



Nachida Kasbadji Merzouk
Mustapha Merzouk

Gisement Energetique Eolien

Profil vertical de la vitesse du vent



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1	1.3.1.2 Distribution hybride de Weibull	13
CHAPITRE 1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET PROBLEMATIQUE		1.3.1.3 Distribution de Rayleigh	14
1.1 INTRODUCTION	5	1.3.2 VARIATION SPATIALE (ATLAS DE L'ALGERIE)	14
1.2 ELEMENTS DE PHYSIQUE ATMOSPHERIQUE	6	1.3.2.1 Travaux de Said et all	15
1.2.1 STRUCTURE ATMOSPHERIQUE	6	1.3.2.2 Travaux de Bensaad	15
1.2.1.1 Force gravitationnelle	7	1.3.2.3 Atlas Vent de Hammouche	16
1.2.1.2 Force de pression	7	1.3.2.4 Atlas éolien de Kasbadji Merzouk	16
1.2.1.3 Force de Coriolis	7	1.4. EXTRAPOLATION VERTICALE DES PARAMETRES	
1.2.1.4 Forces de frottement	8	VENT	16
1.2.2 COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE	8	1.4.1 PROFIL VERTICAL DE LA VITESSE DU VENT	17
1.2.2.1 Couche limite de surface (CLS)	9	1.4.1.1 Modèle de similitude de Monin-Obukov	17
1.2.2.2 Couche limite d'Eckerman	10	1.4.1.2 Travaux de Paulson	18
1.2.3 STABILITE ATMOSPHERIQUE	10	1.4.1.3 Récapitulatif de Dyer	20
1.2.3.1 Conditions atmosphériques instables	11	1.4.1.4 Travaux de Nieuwstadt	21
1.2.3.2. Conditions neutres	11	1.4.1.5 Travaux de Van Wijk	21
1.2.3.3. Conditions stables	11	1.4.1.6 Travaux de B. Lange et all	22
1.2.4. ORIGINE DU VENT	11	1.4.2 EXTRAPOLATION VERTICALE DE LA VITESSE DU VENT	24
1.3 CARACTERISATION HORIZONTALE DE LA VITESSE DU VENT	12	1.4.2.1 Loi logarithmique	24
1.3.1 MODELE D'AJUSTEMENT	12	1.4.2.2 Loi de puissance 1/7	24
1.3.1.1 Distribution de Weibull	13	1.4.2.3 Loi de puissance	26
		1.4.2.4 Loi de puissance modifiée	27
		1.4.2.5 Loi à coefficient variable	27
		1.4.3 EXTRAPOLATION DES PARAMETRES DE WEIBULL	28
		1.4.3.1 Modèle d'extrapolation de Justus et Mikhaïl	28
		1.4.3.2 Modèle modifié d'extrapolation de Justus	28
		1.4.3.3 Modèle modifié d'extrapolation de Mikhaïel	29
		1.4.3.4 Modèle d'extrapolation de Spétra et all	29

1.4.4 TEST DES MODELES D'EXTRAPOLATION	30
1.4.4.1 Test de Peterson	30
1.4.4.2 Test de Mikhaïel	31
1.4.4.3 Test de Poje	31
1.4.4.4 Test de Pneumatikos	32
1.5 AVANCEES TECHNOLOGIQUES	33
1.5.1 EXPANSION DES APPLICATIONS EOLIENNES	33
1.5.2 EOLIENNES DE POMPAGE	34
1.5.2.1 Eoliennes de pompage mécanique	34
1.5.2.2 Eoliennes de pompage électrique	34
1.5.3 INSTALLATION DE GRANDES PUISSANCES	34
1.5.3.1 Fermes éoliennes	34
1.5.3.2 Aérogénérateurs de grandes puissances	34
1.5.4 SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES	36
1.5.4.1 Matériaux du support	37
1.5.4.2 Matériaux des pâles	37
1.6 POSITION DU PROBLEME	38
1.6.1 INTERPOLATION HORIZONTALE	38
1.6.2 EXTRAPOLATION VERTICALE	39
1.7 CONCLUSION	40

