



# Étude d'implantation d'un aérogénérateur accouplé à des cellules photovoltaïques pour l'éclairage d'une île touristique au Liban-Nord

Joseph Estephane

## ► To cite this version:

Joseph Estephane. Étude d'implantation d'un aérogénérateur accouplé à des cellules photovoltaïques pour l'éclairage d'une île touristique au Liban-Nord. Thermique [physics.class-ph]. 2011. dumas-01085676

**HAL Id: dumas-01085676**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01085676>**

Submitted on 8 Jan 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT DES SCIENCES APPLIQUEES ET ECONOMIQUES  
UNIVERSITÉ LIBANAISE

Conservatoire National des Arts et Métiers (Paris)



**Spécialité: Énergétique**  
**Département : Mécanique**  
**Option : Froid et climatisation**

MÉMOIRE PROBATOIRE PRÉSENTÉ EN VUE D'OBTENIR  
LE DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

**Par**  
**JOSEPH ESTEPHANE**

# ÉTUDE D'IMPLANTATION D'UN AÉROGÉNÉRATEUR ACCOUPlé À DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES POUR L'ÉCLAIRAGE D'UNE ÎLE TOURISTIQUE AU LIBAN-NORD

JURY

**Président : M. le professeur MEUNIER F.** Titulaire de chaire – CNAM PARIS.

**Membres : M. JABBOUR T.** Chef de département Mécanique  
Maître de conférences – ISAE BEYROUTH.

**M. KHOURY F.** Superviseur du mémoire  
Maître de conférences – ISAE BEYROUTH.

(Année 2010-2011)

## Remerciements

Je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur F. KHOURY, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Je le remercie vivement pour l'aide scientifique précieuse et tous les conseils qu'il a pu me fournir pendant la durée de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur T. JABBOUR, chef de département mécanique de l'ISAE associé au CNAM pour la richesse des enseignements, et son soutien pendant le déroulement de ce travail.

Que Monsieur le professeur F. MEUNIER, soit particulièrement remercié pour l'honneur qu'il m'a fait de présider ce jury. Merci également aux éminents membres du jury pour leur contribution.

J'exprime ma gratitude à tous les consultants rencontrés, à tous ceux qui de près ou de loin, par leur compétence, leur aide technique et leurs conseils ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin ma famille, qui sans contribuer au travail scientifique de ce mémoire y sont pour beaucoup. Je les remercie pour m'avoir toujours soutenu, poussé et supporté.

Joseph ESTEPHANE

## Résumé

La maîtrise de l'énergie constitue un véritable enjeu pour les problèmes environnementaux, économiques et sociaux et le secteur d'électricité au Liban offre des possibilités importantes en vue de réduire la consommation énergétique d'origine fossile.

Suite à l'accord du président du jury, et au sein de l'entreprise où je travaille à temps partiel, j'ai été impliqué à faire une étude complète sur l'implantation d'un aérogénérateur accouplé à des cellules photovoltaïques pour l'éclairage d'une île touristique située à Tripoli (Liban Nord), et du pont la reliant à la terre ferme. Cette étude vise à optimiser les ressources énergétiques et respecter l'environnement.

Le système se base principalement sur une turbine éolienne accouplée à des panneaux solaires pour la production d'électricité. Ensuite, des différents éléments seront ajoutés pour le stockage, le transfert et la distribution de cette électricité. En outre, une étude des différentes pièces mécaniques de ce système sera élaborée: la nacelle, les pales, le système d'orientation, etc.

Une maquette descriptive sera réalisée pour le principe de fonctionnement.

La première partie comportera une description rapide sur les énergies renouvelables, et ensuite suivra un développement complet englobant les énergies éoliennes et photovoltaïques (chapitres 1 – 2 – 3).

Un Schéma général du concept sera réalisé avec toutes les notions scientifiques nécessaires tel que l'éclairage, la surface à éclairer, l'évaluation du nombre de lampes à basse consommation, l'évaluation de la puissance électrique nécessaire, l'évaluation du potentiel éolien et solaire dans le site, le calcul de conception, le choix du design, la commande et la sécurité (chapitre 4).

La conclusion couvrira les impacts environnementaux et économiques ainsi que le coût d'investissement de l'ensemble de ce projet (chapitre 5).

Cette étude nous aide à convaincre la municipalité de Mina-Tripoli, et les autorités locales de s'orienter vers une production électrique d'origine renouvelable en leur offrant une étude technico-économique qui représentera une réduction des tarifs d'électricité et alors une conservation de l'environnement.

## Liste des abréviations

A	Ampère
Ah	Ampère heure
°C	Degré Celsius
CA	Courant alternatif
CC	Courant continu
Cr	Classe de rugosité
dB	Décibel
EsolEnergiesolaire	
GWS	Global Windmapping Service
H	Hauteur
h	Heure
Hz	Hertz
Icc	Courant court-circuit
Im	Courant à la puissance maximale du module
J	Joule
Km	Kilomètre
kW	Kilowatt
lm	Lumen
Lr	Longueur de rugosité
L.L.	Livre Libanaise
m	Mètre
m/s	Mètre /seconde
MW	Mégawatt
MWh	Mégawatheure
Pe	Puissance électrique
PV	Photovoltaïque
Pc	Puissance crête
Pt	Puissance totale
RG	Rayonnement global
s	Seconde
STC	Standard test conditions/test dans les conditions standards
Tep	Tonne équivalent pétrole
Tr /min.	Tours/min.
USD	United states dollar/ dollar américain
V	Volt ou vitesse
Vco	Tension de circuit ouvert ou tension à vide
W	Watt
Wc	Watt crête
W/m <sup>2</sup>	Watt/ mètrecarré
Wh/j	Watheure/jour
Wc/m <sup>2</sup>	Watt crête / mètre carré
Φ	Flux lumineux

## Table des matières

### CHAPITRE II Les énergies renouvelables

<b>1 – Introduction.....</b>	<b>10</b>
<b>2 – Les différents types des énergies renouvelables.....</b>	<b>10</b>
<b>3 – Structure de la production d’électricité au Liban.....</b>	<b>11</b>
<b>4 – Conclusion.....</b>	<b>12</b>

### CHAPITRE III L’énergie éolienne

<b>1– Introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>2 – Avantages et Inconvénients.....</b>	<b>13</b>
<b>3 – Structure de la production éolienne au Liban.....</b>	<b>13</b>
<b>4– Les aspects techniques.....</b>	<b>14</b>
4.1 Différents types d’éoliennes.....	14
4.2 Principe de fonctionnement d’une éolienne .....	15
<b>5– Description des différentes parties de la nacelle .....</b>	<b>16</b>
5.1 Schéma de l’intérieur d’une nacelle.....	16
5.2 Les pales.....	17
5.3 L’arbre primaire.....	17
5.4 Le multiplicateur.....	17
5.5 Le frein.....	17
5.6 Le contrôleur.....	17
5.7 La génératrice.....	17
5.8 Les outils de mesure du vent.....	18
5.9 Le système d’orientation.....	18
5.10 Le mât.....	18
<b>6– Paramètres techniques du vent et du climat au Liban.....</b>	<b>18</b>
6.1 Location et topographie du Liban.....	18
6.2 Données climatiques.....	19
6.3 Le vent au LIBAN.....	19
6.4 Influence de la surface.....	20
6.5 Accélération du vent.....	21
6.6 Freinage du vent.....	21
6.7 Echelle des vitesses.....	22
<b>7 – Impacts environnementaux.....</b>	<b>23</b>
7.1 L’avifaune.....	23
7.2 Eoliennes et paysage.....	23
7.3 L’acoustique.....	23
7.4 Eoliennes et CO <sub>2</sub> .....	23
<b>8– Aspects économiques.....</b>	<b>23</b>
<b>9 – Conclusion.....</b>	<b>23</b>

## **CHAPITRE III L'énergie photovoltaïque**

<b>1– Introduction.....</b>	<b>24</b>
<b>2 – Avantages et Inconvénients.....</b>	<b>24</b>
<b>3 – Structure de la production Photovoltaïque au Liban.....</b>	<b>24</b>
<b>4 – Les différentes méthodes de stockage et d'utilisation de l'énergie PV.....</b>	<b>24</b>
4.1 Systèmes autonomes.....	24
4.2 Fil du soleil.....	24
4.3 Connecté au réseau.....	25
<b>5– Les aspects techniques.....</b>	<b>25</b>
5.1 Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	25
5.2 Les technologies.....	26
5.3 Rendement des cellules photovoltaïques.....	26
5.4 Calcul du rendement d'un module.....	27
5.5 Influence de la température et de l'éclairement.....	27
<b>6 – Calcul pratique pour une installation photovoltaïque.....</b>	<b>28</b>
6.1 Production électrique.....	28
6.2 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque.....	29
6.3 Facteur de correction.....	30
<b>7– Paramètres techniques du Soleil.....</b>	<b>30</b>
7.1 Le rayonnement solaire dans l'espace.....	30
7.2 Les conditions du soleil au LIBAN.....	30
<b>8 – Impacts environnementaux.....</b>	<b>30</b>
<b>9 – Aspects économiques.....</b>	<b>31</b>
<b>10 – Conclusion.....</b>	<b>31</b>

## **CHAPITRE IV Réalisation du projet**

<b>1 – Concept et paramètres numériques du projet.....</b>	<b>32</b>
1.1 Schéma général du concept.....	32
1.2 Notions scientifiques sur l'éclairage.....	34
1.3 Surface à éclairer.....	34
1.4 Evaluation du nombre de lampes à basse consommation.....	35
1.5 Evaluation des pertes électriques.....	37
1.6 Evaluation de la puissance électrique nécessaire.....	39
1.7 Evaluation de la consommation électrique annuelle.....	39
1.8 Données éoliennes/solaires du site.....	40
1.9 Evaluation du potentiel éolien et solaire dans le site.....	41
1.10 Répartition de la puissance entre éolienne et solaire	
Et Notion MPPT.....	44
<b>2-Composants électriques du projet.....</b>	<b>46</b>
2.1 L'onduleur ou convertisseur .....	46
2.2 Les Batteries.....	47
2.3 Estimation de la capacité et du nombre des batterie.....	48
2.4 Connexion des batteries (série et parallèle).....	49
2.5 Le contrôleur ou régulateur de charge .....	49

<b>3 – Composants éoliens du projet.....</b>	<b>52</b>
3.1 Estimation de la puissance et du nombre des aérogénérateurs.....	53
3.2 Calcul de la puissance mécanique de la turbine éolienne.....	53
3.3 Calcul du diamètre du rotor.....	53
3.4 Courbe de puissance de la turbine utilisée.....	57
3.5 Etude acoustique.....	58
3.6 Principe d'installation.....	59
<b>4 – Composants photovoltaïques du projet.....</b>	<b>60</b>
4.1 Estimation de la puissance et du nombre des panneaux solaires.....	60
4.2 Calcul du rendement du module utilisé.....	61
4.3 Calcul de la production photovoltaïque annuelle.....	61
4.4 Calcul de la surface totale occupée par les panneaux solaires.....	61
4.5 Principe d'installation des panneaux solaires.....	61
<b>5 – Conclusion.....</b>	<b>63</b>

## **CHAPITRE V Aspects économiques et impacts environnementaux**

<b>1 – Coût d'investissement.....</b>	<b>64</b>
1.1 Comparaison et justification de la sélection des composants.....	64
1.2 Coût de l'éolienne.....	65
1.3 Coût du photovoltaïque.....	65
1.4 Coût des composants électriques.....	65
1.5 Prix du système hors installation.....	65
1.6 Coût de l'installation.....	65
1.7 Coût total du système.....	65
1.8 Tableau comparatif entre système combiné et systèmes séparés.....	65
<b>2 – Les impacts économiques.....</b>	<b>66</b>
2.1 Dépenses électriques avec réseau EDL.....	66
2.2 Les tarifs de l'électricité du Liban.....	66
2.3 Temps de retour de l'investissement.....	67
2.4 Rentabilité du projet et gain en facture.....	67
<b>3 – Les impacts environnementaux et écologiques .....</b>	<b>68</b>
3.1 Introduction.....	68
3.2 Bilan Carbone.....	68
<b>4 – Conclusion .....</b>	<b>68</b>

<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>70</b>
---	-----------

<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>71</b>
---	-----------

<b>Annexes.....</b>	<b>73</b>
---------------------	-----------

1 Liste des importateurs Libanais.....	73
2 Adresses des fabricants.....	73
3 L'île en bref.....	75
4 Divers gammes d'éoliennes.....	76
5 Spécifications des turbines éoliennes importées au LIBAN.....	79
6 Spécifications des panneaux solaires importés au LIBAN.....	80
7 Paramètres techniques des contrôleurs éolien/solaire.....	87
8 Rapport Climatologique Journalier Mina-Tripoli.....	88



## Liste des figures

Figure 1 – Structure de la production d’électricité dans le monde.....	11
Figure 2 – Structure de la production d’électricité au Liban.....	11
Figure 3 – Eoliennes à axe horizontal.....	15
Figure 4 – Description de l’intérieur d’une nacelle.....	16
Figure 5 – Coupe schématique du Liban selon un axe Est-Ouest.....	18
Figure 6 – Vitesse annuelle moyenne du vent au Liban.....	19
Figure 7 – Cellule photovoltaïque.....	25
Figure 8 – Coupe d’un panneau photovoltaïque.....	27
Figure 9 – Répartition du cout d’une installation photovoltaïque par poste de dépense.....	31
Figure 10 – Maquette initiale du projet.....	32
Figure 11 – Schéma du concept général du projet.....	33
Figure 12 – Carte topographique de l’île.....	34
Figure 13 – Lampes HIT-DE.....	35
Figure 14 – Disposition optimale des poteaux d’éclairage.....	36
Figure 15 – Distribution approximative des lampes sur l’île.....	37
Figure 16 – Histogramme des données éoliennes/solaires du site.....	42
Figure 17 –Photo de l’île.....	42
Figure 18 – Distribution de Weibull.....	43
Figure 20 – Batterie à décharge profonde.....	47
Figure 21 – Représentation de la connexion en parallèle.....	49
Figure 22 – Contrôleur éolien/solaire MPPT.....	50
Figure 23– Production annuelle de l’éolienne 5kW en fonction de la vitesse moyenne du vent...52	
Figure 24 – Schéma général de l’éolienne.....	53
Figure 25 – Ecoulement de l’air à travers l’hélice.....	54
Figure 26 – Courbe du coefficient de puissance.....	54
Figure 27 – Courbe de l’efficacité.....	55
Figure 28 – Courbe de puissance de la turbine.....	57
Figure 29 – Niveaux sonores en dB.....	58
Figure 30 – Représentation d’un module photovoltaïque incliné à 45° .....	62
Figure 31 – Schéma englobant les différents composants du projet.....	63

## Liste des tables

Table 1 – Classes et longueurs de rugosité.....	21
Table 2 – Caractéristiques numériques du vent.....	22
Table 3 – Rendements des différentes générations de cellules photovoltaïques.....	26
Table 4 – Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation donnée.....	30
Table 5 – Caractéristiques des lampes utilisées.....	35
Table 6 – Les pertes par transport.....	38
Table 7 – La puissance électrique consommée par les équipements.....	39
Table 8 – Charges électriques, puissances et consommations.....	40
Table 9 – Données éoliennes/solaires du site.....	40
Table 10 – Caractéristiques techniques de l'éolienne utilisée.....	46
Table 11 – Planning de déroulement de l'installation de l'éolienne.....	52
Table 12 – Caractéristiques techniques des panneaux solaires utilisés.....	54
Table 13 – Caractéristiques techniques des batteries utilisées.....	57
Table 14 – Caractéristiques des câbles des batteries.....	57
Table 15 – Caractéristiques techniques du contrôleur utilisé.....	59
Table 16 – Caractéristiques techniques du convertisseur utilisé.....	59
Table 17 – Caractéristiques techniques et prix éoliennes selon divers importateurs.....	61
Table 18 – Tableau comparatif entre système combiné et systèmes séparés.....	62
Table 19 – Tarifs de l'électricité du Liban.....	63
Table 20 – Tableau récapitulatif.....	65

# **CHAPITRE I**

## **Les énergies renouvelables**

### **1- Introduction**

Le solaire : photovoltaïque et thermique, l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse et la géothermie sont des énergies inépuisables et propres par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, lignite, gaz naturel.

### **2 -Les différents types des énergies renouvelables**

#### **- L'énergie éolienne**

L'énergie cinétique contenue dans le vent se convertit en force motrice (voilier), en énergie mécanique (pompage de l'eau) ou en électricité. Les pales du rotor des aérogénérateurs captent l'énergie cinétique du vent et entraînent un générateur électrique pour produire de l'électricité propre et renouvelable.

#### **- L'énergie solaire**

##### **a) L'énergie solaire photovoltaïque**

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium.

##### **b) Le Solaire thermique**

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques, lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un réservoir.

#### **- La biomasse**

Comprend :

- Les bois énergie ou biomasse solide : dont le bois est utilisé comme source d'énergie.
- Le biogaz : Libéré durant la fermentation de matières organiques.
- Les biocarburants ou agro-carburants.

#### **- La géothermie**

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol.

#### **- L'énergie hydraulique**

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes, chute, cours d'eau, marée.

L'énergie hydraulique représente 15,9% de la production totale d'électricité dans le monde et 9.8% de la production totale d'électricité au Liban. (2038MW thermique et 220.6 hydraulique).

### 3 - Structure de la production d'électricité au Liban

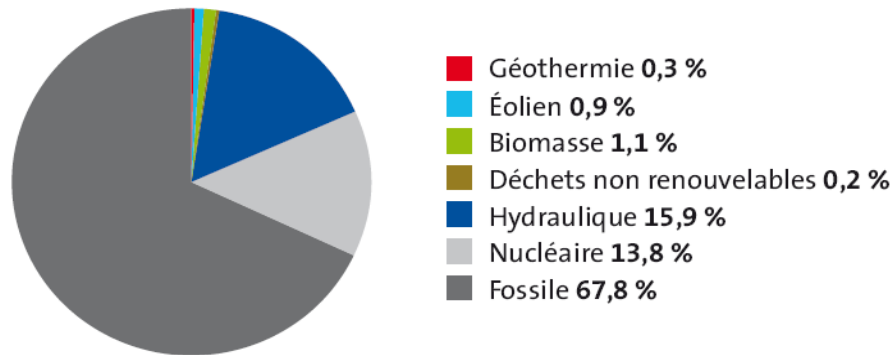


Figure 1 – Structure de la production d'électricité dans le monde<sup>[B-7]</sup>

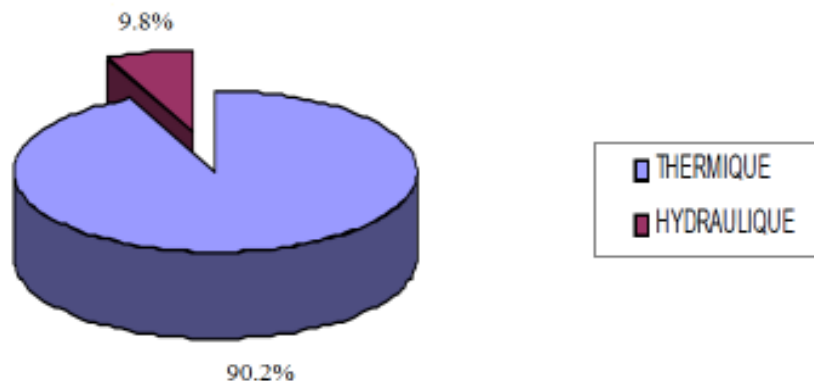


Figure 2 – Structure de la production d'électricité au Liban<sup>[B-2]</sup>

Depuis 1990, après la fin de la guerre civile libanaise, la production d'électricité a commencé à croître à un taux élevé.

90% de l'électricité est produite à partir des produits pétroliers, principalement gaz / diesel et mazout résiduel. Les 10% restants sont produits à partir d'origine hydraulique.

La production d'électricité provient du secteur public pour environ 77%.

15% de production privée alors que le reste (près de 8%) est importé en provenance de la Syrie.

L'Électricité du Liban (EDL), exploite 7 centrales thermiques d'une capacité totale de 2038 MW, et 6 centrales hydrauliques d'une capacité de 221 MW.

Récemment, le Gouvernement a lancé un projet de restructuration du secteur électrique qui met en œuvre un ensemble d'actions visant à introduire la participation du secteur privé et la concurrence. Pour cela, un projet de loi pour privatiser la production et la distribution a été préparé par le gouvernement et actuellement en attente de discussion au Parlement libanais.

#### **4- Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents types des énergies renouvelables, et une analyse de la production électrique au Liban en ce qui concerne ces énergies.

Nous pouvons résumer les caractéristiques de la situation Libanaise par :

- Une énergie primaire presque totalement importée, reposant sur les produits pétroliers ;
- Un secteur énergétique actuellement déficitaire et en cours de réorganisation ;
- Une consommation énergétique importante et une production insuffisante.

Cette étude montre que le Liban doit faire face à plusieurs défis pour la reconstruction.

Il doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités de production d'énergie d'origine renouvelable. C'est dans ce contexte que s'insère notre travail pour le développement de l'utilisation de l'énergie éolienne et solaire dont on dispose.

## **CHAPITRE II**

### **L'énergie éolienne**

#### **1- Introduction**

Le manque d'études sur le terrain de statistiques dû au retard causé par les années de guerre montre que le Liban doit fournir un effort considérable.

Les données disponibles sont le fruit d'un certain nombre d'entretiens avec des spécialistes dans différents domaines (énergie renouvelable, électricité, météorologie,...) et des informations obtenues par différentes sources.

#### **2- Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne**

##### **a) Les avantages**

L'énergie éolienne présente de nombreux avantages parmi lesquels :

- C'est une énergie renouvelable et propre.
- Les coûts d'installation ne sont pas très élevés.
- Elle garantit une sécurité d'approvisionnement face à la variabilité des prix du baril de pétrole.

##### **b) Les inconvénients**

L'énergie éolienne présente quelques inconvénients parmi lesquels :

- C'est une source intermittente.
- Elle génère de nuisances sonores.
- Nécessite une importante surface au sol pour les éoliennes de grande puissance.

#### **3- Structure de la production éolienne au Liban**

Au Liban, il existe plusieurs petits projets éoliens en cours mais aucun parc éolien. Parmi ces petits projets on peut citer :

- Un projet à Dibbiyi, au-dessus de Saadiyat (Sud de Beyrouth) d'une puissance de 3kW. Il consistait en un système hybride éolien/solaire pour des applications résidentielles. Deux éoliennes furent installées, chacune de 2 kW de puissance. Chaque turbine est équipée de 3 pâles en fibre de verre, d'un diamètre de 3,2 mètres. La hauteur des tours les supportant est de 9 mètres. Selon le centre météorologique de l'aéroport de Beyrouth, la vitesse du vent dans cette région était d'environ 3 mètres par seconde. Cette incertitude a poussé le constructeur à opter pour un modèle hybride éolien/solaire, couvrant les deux possibilités : en cas d'absence de vent, la production électrique serait assurée par les panneaux solaires, et vice versa. Ils ont installé en plus des 2 éoliennes, 10 panneaux solaires de 160 Wc (Watt crête) chacun en monocristaux de silicium. Le contrôleur et les onduleurs étaient aussi bien hybrides, et l'électricité fut stockée dans une série de batteries : 20 batteries 150 Ah/12 V chacun, fermées et sans nécessité de maintenance. Il est à souligner que les éoliennes fonctionnent 60% du temps.

- Un projet à Ksara, près de Zahlé dans la vallée de la Bekaa. Ici, la nature du terrain ne permettait pas l'utilisation de tour tubulaire, c'est pourquoi ils ont dû fabriquer sur place une tour en treillis de 12 mètres de hauteur pour l'éolienne de 2kW. De nouveau, ils ont opté pour un système hybride éolien/solaire. Ils ont ajouté à l'éolienne de 2 kW, 5 panneaux solaires en monocristaux de silicium de 160 Wc chacun. Ces derniers étaient connectés à un générateur CC de puissance, alors que l'électricité produite du générateur CA triphasé provenait de l'éolienne. Le tout était envoyé aux mêmes contrôleurs et onduleur hybrides. Ils ont utilisé 10 batteries à cycle profond : 150 Ah/12V, bien isolés, sans nécessité de maintenance, pour stocker l'électricité.
- Un projet à Rahbi, à Akkar (Liban Nord) où une éolienne d'1 kW est installée sans apport de panneaux solaires. Une étude sur la vitesse du vent réalisée pendant 18 mois avait révélé une vitesse moyenne quotidienne de 6 mètres par secondes. L'éolienne fut installée dans ce cas pour éclairer l'extérieur d'une usine de produits laitiers (WedgeDairy).

## Conclusion

Le Liban est toujours en retard dans les énergies renouvelables lorsqu'on le compare à ses voisins. Cependant, de plus en plus de gens sont intéressés par l'installation de parcs éoliens et nous percevons un changement dans l'opinion publique libanaise à cet égard.

Le gouvernement n'offre aucun incitant. Au contraire, nous devons payer 10% de taxes TVA sur les importations d'éoliennes, il faudrait donc une politique plus conforme aux besoins des citoyens.

## 4- Les aspects techniques

Nous vous donnons ici l'occasion de découvrir les différentes activités, à travers le fonctionnement d'une éolienne et le déroulement d'un projet de parc.

### 4.1-Différents types d'éoliennes

- Les mini-éoliennes / Le petit éolien
- Les éoliennes multi rotor
- Les éoliennes à axe vertical
- Les éoliennes à axe Horizontal (qu'on va utiliser dans notre projet)

## Les éoliennes à axe Horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus utilisées dans le monde. Ces éoliennes sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles sont constituées d'une à trois pales profilées aérodynamiquement. Le plus souvent le rotor de ces éoliennes est tripale, car trois pales constituent un bon compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien ainsi que l'aspect esthétique par rapport aux bipales. Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement aérodynamique est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et ont un coût moins important.

Il existe deux catégories d'éolienne à axe horizontal, en amont et en aval :



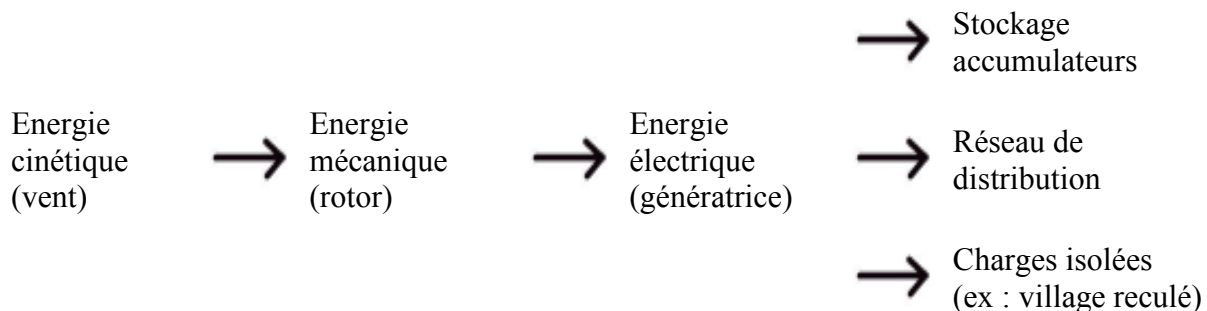
Figure 3 – Eoliennes à axe horizontal

Schéma d'une éolienne à axe horizontal amont Schéma d'une éolienne à axe horizontal aval  
(qui va être utilisée dans notre projet)

La disposition turbine en amont est la plus utilisée car elle est plus simple et donne de meilleurs résultats pour les fortes puissances.

Les pales des éoliennes à axe horizontal doivent toujours être orientées selon la direction du vent. Pour cela, il existe des dispositifs d'orientation de la nacelle en fonction de cette direction.

#### 4.2- Principe de fonctionnement d'une éolienne



Une éolienne est composée des principaux éléments suivants :

- 1) un **mât**, haut d'une centaine de mètres en moyenne, qui soutient la nacelle afin que celle-ci puisse capter des vents plus hauts donc plus forts ;
- 2) une **nacelle**, située en haut de ce mât, qui abrite notamment la génératrice et les autres composants ;
- 3) le **rotor**, auquel sont fixées les trois pales, entre en mouvement rotatif grâce à l'intensité du vent et fait ainsi tourner un arbre mécanique. Le multiplicateur augmente la vitesse de celui-ci, cette énergie est enfin convertie en électricité par la génératrice.



## 5- Description des différentes parties de la nacelle

### 5.1- L'intérieur d'une nacelle

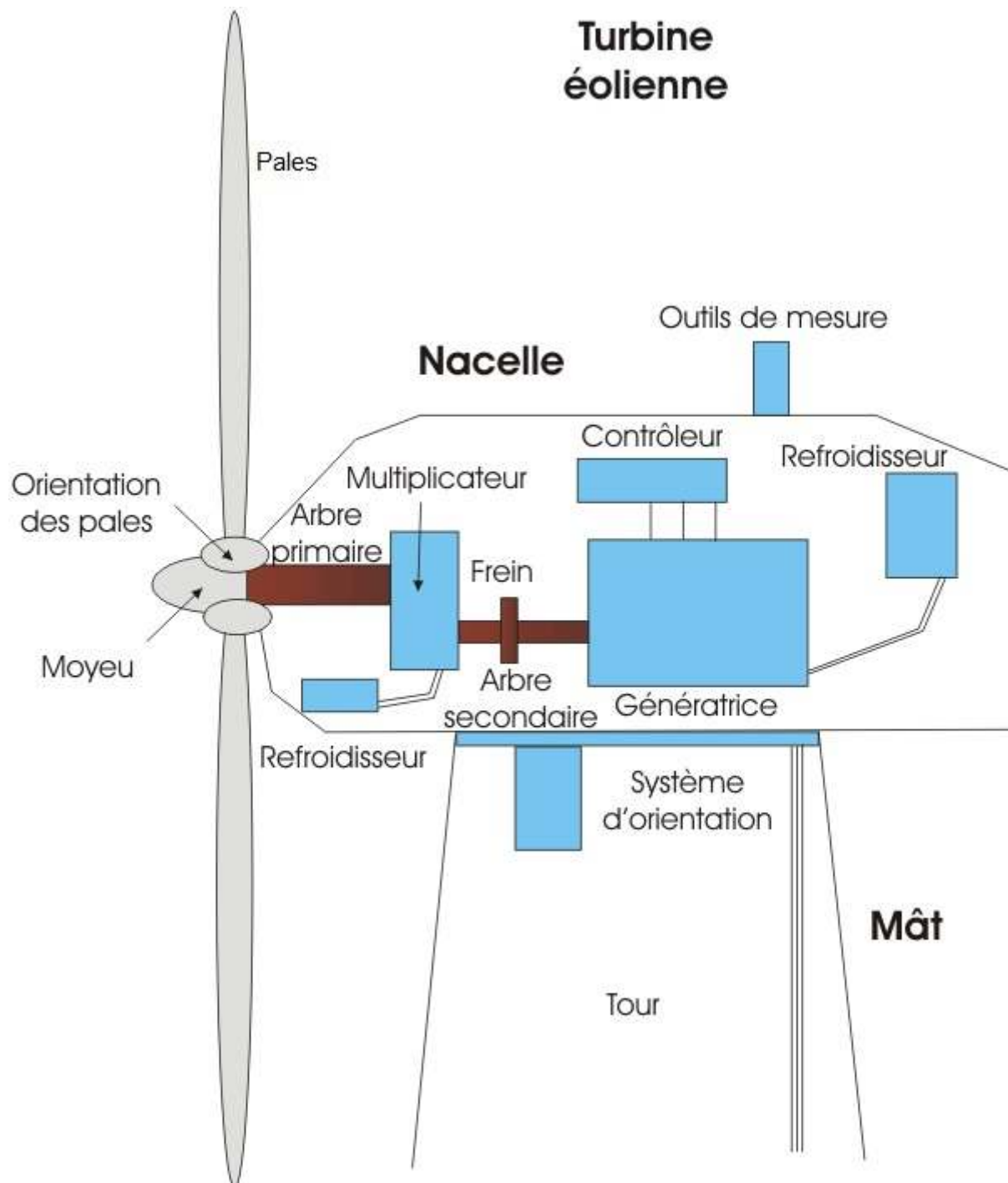


Figure 4 – Description de l'intérieur d'une nacelle <sup>[B-14]</sup>

## 5.2-Les pales

Les pales ou capteur d'énergie sont réalisées dans un mélange de fibres de verre et de matériaux composites. Elles ont pour rôle de capter l'énergie du vent et de la transférer ensuite au rotor. Le diamètre des pales (ou l'aire balayée par ces pales) est fonction de la puissance désirée. La largeur des pales intervient dans le couple de démarrage qui sera d'autant meilleur que la pale sera plus large.

**Le calcul du diamètre des pales pour notre projet sera réalisé au quatrième chapitre.**

Le nombre de pales peut varier suivant les éoliennes. Actuellement, **le système tripale est celui qui va être utilisé dans notre projet** car il permet de limiter les vibrations, le bruit et la fatigue du rotor par rapport à un système bipale ou monopale. Ainsi, le coefficient de puissance augmente de 10 % en passant d'une pale à deux, de 3% en passant de deux à trois.

## 5.3-L'arbre primaire

L'arbre primaire est l'arbre du rotor de la turbine éolienne. Il est dit arbre lent, car il tourne à des vitesses comprises entre 20 - 40 tr/min, il est relié à l'arbre secondaire par l'intermédiaire du multiplicateur (il existe des éoliennes avec accouplement direct c'est-à-dire sans multiplicateur).

## 5.4-Le multiplicateur

Le multiplicateur mécanique de vitesse permet de transformer une puissance à couple élevé et à vitesse lente en une puissance à couple faible et vitesse rapide. En effet, la rotation des pales est trop lente et le couple est trop important pour être utilisé par la génératrice. Le multiplicateur relie l'arbre (primaire) de la turbine éolienne à l'arbre (secondaire) de la génératrice électrique.

## 5.5-Le frein

L'arbre de la génératrice est équipé d'un frein à disque mécanique ou électromagnétique (dispositif de sécurité) qui limite la fréquence de rotation en cas de vent violent.

## 5.6- Le contrôleur

Le système de contrôle électronique sert à gérer le démarrage, à régler le pas des pales, le freinage ainsi que l'orientation de la nacelle par rapport au vent.

## 5.7- La génératrice

Le générateur peut être soit une dynamo (production de courant continu) soit un alternateur (production de courant alternatif).

**La génératrice synchrone à aimants permanents et courant alternatif, est la plus adaptée à notre projet**, car elle peut être utilisée dans le cas d'entraînement direct, c'est-à-dire lorsque la liaison mécanique entre la turbine éolienne et la génératrice est directe, et la source d'excitation du rotor est indépendante du réseau contrairement à la machine synchrone à électroaimant. Ce type de génératrice tend à être de plus en plus utilisé par les constructeurs d'éoliennes car elle peut fonctionner en mode autonome, et elle a une durée de vie assez longue avec un prix très acceptable.

