

# Installation de deux éoliennes à axe horizontal sur le toit d'un immeuble (UDES, Bou Ismail, Algerie)

M. F. Almi<sup>#1,2</sup>, H. Belmili<sup>#1</sup>, M. Arrouf<sup>\*2</sup>, S. Boulouma<sup>#1</sup>, B. Bendib<sup>#1</sup>

<sup>#1</sup>Unité de Développement des Équipements Solaires, UDES / Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Bou Ismail, 42415, W. Tipaza, Algérie

<sup>\*2</sup>Department of Electrical Engineering University of Batna, Algeria  
fayalmi@hotmail.fr

**Abstract**—Ce travail présente l'étude qui a été faite pour l'installation de deux éoliennes sur le toit de l'unité de développement des équipements solaires (UDES) à Bou-Ismaïl en Algérie. On a voulu montrer les modalités d'implantation d'aérogénérateurs en zone urbaine, particulièrement sur des toits d'immeubles. L'analyse des installations existantes montre que la présence en milieu urbain d'éoliennes de petite ou de moyenne puissance est extrêmement limitée, que ce soit en Algérie ou dans le reste du monde. Cela est particulièrement vrai pour l'usage d'éoliennes sur des toits d'immeubles. L'implantation des éoliennes à (axe verticale ou horizontal) sur les toits d'immeubles si elle est bien étudiée pourra participer à la pénétration des énergies renouvelable dans la production d'énergies électrique.

**Keywords**—éolienne; installation; immeuble; urbain;

## I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles. Cependant, leur système de conversion de l'énergie en électricité souffre souvent d'un manque d'optimisation qui en fait encore des systèmes trop chers, et présentant des déficiences importantes en rendement et en fiabilité. Pour cela, bien qu'il existe de plus en plus de travaux de recherches prouvant la viabilité de sources comme, par exemple, l'énergie photovoltaïque (PV) ou l'énergie éolienne, beaucoup de réticentes existent encore pour installer ces systèmes à grande échelle, autant en production de masse que chez des particuliers.

Dans le cadre du projet de recherche « Conception d'une plateforme de dimensionnement, de gestion d'énergie, et de caractérisation des systèmes multi-sources ». Des études de faisabilité ont été faites afin de définir les modalités d'implantation d'aérogénérateurs en zone urbaine. Une analyse systématique met en évidence de nombreuses contraintes pour l'implantation d'éoliennes en milieu urbain.

Malgré un constat globalement négatif, la possibilité de produire de l'électricité à partir du vent en milieu urbain demeure une source de recherche et de développement. Enfin, au-delà de l'usage urbain, l'utilisation de petites éoliennes peut-être viable pour des particuliers qui bénéficient d'un site avec un bon gisement [1].

## II. L'ENERGIE DU VENT

Une éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor : La densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent.

L'énergie transportée par le vent varie avec le cube de la vitesse moyenne du vent. Ainsi, un doublement de la vitesse du vent correspond à une augmentation de sa capacité énergétique de  $2^3$  [2].

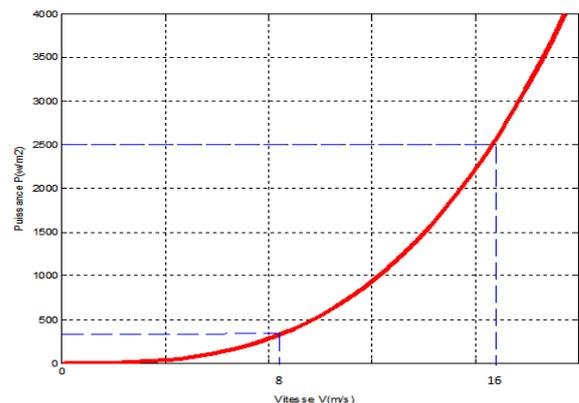


Fig. 1. Puissance mécanique en fonction de la vitesse du vent

La figure 1 montre qu'à une vitesse de vent de 8 m/s, la puissance (quantité d'énergie par seconde) sera de 314 Watt par mètre carré, si le vent souffle d'une direction perpendiculaire à la surface balayée par le rotor à 16 m/s, nous obtiendrons une puissance augmentée de 8 fois, soit 2512 W/m<sup>2</sup>.

