



**Rapport court sur l'énquête du potentiel de vent et
sur le rendement énergétique d'un parc éolien
envisagé**

GTZ-Projet no. PN 97.2019.4-002.01

Site: Kayar (Sénégal)

Commettant:

**Deutsche Gesellschaft für Technische
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**

Dag-Hammarskoeld-Weg 1-5

D-65760 Eschborn

Mandataire:

Deutsche WindGuard GmbH

Oldenburger Straße 65

26316 Varel

Projet no.: VW 05150

Date: 2008/11/05

L'enquête du potentiel de vent et du rendement énergétique du parc éolien envisagé

Site: Kayar (Sénégal)

Deutsche WindGuard GmbH
Oldenburger Straße 65
26316 Varel
Tel.: +49 (0)4451-9515-0
Fax: +49 (0)4451-9515-29
Email: info@windguard.de

Commettant: Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit
(GTZ) GmbH
Dag-Hammarskoeld-Weg 1-5
D-65760 Eschborn
Proj.-no. PN 97.2019.4-002.01

Contact: Frau Angelika Wasielke

Projet no.: VW 05150

Version: 1

Date: 2008/11/03

Élaboré par:



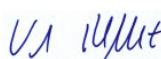
Dipl Kffr. Bärbel Eichler

Élaboré par:



Dipl. Umweltwiss. Jens Pöhlker

Vérifié et autorisé par:



Dr-Ing. Knud Reffeldt

LE CONTENU

0	LE SOMMAIRE	4
1	L'INTRODUCTION	6
2	LA DISCRIPTION DU SITE ET DE LA POSITION	7
2.1	La carte des alentours	8
2.2	Les emplacements des éoliennes	9
3	LA COURBE DE PUISSANCE ET DE COEFFICIENT DE POUSSEE	11
3.1	Modèle d'éolienne Vestas V-52/850 kW	11
3.2	Modèle d'éolienne Gamesa G-58-850 kW	11
4	LA BASE DE DONNEES	12
4.1	Données de WWA	13
4.2	Stations météorologiques	13
5	L'ELABORATION DES DONNEES	14
5.1	L'évaluation des données de mesure spécifique au site	14
5.2	La référence de long terme	15
5.3	La modélisation de l'écoulement	16
5.4	Le calcul d'efficacité du parc et des rendements énergétiques annuels	16
6	LE PRONOSTIQUE DES CONDITIONS DE VENT	17
7	LE PRONOSTIQUE DU RENDEMENT ENERGETIQUE PAR ANNEE	19
8	LES RÉFÉRENCES	21

0 Le sommaire

Pour le parc éolien envisagé à Kayar, Deutsche WindGuard GmbH (DWG) avait élaboré une expertise indépendante du rendement énergétique et du potentiel de vent.

Le pronostic du rendement énergétique est basée sur le résultat d'une mesure de vent supervisé par DWG qui était effectuée sur le site par un mât en hauteur de 40 mètres. Pour cette expertise il y avait une période de mesure de approximatif 12 mois.

Les données des stations météorologiques différentes dans la région ainsi que de «World Wind Atlas » (voyez la partie 5.2) étaient exploitées pour une évaluation de long terme des mesures présents. Il n'y avait qu'une source des données qui présente une corrélation acceptable en sorte que les présupposition étaient satisfaits pour la réalisation d'une référence de long terme. Une analyse comparée des données de long terme des stations différentes donnait une période de 16 ans dans laquelle les données étaient pues classifier consistants.

Comme la source de long terme les données de la station météorologique à Dakar étaient employées. Le résultat découvrait que la période de mesure était supérieur à la moyenne. En conséquence les vitesses de vent étaient mises corrélativement à l'échelle.

Après avoir conféré avec les clients, le calcul du rendement énergétique du parc éolien à Kayar était effectué pour deux types des centrales éoliennes différentes. Ce calcul était aussi basée sur les plans de masse du parc confectionnés par les auteurs. Les résultat essentiels du calcul sont exposés à partir de la partie 6 et sont résumés dans le tableau suivant.

Les résultats du rendement énergétique brut présente le rendement énergétique annuel (AEP) du parc éolien (sous la considération des pertes d'énergie dû à l'interaction des éoliennes au parc). Ils ne considèrent pas les pertes énergétique à cause des problèmes techniques, par exemple la non-disponibilité.

La fixation d'un abattement de sécurité raisonnable n'était pas une partie du travaux effectué.