### 5.8-Les outils de mesure du vent

**Les outils de mesure du vent** sont de deux types : une girouette pour en évaluer la direction et un anémomètre pour en mesurer la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande qui effectue les réglages de l'éolienne automatiquement.

### 5.9- Le système d'orientation

**Le système d'orientation** de la nacelle est une couronne dentée (crémaillère) équipée d'un moteur. Il permet d'orienter l'éolienne et de la « verrouiller » dans l'axe du vent grâce à un frein.

### 5.10- Le mât

**Le mât** est généralement un tube en acier ou une tour en treillis. Il supporte le rotor et la nacelle. Le choix de sa hauteur est important car il s'agit de trouver un bon compromis entre le coût de sa construction et l'exposition au vent souhaité. En effet, plus la hauteur du mât augmente plus la vitesse du vent et le coût de la structure augmentent. Généralement on choisit un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre des pales. La hauteur d'une éolienne varie entre 40 et 80 mètres.

Le mât renferme les câbles qui assurent la liaison au réseau de distribution ou à la chambre électrique.

## 6- Paramètres techniques du vent et du climat au Liban

### 6.1- Location et topographie du Liban

Le Liban est un pays méditerranéen de 10 452m<sup>2</sup> de superficie.

Le territoire Libanais comprend en général la plupart des montagnes de l'Est de la côte méditerranéenne. En latitude il s'étend approximativement entre 32.2° et 34.7°Nord et en longitude entre 35.2° et 36.6°Est.

Il est constitué principalement d'une étroite bande côtière de 220 km de longueur et de deux chaînes de montagnes parallèles (1500-2500m d'altitude) qui couvre le long du pays, l'une surplombant la côte et l'autre un plateau fertile (la pleine de la Békaa, 500-1000m) <sup>[A-15]</sup>

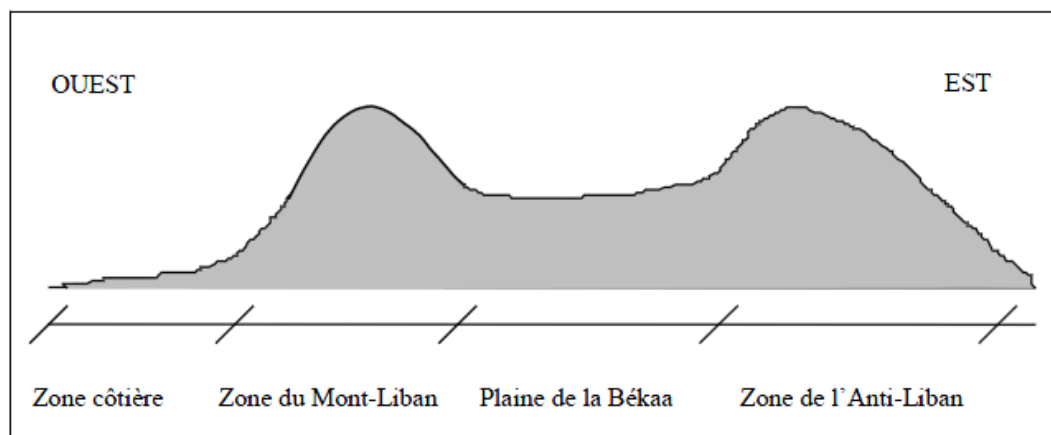


Figure 5 – Coupe schématique du Liban selon un axe Est-Ouest <sup>[A-16]</sup>

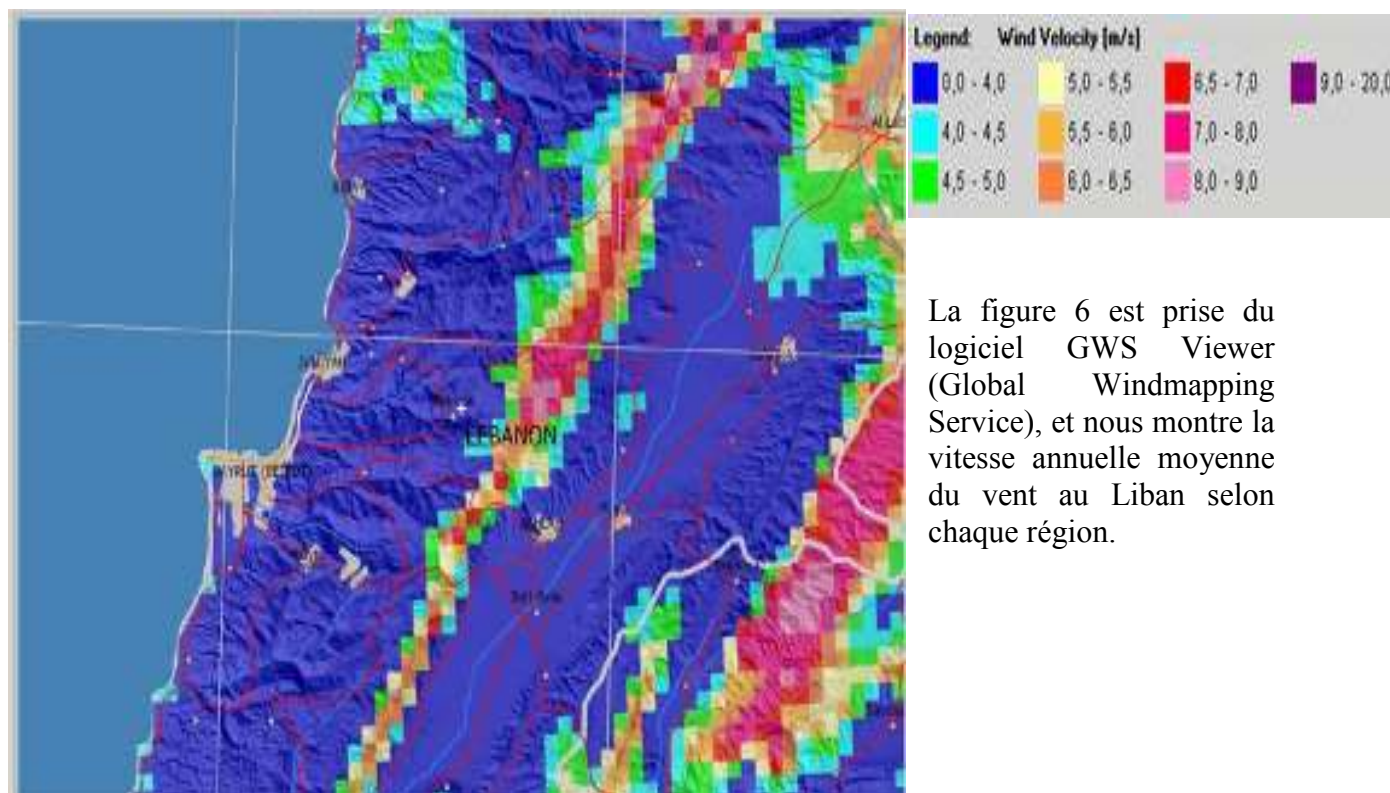
## 6.2- Données climatiques

Les données climatiques que nous avons pu trouver au Liban sont :

- Les données de la météorologie nationale : La météo nationale avait des données climatiques provenant des différentes stations placées dans tout le pays. Les données disponibles de la météo nationale sont anciennes et nous ne disposons pas de données plus récentes.
- Les données du logiciel GWS Viewer (Global Windmapping Service).
- Les données de l'aéroport international de Beyrouth (Direction générale de l'aviation civile, service météorologique).

## 6.3- Le vent au Liban

L'énergie éolienne est utilisée depuis longtemps sur la côte libanaise pour pomper l'eau de mer des marais salants. Vue la topographie très escarpée du terrain, il existe des régions bénéficiant de bon régimes de vents localisés. Mais il faut tester quelques installations pilotes de petites puissances afin d'en évaluer les rendements à long terme et maîtriser la technique pour une éventuelle croissance de cette application.



La figure 6 est prise du logiciel GWS Viewer (Global Windmapping Service), et nous montre la vitesse annuelle moyenne du vent au Liban selon chaque région.

Figure 6 – Vitesse annuelle moyenne du vent au Liban <sup>[B-18]</sup>

**Un rapport pris du centre météorologique à l'aéroport de Beyrouth, nous montre la vitesse moyenne du vent (m/s) à Mina Tripoli (Voir annexe rapport climatologique journalier Mina-Tripoli).**

## 6. 4- Influence de la surface

L'efficacité d'un site éolien dépend directement de la grandeur et de la fréquence de la vitesse moyenne du vent en ce lieu : il est par convention exploitable si la vitesse moyenne annuelle à la hauteur du moyeu est  $\geq 5$  m/s.

La surface de la terre n'est pas uniforme ; l'écoulement du vent a un aspect différent dans les montagnes que dans les champs lisses. Sa direction et son intensité y varient relativement. On parle de rugosité et d'obstacle. A 1000 m au dessus du sol, l'influence de ces deux paramètres est complètement nulle, mais relativement important dans les premiers 100 m au dessus du sol où nos éoliennes tournent.

Des turbulences y prennent naissance ; en effet, les arbres, les rochers, les immeubles sont la cause de ces turbulences. Donc plus on construit des hauts mâts, moins l'éolienne est soumise aux variations de la puissance et de la direction de vent qui affecte le rendement global aérodynamique et mécanique. La mer constitue un lieu d'implantation idéal grâce à sa surface lisse glissante qui ne freine pas le vent et rend minimal les turbulences.

A ce sujet, une longueur de rugosité ( $L_r$ ) peut s'introduire. Elle représente la hauteur au dessus du sol pour laquelle la vitesse théorique du vent est nulle. A cette longueur peut s'ajouter la classe de rugosité ( $C_r$ ) qui caractérise la qualité de la surface au dessus duquel le vent s'écoule.

Plus la classe de rugosité est élevée, plus le terrain est rugueux et entraîne le freinage du vent donc plus il sera mal adapté à l'implantation des éoliennes de faible hauteur.

La classe de rugosité est calculée comme suit <sup>[A-5]</sup> :

( $L_r$ ) : longueur de rugosité en mètre.

$$\text{Si } L_r \leq 0.03, C_r = 1.699823015 + \frac{\ln(L_r)}{\ln(150)}$$

$$\text{Si } L_r > 0.03, C_r = 3.912489289 + \frac{\ln(L_r)}{\ln(3.3333333)}$$

Par la suite, une loi de variation de la vitesse en hauteur peut être estimée par la formule suivante :

$$\frac{V}{V_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^n$$

Avec  $V_0$  : la vitesse à la hauteur de mesure  $H_0$  ;

$V$  : la vitesse à la hauteur du moyeu  $H$  ;

$n$  : un coefficient variant de 0.1 à 0.4, il est en rapport avec la classe de rugosité de l'endroit de mesure. (Voir application chapitre 4 ; Evaluation du potentiel éolien et solaire dans le site)

Nous allons illustrer maintenant différents types de paysages avec les classes et longueurs de rugosité correspondantes :

Classe de rugosité	Longueur de rugosité (m)	coefficient n	Type de paysage
0	0,0002	0,1	Surface d'eau
0,5	0,0024	0,17	Terrain complètement dégagé avec une surface lisse, par ex. une piste d'atterrissage en béton ou de l'herbe fraîchement coupée.
1	0,03	0,2	Terrain agricole dégagé, sans clôtures ou haies vives, et avec très peu de constructions. Seulement des collines doucement arrondies.
1,5	0,055	0,23	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de hauts situés à environ 1.250 m les uns des autres.
2	0,1	0,26	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de hauts situés à environ 500 m les uns des autres.
2,5	0,2	0,29	Terrain agricole avec beaucoup de constructions, arbrisseaux et plantes, ou des haies vives de 8 m de haut situées à environ 250 m les unes des autres.
3	0,4	0,32	Villages, petites villes, terrain agricole avec de nombreuses ou de hautes haies vives, des forêts et un terrain très accidenté.
3,5	0,8	0,36	Grandes villes avec de hauts immeubles.
4	1,6	0,4	Très grandes villes avec de hauts immeubles et des grattes ciel.

Table 1 – Classes et longueurs de rugosité <sup>[A-5]</sup>

### 6.5-Accélération du vent

L'accélération du vent se produit au sommet d'une colline grâce à la compression au pied de celle-ci et à la différence de pression en amont et en aval. De même, on observe cette accélération entre 2 collines. Mais ces effets ne sont pas exploitables pour l'augmentation du rendement car des turbulences considérables accompagnent ces accélérations.

### 6.6-Freinage du vent

Un autre facteur particulier s'illustre dans le cas d'un champ éolien comportant plusieurs éoliennes, c'est l'effet de parc ou de sillage. Il rend les éoliennes situées derrière une autre éolienne d'être attaquées par un vent relativement freiné à la suite de son passage à travers cette dernière, d'après le concept physique.

Dans notre cas nous n'avons pas ce problème car une seule éolienne sera installée.

### 6.7-Echelle des vitesses

Nous allons citer dans ce tableau les degrés beaufort et la vitesse correspondante des vents les plus calmes aux cyclones.

Degrés beaufort	Vitesse (m/s)	Description générale
0	0-0.4	Calme
1	0.5-1.5	Très légère brise
2	1.6-3.4	Légère brise
3	3.5-5.5	Petite brise
4	5.5-8	Jolie brise
5	8.1-10.9	Bonne brise
6	11.4-13.9	Vent frais
7	14.1-16.9	Grand frais
8	17.4-20.4	Coup de vent
9	20.5-23.9	Fort coup de vent
10	24.4-28	Tempête
11	28.4-32.5	Violente tempête
12	32.6-35.9	Ouragan
13	36.9-40.4	Ouragan
14	40.1-45.4	Ouragan
15	45.5-50	Ouragan
16	50.1-54	Ouragan
17	>54	cyclone

Table 2 – Caractéristiques numériques du vent <sup>[A-5]</sup>

## **7- Impacts des fermes éoliennes sur l'environnement**

### **7.1-L'avifaune**

L'impact environnemental le plus souvent cité pour un projet de parc éolien concerne l'avifaune (oiseaux, chauves-souris, etc.). Le risque de collision n'est pas nul mais très faible pour les oiseaux.

### **7.2-Eoliennes et paysage**

Les éoliennes de dernière génération sont des structures de grande dimension atteignant plus de 100 mètres de haut, elles ne peuvent donc pas être cachées ou dissimulées. Et, comme pour toute construction nouvelle de grande taille, l'impact visuel suscite souvent des controverses. Cet impact visuel est souvent ressenti comme une dégradation du cadre de vie, dans notre cas la hauteur sera comprise entre 10 et 15 mètres.

### **7.3-L'acoustique**

Comme toute machine tournante, les aérogénérateurs émettent un bruit. Le bruit des éoliennes a deux origines : un bruit aérodynamique (extrémité de la pale qui fend l'air) et un bruit mécanique (créé par les différents organes en mouvement à l'intérieur de la nacelle).

Les émissions sonores des éoliennes modernes ont été réduites grâce à un certain nombre d'innovations technologiques, dans notre cas le niveau sonore ne va pas dépasser les 50dB ce qui est acceptable.

### **7.4-Eoliennes et CO<sub>2</sub>**

L'énergie éolienne contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, car son processus de production électrique ne génère ni déchet ni gaz à effet de serre, c'est une énergie propre. Elle contribue également à l'indépendance énergétique.

## **8- Aspects économiques**

Une éolienne moderne est conçue pour fonctionner pendant environ 120 000 heures durant ses 25 années de durée de vie, elle contribue aussi à l'indépendance énergétique.

Une étude économique détaillée du système sera réalisée dans le chapitre cinq.

## **9- Conclusion**

Nous avons développé dans ce chapitre les différents aspects (techniques, économiques et environnementaux) de l'énergie éolienne ainsi que les différents composants utilisés pour bénéficier le plus possible de cette énergie.

Ce chapitre nous a servi à souligner l'importance du vent au Liban ainsi que l'influence de la surface. Il nous a permis également de justifier le choix de la turbine éolienne (à axe horizontal amont à trois pales avec une génératrice synchrone à aimants permanents) pour les prochaines étapes de réalisation de ce projet.



## **CHAPITRE III**

### **L'énergie Photovoltaïque**

#### **1- Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents aspects de l'énergie photovoltaïque et décrire les mécanismes de la conversion de l'énergie solaire en électricité.

Ensuite, nous allons faire une étude de la puissance photovoltaïque, et une autre petite étude économique générale.

#### **2- Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque**

##### **a) Les avantages**

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages :

- Une haute fiabilité car elle ne comporte pas de pièces mobiles.
- Un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.
- Silencieuse et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

##### **b) Les inconvénients**

Le système photovoltaïque présente toutefois les inconvénients suivants :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.

#### **3- Structure de la production Photovoltaïque au Liban**

Comme nous avons cité avant, à propos de l'énergie éolienne, on peut remarquer le retard libanais en ce qui concerne l'énergie photovoltaïque.

Au Liban, il existe encore plusieurs petits projets photovoltaïques mais à un niveau personnel dont la plupart des cas est une combinaison entre solaire/éolienne (voir chapitre 2 ; structure de la production éolienne au Liban).

#### **4- Les différentes méthodes de stockage et d'utilisation de l'énergie Photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque peut être utilisée et stockée de plusieurs façons, citons les cas les plus généraux :

##### **4.1- Système autonome** (qui sera utilisé dans la réalisation de notre projet)

Le module charge une batterie qui permet d'utiliser l'énergie à convenance. Généralement, la charge et la décharge de la batterie sont contrôlées et gérées par un dispositif de gestion d'énergie. L'autonomie de la batterie est un facteur important.

##### **4.2- Fil du soleil**

L'énergie électrique produite par les modules solaires est directement utilisée par le récepteur. Il n'y a donc pas de stockage électrochimique. (Stockage d'eau)

### 4.3- Connecté au réseau

Toute l'énergie produite ou une partie d'elle est injectée dans le réseau de distribution électrique. Ce système n'est pas utilisé au Liban.

## 5- Les aspects techniques

### 5.1-Principe de fonctionnement d'une cellulePhotovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est principalement constituée à partir de silicium dopé (semi-conducteur: jonction p-n).

Lorsqu'une cellule est exposée au rayonnement électromagnétique solaire, les photons de la lumière transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Cette énergie permet aux électrons de libérer des atomes, générant ainsi des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ces charges sont alors maintenues séparées par un champ électrique qui constitue une "barrière de potentiel".

Une fois les charges P et N isolées, il suffit de fermer le circuit entre ces 2 zones (P et N) pour mettre en mouvement les électrons et créer ainsi un courant électrique.

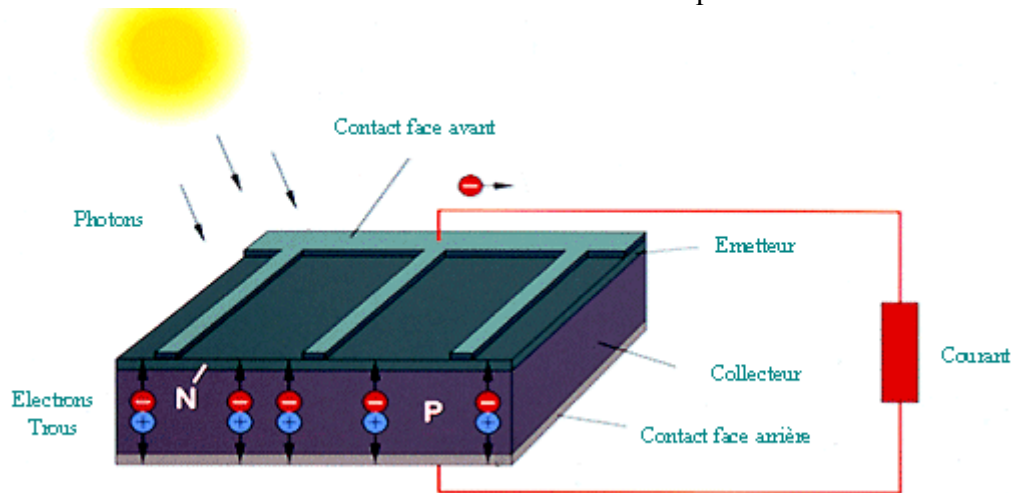


Figure 7 – Cellule photovoltaïque [B-19]

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 Wc avec une tension entre 0.5 et 1.5 V. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module. [A-8]

Le générateur PV se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants.

## 5.2- Les technologies

Généralement on distingue trois générations de cellules photovoltaïques en fonction du développement de la technologie<sup>[B-19]</sup>

### 1<sup>ère</sup> génération

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction p-n et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. Elle nécessite par ailleurs un silicium d'une grande pureté. On différencie également les cellules à base de silicium monocristallin et polycristallin. Ces dernières ont un rendement inférieur par rapport aux premières, mais ont un coût de fabrication moins élevé.

### 2<sup>ème</sup> génération

Les couches minces constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. Dans cette génération, on distingue le silicium amorphe (a-Si), le disélénium de cuivre indium (CIS), le tellure de cadmium (CdTe), entre autres. Le problème des cellules de seconde génération est le rendement moindre de ce type de cellules, et la toxicité de certains éléments (cadmium) pour leur fabrication.

### 3<sup>ème</sup> génération

La troisième génération vise à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelles, qui est d'environ 30% mais elles sont encore au stade de la recherche.

## 5.3-Rendement des cellules photovoltaïques

Le rendement d'une cellule est le rapport entre l'énergie lumineuse reçue à la surface de la cellule et l'énergie électrique produite par cette même cellule (voir calcul du rendement).

Le rendement d'une cellule photovoltaïque serait d'environ 85% si chaque photon pouvait transférer toute son énergie à un électron.

Type	Rendement cellule (en labo)	Module (en labo)	Module (commercial)	Niveau de développement
<b>1ère génération</b>				
Silicium monocristallin	24,70%	22,70%	12-20%	Production industrielle
Silicium polycristallin	20,30%	16,20%	11-15%	Production industrielle
<b>2e génération</b>				
Silicium amorphe	13,40%	10,40%	5-9%	Production industrielle
Silicium cristallin en couche mince		9,40%	7%	Production industrielle
CIS	19,30%	13,50%	9-11 %	Production industrielle
CdTe	16,70%		6-9%	Prêt pour la production
<b>3e génération</b>				
Cellule organique	5,70%			Au stade de la recherche
Cellule de Grätzel	11%	8,40%		Au stade de la recherche
Cellules multi-jonctions	39%	25-30%		Au stade de la recherche

Table 3 – Rendements des différentes générations de cellules photovoltaïques<sup>[B-19]</sup>

#### 5.4- Calcul du rendement d'un module

La puissance crête d'un module correspond à la puissance électrique de celui-ci dans des conditions standards ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$ , AM1.5). En connaissant la surface d'un module et sa puissance crête, il est donc aisé de calculer le rendement. Il suffit, en fait, de calculer la puissance crête par mètre carré et de la comparer à l'ensoleillement des conditions standards qui est de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

**Le rendement d'un module est donc égal à sa puissance crête par  $\text{m}^2$  (en  $\text{W/m}^2$ ) divisée par  $1000 \text{ W/m}^2$ . Il est de l'ordre de 10 à 20%**

(Voir l'application dans le chapitre 4 ; composants photovoltaïques du système)

#### 5.5- Influence de la température et de l'éclairement

Un module photovoltaïque est un générateur de courant dont la caractéristique électrique est variable en fonction de l'éclairement reçu<sup>[B-22]</sup>.

Sous un ensoleillement fort, le courant « I » varie proportionnellement avec le rayonnement lumineux, et la tension reste relativement constante. La température a une influence non négligeable sur les caractéristiques du panneau : quand la température s'élève, la tension diminue et donc la puissance aussi diminue.<sup>[B-16]</sup>

Par conséquent, une variance de l'éclairement E à température donnée, induit une variance :

- De  $P_{\text{max}}$  (point de puissance maximum)
- Du courant de court-circuit  $I_{\text{cc}}$ ,
- Et de la tension à vide ou à courant ouvert  $V_{\text{co}}$ .

Et lorsque la température croît :

- Le courant de court-circuit  $I_{\text{cc}}$  croît ;
- La tension à vide ou à courant ouvert  $V_{\text{co}}$  décroît ;
- Et le rendement s'affaiblit ;

Donc la puissance d'un module diminue, lorsque la température de fonctionnement des cellules augmente. (Pour plus d'informations voir caractéristiques techniques des panneaux PV dans l'annexe)<sup>[B-22]</sup>

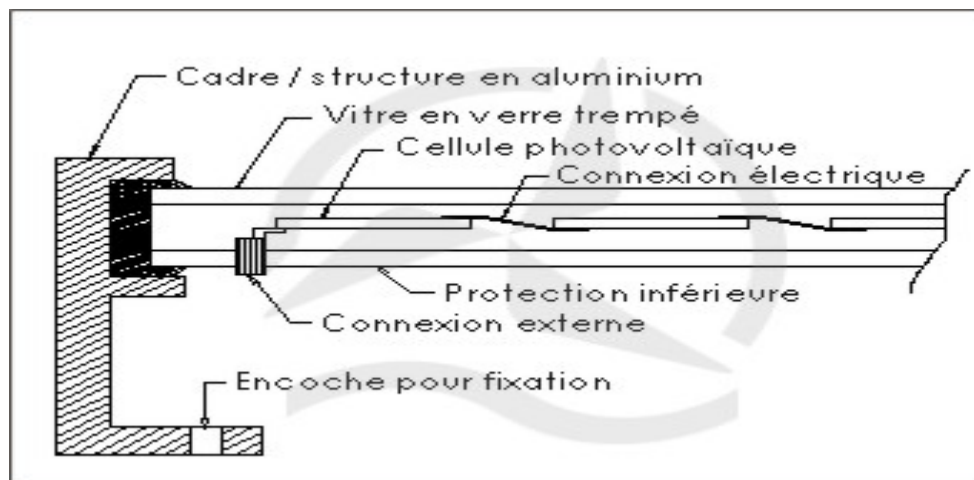


Figure 8 – Coupe d'un panneau photovoltaïque

## 6- Calcul pratique pour une installation photovoltaïque

### 6.1- Production électrique<sup>[A-13]</sup>

Un module photovoltaïque est caractérisé avant tout, par sa puissance crête  $P_c$  (W), puissance dans les conditions normales STC (standard test conditions) ( $1000 \text{ W/m}^2$  à  $25^\circ\text{C}$  avec un spectre solaire AM 1.5\*).

Si le module est exposé dans ces conditions STC, il va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête, et si cela dure  $N$  heures, il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique  $E_{\text{prod}}$  égale au produit de la puissance crête par le temps écoulé :

$$E_{\text{prod}} = N \times P_c$$

Energie électrique produite (Wh) =

Nombre d'heures d'exposition aux conditions STC (h) x Puissance crête (W)

Grâce à la valeur de  $1000 \text{ W/m}^2$  de ce rayonnement de référence, le nombre d'heures équivalentes se trouve numériquement égal à l'énergie solaire intégrée si on l'exprime en  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{jour}$ .

$$E_{\text{sol}} = N_e \times 1000$$

Energie solaire journalière par unité de surface ( $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{jour}$ ) =

Nombre d'heures équivalentes (h/j) x  $1000 \text{ (W/m}^2)$

On suppose ensuite que la puissance est directement proportionnelle au rayonnement instantané, on peut alors multiplier la puissance crête du panneau solaire par ce nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production du module photovoltaïque pendant cette journée :

$$E_{\text{prod}} = N_e \times P_c$$

Energie électrique produite dans la journée (Wh/jour) =

Nombre d'heures équivalentes (h/jour) x Puissance crête (W)

Puisque  $N_e = \frac{E_{\text{sol}}}{1000}$  on peut l'écrire aussi :

$$E_{\text{prod}} = \frac{E_{\text{sol}} \times P_c}{1000} \quad (1)$$

Energie électrique produite dans la journée (Wh/jour) =

Energie solaire journalière ( $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{Jour}$ ) x Puissance crête (W) /  
 $1000 \text{ (W/m}^2)$

Mais les calculs ci-dessus ne sont vrais que pour un panneau isolé, dans des conditions idéales. Il ne tient pas compte des pertes inévitables d'un système complet, dans les conditions réelles.

*\*Spectre solaire AM 1.5 : il s'agit du spectre de la lumière solaire après qu'elle ait traversé une épaisseur d'air sans nuages correspondant à 1.5 fois l'épaisseur de l'atmosphère. Cette situation se présente en pratique lorsque le ciel est très clair et que le Soleil se trouve à une hauteur de  $41.8^\circ$  au-dessus de l'horizon.*

## 6.2- Calcul pratique de la puissance photovoltaïque<sup>[A-13]</sup>

Les pertes d'une installation sont introduites dans les calculs énergétiques sous forme d'un coefficient  $C_p$  que nous appellerons coefficient de pertes en courant. Ces pertes vont être introduites directement dans le calcul de la production électrique en Ah des modules. Pour ce faire, on reprend la formule (1) donnée ci-dessus, on divise par la tension et on ajoute le coefficient  $C_p$  :

$$Q_{\text{prod}} = \frac{C_p \times E_{\text{sol}} \times I_m}{1000} \quad (2)$$

Energie produite dans la journée (Ah/jour) =

Coefficient de pertes en courant x Energie solaire journalière (Wh/m<sup>2</sup>. Jour)

x courant à la puissance maximale STC du module (A)/

1000 (W/m<sup>2</sup>)

Pour calculer le courant à la puissance maximale nécessaire à l'application, on utilise la formule (2) ci-dessus, en remplaçant l'énergie produite par l'énergie consommée.

Pour être certain de disposer d'assez de puissance en toute saison, on fera ce calcul dans les conditions d'ensoleillement les plus défavorables de la période d'utilisation, sauf dans le cas où l'on utilise un stockage inter-saisonnier.

On appliquera donc la formule suivante :  $I_m = \frac{\left( \frac{Q_{\text{cons}}}{E_{\text{sol}} \times C_p} \right)}{1000}$

Courant à la puissance maximale STC du module (A) =

Energie électrique consommée par jour par l'application (Ah/jour)/

(Energie solaire journalière la plus défavorable (Wh/m<sup>2</sup>. Jour) ×

Coefficient de pertes en courant)/

1000 (W/m<sup>2</sup>)

(Voir l'application dans le chapitre 4 ; Composants photovoltaïques du système)

### 6.3- Facteur de correction

Après avoir trouvé un compromis raisonnable, la production attendue (en kWh par kWc par an) peut être estimée à partir de la production théorique donnée pour une orientation idéale. Le facteur de correction à appliquer peut être déduit des différents angles par rapport à l'horizontale et par rapport au Sud comme le tableau ci-joint :

A l'aide de ce facteur, il est possible de déduire la production moyenne à attendre d'un champ de panneaux d'une puissance donnée en multipliant simplement le chiffre par la puissance nominale.

Dans notre cas, le facteur est de 1 car nos panneaux seront inclinés au sud avec une inclinaison entre 30° et 45°






FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNÉES					
INCLINAISON \ ORIENTATION		0°	30°	60°	90°
Est		0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est		0,93	0,96	0,88	0,66
Sud		0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest		0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest		0,93	0,90	0,78	0,55

Table 4 – Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation donnée <sup>[A-13]</sup>

## 7- Paramètres techniques du soleil

### 7.1- Le rayonnement solaire dans l'espace

La constante solaire actuellement admise est de 1367 W/m<sup>2</sup>. Cette constante, qui dépend de la distance terre – soleil, varie de  $\pm 3,5\%$ . <sup>[A-12]</sup>

### 7.2- Les conditions du soleil au Liban

Les énergies solaires peuvent jouer un rôle important dans la production de l'électricité. En effet la situation géographique du Liban lui permet d'avoir un gisement solaire apte à lui fournir une quantité non négligeable de ses besoins énergétiques. Il est favorisé dans ce domaine avec sept mois de beau temps et cinq mois d'hiver à moitié ensoleillés. Il reçoit annuellement 6500 MJ/m<sup>2</sup>/an, avec 3000 heures d'ensoleillement à Tripoli, zone littorale,  $\approx (1715 \text{ KWh/m}^2)/\text{an} \approx (4.7 \text{ kWh/m}^2)/\text{jour}$ , et 3200 heures à Ksara, zone de l'intérieur, et cela d'après la station météorologique nationale.

**Un rapport pris du centre météorologique à l'aéroport de Beyrouth, nous montre la quantité du rayonnement global journalier (joule/cm<sup>2</sup>) à Mina Tripoli. (Voir Annexe)**

## 8- Impacts environnementaux des cellules photovoltaïques

La fabrication des modules, nécessite une certaine consommation d'énergie ainsi que l'utilisation de produits chimiques toxiques employés d'ordinaire dans l'industrie électronique.

Durant le fonctionnement, l'impact d'un système photovoltaïque est limité aux aspects visuels et paysagers ainsi que, dans certaines configurations spécifiques (centrales au sol), à une perturbation possible de l'écosystème local.

Arrivés en fin de vie, après plusieurs dizaines d'années de fonctionnement, les modules peuvent être récupérés et démontés, les éléments qui les composent peuvent être recyclés et réutilisés, les déchets finaux ne représentant qu'une part minime de leurs composants.

## 9- Aspects économiques

Pour réduire les surcoûts de l'installation photovoltaïque et l'intégrer plus facilement, il est toujours préférable de penser à cette installation lors de la conception du projet.

Les coûts essentiels de l'installation représentent les 71% du total, soit 60 % pour le cout des modules et 10 à 15 % pour celui des onduleurs.

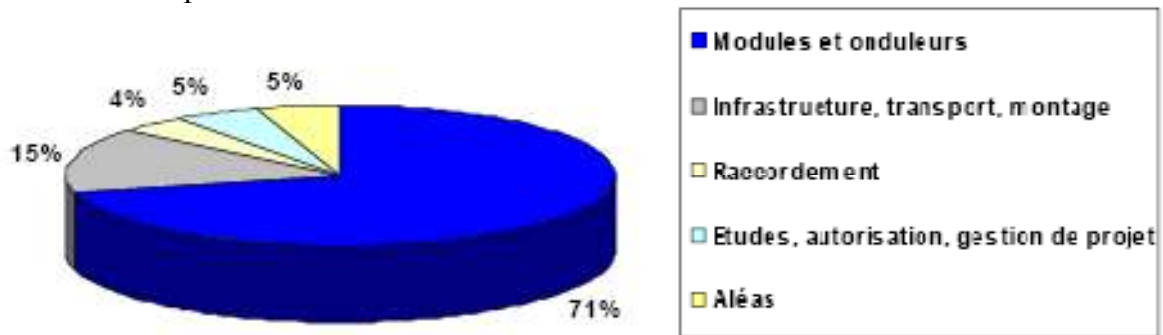


Figure 9 – Répartition du coût d'une installation photovoltaïque par poste de dépense

### Coût de l'exploitation :

Les dépenses annuelles d'exploitation et de maintenance sont faibles, de l'ordre de 1 % du coût d'investissement en comptant par exemple sur 20 ans quatre visites de contrôles, trois incidents nécessitant une intervention, un défaut module et deux pannes d'onduleur.

## 10-Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents aspects de l'énergie photovoltaïque.

Une conception d'une installation photovoltaïque a certainement besoin, en dehors de la connaissance de ses composants essentiels, d'avoir une étude détaillée de la puissance nécessaire selon les besoins de son utilisation.