La puissance du vent traversant perpendiculairement une surface circulaire égale à :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

Où

P : est la puissance du vent mesurée en W

$\rho$  : La densité de l'air sec 1,225 en kg/m<sup>3</sup>

V : la vitesse du vent mesurée en m/s

r : le rayon du rotor

#### A. La loi de Betz.

La loi de Betz confirme qu'une éolienne ne pourra jamais convertir en énergie mécanique plus de 16/27 (ou 59%) de l'énergie cinétique contenue dans le vent.

#### B. Forces exercées sur les pales.

En rouge, P = la portance

En vert, T = la traînée

En orange R = la résultante

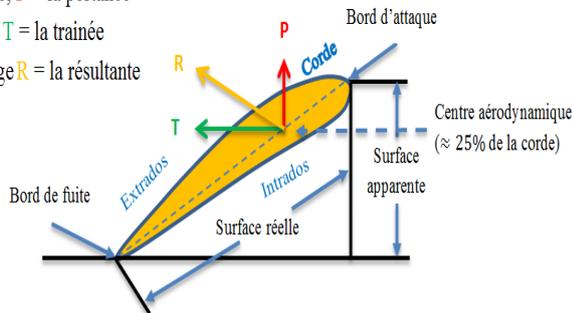


Fig. 2. Forces exercées sur une pale

Les pales de l'éolienne reçoivent une pression proportionnelle à leur surface réellement exposée au vent.

- La surface pour une pale :  $S = l \times L$  (largeur fois longueur).
- La surface-active d'une pale se calcule sur la surface réellement au vent.
- La surface apparente est lors que la pale fait un angle de x degrés par rapport au vent.
- La portion des attaches à l'axe porteur n'est généralement pas considérée comme surface active.

##### 1) La portance.

Il ne s'agit pas simplement de molécules d'air frappant le bord d'attaque des pales et faisant tourner l'éolienne.

L'industrie des éoliennes modernes emprunte en fait plusieurs technologies de l'industrie aéronautique, mais utilise également quelques principes propres à elle. La raison pour laquelle un avion peut voler est que l'écoulement de l'air autour du profil est plus rapide sur

l'extrados (le dessus) que sur l'intrados (le dessous) de l'aile.

La dépression qui en résulte à l'extrados de l'aile, crée la portance, c.-à-d. la force qui soulève l'avion vers le haut, lui permettant de voler. La portance est perpendiculaire à la direction du vent.

La portance s'exprime.

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_z \cdot v^2 \quad (2)$$

##### 2) Traînée.

En aérodynamique, nous appelons la force de traînée ou résistance au vent, l'effort que produit le vent sur une surface donnée. Cette force s'exprime par la relation :

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2 \quad (3)$$

Avec :

$F_x$  : Force induite suivant l'axe x en N.

$\rho$  : Masse volumique du fluide en kg/m<sup>3</sup>.

S : Surface caractéristique de l'obstacle en m<sup>2</sup>.

v : Vitesse relative du fluide à l'obstacle en m/s.

$C_x$  : Coefficient de traînée, sans dimension.

$C_z$  : coefficient de portance

Le  $C_x$ , ou coefficient de pénétration dans l'air, dépend des formes géométriques de l'obstacle. Il est nécessaire de connaître la surface projetée orthogonalement à la trajectoire du fluide appelée « surface au vent ».