Configuration du parc éolien	Conf. 1	Conf. 2
Fabricants d'éoliennes	Vestas	GAMESA
Modèles d'éoliennes	V52/850kW	G58-850kW
Nombre d'éoliennes	12	12
Puissance nominale installée	10.2 MW	10.2 MW
Hauteur du moyeu	74 m	71 m
Résultat pour les vitesses de vent		
Vitesse de vent moyen en hauteur du moyeu	5.8 m/s	5.7 m/s
Degré d'efficacité du parc éolien	94.7 %	93.8 %
Rendement brut de long terme		
Rendement énergétique annuel (AEP)	149.5 GWh	181.9 GWh

1 L'introduction

Deutsche WindGuard GmbH („DWG“) était commissionnée avec le projet „Capacity Building dans le domaine des mesures du vent au Sénégal“. Une partie de ce projet contient l'enquête du potentiel de vent et du rendement énergétique au site à Kayar. Dans ce contexte, les travaux suivants étaient effectués.

- L'exploitation des données de mesure présentes et spécifiques au site ;
- L'exploitation et l'évaluation des données de long terme ;
- L'exécution d'une référence de long terme des données de mesure spécifiques au site ;
- L'enquête de la répartition de la direction des vents au site;
- L'enquête du rendement énergétique des éoliennes (WEA) prévisionnelles par année ;
- Le calcul du degré d'efficacité au parc éolien ;

Le plan de masse du parc éolien, qui est à la base de la calcul, était proposé par Deutsche Windguard. Si nécessaire, un ajustement sur les réalités locales doit être effectuées. Les modèles d'éolienne étaient choisis exemplairement après avoir conféré avec les clients.

Le rapport présent est un abrégé qui concerne le rapport no. PRO 08011 du 03.11.2008. Quant à la façon de procéder détaillée pour l'élaboration d'un pronostique du rendement énergétique et de l'enquête du potentiel de vent, il est fait référence au rapport no. PRO 08011 du 03.11.2008.

La recherche présentée était effectuée impartialement à l'état de la technique et en toute conscience. DWG ne se porte pas garant des résultats déterminés et la pertinence de la présentation dans ce rapport.

Les travaux qui sont exposés dans le rapport, correspondent au standard actuel, à la recommandation et au système de management de la qualité de DWG.

Chaque multiplication par extraits du rapport présent nécessite préalablement une autorisation écrite de DWG. Les résultats du rapport sont seulement valide pour le site et la configuration analysé.

2 La description du site et de la position

Le site prévu pour le parc éolien à Kayar, qui est situé dans la région Thiès à l'ouest de Sénégal, se trouve entre plusieurs petits villages (Kayar, Diender, Guedj, Ndam, Mabaouane et Berr Tialane) et à 40 km nord-est de la capitale Dakar ainsi qu'à 25 km nord-ouest de la ville Thiès. Le côté d'océan Atlantique se déroule à une distance d'environ 500 m à ouest du site prévu.

Une carte détaillée du site prévu qui monte aussi les positions d'éoliennes, est exposée dans la Figure 1.

Près du site prévu, Deutsche WindGuard GmbH avait installé une mesure du vent. Le mât de mesure fait 40 m. Le mât était édifié en l'espace du site du parc éolien dans un emplacement minime exposé. Les données de la mesure du mât étaient utilisés pour le pronostique du rendement énergétique du parc.

Pendant l'édification du mât, Markus Meyer zu Himmern qui est un collaborateur de Deutsche Windguard, avait visité le site le 19.07.2007.

Toutes les 12 éoliennes du parc à Kayar sont lieu dans un zone d'environ 1.5 km x 2.0 km.

Le site prévu du parc se trouve dans un terrain approximatif plat. Les différence de niveau varient entre 1 m et 25 m au-dessus du niveau de mer. Les positions d'éoliennes sont entre une hauteur de 4 m et 13 m. Le moyen des hauteurs est 7 m.

Le paysage est marqué largement par un terrain sableuse et ouvert et par des buissons isolés ou bien par des petits bosquets. A l'ouest du site prévu du parc éolien, il y a une forêt au côté avec des arbres qui sont hauts d'environ 6-8 m. Cependant une petite rugosité pouvait être prise comme point de départ pour le terrain au totale. Le paysage des alentours est marqué par des dunes de sable bien que par des petites villages. Les bâtiment qui avoisinent le site prévu du parc éolien, étaient cernés avec les photographies aériennes disponible. Des cartes topographique actuelle n'étaient pas à la disposition. Des changements d'édification qui avaient possiblement lieu entre-temps, en particulier vers le mât, ne pouvait pas être jugés.

L'enquête effectué des proportions de vent se base sur une discription détaillé de la rugosité du terrain et de l'orographie dans un rayon du moins de 10 km autour de chaque éolienne envisagée. Un zone de 15 km x 15 km au totale était cerné par une discription digitalisée de la rugosité du terrain et de l'orographie.

2.1 La carte des alentours



Figure 1: Les emplacements envisagés des éoliennes sont marqués par des symboles rouges (1-12). L'emplacement du mât de mesure est exposé par un symbole d'anémomètre en bleu (1).

2.2 Les emplacements des éoliennes

Les emplacements des éoliennes peuvent être déduit du plan d'ensemble qui est exposé dans la Figure 2. Les coordonnées UTM des emplacement (WGS 84, Zone 28) sont listés dans les tableaux suivants, autant que les hauteurs des emplacements, la modèle et le dimensionnement des éoliennes envisagées.