Dans le chapitre suivant, nous allons faire cette étude. Les prix d'une telle installation seront indispensables à être connues, pour cela une étude économique sera détaillée.

Ce chapitre nous a souligné, de même, l'importance de l'énergie solaire au Liban, et nous a permis également de justifier le choix des panneaux solaires (panneaux solaires à base de silicium polycristallin « comparaison entre prix, rendement et garantie ») ainsi que les notions de calcul nécessaires pour les prochaines étapes de réalisation de ce projet.



## **CHAPITRE IV**

### **Réalisation du projet**

#### **1- Concept et paramètres numériques du projet**

Au préalable, tout projet éolien et photovoltaïque se base sur une analyse de l'état initial du site et de son environnement. La ressource du vent et du soleil est un élément fondamental dans le choix d'un site, cependant la possibilité d'insérer des éoliennes dans un paysage déterminé constitue également un facteur de décision important.

##### **1.1- Schémagénéral du concept**

Comme nous l'avons signalé précédemment, le but du projet est d'éclairer l'île de Bakar, et le pont la reliant à la terre ferme à Tripoli (Liban-Nord). Une maquette du projet touristique nous est offerte par le centre écologique à Mina.



Figure 10 – Maquette initiale du projet

Le potentiel éolien et solaire dans n'importe quel site, est très variable. Pour cela, un stockage nécessaire de l'énergie fournie pendant le temps de bon vent et soleil, est une importance inévitable. Les batteries d'accumulation sont en effet la solution la plus efficace pour les cas semblables à notre cas, c'est-à-dire usage direct de ses réserves pour satisfaire la charge demandée.

Afin de pouvoir remplir ce besoin, un système éolien/solaire débitant un courant électrique doit être installé.

L'éclairage de l'île nécessite cependant un transport du courant sur une surface relativement considérable. Or le transport par un courant continu pourrait être très défaillant par raison de pertes énormes, l'utilisation d'un onduleur approprié convertissant le courant continu en alternatif monophasé serait donc d'une importance majeure pour réduire ces pertes par effet Joule. Signalons que les caractéristiques électriques de ces composants seront détaillées largement dans ce chapitre.

Le schéma général sera ainsi représenté dans la figure ci-dessous

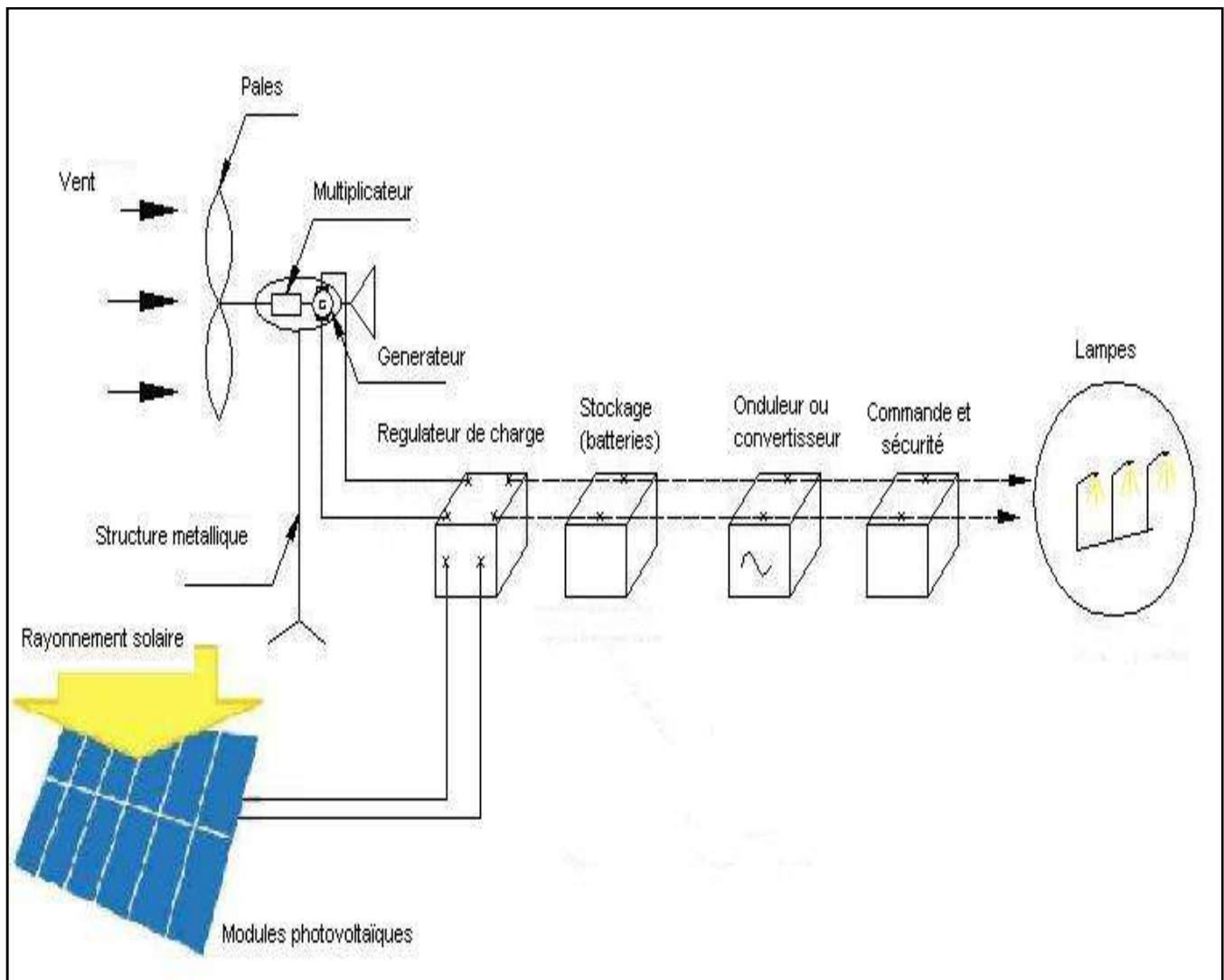


Figure 11 – Schéma du concept général du projet

### 1.2- Notions scientifiques sur l'éclairage

La technique de l'éclairage impose la définition d'un certain nombre de grandeurs caractéristiques des phénomènes mises en jeu :

- flux lumineux ( $\Phi$ ) : Énergie lumineuse émise dans une direction donnée ; quantité de lumière exprimée en Lumen (lm).
- Eclairement ( $E$ ) : Quantité de lumière (lm) émise par une source, interceptant une surface en  $m^2$  ; il est exprimé en Lux ;  $Lux = lm / m^2$ .
- Efficacité lumineuse ( $k$ ) : L'efficacité lumineuse d'une source est le quotient du flux lumineux global qu'elle émet en tous ses points par la puissance (Watt) qu'elle absorbe. Il est exprimé en (lm/W).

Deux expressions expriment le flux lumineux  $\Phi$  :

$$\begin{cases} \Phi = E \times A & (1) \\ \Phi = k \times P \times n & (2) \end{cases}$$

Avec  $P$  : la puissance absorbée par une lampe,  
 $n$  : le nombre des lampes équivalentes.  
 $A$  : surface à éclairer.

Partant de ces données, et connaissant les caractéristiques générales des lampes, on peut évaluer leur nombre  $n$ , permettant d'avoir un éclairage approprié.

Nous utiliserons le plus souvent l'équation (1)

### 1.3- Surface à éclairer

La carte topographique à l'échelle 1/800 donnée par le bureau de l'écologie à Mina est la suivante :

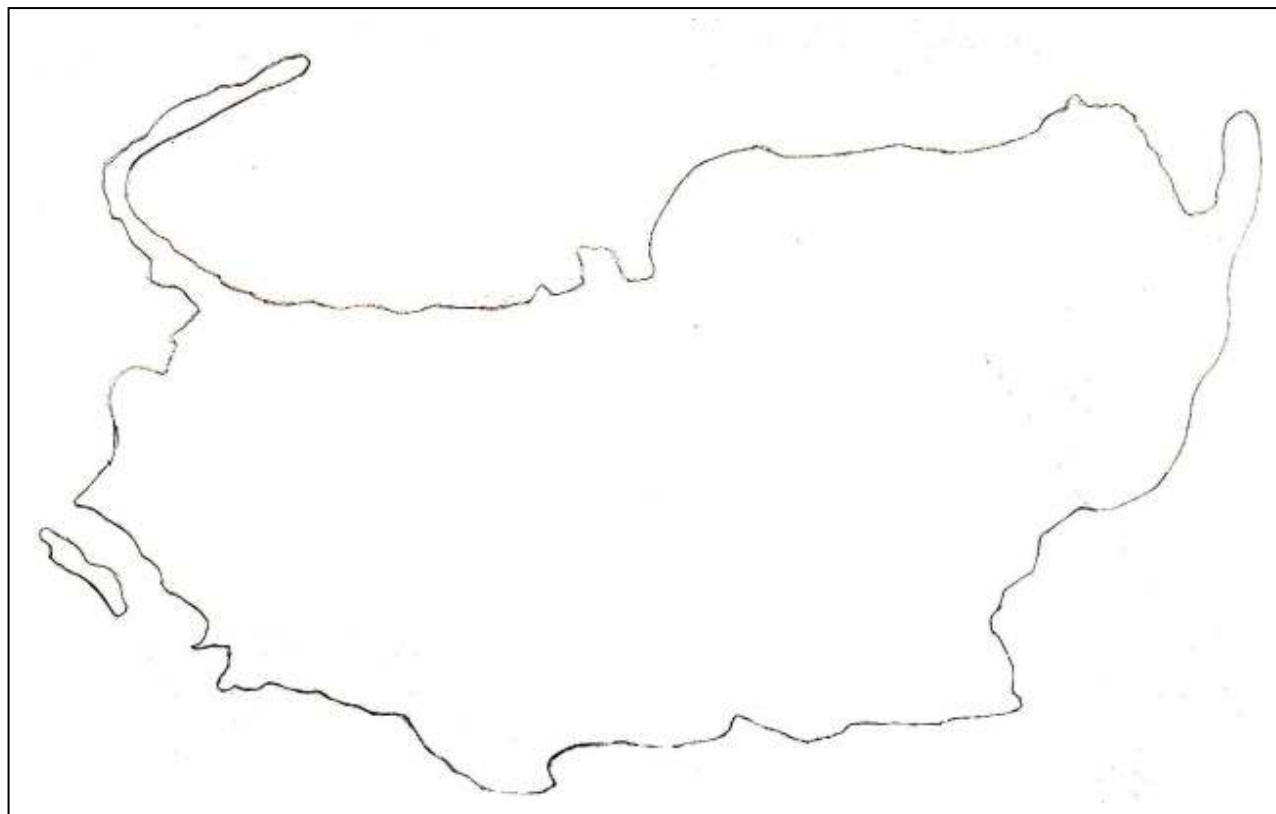


Figure 12 – Carte topographique de l'île

La surface de l'île à éclairer est estimée à  $9750 m^2$ .

La surface du pont à éclairer est estimée à  $110 m \times 3.5m = 385m^2$ .

#### 1.4- Evaluation du nombre de lampes à basse consommation

L'éclairage efficace d'une rue ou d'un jardin public nécessite un éclairage variant entre 20 et 70 Lux <sup>[A-4]</sup>

Le choix optimal est 25 Lux pour l'île et 50 Lux pour le pont. (Ce nombre peut varier selon l'efficacité de l'éclairage désiré par le constructeur ou l'utilisateur).

Le flux lumineux nécessaire sur toute la surface de l'île est donc égale à :

$$\Phi_i = 25 \times 9750 = 243\,750 \text{ lm.}$$

Le flux lumineux nécessaire sur toute la surface du pont est donc égale à :

$$\Phi_p = 50 \times 385 = 19\,250 \text{ lm.}$$

#### Choix des Lampes à basse consommation

Le choix du type des lampes est choisi d'un catalogue Européen spécialisé en éclairage extérieur et intérieur (certifié ISO9001,...). Ainsi, notre demande sera satisfaite par les lampes HIT-DE 150 W HIT 35 W et TC-TSE 30 W dont les caractéristiques sont présentées dans la table suivante <sup>[A-4]</sup>

Localisation	Type	Code	Puissance (W)	Voltage (V)	Flux (lm)	Efficacité (lm/W)
L'île	HIT-DE* Halogénures métalliques	L 073	150	220	13500	92
Le pont	HIT Halogénures métalliques	L 223	35	220	3000	77
Les chambres	TC-TSE Fluorescente électronique	L 185	30	220	1900	63

Table 5 – Caractéristiques des lampes utilisées <sup>[A-4]</sup>

Signalons qu'une lampe Incandescente d'une puissance de 150W nous donne un flux lumineux de 1800 lm seulement avec une efficacité de 12 lm/W.

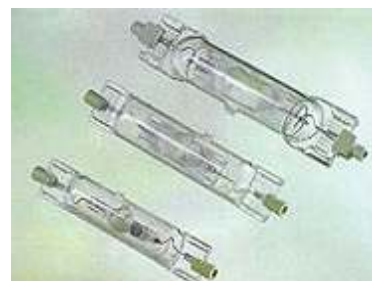


Figure 13 – Lampes HIT-DE

\*Avec ballast et amorceur

Evaluation du nombre des lampes pour l'éclairage de l'île :

$$N_{\text{île}} = \Phi_i / \text{flux de la lampe (lm)} = 243\,750 / 13\,500 \approx 19 \text{ Lampes}$$

Evaluation du nombre des lampes pour l'éclairage du pont :

$$N_{\text{pont}} = \Phi_p / \text{flux de la lampe (lm)} = 19\,250 / 3000 \approx 7 \text{ Lampes}$$

Le catalogue [A-4] offre de plus la disposition optimale des poteaux d'éclairage afin d'obtenir l'éclairement désiré :

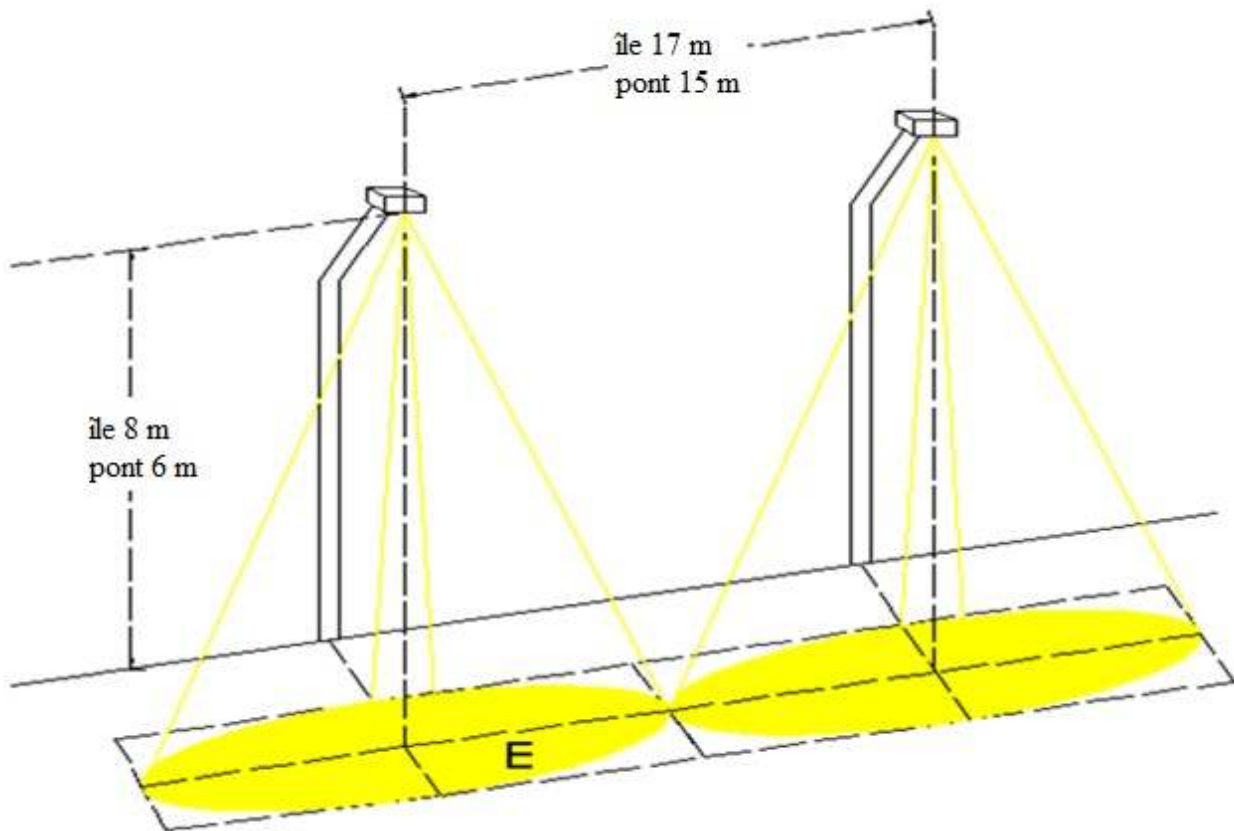


Figure 14 – Disposition optimale des poteaux d'éclairage<sup>[A-4]</sup>

Donc la distance entre les poteaux serait de 17m pour l'éclairage de l'île et 15m pour l'éclairage du pont, élevé chacun de 8m et 6m respectivement, fournissant un éclairement de  $E=25 \text{ Lux}$  et  $E=50 \text{ Lux}$ .



Une distribution approximative pour l'éclairage de l'île peut être réalisée comme indique la figure suivante.



Figure 15 – Distribution approximative des lampes sur l'île

Les points U et V représentent deux lampes Fluorescentes électroniques de 30 W respectivement pour une chambre d'un gardien de l'île et pour la chambre des composants électroniques. Tous les autres points noirs représentent les 19 lampes déjà conçues pour l'éclairage de l'île et les points verts représentent 3 lampes parmi les 7 lampes conçues pour l'éclairage du pont. Les lignes rouges sont les circuits d'alimentation (réellement deux : phase et neutre). Le point jaune représente l'endroit de l'implantation de la turbine éolienne, les panneaux solaires seront installés sur le toit de la chambre des équipements. Signalons que ce dessin était conçu seulement pour des raisons de calcul.

### 1.5- Évaluation des pertes électriques

Comme nous avons mentionné, il y a toujours des pertes de transport par effet Joule dans les circuits d'alimentation. Ces pertes sont données par :

$$P_t = R \times i^2$$

Avec R : la résistance du circuit et i : le courant y circulant (A).

Chaque lampe nécessite une intensité de :

$$i_{\text{lampe de l'île}} = \frac{P}{U} = \frac{150\text{W}}{220\text{V}} = 0,68 \text{ A} ; \quad i_{\text{lampe du pont}} = \frac{P}{U} = \frac{35\text{W}}{220\text{V}} = 0,15 \text{ A}$$

Les câbles sont en cuivre ; la résistance est donnée par :

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

Avec « $\rho$ » est la résistivité, elle dépend du matériel choisi.

Pour le cuivre, elle est de  $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

« $l$ » est la longueur du câble en m, et « $s$ » sa section en  $m^2$  ;

Tenant compte de la similarité de phase et de neutre, les pertes dans un câble seront :

$$P_c = 2 \times R \times i^2.$$

Donc il faut calculer pour chaque portion de circuit, le courant y traversant sur une longueur  $l$  approximative et la section sécuritaire pour empêcher l'échauffement excessif. Tout calcul fait, les résultats sont dressés dans le tableau suivant :

Portion de circuit	Section (mm <sup>2</sup> )	Pertes (W)
<b>Sur la hauteur des 19 poteaux</b>	1	2.39
<b>FG</b>	1	0.47
<b>EF</b>	1	1.89
<b>EH</b>	1.5	7.73
<b>HI</b>	1.5	5.68
<b>IJ</b>	1.5	2.63
<b>JK</b>	1.5	1.69
<b>KL</b>	1.5	1.9
<b>LM</b>	1.5	0.42
<b>Pertes entre I,K,L,M et leur lamps correspondantes</b>	1	0.94
<b>ZB</b>	2.5	13.65
<b>BC</b>	2.5	15.3
<b>CD</b>	2.5	12.65
<b>DE</b>	2.5	10.25
<b>ZA</b>	2.5	4.64
<b>AO</b>	2.5	4.55
<b>OP</b>	2.5	3.16
<b>PQ</b>	2.5	2.03
<b>QR</b>	2.5	1.43
<b>RS</b>	2.5	0.51
<b>ST</b>	2.5	0.12
<b>ZU</b>	1	0.039
<b>ZV</b>	1	$\approx 0$
<b>Pont</b>	1.5	11.32
<b>Total</b>	-	<b>105.38</b>

Table 6 – Les pertes par transport

### 1.6- Evaluation de la puissance électrique nécessaire

a) La puissance électrique consommée pour l'éclairage de l'île est :

$$P_{\text{éclairage}} = (\text{Eclairage île}) + (\text{Eclairage pont}) + (\text{Eclairage chambres}) + (\text{Pertes})$$

$$P_{\text{éclairage}} = (19 \times 150) + (7 \times 35) + (2 \times 30) + 105 = 3\,260 \text{ W}$$

b) La puissance électrique consommée par d'autres équipements :

Charges Electriques	Puissance nominale (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
2 ventilateurs pour les deux chambres	$(75 \times 2) = 150$	329 (6h/jour)
1 réfrigérateur	160	288*
1 micro onde	800	438 (1,5h/jour)
1 téléviseur	45	132 (8h/jour)
<b>Total</b>	1155	1 187

Table 7 – La puissance électrique consommée par les équipements

c) La puissance électrique totale sera :

$$P_e = \text{Puissance éclairage total} + \text{Puissance équipements}$$

$$P_e = 3260 + 1155 = 4415 \text{ W.}$$

### 1.7- Evaluation de la consommation électrique annuelle

a) Consommation électrique par éclairage :

La durée moyenne de consommation de l'énergie est estimée à 13 heures par jour, de 17 h à 6 h du matin, donc la consommation pour un jour sera :

$$P_{\text{éclairage}} \times 13 \text{ h} = 3260 \times 13 = 42\,380 \text{ Wh} = 42.38 \text{ kWh.}$$

La consommation annuelle pour l'éclairage:

$$42\,380 \text{ Wh} \times 365 \text{ jours} = 15\,468\,700 \text{ Wh} \approx 15\,469 \text{ kWh/an}$$

b) Consommation électrique annuelle d'autres équipements : 1 187 kWh/an

c) Consommation totale :

Donc notre système doit fournir une production éolienne/solaire de :

$$\text{Consommation éclairage (kWh/an)} + \text{Consommation équipements (kWh/an)}$$

$$= 15\,469 + 1\,187 = \mathbf{16\,656 \text{ kWh/an.}}$$

\*Référence catalogue du constructeur.



Ci-dessous un tableau englobant les paramètres principaux :

No	Charge électrique	Puissance nominale (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
1	Eclairage Ile (19 lampes)	2850	13 523
2	Eclairage pont (7 lampes)	245	1 163
3	Chambre concierge (1 lampe)	30	142,5
4	Chambre équipements (1 lampe)	30	142,5
5	Ventilateur chambre concierge	75	164,5
6	Ventilateur chambre équipements	75	164,5
7	Réfrigérateur	160	288
8	Micro onde	800	438
9	Téléviseur	45	132
10	Pertes par transport	105	498
11	<b>Total</b>	<b>4 415</b>	<b>16 656</b>

Table 8 – Charges électriques, puissances et consommations

### 1.8- Données éoliennes/solaires du site

Le rapport journalier de la station météorologique (voir Annexe) nous montre que nous n'allons pas avoir des jours non consécutifs par mois de vent calme  $\leq 3\text{m/s}$  et que pendant ces jours la quantité d'ensoleillement est assez suffisante, alors l'énergie solaire va compenser une partie des pertes.

Le tableau ci-dessous nous montre la vitesse moyenne du vent et la quantité du rayonnement global moyenne au site par mois:

Signalons que  $1 \text{ J/cm}^2 = 2,77\text{Wh/m}^2$

(voir annexe – Rapport Climatologique Journalier Mina-Tripoli)

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov	Déc.
V (m/s)	8.2	7.4	7.7	8.1	7.5	7.8	8.7	7.6	7.3	6.1	6.1	6.5
RG*(J/ cm <sup>2</sup> )	807	1145	1673	2055	2470	2681	2540	2083	1783	1310	N/D	N/D
RG* (Wh/m <sup>2</sup> )	2235	3171	4634	5692	6842	7426	7036	5770	4939	3629	N/D	N/D

Table 9 – Données éoliennes/solaires du site

*\*Le rayonnement global (RG) correspond à l'éclairement énergétique d'une surface horizontale unitaire pendant une période donnée.*

La figure ci-dessous représente l'histogramme des données éoliennes/solaires du site

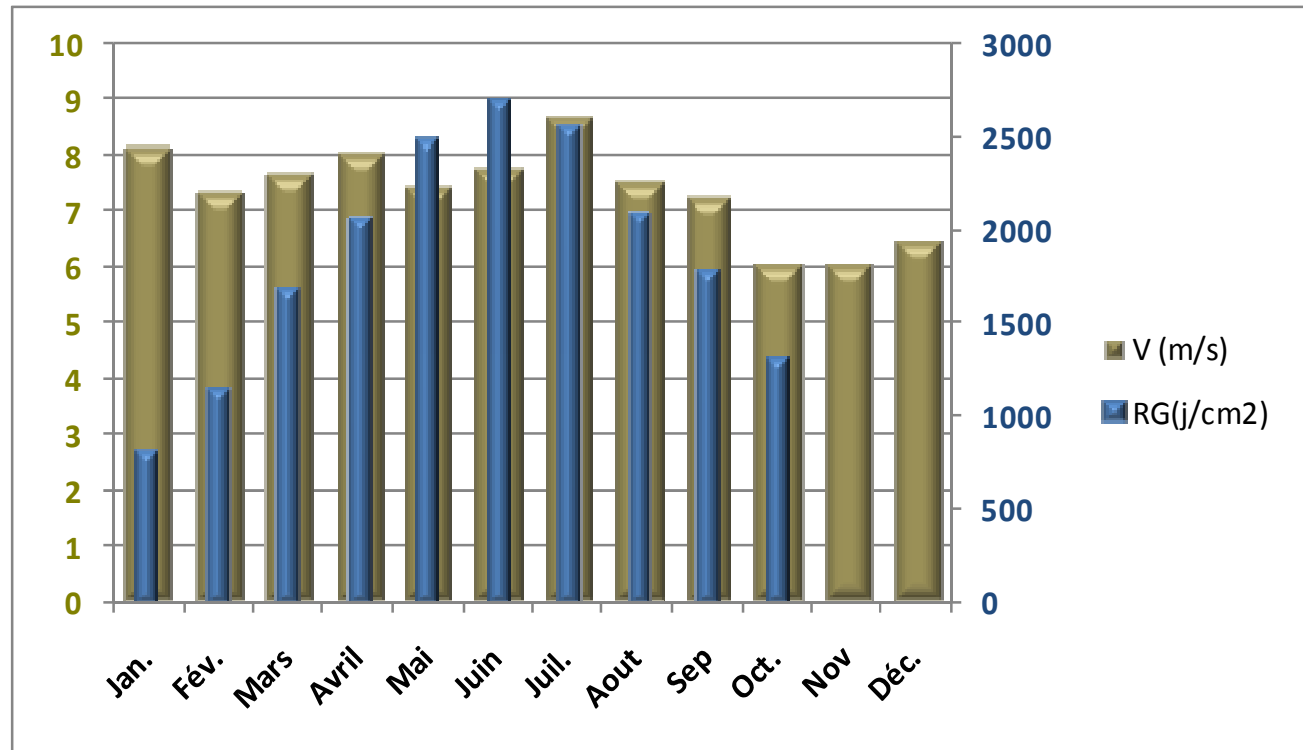


Figure 16 – Histogramme des données éoliennes/solaires du site

D'après les valeurs de la vitesse du vent et du rayonnement global solaire journalier (voir rapport climatologique journalier ; annexe), nous remarquons qu'il n'y a pas de jours intermittents où il n'y a pas de production, mais pour des raisons sécuritaires, on va supposer qu'il peut y avoir 2 jours consécutifs sans production électrique, alors un calcul sera ensuite fait pour estimer la capacité des batteries pour un tel cas.

### 1.9- Evaluation du potentiel éolien et solaire dans le site

- Potentiel éolien :

D'après les données offertes par le service météorologique de la direction générale de l'aviation civile pour la station IPC, Tripoli, nous pouvons évaluer le potentiel éolien dans notre site d'implantation Mina à une légère approximation étant donné que c'est la station météo la plus proche : la vitesse moyenne annuelle à la hauteur de 5 m est de 5.8 m/s.

Comme nous l'avons signalé précédemment, la vitesse varie avec la hauteur par la formule ci-dessous :

$$\frac{V}{V_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^n$$

La figure ci-contre, prise d'une partie de l'île montre clairement que la classe de rugosité de ce site est 0.5 (voir table 1 – Classes et longueurs de rugosité); une valeur  $n=0.17$  est attribuée.



Figure 17 –Photo de l'île

Pour se procurer d'une meilleure qualité du vent, au-dessus des obstacles pouvant freiner son mouvement, on choisit de construire le moyeu de l'éolienne à une hauteur  $H$  correspondant à la vitesse moyenne du vent sur notre site (7m/s) .

La Hauteur  $H$  sera alors :  $H = e^{\left(\frac{1}{n}\right)\left(\ln\left(\frac{V}{V_0}\right)\right) + \ln(H_0)} = e^{\left(\frac{1}{0.17}\right)\left(\ln\left(\frac{7}{5.8}\right)\right) + \ln(5)} \approx 14\text{m}$

Des études approfondies dans le domaine de l'exploitation du vent montrent que les variations annuelles du vent peuvent être distribuées suivant la loi de Weibull fréquentielle.

La distribution de Weibull est le modèle général qui décrit les variations de la vitesse du vent. Ce modèle permet d'optimiser la conception des éoliennes pour minimiser les coûts liés à la production d'électricité.

Pour tracer la distribution de Weibull pour notre site, on a besoin de la vitesse moyenne du vent au site au cours de l'année et du paramètre de forme.

Avec la vitesse moyenne de 7m/s, cette distribution Weibull prend la forme suivante :

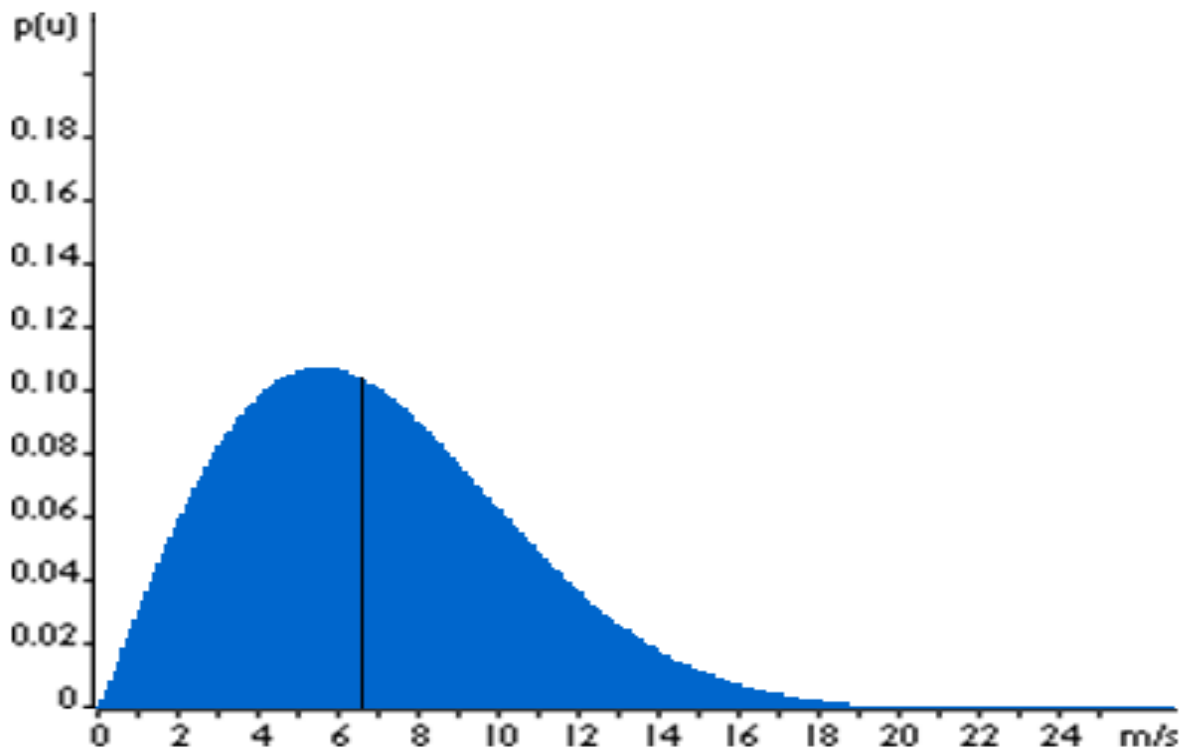


Figure 18 – Distribution de Weibull

Cette construction est faite en se basant sur un programme de traçage sur le site de « DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION » <sup>[B-23]</sup>

Paramètre de forme  $k=2.0$  (1 à 3); Moyenne = 7; Mediane = 6.60  
 $p(u)$  représente la fréquence de soufflage de chaque vitesse.

Le paramètre de forme  $k$  montre combien la distribution est pointue. Si les vitesses du vent ont tendance à se situer toutes autour de la même valeur, la distribution aura une valeur de  $k$  élevée et une forme très pointue. Dans notre cas il n'y a pas une distribution des vitesses autour d'une seule valeur ni trop éloignées les unes des autres d'où la valeur intermédiaire de  $k=2$ , prenant la forme particulière de la distribution de Rayleigh.

On remarque bien que, 7m/s ne représente pas la plus grande fréquence. C'est évident car 7m/s est la moyenne des vitesses enregistrées sur le secteur; parfois il y aurait des vents très forts mais ça ne sera que rarement. La ligne verticale correspond à  $V=6.6$  m/s, c'est la médiane de la distribution qui partage la zone de la courbe en moitié, c.à.d. que le vent souffle à moins de 6.6m/s la moitié du temps et à plus de 6.6m/s pendant l'autre. La vitesse la plus fréquente est 5.8 m/s.

- Potentiel solaire :

En ce qui concerne l'énergie solaire, la situation géographique de ce site lui permet d'avoir un gisement solaire apte à lui fournir une quantité non négligeable de ses besoins énergétiques. Il est favorisé dans ce domaine avec sept mois de beau temps et cinq mois d'hiver à moitié ensoleillés. Il reçoit annuellement  $6500 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{an}$ , avec 3000 heures d'ensoleillement, zone littoral, et cela d'après le Centre National de l'Energie Renouvelable.

### 1.10- Répartition de la puissance entre éolienne et solaire

Nous avons vu que la puissance électrique nécessaire est de l'ordre de 4415 W.

