

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE
L'UNITE DOCUMENTAIRE
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة
رقم :

84 - 384

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للتوثيق
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE
ET IMPRIMERIE

B.P 826 RABAT



مصلحة الطباعة والاستنساخ

ص. ب. : 826 الرباط

F

1

وثيقة من نسخ ضوئية

22/4/85

84-8847

PROJET AEROGENERATEUR DE SIDI-BOULANOUAR

M. BENAMAR (CDER)

1. INTRODUCTION

La ferme coopérative de Sidi Boulanouar, dans la commune de Had Draa à Essaouira, a été choisie comme site de démonstration d'un générateur éolien qui servira à satisfaire les besoins énergétiques de cinq familles en pompage d'eau potable et d'irrigation, en éclairage et fonctionnement d'un broyeur de noix et d'un réfrigérateur.

2. CARACTERISTIQUES DU SITE

a. Situation géographique et climat

Le site Sidi Boulanouar est une ferme coopérative qui se trouve dans la commune de Had Draa à 30 km au Nord-Est d'Essaouira, sur la route principale 11 qui relie Essaouira et Safi.

L'altitude du site est de 250 m. La température moyenne est de 19°C et la pluviosité annuelle est environ 255 mm.

b. Population

La coopérative de Sidi Boulanouar compte 20 familles de 8 personnes par famille en moyenne. Parmi les 20 familles constituant la coopérative, seulement cinq vivent près du site.

c. Ressources éoliennes

Le site de Sidi Boulanouar est généralement reconnu comme une zone à grand potentiel éolien. Ceci est démontré par les alentours. Actuellement, le site est équipé de 2 éoliennes multipales, détruites par manque d'entretien

adéquat. Pour l'étude de ce projet, on s'est basé sur les données anémométriques de la station météorologique d'Essaouira dont l'anémomètre est mal exposé car il se trouve sur le toit d'un bâtiment administratif du Port d'Essaouira et est sujet à beaucoup de turbulences.

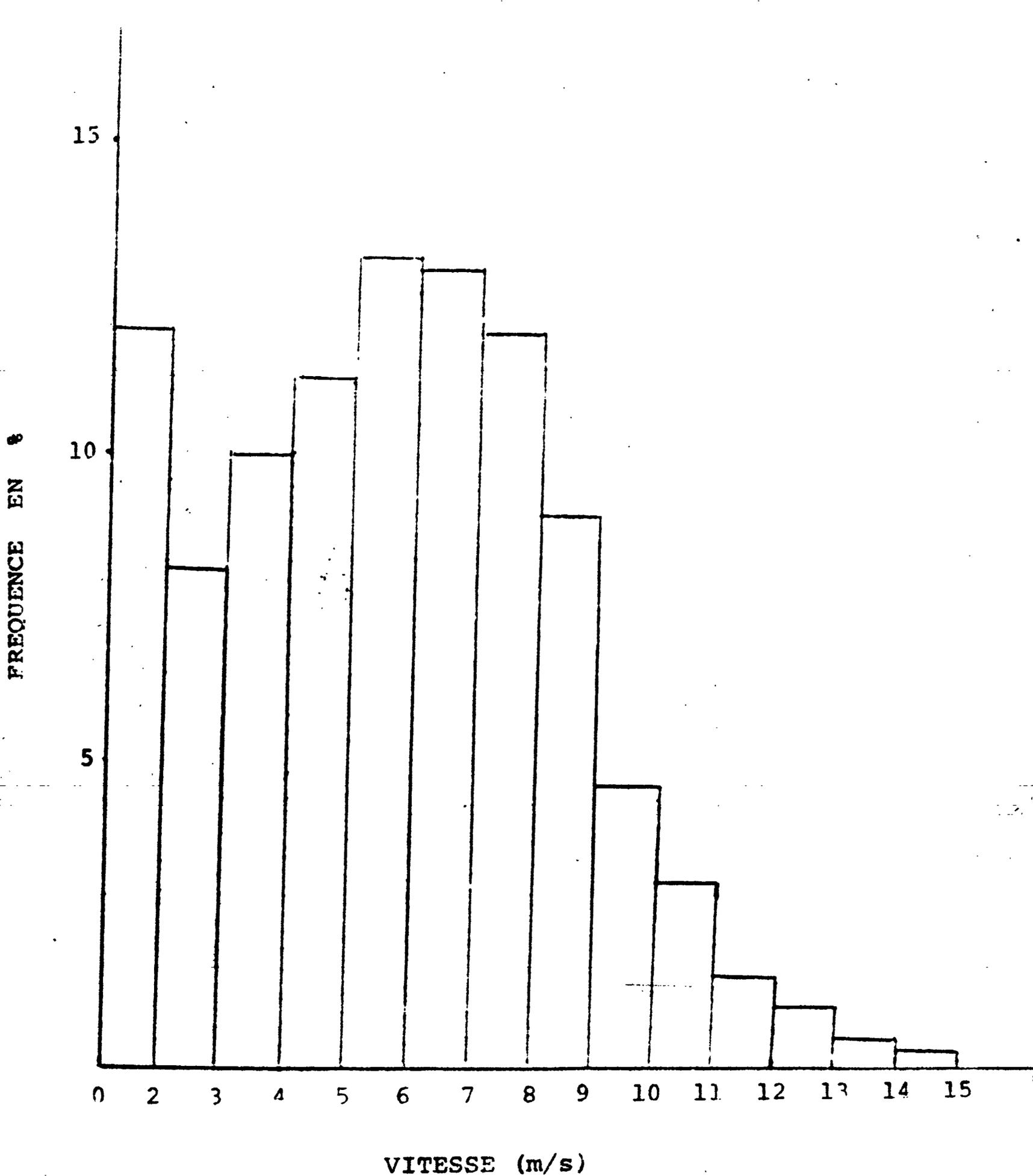
Pour l'analyse des données, on s'est servi des relevés mensuels normalement fournis par le service météorologique et qui couvrent la période 1949 - 1975 et 1980 - 1982 à raison de 3 observations par jour (6H, 12H, 18H). L'histogramme de la distribution de la vitesse de vent à Essaouira est donné dans la Figure 1.