Configuration du parc éolien 1								
No. d'éolienne	Coordonnées UTM WGS 84 (Zone 28)		Hauteur [m]	Fabricant d'éolienne	Modèle d'éolienne	Puissance nominale [kW]	Diamètre de rotor [m]	Hauteur du moyeu [m]
	Est [m]	Nord [m]						
1	270'997	1'648'978	10.0	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
2	271'271	1'648'709	6.7	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
3	271'572	1'648'459	5.0	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
4	271'897	1'648'225	5.0	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
5	272'193	1'647'980	8.9	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
6	270'685	1'648'586	9.6	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
7	270'968	1'648'324	6.9	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
8	271'266	1'648'082	5.2	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
9	272'211	1'647'425	5.0	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
10	271'546	1'647'809	4.3	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
11	272'533	1'647'827	13.1	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0
12	271'890	1'647'643	3.8	VESTAS	V 52	850	52.0	74.0

Tableau 1: Le parc éolien envisagé à Kayar, les emplacements envisagés des éoliennes Vestas V-52/850 kW, la puissance nominale, le diamètre de rotor et l'hauteur du moyeu.

Configuration du parc éolien 2								
No. d'éolienne	Coordonnées UTM WGS 84 (Zone 28)		Hauteur [m]	Fabricant d'éolienne	Modèle d'éolienne	Puissance nominale [kW]	Diamètre de rotor [m]	Hauteur du moyeu [m]
	Est [m]	Nord [m]						
1	270'997	1'648'978	10.0	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
2	271'271	1'648'709	6.7	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
3	271'572	1'648'459	5.0	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
4	271'897	1'648'225	5.0	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
5	272'193	1'647'980	8.9	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
6	270'685	1'648'586	9.6	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
7	270'968	1'648'324	6.9	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
8	271'266	1'648'082	5.2	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
9	272'211	1'647'425	5.0	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
10	271'546	1'647'809	4.3	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
11	272'533	1'647'827	13.1	GAMESA	G58	850	58.0	71.0
12	271'890	1'647'643	3.8	GAMESA	G58	850	58.0	71.0

Tableau 2: Le parc éolien envisagé à Kayar, les emplacements envisagés des éoliennes Gamesa G58-850 kW, la puissance nominale, le diamètre de rotor et l'hauteur du moyeu.