Il existe 2 choix pour la distribution de la production électrique en provenance de la turbine éolienne et des panneaux solaires. Les deux choix sont directement liés au contrôleur utilisé qui va gérer la puissance reçue du système.

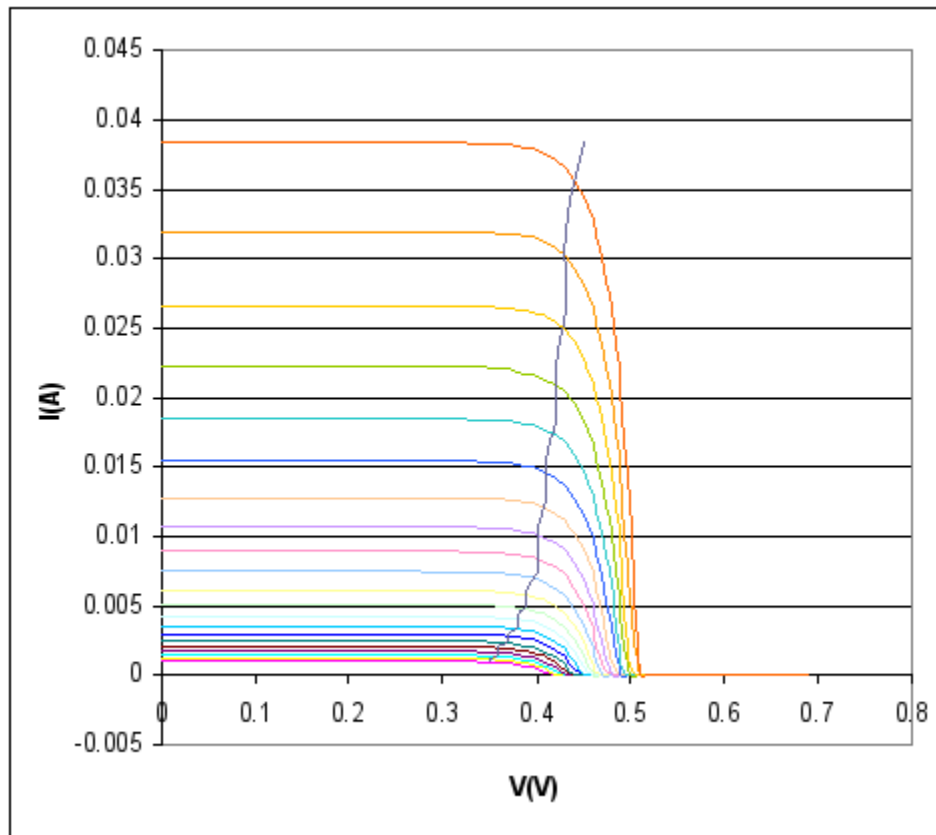
1<sup>er</sup> choix : 1 seul contrôleur commun pour la turbine éolienne et les panneaux solaires, dans ce cas la distribution de la puissance sera  $\frac{3}{4}$  éolienne et  $\frac{1}{4}$  solaire, de la puissance totale du système, puisque tous ces types de contrôleurs hybrides (éoliens/solaires) obligent cette proportion de répartition. (Voir figure 11). Ce système est le plus répandu au Liban et utilisé avec des caractéristiques similaires à celles éoliennes/solaires de notre site.

2<sup>ème</sup> choix : 2 contrôleurs séparés, dans ce cas le dimensionnement de chaque source sera séparé de l'autre.

- Notion de MPPT :

Permettant les PV d'opérer à un voltage différent de ceux des batteries, ouvre une possibilité très importante !

Un MPPT, de l'anglais *Maximum Power Point Tracker* est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs photovoltaïques ou encore avec les générateurs éoliens. Un générateur photovoltaïque est un générateur dont la caractéristique  $I = f(U)$  est fortement non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge. Dans la figure ci-dessous, les courbes caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, où le point de puissance maximale a été mis en évidence, pour différents ensoleillements.



Le MPPT utilise la méthode Perturbation et Observation (PO) dans ce but.

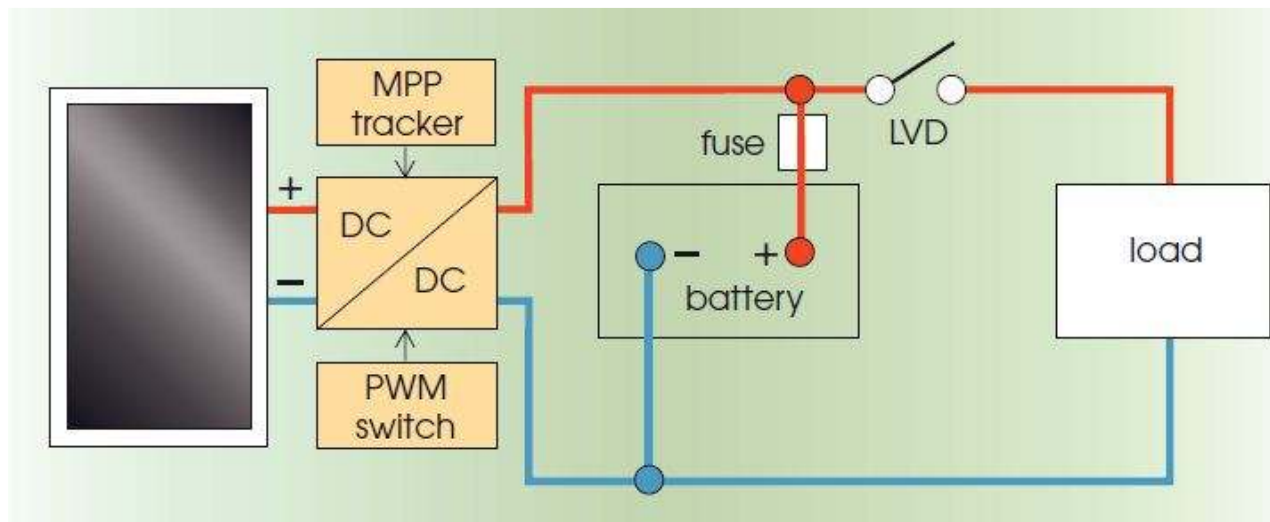
La méthode PO est sans doute la plus naturelle qui vient à l'esprit pour faire une recherche du point maximal de puissance (*MPP, Maximum Power Point* en anglais). Dans le cas d'une application photovoltaïque, il s'agit en fait d'un algorithme qui :

1. pour une tension  $U_1$  fixée va mesurer la puissance correspondante  $P_1$  délivrée par le générateur,
2. après un certain temps, l'algorithme impose une tension  $U_2 = U_1 + \Delta U$  et mesure également la puissance correspondante  $P_2$ ,
3. si  $P_2$  est supérieure à  $P_1$  : l'algorithme cherche à imposer une tension plus grande  $U_3 = U_2 + \Delta U$ . Sinon l'algorithme cherchera au contraire à abaisser la tension :  $U_3 = U_1 - \Delta U$

Ainsi le système adapte en permanence la tension aux bornes du générateur photovoltaïque afin de se rapprocher du point de puissance maximum, sans jamais l'atteindre précisément. D'autres algorithmes différents existent ainsi que des solutions entièrement analogiques parfois assez simples à mettre en œuvre.

La disposition de la sortie de la cellule PV, dans son nouveau niveau de tension, est présenté à la piles comme un train de de pulsations de courant rapide de largeur variable utilisant un commutateur PWM qui brûlent les excès de puissance en « dump load », ce qui rend la charge de la batterie dans le meilleur statut.

Selon le schéma simplifié suivant où la connexion aux PV est présente seul sans l'éolienne qui sera à son tour connectée à son propre contrôleur si on est au 2<sup>nd</sup> choix ou au contrôleur hybride étant au 1<sup>er</sup> choix.



Le convertisseur DC /DC permet le module PV (ou séries de PV) de fonctionner à une autre tension DC de celle des batteries.

### Sélection du choix :

Dans notre cas et avec les conditions éolienne/solaires précédentes de notre site on va utiliser un contrôleur commun pour gérer la production éoliennesolaire. En plus, ce choix est le plus favorable, car nous pouvons bénéficier du vent durant le jour et la nuit et les coûts de la production électrique à partir du vent sont toujours moins chers que ceux à partir du soleil.

## **2- Composants électriques du système**

### Démarche pour la sélection :

Pour pouvoir faire la sélection des composants électriques ainsi que la surface des PV et l'éolienne, il faut commencer par sélectionner par ordre des composants électriques nécessaire.

### **2.1 L'onduleur ou convertisseur :**

Les convertisseurs sont des appareils électroniques capables de transformer le courant continu en alternatif.

Dans notre cas, on a besoin d'un convertisseur monophasé qui a comme paramètres d'entrée  $V_{cc}$  48V- 6500 W et de sortie  $V_{ca}$  220V.

On peut dans ce cas utiliser un convertisseur de 7000 W standardisé.

## Onduleur ou convertisseur 7000w/220v de rendement $\eta_c=0,9$

Modèle	NW-S 7000W/220V
Type	7kw/220v
Dimensions	553*260*523mm
Poids	60kgs
Fabricant	FoshanOuyad Electronic Co.,LTD© (Chine)
Fournisseur	Dawtec

Table 16 – Caractéristiques techniques du convertisseur utilisé



Figure 19 – L'onduleur Foshan Ouyad

### Conclusion :

L'onduleur doit être capable de fournir une puissance **P = 4415W**

Avec un courant  $I = \frac{P}{U} = \frac{4415W}{220V} = 20A$  ;

La consommation annuelle est de l'ordre de **16 656 kWh/an**

## 2.2 Les Batteries

Les batteries utilisées en énergie renouvelable sont une source de stockage de l'énergie électrique en forme chimique très efficace. Ils varient suivant le type, le prix, la qualité, la longévité et la capacité.

Afin de pouvoir fournir rapidement l'énergie nécessaire, ils doivent être à décharge profonde. Ses capacités de décharge varient de 50-80%.

Les batteries acides à Pb/PbO<sub>2</sub> ils sont peu coûteux mais moins efficaces. Par contre, celles à cellules de Nickel sont plus efficaces et durables mais elles coûtent chères.

Cependant, il existe plusieurs modèles. Celles du type Trojan sont les plus utilisées dans notre domaine. Elles sont capables d'alimenter des grandes charges pendant une grande durée. Ils se déchargent de 5 à 10% par mois. Leur durée de vie dépend de la profondeur de décharge (P.D.D.) : Plus de 2000 cycles (décharge et recharge) pour P.D.D. de 20%; 1000 cycles pour P.D.D de 50% et 800 cycles pour P.D.D de 80%.

Les batteries utilisées sont des batteries à décharge profonde de 48V/400Ah.

La durée moyenne de consommation de l'énergie est estimée à 13 heures par jour de 17 h à 6 h du matin.



Figure 20 – Batterie à décharge profonde



### 2.3 Estimation de la capacité et du nombre des batteries :

Comme déjà mentionne au-dessus, les batteries vont être soumises a plusieurs cycle de charge et décharge et leurs capacités dépend de la façon dont elles se décharge. Or dans notre situation la décharge se fait d'une manière presque monotone mais il faut prendre en compte un facteur, D, qui définit le niveau de décharge permis.

D=0,75 pour des décharges rapide et non monotone

D=0,9 pour des décharges monotones.

(reference : Electricity from Sunlight, An Introduction to Photovoltaics, Paul A. Lynn)

$$P = 4415 / (D \cdot \eta_c) = 4415 / (0,9 \cdot 0,9) = 5450 \text{ W par suite } I = \frac{P}{U} = \frac{5450 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 113.5 \text{ A}$$

Pour rester dans le cas sécuritaire, nous supposons de plus qu'il peut y avoir 4 jours consécutifs sans courant productif. Dans ces conditions, on peut écrire :

$$Q \times 48\text{V} > 13\text{h} \times 4 \text{ jours} \times 5450\text{W}$$

Avec Q : capacité des batteries en Ah

$$Q > \frac{13 \times 4 \times 5450}{48} \Rightarrow Q > 5904\text{Ah.}$$

Sachant que chaque batterie admet une capacité de 400A.h, nous aurons besoin de

5904/400= 14,7 soit **15 batteries** placées en parallèle.

Spécifications de la batterie :

<b>Modèle</b>	Batterie à décharge profonde 48V400Ah
<b>Dimensions</b>	513*250*210mm
<b>Poids</b>	65kgs
<b>Durée de vie</b>	10-15 ans, 5 ans Garantie.
<b>Fabricant</b>	FoshanOuyad Electronic Co.,LTD©
<b>Fournisseur</b>	Dawtec

Table 13 – Caractéristiques techniques des batteries utilisées

## 2.4 Estimation du diamètre des câbles

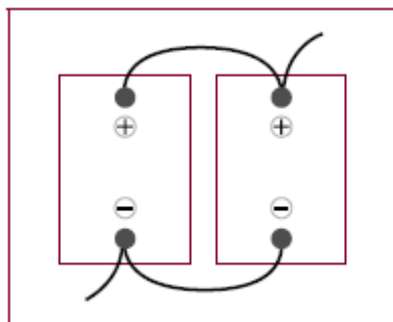
Puisque la puissance moyenne est de l'ordre de 143.6Amp et en se référant au tableau ci-dessous du manuel d'installation Trojan<sup>[B-20]</sup> on va choisir un câble de diamètre 7.3mm.

Dimension du câble (mm)	Courant (A)
1.628	25
2.050	30
2.5	40
3.2	55
4.1	75
5.1	95
6.4	130
7.3	150
8.2	170
9.2	265
11.68	360

Table 14 – Caractéristiques des câbles des batteries <sup>[B-20]</sup>

Ce diagramme est utilisé pour des câbles qui ont une longueur inférieure à 1.8 m. Il est toujours préférable d'installer des câbles de même diamètre et de même longueur entre les batteries.

### Connexion des batteries en parallèle



Ce type de connexion est utilisé pour maximiser la puissance du système et pas le voltage. =>

15 batteries 48V (400Ah) connectées en parallèle =>

Voltage du système = 48V

Puissance du système = 6000Ah

Figure 21 – Représentation de la Connexion en parallèle

## 2.5 Le contrôleur ou régulateur de charge

Sa fonction principale est de contrôler l'état de la batterie. Il autorise la charge complète de celle-ci en éliminant tout risque de surcharge et interrompt l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement de la sécurité anti-décharge profonde. Prolongeant ainsi la durée de vie de la batterie qui est le seul composant fragile du générateur éolien et photovoltaïque.

Dans leurs versions les plus simples, les régulateurs de charge disposent de fonctions de protection de la batterie (anti-surcharge et anti-décharge profonde), de sécurités internes d'autoprotection et de protection du système, d'une sonde de température intégrée et d'une diode série anti-courants inverses. Ils n'utilisent plus de relais mécaniques. Nous trouvons généralement sur leur face avant deux diodes électroluminescentes (LED) qui renseignent l'une sur l'état de charge de la batterie et l'autre sur l'état de fonctionnement de tout le générateur et leur propre consommation d'énergie est réduite (faible autoconsommation).

Les modèles les plus perfectionnés sont des gestionnaires très complets de systèmes photovoltaïques et éoliens. Outre les minuteries, alarmes, enregistreurs de données..., dont ils disposent, ils réalisent un contrôle sophistiqué des composants du système, la mise en route de groupes électrogènes, le contrôle automatique d'équipements destinataires principaux et secondaires...

### Contrôleur éolien/solaire 6500 W



Figure 22 – Contrôleur Hybride (éolien/solaire)MPPT Zhejiang

## Caractéristiques techniques du contrôleur

Modèle	WWS10A-24
Puissance max d'entrée éolienne	5 kW
Puissance max d'entrée PV	1.5 kW
Tension nominale de la batterie	48 V <sub>DC</sub>
Tension de charge	56 V <sub>DC</sub>
Méthode d'affichage	LCD
Méthode de Contrôle	PWM
Affichage des paramètres	Tension de batteries, Courant de charge
Type de protection	Confusion des poles, surcharge.
Environnement de fonctionnement	Température de fonctionnement -20 à 50°C, Altitude ≤ 4000m, Humidité 0 ~ 90%
Dimensions	44*21*38cm
Poids	10kg
Fabricant	Zhejiang China

Table 15 – Caractéristiques techniques du contrôleur utilisé

En se référant aux caractéristiques techniques des contrôleurs (voir annexe; paramètres techniques des contrôleurs éolien/solaire), et d'après la puissance nominale dont nous avons besoin (5450W), nous choisirons un contrôleur MPPT standardisé d'une puissance de 6500W ayant les caractéristiques ci-dessous:

- 5 000W production éolienne.
- 1500Wc Production solaire.

(Ce contrôleur est choisi d'une gamme standardisée ayant la puissance la plus proche de 5450W)

Concernant l'énergie photovoltaïque, la production électrique dépend du Wc (Watt crête), (Voir Page 34 – 35). Signalons qu'une installation d'1 kWc permet de produire une énergie annuelle de 1350 kWh/an à Tripoli Liban Nord (exposition 45° Sud).

Donc avec une installation d'un contrôleur MPPT de 1.5 kWc, on pourra produire au maximum avec les panneaux solaires une puissance de:

$$1.5\text{kWc} \times 1350\text{kWh/an} = 2025 \text{ kWh/an à partir de l'énergie solaire.}$$

Ainsi que pour l'énergie éolienne, on pourra connecter au maximum une turbine de puissance 5kW, et dans la suite la sélection sera basée d'abord sur le choix de l'éolienne et par suite les PV auront le reste de la charge à remplir.

### 3-Composants éoliens du projet

#### 3.1 Estimation de la puissance et du nombre des aérogénérateurs :

Les constructeurs des éoliennes nous permettent d'avoir un graphe de la production annuelle de chaque turbine en fonction de la vitesse moyenne du vent.

En faisant une comparaison de la production annuelle des différents aérogénérateurs nous concluons qu'avec une vitesse moyenne de 7m/s le choix optimal sera la turbine d'une puissance unitaire de 5kW qui nous assure une production annuelle de 15 000 kWh/an. Ci-après la figure démonstrative.

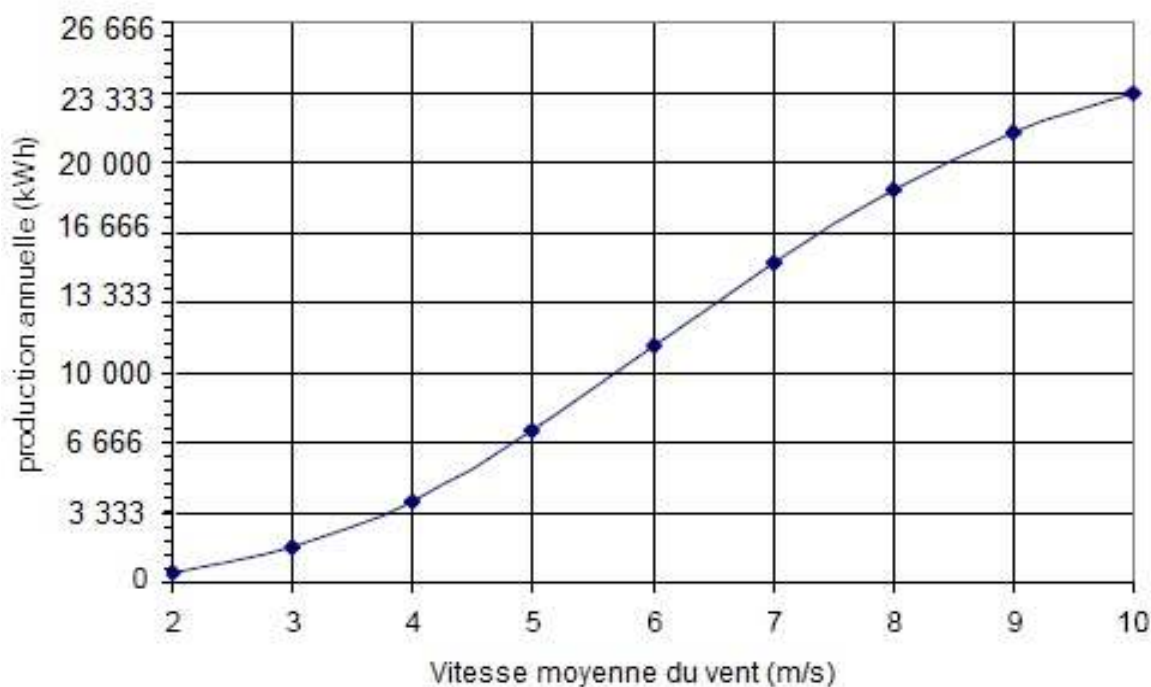


Figure 23–Production annuelle de l'éolienne 5kW en fonction de la vitesse moyenne du vent <sup>[B-21]</sup>

Remarque : Ce graphe est basé sur une densité de l'air standard égale à  $1.225 \text{ kg/m}^3$  au niveau de la mer.

### 3.2-Calcul de la puissance mécanique de la turbine éolienne

En estimant le rendement global de la batterie et du générateur à 0.9, nous aurons besoin par la suite d'une puissance mécanique <sup>[A-5]</sup> :

$$P_{mec} = \frac{5000}{0,9^4} \approx 7620 \text{ W.}$$

### 3.3- Calcul du diamètre du rotor

#### 3.3.1-Choix du design :

Tenant compte des différentes notions techniques établies, nous avons choisi l'éolienne à axe horizontale, face au vent et avec un nombre de pale égale à 3 par suite aux différents avantages dont ils jouissent.

#### 3.3.2-Coefficient de puissance et limite de Betz :

Considérons une éolienne de surface S balayée par l'hélice, comme le montre la figure ci-dessous.

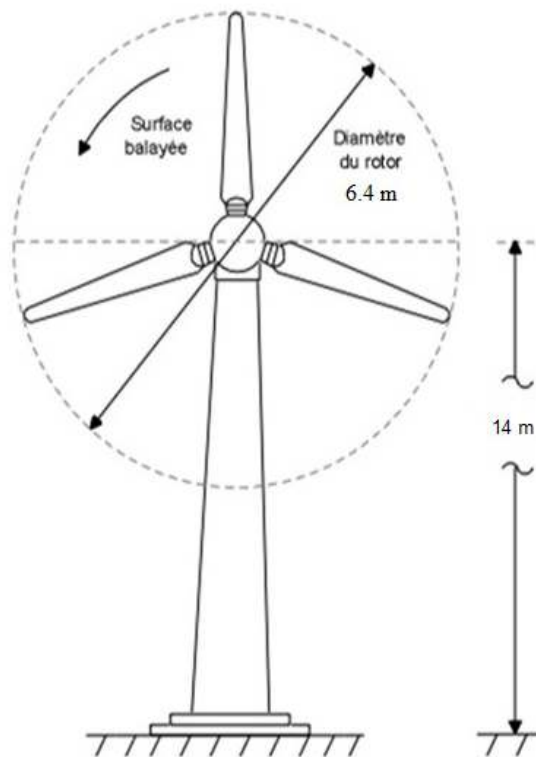


Figure 24 – Schéma général de l'éolienne

Soit  $V_1$ ,  $V$  et  $V_2$  la vitesse de l'air respectivement à l'amont, à la traversée et à l'aval de l'hélice, tel que  $V = V_1 \times (1 - a)$  avec  $V_1 > V > V_2$  et  $0 < a < 1$  ; [A-5]

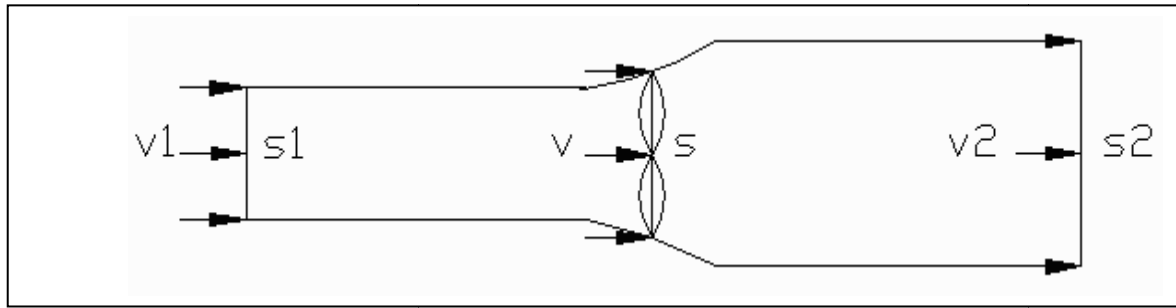


Figure 25 – écoulement de l'air à travers l'hélice [A-5]

Soit  $CP$  le coefficient de puissance tel que  $CP = \frac{P}{P_{\max}}$ ,

Avec  $P$  la puissance retenue sur la surface  $S$  et  $P_{\max}$  la puissance contenue dans une surface équivalente à celle balayée par le rotor dans un vent en amont à l'infini de vitesse  $V_1$ .

Betz a pu démontrer que le coefficient de puissance  $CP$  pourra s'écrire sous la forme :

$$CP = \frac{P}{P_{\max}} = \frac{P}{\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V_1^3} = 4a \times (1 - a)^2 \quad \text{et que} \quad V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Avec  $\rho$  : masse volumique de l'air dans le site,  $[\text{Kg/m}^3]$   
 $S$  : surface du rotor =  $\pi D^2 / 4$ ,  $D$  diamètre,  $[\text{m}^2]$   
 $V_1$  : vitesse à l'amont,  $[\text{m/s}]$   
 $P$  : puissance  $[\text{W}]$

Ainsi, si nous traçons  $CP$  en fonction de  $a$  (Matlab), voir figure ci-dessous, on constate que la valeur maximale du coefficient de puissance est 0.593, appelée limite théorique de Betz.

Le coefficient de puissance ou coefficient de performance indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie mécanique du vent en électricité.

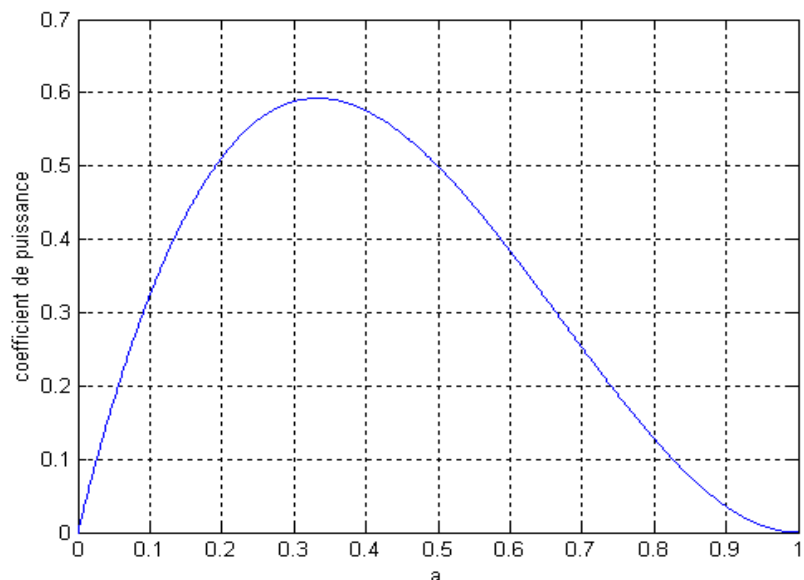


Figure 26 – Courbe du coefficient de puissance

Cependant, cette limite ne peut jamais être obtenue. En effet, la puissance maximale disponible est inférieure à  $P_{\max}$  car le débit de l'air traverse l'hélice avec une vitesse  $V$  non  $V_1$ . Le rendement (efficacité) du rotor peut être donné alors d'une manière similaire par la formule suivante : <sup>[A-5]</sup>

$$\eta_d = \frac{P}{P_{\max \text{ disp}}} = \frac{P}{\rho \times S \times V \times V_1^2} = 4a \times (1 - a)$$

Exprimant la puissance captée sur la puissance maximale disponible

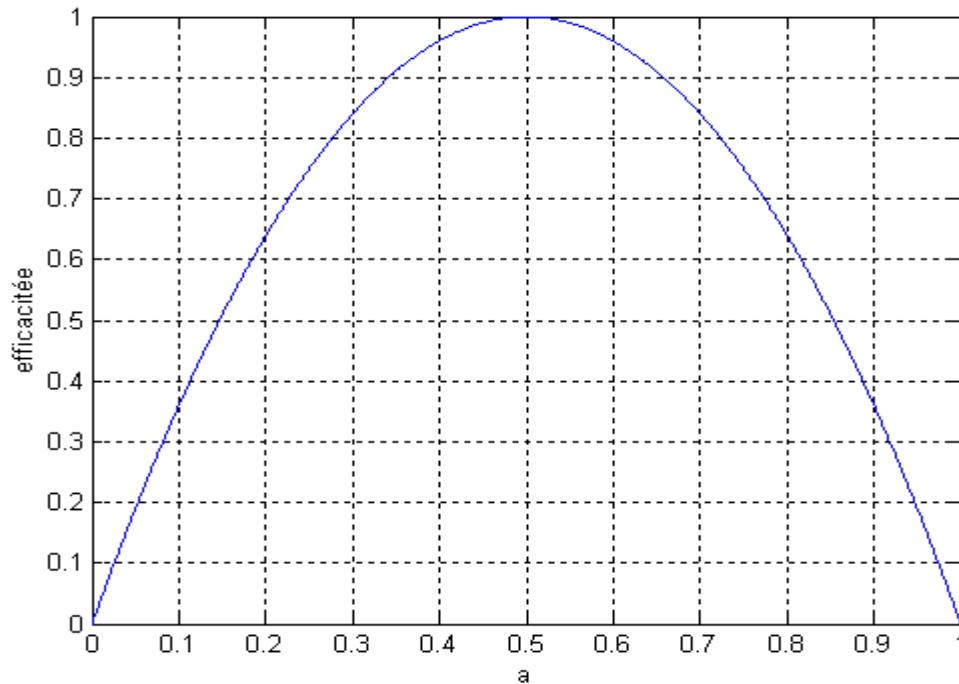


Figure 27 – Courbe de l'efficacité

Par suite, le rendement maximal correspond à  $a = 0.5$ , donc le coefficient de puissance maximal réel pouvant être obtenu, correspond à  $a = 0.5$  et  $CP = 0.5$  ;

### 3.3.3-Evaluation du diamètre :

La masse volumique de l'air à la pression atmosphérique au niveau de la mer est de  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .

Nous pouvons prendre en première approximation  $CP = 0.5$ , qui est un cas sécuritaire.

Avec une vitesse de vent  $V_1 = 7 \text{ m/s}$ , on obtient la puissance mécanique  $7620 \text{ W}$  désirée avec une surface :

$$S = \frac{P}{\rho \times CP \times V_1^3} = \frac{7620}{1.225 \times 0.5 \times 7^3} = 36.2 \text{ m}^2$$

Par suite le diamètre sera :

$$D = \sqrt{\frac{36.2 \times 4}{3.14}} = 6.7 \text{ m}$$



En se référant au tableau des spécifications des aérogénérateurs importés au Liban selon l'importateur Dawtec et Al Taka albadila, et en faisant une comparaison qualité et prix, on va choisir La turbine éolienne Dawtec suivante la plus proche de nos besoins et des paramètres désirés :

**Une turbine de type FD 6.4-3000-E qui nous donne une puissance de 5KW dont les caractéristiques sont les suivantes :**

Modèle	FD6.4-5000-E
<b>Puissance</b>	<b>5kw/240V</b>
Régulateur de charge ou Contrôleur	Contrôle la vitesse de rotation de la génératrice, vitesse et direction du vent, et utilise le système de direction assisté de la nacelle.
Vitesse de démarrage	2 m/s
Vitesse de fonctionnement normal	10m/s
Vitesse maximale	25m/s
Durée de fonctionnement	25ans
Température de fonctionnement	-30°C --- +50°C
<b>Rotor</b>	
Nombre de pales	3
Diamètre du rotor	6.4 m
Vitesse de rotation rotor	200 tr/min
Matériel des pales	Fibre glass
<b>Système d'orientation de la nacelle</b>	
Moyen de travail	couronne dentée (crémaillère) équipée d'un moteur électrique.
Moteur(s) électrique(s)	1
<b>Génératrice</b>	
Type	Triphasée synchrone à aimants permanents
Vitesse de rotation	200 tr/min
Voltage	240v
Système de refroidissement	Air forcé
<b>Longueur du mât libre : 10m</b>	
Câble de contrôle	20m
Emission sonore à la source à 12m/s	< 40dB
<b>Fabricant</b>	Foshan Ouyad Electronic Co., LTD©
<b>Fournisseur</b>	Dawtec

Table 10 – Caractéristiques techniques de l'éolienne utilisée<sup>[B-21]</sup>

Quand la vitesse du vent est supérieure à 20 m/s, le système d'orientation incline progressivement l'axe de l'éolienne pratiquement à la perpendiculaire de la direction du vent, et force ainsi les pales à ralentir de façon significative, et le système de freinage électromagnétique fonctionne pour assurer un système exclusif de sécurité.

### 3.4- Courbe de puissance de la turbine utilisée

La courbe de puissance est un graphe qui représente la puissance de sortie d'une éolienne à différentes vitesses de vent comme nous indique la figure 24 :

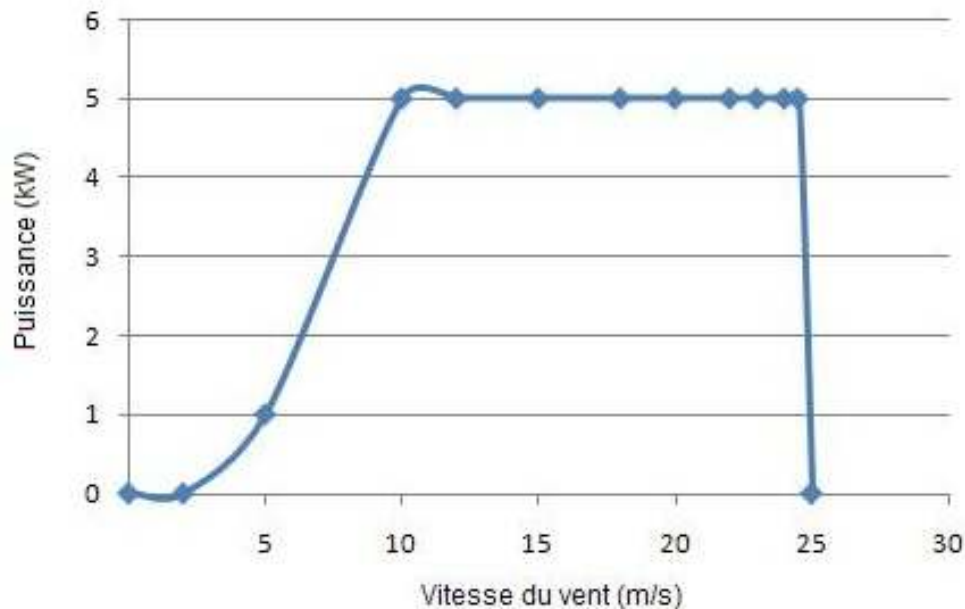


Figure 28 – Courbe de puissance de la turbine

On peut distinguer 4 parties sur cette courbe :

- De zéro jusqu'à la vitesse de démarrage (ici 2 m/s) : la puissance de sortie est nulle, le vent n'est pas suffisamment important pour assurer une puissance de sortie.
- De la vitesse de démarrage jusqu'à la vitesse nominale (ici 10 m/s) : la puissance de sortie augmente jusqu'à atteindre la puissance nominale (ici 5 kW)
- De la vitesse nominale jusqu'à la vitesse de coupure (ici 25 m/s) : la puissance de sortie est maintenue à la puissance nominale qui reste presque constante grâce au dispositif de régulation.
- Après la vitesse de coupure : l'éolienne est mise à l'arrêt pour protection, la puissance de sortie est nulle

### 3.5- Etude acoustique

Cette éolienne a été conçue et produite par la société **FoshanOuyadElectronicCo.,LTD©** en utilisant un nouveau concept de génératrice à axe horizontal.

