



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## Etude D'un Système Hybride (Grid-Eolien-PV)



Zaynab Haydoura  
Riham Issa



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## Tableau Des Matières

<b>Partie 1: Etude D'un Système Hybride (Grid-Eolien-PV) .....</b>	<b>3</b>
Introduction .....	4
Simulation Et Résultats De HOMER.....	4
Système A Etudier .....	4
Données Des Cout.....	5
Résultats .....	5
Etude Economique .....	7
Premier Cas.....	8
Second Cas.....	10
Etude Environnementale .....	14
Bilan Carbone Sur Le Cycle De Vie.....	14
Bilan Emissions Toxiques.....	15
Impact Environnemental De L'éolienne .....	16
Impact Environnemental Des PV .....	19
Impact Social Et Ecologique Global .....	20
<b>Partie 2: Etude De Cas De L'éolienne Au Liban.....</b>	<b>23</b>
Avantages De L'énergie Eolienne.....	23
Inconvénients De L'énergie Eolienne.....	25
Rentabilité De L'éolienne .....	25
Cout Du KWh Produit.....	27
Potentiel De L'énergie Eolienne Au Liban.....	28
Mesure Des Données De Vent .....	29



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

Les Barrières De L'application Des Eoliennes .....	40
Solutions.....	41
Références .....	43



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## PLAN :

Evaluation d'un système hybride (Grid-PV-éolien) simulé sur HOMER en utilisant des indicateurs pertinents économiques, environnementaux et sociaux.

### Partie 1

Traitement du thème Eolien en faisant l'état des lieux, identifier les barrières et proposer les solutions pour dynamiser le marché au Liban.

### Partie 2



## *La LETTRE*

# Partie 1 : Etude D'un Système Hybride (Grid-Eolien-PV)





# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## II. INTRODUCTION :

Dans cette partie du projet, on a pris le cas d'une maison résidentielle, de charge de 3 kW au maximum, connectée au réseau. Le but est de remplacer le groupe électrogène par des sources renouvelables (PV-Eolienne) pour assurer une alimentation autonome. Ce projet a été simulé d'après HOMER qui nous a donné une solution optimale au niveau de puissance et prix. On va discuter dans ce rapport, l'étude financière, environnementale et sociale de ce projet.

## III. SIMULATIONS ET RESULTATS DE HOMER:

### 1. Systeme à étudier:

# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

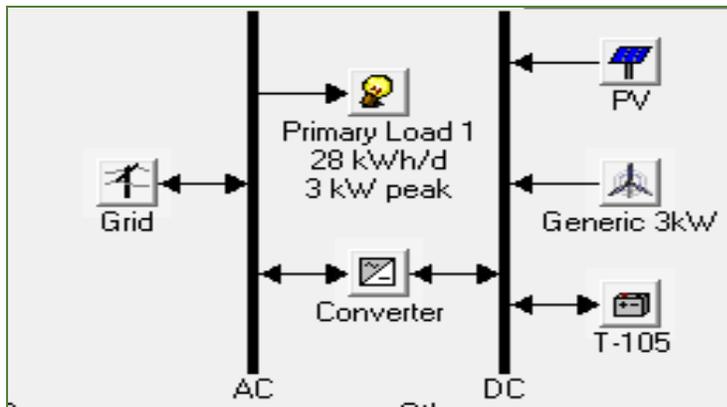


Fig.1: Système étudié dans notre projet

## 2. Données Des Coûts :

Composants	Size	Cout d'investis- sement	Cout de rem- placement	Cout d'ex- ploitation et d'entretien	Durée de vie
PV	1KW	2500\$	780\$	0\$/an	25 ans
EOLIENNE	3KW	3550\$	3550\$	10\$/an	25 ans
Convertisseur	1KW	450\$	450\$	0\$/an	15 ans
Batterie	225 Ah-6V	175\$	175\$	3\$/an	4 ans

Tableau 1: Données des coûts initial des composants

# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## 3. Résultats :

L'architecture du système optimale est donnée :

				G3	Label (kW)	T-105	Conv. (kW)	Efficiency Measures	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	----	------------	-------	------------	---------------------	-----------------	------------------------	-----------	--------------	------------	------------	-------------	----------------

COMPOSANTS	TAILLE
EOLIENNE	3 KW
PV	1 KW
BATTERIES	8 BATTERIES
CONVERTISSEUR	1 KW

				1	1	8	1	No	20	\$7,900	340	\$12,246	0.092	0.47	10.0
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---	---	---	---	----	----	---------	-----	----------	-------	------	------

Tableau 2: Résultat optimal de Homer



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

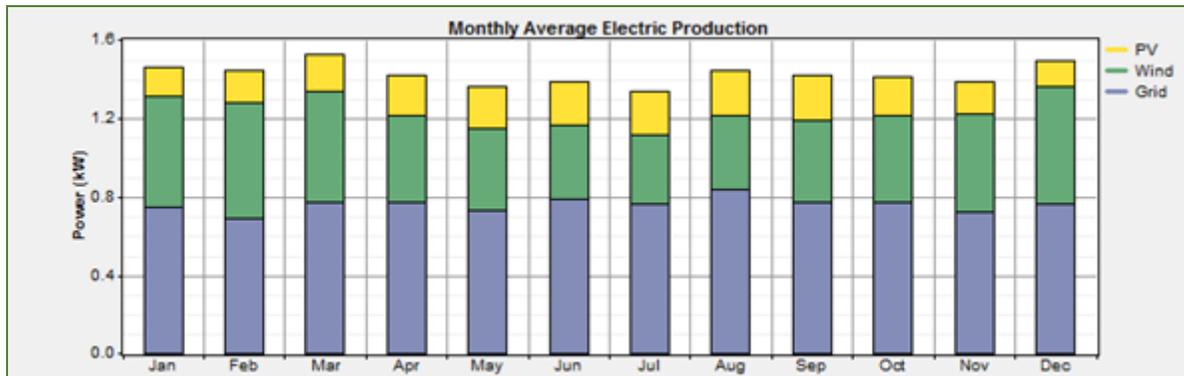


Fig.2: La production d'énergie mensuelle

Les systèmes de production participant suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montrent une participation importante de source renouvelable.

Production	kWh/yr	%
PV array	1,686	14
Wind turbine	4,121	33
Grid purchases	6,672	53
<b>Total</b>	<b>12,479</b>	<b>100</b>

Fig.3: Production d'électricité en kWh/yr

Composants	Size	Cout d'investissement	Cout de remplacement	Cout d'exploitation et d'entretien
<b>PV</b>	1KW	2500\$	780\$	0\$
<b>EOLIENNE</b>	3KW	3550\$	1481\$	128\$
<b>Convertisseur</b>	1KW	450\$	188\$	0\$

# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

<b>Batterie</b>	8 batteries	1400\$	1218\$	307\$
-----------------	-------------	--------	--------	-------

Tableau 3: Cout total des composants du système

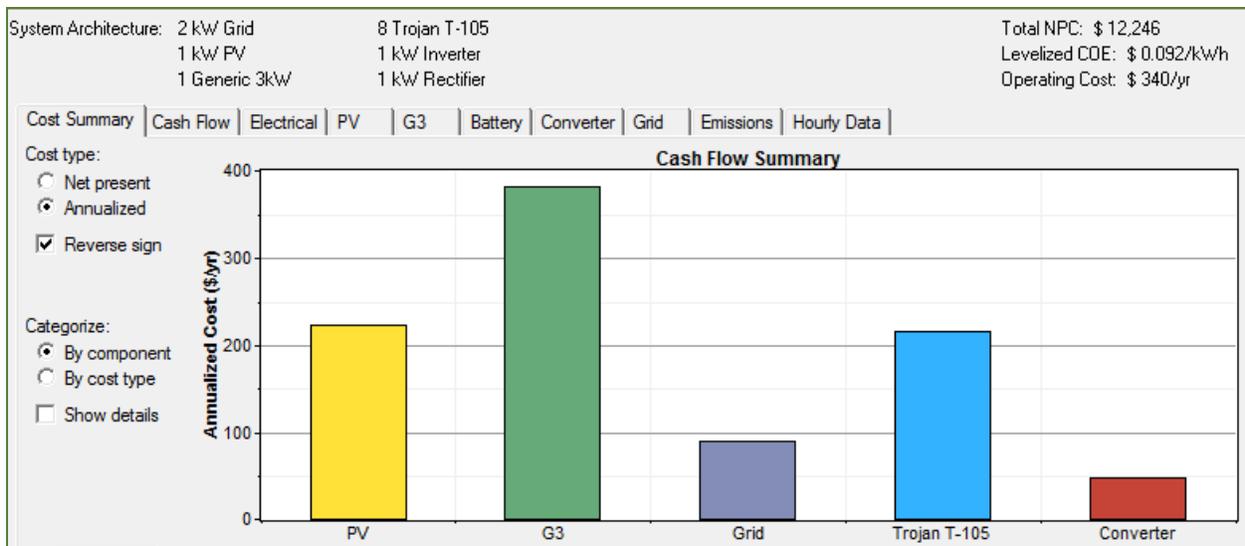


Fig.4: Cout annualise par composants

## IV. ETUDE ECONOMIQUE:

Dans notre étude, On a:

- Le prix du kWh du groupe électrogène = 0.28\$



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

- Le prix du KWh de l'EDL est en moyenne pour notre projet= 0.1\$
- Cout de maintenance = 340\$/an (D'après fig.4).

En installant le PV et l'éolienne, on pourrait économiser d'après HOMER:

1686+4121= 5807 kWh/an. (D'après fig.3)

G : gain annuel

Rt : les revenus actualisés,

Dt : les dépenses actualisées

n : le nombre d'année,

t : l'année

i : le taux d'actualisation

## 1. PREMIER CAS :

Dans le cas où ce système hybride remplacera le groupe électrogène, c'est-à-dire l'EDL est assurée 12/24 :

Le prix économisé sera = prix du KWh d'électrogène x énergie économisée=  
0.28 x 5807 = 1625 \$/an

Année	Invest	Gain Annuel	Cash Flow	Gain Annuel Actualisé	Cash Flow Actualisé
0	-7900				
1		1285	-6615	1168.182	-6731.818
2		1285	-5330	1061.983	-5669.835

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Énergie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

3	1285	-4045	965.440	-4704.395
4	1285	-2760	877.672	-3826.723
5	1285	-1475	797.884	-3028.839
6	1285	-190	725.349	-2303.490
7	1285	1095	659.408	-1644.082
8	1285	2380	599.462	-1044.620
9	1285	3665	544.965	-499.654
10	1285	4950	495.423	-4.231
11	1285	6235	450.385	446.153
12	1285	7520	409.441	855.594
13	1285	8805	372.219	1227.813
14	1285	10090	338.381	1566.193
15	1285	11375	307.619	1873.812
16	1285	12660	279.653	2153.466
17	1285	13945	254.230	2407.696
18	1285	15230	231.119	2638.815
19	1285	16515	210.108	2848.922
20	1285	17800	191.007	3039.929
21	1285	19085	173.643	3213.572
22	1285	20370	157.857	3371.429
23	1285	21655	143.506	3514.936
24	1285	22940	130.460	3645.396
25	1285	24225	118.600	3763.996