Le plan d'ensemble

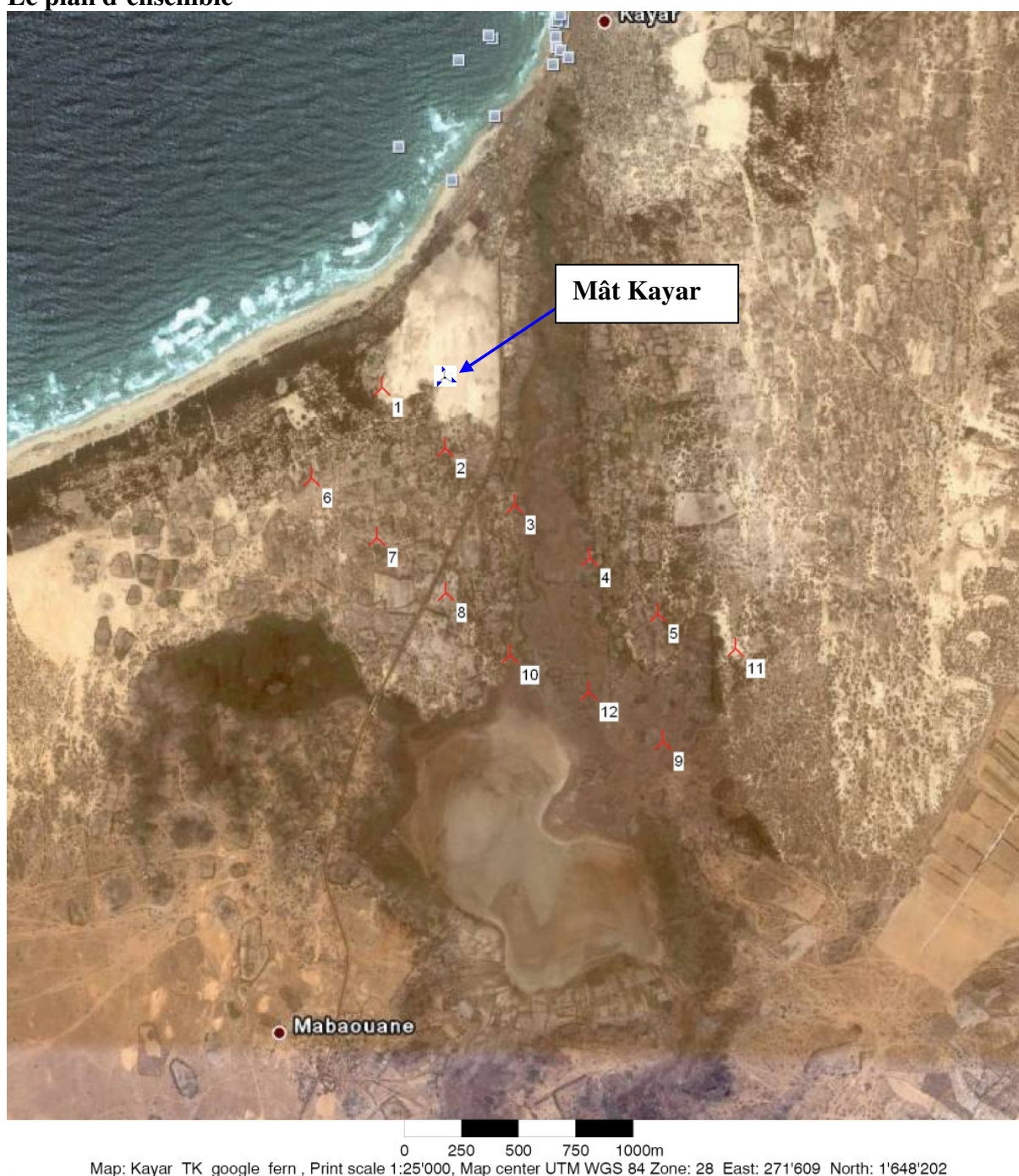


Figure 2: Le plan d'ensemble du parc éolien envisagé à Kayar. Les emplacements envisagés des éoliennes (les symboles rouges) sont numérotés et un composant du parc éolien envisagé à Kayar qui est l'objet de ce pronostic du rendement énergétique. La position du mât de mesure est marquée avec une flèche bleue.

3 La courbe de puissance et de coefficient de poussée

Pour le calcul du rendement énergétique des courbes de puissance et de coefficient de poussée spécifique pour les modèles éoliennes envisagées sont nécessaires.

3.1 Modèle d'éolienne Vestas V-52/850 kW

- Une courbe de puissance et une de coefficient de poussée mesurée étaient mises à la disposition par le facteur. Ces courbes étaient utilisées pour le calcul du rendement énergétique (Extrait du rapport de Windtest WT1898/01, du 05.10.2001).
- La courbe de puissance était convertie (en référence à IEC 61400-12-1 [1]) individuellement au hauteur de moyeu pour chaque emplacement d'éolienne. La densité de l'air spécifique au site était déterminée à l'aide d'une corrélation de long terme des données de mesure au site et de la station météorologique à Dakar. Les densités de l'air calculées pour les emplacements des éoliennes différentes à une hauteur du moyeu de 74 m sont entre 1.175 kg/m^3 - 1.176 kg/m^3 . La courbe de puissance était ajustée concernant la densité de l'air spécifique au site.

3.2 Modèle d'éolienne Gamesa G-58-850 kW

- Une courbe de puissance et une de coefficient de poussée mesurée étaient mises à la disposition par le facteur. Ces courbes étaient utilisées pour le calcul du rendement énergétique (Extrait du rapport de DEWI PV0205-09.2, du 11.02.2003).
- La courbe de puissance était convertie (en référence à IEC 61400-12-1 [1]) individuellement au hauteur de moyeu pour chaque emplacement d'éolienne. La densité de l'air spécifique au site était déterminée à l'aide d'une corrélation de long terme des données de mesure au site et de la station météorologique à Dakar. Les densités de l'air calculées pour les emplacements des éoliennes différentes à une hauteur du moyeu de 71 m sont entre 1.175 kg/m^3 - 1.176 kg/m^3 . La courbe de puissance était ajustée concernant la densité de l'air spécifique au site.

4 La base de données

Le pronostique du rendement énergétique est basée sur une mesure de court terme, plus précisément d'une période d'environ 12 mois. Le mesure était effectuée par un mât en hauteur de 40 m. Après l'installation et la mise en service de la mesure le 18.07.2007 par Deutsche WindGuard GmbH, la mesure était encadrée permanentement.

Les données des stations météorologiques différentes dans la région ainsi que de «World Wind Atlas » étaient exploitées pour une corrélation sur le long terme. Les résultats de la évaluation des données de long terme sont exposé sur la partie 5.2. Le Tableau 3 donne un aperçu des données météorologique qui étaient utilisés.

