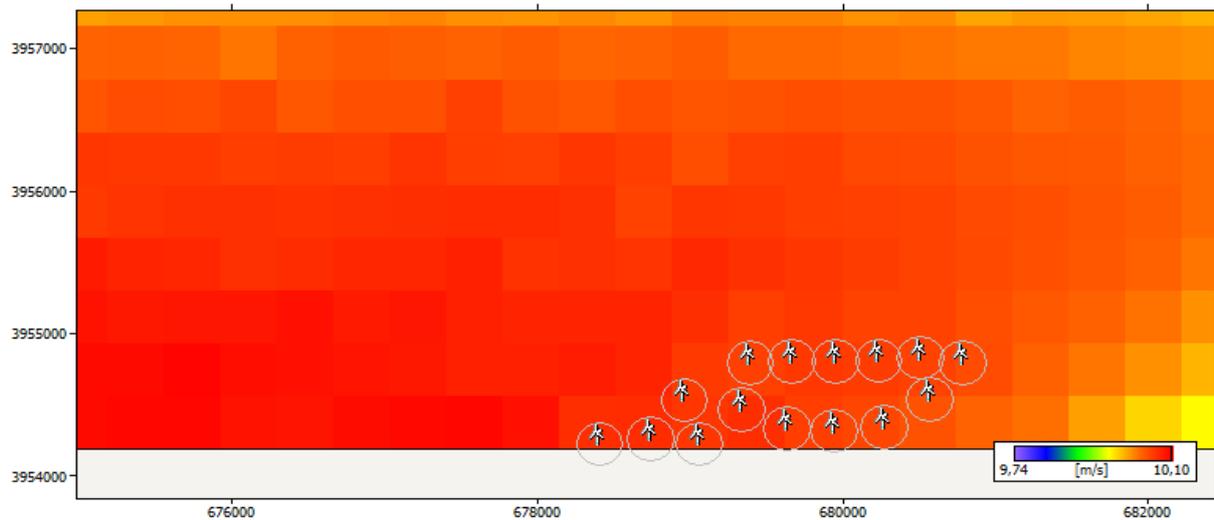


Figure III.3: Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore» dans la zone favorable d’Oran en termes de vitesse moyenne de vent.

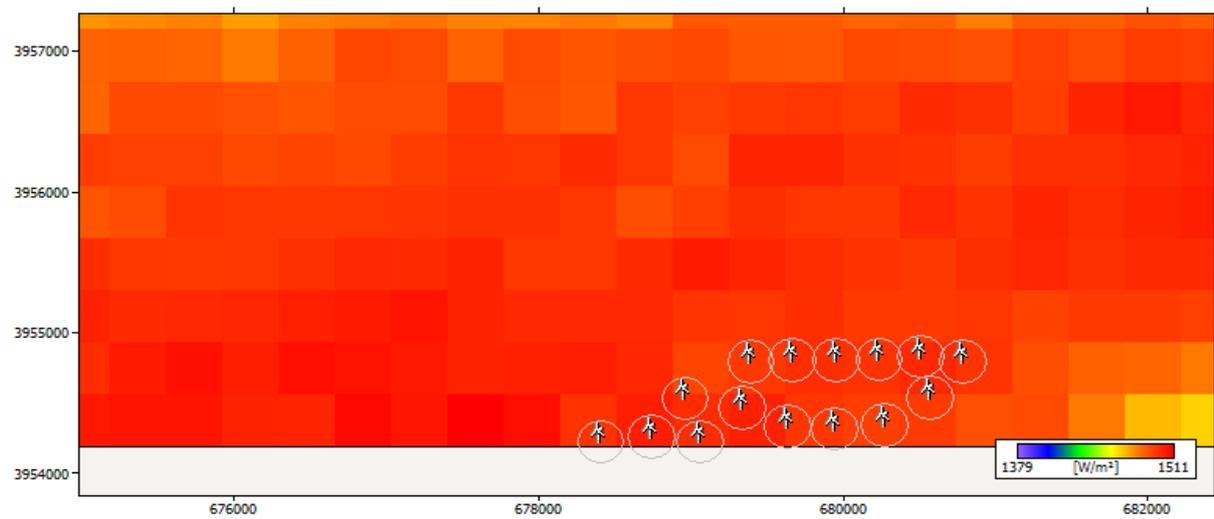


Figure III.4 : Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d’Oran en termes de densité de puissance de vent.

Le « **Tableau III.2** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l’intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U , la densité de puissance moyenne annuelle P , les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette « AEP Net », le taux de perte dû à l’effet de sillage).

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	678407.4	3954227.0	50.8	0.0	0.0	67.0	9.80	8.432	8.204	2.7
Turbine site 002	678740.8	3954264.0	51.7	0.0	0.0	67.0	9.80	8.428	7.850	6.85
Turbine site 003	679060.5	3954228.0	52.5	0.0	0.0	67.0	9.79	8.423	7.758	7.89
Turbine site 004	679338.9	3954469.0	53.1	0.0	0.0	67.0	9.79	8.419	7.609	9.62
Turbine site 005	679632.1	3954336.0	54.8	0.0	0.0	67.0	9.78	8.412	7.754	7.83
Turbine site 006	679943.3	3954318.0	55.4	0.0	0.0	67.0	9.78	8.406	7.735	7.99
Turbine site 007	680272.8	3954345.0	56.0	0.0	0.0	67.0	9.77	8.394	7.682	8.49
Turbine site 008	680565.8	3954537.0	57.3	0.0	0.0	67.0	9.77	8.393	7.640	8.98
Turbine site 009	680785.4	3954794.0	58.0	0.0	0.0	67.0	9.77	8.393	7.884	6.06
Turbine site 010	680508.6	3954831.0	57.7	0.0	0.0	67.0	9.78	8.403	7.827	6.85
Turbine site 011	680234.1	3954812.0	57.2	0.0	0.0	67.0	9.78	8.406	7.804	7.17
Turbine site 012	679953.3	3954806.0	56.6	0.0	0.0	67.0	9.79	8.412	7.834	6.87
Turbine site 013	679666.5	3954806.0	56.1	0.0	0.0	67.0	9.79	8.417	7.847	6.78
Turbine site 014	679391.9	3954794.0	55.6	0.0	0.0	67.0	9.79	8.422	7.953	5.57
Turbine site 015	678961.6	3954535.0	53.5	0.0	0.0	67.0	9.80	8.427	7.923	5.98

Tableau III.2: Caractéristiques des éolienne de type « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d’Oran.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 117.303 GWh/an avec une moyenne de 8.413 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 126.185 GWh/an avec une moyenne de 8.413 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 9.77 et 9.80 m/s avec une moyenne estimée de 9.79 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 1398 à 1409 W/m² avec une moyenne estimée de 1403 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 2.7 % et 9.62 %.

III.2.1.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » avec un diamètre de rotor égal à 93 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 2300kW. Par conséquent la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 34.5 MW.