En plus des données obtenues de la météorologie, le CDER a élaboré une étude comparative en se basant sur les données de l'anémomètre installé à Sidi Boulanouar au mois de Novembre 1983. Cette étude comparative comporte seulement les six derniers mois. Les résultats (voir Tableau 1) ont montré que le vent à Sidi Boulanouar est légèrement supérieur qu'à Essaouira.

Les données relevées d'Essaouira sur une longue période d'observation donnent une vitesse moyenne annuelle de 4,9 m/s et des vents assez forts en Mai, Juillet et Août.

Les dernières années, surtout 1982 montrent qu'il y a plusieurs périodes de vent calme jusqu'à 4 jours consécutifs ce qui indique qu'il faudrait augmenter la capacité de stockage d'énergie de l'installation. Dans l'analyse à long terme il n'y a aucune donnée sur les variations de courte durée de la vitesse du vent (par exemple, intervalles d'une minute) qui permettrait de définir les effets de rafales de vent sur la production de l'aérogénérateur. On préfère,

FIGURE 1 : HISTOGRAMME DES VITESSES DU VENT
MOYENNE ANNUELLE (1949-1975)



**TABLEAU 1 : VITESSE MOYENNE ENREGISTREE A ESSAOUIRA
ET A SIDI BOULANOUAR**

• ETABLISSEMENT DES PARAMETRES k & C DE WEIBULL

SIDI BOULANOUAR - 18 m			
MOIS	\bar{V}	k	C
NOV. 83	2,7	1,1	2,7
DEC. 83	2,5	1,1	2,6
JANV. 84	3,6	1,3	3,9
FEV. 84	3,8	1,3	4,4
MARS 84	3,0	1,2	3,2
AVRIL 84	4,8	1,2	4,1
-----	-----	-----	-----
MOYENNE	3,4	1,2	3,5

ESSAOUIRA - 18,3 m			
MOIS	\bar{V}	k	C
NOV. 83	3,4	1,5	3,8
DEC. 83	2,1	1,3	2,7
JANV. 84	3,2	1,8	3,6
FEV. 84	3,8	1,8	4,3
MARS 84	2,7	1,4	3,0
AVRIL 84	3,3	1,5	3,7
-----	-----	-----	-----
MOYENNE	3,1	1,6	3,5

en effet, avoir ~~des~~ statistiques à intervalles très courts pour évaluer les performances d'une machine éolienne bien que les moyennes horaires semblent donner les mêmes résultats.

Etant donné l'inconsistance des données météorologiques, celles à long terme paraissent donc les plus appropriées.

d. Hydrologie

A Sidi Boulanouar l'eau est fournie par deux puits, un ancien et un nouveau (voir Figure 2). Les données obtenues par le CDER sur le nouveau puits indiquent un débit de 1,2 litres/seconde et un rabattement d'un mètre. La hauteur statique requise est de 25 mètres.