Source de données	Typ de données	Coordonnées géographique (et la distance jusqu'au site)	Période de temps couvrée	Base de temps	Hauteur(s) de mesure ou bien l'hauteur de référéce [m]
Mât de mesure à Kayar	Mesure spécifique sur site	14.9058°N 17.1261°W	2007-07-21 – 2008-08-07	Valeur moyenne de 10 min	Vitesse de vent: 40, 30, 20 Direction de vent: 38
Dakar	Station météorologique	14.733°N 17.5°W environ 45 km	1992-2008	Sample toutes les 6 heures	Vitesse de vent: 10
World Wind Atlas	Données de re-analyse	Points: 15.0°N/17.5°W 15.0°N/15.0°W 17.5°N/17.5°W 17.5°N/15.0°W	1950 – 2008	Sample toutes les 6 heures	50

Tableau 3: L'aperçu des données météorologique qui étaient utilisés.

4.1 Données de WWA

Le World Wind Atlas (WWA) [5] se base sur des données de re-analyse de vent géostrophique mondial. Le NCAR [6] et le NCEP [7] avaient conditionné ces données dans un trame de 2.5° de latitude et de longitude. Dans le WWA, ces données sont convertis de manière rapprochée en 50 m respectivement 500 m au-dessus du fond. Ces données sont disponible pour une période depuis 1950.

4.2 Stations météorologiques

Les données des plusieurs stations météorologique étaient évalués et contrôlés concernant leur attitude sur le long terme, leur consistance et disponibilité. Ces données existent comme des valeurs moyennes de jour. Il s'agit des stations Rosso, Saint-Louis, Dakar, Diourbel et Kaolack. Les données des station au sol précités avec l'exception de la station Dakar ne sont pas en bien corrélation avec la mesure au site. L'évaluation des données et leur utilisation pour une référence de long terme sont décrits dans la partie **5.2**.

5 L'élaboration des données

Le pronostique du rendement énergétique pour le parc éolien envisagé à Kayar est basé en substance sur la mesure du vent qui était effectuée au site. Comme les conditions de vent peuvent varier massivement d'une année à l'autre, une référence de long terme des résultats de la mesure est nécessaire. Pour la référence, les données de la mesure au site et des données de long terme choisis sont corrélés. Les paramètres qui rendent possible la conversion des conditions mesurées de vent au site à une période pluriannuelle, se déduisent de l'analyse de corrélation.

Avec un modèle d'écoulement, les données de la mesure au site référées au long terme étaient appliquées aux emplacements des éoliennes. Sur la base des conditions de vent pronostiqués, le calcul du rendement énergétique de chaque éolienne envisagée bien que du degré d'efficacité du parc était conduit. Les parties suivantes entrent dans le détail de chaque procédure.

5.1 L'évaluation des données de mesure spécifique au site

5.1.1 La préparation et la vérification des données

Les données de la mesure du vent au site bien que de la station météorologique à Dakar étaient examinées quant à leur plausibilité et leur intégralité.

Pour la vérification des données de la mesure du vent au site, tous les paramètres d'étalonnage (les inclinaisons et les « Offsets » de niveau d'étalonnage) étaient appliquées aux données brutes, conformément aux protocoles d'étalonnage. Avant le début de la mesure en l'an 2005, les anémomètres étaient calibrés par Deutsche WindGuard, conformément aux directives de MEASNET [3]. La direction de vent était corrigée concernant la déclinaison magnétique présente au site.

Sur la base de la comparaison des conditions des vitesses de vent, DWG développait une procédure d'évaluation qui rend possible l'évaluation des conditions des vitesses de vent spécifique concernant la direction pendant la période entière de la mesure bien que le développement temporel. Avec cette procédure, DWG peut identifier avec une sensibilité haute des modifications dans la structure de la mesure, des défaillances des capteurs et des inconsistances éventuelles.

Les procédures précitées étaient effectuées au site à Kayar pour vérifier les données mesurées. L'anémomètre pertinente ne montrait aucun problème.

5.1.2 Les conditions de vent mesurées

La période présente des mesures du vent au site du parc éolien envisagé à Kayar et les données des stations météorologiques de long terme sont d'un long d'environ 12 mois. La corrélation sur le long terme qui était effectuée, s'appuie sur cette base de données.