Les Figures (**Figure III.5**, **Figure III.6**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore» dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

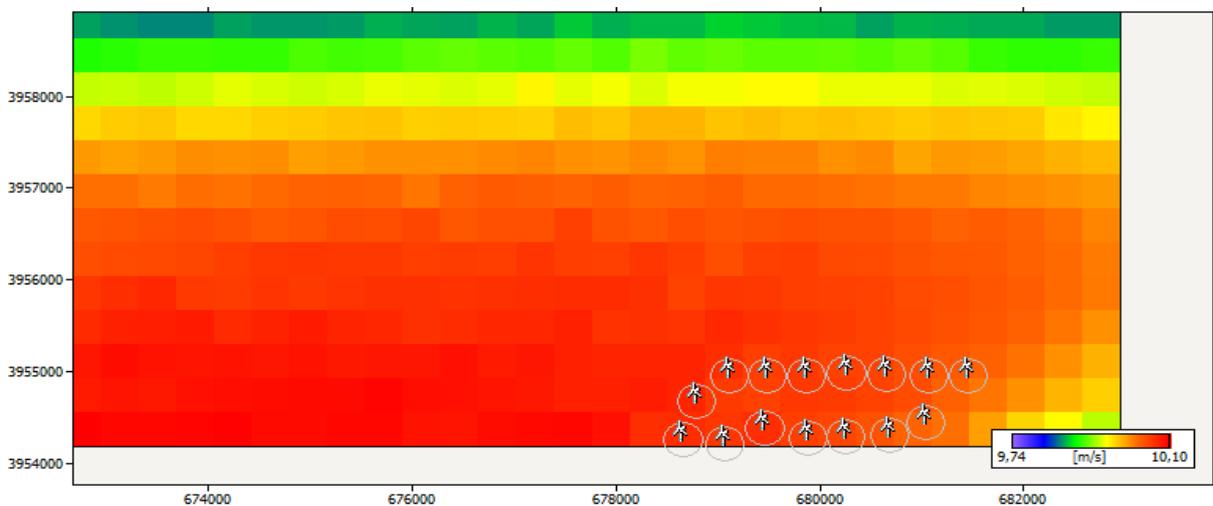


Figure III.5 : Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent.

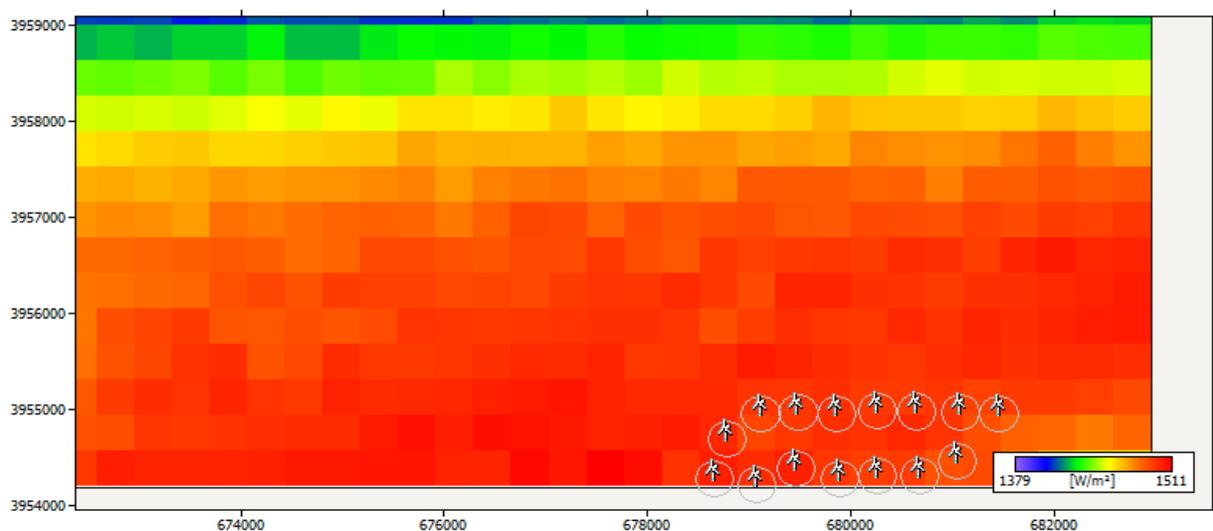


Figure III.6: Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de densité de puissance de vent.

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Le « **Tableau III.3** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l'intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U, la densité de puissance moyenne annuelle P, les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette «AEP Net », le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	678659.0	3954272.0	51.5	0.0	0.0	80.0	10.08	10.624	10.114	4.79
Turbine site 002	679070.6	3954216.0	52.5	0.0	0.0	80.0	10.07	10.613	9.945	6.29
Turbine site 003	679459.2	3954391.0	54.5	0.0	0.0	80.0	10.07	10.610	9.854	7.12
Turbine site 004	679888.5	3954283.0	55.3	0.0	0.0	80.0	10.05	10.592	9.943	6.13
Turbine site 005	680258.8	3954302.0	55.9	0.0	0.0	80.0	10.04	10.577	9.913	6.28
Turbine site 006	680678.1	3954308.0	56.8	0.0	0.0	80.0	10.03	10.563	9.853	6.72
Turbine site 007	681041.8	3954458.0	57.7	0.0	0.0	80.0	10.03	10.554	9.932	5.89
Turbine site 008	681451.5	3954956.0	58.5	0.0	0.0	80.0	10.03	10.545	10.149	3.76
Turbine site 009	681067.6	3954966.0	58.3	0.0	0.0	80.0	10.04	10.565	10.070	4.68
Turbine site 010	680648.4	3954978.0	57.9	0.0	0.0	80.0	10.05	10.583	10.047	5.06
Turbine site 011	680260.9	3954985.0	57.6	0.0	0.0	80.0	10.05	10.593	10.064	5.0
Turbine site 012	679862.0	3954956.0	56.7	0.0	0.0	80.0	10.07	10.600	10.052	5.17
Turbine site 013	679479.5	3954966.0	55.9	0.0	0.0	80.0	10.07	10.613	10.073	5.09
Turbine site 014	679111.1	3954959.0	55.1	0.0	0.0	80.0	10.08	10.620	10.160	4.33
Turbine site 015	678783.5	3954689.0	53.3	0.0	0.0	80.0	10.08	10.626	10.115	4.81

Tableau III.3 : Caractéristiques des éoliennes de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Oran.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 150.286 GWh/an avec une moyenne de 10.019 GWh par éolienne.

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 158.878 GWh/an avec une moyenne de 10.592 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 10.03 et 10.80 m/s avec une moyenne estimée de 10.06 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 1488 à 1508 W/m² avec une moyenne estimée de 1498 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 3.76 % et 7.12 %.

III.2.1.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » avec un diamètre de rotor égal à 112 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 3000kW. Par conséquent, la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 45 MW.