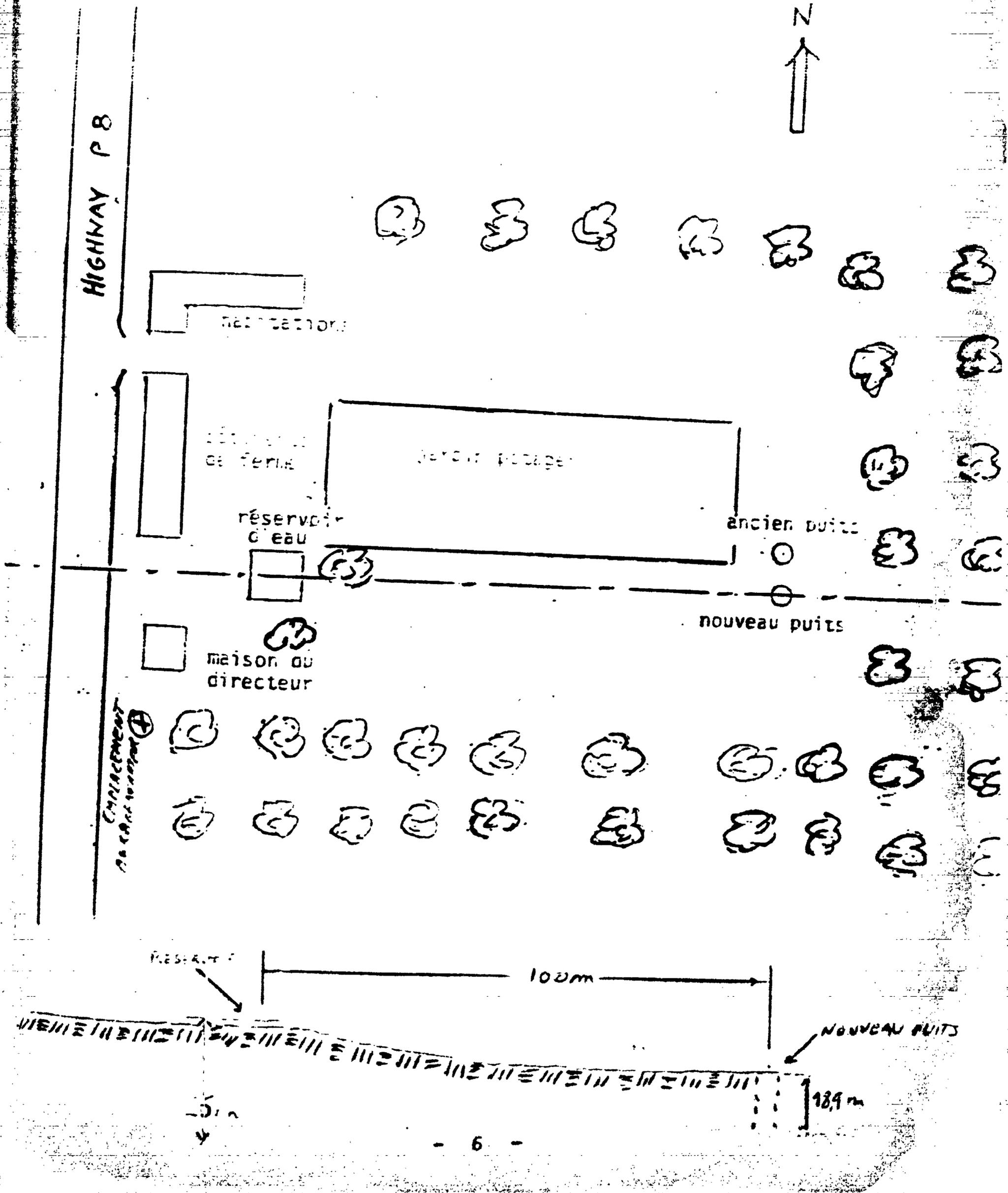
e. Considération socio-économique

La Coopérative Agricole de Sidi Boulanouar a été établie en 1973 sur 450 hectares de terrain.

Vingt familles composent la coopérative et vivent pour l'instant en différents endroits. Cinq familles seulement vivent sur les terres communales à proximité du site où le générateur éolien devrait être situé. Il n'y a ni eau courante ni électricité.