### III. PETITE EOLIENNE ET APPLICATIONS

Ces éoliennes sont installées à des hauteurs de 10 à 35 mètres, raccordées au réseau, ilotables ou autonomes en site isolé. Le petit éolien est utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils électriques de manière économique et durable, principalement en milieu rural. Les applications vont du tourisme de plaisance (camping-cars, bateaux,...) à l'électrification de sites isolés, distants du réseau, de même qu'au traitement de l'eau (pompage, dessalement) pour des unités de petites puissances. Ces applications représentent un marché non négligeable appelé à se développer.

#### A. Choix d'un site éolien.

##### 1) La ressource éolienne.

Normalement, le seul fait d'observer la nature constitue une aide excellente lors de l'identification d'un bon site éolien.



Fig. 3. Direction des vents

Ainsi, comme on peut le voir sur la figure 3, les arbres et les buissons peuvent servir d'un bon indicateur de la direction des vents dominants dans la zone en question.

Des données météorologiques, reproduites de préférence en forme d'une rose des vents sur 30 ans, seront probablement le meilleur guide, mais ces données ne sont que très rarement collectées sur le site exact en question. Et de plus, on doit pour plusieurs raisons toujours se servir de données météorologiques avec beaucoup de prudence.

### 2) La rose des vents

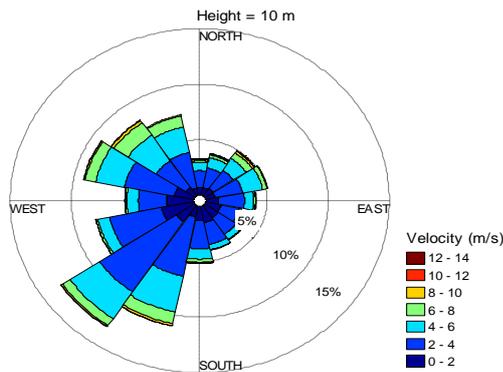


Fig. 4. Rose des vents

Les vents les plus forts soufflent en général d'une direction particulière. Afin de mieux se faire une idée de la distribution des vitesses et des directions du vent, on peut construire une rose des vents à partir des observations météorologiques faites dans une région donnée. Dans tous les cas, la rose des vents indique la distribution relative des directions du vent et non pas la vitesse réelle du vent. Afin de mesurer celle-ci il faut se servir d'un anémomètre.

### a. Comment utiliser la rose des vents

La rose des vents joue un rôle très important dans la localisation de sites appropriés à l'installation d'éoliennes.

Notez cependant que les régimes de vent ainsi que la capacité énergétique tendent à varier d'une année à une autre (en général d'environ 10 % au maximum) par conséquent, pour obtenir un résultat crédible, il vaut mieux baser ses calculs sur des observations faites sur plusieurs années. Lorsqu'il s'agit de la construction de grandes centrales éoliennes, on se limite cependant souvent à réaliser des mesures spécifiques pendant un an, les corrigeant ensuite en les comparant aux mesures faites sur plusieurs années par les stations météorologiques de la région en question. Ce procédé permet de faire des estimations très précises de la distribution des vents et de leurs vitesses moyennes sur un site donné.

### 3) Les obstacles au vent.

Les obstacles au vent, tels que les immeubles, les arbres ou les rochers, peuvent freiner considérablement la vitesse du vent, tout en provoquant souvent de la turbulence [2].