➤ Le gain annuel = prix économisé – cout de maintenance annuel

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Energie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

$$= 1625 - 340 = 1285 \text{ \$/an.}$$

- Temps de retour  $Tr = inv/G = 7900/1285 = 6 \text{ ans.}$
- Bénéfice cumulé  $= (G \times n) - inv = 1285 \times 25 - 7900 = 24225 \text{ \$}.$
- Taux de rentabilité (%) non actualisé =  
Somme des recettes annuelles / Somme des dépenses sur la Durée de Vie  
du Projet  $= 1625 \times 25 / (7900 + 340 \times 25) = 2.48$  soit 248%.
- Recette par Unité de Dépenses (R.U.D) :  
 $R.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / (\text{Capital investi}) = (1285 \times 25 - 7900) / 7900 = 3$
- Produit moyen par unité de dépenses (P.M.U.D)  
 $P.M.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / \{(\text{Nbénéfices}) \times (\text{Capital investi})\}$   
 $= (1285 \times 25 - 7900) / 19 \times 7900 = 0.16$   
Taux d'actualisation = 10%
- Bénéfice cumulé actualisé VAN  $= G \times \left( \frac{1 - 1/[(1+i)^n]}{i} \right) - Inv$   
 $= 1285 \times \left( \frac{1 - 1/[(1+0.1)^{25}]}{0.1} \right) - 7900 = 3764.$
- Gain en annuité constante (ANCO)  $= VAN \times i / (1 - 1/[(1+i)^n])$   
 $= 3764 \times 0.1 / (1 - 1/[(1+0.1)^{25}])$   
 $= 414.6$
- Ratio avantages-couts (A.C) :  
 $A.C = [\sum_{t=1}^{t=n} (Rt) / (1+i)^t] / [\sum_{t=1}^{t=n} (Dt) / (1+i)^t] = 11664/7900 = 1.47$



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

Puisque  $A.C > 1$  alors il est rentable.

- Taux de rentabilité interne (TRI) = ??? Pour VAN=0  

$$= 1285 \left( \frac{1-1/\left[ \frac{1}{(1+a)} \right]^{25}}{a} \right) - 7900 = 0$$

TRI=15.85% > i= 10% (taux d'actualisation) donc il est rentable.

- Temps de retour actualisé = 10 ans d'après le tableau.

Ces résultats montrent que ce système est rentable s'il va remplacer le groupe électrogène.

## 2. SECOND CAS :

Dans le cas où l'EDL est assurée 20/24 :

- Le prix du KWh moyen sera  $(0.1 \times 2 + 0.28)/3 = 0.16\$$
- Le prix économisé =  $0.16 \times 5807 = 930\$$
- Le gain annuel net sera =  $0.16 \times 5807 - 340 = 590 \$/an$

Année	Invest	Gain Annuel	Cash Flow	Gain Annuel Actualisé	Cash Flow Actualisé
0	-7900				
1		590	-7310	536	-7364
2		590	-6720	488	-6876
3		590	-6130	443	-6433
4		590	-5540	403	-6030
5		590	-4950	366	-5663
6		590	-4360	333	-5330
7		590	-3770	303	-5028
8		590	-3180	275	-4752
9		590	-2590	250	-4502



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

10		590	-2000	227	-4275
11		590	-1410	207	-4068
12		590	-820	188	-3880
13		590	-230	171	-3709
14		590	360	155	-3554
15		590	950	141	-3412
16		590	1540	128	-3284
17		590	2130	117	-3167
18		590	2720	106	-3061
19		590	3310	96	-2965
20		590	3900	88	-2877
21		590	4490	80	-2797
22		590	5080	72	-2725
23		590	5670	66	-2659
24		590	6260	60	-2599
25		590	6850	54	-2545

- Temps de retour  $Tr = inv/G = 7900/590 = 13.39$  ans.
- Bénéfice cumulé =  $(G \times n) - inv = 590 \times 25 - 7900 = 6850\$$ .
- Taux de rentabilité (%) non actualisé =  
Somme des recettes annuelles / Somme des dépenses sur la Durée de Vie  
du Projet =  $930 \times 25 / (7900 + 340 \times 25) = 1.42$  soit 142%.
- Recette par Unité de Dépenses (R.U.D) :  
 $R.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / (\text{Capital investi})$   
 $= (590 \times 25 - 7900) / 7900 = 0.87 < 1$  Donc n'est pas rentable.
- Produit moyen par unité de dépenses (P.M.U.D)  
 $P.M.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / \{(\text{Nbénéfices}) \times (\text{Capital investi})\}$



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

$$= (590 \times 25 - 7900) / 12 \times 7900 = 0.072$$

Taux d'actualisation = 10%

- Bénéfice cumulé actualisé VAN =  $G \times \left( \frac{1 - 1/[(1+i)^n]}{i} \right) - \text{Inv}$   
 $= 590 \left( \frac{1 - 1/[(1+0.1)^{25}]}{0.1} \right) - 7900$   
 $= -2545$  pas de bénéfices

- Ratio avantages-couts (A.C)

$$\text{A.C} = \left[ \sum_{t=1}^{t=n} (Rt) / (1+i)^t \right] / \left[ \sum_{t=1}^{t=n} (Dt) / (1+i)^t \right]$$

$$= 930 \left( \frac{1 - 1/[(1+0.1)^{25}]}{0.1} \right) / (7900+340)$$

$$\left( \frac{1 - 1/[(1+0.1)^{25}]}{0.1} \right) = 0.77 < 1 \text{ n'est pas rentable}$$

- Taux de rentabilité interne (TRI) = ??? Pour VAN=0  
 $= 590 \left( \frac{1 - 1/[(1+a)^{25}]}{a} \right) - 7900 = 0$

TRI=5.58% < i=10 % n'est pas rentable.

- Temps de retour actualisé est plus grand que la durée de vie de ce système d'après le tableau.

Toutes ces calculs ont montré que si L'EDL est assurée 20/24, ce projet n'est pas rentable. Mais c'est juste si les tarifs de l'EDL ne varient pas durant 25 ans et si le cout du KWh du groupe électrogène restera 0.28\$ /KWh. Cependant ce dernier doit augmenter avec l'augmentation du prix du pétrole, pour cela on va refaire le calcul en supposant que le prix du KWh en général va augmenter 4% chaque année.

**ADEME**Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

Année	Invest	Cout D'énergie Economisé	Maintenance	Gain Net Annuel	Cash- Flow	Cout Economisé Actualisé	Gain An- nuel Ac- tualisé	Cash- Flow Ac- tualisé
0	-7900							
1		930	340	590	-7310	845	536	-7364
2		967	340	627	-6683	799	518	-6845
3		1006	340	666	-6017	756	500	-6345
4		1046	340	706	-5311	715	482	-5863
5		1088	340	748	-4563	676	464	-5398
6		1131	340	791	-3771	639	447	-4952
7		1177	340	837	-2935	604	429	-4522
8		1224	340	884	-2051	571	412	-4110
9		1273	340	933	-1118	540	396	-3714
10		1324	340	984	-134	510	379	-3335
11		1377	340	1037	902	482	363	-2972
12		1432	340	1092	1994	456	348	-2624
13		1489	340	1149	3143	431	333	-2291
14		1549	340	1209	4351	408	318	-1973
15		1610	340	1270	5622	386	304	-1669
16		1675	340	1335	6957	365	291	-1378
17		1742	340	1402	8359	345	277	-1101
18		1812	340	1472	9830	326	265	-836
19		1884	340	1544	11374	308	252	-584
20		1959	340	1619	12994	291	241	-343
21		2038	340	1698	14691	275	229	-113
22		2119	340	1779	16471	260	219	105
23		2204	340	1864	18335	246	208	313
24		2292	340	1952	20287	233	198	511
25		2384	340	2044	22331	220	189	700
Somme		38731	8500	30231		11686	8600	

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Énergie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

- Temps de retour  $Tr = inv/G = 10$  ans et quelques mois d'après le tableau
- Bénéfice cumulé = 22331 \$.
- Taux de rentabilité (%) non actualisé =  
Somme des recettes annuelles / Somme des dépenses sur la Durée de Vie  
du Projet =  $30231 / (7900 + 340 \times 25) = 1.84$  soit 184%.
- Recette par Unité de Dépenses (R.U.D)  
 $R.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / (\text{Capital investi}) = 22331 / 7900 = 2.82 > 1$  rentable

- Produit moyen par unité de dépenses (P.M.U.D) :  
 $P.M.U.D = (\text{Bénéfices nets}) / \{(\text{Nbénéfices}) \times (\text{Capital investi})\}$   
 $= 22331 / (15 \times 7900) = 0.188$

Taux d'actualisation = 10%

- Bénéfice cumulé actualisé VAN =  $\sum_{t=1}^{t=n} [(Rt - Dt) / (1 + i)^t]$   
 $= \sum_{t=1}^{t=n} G / (1 + i)^t - inv$   
 $= 8600 - 7900 = 700\$$

- Taux de rentabilité interne (TRI) = ??? Pour VAN=0  
 $\sum_{t=1}^{t=n} [(Rt - Dt) / (1 + i)^t] = 0$   
TRI = 10.88% > i = 10%

- Ratio avantages-couts (A.C)  
 $A.C = [\sum_{t=1}^{t=n} (Rt) / (1 + i)^t] / [\sum_{t=1}^{t=n} (Dt) / (1 + i)^t] =$   
 $= 11686 / (7900 + 340 \times ((1 - 1 / [(1 + 0.1)]^{25}) / 0.1))$

# La LETTRE

*Numéro 29*  
= 1.06 > 1 rentable

*Juillet 2015*

➤ Temps de retour actualisé = 21.5 ans

Ces résultats montrent que si le cout d'électricité augmentera 4% par an, le projet devient un peu rentable, mais n'apporte pas de bénéfices considérables.

## V. ETUDE ENVIRONNEMENTALE :

### 1. Bilan carbone sur le cycle de vie :

Les éoliennes et les PV fournissent une électricité propre, ne produisant ni polluant ni gaz à effet de serre. Cependant, il faut prendre en considération l'intégralité du cycle de vie pour avoir une idée de son impact environnemental.

Comme nous avons déjà mentionné, l'éolienne va produire 4121 KWh/an et les panneaux solaires vont produire 1686 KWh/an. En se basant sur le tableau suivant, on a considéré que 1KWh d'énergie primaire (gazole/FOD) produit 271g CO2.

	kgCO <sub>2</sub> /GJ	PCI (GJ/tonne)	kgCO <sub>2</sub> /tep (PCI)	gCO <sub>2</sub> /kWh
Essence	73	44	3 066	264
Gazole/FOD	75	42	3 150	271
Fuel lourd	78	40	3 276	282
Gaz naturel	57	49,6	2 394	206
Kérosène	74	44	3 108	267
Charbon	95	26	3 990	343



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

GPL	64	46	2 688	231
Déchets ménagers	41,3	8,8	1734,6	149

Source : MEDD, questionnaire de déclaration annuelle des émissions polluantes 2005 des installations classées soumises à autorisation

Le tableau suivant résume le bilan de dioxyde de carbone. L'énergie primaire est calculée en considérant que le rendement de production électrique = 0.33

	Eolienne	PV
Production (Kwh/An)	4121	1686
Economie En Energie Primaire (Kwh/An)	12488	5109

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Energie et de l'Environnement  
Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr))  
Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar  
Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb) web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

*Numéro 29**Juillet 2015*

Economie En CO2 (Kgco2)	3384	1384.5
Emission En CO2 (Kg/Kwh)	0.012	0.06
Emissions Totales (Kgco2/An)	150	306
Reduction Totale (Kg CO2/An)	3234	1078.5

Par conséquent, ce projet peut réduire l'émission en CO2 de :

$3234 + 1078.5 = 4312.5$  KgCO<sub>2</sub>/an durant 25 ans de la durée de vie de cette installation.