L'économie de base de la coopérative repose sur un système de production agricole mixte. Il y a de grandes plantations d'oliviers (3500 arbres) et d'amandiers (1000 arbres). On cultive en moyenne 20 hectares de blé dur et 75 hectares de blé tendre et 75 hectares d'orge et 70 ha de maïs et quelques hectares de légumes. La coopérative gère également un petit troupeau de bovins, (29 vaches et quelques boeufs), d'ovins (340 têtes), de caprins et quelques ânes.

FIGURE 2 : PLAN DE SIDI BOULANOUAR



Le système d'exploitation à Sidi Boulanouar combine les méthodes traditionnelles et modernes. La coopérative possède un tracteur et une charrue portée mais dépend encore beaucoup des animaux de trait. L'irrigation n'est pas encore utilisée mais la coopérative prévoit d'irriguer une plantation d'oliviers de 100 ha.

Les sources d'énergie actuellement utilisées dans la coopérative sont typiques des régions rurales du Maroc. Le bois, le charbon de bois et le butane servent à cuisiner; on éclaire à la bougie, au pétrole lampant ou au butane. Il y a plusieurs récepteurs de télévision portatifs alimentés par des batteries de 12 volts. Pratiquement chaque famille possède un poste de radio portatif et 50 % des ménages ont une magnétocassette.

f. Demande Énergétique

Les cinq familles (8 membres chacune en moyenne) qui vivent actuellement à l'emplacement du dispositif éolien bénéficieront d'eau et d'électricité. Ces familles ont du bétail et leur consommation d'eau potable est résumée par le Tableau 2.

De plus, toute l'eau supplémentaire disponible sera utilisée pour l'irrigation, soit :

$$1/1000 \times (1,2 \text{ l/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ H.}) - 12,4 = 91,3 \text{ m}^3$$

Donc on exploitera le puits à son débit maximum durant 24 heures.

EVALUATION DE L'ÉNERGIE POUR LE POMPAGE

Pour calculer l'énergie nécessaire au pompage on emploie la formule suivante :

TABLEAU 2 : CONSOMMATION QUOTIDIENNE D'EAU

PAR UNITE DE TETE	NOMBRE	TOTAL (l/jour)
Humains (100 l)	40	4 000
Animaux		
Vaches laitières (130 l)	30	3 900
Autres vaches (60 l)	15	900
Moutons (8 l)	340	2 720
Chèvres (8 l)	50	400
Poules (0,25 l)	100	25
Animaux de trait (45 l)	10	450
		12 395
	soit :	12,4 m

$$E = k. \frac{Q.H}{\eta}$$

k = coefficient de conversion

Q = débit

H = hauteur manométriques totale

η = rendement de la pompe.

La hauteur manométrique est la somme de :

- Les pertes de charges qui, pour un débit de 1,2 l/s, un tuyau d'un diamètre de 2 pouces et d'une longueur de 126 m et avec 4 coudes à 90° sont de 1,1 m
- La hauteur statique (25 m)
- Le rabattement de 1 m sous les conditions de pompages nominales

Donc elle est égale à 27,1 m.

Avec un rendement de la pompe de 45 %, l'énergie nécessaire au pompage de l'eau serait donc de 17 kWh/jour, soit une puissance de pompe de 710 Watts.

Le moteur pour entraîner cette pompe, avec un rendement de 65 % aura donc une puissance de 1,1 kW.

Les autres besoins en électricité sont domestiques : le générateur alimentera quatre tubes fluorescents de 20 W dans chaque maison et un réfrigérateur de 40 W (puissance continue). L'électricité fournie servira aussi à actionner le broyeur de noix (0,2 kW) et à charger les batteries en cas de vent calme.

Pour pouvoir déterminer la puissance appelée par ce réseau, il faut d'abord déterminer la demande énergétique journalière de chacune des charges sus-citées et déterminer le coefficient d'utilisation de l'aérogénérateur.

Le calendrier d'utilisation est le suivant :

- Pompe 24 h/jour, 365 jours
- Eclairage 5 h/jour, 365 jours
- Broyeur 5 h/jour, 200 jours
- Réfrigérateur 24 h/jour, 365 jours.

En outre, le broyeur et les lampes ne seront pas utilisés en même temps. Il se peut que le broyeur soit utilisé de façon intensive tous les jours pendant des périodes assez longues mais l'effet sur la charge quotidienne est le même que s'il était utilisé tous les jours de l'année, en ce qui concerne la capacité de l'aérogénérateur et de la batterie.

La charge moyenne consiste en :

- Moteur : 1,10 kW
- Lampes : 0,10 kW
- Broyeur : 0,20 kW
- Réfrigérateur : 0,04 kW

Ce qui, avec un convertisseur en courant alternatif, porte le total à environ 1.50 kW.