Les Figures (**Figure III.7, Figure III.8**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

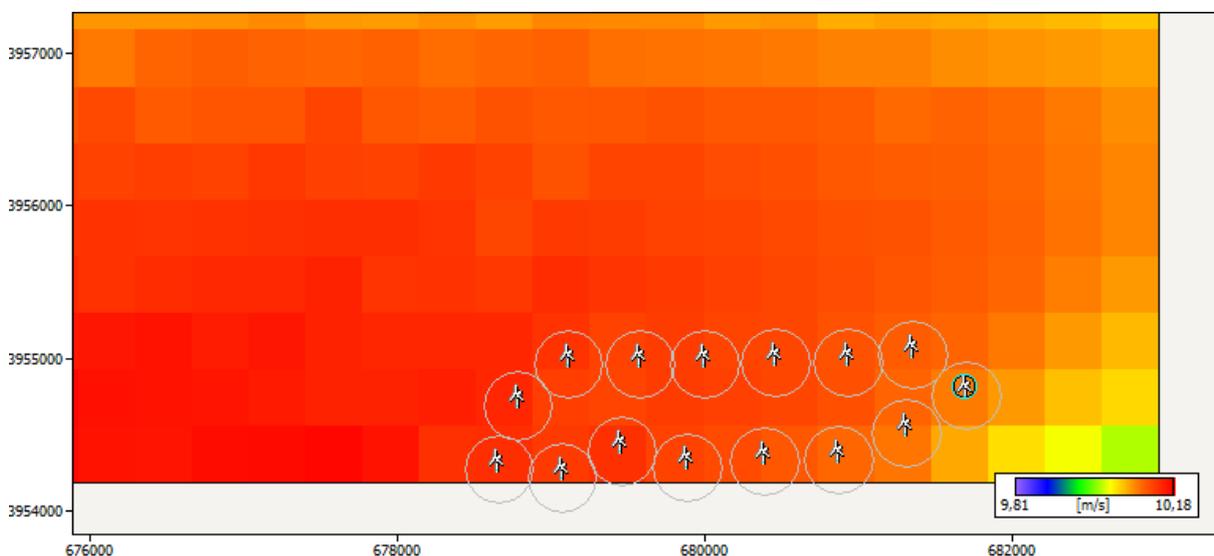


Figure III.7 : Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Oran en termes de vitesse moyenne de vent.

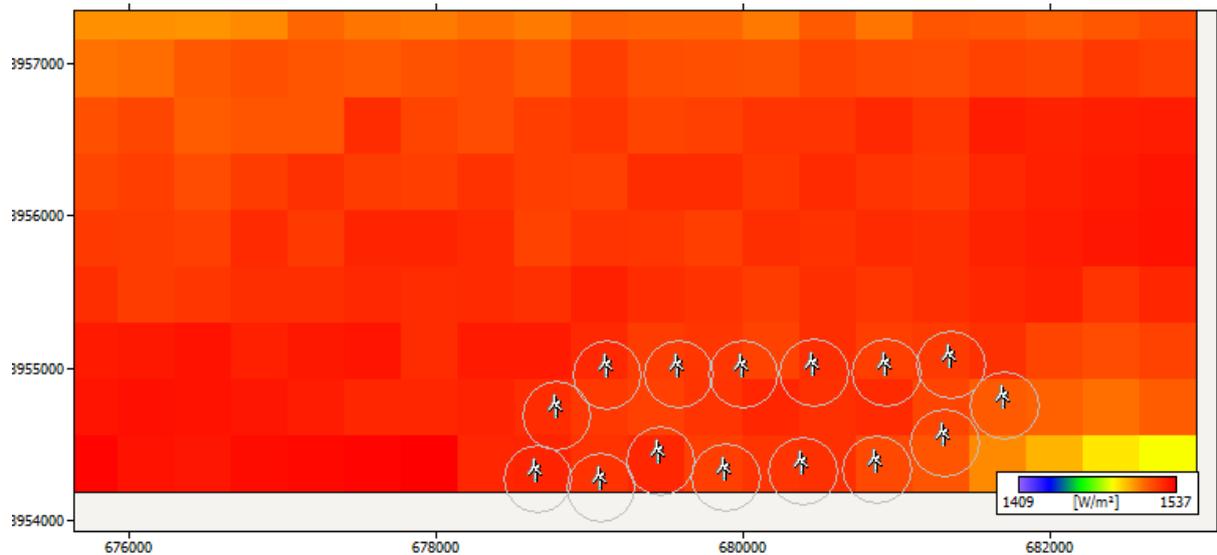


Figure III.8 : Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d’Oran en termes de densité de puissance de vent.

Le « **Tableau III.4** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l’intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U, la densité de puissance moyenne annuelle P, les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette «AEP Net », le taux de perte dû à l’effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	678659,0	3954272,0	51,5	0,0	0,0	84,0	10,16	14,788	14,029	5,13
Turbine site 002	679070,6	3954216,0	52,5	0,0	0,0	84,0	10,15	14,772	13,806	6,54
Turbine site 003	679459,2	3954391,0	54,5	0,0	0,0	84,0	10,14	14,765	13,672	7,4
Turbine site 004	679888,5	3954283,0	55,3	0,0	0,0	84,0	10,13	14,743	13,862	5,97
Turbine site 005	680385,9	3954323,0	56,4	0,0	0,0	84,0	10,11	14,717	13,849	5,9
Turbine site 006	680868,4	3954334,0	57,6	0,0	0,0	84,0	10,10	14,689	13,736	6,48
Turbine site 007	681309,8	3954508,0	58,1	0,0	0,0	84,0	10,09	14,677	13,743	6,36

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Turbine site 008	681699,8	3954754,0	58,4	0,1	0,1	84,0	10,10	14,656	14,000	4,48
Turbine site 009	681350,8	3955021,0	58,6	0,0	0,0	84,0	10,11	14,692	14,041	4,43
Turbine site 010	680930,0	3954970,0	58,4	0,0	0,0	84,0	10,12	14,713	13,946	5,21
Turbine site 011	680457,8	3954970,0	57,8	0,0	0,0	84,0	10,13	14,731	14,010	4,9
Turbine site 012	679995,9	3954960,0	57,2	0,0	0,0	84,0	10,14	14,753	14,003	5,08
Turbine site 013	679575,1	3954960,0	55,0	0,0	0,0	84,0	10,15	14,766	14,017	5,07
Turbine site 014	679111,1	3954959,0	55,1	0,0	0,0	84,0	10,16	14,784	14,135	4,4
Turbine site 015	678783,5	3954689,0	53,3	0,0	0,0	84,0	10,15	14,793	14,035	5,12

Tableau III.4 : Caractéristiques des éoliennes de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Oran.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 208.885 GWh/an avec une moyenne de 13.926 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 221.039 GWh/an avec une moyenne de 14.736 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 10.09 et 10.16 m/s avec une moyenne estimée de 10.13 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 1509 à 1532 W/m² avec une moyenne estimée de 1524 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 4.4 % et 7.4 %.

III.2.2 Comparaison des résultats et le choix final :

Par comparaison des résultats, on remarque qu'il n'y a pas beaucoup de différence entre les trois premiers types d'éoliennes («GE 1.5s offshore WTG», «Vestas V80 2 MW offshore», « Siemens SWT-2.3-93 Offshore »). La production énergétique annuelle globale a augmenté à un rythme lent. Il est noté que la production énergétique nette respective de ces trois aérogénérateurs est égale à (6.285, 8.413, 10.019 GWh). Par contre, la production énergétique nette d'une éolienne de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dépasse les 13.926 GWh.

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Enfin, l'éolienne horizontale choisie est «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » de puissance nominale de 3000 kW, ce modèle a été choisi en fonction des caractéristiques du site après une comparaison entre les quatre éoliennes offshore en analysant leurs courbes de puissance.

III.3 Résultats de la région d'Arzew :

III.3.1 Résultats d'Arzew avec des différents types d'aérogénérateurs :

Dans notre étude, nous allons utiliser également quatre types d'aérogénérateurs qui sont les suivants.