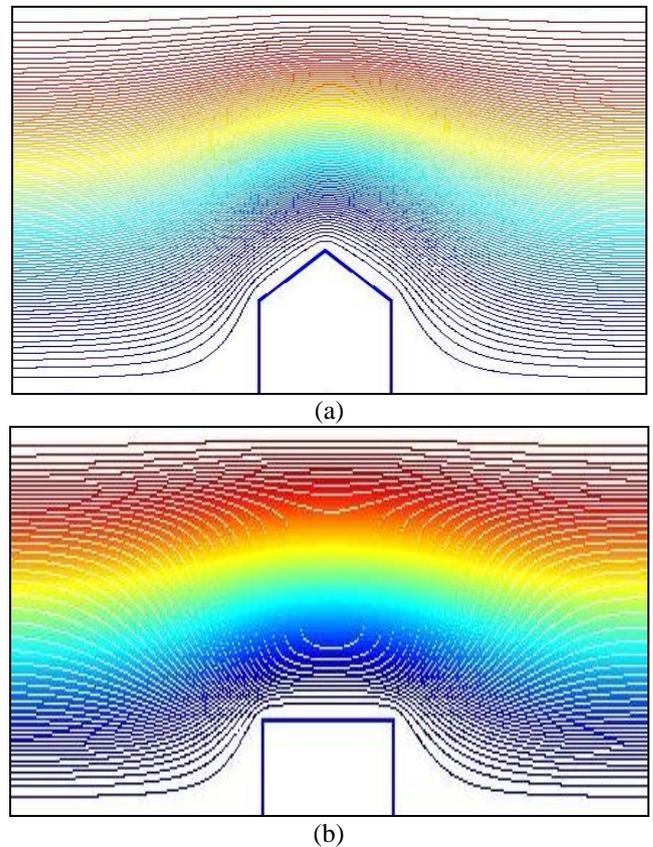


Fig. 5. (a,b) Obstacles au vent

Par conséquent, il faut de préférence chercher à éviter la présence d'obstacles près d'une éolienne, particulièrement dans la direction des vents dominants, c.-à-d. devant l'éolienne.

Les obstacles freinent le vent en aval de l'obstacle. Selon la porosité de celui-ci, c.-à-d. de son ouverture (la porosité est définie comme la surface ouverte divisée par la surface totale de l'objet exposé au vent).

Un bâtiment est massif, sa porosité étant nulle, tandis qu'un arbre en hiver (sans feuilles) laisse passer plus que la moitié du vent. L'été, le feuillage des arbres peut être très dense, ce qui fait normalement baisser leur porosité à moins d'un tiers [4].

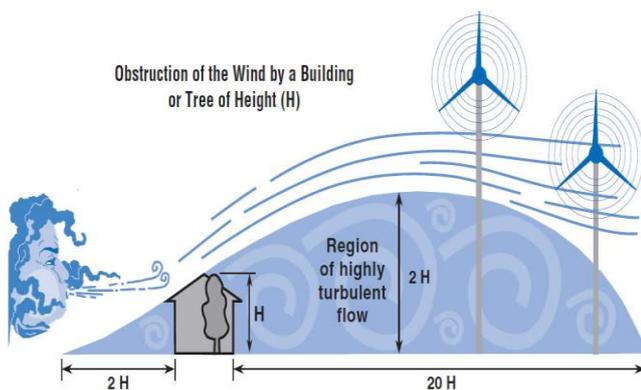


Fig. 6. Effet d'abri

L'effet d'abri créé par un obstacle donné est fonction de sa hauteur et de sa longueur. Il va de soi que l'effet d'abri est surtout important tout près de l'obstacle et du sol.

Lorsque les constructeurs d'éoliennes font des estimations de la production d'énergie d'une éolienne, ils prennent normalement en considération tous les obstacles se trouvant dans la direction des vents dominants.

Installer une éolienne sur une tour trop basse correspond à installer un panneau solaire à l'ombre. En général, l'éolienne devrait être installée assez haut sur une tour pour que les extrémités de ses pales s'élèvent à au moins 6 mètres au-dessus de tout obstacle situé dans un rayon de 76 mètres.

### B. Installation des éoliennes sur le toit

Le siège de l'unité de développement des équipements solaires (UDES) à Bou Ismail (Tipaza en Algérie) par son architecture particulière offre la possibilité d'installer des éoliennes sur son toit.