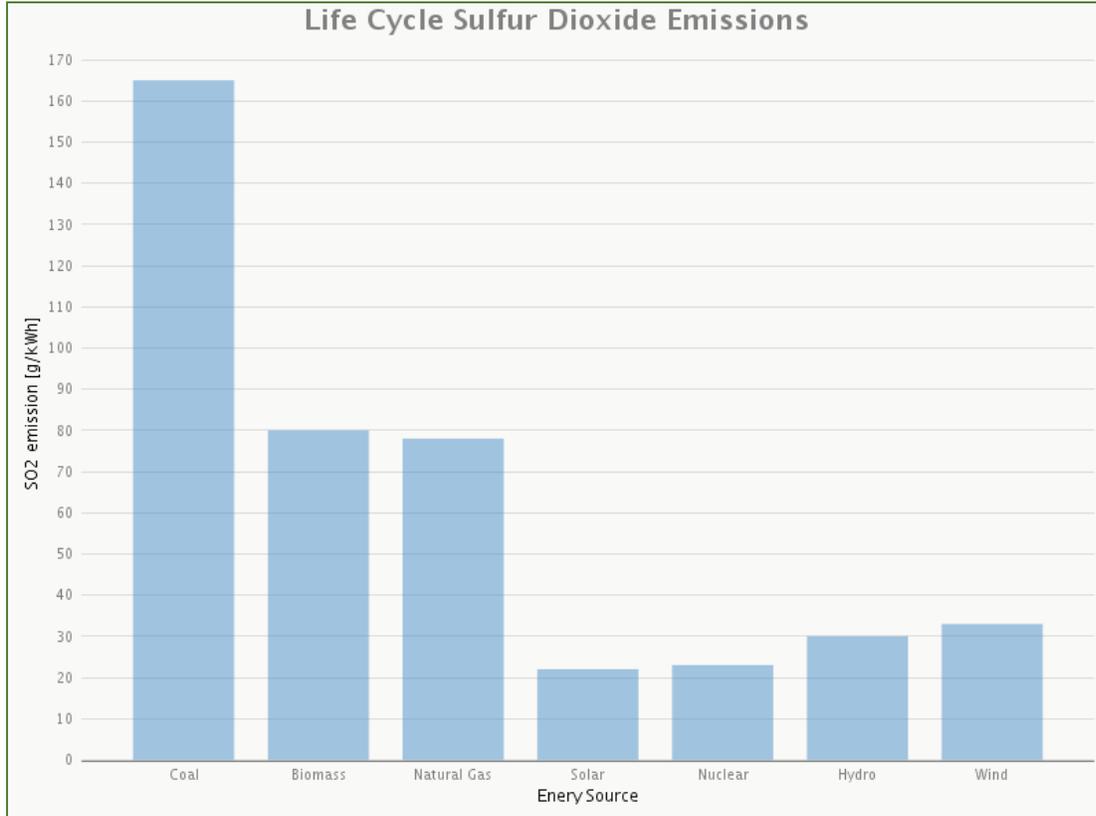
## 2. Bilan des émissions toxiques :



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015



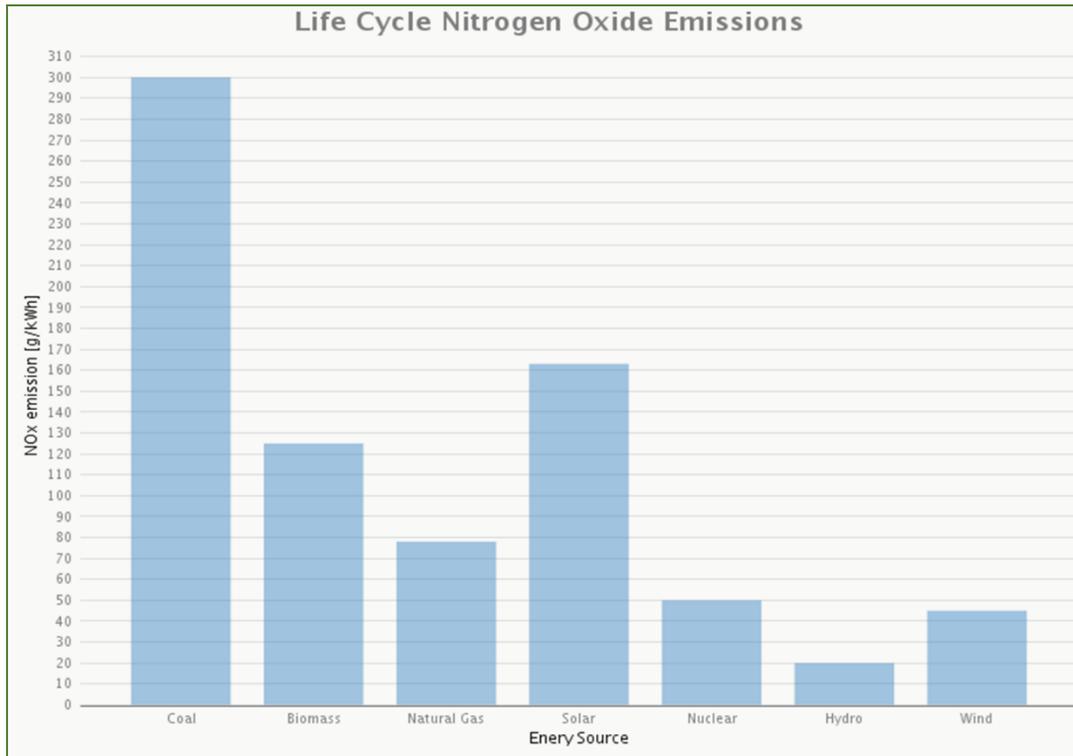
Le diagramme suivant :



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015



### 3. Impact environnemental de l'éolienne :

#### ➤ Nuisances pour les oiseaux :

Les éoliennes menacent directement deux grandes populations animales : les oiseaux et les chauves-souris. Pour éviter tout impact important sur ces populations, des études préliminaires à l'implantation des éoliennes sont menées et les sites sensibles sont écartés. Quelques règles simples sont respectées : l'implantation se fait hors des couloirs migratoires et des zones de nidification d'oiseaux menacés. La couleur du mat (couleur blanche ou grise) attire des insectes tels que les mouches, pucerons, mites, papillons ou coléoptères. Les oiseaux ou chauves-souris, attirés par ces insectes, ris-



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

quent alors de heurter les pales ou le mât, et d'être tués dans certains cas, en particulier la nuit et en été lorsque les insectes sont plus abondants. Au contraire, la couleur violette les attire moins, suivie par le bleu.

Puisque dans notre projet c'est une petite éolienne l'impact sur les oiseaux est négligeable.

➤ Bruit sonore :

Une éolienne moderne et bien installée ne rajoute quasiment aucun bruit à celui du vent dans les arbres, poteaux ou antennes environnants. Au contraire des vieilles éoliennes de première génération, les éolienne les plus modernes ont une la vitesse de rotation à l'extrémité des pales (la première source de bruit) qui est réduite, ce qui est. De plus l'installation au bout d'un mât de 12 m ou sur un toit, les isole du fait des espaces habités.

➤ Matières de fabrication :

Constituée d'acier et de matières plastiques, une éolienne est démontable en fin de vie et presque totalement recyclable. Une fois démontée, elle ne laisse pas de polluants sur le site.

➤ Energie grise :

Le point négatif est l'énergie grise nécessaire à la fabrication des pales et du mât. Cependant, les progrès technologiques des dernières années nous permettent de voir l'avenir sereinement. N'oublions pas que l'énergie grise, nécessaire à la construction des diverses éléments lors de la fabrication de l'éolienne, est "remboursée" en quelques années grâce à sa production énergétique.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

➤ Impact visuel :

Quoique que l'esthétique d'une éolienne soit une affaire de goût qu'on ne peut objectivement trancher, les riverains craignent généralement une dégradation visuelle des sites concernés.

La présence d'une éolienne ou d'un parc d'éoliennes dans le paysage ne laisse jamais indifférent. C'est souvent l'argument premier des mouvements anti-éoliens qui se forment et qui déclenchent des débats animés lors de l'annonce de l'implantation d'un parc éolien.

Pour s'affranchir de toute subjectivité, il faut considérer l'éolienne comme une nouvelle déclinaison du motif bâti, de très grande taille donc visible de loin. Cette échelle monumentale contraste avec l'échelle humaine des éléments courants du paysage.

L'impact visuel d'un parc éolien sur le paysage est lié à :

- la taille des éoliennes
- leur nombre
- les conditions météorologiques
- la distance entre l'observateur et les éoliennes
- les obstacles visuels

Un projet éolien doit définir le meilleur parti d'aménagement en fonction des caractéristiques du lieu étudié pour contribuer à son acceptation.

Comparaison de l'impact sur le paysage d'une centrale nucléaire et d'un Parc éolien



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015



➤ Interférences électromagnétiques :

Toute structure importante, particulièrement si elle contient une quantité substantielle de métal, est une cause potentielle d'interférences pour les signaux électromagnétiques tels que ceux des émissions radio et TV et des communications hertziennes.

La rotation de l'hélice de l'éolienne peut aussi causer des problèmes particuliers, parce qu'elle crée des signaux parasites intermittents qui interfèrent avec les trajectoires originales de transmission.

Cependant, dans la plupart des cas, si des interférences électromagnétiques apparaissent, il existe des solutions bon marché et efficaces comme par exemple l'installation d'un récepteur ou transmetteur pour renforcer le signal original.

➤ Sécurité :

Les pales d'une hélice tournant entre 35 et 45 tours/minute, peuvent facilement être perçues comme une structure dangereuse. En fait, il y a peu de chance d'avoir des dégâts ou des morts suite à une cassure ou une fragmentation de l'hélice. Les dangers peuvent aussi être minimisés en éloignant les turbines des zones résidentielles, mais surtout en effectuant des



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

contrôles sérieux lors de la construction des turbines. Jusqu'à présent, ils ont prouvé leur efficacité dans la prévention des accidents.

## 4. Impact environnemental des panneaux solaires :

Les effets de l'énergie solaire photovoltaïque sur les principaux facteurs environnementaux sont les suivants :

### ➤ Climat :

La génération d'énergie solaire électrique directement à partir de la lumière solaire ne requiert aucun type de combustion, et donc aucunes émissions de gaz à effet de serre.

### ➤ Géologie :

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec du silicium, élément obtenu du sable, très abondant dans la nature et dont on ne requiert pas de quantités significatives. Par conséquent, les modifications topographiques ou structurelles de terrain et les impacts sur l'environnement engendrés par la fabrication de panneaux solaires photovoltaïques sont nuls.

### ➤ Sol :

Ne produisant ni polluants, ni déchets, ni mouvements de terre, l'incidence sur les caractéristiques physico-chimiques du sol ou son facteur d'érosion est nulle.