III.3.1.1 Aérogénérateurs de type « GE 1.5s offshore WTG »:

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « GE 1.5s offshore WTG » avec un diamètre de rotor égal à 70.5 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 1500kW. Par conséquent la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 22.5 MW.

Les Figures (**Figure III.9, Figure III.10**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « GE 1.5s offshore WTG » dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

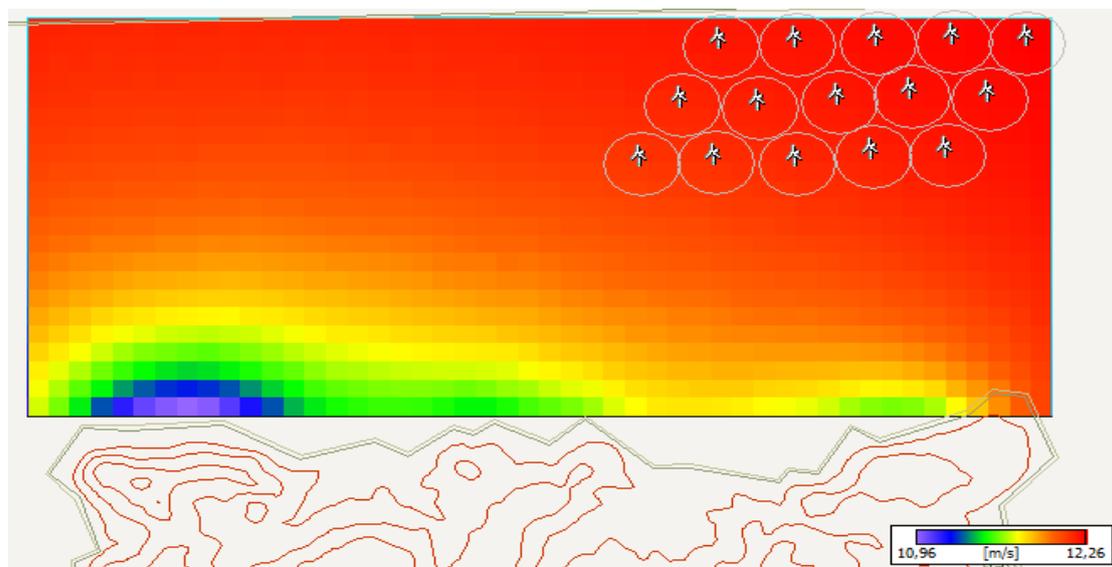


Figure III.9 : Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.

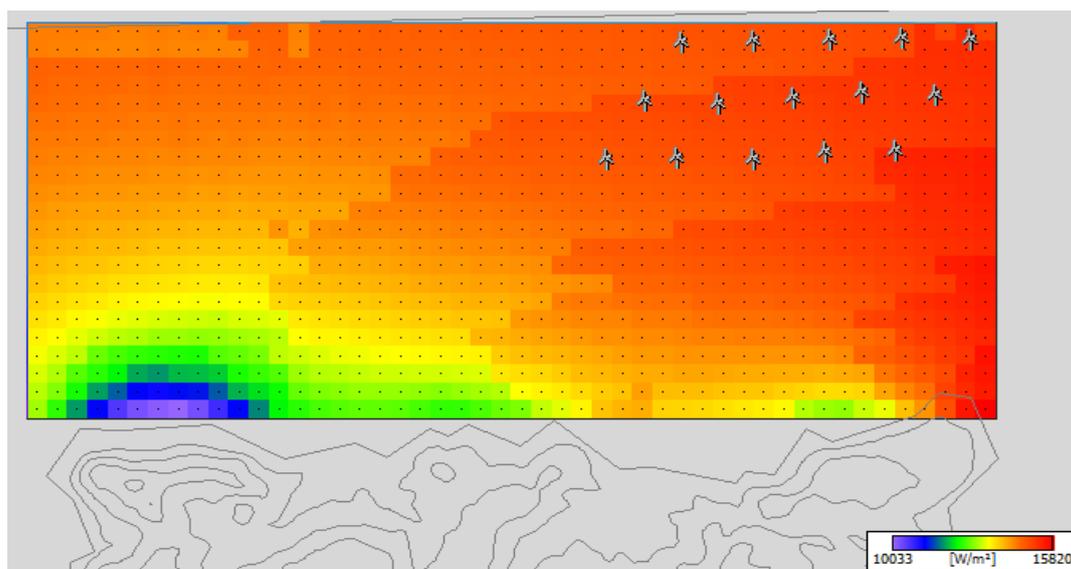


Figure III.10: Disposition des éoliennes « GE 1.5s offshore WTG » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.

Le « **Tableau III.5** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l'intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U , la densité de puissance moyenne annuelle P , les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette « AEP Net », le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	740196,9	3979095,0	50,0	0,2	0,2	100,0	12,26	3,307	3,050	7,79
Turbine site 002	739852,8	3979103,0	50,0	0,2	0,2	100,0	12,24	3,310	3,049	7,88
Turbine site 003	739496,8	3979095,0	50,0	0,5	0,5	100,0	12,23	3,313	3,074	7,2
Turbine site 004	739116,9	3979087,0	50,0	0,6	0,6	100,0	12,21	3,316	3,112	6,15
Turbine site 005	738760,9	3979079,0	50,0	0,7	0,7	100,0	12,20	3,319	3,244	2,24
Turbine site 006	740018,9	3978787,0	50,0	0,4	0,3	100,0	12,23	3,310	2,971	10,24
Turbine site 007	739655,0	3978802,0	50,0	0,5	0,4	100,0	12,22	3,315	2,939	11,34
Turbine site 008	739314,8	3978771,0	50,0	0,7	0,6	100,0	12,20	3,318	2,981	10,16
Turbine site	738942,9	3978739,0	50,0	1,0	1,0	100,0	12,18	3,320	3,020	9,03

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

009										
Turbine site 010	738578,9	3978755,0	50,0	1,0	1,0	100,0	12,17	3,324	3,186	4,15
Turbine site 011	739821,1	3978478,0	50,0	0,7	0,6	100,0	12,20	3,310	2,973	10,18
Turbine site 012	739473,0	3978470,0	50,0	0,8	0,7	100,0	12,18	3,314	2,956	10,81
Turbine site 013	739116,9	3978431,0	50,0	0,9	0,9	100,0	12,16	3,317	2,980	10,16
Turbine site 014	738737,2	3978439,0	50,0	1,4	1,3	100,0	12,14	3,320	3,022	8,98
Turbine site 015	738389,0	3978431,0	50,0	1,4	1,4	100,0	12,12	3,322	3,204	3,56

Tableau III.5 : Caractéristiques des éoliennes de type «GE 1.5s offshore WTG» dans la zone favorable d'Arzew.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 45.761 GWh/an avec une moyenne de 3.051 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 49.734 GWh/an avec une moyenne de 3.316 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 12.12 et 12.26 m/s avec une moyenne estimée de 12.20 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 14810 à 15403 W/m² avec une moyenne estimée de 15044 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 2.24 % et 11.34 %.

III.3.1.2 Aérogénérateurs de type « Vestas V80 2 MW offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « Vestas V80 2 MW offshore » avec un diamètre de rotor égal à 80 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 2000kW. Par conséquent la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 30 MW.