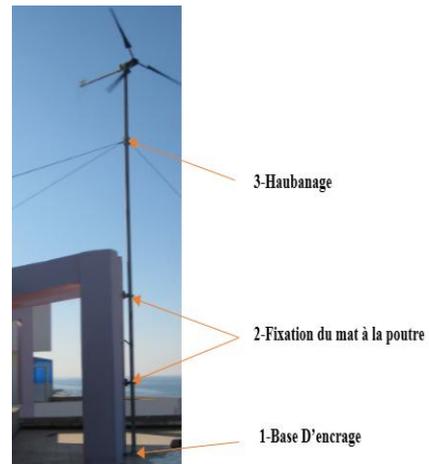


Fig. 7. Fixation de l'éolienne

### (1) La base D'encrage

Le mât est monté sur un pivot. Il est important que le pivot soit solidement fixé au sol par un ancrage capable de soutenir les différentes forces appliquées sur celui-ci lors d'une montée.

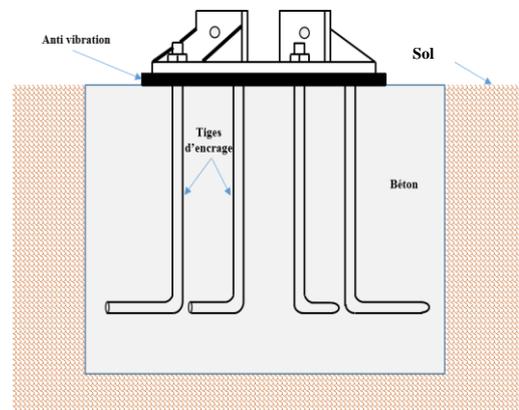


Fig. 8. Base d'encrage de l'éolienne

Une bande anti vibration en caoutchoucs est placée entre la base d'encrage et le sol.



Fig. 9. Mât pivotant sur la base d'encrage

## (2) Fixation du mat à la poutre



Fig. 10. Fixation du mat à la poutre avec système anti-vibration

## (3) Haubanage :

Comme les mats de nos éoliennes ont 9m de hauteur et le toit est incliné. Une éolienne le dépasse de 6m et l'autre de 5m. Pour la dernière on a placé un haubanage à 2m du sommet du mat avec trois câbles à 120° d'écart dont l'un deux est en parallèle avec la poutre pour maintenir le mat plaqué à celle-ci. Pour l'autre éolienne on a ajouté un autre haubanage à 1.5m du premier avec les mêmes principes [5].

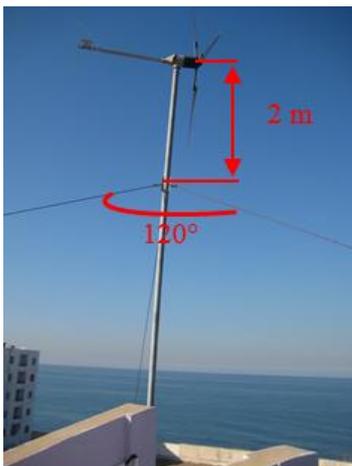


Fig. 11. Haubanage

## C. Distances entre éoliennes.

Afin de ne pas réduire le rendement énergétique des éoliennes entre elles, une distance entre éolienne qui dépend du type d'éoliennes prévu sur le site (de son diamètre D) et de ses caractéristiques (vitesse de vents,

intensité de turbulence, rose des vents...) est nécessaire.

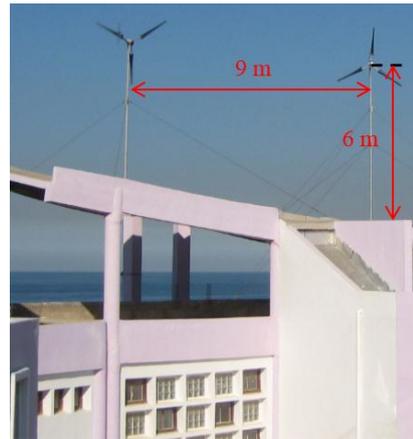


Fig. 12. Installation des éoliennes

Pour résumer, 6 à 10 diamètres entre 2 lignes d'éoliennes et 3 à 4 diamètres entre 2 éoliennes d'une même ligne. (Les lignes d'éoliennes devant être perpendiculaires aux vents dominants) [6].