Eaux superficielles et souterraines : Aucune modification des nappes phréatiques ou des eaux superficielles. Pas de consommation, ni de pollution par des résidus ou des déchets.

### ➤ Flore et faune :



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

La répercussion sur la végétation est nulle, et, en éliminant la pose de poteaux électriques, on évite les possibles effets nuisibles pour les oiseaux.

➤ Paysage :

Les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'intégrer de différentes façons dans le 'paysage' destiné à les recevoir. Il est possible d'harmoniser leur intégration dans différents types de structures afin de diminuer l'impact visuel de leur présence. De plus, s'agissant de systèmes solaires autonomes, le paysage n'est pas altéré par l'installation de postes et de lignes électriques.

➤ Bruits :

Le système de panneaux solaires photovoltaïque est absolument silencieux, ce qui représente un avantage clair face aux groupes électrogènes classiques dans les logements isolés.

➤ Produits toxiques :

Lorsque de l'on fabrique des panneaux solaires photovoltaïques, il y a des produits toxiques qui interviennent, et qui restent dans les panneaux. Cependant, aujourd'hui, nous n'avons pas de filière de recyclage pour ces matériaux.

Enfin, l'énergie solaire photovoltaïque représente aujourd'hui la meilleure solution pour les lieux que l'on souhaite approvisionner en énergie solaire électrique tout en préservant les conditions environnementales ; c'est le cas par exemple des espaces naturels protégés.

## **5. Impact sociologique et économique global :**



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

- Produire grâce à des ressources locales apporte plus de sécurité et moins de gaspillage, l'énergie éolienne et solaire est disponible localement. Son utilisation diminue notre dépendance énergétique.  
De plus, elle a l'avantage d'assurer la sécurité des approvisionnements en énergie et la stabilité des prix.
- La production éolienne et solaire d'électricité au plus près des lieux de consommation, par des unités de production d'une taille adaptée à des consommations locales, pourrait contribuer aussi à limiter les pertes d'énergie lors du transport dans les lignes électriques.
- Chaque 1 000 MW d'énergie éolienne génère 2,5 milliards de dollars en investissements, crée 10 500 emplois personnes-années et fournit de l'électricité propre à plus de 300 000 foyers québécois et canadiens!
- L'énergie éolienne et solaire crée de nouveaux emplois de grande qualité, tant contractuels durant la construction que permanents.
- Les projets éoliens et photovoltaïques stimulent l'économie locale par l'achat de matières premières et l'injection de fonds dans les entreprises de services et les commerces de détail.
- Les promoteurs mettent en place de nouvelles façons novatrices d'offrir d'autres avantages économiques et de soutenir les partenariats auprès des collectivités (ex. : programme volontaire d'avantages communautaires; fonds communautaires, contributions garanties, mise sur pied de partenariats).
- Des comités de liaison avec les collectivités sont mis en place pour jeter les bases d'un dialogue constructif, tout en faisant la promotion d'un climat de confiance entre les promoteurs et les collectivités.



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

- Un projet éolien entraîne parfois des conflits au sein d'une communauté. Des relations sociales, y compris des liens familiaux, d'amitié ou de voisinage, peuvent être affectées négativement par le conflit.



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maitrise de l'Energie

## *La LETTRE*

# Partie 2 : Etude De Cas De L'éolien Au Liban



Association Libanaise pour la Maitrise de l'Energie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr))

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# *La LETTRE*

*Numéro 29*

*Juillet 2015*



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## I. INTRODUCTION :

L'énergie éolienne est au cœur de l'actualité. Elle est de nos jours la source d'énergie qui se développe le plus rapidement à l'échelle mondiale. Grâce à l'amélioration décisive des technologies au cours de ces 30 dernières années, la production d'électricité par énergie éolienne a atteint un haut niveau de maturité technologique et de fiabilité industrielle.

Au Liban, l'énergie électrique est assurée par la production des centrales thermiques et hydrauliques et par l'importation venant d'Égypte et de Syrie. La production se fait principalement en utilisant des combustibles fossiles. La demande dépasse toujours l'offre et les pannes sont fréquentes dans les périodes de pointe. On remarque que les éoliennes ne se trouvent réellement que depuis peu de temps. Leur application est encore très limitée de façon qu'on puisse facilement les énumérer. De plus, quelques-unes ne sont pas bien exploitées et par conséquent, se présentent non rentables.

Avant de traiter le thème de l'éolienne au Liban, on a considéré que c'est intéressant d'énoncer les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne et étudier la rentabilité de cette énergie en général, et par conséquent, il serait facile d'identifier les barrières de son application dans le marché libanais et proposer des solutions.

## II. Avantages de l'énergie éolienne :

L'éolienne présente de nombreux avantages :

- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable qui ne nécessite aucun carburant, ne crée pas de gaz à effet de serre, ne produit pas de déchets



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

toxiques ou radioactifs. En luttant contre le changement climatique, l'énergie éolienne participe à long terme au maintien de la biodiversité des milieux naturels.

- L'énergie éolienne produit de l'électricité éolienne : sans dégrader la qualité de l'air, sans polluer les eaux (pas de rejet dans le milieu aquatique, pas de pollution thermique), sans polluer les sols (ni suies, ni cendres).
- Lorsque de grands parcs d'éoliennes sont installés sur des terres agricoles, seulement 2 % du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations.
- Les propriétaires fonciers qui accueillent des éoliennes reçoivent souvent un paiement pour l'utilisation de leur terrain, ce qui augmente leur revenu ainsi que la valeur du terrain.
- La production éolienne d'électricité suit notre consommation d'énergie: le vent souffle plus souvent en hiver, cette saison étant celle où la demande d'électricité est la plus forte.
- L'énergie éolienne est l'une des sources de production d'électricité permettant de parvenir à moindre coût à la réalisation des objectifs que s'est fixée l'Union Européenne pour 2020 : 20% d'énergies renouvelables (*éolienne et autres*) dans la consommation globale d'énergie.
- L'électricité éolienne garantit une sécurité d'approvisionnement face à la variabilité des prix du baril de pétrole.
- L'énergie éolienne offre la possibilité de réduire les factures d'électricité et peut vous permettre de vous mettre à l'abri des ruptures de courant.
- Les éoliennes permettent grâce à la taxe professionnelle de participer au développement local des communes - avec une contribution annuelle de l'ordre de 10 000 € par MW d'énergie éolienne produite en France (ce



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

chiffre peut varier en fonction des communautés de communes concernées par les installations d'éoliennes).

- Les autres activités agricoles et industrielles peuvent continuer autour d'un parc éolien.
- Le prix de revient d'une éolienne a fortement diminué depuis 2011 suite aux économies d'échelle qui ont été réalisées sur leur fabrication.
- Un parc éolien prend peu de temps à construire, et son démantèlement garantit la remise en état du site original.
- En comparaison avec des panneaux solaires, une éolienne à puissance égale produit quatre fois plus. Elle est aussi capable de produire 24/24h. La durée de vie d'une éolienne peut dépasser les 20 ou 30 ans (pour le haut de gamme) et sa production ne décroît pas avec le temps contrairement à celle des panneaux solaires.
- Les éoliennes peuvent alimenter directement le réseau électrique de votre maison sans passer par des batteries. Il est aussi possible de stocker l'énergie éolienne produite dans des batteries et de la consommer durant les périodes sans vent, de coupure du réseau ou de forte tarification de la part de votre fournisseur d'énergie non éolienne.

## III. Inconvénients de l'énergie éolienne :

Cependant, l'éolienne présente aussi quelques inconvénients qui entravent la propagation importante de son usage :

- L'électricité éolienne est une énergie intermittente, ne peut être que complémentaire, l'énergie éolienne ne suffit pas en elle-même à définir une politique énergétique et environnementale, la solution serait de coupler



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

l'électricité éolienne à des panneaux solaires photovoltaïques, ou bien elle vient plutôt alléger la charge d'un réseau électrique, notamment au moment de grands besoins en énergie (hiver).

- Des effets sur le paysage (esthétique), problème de bruit (que l'on remarque essentiellement avec des éoliennes importées d'Asie, problème d'interférences électromagnétiques pour des éoliennes bas de gamme.
- L'énergie éolienne est dépendante de la topographie, de la météo et de l'environnement.
- Malgré la simplicité apparente d'une éolienne, les mécanismes de fonctionnement de ce type de machine sont complexes. La grande variation dans la vitesse des vents exige une résistance exceptionnelle des composants. Bref, une éolienne coûte cher !
- Dans la plupart des pays développés, où le réseau électrique est bien implanté, la production par une petite éolienne n'est pas rentable.

## IV. Rentabilité d'une éolienne :

La rentabilité d'une éolienne dépend essentiellement de quatre facteurs :

- Le prix des études avant-projet et des consultances.
- Les caractéristiques du site :

L'élément le plus important est la vitesse du vent. Ainsi sur un site qui est balayé par des vents dont la vitesse moyenne est de 8 mètres par seconde, l'énergie captée par l'éolienne sera 2,4 fois plus importante que pour des vents moyens de 6 m/s.



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

De plus le prix du terrain, la difficulté ou la facilité d'accès à ce terrain, et le prix de raccordement jouent un rôle important dans la détermination du cout d'investissement (14 à 18%)

- Les caractéristiques de l'éolienne :  
Ces caractéristiques sont diverses. On cite son rendement, sa dimension, sa résistance, sa durée de vie, son exposition au vent, son prix d'achat, son mode de financement. On note que l'énergie qu'une éolienne capte dans le vent est proportionnelle à la surface balayée par les pales. Plus la puissance d'une éolienne est importante, plus son prix au MW est faible. Plus le mat d'une éolienne est haut, plus important est l'énergie captée dans le vent. Ainsi l'éolien industriel, qui utilise des machines dont la puissance peut atteindre 6 MW, produit de l'électricité à un prix beaucoup plus avantageux que les petites éoliennes utilisées par les particuliers. L'éolien industriel est plus rentable que le petit éolien domestique, les grosses éoliennes affichent généralement un retour sur investissement au bout d'une dizaine d'année.
  
- Le cout de fonctionnement :  
Il comprend les couts d'exploitation, d'entretien, de remplacement, de pannes...

Une fois l'investissement connu ainsi que la production électrique annuelle escomptée, on peut déduire le temps de retour sur investissement.

Il y a deux grands cas de figure :



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

- Soit, toute l'énergie électrique est injectée sur le réseau, auquel il faudra regarder le prix auquel un fournisseur voudra acheter cette énergie,
- Soit on consomme entièrement ou partiellement l'énergie que l'on a produite, il faudra alors intégrer le prix auquel on vend et on achète l'énergie à un fournisseur. En effet, l'énergie que l'on produit soi-même et qu'on consomme correspond à une quantité d'énergie non consommée sur le réseau et donc à une économie.

## V. Coût du kWh produit

On peut réaliser une analyse simple de l'efficacité économique de la production d'électricité avec une éolienne. La dimension uniquement analysée ici est la dimension économique vue par l'investisseur. La réalité est plus complexe que cela ... fort heureusement d'ailleurs ... L'intérêt d'investir dans l'éolien ne se limite pas à une dimension purement économique. Par exemple, les avantages de l'éolien comparés aux centrales classiques à combustibles fossiles n'est plus à démontrer, que ce soit en termes de rejet de gaz à effet de serre (SER) ou d'autonomie en approvisionnement énergétique.