Les (**Figure III.11, Figure III.12**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Vestas V80 2 MW offshore » dans le site en terme de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

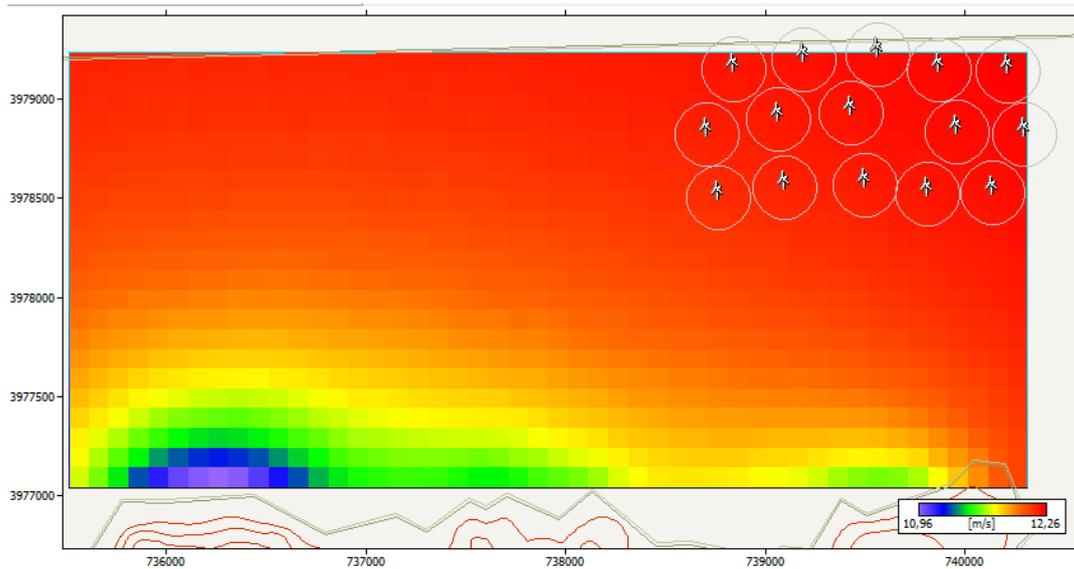


Figure III.11 : Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.

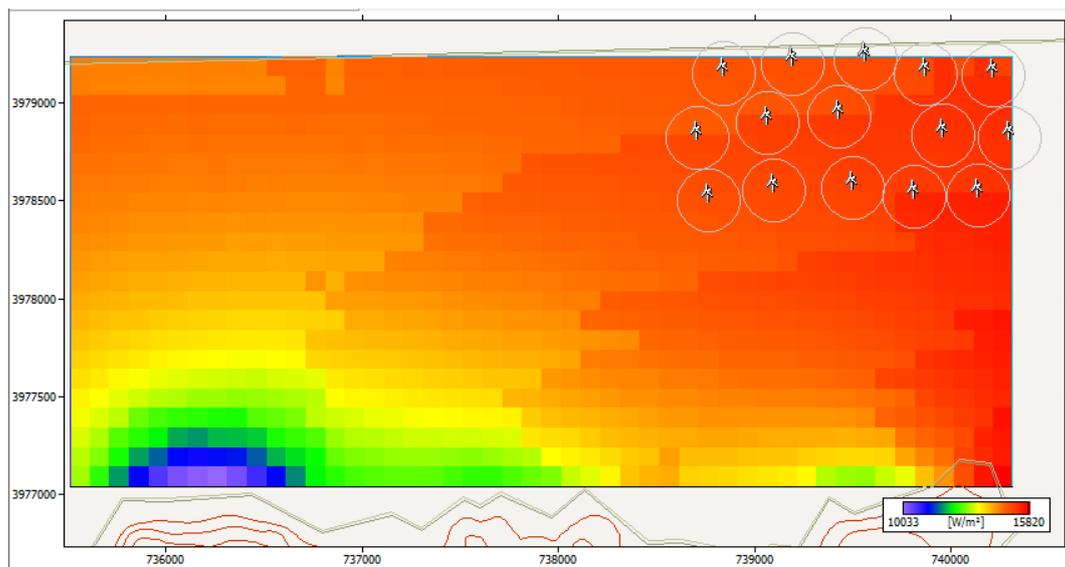


Figure III.12: Disposition des éoliennes « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.

Le « **Tableau III.6** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l'intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U , la densité de puissance moyenne annuelle P , les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette « AEP Net », le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	740212,2	3979142,0	50,0	0,2	0,2	67,0	11,51	4,287	3,972	7,33
Turbine site 002	739868,8	3979149,0	50,0	0,2	0,1	67,0	11,49	4,289	3,975	7,32
Turbine site 003	739564,9	3979227,0	50,0	0,3	0,2	67,0	11,48	4,293	4,000	6,83
Turbine site 004	739191,4	3979199,0	50,0	0,5	0,4	67,0	11,46	4,298	4,046	5,87
Turbine site 005	738760,9	3979079,0	50,0	0,7	0,7	100,0	12,20	3,319	3,244	2,24
Turbine site 006	738844,2	3979151,0	50,0	0,6	0,6	67,0	11,45	4,302	4,214	2,03
Turbine site 007	739961,0	3978834,0	50,0	0,3	0,3	67,0	11,48	4,290	3,844	10,4
Turbine site 008	739428,8	3978934,0	50,0	0,7	0,6	67,0	11,46	4,299	3,883	9,7
Turbine site 009	739066,6	3978902,0	50,0	0,7	0,6	67,0	11,44	4,301	3,962	7,9
Turbine site 010	738708,9	3978823,0	50,0	0,7	0,7	67,0	11,42	4,306	4,144	3,77
Turbine site 011	740139,2	3978528,0	50,0	0,4	0,3	67,0	11,47	4,287	3,850	10,18
Turbine site 012	739814,7	3978520,0	50,0	0,7	0,6	67,0	11,46	4,288	3,859	10,01
Turbine site 013	739498,1	3978565,0	50,0	0,8	0,7	67,0	11,44	4,294	3,835	10,69
Turbine site 014	739099,1	3978555,0	50,0	0,8	0,8	67,0	11,41	4,297	3,826	10,95
Turbine site 015	738767,2	3978505,0	50,0	1,1	1,1	67,0	11,39	4,302	4,007	6,85

Tableau III.6 : Caractéristiques des éoliennes de type « Vestas V80 2 MW offshore » dans la zone favorable d'Arzew.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 59.260 GWh/an avec une moyenne de 3.951 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 64.419 GWh/an avec une moyenne de 4.295 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 11.39 et 11.51 m/s avec une moyenne estimée de 11.46 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 12623 à 13029 W/m² avec une moyenne estimée de 12823 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 2.03 % et 10.95 %.

III.3.1.3 Aérogénérateurs de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » avec un diamètre de rotor égal à 93 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 2300kW. Par conséquent la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 34.5 MW.