## D. Modes de couplage.

On peut distinguer deux familles de systèmes de génération d'énergie.

a) D'une part il y a les sites isolés où l'énergie est produite et consommée sur place ou à proximité du générateur. Un réseau local (« faible »), à faible puissance de court-circuit, doit être créé et stabilisé.

b) D'autre part les systèmes sont (en majorité) connectés au réseau.

Dans le premier cas, il peut y avoir une seule source d'énergie ou le couplage de plusieurs sources de même type ou bien de types différents. Le problème d'interconnexion se pose alors. Il existe plusieurs configurations selon les propriétés des sources énergétiques et les besoins de distribution.

## E. Cablage

### 1) Section des câbles électriques.

Le transfert de l'électricité produite par la génératrice à la batterie de stockage nécessite un câble. Du haut du mât au lieu de consommation, le courant devra parcourir quelques dizaines de mètres. Le choix des caractéristiques de ce câble est primordial, si l'on ne veut pas tous gaspiller sa production dans celui-ci [7].

La section d'un câble sera au minimum égale à la valeur la plus élevée des trois critères suivants :

- L'échauffement du conducteur (densité de courant)

- la chute de tension dans la ligne
- courant de court-circuit.

a) *Densité de courant :*

Intensité que l'on peut faire passer dans un conducteur par millimètre carré.

$$D = \frac{I}{S} \quad (4)$$

D : Densité de Courant en A / mm<sup>2</sup>

I : Intensité en A

S : Section en mm<sup>2</sup>

Pour du cuivre isolé, on tolère les densités suivantes :

0 - 5 mm<sup>2</sup> => 5 A/mm<sup>2</sup>

5 - 15 mm<sup>2</sup> => 4 A/mm<sup>2</sup>

15 - 50 mm<sup>2</sup> => 3 A/mm<sup>2</sup>

50 - 100 mm<sup>2</sup> => 2 A/mm<sup>2</sup>

b) *Résistance d'une ligne :*

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (5)$$

R : Résistance de la ligne en ohm

$\rho$  : résistivité du matériau composant la ligne, 0,018 ohm mm<sup>2</sup> / m Cuivre

L : longueur de la ligne x 2.

S : Section du câble mm<sup>2</sup>

c) *Chute de tension :*

$$U_c = I \cdot \rho \frac{L}{S} \quad (6)$$

$$S = I \cdot \rho \frac{L}{U_c} \quad (7)$$

On pourrait envisager de réduire légèrement la section du câble, pour un coût moins élevé. En fait, on se rend compte qu'il y a un compromis à faire entre pertes de puissance tolérées, le prix du câble, et la chute de tension acceptable.

❖ **Pour du triphasé :**

Il est préférable d'utiliser des lignes triphasées pour acheminer du courant sur une longue distance. En effet, dans ce cas il n'y a qu'une longueur de fil à prendre en compte. Il n'y a pas de retour sur une ligne triphasée, et de plus l'intensité est répartie sur trois conducteurs.

On voit qu'il est préférable de placer le régulateur au plus près de la batterie et d'utiliser une très forte section pour relier ces derniers.

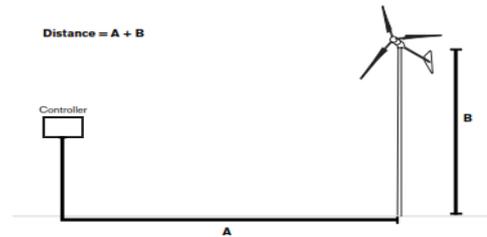


Fig. 13. Longueur du câble

Les tableaux qui suivent précisent les sections de câble minimales à utiliser en fonction des distances pour les diverses tensions d'utilisation. Ces sections permettent de ne pas dépasser 3% de chute de tension [9].