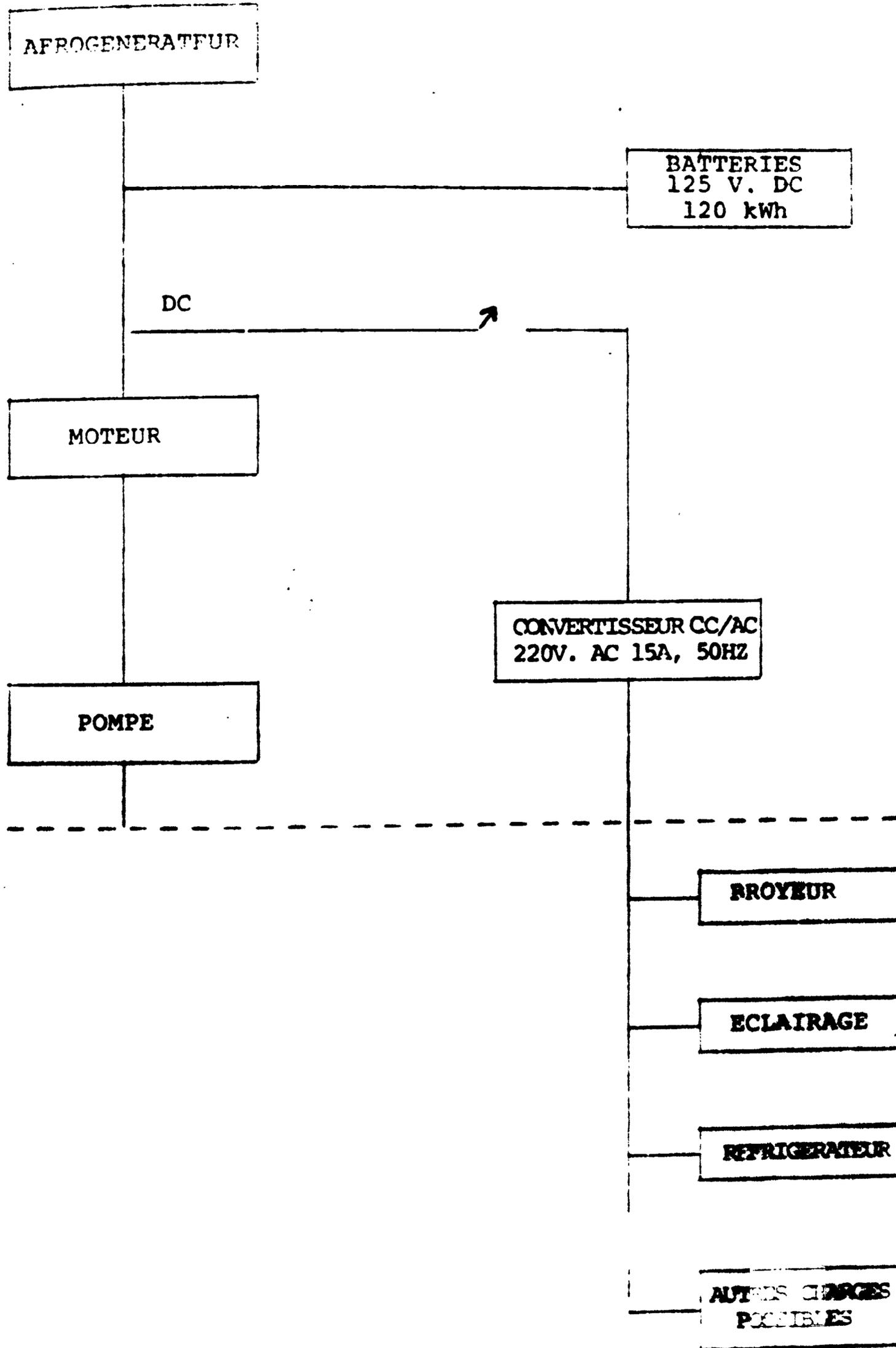
La demande énergétique quotidienne sera donc égale à $1.5 \times 24 = \underline{36 \text{ kWh}}$.