Les Figures (**Figure III.13**, **Figure III.14**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore» dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

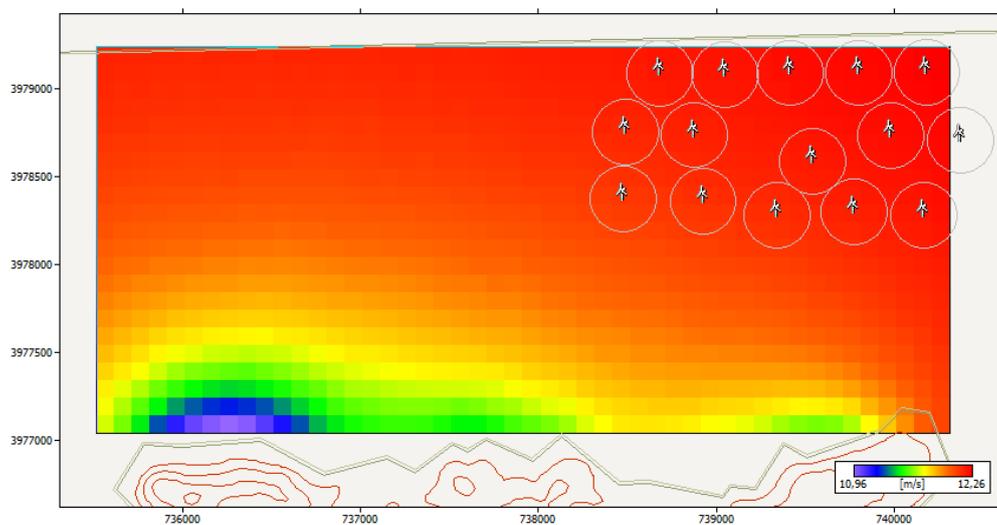


Figure III.13 : Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.

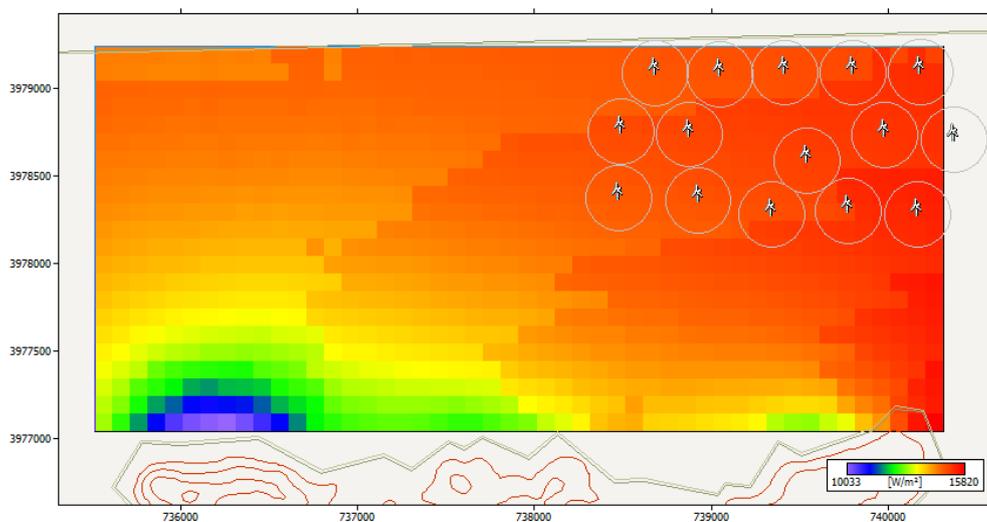


Figure III.14: Disposition des éoliennes « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Le « **Tableau III.7** » représente le résultat final du logiciel WASP après l'intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U, la densité de puissance moyenne annuelle P, les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette «AEP Net », le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	740184,3	3979092,0	50,0	0,2	0,2	80,0	11,84	5,334	4,871	8,68
Turbine site 002	739802,8	3979087,0	50,0	0,3	0,3	80,0	11,82	5,337	4,887	8,43
Turbine site 003	739415,8	3979087,0	50,0	0,3	0,2	80,0	11,81	5,341	4,891	8,42
Turbine site 004	739050,0	3979077,0	50,0	0,7	0,7	80,0	11,79	5,345	4,905	8,23
Turbine site 005	738684,2	3979082,0	50,0	0,8	0,7	80,0	11,78	5,348	5,187	3,03
Turbine site 006	740371,7	3978705,0	50,0	0,2	0,2	80,0	11,83	5,328	4,812	9,69
Turbine site 007	739982,9	3978731,0	50,0	0,5	0,5	80,0	11,81	5,331	4,762	10,68
Turbine site 008	739543,7	3978586,0	50,0	0,6	0,6	80,0	11,78	5,333	4,755	10,83
Turbine site 009	738876,7	3978734,0	50,0	0,8	0,7	80,0	11,76	5,344	4,806	10,07
Turbine site 010	738487,3	3978750,0	50,0	1,2	1,2	80,0	11,74	5,351	5,122	4,28
Turbine site 011	740166,8	3978280,0	50,0	0,6	0,5	80,0	11,79	5,323	4,804	9,75
Turbine site 012	739777,1	3978295,0	50,0	0,6	0,6	80,0	11,76	5,327	4,794	10,0
Turbine site 013	739339,8	3978280,0	50,0	1,1	1,1	80,0	11,73	5,333	4,816	9,7
Turbine site 014	738926,2	3978359,0	50,0	1,1	1,0	80,0	11,71	5,340	4,811	9,9
Turbine site 015	738477,4	3978372,0	50,0	1,2	1,2	80,0	11,69	5,344	4,991	6,61

Tableau III.7 : Caractéristiques des éoliennes de type « Siemens SWT-2.3-93 Offshore » dans la zone favorable d'Arzew.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 73.215 GWh/an avec une moyenne de 4.831 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 80.061 GWh/an avec une moyenne de 5.337 GWh par éolienne.

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

- La vitesse moyenne annuelle varie entre 11.69 et 11.84 m/s avec une moyenne estimée de 11.77 m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 13453 à 14132 W/m² avec une moyenne estimée de 13765 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 3.03 % et 10.83 %.

III.3.1.4 Aérogénérateurs de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » :

La ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs similaires de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » avec un diamètre de rotor égal à 112 mètres. La puissance nominale de ce modèle d'aérogénérateur est 3000kW. Par conséquent la totalité de la puissance nominale de la ferme égale à 45 MW.

Les Figures (**Figure III.15, Figure III.16**) ci-dessous représentent la disposition des éoliennes de type « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans le site en termes de vitesse moyenne annuelle et densité de puissance de vent.

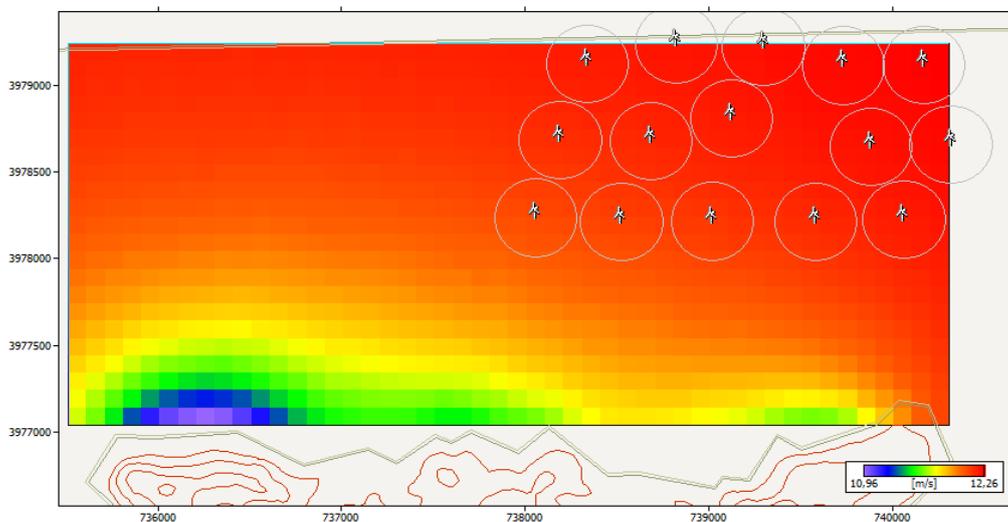


Figure III.15 : Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de vitesse moyenne de vent.