III

CHAPITRE 2 : ETABLISSEMENT DE L'ATLAS EOLIEN DE L'ALGERIE

2.1 INTRODUCTION	41
2.2 VARIATION TEMPORELLE DE LA VITESSE MOYENNE DU VENT	41
2.2.1 MESURE INSTANTANEE DE LA VITESSE DU VENT	42
2.2.2 VARIATION JOURNALIERE MOYENNE DE LA VITESSE DU VENT	42
2.2.3 VARIATION SAISONNIERE DE LA VITESSE DU VENT	43
2.2.4 VARIATION PLURIANNUELLE DE LA VITESSE DU VENT	45
2.3 ETUDE STATISTIQUE	47
2.3.1 DEFINITION DES PARAMETRES VENT	47
2.3.1.1 Vitesse moyenne, vitesse cubique moyenne et variance type	47
2.3.1.2 Facteur de puissance et indice de variation	47
2.3.2 METHODE D'AJUSTEMENT	48
2.3.2.1 Méthode des moindres carrées	48
2.3.2.2 Méthode de la vitesse moyenne et de l'écart type	50
2.3.2.3 Méthode de la vitesse moyenne et de la variabilité des vents	51
2.3.2.4 Méthode du maximum de vraisemblable	51
2.3.3 VARIATION DES PARAMETRES WEIBULL	52
2.3.3.1 Forme de la distribution de Weibull	52
2.3.3.2 Variation mensuelle de la distribution de Weibull	55

IV

2.3.3.3 Variation sectorielle des paramètres de Weibull	55
2.3.3.4 Variation des paramètres de Weibull avec l'altitude	57
2.3.3.5 Variation des vitesses moyennes	58
2.4 INTERPOLATION SPATIALE DES PARAMETRES VENT	59
2.4.1 METHODE D'INTERPOLATION	59
2.4.2 ATLAS DE LA VITESSE MOYENNE ANNUELLE DU VENT	62
2.4.2.1 Données utilisées	62
2.4.2.2 Atlas de la vitesse du vent	62
2.4.3 ATLAS DE LA VITESSE MOYENNE SAISONNIERE DU VENT	64
2.4.4 ATLAS MICROCLIMATIQUES DE LA VITESSE MOYENNE DU VENT	67
2.4.4.1 Présentation du modèle de projection-interpolation	67
2.4.4.é Cartographie éolienne de quelques sites	68
2.5 POTENTIEL ENERGETIQUE EOLIEN	74
2.5.1 PUISSANCE ENERGETIQUE DISPONIBLE	74
2.5.2 POTENTIEL ENERGETIQUE EOLIEN RECUPERABLE (THEOREME DE BETZ)	75
2.5.3 PUISSANCE EOLIENNE MOYENNE UTILISABLE	79
2.5.4 PUISSANCE EOLIENNE MOYENNE UTILE	80
2.6 CONCLUSION	81

**CHAPITRE 3 : EXTRAPOLATION VERTICALE DES
PARAMETRES VENT**

3.1 INTRODUCTION	83
3.2 METHODE D'EXTRAPOLATION VERTICALE	83
3.2.1 DETERMINATION DES CLASSES DE STABILITE	84
3.2.2.1 Détermination de la vitesse de frottement et de la rugosité du sol	85
3.2.2.2 Détermination de l'échange par chaleur sensible	86
3.2.3 METHODE D'EXTRAPOLATION VERTICALE DU VENT	88
3.2.3.1 Extrapolation verticale de la vitesse du vent	88
3.2.3.2 Extrapolation des paramètres de Weibull	89
3.3 ETUDE EXPERIMENTALE	91
3.3.1 APERÇU SUR LA REGION D'IMPLANTATION DU PYLONE DE MESURE	91
3.3.2 TECHNIQUE DE MESURES RECOMMANDEES	92
3.3.3 PYLONE DE MESURE	93
3.3.4 DONNEES MESUREES	94
3.3.5 TRAITEMENT DES DONNEES	95
3.3.5.1 Données manquantes	95
3.3.5.2 Données erronées	96
3.3.5.3 Données utilisées	96
3.4 RESULTATS ET DISCUSSION	98
3.4.1 CHOIX DE LA METHODE D'EXTRAPOLATION	98
3.4.2 DETERMINATION DES CLASSES DE STABILITE	99