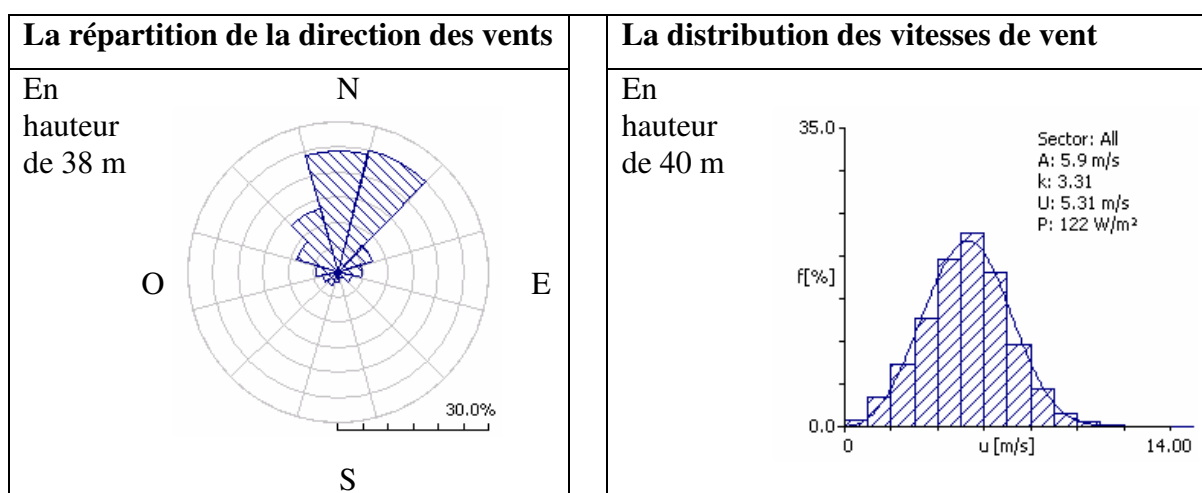


Figure 3: La répartition de la direction des vents et la distribution des vitesses de vent au mât en hauteur de **40 m (top-anémomètre)** qui étaient mesurées pendant la période 2007-07-21 – 2008-08-07.

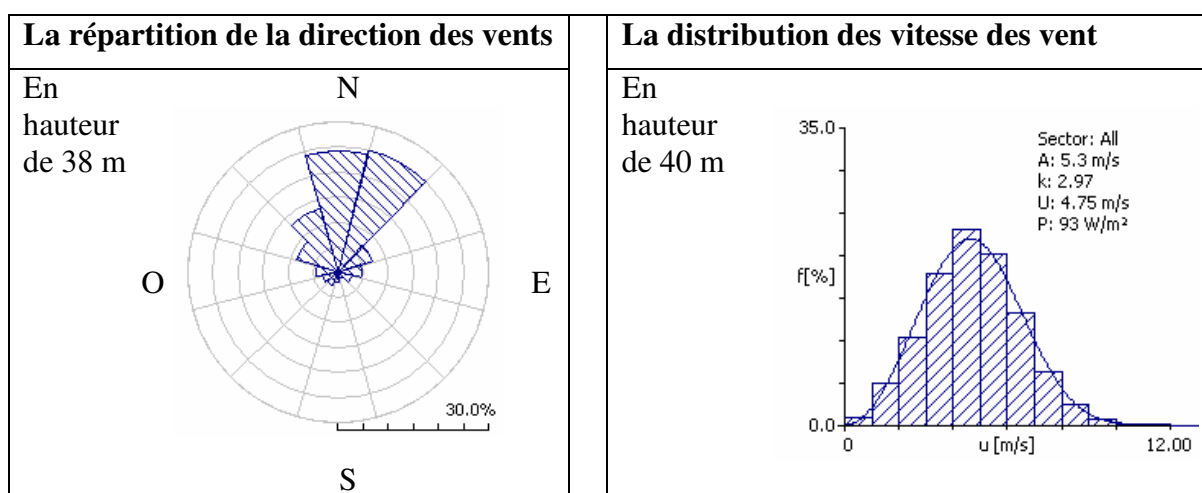


Figure 4: La répartition de la direction des vents et la distribution des vitesses de vent au mât en hauteur de **30 m (anémomètre de contrôle)** qui étaient mesurées pendant la période 2007-07-21 – 2008-08-07.

5.2 La référence de long terme

Une enquête sur le rendement énergétique devrait être effectuée sur la base d'une statistique de vent qui présente le moyen météorologique (100%-niveau) et qui peut être supposée représentative à l'avenir. D'un côté une période de 30 ans est recommandée comme période de référence pour un moyen stable [9]. D'autre côté, toutes les sources des données ont des restrictions concernant leur consistance et leur fiabilité. En conséquence, la nécessité d'une restriction de la période de long terme en faveur d'une période plus courte peut arriver. En cet occurrence, l'incertitude de la période de long terme est acceptée en faveur d'une incertitude plus petite de consistance de la source de données.

Pour chaque source des données de long term évaluée, une corrélation (régression linéaire) des valeurs moyenne de mois des vitesses de vent est effectuée. En raison des paramètres de la régression, les séries des données de long terme sont reconstruites pour le site. Avec la

reconstruction, la relation à la période de mesure présente peut être calculée comme facteur pour la mise à l'échelle.

L'utilisation de cette procédure donne la station météorologique à Dakar qui est la station la plus près de site comme station avec le plus haut coefficient de corrélation pour une période constante de 16 ans. Les conditions de vent qui étaient mesurées au site présentent des cours et des tendances ressemblants. Les autres sources des données comme le WWA et la station météorologique à Dakar confirment les valeurs mesurées. La période de long terme choisie est d'environ 16 ans, 08/1992-08/2008.