TABLE I. SECTION MINIMALE CABLE CUIVRE POUR SYSTEMES RACCORDES AU RESEAU SANS BATTERIES

Distance inférieure à... (m)	Section de câble (mm <sup>2</sup> )
50	1.5
100	2.5
200	4
300	6
400	10
500	10

TABLE II. SECTION MINIMALE CABLE CUIVRE POUR SYSTEMES SUR BATTERIES (24 ET 48)V

Système en 24V		Système en 48V	
Distance inférieure à...(m)	Section (mm <sup>2</sup> )	Distance inférieure à...(m)	Section (mm <sup>2</sup> )
30	10	20	35
40	16	25	50
60	16	40	35
80	25	50	50
100	35	60	70
140	50	80	70

<sup>a</sup>. Si on utilise du fil d'aluminium, il faut multiplier les distances dans le tableau par 0,65.

2) *La mise à la terre*

Les terres doivent toutes être interconnectées entre elles. Le mât est mis à la terre ainsi que les haubans grâce à du cuivre nu en 12,5mm<sup>2</sup> celui-ci est après connecté à la terre du réseau domestique [8].

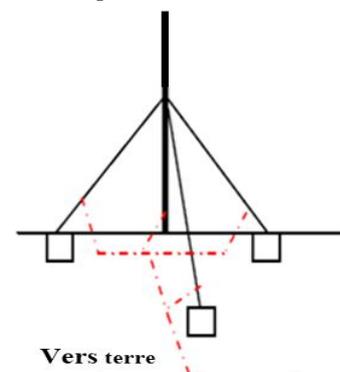


Fig. 14. Mise à la terre de l'haubannage

3) Schéma électrique de l'installation

IV. CONCLUSION

Ceux qui ne vivent pas en zone rurale, ou qui n'ont pas un jardin en ville, peuvent aussi bénéficier de l'énergie éolienne pour particulier. Bien qu'encore limitée, cette option est malgré tout envisageable. Les constructeurs d'éoliennes travaillent aujourd'hui pour améliorer les systèmes existants afin de satisfaire la demande des urbains. Le choix idéal aujourd'hui est l'éolienne verticale. En effet, elle peut être installée sur un toit facilement et sûrement, et capte bien les vents faibles, voire turbulents. Pour autant, on peut opter pour une éolienne horizontale et la fixer sur le bord de la façade, en la faisant dépasser du toit. On utilise alors le même type de système que pour une antenne satellite. L'éolienne est fixée sur un mât, lui-même fixé sur la façade grâce à des attaches murales, ou sur la cheminée grâce à un cerclage. Cette filière ne pourra être viable qu'après développement de produits spécifiques dans des conditions économiques raisonnables. C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en lignes dues aux longs transports d'énergie sont moindres. Cette source d'énergie peut de plus stimuler l'économie locale, notamment dans les zones rurales.

REFERENCES

- [1] C.Bouly, D.Defois, J.Faucillon, and F.Billon "Eolienne lente de proximité conception, performances, technologie et applications," Tétouan – Maroc FIER' 2002.
- [2] H.D.Nedjari, and M. Saighi "Etude numérique des effets d'obstacles sur le profil du vent," *Revue des Energies Renouvelables SMEE'10 Bou Ismail Tipaza (2010)*, pp 125 – 134
- [3] J. M. Mejia, F. Chejne, R. Smith, L. F. Rodriguez, O.Fernandez, and I. Dynner, "Simulation of wind energy output at Guajira, Colombia," *Renewable Energy* 31 (2006), pp 383–399
- [4] T. Grignoux, R. Gibert, P. Neau, and C. Buthion "Eoliennes en milieu urbain -etat de l'art," Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies Ile-de-France ARENE 2006.
- [5] F. Belhamel, S. Moussa, K. Benfarhat and F. Kharchi, "Analyse des contraintes mécaniques agissant sur un pylône haubané d'aérogénérateur et technologies mises en oeuvre pour son installation," *Rev. Energ. Ren.: ICPWE* (2003), pp 125-130
- [6] C.Termol " Les éoliennes aspects techniques et environnementaux," cellule cadre de vie de l'union des villes et communes de wallonie, La commune et la protection du cadre de vie, UVCW, 2000, pp. 77-78.
- [7] Ti'éole énergies-éoliennes" Le petit éolien : ce qu'il faut savoir pour se raccorder au Réseau," [www.tieole.com/docs/petiteolien\\_rr.pdf](http://www.tieole.com/docs/petiteolien_rr.pdf)
- [8] <http://chrisbonsai.perso.sfr.fr/Eoliennes/B21TechniqueEolienne%20ChoixCable.html>
- [9] Whisper 200 owner s manual " installation, operation, maintenance, " 2012 southwest windpower, inc.