DESCRIPTION TECHNIQUE

a. Equipement

La Figure 3 illustre les principales composantes du dispositif de Sidi Boulanouar. Les appareils constituant la charge seront alimentés par un aérogénérateur dont la puissance

**FIGURE 3 : LA CONFIGURATION DU SYSTEME
A-INSTALLER A SIDI BOULANOUAR**



sera suffisante pour charger aussi une batterie qui prendrait la relève en période calme. Le générateur produira du courant continu (C.C.) en 125 volts. Il alimentera directement la pompe et les batteries tandis que pour les autres charges (pompes, réfrigérateur et broyeur, on installera un convertisseur qui transformera le courant direct en courant alternatif ce qui faciliterait l'achat des équipements fonctionnant en C.A. qu'on trouve partout au Maroc.

La puissance crête de l'aérogénérateur dépend de la charge, de la capacité de la batterie, du taux de recharge et du coefficient d'utilisation qui est déterminé par les caractéristiques du vent et par la courbe de puissance de la machine. Le régime des vents à Sidi Boulanouar a été décrit à la section 2.c.

Pour un aérogénérateur de type envisagé, la production électrique (Tableau 3) est une fonction de la vitesse et de la fréquence des vents (figure 1). Le coefficient d'utilisation qui en résulte (41,8 %) implique qu'en moyenne, l'aérogénérateur produit la puissance nominale 41,8% du temps, donc il produira continuellement 41,8 % de la charge nominale.

Tous les calculs pour le dimensionnement de l'aérogénérateur sont basés sur les ressources éoliennes précédemment définies. Ces données sont les moyennes annuelles.

Dimensionnement de l'aérogénérateur de Sidi Boulanouar :

- Coefficient d'utilisation : 41,8 % (Tableau 3)
- Energie quotidienne moyenne : 36 kWh/jour (Section 3)
- Nombre de jours de vent calme : 3 jours
- Nombre de jours de vent moyen : 3 jours
(pour recharger les batteries)

TABLEAU 3 : Coefficient d'utilisation de l'aérogénérateur

Vitesse de vent (m/s)	Fréquence %	Puissance engendrée (fraction)	Contribution énergétique (%)
<4.0	30.1	0.00	0.00
4.0-4.9	11.5	0.11	1.27
5.0-5.9	13.5	0.28	3.78
6.0-6.9	13.0	0.50	6.50
7.0-7.9	12.0	0.86	10.32
8.0-8.9	9.0	1.00	9.00
9.0-9.9	4.6	1.00	4.60
10.0-10.9	3.0	1.00	3.00
11.0-11.9	1.5	1.00	1.50
12.0-12.9	1.0	1.00	1.00
13.0-13.9	0.5	1.00	0.50
14.0-14.9	0.3	1.00	0.30
15.0-15.9	0.0	0.00	0.00
16.0	0.0	0.00	0.00
	100.0	Coefficient d'utilisation = 41.80%	

- Capacité de stockage des batteries :

$$36 \text{ kWh/jour} \times 3 \text{ jours} = \underline{108 \text{ kWh}}$$

- Energie quotidienne à fournir par l'éolienne :

pompage : 26,40 kWh

accessoires (éclairage, broyeur, réfrigérateur,
en supposant un rendement de 0,9 du convertisseur) :

$$\frac{8 \text{ kWh}}{0,9} = 8,9 \text{ kWh}$$

Recharge batteries (en supposant un rendement de 0,8)

$$\frac{36}{0,8} = 45 \text{ kWh}$$

Soit un total de 80,3 kWh/jour.

La puissance de l'aérogénérateur sera donc de :

$$\frac{80,3}{24 \times 0,418} = \underline{8 \text{ kW}}$$

DISCUSSION

Il existe des aérogénérateurs dans une large gamme de puissance; nous avons choisi une machine de 10 kW, qui correspond à une taille couramment produite et ne sera pas beaucoup plus coûteuse qu'une machine de 8 kW. La capacité des batteries est plus modulaire et leur coût quasiment proportionnel à cette capacité. On l'a choisi à 120 kWh pour laisser une marge de sécurité tenant compte d'une éventuelle dégradation de performance (2,2 % par an) pendant la durée de vie de la batterie qui est de 7 ans.

Il est évident qu'il est nécessaire de stocker de l'eau. L'eau d'irrigation peut être utilisée dès qu'elle est pompée c'est-à-dire continuellement. Cependant les 12,4 m³ d'eau potable consommée chaque jour doivent être stockés en vue de satisfaire le mode d'utilisation quotidien.

Puisqu'on est assuré d'avoir de l'électricité sans interruption grâce aux batteries, on n'a besoin que d'un seul jour de réserve d'eau, soit 12,4 m³. Or il existe déjà un réservoir de 200 m³ qui peut en cas de panne d'équipement régulariser le débit quotidien.