La génératrice délivre une très haute production pour un faible niveau sonore qui est inférieur à 40dB à une vitesse de 12m/s. soit la puissance sonore d'une simple conversation.

Mais comme la vitesse moyenne du vent est de 7m/s alors le niveau sonore sera inférieur à 40dB.

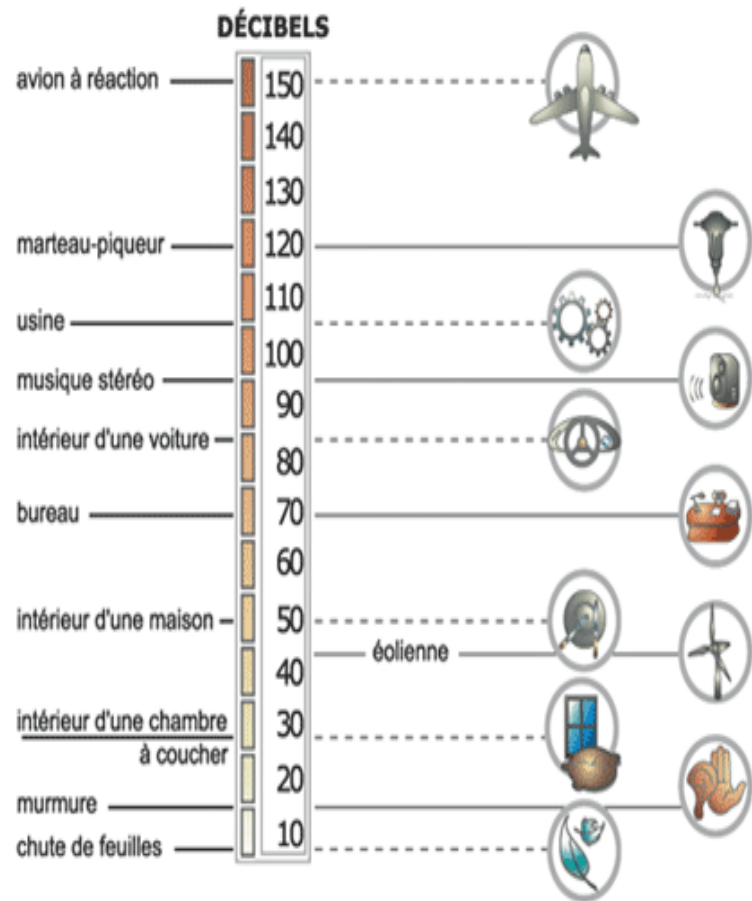


Figure 29 – Niveaux sonores en dB

Si on veut installer une deuxième éolienne, par suite d'une extension du réseau, le niveau sonore sera de <sup>[A-2]</sup>:  $LI_T = 40\text{dB} + 40\text{dB}$

Soit :

$$LI = 40\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_0} \quad (1) \quad \text{avec } I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$$

$$\text{Alors, d'après (1) : } \log_{10} \frac{I_i}{I_0} = 4 \Rightarrow I_i = 10^4 \times 10^{-12} = 10^{-8}$$

$$\text{Par suite} \quad 2I_i = 2 \times 10^{-8}$$

$$\text{D'où :} \quad 40\text{dB} + 40\text{dB} = LI_T = 10 \log \frac{2 \times 10^{-8}}{10^{-12}}$$

$$LI_T = 10 \log(2 \times 10^4) = 10 \times 4,3 = 43$$

$LI_T = 43\text{dB}$  qui est encore faible et acceptable.

### 3.6-Principe d'installation de l'aérogénérateur

#### a) Conditions d'implantation :

L'éolienne devra être :

- Située a une hauteur suffisante (la vitesse du vent augmente avec la hauteur);
- Sur une surface dégagée et régulière, à une distance suffisante (100 mètres au moins) des obstacles naturels (arbres, dénivellations,) ou artificiels (maisons, murs, poteaux).  
Ces obstacles créent, au vent et sous le vent, des turbulences qui perturbent considérablement la rotation régulière des pales de l'éolienne et peuvent provoquer, après une courte période d'utilisation, la destruction de la machine;
- Orientées vers les vents dominants (d'où l'intérêt de mesurer, outre la vitesse du vent, sa direction).

#### b) Durée de l'installation de l'éolienne :

La construction de l'éolienne se déroule sur une durée de deux à trois mois. Le planning de déroulement de ce chantier se présente ainsi comme suit :

- a- Travaux de terrassement = Une semaine
- b- Fondations en béton = Deux semaines
- c- Montage de la turbine éolienne = Une semaine
- d- Essais de mise en service = Une semaine
- e- Raccordements électriques = 2 semaines
- f- Démarrage de la production = une semaine

Activités	Semaine 1							Semaine 2							Semaine 3							Semaine 4							Semaine 5							Semaine 6								
	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S		
a																																												
b																																												
c																																												
d																																												
e																																												
f																																												

Table 11 – Planning de déroulement de l'installation de l'éolienne

	Tache achevée
	Pas encore achevée
	Date de l'événement

#### c) L'exploitation :

L'éolienne sera exploitée pendant une vingtaine d'années, ce qui correspond à la durée moyenne de vie des machines installées. Le pilotage et le contrôle des éoliennes est assuré à distance depuis un centre d'exploitation ou contrôleur. La présence humaine sur l'éolienne se limite donc aux opérations de maintenance programmée et imprévues (incidents ou pannes).

En fin d'exploitation, le parc éolien doit être démantelé. Les éoliennes sont démontées et le site est ensuite remis en état.

#### 4- Composants photovoltaïques du projet

##### 4.1- Estimation de la puissance et du nombre des panneaux solaires

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt crête (Wc), c'est une valeur donnée pour un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et une température de 25°C.

Calcul de la puissance crête minimum nécessaire pour le système :

- Consommation PVannuelle = Consommation totale (kWh/an) – Production éolienne (kWh/an)  
= 16 656 – 15 000 = 1 656kWh/an

Donc la consommation PV journalière devient :

$$\frac{1656 \text{ kWh/an}}{365 \text{ jours}} = 4.53 \text{ kWh/jour} = 4530 \text{ Wh/jour}$$

Soit **94,37Ah/jour** en divisant par 48 (tension nominale des batteries).

- Coefficient de pertes en courant : 0.85<sup>[A-13]</sup>.
- Energie solaire journalière moyenne de Tripoli (Exposition 45° Sud) : 2.74kWh/m<sup>2</sup>.jour  
(Référence centre météorologique national à l'aéroport)
- Courant Im nécessaire :  $Im = \frac{94,37}{2.74 \times 0.85} = 40.51 \text{ A.}$
- Avoir des modules ayant une tension maximale Vpm = 35,2V la puissance photovoltaïque du système devra être au minimum de :

$$Pc = Im \times Vpm = 40.51 \text{ A} \times 35,2 \text{ V} = \mathbf{1425Wc} = 1.42\text{kWc.}$$

- Le nombre des panneaux est donc : 1500/255= **6 panneaux.**

(pour plus d'informations voir chapitre 3 ; Calcul de la puissance photovoltaïque).

Puisque le fabricant ET solar des panneaux solaires nous donne les caractéristiques, les dimensions et la puissance en (Wc) alors il nous reste de se référer aux catalogues des panneaux solaires pour trouver le bon choix (Voir Annexe).

Notre système est estimé à produire 1500Wc d'énergie solaire. Alors, en se référant aux catalogues des panneaux solaires ET (chine) importés par Dawtec, nous allons choisir ces derniers de type polycristallin d'une puissance unitaire de 255Wc référence ET-P672255 (voir annexe) pour des spécifications techniques détaillées. Signalons que les cellules polycristallines sont beaucoup moins chères que les cellules monocristallines et elles ont presque le même rendement et la même durée de garantie.

Modèle	ET-P672255
Puissance max (Wc)	255W
Tension à Pmax (Vpm)	35.2V
Courant à Pmax (Ipm)	7.23A
Tension de circuit ouvert(Vco)	43.88V
Courant de court-circuit (Icc)	7.85A
Rendement du module	12.14%
Tension maxi du systeme	Courant continu 1000V
Temp. Normale fonc. cellule	15.3 ± 2
Poids	22.86kg
Dimensions (mm)	1956*992*40
Fabricant	ET solar
Fournisseur	Dawtec

Table 12 – Caractéristiques techniques des panneaux solaires utilisés

#### 4.2-Calcul du rendement du module utilisé

Calcul de la puissance crête par  $m^2$  :

Ce panneau rectangulaire de 255Wc,a une superficie  $S = 1.956m \times 0.992m = 1.94 m^2$

Sa puissance crête par  $m^2$  vaut  $P_c = 255Wc/1.94 m^2 = 131 Wc/ m^2$

Le rendement de ce panneau est donc égal à :  $\eta = 131/1000 = 0.131 = 13\%$

Le rendement obtenu est en ligne avec la valeur mentionnée dans la table des caractéristiques des panneaux solaires.

Signalons que le rendement d'un module photovoltaïque varie entre 10% et 20%.

#### 4.3-Calcul de la production photovoltaïque annuelle

Une installation de 1 kWc permet de produire une énergie annuelle de 1 350 kWh/an à Tripoli avec une exposition de 45° Sud (Référence Dawtec) alors la production photovoltaïque annuelle avec une puissance de 1.5kWc devient :

$$1350 \times 1.5 = 2025 \text{ kWh/an.}$$

#### 4.4-Calcul de la surface totale occupée par les 6 panneaux solaires

$$1.94m^2 \times 6 = 11.64m^2 \approx 12 m^2.$$

#### 4.5- Principe d'installation des panneaux solaires

L'implantation du champ peut être réalisée sur différents types de support : Au sol, en toiture ou en façade

Dans notre cas, les panneaux solaires vont être implantés en toiture au dessus de la chambre des composants électroniques.

### a) L'orientation des modules

L'orientation des modules doit être plein sud d'une manière idéale.

Dans le cas où le site présente des masques importants à l'est (végétation, bâtiments, etc.), il est peut-être préférable d'orienter plus à l'ouest le champ photovoltaïque plutôt que de le placer plein sud. La production sera alors plus importante l'après-midi sans pour autant défavoriser le matin (qui n'est pas ensoleillé du fait des masques).

### b) L'inclinaison des modules

L'objectif est de produire le plus d'énergie tout au long de l'année. La production est maximale lorsque les rayons du soleil sont perpendiculaires au module. Il faut donc rechercher quelle est l'inclinaison qui permettra de produire le plus d'énergie sur l'année. Celle-ci dépend de la latitude du lieu et aussi de l'orientation des capteurs.

**(Pour notre cas les panneaux seront exposés à 45° Sud. Cette exposition nous permet de produire une énergie annuelle de 1350 kWh/an avec une installation d'1 kWc) source Dawtec.**

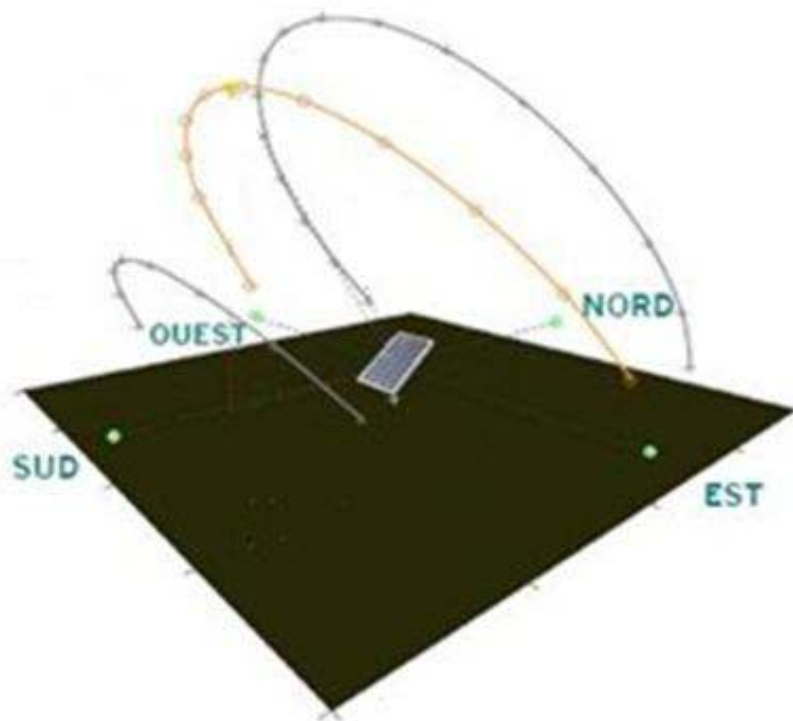


Figure 30 – Représentation d'un module photovoltaïque incliné à 45° Sud

## 5- Conclusion

Dans ce chapitre, et d'après les calculs, l'analyse et les études faites, englobant la partie réalisation de ce projet, nous sommes arrivés à connaître l'état du site concernant l'énergie éolienne et solaire, la puissance nécessaire pour l'éclairage de l'île et du pont qui la relie à la terre ferme, la quantité des lampes et les équipements nécessaires (aérogénérateur, panneaux solaires, contrôleur, batterie, onduleur,...), leur dimensionnement ainsi que les données indispensables pour leur installation.

Le calcul du rendement ainsi que les autres études faites, nous ont permis également de faire une comparaison (rendement, prix, caractéristiques techniques, qualité et garantie) entre divers composants, pour arriver à trouver le bon choix de ces dernières.

Nous rappelons qu'une étude économique détaillée sera élaborée dans le chapitre suivant.

Pour plus d'information concernant le prix et les caractéristiques techniques des composants disponibles au marché libanais voir chapitre 5.



La figure ci-dessous représente le schéma englobant les différents composants du projet.

Figure 31 – Schéma englobant les différents composants du projet



## CHAPITRE V

### Aspects économiques et impacts environnementaux

#### 1- Coût d'investissement pour la réalisation de ce projet

##### 1.1 - Comparaison et justification de la sélection des composants

Le choix des différents composants de ce projet va être limité par les importateurs Libanais, et en comparant entre qualité, prix et garantie, on peut déduire que l'importateur Dawtec est le meilleur, pour cela notre choix va être basé sur les produits importés par Dawtec.

Ci-dessous une comparaison entre Dawtec et un autre importateur Libanais :

##### a) Éolienne (hors installation)

Nom de l'importateur	Altaka-Albadila	Altaka-Albadila	Altaka-Albadila	Altaka-Albadila	Dawtec
Modèle	FD5.0-3KW	FD6.4-5KW	FD8.0-10KW	FD10.0-20KW	FD 6.4-5000-E
Puissance (W)	3000	5000	10000	20000	5000
Tension (V)	240	240	240	360	240
Diamètre du rotor (m)	4.5	6.4	8	10	6.4
Vitesse de démarrage (m/s)	2	2	2	2	2
vitesse du fonctionnement (m/s)	10	10	10	12	10
Vitesse de coupure (m/s)	25	25	25	25	25
Vitesse de rotation (tr/min)	220	200	180	90	200
Matériaux des pales	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass
Quantités des pales	3	3	3	3	3
Hauteur de la tour (m)	9	14	14	18	14
Epaisseur de la tour (mm)	6	6	6	8	6
Diamètre de la tour (mm)	273	273	325	377	273
Garantie (ans)	3	3	3	3	5
Prix unitaire (USD)	4 500	<b>5 400</b>	9 800	17 000	<b>4 973</b>

Table 17 – Caractéristiques techniques et prix éoliennes selon divers importateurs

##### b) Photovoltaïque (hors installation)

Le prix de l'énergie photovoltaïque chez l'importateur Altaka – Albadila est estimé à 3.5\$ par watt crête pour des cellules en polycristallin, et de 3\$ par Watt crête chez l'importateur Dawtec pour le même type de cellules et la même durée de garantie (5 ans).

Signalons que les cellules en polycristallin sont beaucoup moins chères que les cellules monocristallines et elles ont presque le même rendement et la même durée de garantie.

### 1.2 - Coût de l'éolienne FD 6.4-5000-E (5Kw/240V) est calculé comme suit

(Turbine éolienne+ génératrice) + 3 pales + (Câble de contrôle + Mât)  
 $= 3784 + 270 + 919 = 4973 \text{ USD}$

Le prix total d'une éolienne, hors installation sera :  $4973 \times 1 \text{ (Qté)} = 4973 \text{ USD}$

### 1.3 - Coût du photovoltaïque

Prix d'un panneau = Puissance (Wc) x Prix du (Wc) =  $255 \text{ Wc} \times 3\$ = 765 \text{ USD}$

Le prix total de 6 panneaux, hors installation sera :  $765 \text{ USD} \times 6 = 4590 \text{ USD}$

### 1.4 - Coût des composants électriques

- Contrôleur ou régulateur de charge: **915 USD**

- Onduleur (7000W/240V): **1052 USD**

- Batteries (12V400AH) : 240 USD

Le prix total de 15 batteries, hors installation sera  $240 \times 15 = 3600 \text{ USD}$

### 1.5 - Prix du système hors installation

Coût de l'éolienne + Coût du PV + Coût des composants électriques

$= 4973 + 4590 + (915 + 1052 + 3600) = 15\,130 \text{ USD}$

$\approx 11640 \text{ Euro.}$

### 1.6 - Coût de l'installation du système solaire/éolien

Le coût de l'installation du système comprend, le prix de transport des différents composants vers l'île et l'implantation de la turbine éolienne et panneaux photovoltaïques.

Ces coûts peuvent généralement constituées 30 % du prix du système soit :

$15\,130 \times 30 \% = 4539 \text{ USD.}$

### 1.7 - Coût total du système (après installation)

Prix du système (hors installation) + Coût de l'installation =  $15\,130 + 4539 = 19\,669 \text{ USD}$

$\approx 15130 \text{ Euro.}$

### 1.8 - Tableau comparatif entre système combiné et systèmes séparés

Le tableau ci-dessous nous montre une estimation du coût total de chaque système

	Système combiné Eolien/solaire	Système éolien seul (10kW)	Système PV Seul (12,5kWc)
Eolienne (USD)	4 973	9 800	-
PV (USD)	4 590	-	37 485
Composants (USD)	5 567	5550	5550
Installation (USD)	4 539	4605	12 910
Coût Total (USD)	<b>19 669</b>	19 955	55 945

Table 18 – Tableau comparatif entre système combiné et systèmes séparés

Les systèmes « combiné » et « éolien seul » ont presque le même coût total, mais le système combiné a été choisi pour éviter tout arrêt de la production électrique.

## 2- Les impacts économiques

### 2.1 - Dépenses électriques annuelles avec EDL

a) La consommation électrique annuelle est estimée à 16 655 kWh/an

Les coupures électriques EDL sont estimées à 10% alors la consommation électrique devient :

$$\text{Consommation électrique EDL annuelle} \times 0.9 = 14990 \text{ kWh/an}$$

Coût d'électricité annuel avec réseau EDL :

$$\text{Tarif EDL} \times \text{Consommation électrique} = 190 \times 14\,990 = 2\,848\,000 \text{ L.L. /an} = \mathbf{1\,900\$/an}$$

b) Coût annuel d'abonnement au générateur local du quartier :

Le tarif est de l'ordre de 95 USD pour chaque 5 Ampères ; avec  $I = \frac{P}{U} = \frac{4415W}{220V} = 20 \text{ A}$

Donc on a besoin 20A d'abonnement.

Le coût annuel d'abonnement sera :  $\frac{95 \times 20 \times 12}{5} = \mathbf{4\,560\ \$/an}$

Dépenses électriques annuelles totales avec EDL seront :

Coût d'électricité EDL + Coût d'abonnement

= 1900 + 4560 = **6460\$/an** (frais à la charge de la municipalité de Mina-Tripoli).

### 2.2 - Les tarifs de l'électricité du Liban (EDL)

Types d'abonnements	Tarif / L.L.	Tarif /Euro
<b>1. Basse tension</b>		Pour 1\$=1,4€
1-1 Eclairage, maison et utilisation commerciale.		
* Jusqu'à 100kwh/mois	35	0.01684
* Entre 100 et 200kwh kwh / mois	55	0.02647
* Entre 200 et 300kwh kwh / mois	55	0.02647
* Entre 300 et 400kwh kwh / mois	80	0.03850
* Entre 400 et 500kwh kwh / mois	120	0.05775
* plus que 500kwh / mois	200	0.09624
1-2 éclairage des rues, des établissements publics, des centres de soins médicaux gratuits, des hôpitaux, des mosquées, des églises, des salles de cinéma, de la charité et des hôtels (pour chaque kwh / mois)	190	0.08947
1-3 industrie, artisanat, agriculture, stations de traitement de l'eau et du pompage. (Pour chaque kwh / mois)	115	0.05534
<b>2. Moyenne tension</b>		
2-1 Industries, artisanat, agriculture. (pour chaque kwh / mois)	130	0.06256
2-2 le reste des abonnés (pour chaque kwh / mois)	140	0.06737

Table 19 – Tarifs de l'électricité du Liban <sup>[B-6]</sup>

### 2.3 - Temps de retour de l'investissement solaire/éolien

Pour retrouver le temps de retour de l'investissement sur l'île en question, on fait le calcul ci-contre :

$$\frac{\text{Coût Total (USD)}}{\text{Dépenses électriques annuelles totales avec EDL (USD)}} = \frac{19\,669}{6\,460} = 3 \text{ ans.}$$

Pour une période de vie de l'installation, estimée à 25 ans, le temps de retour de l'investissement qui est de 3 ans est acceptable financièrement.

**Remarque :** Nous n'avons pas inclus le prix des lampes et leurs équipements, car nous faisons une étude économique comparative entre production éolienne/solaire et source d'origine EDL.

### 2.4 - Rentabilité du projet et gain en facture

La durée de vie estimée des panneaux photovoltaïques et des aérogénérateurs est d'environ 30 ans et les constructeurs annoncent un rendement minimum de 80 % sur 30 ans.

Pour les onduleurs, la durée de vie moyenne est plus d'une trentaine d'années et les batteries sont à changer au moins tous les 15 ans car elles sont de type à décharge profonde.

Prenons une durée de vie moyenne pour le projet entier de **vingt-cinq ans**, en tenant compte des coûts de maintenance, le profit devient :

#### a) Coût de maintenance

Les dépenses annuelles d'exploitation et de maintenance sont faibles, de l'ordre de 1 % du coût d'investissement.

Par suite, Coût total d'investissement  $\times 1\% = 19\,669 \times 1\% = 196.6 \text{ USD/an.}$

Pour 25 ans, le coût de maintenance sera  $196.6 \times 25 = 4\,917 \text{ USD.}$

#### b) Profit annuel

Le profit commencera après avoir rendu la somme dépensée et alors :

Durée de vie du système – Temps de retour =  $25 - 3 = 22 \text{ ans.}$

Les dépenses électriques annuelles avec EDL sont de l'ordre de  $6\,460 \text{ USD/ an.}$

$$22 \text{ ans} \times 6\,460 \text{ USD} = 142\,120 \text{ USD}$$

Le profit par an, sans les dépenses de maintenance sera :  $142\,120 / 25 = 5\,684 \text{ USD/an}$

Le profit annuel (gain) = Profit annuel sans dépenses de maintenance – Dépenses de maintenance  
 $= 5\,684 - 196.6 = 5\,487 \text{ USD/an.}$

### **3- Les impacts environnementaux et écologiques**

#### **3.1- Introduction**

Ce projet a pour mission de promouvoir un développement harmonieux, équilibré et durable. Les décisions sont prises à la majorité qualifiée et sont sujettes à l'approbation du centre écologique à Mina.

Le projet vise à assurer la qualité de l'environnement, la santé des personnes et l'utilisation optimale et rationnelle des ressources naturelles. Il prend les mesures pour faire face à des problèmes environnementaux d'ordre national, ou même international.

Il applique les principes de précaution, d'action préventive, et de correction des atteintes à l'environnement : Pas de gaz à effet de serre ; Pas de polluants ; Ile à énergie propre.

#### **3.2 – Bilan Carbone**

Le bilan carbone est un outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre, devant tenir compte de l'énergie primaire et de l'énergie finale des produits et services.

On va supposer que l'électricité consommée pour l'éclairage de l'île et du pont qui la relie à la terre ferme est d'origine (EDL) alors le bilan carbone sera :

$$M_{CO_2} = E \times A \times n \text{ (en Kg)}$$

Avec «  $M_{CO_2}$  » est l'émission totale de  $CO_2$  pour la durée de vie de l'installation en kg

«  $E$  » est l'énergie annuelle consommée et est égale à 16 655 kWh/an ;

«  $A$  » est le facteur d'émission de  $CO_2$  et est égal à 0,83 kg $CO_2$ /kWh pour le cas du Liban (Cela d'après le centre Libanais pour la conservation de l'énergie – LCEC)

Et «  $n$  » étant la durée de fonctionnement totale de l'installation qui est de 25 ans.

Alors,  $M_{CO_2} = 16\,665 \times 0.83 \times 25 = 345\,798 \text{ Kg} = 345.79 \text{ Tonnes sur 25 ans.}$

### **4 – Conclusion**

Au Liban, les émissions de  $CO_2$  sont très élevées. Alors, le gouvernement doit réagir pour réduire ces émissions et pour établir des normes strictes qui soient proches des normes européennes afin que le bilan environnemental par projet soit acceptable.

Le tableau récapitulatif ci-après nous permet de faire une comparaison entre l'éclairage d'origine éolien/solaire et celui d'origine EDL :

	<b>Eolien/solaire</b>	<b>EDL</b>
L'énergie électrique consommée (KWh/an)	16665	16 665
Coût total du système (USD)	19669	0
Coût d'électricité (USD/an)	0	6 460
Temps de retour (ans)	3	-
Coût de maintenance (USD/an)	196,6	0
Gain en facture d'électricité (USD/an)	5 487	-
Emission de CO <sub>2</sub> (tonnes)	0	345.79

Table 20 – Tableau récapitulatif

On constate d'après cette table que l'installation d'un système éolien/solaire est bénéfique car nous pouvons avoir un gain annuel qui est de l'ordre de 5 487 USD, un temps de retour d'investissement acceptable et ensuite une préservation de l'environnement en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 345.79 tonnes sur 25 ans.

## Conclusion et perspectives

Bien évidemment, l'énergie solaire et éolienne est une énergie non polluante car elle ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne produit pas de déchets toxiques. Elle est considérée comme énergie renouvelable puisqu'elle offre des réserves qui se reconstituent en permanence.

De plus, c'est une énergie économique, son coût de production étant acceptable.

Cependant, pour le cas du Liban, ce projet est très intéressant pour le développement futur des énergies renouvelables, et permet ainsi à mettre fin à l'abonnement au générateur local du quartier dû aux coupures électriques.

Notre espoir est de pouvoir être impliqué dans l'installation d'un parc éolien/solaire au Liban dans un avenir proche. Ceci devient un dossier urgent à la lumière de la crise actuelle que nous traversons au niveau de l'approvisionnement électrique.

L'île située au large de Tripoli étant une île touristique, donne une raison de plus aux autorités locales, d'avoir tendance à promouvoir l'application des énergies propres dans la région.

Ce projet, est un exemple pilote pour des installations futures dans des sites touristiques et autres sites.

## Références Bibliographiques

### A- Les Ouvrages :

- [1] –Meunier F.; *Les énergies Renouvelables* (Le Cavalier Bleu).
- [2] - Khoury F. ; *Cours Thermiques du Bâtiment*.
- [3] - Meunier F.; *Aide mémoire-Thermodynamique de l'ingénieur*(Dunod).
- [4] –Iguzzini; *External Lighting System*, 2009-2010.
- [5] - Le Gourières D.; *Energieéolienne*(Eyrolles), 1982.
- [6] - Daniel Hunt V.; *WindPower*(Van Nostrand Reinhold Co.),1981.
- [7] - Bertin .J.J; Smith .L.M; *Aerodynamics for engineers*, 1979.
- [8] -Labouret A. ;Villoz M.;*Energie solaire photovoltaïque*(Dunod).
- [9] - Falk A.; *Le photovoltaïque pour tous* (Le Moniteur).
- [10] - Bernard R., Menguy G., Schwartz M.; *Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation*(Lavoisier).
- [11] - Laugier A., Roger A.; *Les photopiles solaires, Rayonnement solaire au sol, Technique et Documentation* (Lavoisier).
- [12] - Equer B.; *Energie solaire photovoltaïque, physique et technologie de la conversion photovoltaïque*(Ellipses).
- [13] - Joder C.; *Guide des installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique destiné aux usagers*(Perseus).
- [14] - *Techniques de l'ingénieur* ; génie énergétique (Vol B2I).
- [15] - *Atlas climatique du Liban*, Tome III (Les Vents), **Cahier III-A** (Texte), publié par le service Météorologique du Liban avec l'aide de l'observatoire de Ksara.
- [16] - *Atlas climatique du Liban*, Tome III (Les Vents), **Cahier III-B** (Graphiques et Cartes), publié par le service Météorologique du Liban avec l'aide de l'observatoire de Ksara.



**B- Les sites Internet :**

- [1] - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME): [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- [2] - L'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Énergie et pour l'Environnement (ALMEE): [www.almee.org](http://www.almee.org)
- [3] - European Photovoltaic Industry Association (EPIA): [www.epia.org](http://www.epia.org)
- [4] - Conseil du développement et de la reconstruction : [www.cdr.gov.lb](http://www.cdr.gov.lb)
- [5] - Liban Vision: [www.libanvision.com](http://www.libanvision.com)
- [6] - L'électricité du Liban (EDL): [www.edl.gov.lb](http://www.edl.gov.lb)
- [7] - L'électricité de France (EDF) : [www.edf.fr](http://www.edf.fr)
- [8] - L'administration centrale de la statistique : [www.cas.gov.lb](http://www.cas.gov.lb)
- [9] - Le conseil national Libanais de la recherche scientifique : [www.cnrs.edu.lb](http://www.cnrs.edu.lb)
- [10] - Observ'ER: [www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)
- [11] - Réseau international d'accès aux énergies durables : [www.riaed.net](http://www.riaed.net)
- [12] - Google Earth. : [www.earth.google.fr](http://www.earth.google.fr)
- [13] - Ebscohost de l'université Libanaise : [www.ebscohost.com](http://www.ebscohost.com)
- [14] – Vestas wind systems : [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
- [15] - Importateur Libanais de produits d'énergie renouvelable (Altaka-Albadila): [www.altaka-albadila.com](http://www.altaka-albadila.com)
- [16] - Importateur Libanais de produits d'énergie renouvelable (Dawtec): [www.dawtec.com](http://www.dawtec.com)
- [17] - Association Libanaise pour le management de l'énergie et de l'environnement: [www.almee.org](http://www.almee.org)
- [18] - Logiciel GWS Viewer (Global Windmapping Service): [www.gws-alpro.com](http://www.gws-alpro.com)
- [19] – Energie facteur 4 (EF4) : [www.ef4.be/fr](http://www.ef4.be/fr)
- [20] – Catalogues batteries trojan : [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)
- [21] – FoshanOuyad Electronic Co.,LTD©: [www.ouyad.com](http://www.ouyad.com)
- [22] – Panneaux solaires ET solar: [www.etsolar.com](http://www.etsolar.com)
- [23] – Programme de traçage de la distribution de Weibull [www.windpoer.org](http://www.windpoer.org)

## Annexes

### 1-Liste des importateurs Libanais (Eolienne et solaire)

Nom	Téléphone	Site web
DAWTEC	00961 1 292929	<a href="http://www.dawtec.com">www.dawtec.com</a>
Altaka-Albadila	00961 8 805520	<a href="http://www.altaka-albadila.com">www.altaka-albadila.com</a>
AmacSolar	00961 5 450278	<a href="http://www.amacksolar.com">www.amacksolar.com</a>
Solarenergy Lebanon sal	00961 1 798111	<a href="http://www.solarenergylibanon.com">www.solarenergylibanon.com</a>
Issam Bou NahedHareb	00961 3 780102	

### 2-Adresses des fabricants(Pour la comparaison et le choix du fournisseur)

#### Principaux fabricants d'éoliennes

Nom	Pays	Site web
AAER	Canada	<a href="http://aaer.ca/">http://aaer.ca/</a>
Acciona	Espagne	<a href="http://www.acciona-energia.com/">http://www.acciona-energia.com/</a>
AWE	Canada	<a href="http://www.awe-wind.com/">http://www.awe-wind.com/</a>
Bard	Allemagne	<a href="http://www.bard-offshore.de/">http://www.bard-offshore.de/</a>
Bonus	Allemagne	<a href="http://www.powergeneration.siemens.com/">http://www.powergeneration.siemens.com/</a>
Clipper	Etats-Unis	<a href="http://www.clipperwind.com/">http://www.clipperwind.com/</a>
Darwind	Pays-Bas	<a href="http://www.darwindturbines.com">http://www.darwindturbines.com</a>
e.n.o. energy	Allemagne	<a href="http://www.eno-energy.de">http://www.eno-energy.de</a>
Ecotecnia	Espagne	<a href="http://www.ecotecnia.com/">http://www.ecotecnia.com/</a>
Enercon	Allemagne	<a href="http://www.enercon.de/">http://www.enercon.de/</a>
Enron	Etats-Unis	<a href="http://www.gepower.com/">http://www.gepower.com/</a>
EWT	Pays-Bas	<a href="http://www.directwind.nl">http://www.directwind.nl</a>
GE Energy	Etats-Unis	<a href="http://www.gepower.com/">http://www.gepower.com/</a>
Ghodawat	Inde	<a href="http://www.ghodawatenergy.com">http://www.ghodawatenergy.com</a>
Goldwind	Chine	<a href="http://cn.goldwind.cn/en">http://cn.goldwind.cn/en</a>
InnovativeWindpower	Allemagne	<a href="http://www.innovative-windpower.com">http://www.innovative-windpower.com</a>
ITP	Panama	<a href="http://er.itp.com.pa/">http://er.itp.com.pa/</a>
Jacobs	Etats-Unis	<a href="http://www.windturbine.net/">http://www.windturbine.net/</a>
Leitwind	Italie	<a href="http://www.leitwind.com">http://www.leitwind.com</a>
M Torres	Espagne	<a href="http://www.mtorres.es/">http://www.mtorres.es/</a>
Made	Espagne	<a href="http://www.made.es/">http://www.made.es/</a>
Mitsubishi	Japon	<a href="http://www.mpshq.com/products_wind.htm">http://www.mpshq.com/products_wind.htm</a>
Multibrid	Allemagne	<a href="http://www.multibrid.com/">http://www.multibrid.com/</a>
NegMicon	Allemagne	<a href="http://www.vestas.com/">http://www.vestas.com/</a>
NEPC	Inde	<a href="http://www.nepcindia.com">http://www.nepcindia.com</a>
Nordex	Allemagne	<a href="http://www.nordex-online.com/">http://www.nordex-online.com/</a>
NordicWindpower	Etats-Unis	<a href="http://www.nordicwindpower.com/">http://www.nordicwindpower.com/</a>
Siemens	Allemagne	<a href="http://www.powergeneration.siemens.com/">http://www.powergeneration.siemens.com/</a>
Turbowinds	Belgique	<a href="http://www.turbowinds.com/">http://www.turbowinds.com/</a>
Unison	Corée du Sud	<a href="http://www.unison.co.kr/">http://www.unison.co.kr/</a>
Vensys	Allemagne	<a href="http://www.vensys.de/">http://www.vensys.de/</a>
Vergnet	France	<a href="http://www.vergnet.fr">http://www.vergnet.fr</a>
Vestas	Danemark	<a href="http://www.vestas.com/">http://www.vestas.com/</a>
Windey	Chine	<a href="http://www.chinawindey.com/">http://www.chinawindey.com/</a>
Windflow	Nouvelle-Zélande	<a href="http://www.windflow.co.nz/">http://www.windflow.co.nz/</a>
Windtec	Autriche	<a href="http://www.windtec.at">http://www.windtec.at</a>
Winwind	Finlande	<a href="http://www.winwind.fi/">http://www.winwind.fi/</a>
Zond	Etats-Unis	<a href="http://www.gepower.com/">http://www.gepower.com/</a>