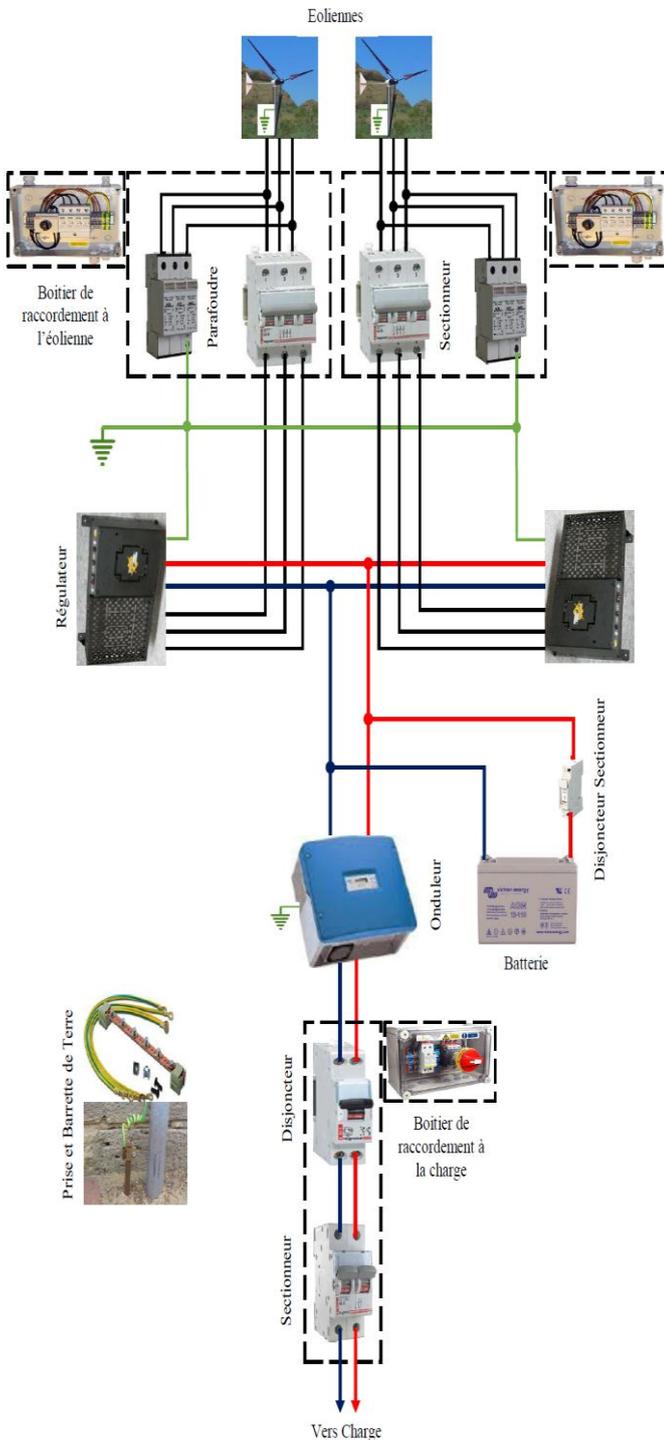


Fig. 15. Schéma électrique de l'installation