3.4.2.1 Rugosité et vitesse de frottement	99	4.3.1.5 Limites du modèle de projection (Alios)	125
3.4.2.2 Chaleur sensible	102	4.4.2 Profil VERTICAL	127
3.4.2.3 Classe de stabilité	106	4.4.2.1 Faibles hauteurs du mât, nombre de mâts (diversité climatique)	127
3.4.3 EXTRAPOLATION VERTICALE DES VITESSES MOYENNES	107	4.4.2.2 Qualité des mesures	127
3.4.3.1 Extrapolation des vitesses par la loi de puissance	107	4.4.2.3 Problème de rugosité	128
3.4.3.2 Distribution de Weibull	109	4.4.2.4 Limites des machines sur la puissance utilisable	130
a – Facteur de forme k	109	4.5 VENTS DOMINANTS	132
b – Facteur d'échelle C	113	4.6 COMPARAISON DES MODELES D'INTERPOLATION	134
c – Vitesse moyenne	115	4.7 COMPARAISON DES MODELES D'EXTRAPOLATION VERTICALE	135
3.5 CONCLUSION	116	4.8 FREQUENCE DES VITESSES NULLES ET CARTE DES VENTS	136
CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS ET SYNTHESE		4.9 ATLAS EOLIEN DE L'ALGERIE	137
4.1 INTRODUCTION	117	4.10 CONCLUSION	140
4.2 VALIDATION DE LA CARTE DES VENTS	117	CHAPITRE 5 : APPLICATION ET PERSPECTIVES	
4.2.1 DONNEES MESURES AU SOL	117	5.1 INTRODUCTION	141
4.2.2 MODELE ALIOS	118	5.2 POTENTIEL ENERGÉTIQUE UTILISABLE	141
4.3 VALIDATION DES MODELES D'EXTRAPOLATION VERTICALE	120		
4.4 LIMITES DES MODELES	122		
4.4.1 MODELISATION DES MESURES AU SOL	122		
4.4.1.1 Densité de points de mesures	122		
4.4.1.2 Qualité des mesures	122		
4.4.1.3 Fréquence des vitesses nulles	123		

5.3 APPLICATION AU POMPAGE	144
5.3.1 CHOIX DES SITES D'IMPLANTATION DES MACHINES	144
5.3.2 POMPAGE ELECTRIQUE	144
5.3.3 POMPAGE MECANIQUE	145
5.4 PERSPECTIVES	147
5.4.1 MODELISATION AU SOL	147
5.4.2 MODELE D'EXTRAPOLATION	148
5.5 CONCLUSION	149

CONCLUSION GENERALE	151
----------------------------	-----

REFERENCES	153
-------------------	-----

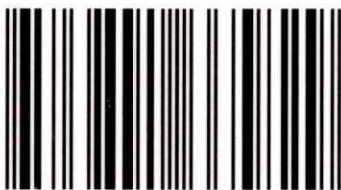
NOMENCLATURE

ANNEXE 1 : PARAMETRES DE WEIBULL A L'ECHELLE MENSUELLE

ANNEXE 2 : ECHANGE RADIATIF

Les données vent de 21 stations météorologiques portant sur une période minimale de 10 années ont été traitées et modélisées à l'aide des fonctions de distribution de Weibull ou de hybride-Weibull. Les atlas des vitesses moyennes du vent et du potentiel énergétique éolien ont été élaborés. Les microclimats dégagés par les cartes, ont fait l'objet d'études plus fines par projection de données vent mesurées à 700 hpa vers le sol. Les données vents prélevées à 5 différentes hauteurs d'un pylône installé en zone semi-aride, ont été utilisées pour l'établissement de modèles empiriques d'extrapolation verticale des paramètres de Weibull, par classe de stabilité, s'adaptant au mieux au climat des hauts plateaux. Après extrapolation des paramètres de Weibull, les atlas de la densité de puissance énergétique éolienne récupérable à 50 m, du sol, ont été établis. Enfin, considérant la limite de Betz, les pertes dues aux caractéristiques des éoliennes et les rendement mécanique-électrique, les énergies électriques produites par trois aérogénérateurs de différentes puissances nominales, ont été déterminées ainsi que leurs rendements par rapport au potentiel éolien disponible des sites.

Dr Nachida Kasbadji Merzouk est chercheure au Centre de Développement des Energies Renouvelables, Alger. Elle est titulaire d'un doctorat en physique énergétique et matériaux de l'Université de Tlemcen. Elle est enseignante à l'université de Blida et membre fondatrice de masters, option Solaire Thermique-Eolien, Photovoltaïque et bioclimatique.



978-3-8416-6582-9