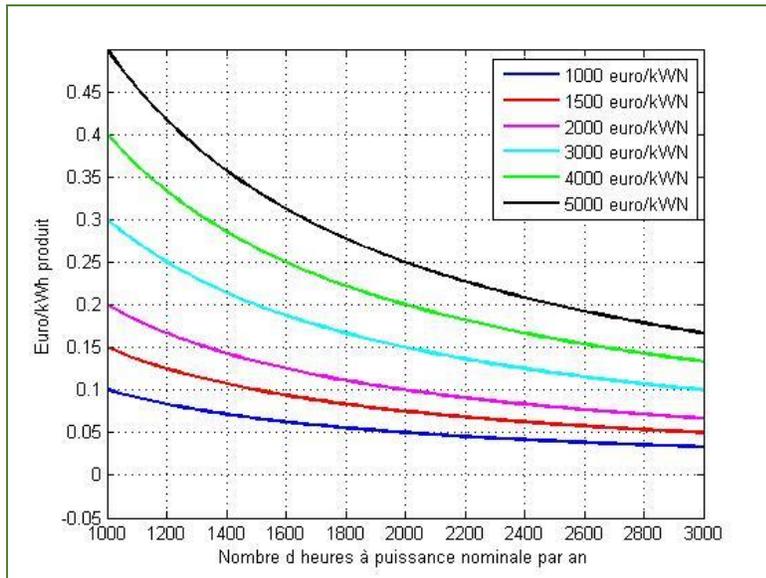
On considère ici une durée d'utilisation de 20 ans avec des frais d'entretien annuels de 5 % de l'investissement initial. L'investissement est prise à différentes valeurs : 1 000 €/kW et 1 500 €/kW qui sont représentatifs des grandes éoliennes ainsi que 2 000, 3 000, 4 000 et 5 000 €/kW pour de plus petites éoliennes. Il est alors possible d'évaluer le coût du kWh produit si on connaît la production annuelle d'électricité rapportée en nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015



Si on reprend 25 % de fonctionnement équivalent à puissance nominale (une valeur typique du grand éolien pour nos contrées), pour une année de 8 760 heures, cela donne approximativement 2 200 heures. Sur base du graphe ci-dessus, on voit que le prix du kWh produit s'échelonne de 5 c€/kWh pour des investissements proches de 1 000 €/kWh à 22.5 c€/kWh pour des investissements de 5 000 €/kWN représentatifs de petites éoliennes.

Pour les mini- et micro-éoliennes, le constat fréquent en Wallonie est que le nombre d'heures efficaces dépasse rarement les 1 000 h/an. En outre, l'investissement par kW nominal pour de telles éoliennes est relativement élevé. Prenons à titre d'exemple 5 000 €/kWN, tout en sachant que les prix varient fortement d'un constructeur à l'autre (en fait, la qualité varie aussi fortement selon les fabricants). Le coût du kWh produit est approximativement de 50 c€/kWh, ce qui est nettement supérieur à prix actuel de l'électricité du réseau. Cela explique pourquoi ces éoliennes sont surtout utilisées pour l'alimentation d'appareils dans des



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

lieux éloignés du réseau électrique. On peut citer des applications de recharge de batterie pour des bateaux ou l'alimentation de clôtures électriques dans des exploitations agricoles.

## **VI. Potentiel de l'énergie éolienne au Liban : bilan annuel**

L'atlas national des vents du Liban identifie les sites les plus venteux du pays et permet d'estimer la capacité de production d'énergie éolienne à 1500 mégawatts, soit environ 90% de la capacité de production électrique actuelle.

C'est bien davantage que les 110 mégawatts alloués aux énergies renouvelables dans le plan pour le secteur de l'électricité adopté en Conseil des ministres en 2010, a souligné le ministre sortant Gebran Bassil, lors de la publication de ce travail scientifique.

Plusieurs régions ont été repérées comme prometteuses, notamment dans le Akkar et Jabal el-Cheikh. La carte des vents s'étend aussi sur un espace maritime allant jusqu'à 20 Km des lignes de base côtières.

### **1. MESURE DES DONNEES DU VENT**

#### **1.1- Description Des Données De Mesure Appliquées**

Dans la dérivation d'une carte de la vitesse du vent nationale, il est désirable de calibrer les sorties des modèles du flux du vent contre les mesures actuelles basées sur terre qui sont enregistrées à des endroits dans les limites du modèle. Les



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

mesures du vent recueillies dans les stations météorologiques qui sont opérées par le service météorologique local national peuvent souvent être convenables à ce but.

Le Liban possède un réseau national de stations météorologiques exploité par Météo Liban (ML).

ML a fourni GH avec des informations de base et des données mensuelles du vent de 17 stations météorologiques situées dans tous les pays qui sont disponibles pour l'analyse de la carte du vent.

En plus, les données horaires du vent à partir d'un sous-ensemble de cinq stations météorologiques ont été appliquées.

Un résumé des stations météorologiques, qui y comprennent une indication sur les stations, où les données horaire sont disponibles, et présenté ci-dessous:

Station	EST[m]1	NORD[m]1	Altitude[m]	Données Appliqués
Beirut International	729850	3744602	12	Jan 1999 – Dec 2007
Airport	730546	3748546	27	
Beirut Gulf	768760	3747699	Not supplied	Feb 1999 – Feb
Tripoli	756216	3744470	5	Jan 1999 – Feb 2010
Sour2	780976	3793722	5	Nov 1999 – Jan
El Koulaiaat / Akkar	776448	3750672	40	Jan 2008 – Jan 2010
Al Abdeh2	774278	3823977	1916	Jan 1999 – Dec 2009
Al Arz Les Cèdres2	706366	3682611	1524	Jan 1999 – Jul 2008
Daher el Baidar	717436	3709937	978	Nov 1999 – Jan
Baysour2	775180	3830929	920	Jan 2002 – Jan 2010
ZahlehHouch el	736790	3738849	905	Jan 1999 – Mar
Oumara	738724	3714557	855	Jan 1999 – Apr 2008
Rayak Amara2	759727	3764325	1710	Sept2007–Jan2010
El Quaraoun	813182	3811943	700	Jan 2009 – Jan 2010



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

Faqra	749026	3715206	760	Apr 2008 – Feb
Hermel	740292	3693657	10	Mar2009–Feb2010
Marjayoun	764898	3815825	955	Sept 2000 – Dec
Zahrani				2004
Jezzin				Non appliqué

En plus des données fournies par les stations météorologiques ML, le client a fourni des données du vent mesurées par 5 stations météorologiques situées dans Syrie près de la frontière libanaise. Ces données sont résumées dans le tableau ci-dessous:

Station	EST [m]1	NORD[m]1	Altitude[m]	Données Appliqués
Sindiana1	846431	3821094	515	Avrill2004–Janvier 2010
Sindiana2	815168	3846851	545	Avril2004–Mars 2010
Qatina	814744	3845406	505	Juillet2005– Decembre 2007
Jandar	831205	3842425	750	Juin2005– Decembre2009
Hasia	849564	3805855	960	Non appliqué

## 1.2. Considération de l'incertitude:

Il existe une incertitude considérable dans les cartes du vent qui existe ici. Bien que la vaste expérience de GH, les compétences et les soins qui ont été appli-



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

quées tout au long du travail présenté ici, les résultats du vent de la cartographie présentées ici sont soumis à une forte incertitude due à:

- Faible résolution des données du vent mensuelles fournies;
- une mauvaise concordance entre les données horaires et mensuelles prévus pour des mâts spécifiques;
- absence d'informations de couverture de données pour chaque mois;
- manque d'informations détaillées pour chaque station;
- faible hauteur des mesures;
- il y a une seule hauteur de mesure pour les stations météorologiques ml, qui a prévenu toute estimation mesurée de cisaillement du vent au Liban;
- grande distance d'extrapolation de 10 m à des hauteurs de 50 et 80 m, et l'incertitude correspondante dans les modèles du cisaillement assumés;
- résolution de la grille (5 km et 100 m);
- les incertitudes inhérentes à la modélisation du vent sur de grandes distances.

La modélisation micro-échelle utilise une résolution croissante de la grille de 100 m. Cela permet à le terrain donc la modélisation du flux du vent à une résolution plus élevée. Dans l'ordre d'interpréter les résultats de la modélisation micro-échelle, les points suivants doivent être notés:

- la sortie de la modélisation méso-échelle est utilisé comme donnée d'entrée et par conséquent l'incertitude dans la modélisation méso-échelle est inhérent à la vitesse du vent à micro-prédictions;
- comme aucune alternative préférable n'est disponible, la base de données gengeo est utilisée pour la définition de la rugosité de



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

surface. Il s'agit d'une résolution inférieure à celle de la micro-grille;

- la vitesse du vent sera prédite auprès des sommets de collines avec des pentes de plus de 17 degrés. Cela peut être vu dans les prévisions de la vitesse du vent autour des sommets de montagnes mais il est à noter que ces domaines en particulier sont peu susceptibles d'être adaptés au développement des puissances du vent développement en raison de leur inaccessibilité.

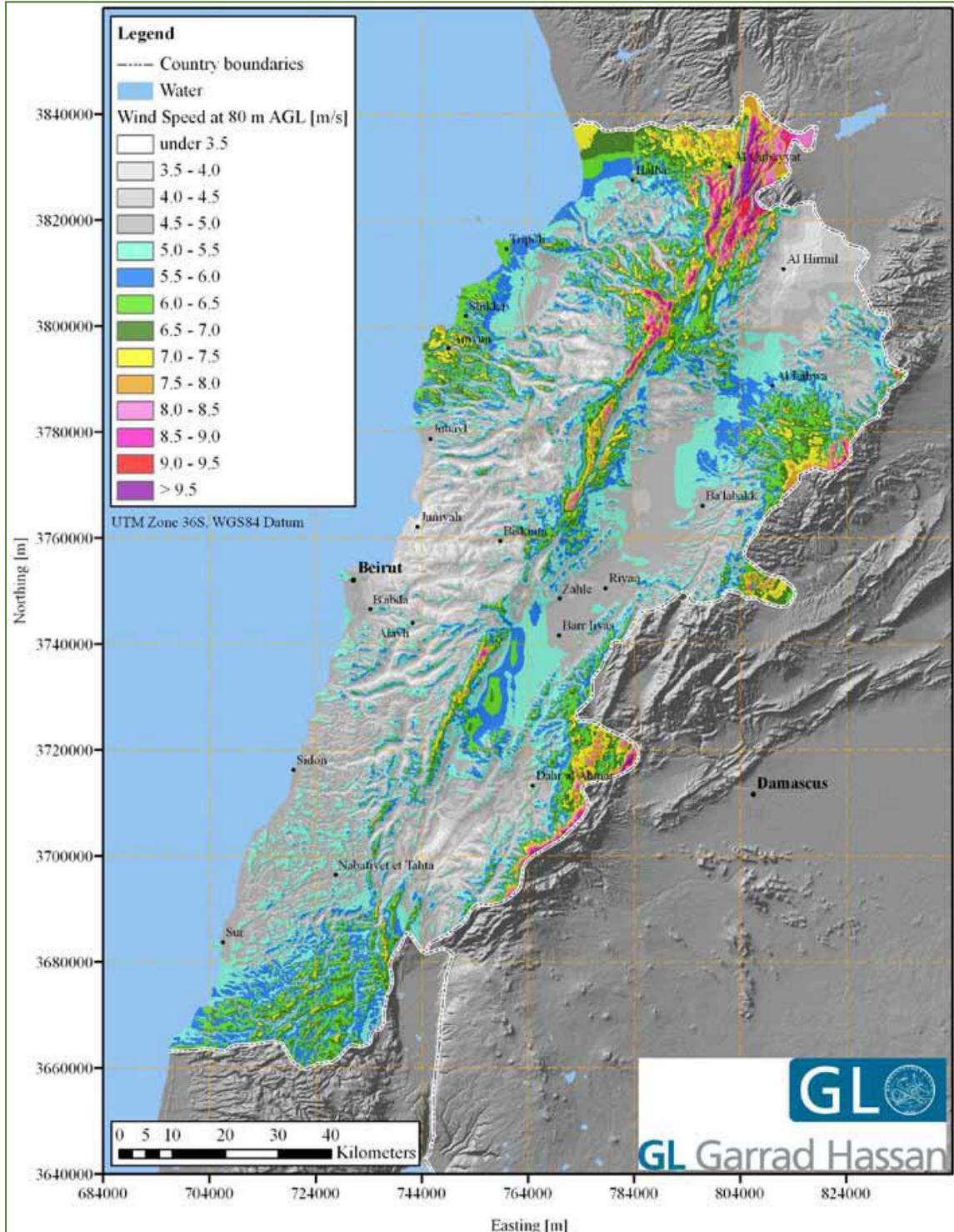
En raison de la grande incertitude dans le processus de modélisation, ce n'est pas approprié formellement et rigoureusement quantifier l'incertitude dans les prédictions de la vitesse du vent. Gh recommande que les résultats présentés sont utilisés au début de la faisabilité et à aider dans la conception des mesures du vent des campagnes à des sites de prospection seulement.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015





ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# *La LETTRE*

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

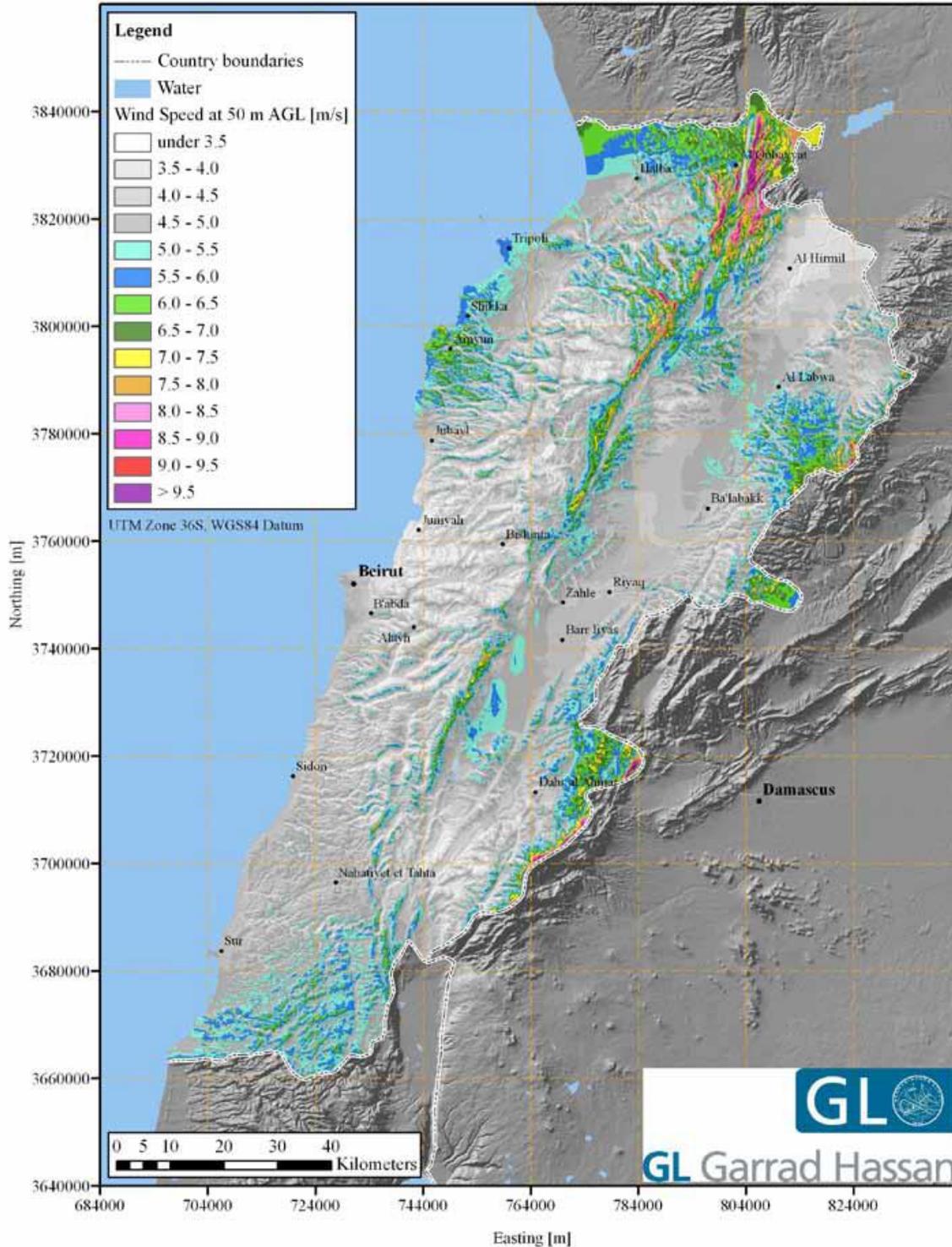
Fig.1 : Estimation centrale de la carte du vent de la République du Liban à 80 m au-dessus du niveau du sol.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015





ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# *La LETTRE*

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

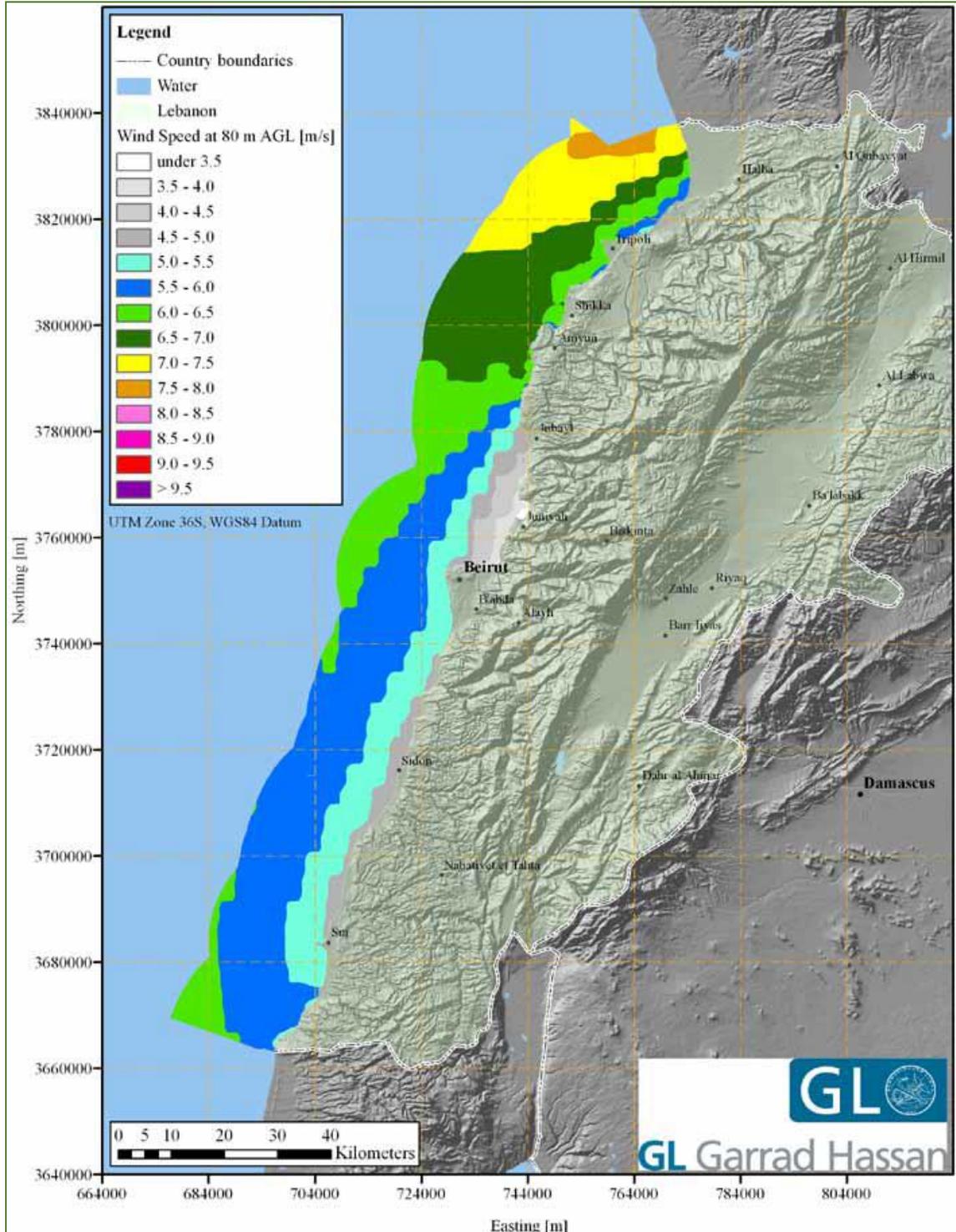
Fig.2: Estimation centrale de la carte du vent de la République du Liban à 50 m au-dessus du niveau du sol.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015





ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# *La LETTRE*

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

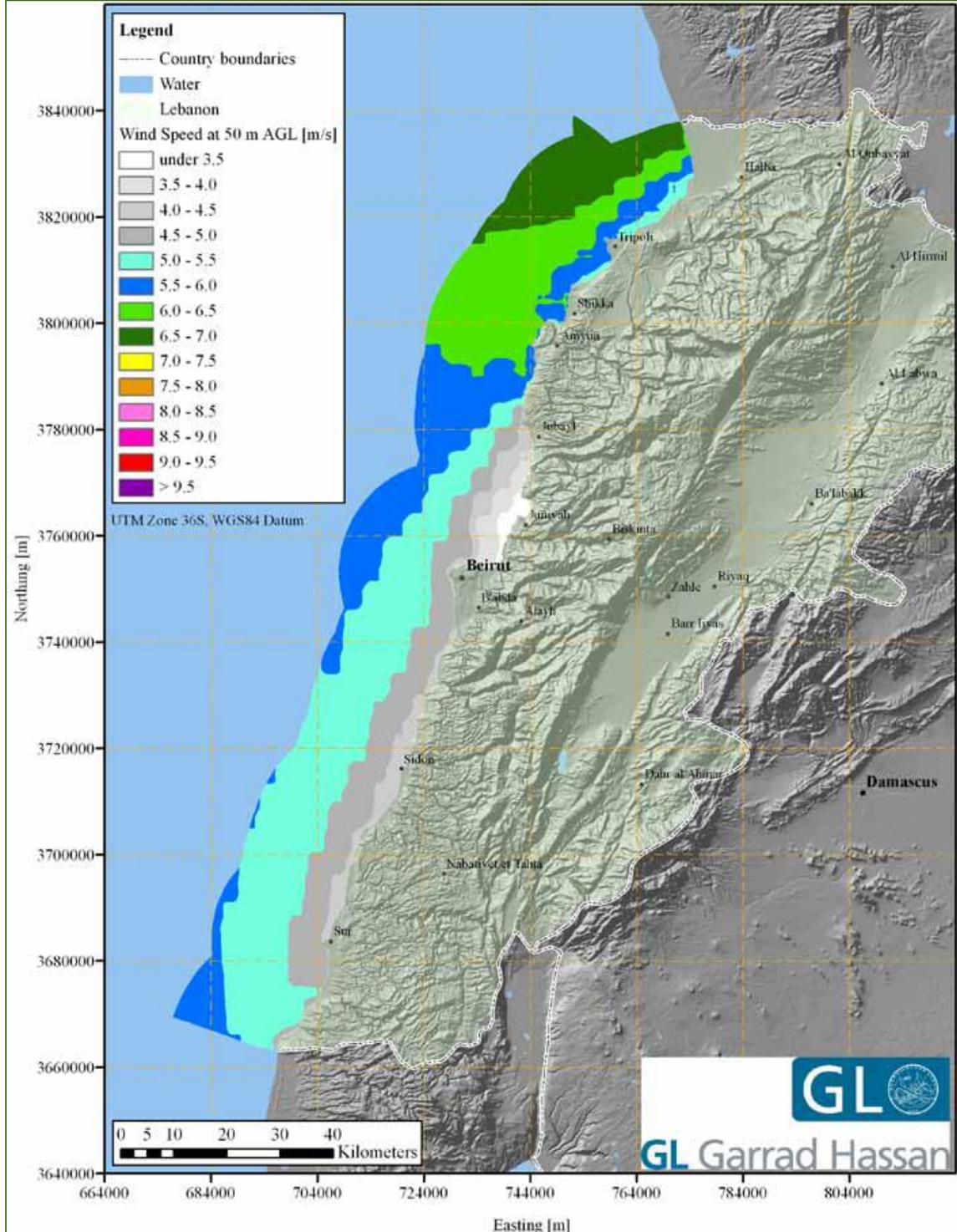
Fig.3: Estimation centrale Offshore de la carte du vent de la région située à 20 km de la côte  
De la République du Liban à 80 m au-dessus du niveau du sol.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

Fig.4: Estimation centrale Offshore de la carte du vent de la région située à 20 km de la côte de la République du Liban à 50 m au-dessus du niveau du sol .

Dans une autre étude, les caractéristiques du vent sont analysées en utilisant les données de la vitesse du vent recueillies pour cinq stations météorologiques au Liban et disponibles pour au moins une année (2 ans pour Klaiaat, 10 ans pour les Cèdres, 7 ans pour Daher El Baydar, 2 ans pour Quaraoun et 1 an pour Marjoun). La distribution de Weibull est utilisée pour modéliser la vitesse du vent à ces 5 endroits du Liban. Les paramètres de forme et d'échelle ont été estimés en utilisant quatre méthodes, la méthode de variabilité, la méthode d'écart-type, la méthode de densité de puissance et la méthode marocaine.

### **1.3. Donnée du vent :**

Les données de cette étude viennent du service météorologique au Liban. Les mesures de la vitesse du vent sont faites à 10 m de hauteur. Le système utilisé pour la mesure de la vitesse du vent est 'Auria E' qui est un système d'acquisition de données, couramment utilisé par Météo France (Hassan, 2011). Cet enregistreur est généralement utilisé en combinaison avec un anémomètre et une girouette.

Les coordonnées géographiques des sites sont données au Tableau 1.

Le Tableau 2 donne la distribution mesurée à long terme de la vitesse du vent pour ces cinq stations.

La vitesse du vent moyenne mensuelle pour chaque site est représentée à la figure 2. *Evaluation du potentiel d'énergie éolienne au Liban*

Station	Abscisse	Ordonnée	Altitude	Données fournies
Daher el Baydar	706366 m	3682611 m	1524 m	Nov.1999- Jan.2010
KlaiaatAkkar	78097 m	3793722 m	5 m	Jan.2008-



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

				Jan.2010
Les Cèdres	774278 m	3823977 m	1916 m	Jan.1999-Jui.2008
Marjyoun	749026 m	3715206 m	760 m	Mar.2009- Feb.2010
Quaraoun	738724 m	3714557 m	855 m	Sept.2007- Jan.2010

**Tableau 1:** Coordonnées géographiques des sites sélectionnés (Hassan, 2011)

Vitesse	Klaiaat	Marjyoun	Lescèdres	Quaraoun	D.ElBaydar
0(m/s)	0.0134	0.000	0.002	0.003	0.000
1	0.109	0.033	0.035	0.062	0.021
2	0.344	0.155	0.212	0.228	0.089
3	0.492	0.324	0.527	0.422	0.191
4	0.614	0.485	0.766	0.624	0.325
5	0.719	0.623	0.866	0.791	0.484
6	0.794	0.749	0.918	0.906	0.639
7	0.853	0.842	0.953	0.967	0.767
8	0.894	0.919	0.971	0.987	0.855
9	0.922	0.967	0.984	0.995	0.908
10	0.943	0.988	0.991	0.998	0.940
11	0.962	0.997	0.995	0.999	0.962
12	0.980	0.999	0.997	1.000	0.976
13	0.992	1.000	0.999		0.983
14	0.996		1.000		1.000
15	0.998				
16	0.999				
17	0.999				

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Energie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

18	1.000			
----	-------	--	--	--

Tableau2: Distribution mesurée de la vitesse du vent

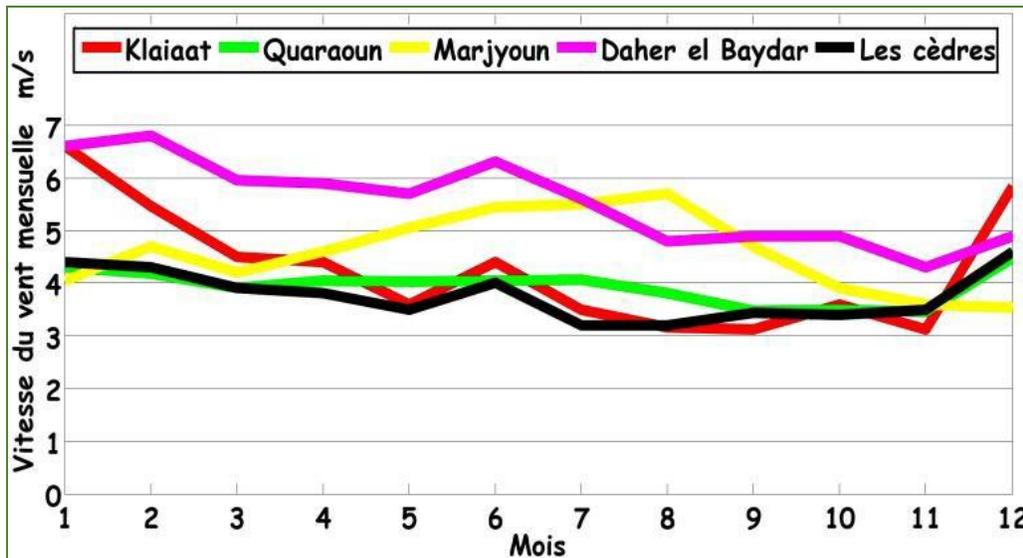


Fig.5: Vitesse de vent mensuelle pour les cinq sites(Hassan,2011)