5.3 La modélisation de l'écoulement

Le transfert des données référés sur le long terme de la position du mât aux positions exactes et à l'hauteur du moyeu des éoliennes bien que le calcul du rendements énergétiques annuels s'opéraient après la procédure européenne d'atlas de vent avec l'aide de « Wind Atlas Analysis and Application Program » (WAsP, Version 9.0) de Risø National Laboratory, Roskilde, Danemark [2]. La modèle d'écoulement requiert une discription détaillée de terrain de site du parc éolien et des alentours comme paramètres d'entrée. Une digitalisation détaillée de la rugosité de terrain et de l'orographie étaient effectuées pour un zone de 15 km x 15 km autour du parc éolien envisagé. La discription du terrain se base sur la péripétration du site et sur des photographies aériennes.

5.4 Le calcul d'efficacité du parc et des rendements énergétiques annuels

Les effets d'écoulement de sillage en raison de la brouillage mutuelle entre les éoliennes sont modelés sur la base du modèle PARK de Risø National Laboratory, Roskilde, Danemark. La base d'entrée pour cette modélisation est la distribution de probabilité combinée de la vitesse et la direction de vent en hauteur du moyeu au emplacement de chaque éolienne envisagée (voyez partie 5.3, le résultat du modèle d'écoulement) bien que la configuration du parc, la diamètre de rotor et le coefficient de poussée d'éolienne. Le modèle PARK qui est implémenté dans le logiciel *WindPro* (Version 2.5) est utilisé pour les calculs. Le facteur de dissipation d'écoulement de sillage est mise en valeur standard 0.075.

Le résultat du modélisation d'écoulement de sillage est la distribution de probabilité combiné de la vitesse et la direction de vent en hauteur du moyeu au emplacement de chaque éolien sous la considération de l'écoulement de sillage. En définitive, les rendements énergétiques de chaque éolienne sont déterminés sur la base de la courbe de puissance et la distribution des vitesses de vent qui résultait de la modélisation. Un calcul pour la production énergétique avec un écoulement d'air libre est aussi conduit (le résultat de la modélisation d'écoulement sans considération des effets d'écoulement de sillage). La différence entre les deux calculs donne la perte d'énergie en raison de l'effet d'écoulement de sillage. Le degré d'efficacité est calculé comme la proportion de la production énergétique avec le facteur de dissipation d'écoulement de sillage inclu et la proportion de la production énergétique sans le facteur de dissipation. Pour tous les calculs de production énergétique, la densité moyenne de l'air en hauteur du moyeu au emplacement de chaque éolienne est considérée par le conversion des courbes de puissance normées après IEC 61400-12-1 [1].

6 Le pronostique des conditions de vent

Dans cette partie, les conditions de vent pronostiqués et le profilé de vent existant sont exposés exemplairement pour le site le plus central du parc éolien envisagé (entre les emplacements du WT3 & WT4 bien que entre WT8 & WT10. Les conditions de vent pour chaque éoliennes peuvent être extraits des tableaux suivants.

Résultats des vitesses de vent en hauteur de 50 m			
No. d'éoliennes	Distribution des vitesses de vent		
	Vitesse de vent moyenne [m/s]	Weibull A [m/s]	Weibull k [-]
1	5.5	6.2	2.95
2	5.4	6.0	3.00
3	5.3	5.9	2.99
4	5.2	5.8	2.94
5	5.2	5.8	2.90
6	5.5	6.2	2.92
7	5.4	6.0	2.97
8	5.3	5.9	2.97
9	5.1	5.7	2.85
10	5.2	5.8	2.93
11	5.2	5.8	2.84
12	5.1	5.8	2.92
En moyenne	5.3	5.9	2.93

Tableau 4: Les conditions de vent pronostiqués (référés à long terme) en hauteur de **50 m** aux emplacements des éoliennes envisagés.

Résultats des vitesses de vent pour la configuration 1 (12 x VESTAS V52_104dB_verm 850kW, hauteur du moyeu 74 m)			
No. d'éoliennes	Distribution des vitesses de vent		
	Vitesse de vent moyenne [m/s]	Weibull A [m/s]	Weibull k [-]
1	6.0	6.7	2.92
2	5.8	6.5	2.99
3	5.8	6.5	3.00
4	5.7	6.4	2.98
5	5.7	6.4	2.95
6	6.0	6.7	2.90
7	5.8	6.5	2.96
8	5.8	6.5	2.99
9	5.7	6.3	2.92
10	5.8	6.5	2.98
11	5.7	6.4	2.90
12	5.7	6.4	2.97
En moyenne	5.8	6.5	2.95

Tableau 5: Les conditions de vent pronostiqués (référés à long terme) en hauteur du moyeu de **74 m** aux emplacements des éoliennes envisagés.