## Principaux fabricants des panneaux photovoltaïques

Nom	Site web
Aleo	<a href="http://www.aleo-solar.fr/">http://www.aleo-solar.fr/</a>
Alfasolar	<a href="http://www.alfasolar.de/home.html?&amp;L=5">http://www.alfasolar.de/home.html?&amp;L=5</a>
<b>Apex BP Solar</b>	<a href="http://www.bpsolar.fr/solaire/index.php">http://www.bpsolar.fr/solaire/index.php</a>
Apollon Solar	<a href="http://www.apollonsolar.com/">http://www.apollonsolar.com/</a>
Arinna	<a href="http://www.arinnaag.de/fr/">http://www.arinnaag.de/fr/</a>
Atersa	<a href="http://www.atersa.com/">http://www.atersa.com/</a>
Auversun	<a href="http://www.auversun.com/">http://www.auversun.com/</a>
CP Solar	<a href="http://www.cp-solar-europe.eu/">http://www.cp-solar-europe.eu/</a>
ET Solar	<a href="http://www.etsolar.com/fr/">http://www.etsolar.com/fr/</a>
Eurener	<a href="http://www.eurener.com/fr/index.php">http://www.eurener.com/fr/index.php</a>
First Solar	<a href="http://www.firstsolar.com/en/index.php">http://www.firstsolar.com/en/index.php</a>
Flexcell	<a href="http://www.flexcell.com/">http://www.flexcell.com/</a>
FonrocheEnergie / Pevafersa	<a href="http://www.fonrocheenergie.fr/">http://www.fonrocheenergie.fr/</a>
Francewatts	<a href="http://www.francewatts.fr/">http://www.francewatts.fr/</a>
Free Energy Europe	<a href="http://www.freeenergyeurope.com/">http://www.freeenergyeurope.com/</a>
Gahelios	<a href="http://www.gahelios.com/fr">http://www.gahelios.com/fr</a>
GEG Solaire	<a href="http://fr.geg-solar.de/text/1/de/startseite.html">http://fr.geg-solar.de/text/1/de/startseite.html</a>
Issol	<a href="http://invest.issol.eu/site/index.html">http://invest.issol.eu/site/index.html</a>
Jade-Technologie	<a href="http://www.jade-technologie.com/">http://www.jade-technologie.com/</a>
JingLongSolar	<a href="http://www.jinglong-solar.fr/">http://www.jinglong-solar.fr/</a>
<b>Kyocera</b>	<a href="http://www.kyocera.fr/">http://www.kyocera.fr/</a>
MartiferSolar	<a href="http://www.kyocera.fr/">http://www.kyocera.fr/</a>
<b>Mitsubishi Electric</b>	<a href="http://www.mitsubishielectric.fr/">http://www.mitsubishielectric.fr/</a>
Mobasolar	<a href="http://www.mobasolar.com/">http://www.mobasolar.com/</a>
Nanosolar	<a href="http://fr.nanosolar.com/">http://fr.nanosolar.com/</a>
Naps	<a href="http://www.naps.fr/">http://www.naps.fr/</a>
Pfixx	<a href="http://pfixx.nl/index.php?page=pfixx_fr">http://pfixx.nl/index.php?page=pfixx_fr</a>
Philadelphia Solar	<a href="http://www.philadelphia-solar.eu/">http://www.philadelphia-solar.eu/</a>
Photowatt	<a href="http://www.photowatt.com/fr/">http://www.photowatt.com/fr/</a>
PV Alliance	<a href="http://www.pvalliance.com/fr/">http://www.pvalliance.com/fr/</a>
<b>Sanyo</b>	<a href="http://www.sanyo-solar.eu/fr/">http://www.sanyo-solar.eu/fr/</a>
Schott	<a href="http://www.schott.com/french/">http://www.schott.com/french/</a>
<b>Sharp</b>	<a href="http://www.sharp.fr/index.html">http://www.sharp.fr/index.html</a>
Sillia	<a href="http://www.sillia.com/">http://www.sillia.com/</a>
Solar-Fabrik	<a href="http://www.solar-fabrik.com/konzern/solar-fabrik-groupe/?L=2">http://www.solar-fabrik.com/konzern/solar-fabrik-groupe/?L=2</a>
Solarfun	<a href="http://www.solarfun.com.cn/french/">http://www.solarfun.com.cn/french/</a>
Solems	<a href="http://www.solems.com/">http://www.solems.com/</a>
<b>Sunpower</b>	<a href="http://www.sunpowercorp.fr/">http://www.sunpowercorp.fr/</a>
Sunways	<a href="http://www.sunways.eu/fr/">http://www.sunways.eu/fr/</a>
<b>Suntech</b>	<a href="http://www.suntech-power.com/">http://www.suntech-power.com/</a>
Systovi	<a href="http://www.systovi.com/">http://www.systovi.com/</a>
Tenesol	<a href="http://www.tenesol.com/">http://www.tenesol.com/</a>
UniversalEnergy	<a href="http://www.universalenergy.com.cn/fr/">http://www.universalenergy.com.cn/fr/</a>
VipiemmeSolar	<a href="http://www.vipiemmesolar.it/">http://www.vipiemmesolar.it/</a>
VoltecSolar	<a href="http://www.voltec-solar.com/">http://www.voltec-solar.com/</a>
Zytech	<a href="http://www.zytechsolar.com/">http://www.zytechsolar.com/</a>

### **3-L'île en bref**

Juste au large de Tripoli, une chaîne de petites îles. Elles sont divisées en deux parties: celles qui sont proches du littoral (accessible), et celles loin de la rive (réserve naturelle pas ouverte pour le public).

L'île de Baqar est aussi familièrement connue sous le nom AbdulWahhab Island. Elle était aussi connue au cours de la période des croisades comme Saint Thomas Island.

L'église est démolie et que des ruines restent. Baqar l'île la plus proche de la côte et peut être accessible via un petit pont qui a été construit en 1998.

Ci-dessous quelques  
Photos de l'île :



## 4-Divers gammes d'éoliennes

### 4.1 – Mitsubishi



#### MWT-600

##### TURBINE

- Type: pales contrôlables
- Puissance: 600kW
- Diamètre du rotor: 45m (Class 2) / 47m (Class 3)
- Vitesse de rotation: 25.5 rpm
- Nombre des pales: 3
- Longueur de la pale: 20.4m

##### GENERATEUR

- Type: Générateur d'induction
- Puissance: 600kW
- Voltage, phasage et fréquence: 690V/600V, 3-phase, 50Hz/60Hz

##### MÂT

- Type: Monopole
- Altitude: 45/50/60m

##### SYSTEMES DE CONTROLE

- Régulation de puissance: freinage
- Orientation: contrôle active

##### SYSTEMES DE SECURITÉ

- Vitesse excessive
- Manque de pression d'huile
- Vibration de la nacelle
- Contrôle des pales
- Défaut électrique



#### MWT-1000

##### TURBINE

- Type: pales contrôlables
- Puissance: 1000kW
- Diamètre du rotor: 57m (Class 1) / 61.4m (Class 2)
- Vitesse de rotation: 21rpm / 19.8 rpm
- Nombre des pales: 3
- Longueur de la pale: 26.8 m / 29.5 m

##### GENERATEUR

- Type: Générateur d'induction
- Puissance: 1000kW
- Voltage, phasage et fréquence: 690V/600V, 3-phase, 50Hz/60Hz

##### MAT

- Type: Monopole
- Altitude: 45/60/69m

##### SYSTEMES DE CONTROLE

- Régulation de puissance: freinage
- Orientation: contrôle active

##### SYSTEMES DE SECURITÉ

3. Vitesse excessive
4. Manque de pression d'huile
5. Vibration de la nacelle
6. Contrôle des pales
7. Défaut électrique

(Source : [http://www.mpshq.com/products\\_wind.htm](http://www.mpshq.com/products_wind.htm))

## 4.2-Superwind

### Superwind 350



Superwind 350 est un petit générateur éolien pour une utilisation professionnelle, particulièrement fiable et autonome même en conditions extrêmes. Ce produit approvisionne ses utilisateurs en courant 12 ou 24 V (selon version) grâce à l'énergie produite par le générateur et concentrée dans une batterie. Ce niveau de tension est apte au déploiement industriel de nombreux appareils comme des systèmes de réglage, de pilotage et de transmission, mais aussi pour un grand nombre d'appareils usuels comme par exemple des lampes à économie d'énergie, des frigos, des congélateurs, des pompes à eau, des ventilations d'étang, des appareils d'électronique de loisir, appareils de télévision, radio et navigation. Pour l'approvisionnement des consommateurs à 230 V, il est nécessaire d'installer un onduleur additionnel.

Des exemples d'utilisation idéale de Superwind 350 sont l'approvisionnement électrique de bornes de signaux maritimes, de régulation de la circulation, de stations de comptages, ainsi que de bateaux à voile, de refuges, de caravanes ou maisons de vacances. Dans les régions rurales des pays en voie de développement, Superwind 350 fournit aussi l'alimentation électrique des familles.

La combinaison des produits Superwind avec des installations photovoltaïque ne pose pas des problèmes techniques. Dans nombreux sites, énergie solaire et énergie éolienne se complètent. Dans le cas de systèmes hybrides, le générateur de vent améliore considérablement la sécurité d'approvisionnement (à capacité minimale de batterie).

#### Données Techniques :

Puissance nominale	:	350 W
Vitesse de vent nominale	:	12,5 m/s
Vitesse de vent au déclenchement	:	3,5 m/s
Vitesse de vent au débranchement	:	aucune
Diamètre du rotor	:	1,20 m
Nombre de pales	:	3
Matériaux de pales	:	CFK
Vitesse de rotation	:	500 - 1300 tr/min
Générateur	:	Magnétique permanent
Voltage nominale	:	12 VDC / 24 VDC
Réglage de vitesse de rotation	:	Réglage des pales du rotor
Réglage de puissance	:	Réglage des pales du rotor
Frein principal	:	électrodynamique
Masse totale	:	11,5 kg
Poussée du rotor, en fonctionnement	:	70 N
Poussée du rotor par gros temps (rafales extrêmes) :		220 N

(Source: <http://www.microwind.de/swf/index.htm>)

### 4.3 – Eoltec

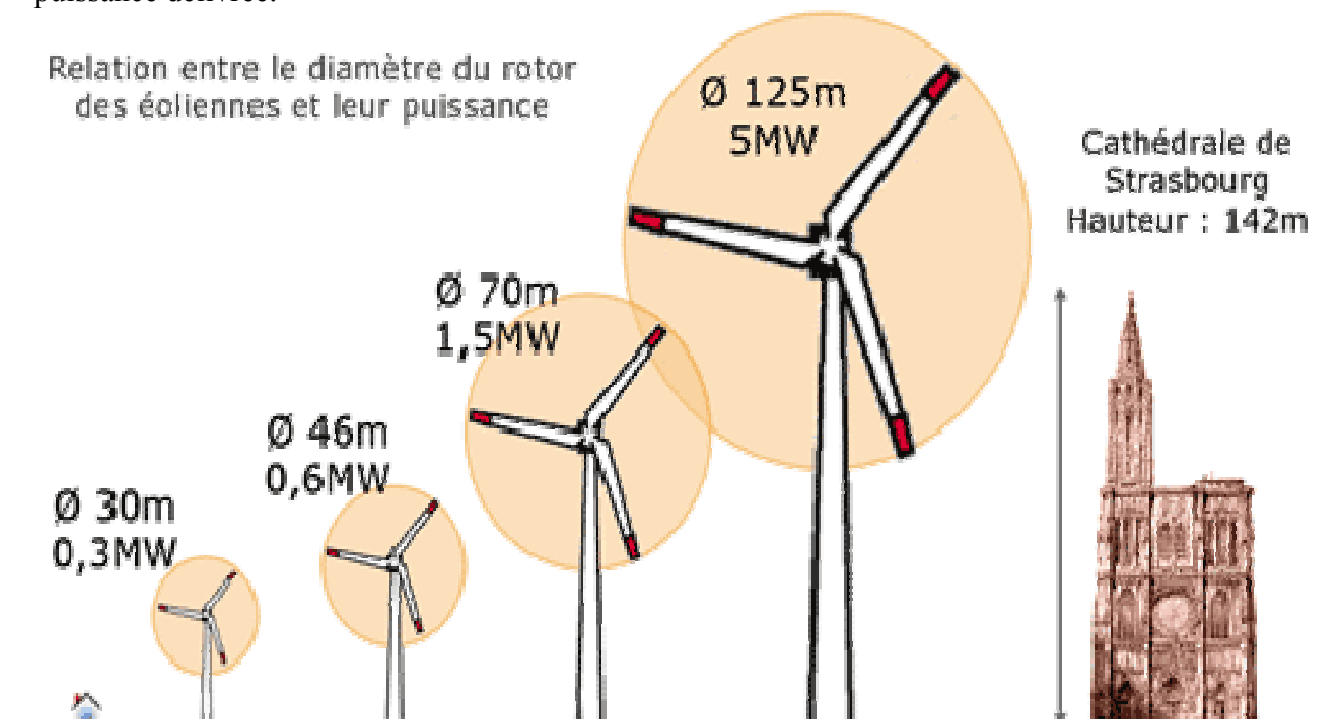
#### Données Techniques :

Puissance nominale	: 6 kW à 11 m/s (utile, sortie électronique)
Vitesse de démarrage production	: <2,7 m/s
Vitesse de production nominale	: 11 à 60 m/s
Vitesse maximale de service	: 60 m/s
Diamètre rotor / surface balayée	: 5,6 m / 24,7 m <sup>2</sup>
Pales	: 2 pales composite FV+ Epoxy , insert pied de pale AU4G
Régulation puissance/survitesse	: contrôle de pas centrifuge (mécanisme étanche)
Vitesse de rotation	: 80 à 245 tr/min
Génératrice	: synchrone à aimant permanents NdFeB, entraînement direct, entièrement étanche
Orientation	: passive par gouvernail aval
Articulations	: pales et orientation par couronnes d'orientation à billes étanches
Mâts	: mâts haubanés basculants 18/24/30 m, acier galvanisé
Poids nacelle/rotor	: 202 kg
Maintenance	: inspection annuelle



Selon les informations ci-dessus on remarque comment le diamètre du rotor varie avec la puissance délivrée.

Relation entre le diamètre du rotor  
des éoliennes et leur puissance





## 5-Spécifications des turbines éoliennes

### importées au Liban

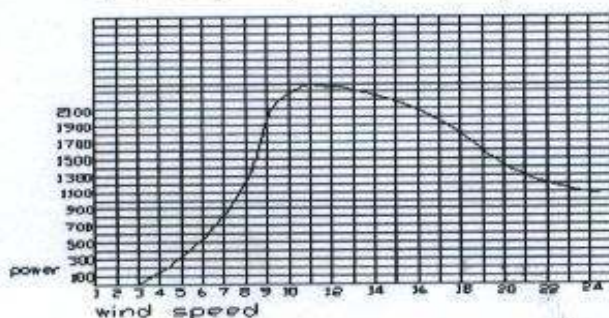
#### 5.1- Selon l'importateur ALTAKA – ALBADILA

Model	FD2.1-200W	AEOLUS300W	FD2.5-300W	FD2.7-500W	FD3.0-1KW	FD3.6-2KW	FD5.0-3KW	FD6.4-5KW	FD8.0-10KW	FD10.0-20KW
Rated power(W)	200	300	300	500	1000	2000	3000	5000	10000	20000
Rated voltage (V)	24	24	24	24	48	120	240	240	240	360
Rotor diameter(M)	2.2	1.5	2.5	2.5	2.7	3.2	4.5	6.4	8	10
Start-up wind speed(m/s)	3	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2
Rated wind speed ( m/s)	6	12	7	8	9	9	10	10	10	12
Security wind speed(m/s)	35	35	35	35	35	45	45	45	45	45
Rated rotating rate ( r/m)	450	450	400	400	400	400	220	200	180	90
Blade material	fiber glass	carbon fiber	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass
Blade quantity	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tower height ( m )	4.5	6	6	6	6	9	9	12	12	18
Tower thickness(mm)	2.5	2.5	2.5	3.25	3.25	3.5	6	6	6	8
Tower diameter ( mm )	60	48	76	89	114	140	273	273	325	377
Matched battery capacity	12V100AH2PCS	12V150AH2PCS	12V150AH2PCS	12V200AH2PCS	12V200AH4PCS	12V200AH10PCS	12V200AH20PCS	12V300AH20PCS	12V400AH20PCS	12V600AH30PCS

#### 5.2- Selon l'importateur DAWTEC

Model	Aeolus300	FD2.7-500	FD3.0-1000	FD3.6-2000	
Rated power (W)	300	500	1000	2000	
Rated voltage (V)	24	24	48	120	
Rotor diameter(m)	1.5	2.6	2.9	3.3	
Start-up wind speed (m/s)	2.5	2	2	2	
Rated wind speed (m/s)	12	8	9	9	
Security wind speed (m/s)	35	35	35	35	
Furling type	mechanism	mechanism	mechanism	mechanism	
Rated rotating rate (r/m)	530	450	400	300	
Generator work way	magnetic saturation	magnetic saturation	magnetic saturation	magnetic saturation	
Generator material	casted iron	Casted iron	casted iron	steel	
Blade material	fiber glass	fiber glass	fiber glass	fiber glass	
Blade quantity	3	3	3	3	
Guy cable tower	Tower hight(m)	6	6	9	
	Tower thickness(mm)	2.5	3.25	3.25	3.5
	Tower diameter(mm)	48	89	114	140
Free stand tower	Tower height(m)	8	8	8	8
Suggested battery capacity	12V150AH2pcs	12V200AH2pcs	12V200AH4pcs	12V200AH10pcs	
Matched inverter type	sine wave	sine wave	sine wave	sine wave	

2KW Output power curve p(w)



Lemec Ctr., Furn El-Chebbak

Tel/Fax: ++961-1-288 688.

Mobile: ++961-3-951 460.

Http: [www.dawtec.com](http://www.dawtec.com).

Email: [dawtec@dawtec.com](mailto:dawtec@dawtec.com)



## 6-Spécifications des panneaux solaires importés au Liban

### Module ET SolarMono

Module Mono-Cristalline

ET-M53685 85W<sub>c</sub>

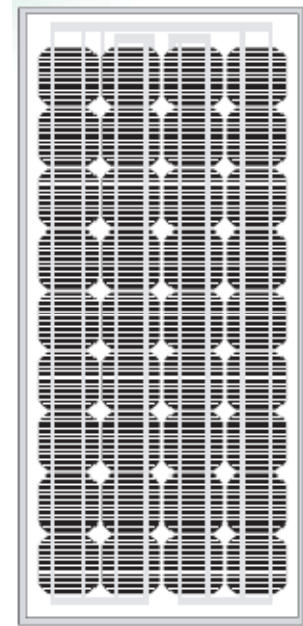
ET-M53680 80W<sub>c</sub>

ET-M53675 75W<sub>c</sub>

ET-M53670 70W<sub>c</sub>

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt crête (W<sub>c</sub>), c'est une valeur donnée pour un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et une température ambiante de 25°C.

Les spécifications sont obtenues sous conditions de tests standards (STC) ; Irradiance solaire 1000 W/m<sup>2</sup>, Masse air 1.5, Température cellule de 25°C.



### SPECIFICATIONS

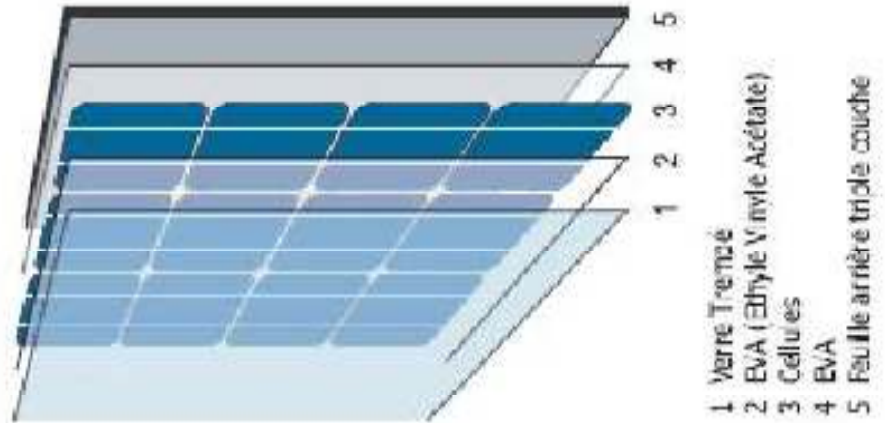
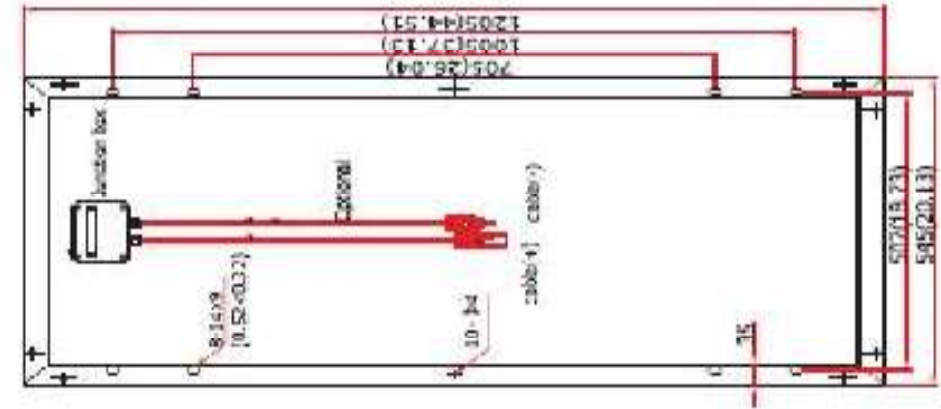
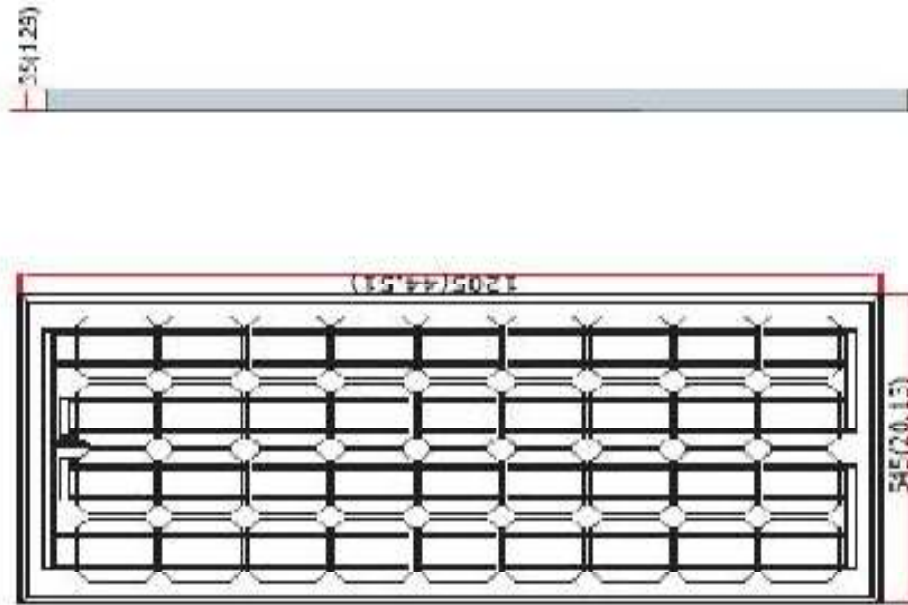
Modèle	ET-M53685	ET-M53680	ET-M53675	ET-M53670
Puissance Maxi (P <sub>max</sub> )	85W	80W	75W	70W
Taille des Cellules	125mm x 125mm			
Nombre de Cellules	36 cellules en série			
Poids	8.23 kg (18.14lbs)			
Dimensions	1205×545×35mm(44.51×20.13×1.29 pouce)			
Efficacité Cellule	16.38%	15.42%	14.46%	13.49%
Rendement du Module	12.94%	12.18%	11.42%	10.66%
Tension à P <sub>max</sub> (V <sub>mp</sub> )	18.05V	17.64V	17.40V	16.90V
Courant à P <sub>max</sub> (I <sub>mp</sub> )	4.71A	4.54A	4.31A	4.14A
Tension de Circuit Ouvert (V <sub>oc</sub> )	21.94V	21.88V	21.73V	21.45V
Courant de Court-Circuit (I <sub>sc</sub> )	5.29A	4.98A	4.72A	4.45A
Tolérance sur P <sub>max</sub>	-1 à +3%			
Tension Maxi du Système	DC 1000V			
Coeff. Temp. Courant (TK I <sub>sc</sub> )	0.042 %/°C			
Coeff. Temp. Tension (TK V <sub>oc</sub> )	-0.336 %/°C			
Coeff. Temp. Puissance (TK P <sub>max</sub> )	-0.47 %/°C			
Temp. Normale Fonct. Cellule (NOCT)	44.4±2°C			
Courant fusible série (A)	10A			
Nombre de diodes Bypass	3			
Charge Maxi	2400Pa			

# ET Module

ET-M53685 ET-M53680 ET-M53675 ET-M53670

## CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Unité: mm (pouce)



# Module ET SolarPoly

Module Poly-Crystalline

ET-P636145 145W<sub>c</sub>

ET-P636140 140W<sub>c</sub>

ET-P636135 135W<sub>c</sub>

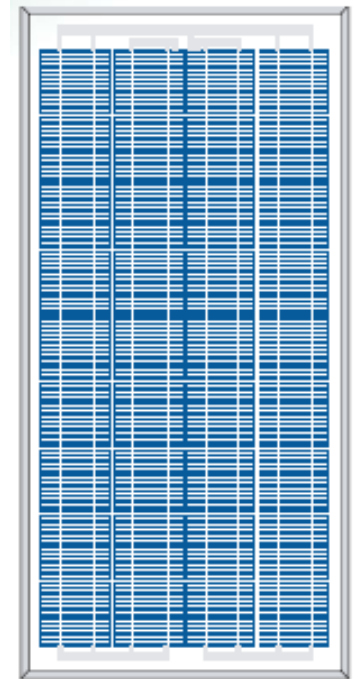
ET-P636130 130W<sub>c</sub>

ET-P636125 125W<sub>c</sub>

ET-P636120 120W<sub>c</sub>

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt crête (W<sub>c</sub>), c'est une valeur donnée pour un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et une température ambiante de 25°C.

Les spécifications sont obtenues sous conditions de tests standards (STC) ; Irradiance solaire 1000 W/m<sup>2</sup>, Masse air 1.5, Température cellule de 25°C.



## SPECIFICATIONS

Modèle	ET-P636145	ET-P636140	ET-P636135	ET-P636130	ET-P636125	ET-P636120
Puissance Maxi (P <sub>max</sub> )	145W	140W	135W	130W	125W	120W
Taille des Cellules	156mm x 156mm					
Nombre de Cellules	36 cellules en série					
Poids	13.18 kg (29.06 lbs)					
Dimensions	1482×676×50 mm (54.75×24.97×1.85 pouce)					
Efficacité Cellule	17.06%	16.47%	15.88%	15.29%	14.71%	14.12%
Rendement du Module	14.50%	13.97%	13.46%	12.98%	12.48%	12.10%
Tension à P <sub>max</sub> (V <sub>mp</sub> )	17.80V	17.60V	17.60V	17.41V	17.40V	17.40V
Courant à P <sub>max</sub> (I <sub>mp</sub> )	8.15A	7.95A	7.67A	7.47A	7.18A	6.89A
Tension de Circuit Ouvert (V <sub>oc</sub> )	21.96V	21.96V	21.96V	21.75V	21.75V	21.75V
Courant de Court-Circuit (I <sub>sc</sub> )	8.50A	8.41A	8.41A	8.10A	7.80A	7.63A
Tolérance sur P <sub>max</sub>	-1 à +3%					
Tension Maxi du Système	DC 1000V					
Coeff. Temp. Courant (TK I <sub>sc</sub> )	0.065 %/°C					
Coeff. Temp. Tension (TK V <sub>oc</sub> )	-0.346 %/°C					
Coeff. Temp. Puissance (TK P <sub>max</sub> )	-0.46 %/°C					
Temp. Normale Fonct. Cellule (NOCT)	45.3±2°C					
Courant fusible série (A)	12A					
Nombre de diodes Bypass	3					
Charge Maxi	2400Pa					



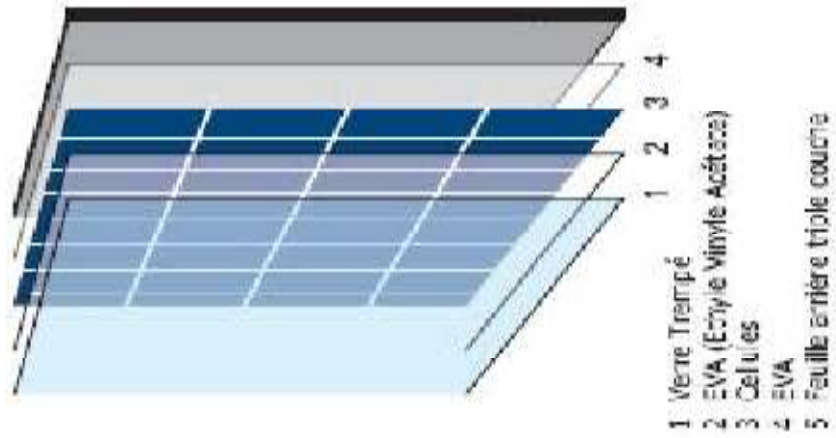
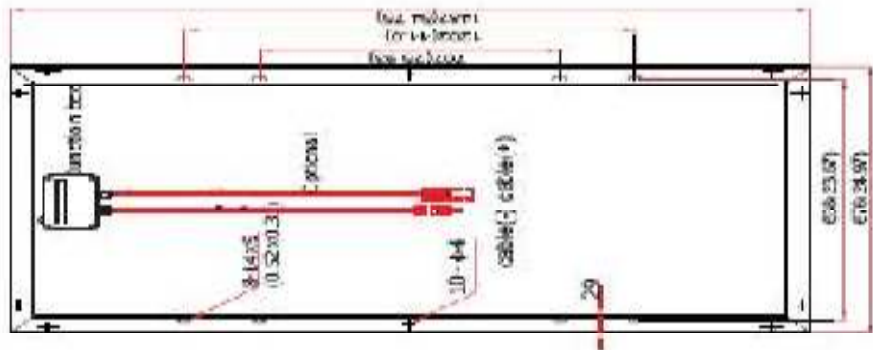
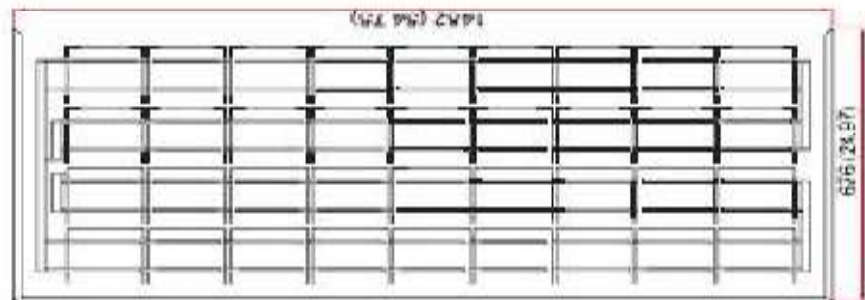
## ET Module

ET-P636145 ET-P636140 ET-P636135 ET-P636130 ET-P636125 ET-P636120

### CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Unité:mm (pouce)

50 (1.96)



# ET MODULE polycrystalline

Module Poly-Crystalline

**ET-P672280 280W**

**ET-P672275 275W**

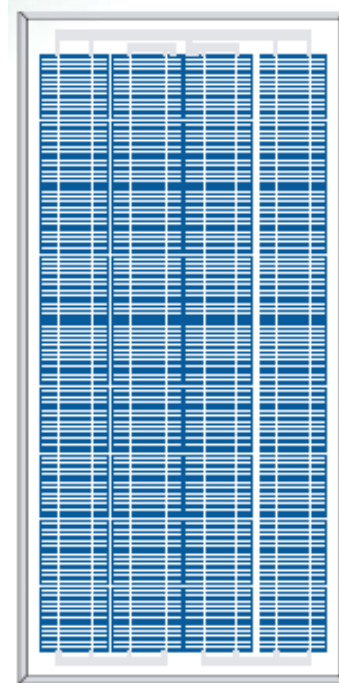
**ET-P672270 270W**

**ET-P672265 265W**

**ET-P672260 260W**

**ET-P672255 255W**

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt crête (Wc), c'est une valeur donnée pour un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et une température ambiante de 25°C.



## ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Model type	ET-P672280	ET-P672275	ET-P672270	ET-P672265	ET-P672260	ET-P672255
Peak power (Pmax)	280W	275W	270W	265W	260W	255W
Cell Efficiency	16.47%	16.18%	15.89%	15.59%	15.30%	15.00%
Module Efficiency	14.43%	14.17%	13.92%	13.66%	13.40%	12.14%
Maximum power voltage (Vmp)	36.72V	36.72V	36.40V	36.40V	36.00V	35.20V
Maximum power current (Imp)	7.63A	7.49A	7.42A	7.28A	7.23A	7.23A
Open circuit voltage (Voc)	43.78V	43.78V	43.63V	43.63V	43.49V	43.88V
Short circuit current (Isc)	7.98A	7.96A	7.90A	7.90A	7.79A	7.85A
Power Tolerance	-1 to +3%					
Maximum system voltage	DC 1000V					
Normal Operating Cell Temperature	45.3±2°C					
Series fuse rating (A)	15A					
Number of bypass diode	3					

MECHANICAL SPECIFICATIONS

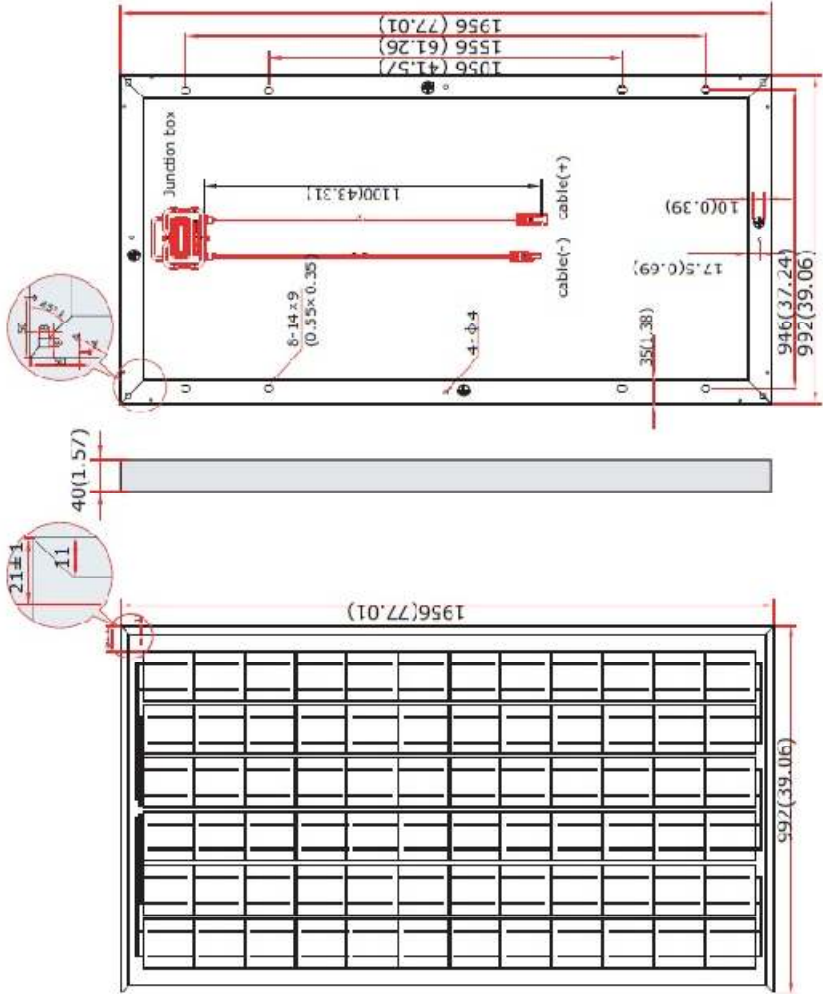
Cell type	156mm x 156mm
Number of cells	72 cells in series
Weight	22.86 kg (50.4 lbs)
Dimensions	1956x992x40 mm (77x39.1x1.57 inch)
Max Load	5400Pascals ( 112 lb/ft <sup>2</sup> )

TEMPERATURE COEFFICIENT

Temp. Coeff. of Isc (TK Isc)	0.065 %/°C
Temp. Coeff. of Voc (TK Voc)	-0.346 %/°C
Temp. Coeff. of Pmax (TK Pmax)	-0.46 %/°C

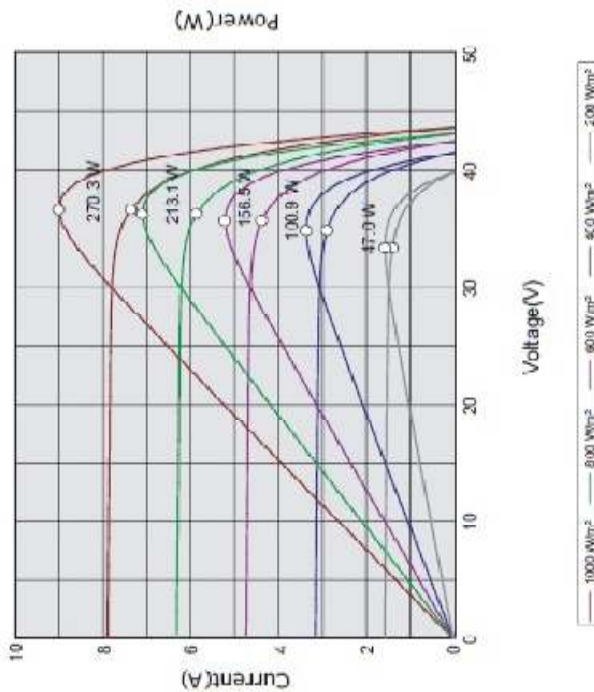
PHYSICAL CHARACTERISTICS

Unit:mm (inch)

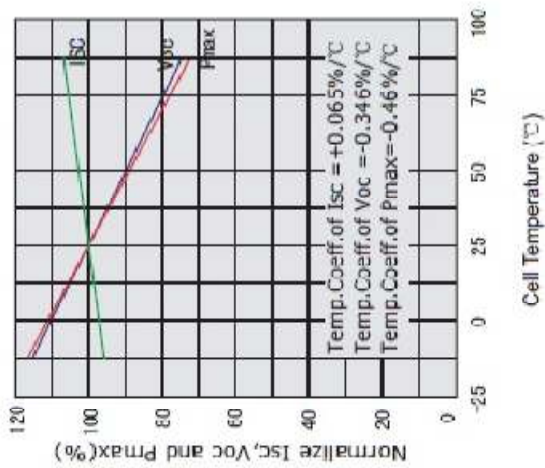


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

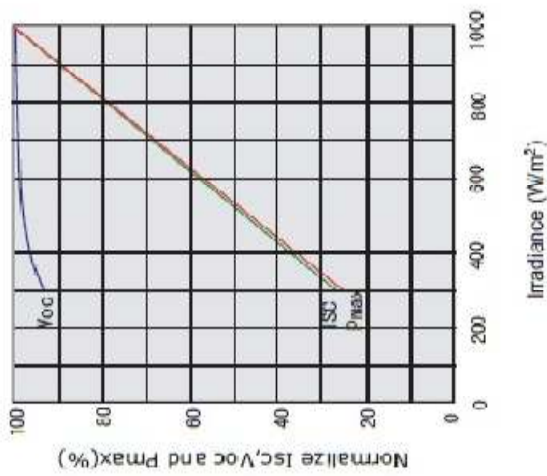
Electrical performance  
(cell temperature: 25°C)



Temperature dependence of Isc,  
Voc and Pmax



Irradiance dependence of Isc,  
Voc and Pmax (cell temperature: 25°C)



Note: the specifications are obtained under the Standard Test Conditions (STCs): 1000 W/m² solar irradiance, 1.5 Air Mass, and cell temperature of 25°C.  
The NOCT is obtained under the Test Conditions: 800 W/m², 20°C ambient temperature, 1 m/s wind speed, AM 1.5 spectrum.

## 7- Paramètres techniques des contrôleurs éolien/solaire

Model	HC50-48	HC50-120	HC100-48	HC100-120	HC200-48	HC200-120
Max Wind Input Power	5KW	5KW	10KW	10KW	20KW	20KW
Max PV Input Power	1.5KW	1.5KW	3KW	3KW	6KW	6KW
Rated Battery Voltage	48V <sub>DC</sub>	120V <sub>DC</sub>	48V <sub>DC</sub>	120V <sub>DC</sub>	48V <sub>DC</sub>	120V <sub>DC</sub>
Floating Charge Voltage	56V <sub>DC</sub>	140V <sub>DC</sub>	56V <sub>DC</sub>	140V <sub>DC</sub>	56V <sub>DC</sub>	140V <sub>DC</sub>
Display Method	LCD					
Display Parameter	Battery Voltage, Charging Current					
Protection Type	pole-confusion protection ,automatic dump-load function.					
Working Environment	Temperature -20~50°C, Altitude ≤4000m, Humidity 0~90%, no condensing					
Size(W×H×D)	44*21*38cm		44*21*38cm		44*21*38cm	
Weight	10kg		10kg		10kg	

### MPPT Controller

Model	WWS100A-120	WWS100A-220	WWS100A-240
Rated Wind Turbine Power	10kW		
Rated Solar Power	3kW		
PV Charge Current	20A	10A	10A
Rated Battery Voltage	120V	220V	240V
Wind Turbine Maximum Input Current	130A	70A	65A
Wind Turbine Maximum Input Power	15KW		
Unload Voltage(factory default)	140V	252 V	280 V
Unload Current(factory default)	25A		50A
Control Mode	PWM		
Display Mode	LCD		
Display Parameters	Wind Turbine Power,Wind Turbine Voltage,Wind Turbine Current, PV Voltage,PV Charge Current,PV Power,Battery Voltage.Etc		
Working Temperature & Humidity	-20~+55°C/35~85%RH(Without Condensation)		
Protection Function	Solar reverse-charging protection , solar reverse-connection protection, battery over charge protection,battery over-discharge protection, battery reverse-connection protection, lightning protecting, wind turbine current limiting, wind turbine automatic brake and manual brake.		
In order to serve our customers better.Our company can adjust parameters configuration according to customer's requirement.			



Model	WWS200A-220	WWS200A-240
Rated Wind Turbine Power	20kW	
Rated Solar Power	6kW	
PV Charge Current	20A	20A
Rated Battery Voltage	220V	240V
Wind Turbine Maximum Input Current	150A	135A
Wind Turbine Maximum Input Power	30KW	
Unload Voltage(factory default)	252 V	280 V
Unload Current(factory default)	25A	
Control Mode	PWM	
Display Mode	LCD	
Display Parameters	Wind Turbine Power,Wind Turbine Voltage,Wind Turbine Current, PV Voltage,PV Charge Current,PV Power,Battery Voltage.Etc	
Working Temperature & Humidity	-20~+55°C/35~85%RH(Without Condensation)	
Protection Function	Solar reverse-charging protection , solar reverse-connection protection, battery over charge protection,battery over-discharge protection, battery reverse-connection protection, lightning protecting, wind turbine current limiting, wind turbine automatic brake and manual brake.	
In order to serve our customers better.Our company can adjust parameters configuration according to customer's requirement.		

## 8- Rapport Climatologique Journalier Mina-Tripoli

REPUBLIQUE LIBANAISE

METEO LIBAN

**Etat du Ciel, Le Temps, Visibilité** (min et max, en km)

**Température** (min et max, en °C ), **Humidité Relative** (min et max, en %)

**Précipitation** (RR en mm) & **Evaporation** (Ev en mm): Total du Jour du 06:00 à 06:00 .

**Vent maximal** ( Direction, DD en °, Vitesse, FF en m/sec)

**Pression Atmosphérique, Coorigée au niveau mer** (PP en Hpa)

**Station: TRIPOLI\_IPC, à el-Beddawi, Raffinerie de Pétrol.**

**Site: Latitude: 34:27 N, Longitude: 35:53 E, Altitude: 5,5 m**  
**Signalons que 1j/cm<sup>2</sup>=2,77wh/m<sup>2</sup> 1wh=3600j**

Jour	Température		Humidité Relative		Pluie ( mm )	Nb jours de Pluie	Vent maximal		RG ( j/cm <sup>2</sup> )
	min	Max	min	Max			dd ( ° )	ff (m/s)	
01-janv.-08	5.0	17.0	35	76	15.2	10	180	7	865
02-janv.-08	6.9	15.9	63	93	32.8		360	13	316
03-janv.-08	8.9	15.2	68	95	6.2		240	7	347
04-janv.-08	11.1	15.6	60	94	21.9		340	11	168
05-janv.-08	8.2	15.3	43	77	0		70	9	587
06-janv.-08	4.8	14.0	47	80	0		140	6	947
07-janv.-08	5.8	16.7	29	93	8.4		340	6	916
08-janv.-08	8.9	16.6	58	92	2.0		240	6	427
09-janv.-08	5.2	13.7	60	92	0		160	7	880
10-janv.-08	5.7	11.8	56	86	0		120	10	586
11-janv.-08	1.7	11.5	24	85	0		160	7	1055
12-janv.-08	1.0	12.4	19	64	0		120	6	1073
13-janv.-08	0.1	11.9	29	75	0		120	11	1074
14-janv.-08	0.4	13.0	22	71	0		160	5	1063
15-janv.-08	0.5	14.1	17	75	0		120	3	1066
16-janv.-08	2.8	15.9	26	71	0		160	6	947
17-janv.-08	3.3	17.1	34	80	0		160	6	1057
18-janv.-08	4.0	16.5	23	83	0		100	7	1017
19-janv.-08	2.8	17.3	27	79	0		120	4	1080
20-janv.-08	3.8	18.3	23	76	0		100	7	1087
21-janv.-08	5.1	13.3	28	77	0		100	5	1077
22-janv.-08	6.3	14.2	40	92	12.4		120	6	319
23-janv.-08	6.4	15.0	48	94	0		180	6	1146

24-janv.-08	5.6	17.0	41	86	0		200	3	1148
25-janv.-08	6.4	17.5	45	88	0		120	8	1153
26-janv.-08	6.9	16.3	50	88	0		20	4	1031
27-janv.-08	6.7	16.3	39	84	0		260	6	856
28-janv.-08	9.7	18.1	37	74	12.9		240	24	825
29-janv.-08	7.9	11.7	32	92	65.4		280	22	152
30-janv.-08	3.4	10.6	46	90	20.6		340	12	164
31-janv.-08	3.2	11.5	38	85	0		360	12	604
01-févr.-08	6.3	14.8	38	65	0	7	300	7	451
02-févr.-08	9.3	16.5	48	80	0		260	4	1334
03-févr.-08	4.8	15.5	45	86	0		200	2	1362
04-févr.-08	4.3	18.1	25	82	0		200	5	1370
05-févr.-08	4.1	18.2	31	79	0		120	6	1330
06-févr.-08	4.5	19.6	28	76	0		120	7	1389
07-févr.-08	4.7	18.3	31	89	0		340	3	1322
08-févr.-08	6.9	18.3	38	91	0		120	3	1237
09-févr.-08	6.2	19.5	42	82	0		140	9	1322
10-févr.-08	5.5	20.9	43	80	0		120	8	1367
11-févr.-08	9.6	19.1	45	90	29.6		320	10	1008
12-févr.-08	9.7	16.0	56	92	13.2		280	10	895
13-févr.-08	9.0	16.7	52	92	14.6		260	12	312
14-févr.-08	5.0	11.9	68	97	23.5		220	5	1139
15-févr.-08	8.2	15.3	43	96	1.0		340	8	1591
16-févr.-08	10.2	16.6	48	84	0		260	12	592
17-févr.-08	8.3	18.9	28	82	0.8		340	12	876
18-févr.-08	6.1	14.7	61	91	59.4		300	20	193
19-févr.-08	5.5	11.7	45	85	1.2		240	15	601
20-févr.-08	7.9	15.1	48	81	0		300	7	790
21-févr.-08	4.2	15.6	35	81	0		100	5	1832
22-févr.-08	4.3	19.4	22	87	0		360	4	1788
23-févr.-08	5.4	20.1	31	85	0		280	5	1470
24-févr.-08	9.0	18.6	38	81	0		60	5	984
25-févr.-08	10.1	16.3	44	75	0		60	10	778
26-févr.-08	9.2	17.2	46	77	0		340	7	1427
27-févr.-08	10.0	18.2	49	87	0		360	4	1868
28-févr.-08	8.6	20.1	51	89	0		20	7	1362
29-févr.-08	9.5	20.0	44	89	0		80	3	1229

01-mars-08	11.2	18.5	67	91	0	6	200	4	1284
02-mars-08	13.0	18.9	48	90	5.5		220	7	1172
03-mars-08	12.7	19.4	37	86	0		240	11	1608
04-mars-08	12.5	19.8	46	86	0		340	9	1749
05-mars-08	10.7	22.7	48	91	0		320	4	1955
06-mars-08	10.5	23.3	40	75	0		180	5	1944
07-mars-08	10.5	23.6	32	72	0		20	4	185
08-mars-08	13.0	25.7	37	71	0		160	5	1219
09-mars-08	14.9	26.5	33	68	0		300	5	1034
10-mars-08	16.5	22.3	38	86	0		340	8	677
11-mars-08	12.1	19.4	55	86	0		340	9	1999
12-mars-08	11.1	19.2	42	85	0		280	5	1836
13-mars-08	11.1	19.8	48	88	6.9		300	10	1293
14-mars-08	12.9	19.1	53	90	11.4		300	20	1097
15-mars-08	11.5	17.1	22	74	0		340	11	2291
16-mars-08	6.0	15.1	41	88	0		100	5	2379
17-mars-08	5.1	21.3	42	89	0		80	4	2204
18-mars-08	11.3	23.5	44	80	0		340	6	1471
19-mars-08	12.9	21.9	40	91	0		340	9	1992
20-mars-08	11.3	19.5	68	90	0		340	5	1816
21-mars-08	12.0	25.5	29	81	0		240	4	1958
22-mars-08	15.9	34.5	10	70	0		260	16	2030
23-mars-08	13.5	26.8	22	75	0		160	3	2252
24-mars-08	15.7	31.8	23	64	0		60	5	2257
25-mars-08	16.2	29.7	14	74	0		340	10	1597
26-mars-08	16.1	20.6	46	72	0		340	11	1960
27-mars-08	14.0	20.0	47	80	0.1		340	9	1691
28-mars-08	12.0	19.9	50	78	0		160	6	2053
29-mars-08	14.7	25.8	30	83	2.7		60	9	1862
30-mars-08	12.9	21.7	42	86	2.6		320	9	1258
31-mars-08	13.4	21.9	39	90	16.9		340	12	1762
01-avr.-08	11.3	19.0	52	82	1.0	3	40	12	1424
02-avr.-08	12.4	19.4	44	85	0		300	8	2284
03-avr.-08	7.9	21.1	40	86	0		320	10	2438
04-avr.-08	14.1	21.3	39	73	0		280	12	2140
05-avr.-08	14.4	20.8	54	83	0		260	5	1684
06-avr.-08	14.5	27.2	23	84	0		300	12	1464

07-avr.-08	16.4	21.4	43	85	0		340	12	2312
08-avr.-08	14.6	20.3	49	74	0		360	9	2070
09-avr.-08	12.6	20.6	46	83	0		20	10	1838
10-avr.-08	12.6	21.6	56	85	0.2		100	7	1011
11-avr.-08	12.1	23.3	46	88	0		320	8	2221
12-avr.-08	13.5	22.2	56	81	0		360	3	1945
13-avr.-08	13.1	22.9	57	87	0		100	3	2108
14-avr.-08	15.0	25.2	40	88	0		340	3	2096
15-avr.-08	17.2	32.0	16	80	0		100	4	1958
16-avr.-08	17.7	25.0	45	80	0		320	14	2240
17-avr.-08	15.5	22.1	45	88	0		300	11	2434
18-avr.-08	11.0	21.7	50	89	0		100	7	2248
19-avr.-08	13.9	23.0	48	89	0		340	6	2517
20-avr.-08	11.8	22.5	52	86	0		360	4	2470
21-avr.-08	13.3	24.3	58	91	0		340	6	2387
22-avr.-08	14.5	26.6	41	90	0		160	6	2356
23-avr.-08	14.5	27.9	26	77	0		340	3	2388
24-avr.-08	17.7	36.1	11	75	0		60	5	2455
25-avr.-08	17.8	35.6	12	85	0		20	18	1725
26-avr.-08	17.9	24.6	64	89	0		360	10	1651
27-avr.-08	18.4	21.8	60	84	0.2		340	9	892
28-avr.-08	15.3	22.1	49	80	0		320	7	1867
29-avr.-08	12.4	21.6	47	79	0		340	9	2456
30-avr.-08	14.8	22.2	48	71	0		320	11	2589
01-mai-08	14.2	22.7	45	78	0	4	340	6	2265
02-mai-08	13.0	22.9	55	87	0		320	7	2506
03-mai-08	13.1	23.5	57	87	0		340	9	2547
04-mai-08	13.1	23.8	54	86	0		320	7	2575
05-mai-08	13.9	24.4	48	86	0		340	11	2569
06-mai-08	17.4	23.6	46	78	0		340	13	2585
07-mai-08	13.8	23.3	55	78	0.2		320	9	2075
08-mai-08	16.8	23.6	38	87	5.4		320	16	2437
09-mai-08	12.1	21.7	47	87	3.3		280	9	1703
10-mai-08	14.4	23.3	45	79	0		60	9	2657
11-mai-08	13.8	23.1	55	85	0		340	5	2402
12-mai-08	14.1	24.0	55	88	0		20	6	2516
13-mai-08	14.2	25.0	48	82	0		20	4	2636

14-mai-08	13.8	25.2	50	81	0.4		340	5	2518
15-mai-08	17.6	29.3	30	77	0		320	15	2177
16-mai-08	18.6	23.9	54	86	0		300	10	2093
17-mai-08	15.6	23.8	56	85	0		340	5	2267
18-mai-08	15.0	24.9	60	85	0		20	6	2696
19-mai-08	14.6	26.0	58	88	0		360	3	2693
20-mai-08	15.4	26.8	42	81	0		100	4	2617
21-mai-08	17.3	26.5	69	89	0		360	5	2539
22-mai-08	18.9	27.1	52	89	0		320	7	2523
23-mai-08	18.2	26.6	59	87	0		340	11	2626
24-mai-08	15.1	25.5	55	88	0		240	11	2687
25-mai-08	16.7	25.8	53	88	0		240	10	2827
26-mai-08	16.9	25.2	52	78	0		260	11	2471
27-mai-08	17.0	26.8	60	87	0		340	5	2651
28-mai-08	17.0	27.5	49	88	0		60	3	2749
29-mai-08	16.3	29.2	30	83	0		300	5	1603
30-mai-08	17.5	28.6	33	87	0		340	5	2636
31-mai-08	17.6	29.3	41	79	0		20	3	2726
01-juin-08	17.1	29.2	42	88	0		340	6	2797
02-juin-08	18.5	28.6	57	89	0		320	11	2724
03-juin-08	17.9	27.9	59	84	0		320	7	2606
04-juin-08	19.9	28.3	57	88	0		340	6	2595
05-juin-08	18.1	29.6	50	87	0		100	4	2600
06-juin-08	20.4	27.7	52	74	0		320	12	2571
07-juin-08	21.5	30.0	30	70	0		320	13	2780
08-juin-08	21.2	27.5	37	86	0		340	8	2697
09-juin-08	18.4	30.7	34	86	0		280	6	2614
10-juin-08	22.9	29.6	26	73	0	0	60	16	2692
11-juin-08	22.4	28.6	40	73	0		40	12	2724
12-juin-08	22.2	28.8	48	87	0		340	11	2777
13-juin-08	18.0	29.5	41	86	0		20	4	2814
14-juin-08	17.5	29.4	33	77	0		320	6	2757
15-juin-08	19.5	29.5	39	79	0		320	10	2702
16-juin-08	20.1	28.4	34	84	0		320	10	2787
17-juin-08	19.6	28.2	58	88	0		340	5	2651
18-juin-08	19.4	30.1	54	89	0		20	4	2765
19-juin-08	19.3	31.4	39	84	0		340	5	2820

20-juin-08	19.1	31.9	38	88	0	0	60	7	2784
21-juin-08	20.6	31.7	38	88	0		320	7	2657
22-juin-08	21.8	30.1	58	85	0		320	8	2419
23-juin-08	21.8	30.6	50	87	0		320	7	2714
24-juin-08	20.5	30.7	50	83	0		320	5	2697
25-juin-08	20.0	31.5	35	82	0		280	5	2783
26-juin-08	22.2	31.3	36	86	0		340	6	2663
27-juin-08	23.8	31.2	63	87	0		340	8	2480
28-juin-08	23.1	30.7	57	89	0		360	7	2556
29-juin-08	23.1	30.8	55	82	0		340	9	2573
30-juin-08	23.7	31.5	56	84	0		360	9	2637
01-juil.-08	23.8	31.4	59	86	0		340	8	2606
02-juil.-08	21.2	31.1	57	88	0		20	10	2725
03-juil.-08	21.3	31.3	56	87	0		20	11	2592
04-juil.-08	21.5	30.9	56	85	0		340	6	2458
05-juil.-08	20.5	31.1	57	87	0		20	11	2682
06-juil.-08	21.9	30.9	54	84	0		340	9	2659
07-juil.-08	22.7	31.0	57	86	0		340	8	2554
08-juil.-08	21.5	33.2	29	87	0		360	3	2417
09-juil.-08	24.5	32.0	37	86	0		20	9	2754
10-juil.-08	20.8	32.5	43	86	0		320	5	2717
11-juil.-08	21.9	32.1	57	85	0		340	6	2647
12-juil.-08	21.2	31.9	53	87	0		340	10	2645
13-juil.-08	21.3	31.4	52	82	0		360	9	2694
14-juil.-08	21.8	31.9	54	84	0		320	9	2693
15-juil.-08	22.4	32.6	58	87	0		320	9	2633
16-juil.-08	23.4	33.7	56	87	0		220	9	2575
17-juil.-08	24.1	32.3	60	89	0		260	11	2522
18-juil.-08	24.4	31.9	50	78	0		240	9	2466
19-juil.-08	22.4	31.8	54	81	0		300	6	2597
20-juil.-08	23.1	32.7	56	82	0		340	10	2605
21-juil.-08	22.5	33.6	28	80	0		20	10	2650
22-juil.-08	23.0	32.0	57	85	0		320	10	2543
23-juil.-08	23.3	32.8	56	86	0		20	10	2474
24-juil.-08	23.3	32.4	53	85	0		340	8	2547
25-juil.-08	23.8	31.7	56	73	0		360	9	2620
26-juil.-08	24.4	30.4	42	68	0		260	12	1681



27-juil.-08	24.1	31.1	46	67	0		360	11	2492
28-juil.-08	24.0	30.8	41	70	0		320	9	2405
29-juil.-08	23.3	31.4	52	79	0		360	9	2515
30-juil.-08	23.0	31.5	57	82	0		320	8	2373
31-juil.-08	24.0	32.4	60	87	0		280	7	2223
01-août-08	21.9	31.0	60	87	0	1	280	7	2312
02-août-08	24.1	33.4	45	80	0		240	9	1997
03-août-08	23.8	32.5	54	75	0		220	11	1819
04-août-08	24.6	32.5	47	75	0		220	11	1980
05-août-08	24.4	32.2	33	74	0		240	13	2036
06-août-08	25.3	32.5	34	70	0		240	11	2102
07-août-08	24.9	32.4	55	74	0		260	10	1894
08-août-08	23.2	31.3	62	75	0		220	11	1964
09-août-08	24.0	33.0	65	74	0		280	6	2068
10-août-08	24.4	31.8	61	75	0		240	9	2145
11-août-08	24.0	31.6	62	78	0		260	8	2027
12-août-08	23.2	30.5	64	76	0		240	8	2318
13-août-08	22.9	30.3	55	78	0		220	9	1992
14-août-08	23.2	30.2	64	76	0		280	7	2316
15-août-08	22.8	31.0	56	75	0		240	11	2143
16-août-08	24.0	30.5	62	76	0		180	6	2264
17-août-08	22.0	32.6	65	83	0		300	5	2184
18-août-08	23.5	31.5	65	85	0		20	4	2139
19-août-08	24.5	31.8	66	82	0		340	4	2237
20-août-08	24.0	31.0	65	75	0		280	4	2197
21-août-08	25.4	31.2	65	79	0		280	8	2316
22-août-08	26.5	31.8	64	80	0		280	6	2047
23-août-08	25.5	31.0	62	78	0		260	8	2098
24-août-08	25.2	31.0	56	75	1.5		240	7	2248
25-août-08	24.3	31.0	54	73	0		240	8	1947
26-août-08	24.2	31.5	58	74	0		320	6	2075
27-août-08	24.5	31.9	60	85	0		280	5	1849
28-août-08	25.5	31.7	64	86	0		320	6	1782
29-août-08	25.7	31.9	62	87	0		340	6	1979
30-août-08	23.9	31.8	62	85	0		320	6	1940
31-août-08	24.6	31.8	61	85	0		300	6	2158
01-sept.-08	22.5	31.5	60	86	0	2	340	5	2174



02-sept.-08	23.6	30.2	62	81	0		340	6	1165
03-sept.-08	23.4	31.2	48	76	0		340	4	2154
04-sept.-08	23.1	30.9	50	79	0		60	5	2147
05-sept.-08	25.2	31.5	59	82	0		140	5	1886
06-sept.-08	23.8	30.7	59	85	0		360	4	2039
07-sept.-08	23.7	31.0	60	85	0		340	5	1950
08-sept.-08	23.7	30.7	57	86	0		320	7	2038
09-sept.-08	22.5	30.1	57	78	0		320	7	1809
10-sept.-08	22.9	31.1	57	82	0		340	6	1996
11-sept.-08	24.0	30.6	57	81	0		340	6	1866
12-sept.-08	21.0	30.0	56	83	0		300	6	2142
13-sept.-08	22.6	29.8	55	81	0		320	6	1683
14-sept.-08	22.6	30.0	53	75	0		320	10	1784
15-sept.-08	22.2	31.0	55	82	0		340	4	1933
16-sept.-08	22.8	30.6	56	84	0		280	5	2008
17-sept.-08	21.9	31.1	56	84	0		340	5	2112
18-sept.-08	22.1	31.2	44	85	0		20	9	1888
19-sept.-08	23.8	30.6	41	67	0		360	9	1779
20-sept.-08	22.3	29.0	39	68	0		340	9	1196
21-sept.-08	22.9	29.2	48	76	0		340	6	1376
22-sept.-08	21.2	30.8	41	80	0		320	8	1556
23-sept.-08	23.0	29.2	53	82	0		20	7	1636
24-sept.-08	22.6	28.1	47	72	0		320	8	1695
25-sept.-08	20.1	28.9	46	74	0		320	6	1994
26-sept.-08	21.7	30.9	38	84	3.2		300	15	1215
27-sept.-08	23.5	28.7	44	80	0		20	13	1685
28-sept.-08	22.5	28.2	41	74	0		240	9	1460
29-sept.-08	22.4	28.8	42	76	0.7		320	11	1703.0
30-sept.-08	22.5	26.9	42	85	0		340	13	1440
01-oct.-08	19.5	26.5	44	64	0	10	300	6	1013
02-oct.-08	19.8	27.4	42	78	0		340	5	2055
03-oct.-08	17.2	27.9	44	79	0		360	6	1964
04-oct.-08	18.1	29.1	43	67	0		360	4	1702
05-oct.-08	20.7	28.3	57	81	0		340	8	1482
06-oct.-08	23.5	28.5	56	78	0		20	10	1822
07-oct.-08	22.5	26.6	53	74	0		320	8	1232
08-oct.-08	18.7	27.3	47	74	0		340	10	1814

09-oct.-08	16.9	26.7	42	81	0		20	6	1832
10-oct.-08	18.6	27.2	51	78	0		360	5	1409
11-oct.-08	20.5	27.1	53	75	0		340	5	1398
12-oct.-08	19.4	27.2	52	76	0		360	4	1383
13-oct.-08	17.8	28.9	46	77	0		360	3	1681
14-oct.-08	19.5	35.8	27	81	0.4		280	13	861
15-oct.-08	19.1	26.2	68	91	43.6		20	9	436
16-oct.-08	18.5	24.7	61	90	6.6		320	9	671
17-oct.-08	18.1	26.1	55	87	0		360	4	1212
18-oct.-08	17.1	26.5	49	87	0		40	5	1639
19-oct.-08	18.0	27.7	51	86	0		320	5	1567
20-oct.-08	19.1	27.6	65	85	0		340	4	1417
21-oct.-08	20.2	26.6	57	87	0.5		20	6	1145
22-oct.-08	18.3	26.8	42	87	1.4		100	6	1276
23-oct.-08	18.6	26.5	43	81	0		340	4	1036
24-oct.-08	18.1	26.4	46	82	0		360	4	1294
25-oct.-08	17.6	25.6	55	84	0.2		300	4	1137
26-oct.-08	19.1	25.3	52	82	0.2		300	5	980
27-oct.-08	16.9	24.0	51	90	18.4		260	8	390
28-oct.-08	15.2	24.1	45	91	1.4		40	8	1077
29-oct.-08	14.3	22.3	50	91	3.0		80	6	922
30-oct.-08	14.1	24.2	50	83	0		320	5	1363
31-oct.-08	17.6	24.8	55	85	0		340	5	1413
01-nov.-08	15.7	24.2	63	88	0	8	120	4	1312
02-nov.-08	14.1	26.9	26	85	0		80	9	1387
03-nov.-08	13.4	25.2	33	73	0		320	4	1360
04-nov.-08	13.4	26.4	33	82	0		340	5	1331
05-nov.-08	13.3	25.9	20	84	0		240	4	1338
06-nov.-08	13.6	24.2	42	80	0		40	3	1291
07-nov.-08	13.4	24.6	39	81	0		100	4	1294
08-nov.-08	13.6	25.0	29	71	0		80	4	
09-nov.-08	14.5	26.6	30	68	0		180	2	
10-nov.-08	15.5	25.6	29	76	0		340	4	
11-nov.-08	14.3	25.7	35	72	0		340	5	1182
12-nov.-08	14.2	23.5	50	92	27.2		340	12	
13-nov.-08	13.5	22.8	58	89	8.4		280	8	
14-nov.-08	14.1	22.2	51	89	0		260	9	

15-nov.-08	13.1	22.3	44	86	0		340	5	
16-nov.-08	12.1	21.8	45	88	0		200	3	
17-nov.-08	11.9	22.1	42	86	0		320	4	
18-nov.-08	11.6	22.8	44	81	0		160	7	
19-nov.-08	14.2	23.2	54	80	1.0		120	5	
20-nov.-08	16.6	22.2	54	91	16.9		320	10	
21-nov.-08	17.2	21.7	52	86	2.4		300	9	
22-nov.-08	14.8	21.7	54	79	0.7		300	8	
23-nov.-08	15.1	24.2	30	59	0		340	13	
24-nov.-08	15.8	25.8	18	68	0		320	9	
25-nov.-08	13.5	23.9	43	80	0		40	2	
26-nov.-08	13.0	23.3	32	80	0		340	3	
27-nov.-08	13.3	22.2	42	80	8.2		20	6	
28-nov.-08	14.3	20.4	51	89	20.3		340	10	
29-nov.-08	12.2	18.9	51	74	0		340	11	
30-nov.-08	9.8	19.5	43	82	0	12	220	3	
01-déc.-08	11.5	21.0	45	87	0		160	3	
02-déc.-08	9.7	21.9	37	87	0		180	4	
03-déc.-08	10.2	22.4	40	74	0		120	3	
04-déc.-08	8.3	22.3	37	86	0		100	4	
05-déc.-08	9.1	22.1	33	81	0		120	5	
06-déc.-08	11.2	22.2	42	81	0		320	4	
07-déc.-08	10.0	23.5	41	76	0		100	5	
08-déc.-08	16.6	22.3	52	90	16.4		280	8	
09-déc.-08	12.8	17.1	52	92	32.6		340	12	
10-déc.-08	10.2	18.4	37	83	0		300	6	
11-déc.-08	4.3	17.8	33	83	0		140	3	
12-déc.-08	5.7	19.2	32	80	0		120	5	
13-déc.-08	7.2	19.8	45	92	11.4		140	4	
14-déc.-08	12.6	15.8	75	94	0.7		140	3	
15-déc.-08	9.8	18.8	53	93	0		160	5	
16-déc.-08	10.1	19.0	33	83	0		120	5	
17-déc.-08	6.5	17.9	40	81	0		160	4	
18-déc.-08	7.7	19.6	50	83	0		260	6	
19-déc.-08	8.2	20.8	47	79	0		360	3	
20-déc.-08	9.5	19.2	47	50	0		360	3	
21-déc.-08	10.2	14.4	60	94	30.8		120	9	
22-déc.-08	9.9	15.5	67	92	0.2		260	13	