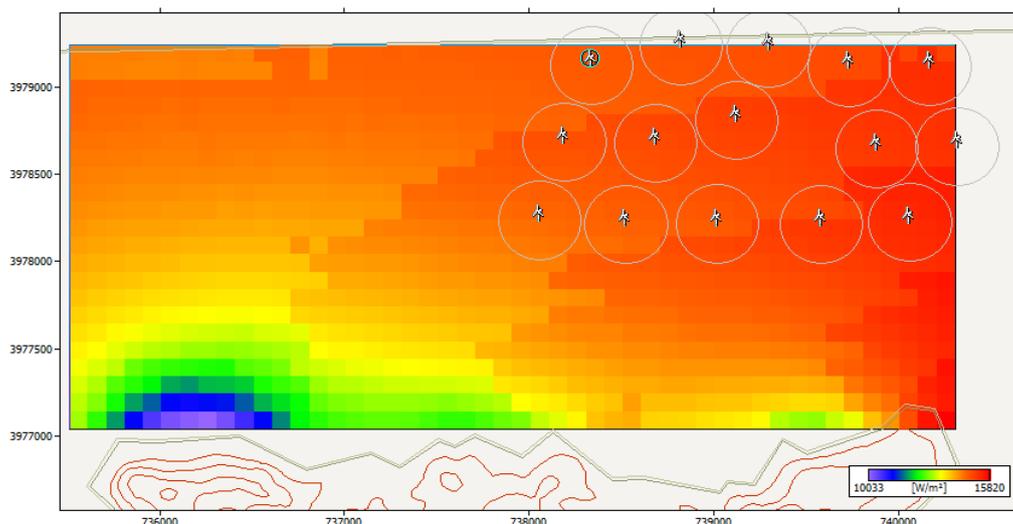


Figure III.16 : Disposition des éoliennes « Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d'Arzew en termes de densité de puissance de vent.

Le « **Tableau III.8** » représente le résultat final du logiciel WAsP après l'intégration des données nécessaires à savoir, les coordonnées géographiques de chaque éolienne, son élévation par rapport au niveau de la mer, la hauteur de la tour et ses caractéristiques propres (la vitesse moyenne annuelle U , la densité de puissance moyenne annuelle P , les deux paramètres de Weibull, la production énergétique annuelle brute « AEP Gross », la production énergétique annuelle nette « AEP Net », le taux de perte dû à l'effet de sillage).

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev [m]	RIX [%]	d. RIX [%]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]
Turbine site 001	740173,5	3979116,0	50,0	0,3	0,2	84,0	11,93	7,592	7,008	7,69
Turbine site 002	739734,9	3979112,0	50,0	0,4	0,4	84,0	11,91	7,594	7,030	7,42
Turbine site 003	739298,8	3979221,0	50,0	0,4	0,4	84,0	11,89	7,596	7,035	7,38
Turbine site 004	738823,4	3979236,0	50,0	0,5	0,5	84,0	11,88	7,600	7,172	5,62
Turbine site 005	738339,9	3979123,0	50,0	0,9	0,8	84,0	11,86	7,616	7,404	2,79
Turbine site 006	740319,9	3978657,0	50,0	0,3	0,2	84,0	11,92	7,581	6,866	9,43
Turbine site 007	739883,7	3978646,0	50,0	0,5	0,5	84,0	11,89	7,586	6,875	9,37
Turbine site 008	739124,8	3978806,0	50,0	0,7	0,7	84,0	11,86	7,600	6,871	9,58
Turbine site 009	738684,9	3978676,0	50,0	1,2	1,2	84,0	11,83	7,600	6,863	9,7

Chapitre III : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Turbine site 010	738192,4	3978684,0	50,0	1,3	1,3	84,0	11,82	7,615	7,249	4,8
Turbine site 011	740063,0	3978224,0	50,0	0,7	0,7	84,0	11,87	7,572	6,857	9,44
Turbine site 012	739584,3	3978212,0	50,0	0,9	0,9	84,0	11,83	7,577	6,865	9,41
Turbine site 013	739021,8	3978215,0	50,0	1,2	1,2	84,0	11,79	7,589	6,869	9,48
Turbine site 014	738525,7	3978213,0	50,0	1,4	1,3	84,0	11,76	7,596	6,957	8,41
Turbine site 015	738057,0	3978236,0	50,0	1,6	1,6	84,0	11,75	7,602	7,252	4,61

Tableau III.8 : Caractéristiques des éoliennes de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dans la zone favorable d’Arzew.

- La production annuelle globale Net (AEP NET) de la ferme éolienne est estimée à 105,174 GWh/an avec une moyenne de 7,012 GWh par éolienne.
- la production énergétique annuelle brute (AEP GROSS) de la ferme éolienne est estimée à 113,915 GWh/an avec une moyenne de 7,594 GWh par éolienne.
- La vitesse moyenne annuelle varie entre 11,75 et 11,93 m/s avec une moyenne estimée de 11,85m/s.
- La densité de puissance moyenne varie de 13727 à 14342 W/m² avec une moyenne estimée de 13989 W/m².
- Le taux de perte dû à l'effet de sillage varie entre 2.79 % et 9.7 %.

III.3.2 Comparaison des résultats et le choix final :

Par comparaison des résultats, on remarque qu'il n'y a pas beaucoup de différence entre les trois premiers types d'éoliennes («GE 1.5s offshore WTG», «Vestas V80 2 MW offshore», « Siemens SWT-2.3-93 Offshore »). La production énergétique annuelle globale a augmenté à un rythme lent. Il est noté que la production énergétique nette respective de ces trois types d'aérogénérateurs est égale à (3.051, 3.9 51, 4.831 GWh).Par contre, la production énergétique nette d'une éolienne de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » dépasse les 7 Gwh.

Enfin, l'éolienne horizontale choisie est «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » de puissance nominale de 3000 kW, ce modèle a été choisi en fonction des caractéristiques du site après une comparaison entre les quatre éoliennes offshore en analysant leurs courbes de puissance [1].

III.4 Conclusion :

Ce dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats relatifs à l'étude de deux régions différentes l'une à Oran et l'autre à Arzew en utilisant quatre types d'éoliennes («**GE 1.5s offshore WTG**», «**Vestas V80 2 MW offshore**», «**Siemens SWT-2.3-93 Offshore** », «**Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore** »).

La simulation et l'optimisation présentée a été effectuée avec l'aide du logiciel WASP.