Résultats des vitesses de vent pour la configuration 2 (12 x GAMESA G58_verm 850kW, hauteur du moyeu 71 m)			
No. d'éoliennes	Distribution des vitesses de vent		
	Vitesse de vent moyenne [m/s]	Weibull A [m/s]	Weibull k [-]
1	5.9	6.6	2.93
2	5.8	6.4	2.99
3	5.7	6.4	3.00
4	5.7	6.4	2.97
5	5.7	6.4	2.95
6	5.9	6.6	2.91
7	5.8	6.5	2.96
8	5.7	6.4	2.99
9	5.6	6.3	2.91
10	5.7	6.4	2.98
11	5.7	6.3	2.90
12	5.6	6.3	2.96
En moyenne	5.7	6.4	2.95

Tableau 6: Les conditions de vent pronostiqués (référés à long terme) en hauteur du moyeu de **71 m** aux emplacements des éoliennes envisagés.

7 Le pronostique du rendement énergétique par année

Sur la base des conditions de vent pronostiqués (voyez partie 6) les rendements énergétiques des éoliennes envisagées et les pertes d'énergie dû à l'interaction des éoliennes étaient déterminés. Les résultats des rendements énergétiques et du degré d'efficacité des éoliennes pour les configurations différentes sont exposés dans les tableaux suivants.

Le pronostique du rendement énergétique contient des incertitudes différentes. Les sources de cette incertitude réfèrent principalement au calcul de champ de vent soit le transfert des données mesurée en hauteur de 40 m aux emplacements des éoliennes diverses et aux hauteurs de 71 m et 74 m. En plus des pertes systématiques suivantes (entre autres) devrait être considérées :

- Les pertes à cause de la non-disponibilité technique des éoliennes,
- les pertes électrique de puissance et de la transformation,
- les pertes à cause d'opération spéciale d'éoliennes (p. ex. bruit réduit).

Rendements énergétiques pour 12 x Vestas V52/850 kW, hauteur du moyeu 74m			
No. d'éolienne	Rendement [MWh/a]		Efficacité du parc éolien [%]
	Écoulement d'air libre	Parc éolien (pertes du parc incluses)	
V52-1	1440	1427	99.1
V52-2	1322	1288	97.4
V52-3	1297	1262	97.3
V52-4	1275	1242	97.4
V52-5	1279	1243	97.2
V52-6	1441	1359	94.3
V52-7	1350	1230	91.1
V52-8	1300	1178	90.6
V52-9	1242	1143	92.0
V52-10	1296	1181	91.1
V52-11	1277	1254	98.2
V52-12	1254	1139	90.8
En somme	15775	14946	94.7
En moyenne	1315	1246	
Rendement énergétique spécifique [MWh/a/m²]	0.970	0.862	

Tableau 7: Le rendement énergétique annuel et l'efficacité du parc éolien pronostiqués pour le parc éolien envisagé à Kayar avec la modèle d'éolienne Vestas V52/850kW.

Rendements énergétiques pour 12 x Gamesa G58-850 kW, hauteur du moyeu 71 m			
No. d'éolienne	Rendement [MWh/a]		Efficacité du parc éolien [%]
	Écoulement d'air libre	Parc éolien (pertes du parc incluses)	
G58-1	1773	1755	99.0
G58-2	1632	1581	96.9
G58-3	1599	1546	96.7
G58-4	1563	1515	96.9
G58-5	1568	1515	96.6
G58-6	1776	1662	93.6
G58-7	1664	1491	89.6
G58-8	1602	1424	88.9
G58-9	1522	1376	90.4
G58-10	1591	1422	89.4
G58-11	1565	1531	97.8
G58-12	1536	1369	89.1
En somme	19391	18187	93.8
En moyenne	1616	1516	
Rendement énergétique spécifique [MWh/a/m²]	0.970	0.862	

Tableau 8: Le rendement énergétique annuel et l'efficacité du parc éolien pronostiqués pour le parc éolien envisagé à Kayar avec la modèle d'éolienne **Gamesa G58-850 kW**.

8 Les références

- [1] IEC 61400-12-1, Wind Turbines – Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines, 2005
- [2] Troen, Ib; E.L. Petersen et al: Europäischer Windatlas, Roskilde, Risø National Laboratory, 1990.
- [3] MEASNET, Cup Anemometer Calibration Procedure, 1997
- [4] International Standards Organisation, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995
- [5] World Wind Atlas (WWA): digital wind atlas, Sander+Partner GmbH/Schweiz; <http://www.sander-partner.ch>
- [6] National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder Colorado USA; <http://www.ncep.ucar.edu/ncar>.
- [7] National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Camp Springs Maryland USA; <http://www.ncep.noaa.gov/>
- [8] Investigation and Classification of the Anemometer Thies First Class, Excerpt of report Deutsche WindGuard Wind Tunnel Services GmbH AK 03 002, 2003
- [9] A. Albers; Long-Term Variation of Wind Potential: How Long is Long Enough? Proceedings of Deutsche Windenergiekonferenz (DEWEK), 2004
- [10] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 6: Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen, Rev. 07, 10.09.2007, Fördergesellschaft Windenergie e.V., D-22083 Hamburg