Le Tableau 4 résume les principales parties des équipements composant l'installation de Sidi Boulanouar.

Adaptation à la courbe de charge :

Le CDER ne dispose pas de données précises sur la courbe de charge journalière ni sur les variations saisonnières de celle-ci. Les variations existent puisque le Maroc a une saison de pluies en hiver ce qui réduira les besoins en eau pour abreuver le bétail et irriguer 2,5 hectares de terrain. Le broyage des noix d'arganier est également saisonnier.

D'après les caractéristiques de la courbe de puissance et de la distribution des vitesses du vent, on a calculé un coefficient d'utilisation de 41,8 %.

Aménagement du site :

L'accès au site ne nécessitera pas la construction d'une route ou de gros travaux de terrassement. L'installation ne nécessitera qu'un minimum d'espace et n'aura par conséquent pas d'impact sur l'activité agricole existante. Etant donné la proximité des habitations et bâtiments de la ferme, il sera nécessaire d'appliquer un programme de maintenance rigoureux afin d'éviter un détachement des pales. Le modèle sera conçu de façon à minimiser les parasites de réception pour les appareils de radio, de télévision et de micro-ondes.

**TABEAU 4 : ÉQUIPEMENT ET PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES
POUR LE POMPAGE DE L'EAU POTABLE À SION BOUNOUAR**

Article	Description	Puissance
Aérogénérateur	Aérogénérateur de 10 kw à 8 m/s vitesse de démarrage 4 m/s vitesse d'arrêt 15,4 m/s	crête 10 kw moyenne 4,18 kw
Batteries	décharge, peu d'entretien batteries au plomb	120 kwh 125 V nominal
Pompe à eau	Hauteur manométrique totale 27,1 m Débit de pompage = 1,21/s	710w
Moteur de la pompe	125 V CC à aimant permanent	1,1 kw
Panneau de commande	125 V 100 ampères	

4. EVALUATION FINANCIERE

a. Coût d'investissement

Le coût d'achat et d'installation de tout le dispositif de 10 kW a été estimé à environ 90.000 dollars.

Ces coûts sont basés sur des données préliminaires et seront confirmés par les offres des vendeurs à une date ultérieure.

Le coût de remplacement des batteries n'est pas inclus dans ce total.

b. Charges d'exploitation et de maintenance

On estime les charges annuelles d'exploitation et de maintenance à 1 % du prix d'achat original.

c. Economies résultant de la source énergétique

Le principal avantage monétaire de l'éolienne résulterait d'une meilleure production des cultures de rapport auxquelles il est difficile d'attribuer une valeur pour l'instant. Les terrains agricoles non irrigués rapportent pour l'instant environ 10 000 DH par an et par hectare tandis que les terrains irrigués des fermes commerciales rapportent environ 50 000 DH. On n'a pas essayé d'attribuer une valeur monétaire aux autres avantages du projet pilote qui sont pourtant nombreux : meilleure accessibilité à l'eau potable, électricité pour l'éclairage et les communications (pouvant améliorer non seulement la qualité de la vie mais aussi l'accès à l'éducation), réfrigération et son impact sur la santé etc...

5. EVALUATION DU PROJET DE DEMONSTRATION PILOTE

a. Aptitude technique

Tel qu'il est envisagé pour l'instant, le générateur éolien de 10 kW peut fournir de l'eau à environ 40 personnes et leur bétail, ainsi que l'électricité en quantité limitée pour éclairer, réfrigérer et actionner un broyeur. Le régime des vents est adéquat et l'eau provient d'un puits déjà existant. Le débit de ce puits est le facteur qui détermine la puissance du dispositif (10 kW) et empêche l'expansion de système d'irrigation à l'échelle commerciale on apportera des bénéfices limités en irrigant environ 2,5 hectares.

On peut conclure que l'installation de 10 kW peut techniquement remplir les fonctions définies.

b. Viabilité financière

Les coûts présentés à la section 4 a. sont uniquement associés à la reproduction d'un système et n'incluent pas les coûts uniques qui entraînent un projet de démonstration, comme le rassemblement des données, la formation, la sensibilisation du public etc...

L'installation de 10 kW peut être financièrement viable d'un point de vue des coûts et bénéfices, selon la valeur actuelle d'une parcelle de terrain irrigué.