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

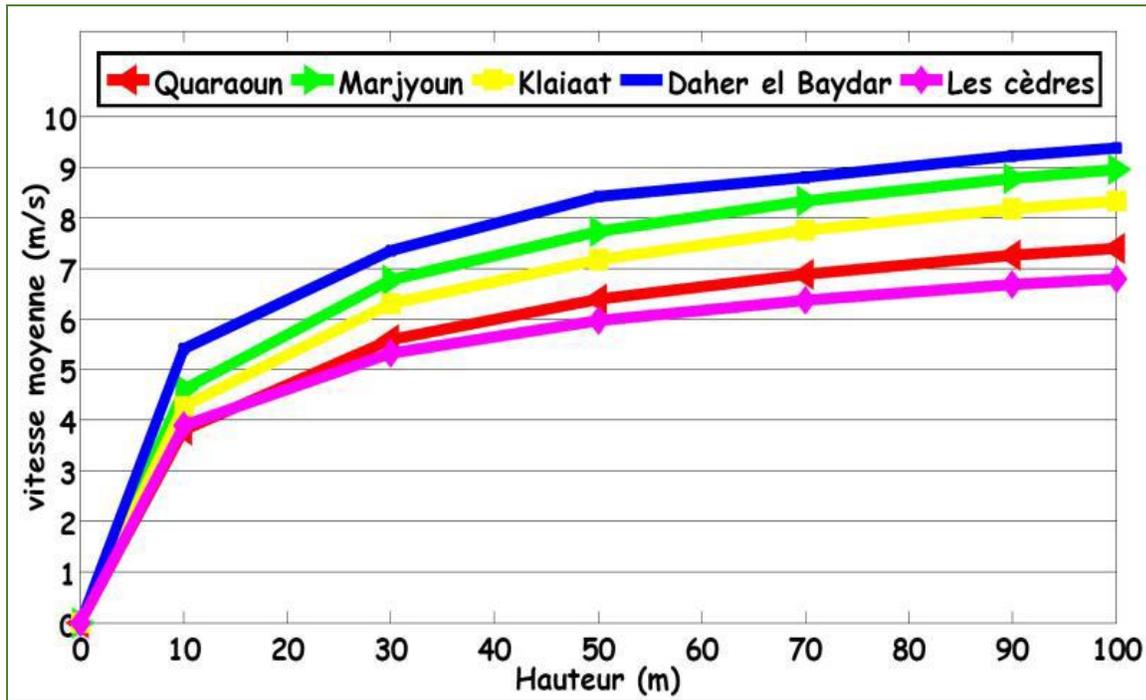


Fig. 3: Vitesse moyenne du vent pour différentes altitudes



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

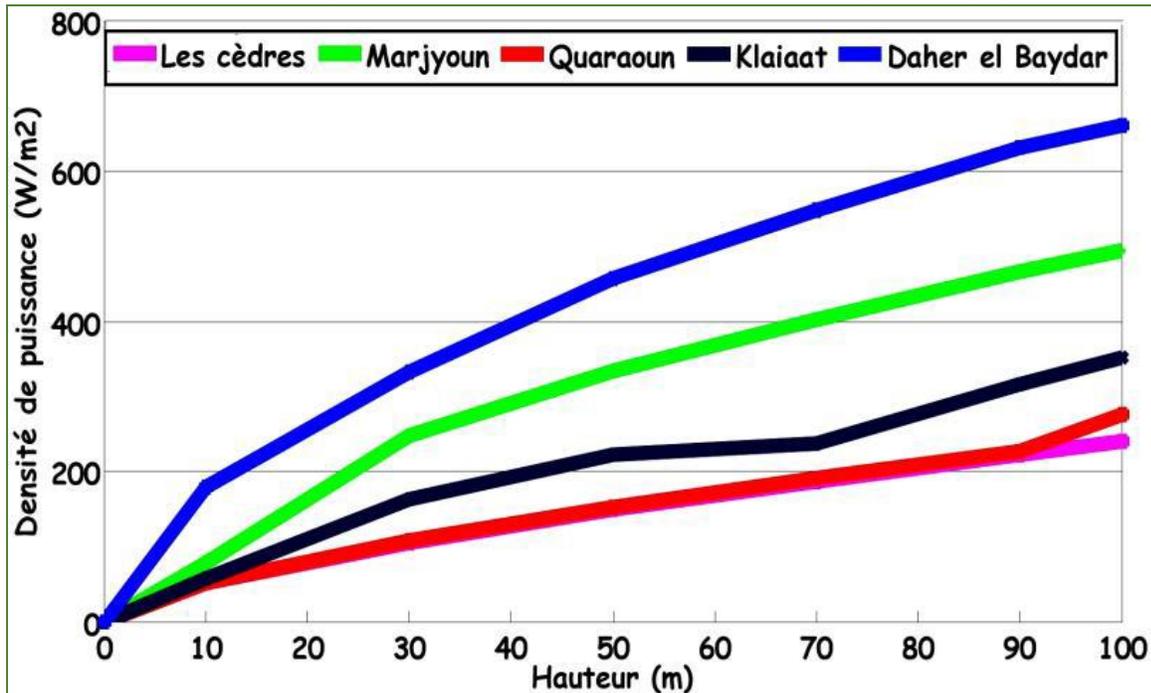


Fig. 4: Evaluation de la densité de puissance pour différentes altitudes

Mois	Les cèdres $\rho=1.25\text{kg}/\text{m}^3$	Marjoun $\rho=1.22\text{kg}/\text{m}^3$	Quaraoun $\rho=1.23\text{kg}/\text{m}^3$	Klaiaat $\rho=1.21\text{kg}/\text{m}^3$	D. elbaydar $\rho=1.25\text{kg}/\text{m}^3$	Total (W/m <sup>2</sup> )
Jan.	101,3790	72,1007	105,1542	357,3419	405,3525	1041,3283
Fev.	99,1319	124,2847	101,9656	230,6532	378,0243	934,0596
Mars	76,3206	77,9308	87,6011	163,0609	244,6113	649,5247
Avr.	68,9343	94,4613	95,5543	152,8625	218,6513	630,4637
Mai	46,0240	132,6015	94,5258	68,1959	175,3911	519,7383
Juin	66,8408	162,9873	95,5543	118,5913	238,0103	681,9839
Juil.	32,8380	161,5761	96,8255	51,2862	154,7957	497,3215

Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Énergie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)



# La LETTRE

	<i>Numéro 29</i>				<i>Juillet 2015</i>	
Août	37,3485	169,7514	80,6348	38,0914	105,4932	431,3194
Sept.	38,1924	109,6441	66,7081	38,8066	114,8563	368,2075
Oct.	36,1214	67,9337	68,8035	73,8545	123,6029	370,3161
Nov.	37,9471	47,4013	40,7362	41,8713	123,6029	291,5606
Déc.	143,1552	62,2786	122,2845	308,2157	114,8563	750,7903
<b>Annuel</b>	<b>784,2332</b>	<b>1282,9534</b>	<b>1056,3479</b>	<b>1642,8313</b>	<b>2397,2482</b>	-

**Tableau3:** Densité de puissance ( $W/m^2$ ) estimée pour les cinq sites libanais retenus

La valeur de vitesse du vent moyenne mensuelle maximale de 6.8 m/s est enregistrée à Daher El Baydar (en Février) et la valeur minimale de 3.1 m/s est enregistrée à Klaiaat (en Septembre), tandis que la vitesse du vent moyenne annuelle minimale de 3.9 m/s est obtenue aux Cèdres, et la valeur maximale de 5.4 m/s est obtenue à Daher El Baydar.

## **Résultats :**

L'estimation des paramètres de Weibull pour tous les sites, montre que le vent est suffisant durant les premiers mois de l'année pour une importante production d'énergie. K c

L'estimation de la densité de puissance pour tous les sites, montre que les valeurs de densité de puissance les plus importantes sont enregistrées durant les premiers mois de l'année. Ceci est en accord avec les résultats obtenus à partir de l'estimation des paramètres de Weibull.

Daher El Baydar et Klaiaat sont les meilleurs sites pour exploiter la puissance du vent au Liban et produire une énergie électrique significative.

Les résultats obtenus permettent de dégager d'excellentes recommandations pour des projets d'implantation d'éoliennes au Liban.



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

## **VII. Les barrières de l'application des éoliennes :**

Après avoir présenté le potentiel de l'énergie éolienne au Liban, et malgré les résultats optimistes qui encouragent son application, le recours à cet énergie est jusqu'à maintenant limité, pour cela, nous allons disposer les barrières de son application :

- 1- Le cout élevé de l'éolienne : L'application de l'éolienne domestique ou individuelle se montre non rentable en le comparant au cout de l'EDL très bas, le cout du KWh est 24 fois plus grandes selon quelques études !!
- 2- Disponibilité du réseau électrique presque partout : comme nous avons déjà dit, dans les régions isolées, lorsqu'on se refuse à installer un groupe électrogène et que le site est bien exposé aux vents (moyenne annuelle de plus de 5 m/s), l'énergie éolienne devient alors plus intéressante. Or, au Liban, le réseau électrique est implanté tout au long du pays qui ne présente pas des régions isolées, pour cela la production par une petite éolienne n'est pas rentable.
- 3- Insuffisance des études effectuées pour évaluer le potentiel éolien : L'atlas du vent déjà présenté ne nous apporte que des estimations qui ne sont pas très précise. Avant d'effectuer n'importe quel projet de parc éolien, il faut faire des mesures des vitesses du vent a la même hauteur du mat, et durant au moins deux ans. Or, ces études coutent chers et prennent beaucoup de temps.
- 4- Manque de surfaces disponibles : les parcs éoliens doivent être construits loin des habitations alors que Liban est un pays de petite dimension et dont les agglomérations sont toujours en train de s'étendre. Les terrains loin sont rares et s'ils se trouvent, ils présentent des reliefs difficiles et peuvent



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

ne pas être bien exposés au vent, ou bien ils coutent chers ce qui augmente de plus le cout d'investissement.

- 5- L'incapacité de l'état : Il est important de souligner que la capacité de production de l'Électricité du Liban (EDL) oscille entre 1 500 et 1 800 mégawatts alors que les besoins locaux seraient de minimum 2 200 à 2 400 mégawatts. Si le gouvernement ne parvient pas à construire des centrales traditionnelles, il ne parviendra pas à exploiter les énergies renouvelables qui nécessitent des investissements beaucoup trop importants, selon Pierre Khoury, directeur du LCEC (le Centre libanais pour la conservation de l'énergie).
- 6- Le retard des lois qui autorisent la production privée d'électricité : Une compagnie privée de production d'énergie éolienne « HawaAkkar » a élaboré un projet de production d'énergie éolienne d'une capacité de 60 mégawatts dès 2008, explique l'entrepreneur, mais il s'est heurté à la contradiction de la loi 462 qui n'a pas permis pas de construire des centrales d'énergies renouvelables. Le monopole de la production d'électricité appartenait à l'EDL. La loi n'est modifiée que récemment !!
- 7- Absence des subventions et des allègements fiscaux pour encourager l'installation des éoliens.

## VIII. Solutions :

- 1- Augmentation des tarifs de l'EDL :

L'état soutient le secteur d'électricité qui représente un déficit chaque année. En effet, une reformulation des tarifs peut limiter le déficit et motiver l'exploitation des énergies renouvelables.



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

- 2- Formuler des lois et des législations qui incitent les investisseurs à l'exploitation de cette énergie pour avoir des productions privées d'électricité. on cite par exemple accélérer le développement de la filière éolienne en imposant un prix de rachat stable pour l'électricité issue des énergies renouvelables.
- 3- Effectuer des subventions et des facilités financières : aide à l'investissement pour les entreprises, déduction fiscale d'une partie des bénéfices, subsides pour les études du potentiel de vent, exonération du précompte immobilier sur le nouveau matériel...
- 4- Installation des éoliennes sur des terres agricoles : les propriétaires des terres agricoles peuvent être convaincus de consacrer presque 2% de la surface totale pour installer des éoliennes sur leur terrain, en recevant un paiement pour l'utilisation de ce terrain. Ou bien le même investisseur qui effectue le projet de parc éolien peut bénéficier de la surface restante disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations. En effet, joindre entre ces deux investissements serait efficace pour augmenter le revenu.
- 5- Application du principe de l'éolien participatif (autrement appelé l'éolien citoyen) : un promoteur élabore un projet de construction d'un parc éolien dont le capital est ouvert. Les collectivités locales et les habitants peuvent participer au financement de ce projet et en deviennent associés. Tous les acteurs bénéficient des avantages économiques apportés par le projet. Le promoteur peut être également une association créée pour ces projets.

Ce principe présente plusieurs avantages : c'est une excellente façon de faire accepter le projet à la population locale, ce qui permet également de



# La LETTRE

*Numéro 29*

*Juillet 2015*

responsabilisé les habitants sur les questions énergétiques et sur la maîtrise de l'énergie.

- 6- Sensibilisation de l'opinion publique à travers des campagnes d'information pour l'introduction des énergies renouvelables et promouvoir en medias les facilités disponibles.

En effet, les facteurs combinés de pression à la hausse sur les prix des énergies actuelles installées, et de baisse inévitable des prix du grand éolien, conduisent les plus optimistes à annoncer que l'énergie éolienne va poursuivre sa croissance exceptionnelle.

## Référence :



# La LETTRE

Numéro 29

Juillet 2015

<http://www.lecommercedulevant.com/node/17962>  
[http://www.undp.org.lb/communication/publications/downloads/National\\_Wind\\_Atlas\\_report.pdf](http://www.undp.org.lb/communication/publications/downloads/National_Wind_Atlas_report.pdf)  
<https://mplbelgique.wordpress.com/tag/energies-renouvelables/>  
<http://energie-verte.blogspot.com>  
<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16665#c20365>  
[http://eolienne.f4jr.org/financement#le financement et economie de l electricite eolienne](http://eolienne.f4jr.org/financement#le_financement_et_economie_de_l_electricite_eolienne)  
<http://www.les-energies-renouvelables.eu/energies-renouvelables/avantages-et-inconvenients-de-lenergie-eolienne.html>  
<http://ressources2.techno.free.fr/mecanique/eole/CouRenF.htm#Quelques%20chiffres>  
<http://www.natura-sciences.com/energie/impacts-environnementaux-eoliennes.html>  
<http://www.les-energies-renouvelables.eu/quel-est-limpact-environnemental-de-lenergie-solaire-photovoltaique-.html>  
<http://www.encyclo-ecolo.com/Eolienne>  
[http://eolienne.f4jr.org/eolienne\\_impact](http://eolienne.f4jr.org/eolienne_impact)  
<http://tpe-de-eolienne.e-monsite.com/pages/iii-avantages-et-inconvenients/iii-inconvenients-de-l-eolienne.html>  
<http://leolien-lesfaits.ca/impacts-economiques>

Association Libanaise pour la Maitrise de l'Energie et de l'Environnement

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb)

web: [www.almeelebanon.com](http://www.almeelebanon.com)