Pour la région d'Oran, après affichage des résultats graphiques en termes de vitesse moyenne et de densité de puissance de vent et l'estimation de la production énergétique annuelle de ces types d'éoliennes pour aboutir à un choix objectif et rationnel du type d'éolienne à installer. On a choisi la ferme éolienne de 15 aérogénérateurs de type «**Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore** »

Pour la région d'Arzew, l'analyse des résultats graphiques en termes de vitesse moyenne et de densité de puissance de vent avec l'estimation de la production énergétique annuelle du parc éolien posé nous permet finalement d'aboutir à un choix de l'éolienne à installer. Il s'agit d'une ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs de type «**Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore** ».

Référence :

[1] **HADJIDJ.S** «Conception, modélisation, simulation et optimisation d'un projet d'une ferme éolienne Implantation sur site favorable». Thèse de doctorat. Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen. Soutenu en juin 2019.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Avec l'épuisement prévisible des énergies fossiles et les répercussions négatives sur l'environnement des énergies non conventionnelles (gaz et pétrole de schiste), le recours aux énergies renouvelables et propres s'impose.

L'énergie solaire et l'énergie éolienne terrestre sont de plus en plus utilisées pour produire l'électricité et la plupart des pays disposant de façades maritimes n'hésite plus à recourir à l'éolien offshore qui présente des avantages inespérés.

Quant à l'Algérie, l'éolien offshore ne concerne à ce jour que les chercheurs dans les différents laboratoires des grandes écoles et universités. Il est temps que nos gouvernants s'impliquent à travers des initiatives (législation et mesures incitatives) pour permettre à des investisseurs de s'engager dans ce créneau utile aussi bien pour la sécurité énergétique du pays que pour la protection de l'environnement.

Notre étude nous a permis de déterminer que l'Algérie dispose réellement de potentialités certaines en matière de l'énergie éolienne offshore.

Pour la région d'Oran, après affichage des résultats graphiques en termes de vitesse moyenne et de densité de puissance de vent et l'estimation de la production énergétique annuelle de ces types d'éoliennes pour aboutir à un choix objectif et rationnelle du type d'éolienne à installer. On a choisi la ferme éolienne de 15 aérogénérateurs de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore »

Pour la région d'Arzew, l'analyse des résultats graphiques en termes de vitesse moyenne et de densité de puissance de vent avec l'estimation de la production énergétique annuelle du parc éolien posé nous permet finalement d'aboutir à un choix de l'éolienne à installer. Il s'agit d'une ferme éolienne constituée de 15 aérogénérateurs de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore ».

L'absence de données sur le cout d'une ferme éolienne offshore de 15 aérogénérateurs de type «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » ne nous permet pas d'apprécier la faisabilité du projet même si sur le plan environnemental, une expérience pourrait être envisagée.

Résumé :

L'Algérie est un pays riche en ressources énergétiques renouvelables qui assurent une production d'électricité illimitée. Dans notre pays, ce créneau est encore peu exploité. Même si l'énergie solaire connaît depuis quelques années un certain développement, l'énergie éolienne accuse un retard considérable.

Dans ce mémoire nous avons étudié le choix d'un type d'éolienne installée dans deux sites maritimes favorables de l'ouest algérien (Oran et Arzew). A cet effet, le programme d'analyse et d'application de l'atlas éolien «WAsP» a été utilisé pour évaluer la production énergétique de quatre types différents d'éoliennes («GE 1.5s offshore WTG», «Vestas V80 2 MW offshore», « Siemens SWT-2.3-93 Offshore », «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore »).

Les résultats obtenus montrent clairement que le type approprié pour les deux régions est le «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore » car il donne le meilleur rendement énergétique.

Les deux sites sélectionnés sont en mesure de recevoir deux parcs éoliens Offshore composés de 15 éoliennes, d'une puissance nominale de 3000 kW. La production annuelle nette d'énergie du parc éolien de la région d'Oran est d'environ 208.885 GWh/an avec une moyenne de 13.926 GWh / an pour chaque éolienne. Quant à la région d'Arzew, elle est d'environ 105,174 GWh/an avec une moyenne de 7,012 GWh / an pour chaque éolienne.

Mots clés :

Ferme éolienne offshore, WAsP, Potentiel éolien, types d'éoliennes, Production énergétique.

ملخص:

الجزائر بلد غني بموارد الطاقة المتجددة التي تضمن إنتاجًا غير محدود للكهرباء. في بلدنا، لا يزال هذا المجال مستغلًا بشكل ضئيل. على الرغم من أن الطاقة الشمسية قد شهدت بعض التطور في السنوات الأخيرة، إلا أن طاقة الرياح تشهد تأخرًا ملحوظًا.

في هذه الأطروحة قمنا بدراسة كيفية اختيار نوع توربينات الرياح المثبتة في موقعين بحريين ملائمين في غرب الجزائر (وهران و أرزيو)، ولهذا تم استخدام برنامج تحليل وتطبيق أطلس الرياح "WAsP". لتقييم إنتاج الطاقة لأربعة أنواع مختلفة من توربينات الرياح، («GE 1.5s offshore WTG»، «Vestas V80 2 MW offshore»، « Siemens SWT-2.3-93 Offshore », «Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore »).

تظهر النتائج المتحصل عليها بوضوح أن نوع التوربين المناسب لكلا المنطقتين هو " Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore " لأنه يعطي أفضل مردود طاقي.

الموقعان المختاران قادران على استقبال مزرعتي رياح تتكونان من 15 توربينات رياح، بطاقة اسمية تبلغ 3000 كيلو وات. حيث يبلغ صافي إنتاج الطاقة السنوي لمزرعة الرياح لمنطقة وهران حوالي 208.885 جيجا وات في الساعة سنويا أي بمتوسط 13.926 جيجا وات في الساعة سنويا لكل توربين رياح. أما منطقة أرزيو فيبلغ حوالي 105.174 جيجا وات في الساعة سنويا أي بمتوسط 7.012 جيجا وات في الساعة سنويا لكل توربين رياح.

الكلمات المفتاحية:

مزرعة الرياح البحرية، WAsP، امكانات الرياح، انواع التوربينات، انتاج الطاقة.

Summary:

Algeria is a country rich in renewable energy resources which ensure unlimited electricity production. In our country, this niche is still little exploited. Although solar energy has experienced some development in recent years, wind energy is lagging far behind.

In this thesis we have studied the choice of a type of wind turbine installed in two favourable maritime sites in western Algeria (Oran and Arzew). To this end, the "WAsP" wind atlas analysis and application program was used to assess the energy production of four different types of wind turbines (GE 1.5s offshore WTG, Vestas V80 2 MW offshore, Siemens SWT-2.3-93 Offshore, Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore).

The results obtained clearly show that the appropriate type for both regions is the "Vestas V112-3.0 MW 50 Hz Offshore" because it gives the best energy efficiency.

The two selected sites are able to accommodate two offshore wind farms made up of 15 wind turbines, with a nominal power of 3000 kW. The net annual energy production of the wind farm in the Oran region is around 208,885 GWh / year with an average of 13,926 GWh / year for each wind turbine. As for the Arzew region, it is around 105.174 GWh / year with an average of 7.012 GWh / year for each wind turbine

Keywords:

Offshore wind farm, WAsP, Wind potential, types of wind turbines, Annual energy production.