23-déc.-08	10.9	17.1	33	88	21.6		320	14	
24-déc.-08	11.6	16.9	43	88	15.4		340	23	
25-déc.-08	10.0	14.0	53	88	2.8		240	13	
26-déc.-08	9.5	16.7	42	87	0		120	4	
27-déc.-08	5.8	16.7	49	87	0		160	4	
28-déc.-08	6.0	18.6	40	81	0		340	4	
29-déc.-08	7.3	18.0	49	91	24.3		260	9	
30-déc.-08	9.3	15.3	56	94	3.5		120	5	
31-déc.-08	4.1	6.8	73	93	8.2		140	9	
01-janv.-09	2.9	10.0	27	73	0	14	320	5	
02-janv.-09	3.1	14.6	38	67	1.1		360	6	
03-janv.-09	8.3	15.6	54	86	1.4		320	7	
04-janv.-09	7.3	15.3	42	91	0		220	6	
05-janv.-09	9.1	19.2	47	82	0		300	8	
06-janv.-09	8.1	19.1	42	89	0		120	3	
07-janv.-09	8.4	18.6	32	87	1.0		300	11	
08-janv.-09	12.1	18.2	51	91	6.2		340	6	
09-janv.-09	12.6	19.0	53	80	0		320	7	
10-janv.-09	10.4	18.2	52	88	11.4		80	6	
11-janv.-09	10.6	17.8	46	89	1.1		20	7	
12-janv.-09	4.2	13.5	45	56	0		120	13	
13-janv.-09	3.6	15.6	34	84	0		340	4	
14-janv.-09	5.5	17.2	47	84	0		100	4	
15-janv.-09	6.4	18.5	38	83	0		340	4	
16-janv.-09	7.8	16.8	50	86	0		100	7	
17-janv.-09	9.2	19.8	49	85	1.6		360	11	
18-janv.-09	11.5	18.0	63	92	0		360	5	
19-janv.-09	10.3	17.4	46	91	6.1		320	7	
20-janv.-09	11.5	17.7	55	90	0		40	3	
21-janv.-09	7.7	19.0	51	91	0		360	6	
22-janv.-09	7.3	20.0	54	88	0		100	7	
23-janv.-09	7.1	18.1	53	81	0.8		140	7	
24-janv.-09	11.7	15.3	61	93	21.4		120	7	
25-janv.-09	8.2	17.3	62	94	0		340	7	
26-janv.-09	10.4	21.3	33	90	0.2		240	11	
27-janv.-09	13.6	19.6	58	90	0		20	7	
28-janv.-09	10.0	17.8	63	91	0		300	3	
29-janv.-09	8.3	18.9	45	90	26.2		340	11	

30-janv.-09	10.2	14.0	47	91	9.4		260	11	
31-janv.-09	9.5	18.6	47	92	12.6		260	13	
01-févr.-09	9.7	16.6	53	87	1.1	17	320	9	
02-févr.-09	11.1	16.6	59	91	7.2		300	6	
03-févr.-09	9.4	18.5	61	91	0		240	3	
04-févr.-09	8.4	19.2	42	88	0		200	3	
05-févr.-09	8.5	20.6	43	86	0		200	2	
06-févr.-09	9.9	20.3	52	85	0		360	11	
07-févr.-09	12.7	19.2	54	86	0		60	10	
08-févr.-09	12.2	19.2	62	91	0		100	5	
09-févr.-09	11.7	20.5	57	80	6.5		340	11	
10-févr.-09	9.4	15.7	72	93	61.3		300	18	
11-févr.-09	8.7	18.5	46	75	0		300	14	
12-févr.-09	13.5	19.7	53	88	0		320	12	
13-févr.-09	9.1	20.4	51	89	0		40	4	
14-févr.-09	9.1	19.2	62	87	0		360	4	
15-févr.-09	10.0	21.2	29	86	0.4		280	17	
16-févr.-09	11.3	17.4	36	88	18.8		320	20	
17-févr.-09	8.4	14.0	59	87	10.6		260	12	
18-févr.-09	8.3	16.0	49	91	0.8		260	8	
19-févr.-09	9.3	17.8	65	91	1.2		120	9	
20-févr.-09	8.2	18.6	53	91	39.8		300	15	
21-févr.-09	8.1	14.6	48	90	4.2		340	20	
22-févr.-09	9.4	16.0	48	85	7.4		260	10	
23-févr.-09	8.6	15.4	60	93	5.4		340	13	
24-févr.-09	7.4	16.2	53	85	8.6		260	15	
25-févr.-09	9.2	15.7	69	89	0		160	5	
26-févr.-09	7.8	20.3	32	88	11.2		100	5	
27-févr.-09	9.6	13.4	60	89	24.2		360	13	
28-févr.-09	8.2	14.6	63	90	18.3		320	14	
01-mars-09	8.2	14.8	53	90	7.1	13	340	11	
02-mars-09	8.6	16.5	52	85	3.5		300	9	
03-mars-09	10.1	17.9	54	91	28.9		260	9	
04-mars-09	10.6	19.3	59	84	0		320	10	
05-mars-09	9.2	21.6	48	84	0		120	5	
06-mars-09	12.4	24.2	50	82	0		100	6	
07-mars-09	11.2	21.6	54	77	0		120	9	

08-mars-09	15.1	22.3	62	87	1.1		360	8	
09-mars-09	12.9	19.5	43	83	0		260	12	
10-mars-09	11.8	19.8	47	68	0		340	13	
11-mars-09	12.4	19.8	43	89	0		20	8	
12-mars-09	8.9	19.8	63	89	0		40	5	
13-mars-09	12.8	18.4	57	89	6.8		240	10	
14-mars-09	10.3	17.8	49	81	2.4		300	15	
15-mars-09	11.2	16.4	42	82	1.8		240	14	
16-mars-09	8.3	16.8	38	77	0		340	5	
17-mars-09	5.7	17.5	46	79	0		100	4	
18-mars-09	8.9	17.7	42	80	0		340	4	
19-mars-09	7.7	18.8	41	82	0.3		300	13	
20-mars-09	11.8	14.5	41	93	11.3		300	6	
21-mars-09	9.1	17.9	59	94	0		340	8	
22-mars-09	10.5	18.7	46	86	0		340	8	
23-mars-09	11.0	21.3	35	90	36.8		340	13	
24-mars-09	8.2	18.3	45	90	0.7		300	15	
25-mars-09	11.7	17.7	41	87	0		40	11	
26-mars-09	8.0	19.1	38	87	0		340	9	
27-mars-09	9.2	20.9	33	88	17.6		320	17	
28-mars-09	10.3	17.8	37	82	1.2		360	11	
29-mars-09	9.4	18.5	42	87	0		340	4	
30-mars-09	8.6	19.1	55	88	0		340	4	
31-mars-09	5.8	19.2	61	90	0	6	340	6	
01-avr.-09	9.8	20.2	67	91	0		340	4	
02-avr.-09	11.6	25.1	30	89	0		100	2	
03-avr.-09	13.4	21.8	66	93	0		320	7	
04-avr.-09	13.6	21.3	68	94	0		280	6	
05-avr.-09	13.2	21.7	70	90	0		320	6	
06-avr.-09	15.4	25.9	53	88	0		320	16	
07-avr.-09	14.5	21.2	43	88	0		300	11	
08-avr.-09	12.8	20.7	49	91	9.0		300	14	
09-avr.-09	12.3	19.9	58	88	0		240	5	
10-avr.-09	10.4	20.8	62	91	0		360	5	
11-avr.-09	11.4	20.5	64	88	0		80	5	
12-avr.-09	14.0	21.6	60	88	0.2		320	4	
13-avr.-09	10.3	23.0	33	84	0		340	4	

14-avr.-09	14.0	28.2	30	79	0.2	1	300	11	
15-avr.-09	16.1	21.0	57	85	12.0		360	15	
16-avr.-09	13.6	19.4	59	88	11.0		240	16	
17-avr.-09	12.1	21.5	49	85	0		360	9	
18-avr.-09	13.9	21.0	41	77	0		340	9	
19-avr.-09	8.6	21.3	39	83	0		20	4	
20-avr.-09	10.3	22.7	38	87	0		120	3	
21-avr.-09	11.5	23.1	48	90	0		340	3	
22-avr.-09	11.3	23.2	41	93	0		340	5	
23-avr.-09	14.0	22.7	58	80	0		340	14	
24-avr.-09	15.6	21.9	54	77	0		260	12	
25-avr.-09	13.6	22.4	56	82	0		20	11	
26-avr.-09	14.7	21.6	59	90	0		340	6	
27-avr.-09	12.0	21.8	59	90	0		20	4	
28-avr.-09	12.7	21.8	60	91	0		280	8	
29-avr.-09	11.8	23.3	42	88	0		340	4	
30-avr.-09	13.2	23.1	49	78	0.2		340	14	
01-mai-09	16.3	22.6	55	78	0		360	13	
02-mai-09	13.4	22.7	50	87	0		280	8	
03-mai-09	14.4	23.1	46	86	0		180	5	
04-mai-09	16.7	31.8	17	70	0		340	17	
05-mai-09	18.1	23.2	47	75	0.4		300	16	
06-mai-09	15.0	23.9	37	80	0		320	13	
07-mai-09	14.0	23.1	43	82	0		40	12	
08-mai-09	13.3	23.0	52	89	0		340	6	
09-mai-09	13.7	23.3	57	87	0		340	4	
10-mai-09	13.7	23.7	60	90	0		340	5	
11-mai-09	14.2	23.8	56	89	0		360	7	
12-mai-09	12.7	24.5	51	90	0		20	3	
13-mai-09	12.6	24.5	45	89	0		40	3	
14-mai-09	15.5	25.6	63	91	0		260	5	
15-mai-09	17.4	26.5	49	91	0		340	3	
16-mai-09	15.1	26.9	42	87	0		80	3	
17-mai-09	15.2	27.8	38	74	0		60	3	
18-mai-09	16.6	28.2	32	90	0		300	3	
19-mai-09	18.2	29.1	39	89	0		320	9	
20-mai-09	17.0	26.1	61	91	0		340	6	

21-mai-09	16.5	25.0	65	87	0		340	7	
22-mai-09	18.1	26.2	53	89	0		300	5	
23-mai-09	16.9	26.5	53	90	0		320	5	
24-mai-09	18.1	25.6	52	86	0		340	7	
25-mai-09	17.1	26.2	55	87	0		40	8	
26-mai-09	17.9	26.9	57	89	0		320	8	
27-mai-09	16.1	27.8	56	90	0		360	4	
28-mai-09	14.8	27.7	39	71	0		20	5	
29-mai-09	14.9	27.6	47	74	0		340	4	
30-mai-09	16.2	28.1	46	89	0		320	4	
31-mai-09	16.5	28.0	51	90	0		40	4	
01-juin-09	16.7	27.9	61	88	0	0	320	6	
02-juin-09	17.0	28.2	63	92	0		340	6	
03-juin-09	17.0	28.7	51	92	0		320	6	
04-juin-09	18.5	33.5	22	86	0		360	10	
05-juin-09	22.0	27.0	55	83	0		300	10	
06-juin-09	16.8	27.4	54	83	0		320	7	
07-juin-09	17.9	28.5	54	87	0		320	5	
08-juin-09	18.4	30.1	43	88	0		300	3	
09-juin-09	19.4	30.3	40	88	0		320	6	
10-juin-09	20.0	30.2	57	87	0		340	6	
11-juin-09	20.6	29.8	59	88	0		280	11	
12-juin-09	20.8	29.0	59	88	0		360	10	
13-juin-09	21.2	28.9	61	86	0		320	10	
14-juin-09	21.6	29.1	58	89	0		320	9	
15-juin-09	20.6	29.4	58	89	0		300	4	
16-juin-09	19.6	30.1	58	89	0		320	7	
17-juin-09	19.1	30.6	45	83	0		340	11	
18-juin-09	20.7	31.8	27	81	0		340	7	
19-juin-09	19.5	30.1	44	87	0		340	6	
20-juin-09	19.5	31.1	30	87	0		300	9	
21-juin-09	20.4	31.2	54	84	0		300	9	
22-juin-09	21.8	30.2	58	88	0		340	7	
23-juin-09	20.8	31.1	58	87	0		300	6	
24-juin-09	21.9	33.6	44	88	0		160	4	
25-juin-09	21.2	33.7	43	89	0		320	6	
26-juin-09	21.6	34.3	34	76	0		20	4	



27-juin-09	21.0	30.5	43	68	0		320	11	
28-juin-09	22.6	29.2	46	78	0		320	9	
29-juin-09	20.4	29.9	55	87	0		320	7	
30-juin-09	19.4	32.6	35	79	0		120	4	
01-juil.-09	20.6	33.2	25	83	0	0	340	5	
02-juil.-09	20.2	32.2	45	82	0		360	9	
03-juil.-09	21.1	30.1	51	83	0		340	12	
04-juil.-09	23.6	30.0	51	69	0		360	14	
05-juil.-09	24.5	30.5	49	72	0		280	12	
06-juil.-09	23.8	30.2	54	76	0		340	10	
07-juil.-09	22.5	30.2	56	82	0		300	9	
08-juil.-09	22.2	30.0	58	86	0		320	7	
09-juil.-09	22.1	30.2	62	87	0		320	6	
10-juil.-09	22.8	31.2	65	88	0		340	7	
11-juil.-09	24.1	31.7	62	89	0		320	8	
12-juil.-09	22.1	32.2	54	85	0		340	11	
13-juil.-09	24.2	30.9	44	76	0		320	11	
14-juil.-09	24.9	30.5	44	69	0		320	13	
15-juil.-09	24.9	31.5	40	71	0		60	11	
16-juil.-09	23.2	31.6	37	78	0		20	11	
17-juil.-09	22.3	31.6	38	83	0		300	11	
18-juil.-09	22.5	32.6	58	83	0		340	9	
19-juil.-09	22.8	31.7	57	85	0		320	10	
20-juil.-09	24.2	31.7	57	87	0		340	11	
21-juil.-09	24.1	32.4	55	89	0		320	9	
22-juil.-09	23.4	33.8	55	87	0		20	10	
23-juil.-09	23.8	32.0	61	90	0		340	11	
24-juil.-09	23.7	32.3	54	84	0		360	12	
25-juil.-09	23.2	32.6	51	81	0		340	12	
26-juil.-09	23.7	32.4	58	85	0		320	8	
27-juil.-09	23.3	32.5	55	87	0		340	7	
28-juil.-09	22.8	32.4	61	87	0		320	8	
29-juil.-09	25.1	32.2	62	88	0		320	8	
30-juil.-09	22.5	31.5	54	87	0		20	8	
31-juil.-09	22.8	31.8	51	80	0		20	11	
01-août-09	23.1	32.1	59	85	0	0	320	7	
02-août-09	22.5	31.8	57	85	0		340	6	

03-août-09	22.9	33.0	55	86	0		260	4	
04-août-09	22.6	33.7	50	86	0		340	5	
05-août-09	23.3	32.8	61	86	0		340	6	
06-août-09	23.9	32.9	48	86	0		260	11	
07-août-09	22.6	32.5	49	75	0		340	11	
08-août-09	24.0	31.6	49	79	0		320	8	
09-août-09	24.1	31.6	50	72	0		320	7	
10-août-09	23.9	32.0	54	80	0		300	8	
11-août-09	24.9	32.3	43	80	0		340	9	
12-août-09	23.1	31.9	57	82	0		360	6	
13-août-09	22.3	31.4	54	83	0		320	7	
14-août-09	23.9	31.7	54	82	0		280	6	
15-août-09	22.4	32.9	50	83	0		280	5	
16-août-09	20.9	32.3	55	85	0		340	5	
17-août-09	22.9	32.1	51	83	0		40	8	
18-août-09	23.5	31.2	59	87	0		280	6	
19-août-09	23.3	31.9	53	81	0		340	6	
20-août-09	23.4	32.6	57	85	0		340	4	
21-août-09	22.4	32.4	59	87	0		340	5	
22-août-09	21.8	32.7	40	77	0		280	6	
23-août-09	21.4	32.1	43	83	0		340	9	
24-août-09	21.0	31.5	55	83	0		360	9	
25-août-09	22.8	31.4	48	74	0		340	8	
26-août-09	22.5	31.7	48	78	0		300	6	
27-août-09	22.3	31.5	52	79	0		340	7	
28-août-09	23.9	31.2	56	78	0		340	7	
29-août-09	24.0	31.6	54	74	0		320	9	
30-août-09	24.3	32.7	42	77	0		240	10	
31-août-09	23.7	32.9	25	73	0		360	9	
01-sept.-09	21.5	30.9	47	74	0	7	340	7	
02-sept.-09	22.8	31.7	51	80	0		340	5	
03-sept.-09	22.2	33.0	53	83	0		340	5	
04-sept.-09	22.8	32.9	54	85	0		100	4	
05-sept.-09	22.4	32.4	56	86	0		340	7	
06-sept.-09	21.9	31.3	51	81	0		340	10	
07-sept.-09	22.1	31.2	46	79	0		260	12	
08-sept.-09	21.4	30.6	50	87	6.5		40	7	

09-sept.-09	22.5	29.2	56	91	0		320	8	
10-sept.-09	21.4	29.2	48	73	0		320	8	
11-sept.-09	21.3	29.0	55	82	0		340	5	
12-sept.-09	20.3	31.6	48	84	7.0		300	15	
13-sept.-09	22.0	29.9	53	89	1.2		300	10	
14-sept.-09	22.9	29.8	54	82	0		320	8	
15-sept.-09	20.4	29.9	54	83	0		280	6	
16-sept.-09	22.1	30.7	54	75	0		20	12	
17-sept.-09	21.8	30.6	55	81	0		320	9	
18-sept.-09	20.4	30.5	47	80	0		340	10	
19-sept.-09	19.5	29.5	42	85	20.7		200	8	
20-sept.-09	19.4	28.5	58	89	6.0		360	10	
21-sept.-09	19.0	27.5	48	89	0		300	9	
22-sept.-09	21.9	30.0	41	80	0		120	6	
23-sept.-09	18.8	30.4	35	79	0		320	5	
24-sept.-09	18.4	30.4	35	71	0		360	5	
25-sept.-09	19.5	29.7	42	85	0		40	4	
26-sept.-09	19.0	30.0	49	84	0		40	4	
27-sept.-09	18.8	29.0	49	83	27.8		260	7	
28-sept.-09	18.9	29.1	43	92	0.8		100	9	
29-sept.-09	16.7	28.7	37	84	0		320	4	
30-sept.-09	16.0	28.1	37	79	0		80	5	
01-oct.-09	17.3	28.9	38	80	0	6	360	4	
02-oct.-09	17.3	29.4	43	79	0		320	4	
03-oct.-09	18.6	29.8	47	90	0		340	5	
04-oct.-09	19.3	28.4	58	86	0		20	6	
05-oct.-09	17.9	29.0	43	82	0		260	10	
06-oct.-09	20.1	28.0	43	74	1.0		320	10	
07-oct.-09	18.3	28.6	53	82	0		20	4	
08-oct.-09	18.5	29.5	49	83	0		340	4	
09-oct.-09	19.0	29.9	46	80	0		280	4	
10-oct.-09	19.1	29.3	57	88	0		360	3	
11-oct.-09	19.0	29.2	39	82	0		140	3	
12-oct.-09	20.0	28.5	64	89	0		360	4	
13-oct.-09	19.6	27.6	60	89	0		280	5	
14-oct.-09	20.1	29.1	50	84	0		360	4	
15-oct.-09	18.0	30.2	43	83	0		340	4	

16-oct.-09	20.0	30.3	42	67	0		280	5	
17-oct.-09	19.4	30.1	34	69	0		340	2	
18-oct.-09	19.3	36.5	19	57	0		340	3	
19-oct.-09	21.6	37.7	15	55	0		200	2	
20-oct.-09	22.3	32.9	22	64	0		260	3	
21-oct.-09	21.4	29.4	19	81	0		260	7	
22-oct.-09	22.1	27.0	48	78	0		340	4	
23-oct.-09	19.4	27.4	52	83	0		20	6	
24-oct.-09	19.2	31.7	27	84	0		360	7	
25-oct.-09	18.5	28.9	34	69	0		100	3	
26-oct.-09	18.2	30.8	33	81	2.9		340	11	
27-oct.-09	18.4	37.4	47	85	8.3		260	8	
28-oct.-09	17.2	26.5	50	83	0		20	4	
29-oct.-09	17.2	27.3	35	83	0.6		100	6	
30-oct.-09	15.8	22.8	59	91	35.8		340	15	
31-oct.-09	16.3	23.2	56	90	10.4	8	340	8	
01-nov.-09	15.9	23.5	42	90	26.6		300	17	
02-nov.-09	14.1	19.4	53	88	36.4		300	14	
03-nov.-09	13.4	20.8	58	90	31.7		280	15	
04-nov.-09	15.4	24.4	39	91	0		280	9	
05-nov.-09	15.3	24.9	41	85	0		260	6	
06-nov.-09	13.9	26.9	36	86	0		240	3	
07-nov.-09	14.3	26.9	41	79	0		300	3	
08-nov.-09	15.9	27.2	51	72	0		240	3	
09-nov.-09	17.9	24.3	64	87	0		320	7	
10-nov.-09	14.9	24.1	53	87	0		360	3	
11-nov.-09	14.0	23.8	52	85	0		120	3	
12-nov.-09	15.8	23.9	50	84	5.2		320	9	
13-nov.-09	15.2	22.1	55	89	9.8		40	9	
14-nov.-09	14.4	22.2	46	92	7.7		240	9	
15-nov.-09	13.8	22.5	47	90	0		280	5	
16-nov.-09	12.4	19.8	60	92	7.6		240	29	
17-nov.-09	11.6	20.2	50	92	3.6		240	5	
18-nov.-09	11.3	20.8	39	88	0		300	7	
19-nov.-09	11.7	21.8	40	78	0		200	4	
20-nov.-09	10.3	21.8	40	83	0		360	7	
21-nov.-09	11.1	22.2	42	83	0		80	4	

22-nov.-09	10.9	22.4	44	80	0		100	3	
23-nov.-09	10.3	23.2	33	82	0		340	4	
24-nov.-09	10.7	23.3	36	81	0		280	4	
25-nov.-09	12.2	20.4	58	86	0		200	9	
26-nov.-09	9.2	21.1	42	87	0		40	6	
27-nov.-09	9.1	20.5	44	89	0		340	6	
28-nov.-09	10.9	21.0	55	87	0		260	4	
29-nov.-09	11.4	21.6	37	80	0		340	7	
30-nov.-09	13.0	21.8	54	88	0		260	5	
01-déc.-09	11.2	23.2	39	89	0	13	180	3	
02-déc.-09	9.6	22.8	30	82	0		180	5	
03-déc.-09	9.8	22.5	41	89	4.3		340	7	
04-déc.-09	12.0	20.2	57	93	0.2		100	4	
05-déc.-09	12.5	20.3	50	93	21.1		240	4	
06-déc.-09	11.2	16.5	80	95	8.3		120	5	
07-déc.-09	9.7	18.1	60	93	0		100	8	
08-déc.-09	10.2	19.4	47	86	0		260	6	
09-déc.-09	12.8	19.0	62	88	1.8		240	8	
10-déc.-09	12.2	19.9	61	89	0		320	5	
11-déc.-09	9.5	19.6	61	93	6.7		300	7	
12-déc.-09	11.7	15.9	75	92	35.2		260	8	
13-déc.-09	12.0	20.6	41	88	16.6		300	17	
14-déc.-09	12.8	19.1	51	86	0		20	7	
15-déc.-09	11.5	19.6	47	87	0		180	8	
16-déc.-09	8.1	21.4	26	84	62.6		300	19	
17-déc.-09	10.6	16.1	62	90	14.0		300	14	
18-déc.-09	12.8	18.9	64	87	6.2		220	9	
19-déc.-09	12.4	21.5	50	67	0		280	17	
20-déc.-09	12.8	20.4	46	79	0		320	5	
21-déc.-09	11.0	21.6	48	85	44.7		340	6	
22-déc.-09	13.7	19.2	54	93	0		200	6	
23-déc.-09	10.0	19.7	52	89	0		120	4	
24-déc.-09	10.8	19.8	62	92	0		20	6	
25-déc.-09	10.3	19.9	54	90	0		220	3	
26-déc.-09	12.0	18.9	63	88	0		320	5	
27-déc.-09	13.5	20.5	61	90	0		360	5	
28-déc.-09	11.9	19.4	64	91	0		140	3	

29-déc.-09	13.1	21.4	51	90	8.8		360	13	
30-déc.-09	15.1	18.9	57	86	0		220	7	
31-déc.-09	12.2	19.9	49	86	0		340	9	
01-janv.-10	14.1	21.8	47	81	0	<b>16</b>	260	9	
02-janv.-10	15.1	<b>24.5</b>	<b>21</b>	60	0.2		<b>300</b>	<b>17</b>	
03-janv.-10	18.3	20.5	46	76	1.0		220	12	
04-janv.-10	15.5	20.4	56	80	0.6		260	13	
05-janv.-10	15.9	19.4	58	82	0		240	10	
06-janv.-10	9.8	19.0	60	88	0		340	3	
07-janv.-10	9.7	21.3	57	86	0		140	4	
08-janv.-10	10.0	21.8	47	83	0		300	3	
09-janv.-10	9.4	21.9	31	81	0		280	3	
10-janv.-10	9.7	22.2	49	75	0		240	4	
11-janv.-10	10.9	22.1	46	83	0		360	13	
12-janv.-10	13.5	19.4	65	82	0		260	4	
13-janv.-10	12.3	18.1	66	90	8.7		220	8	
14-janv.-10	11.3	20.4	51	76	0		280	9	
15-janv.-10	15.3	20.5	40	78	0		200	8	
16-janv.-10	10.1	19.9	59	82	0		100	6	
17-janv.-10	9.2	20.5	56	77	2.3		280	6	
18-janv.-10	13.3	16.3	66	92	33.3		<b>260</b>	<b>17</b>	
19-janv.-10	13.8	16.8	66	92	10.5		240	11	
20-janv.-10	11.3	14.7	61	91	32.4		300	10	
21-janv.-10	10.2	17.9	49	90	6.0		300	8	
22-janv.-10	9.8	18.3	54	83	0		260	6	
23-janv.-10	10.8	19.9	47	89	24.8		220	7	
24-janv.-10	10.2	14.1	67	90	38.5		300	13	
25-janv.-10	6.2	14.5	48	91	11.8		300	10	
26-janv.-10	7.5	13.2	41	81	0		80	6	
27-janv.-10	<b>2.6</b>	13.1	40	85	0		40	4	
28-janv.-10	4.4	13.6	49	84	19.7		120	8	
29-janv.-10	6.7	15.3	70	<b>93</b>	5.8		340	8	
30-janv.-10	7.7	16.5	59	88	2.2		360	9	
31-janv.-10	11.7	20.3	62	92	4.5		220	8	
01-févr.-10	12.6	19.5	45	88	0	<b>14</b>	340	6	
02-févr.-10	9.6	18.6	58	89	1.0		280	4	
03-févr.-10	10.2	15.1	39	83	8.7		<b>340</b>	<b>16</b>	

04-févr.-10	7.0	11.6	35	82	0		280	9	
05-févr.-10	5.4	11.5	45	85	5.1		320	16	
06-févr.-10	4.1	13.7	25	80	0		340	4	
07-févr.-10	4.3	15.9	32	79	0		360	7	
08-févr.-10	7.4	15.8	49	85	4.3		20	7	
09-févr.-10	9.3	16.9	68	92	17.2		60	9	
10-févr.-10	10.8	17.8	62	93	0		40	5	
11-févr.-10	9.4	20.2	60	81	0		340	7	
12-févr.-10	9.9	21.1	56	90	0		80	4	
13-févr.-10	10.0	21.1	42	90	0		280	5	
14-févr.-10	10.3	22.3	57	82	0		60	5	
15-févr.-10	12.6	24.4	54	87	0		360	3	
16-févr.-10	14.0	22.7	47	86	0		300	6	
17-févr.-10	14.4	20.5	71	89	0		260	4	
18-févr.-10	12.3	23.1	55	88	0		300	10	
19-févr.-10	15.4	22.4	34	82	0.6		280	12	
20-févr.-10	11.2	20.0	61	91	0		300	4	
21-févr.-10	11.1	22.7	42	90	2.6		280	15	
22-févr.-10	13.7	19.5	35	83	1.1		300	13	
23-févr.-10	12.3	19.2	50	85	0.4		340	10	
24-févr.-10	10.8	18.0	63	81	0.2		260	6	
25-févr.-10	11.7	19.9	53	88	3.1		360	6	
26-févr.-10	12.3	14.6	81	92	29.1		120	5	
27-févr.-10	10.8	18.6	55	94	17.0		340	12	
28-févr.-10	11.5	15.7	44	89	16.0		200	10	
01-mars-10	10.0	18.9	56	89	0	5	320	5	
02-mars-10	11.5	19.7	56	89	0		260	11	
03-mars-10	11.1	19.8	43	89	4.4		300	17	
04-mars-10	12.0	19.6	40	82	0		200	6	
05-mars-10	10.5	24.4	17	85	0		320	15	
06-mars-10	15.0	21.2	47	82	0		260	12	
07-mars-10	14.4	20.2	54	90	0		320	11	
08-mars-10	11.6	24.6	55	90	0		80	4	
09-mars-10	15.2	25.1	39	87	0.5		300	11	
10-mars-10	14.5	21.6	74	93	0		260	5	
11-mars-10	12.2	28.1	44	93	0		100	4	
12-mars-10	16.6	22.7	74	92	0		260	4	

13-mars-10	15.4	21.7	74	93	0	6	20	3	
14-mars-10	12.8	23.3	50	90	0		80	3	
15-mars-10	16.2	27.3	40	87	0		360	4	
16-mars-10	16.2	19.0	45	69	0		20	8	
17-mars-10	12.1	19.6	51	68	0		20	5	
18-mars-10	10.6	18.8	42	87	3.8		80	8	
19-mars-10	8.5	19.2	24	80	0		80	8	
20-mars-10	6.8	19.7	31	80	0		340	4	
21-mars-10	8.4	19.8	33	76	0		60	6	
22-mars-10	7.8	21.7	32	80	0		340	3	
23-mars-10	9.1	23.7	38	87	0		320	4	
24-mars-10	10.5	23.2	49	82	0		260	5	
25-mars-10	13.1	20.6	64	89	7.5		340	7	
26-mars-10	14.3	15.6	88	93	4.2		140	3	
27-mars-10	12.8	19.7	63	93	0		340	7	
28-mars-10	11.6	21.4	58	90	0		240	7	
29-mars-10	10.8	20.8	48	79	0		340	12	
30-mars-10	12.4	20.9	32	70	0		240	13	
31-mars-10	12.7	20.1	48	83	0		320	7	
01-avr.-10	10.6	20.9	60	91	0		300	4	
02-avr.-10	11.4	22.0	53	92	0		360	4	
03-avr.-10	12.7	28.1	22	98	0		240	10	
04-avr.-10	12.7	22.1	63	91	0		40	4	
05-avr.-10	12.5	22.5	53	92	0		80	4	
06-avr.-10	13.1	24.1	42	86	0		320	6	
07-avr.-10	13.9	22.1	40	83	1.4		240	14	
08-avr.-10	13.2	21.5	52	84	1.6		340	13	
09-avr.-10	14.4	21.2	50	72	0		240	5	
10-avr.-10	13.3	21.3	56	79	0		320	5	
11-avr.-10	14.5	23.5	46	79	0		300	18	
12-avr.-10	16.3	21.2	39	72	0.2		300	17	
13-avr.-10	15.2	20.4	55	88	0		220	9	
14-avr.-10	10.2	22.2	43	84	0		360	4	
15-avr.-10	11.2	22.0	56	89	0		360	14	
16-avr.-10	13.8	24.4	45	87	0		320	7	
17-avr.-10	14.3	24.4	47	91	0		280	4	
18-avr.-10	14.1	23.5	66	92	0		320	6	



## Légende

<i>dd</i> : Direction du vent	<i>Ec</i> : Éclair
<i>ff</i> : Force du vent	<i>O</i> : Orage
<i>Di</i> : Durée d'insolation (en mn)	<i>V v</i> : Vent violent
<i>RG</i> : Rayonnement Global ( $\text{j/cm}^2$ )	<i>Gel</i> : Gelée
<i>C</i> : Ciel clair	<i>Gi</i> : Givrage
<i>N</i> : Nuageux	<i>Ev</i> : Evaporation( en mm )
<i>pN</i> : Partiellement Nuageux	
<i>Cc</i> : Ciel Couvert	
<i>RR</i> : Précipitation durant la période de 24 heures du 06:00 à 06:00 UTC	

## Données Climatologiques Normales & Moyennes de dix ans

**Contrôle** faite par Dr, Riad AssolhAI\_KHODARI.

**Notes** concernant les différents paramètres:

\* **Précipitations: RR jour**: représentent la hauteur des chutes de pluie durant une période de 24 heures, du 06:00 à 06:00 UTC. **RR mois**: représentent le total des hauteurs de pluie tombées durant un mois.

\* **Hauteur** au-dessus du sol du pluviomètre: 0.75 m

\* **Minima et Maxima** représentent les extrêmes absolus des Températures minimales et maximales atteints au cours du mois.

\* **Minimum et Maximum** de l'Humidité Relative représentent les extrêmes absolus (la plus haute et la plus basse) atteints au cours d'un mois.

\* **Vitesse maximale** du vent est la plus haute valeur enregistrée durant le mois signé.

\* **Un vent violent** est un vent ayant une vitesse égale ou supérieure à 16 mètres/seconde.

\* **dd** = Direction du vent, en degré.

\* **ff** = Vitesse du vent, en mètre / seconde.

1 kilomètre/heure = (1 mètre/seconde) × 3.6.

\* **Le Mat\_vent** a une hauteur de 10 m au-dessus du sol.

**Référence**: Archives du METEO-LIBAN, pour la période 1979 -2009.