On peut conclure qu'en termes purement économiques, le projet est viable et peut satisfaire, jusqu'à un certain degré, les besoins du CDER, dans le sens où il démontre un système reproductible.

c. Acquisition de données

Un plan formel d'acquisition des données sera développé en conjonction avec le projet pilote. Les objectifs de ce programme d'acquisition des données seront d'évaluer la performance technique des équipements et l'impact de l'énergie fournie sur les bénéficiaires du projet.

d. Fonctionnement et maintenance

Le personnel du CDER prendra toutes les dispositions nécessaires pour le dispositif éolien soit maintenu en bon état de marche. Les besoins en pièces de rechange seront discutés avec les fabricants avant l'installation du dispositif. Un programme d'entretien préventif sera établi et exécuté sous la supervision du CDER. Le personnel de la coopérative sera formé pour être capable de veiller dans une certaine mesure à l'entretien des équipements.

e. Programme de formation

Un programme de formation sera mis au point pour le personnel du CDER et les usagers de la coopérative. Les aspects les plus importants de cette formation seront, pour le CDER, le montage et le fonctionnement des aérogénérateurs et le suivi de projet. Le fabricant fournira un ingénieur de montage qui supervisera l'installation des équipements. Quant à l'usager, il doit comprendre le fonctionnement de l'éolienne pour pouvoir prendre en charge et aider dans les réparations du dispositif. L'ingénieur de montage et le personnel du CDER formeront les usagers dans ce domaine dès que l'éolienne sera installée et que la phase d'expérimentation aura commencé.

f. Sensibilisation du public

Une des raisons du choix du site de Sidi Boulanouar

est son accessibilité. En effet le public pourra y accéder relativement facilement et le CDER pourra ainsi en tirer un profit maximum en termes de démonstration et sensibilisation. Après le démarrage de l'installation le CDER organisera un programme de visites sur les lieux à l'intention d'autres usagers potentiels, de fabricants et de hauts fonctionnaires. De plus, le CDER prévoit d'organiser des conférences qui présenteront les expériences du programme de projets pilotes.

CONCLUSION

Le dispositif de 10 kW de Sidi Boulanouar peut satisfaire certains des besoins du CDER. Le site est bien placé et permettrait au CDER de soutenir le projet de démonstration pilote et d'inviter les parties intéressées à visiter l'installation. Les membres du personnel du CDER bénéficieraient de cette installation en étant formés sur son fonctionnement, entretien et contrôle de performance. L'initiative a le potentiel d'être économiquement viable, suivant le rendement réel et les bénéfices engendrés par l'irrigation. Le rendement en terme d'eau fournie, dépendra de la fiabilité des équipements, qui est censée être adéquate, et du régime des vents. Le programme de suivi permettra de recueillir toutes les informations nécessaires pour faire un bilan complet et précis du fonctionnement de cette installation. Le projet soutient les membres de la coopérative qui pourront en bénéficier si le potentiel d'irrigation est atteint.

On peut donc conclure que le site de Sidi Boulanouar satisfait la plupart des objectifs d'un projet pilote, les quelques risques inhérents à la réalisation de ce type de projet étant largement compensés par les bénéfices espérés.

BORDEREAU DE SAISIE

C.N.D



MAROC

CODUD	1 1 1 1 1 1
INDEX 010	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
NAME	
A 020	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ISBN	
MOHAT A 110	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MAG A 090	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COBBI A 121	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COTRA A 122	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

TYPREL A 141	T	G	S	R
NOAP A 142				
NOGAP A 143				

GROUP A 030	C	B
DATE	11	
TYPE		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A 010	B	L	N	U	W	X	Y	Z											

UNIV	M	C	UNIV	M	C	S
A 131			A 132			

UNITE DOCUMENTAIRE (M/C/S)	A 210 AUTEUR ET AFFIL	BENAYER
	A 220 COLLECTIVITE AUTEUR	Centre de documentation des ...
	A 230 TITRE UD	PROJET ... DE ...
	A 240 A 250	TITRES TRADUITS utiliser le bordereau 2 : données complémentaires

SOURCE DOCUMENT GENERALE (M/C/S)	A 310 AUTEUR	
	A 320 COLLECTIVITE AUTEUR	
	A 330 TITRE DOCUM GEN	ACTES DU SEMINAIRE ...
	A 340	TITRE GENERAL TRADUIT ... utiliser le bordereau 2 : données complémentaires
	A 410 TITRE PUBLIC EN SERIE	
	A 420 VOLUM	
	A 430 ISSN	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

NOTES D'INDEXATION

DATIN D 100	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
DATSA D 110	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
DATNY D 120	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

FIN

النهاية

2