

563

(R)

E.44 084953 1

F

LES ÉOLIENNES

J. DUTARTRE
Ingénieur au C.E.E.M.A.T.

INTRODUCTION

De tous temps les hommes ont cherché à utiliser l'énergie représentée par les mouvements de l'air. Dès l'antiquité, les navigateurs avaient coutume d'offrir des sacrifices au dieu du vent EOLE afin de s'attirer ses bonnes grâces pour bénéficier de brises favorables. Si la science a pu depuis nous fournir des informations complémentaires sur la formation et la fréquence de cette forme d'énergie, on ne peut pas prétendre que de gros progrès aient été réalisés dans sa domestication. Le vent reste essentiellement une source d'énergie capricieuse aux fantaisies souvent imprévisibles, même par les services météorologiques les plus sophistiqués et c'est pourquoi aujourd'hui la part de l'énergie éolienne mise à la disposition de l'humanité peut être qualifiée d'insignifiante.

Dans l'ensemble des recherches menées sur les énergies nouvelles, la domestication du vent n'a qu'une part minime, le soleil et le nucléaire se taillant la part du lion.

Et cependant, comme pour le soleil, nous disposons là d'une source d'énergie inépuisable non polluante, dont la gratuité, dans le complexe économique actuel, prend de plus en plus d'importance vis-à-vis des énergies fossiles, au coût croissant d'une manière inexorable, ceci en raison même de la diminution de leurs réserves sur notre planète.

Cette énergie séduisante, bien que difficile à séduire, et dont la gratuité initiale masque généralement une utilisation onéreuse n'en reste par moins susceptible, dans certaines conditions, de rendre d'importants services à la population rurale, notamment dans les pays tropicaux peu équipés en infrastructures de base et où l'étirement des communications conduit à une considérable augmentation du prix de revient du combustible. De plus, le fonctionnement d'une éolienne ne réclame que très peu d'interventions tant pour la marche que pour l'entretien et ne fait appel qu'à une technique très simple ne nécessitant pas une qualification particulière du personnel devant en assurer la maintenance.

C'est pourquoi nous sommes persuadés que l'éolienne, comme elle l'a déjà été dans un certain nombre de régions du globe, restera dans les années à venir un outil idéal pour la promotion d'une population rurale dont le problème de base demeure la satisfaction de ses besoins en eau. C'est en effet sous cet aspect de l'utilisation de l'énergie éolienne que nous nous arrêterons en premier lieu.

HISTORIQUE

Pendant des siècles, l'homme n'a disposé comme sources d'énergie que du vent et de l'eau. La première

application du vent à des fins pratiques a certainement été la propulsion des navires à voiles. La pression du vent exercée sur la voile se traduit par un déplacement du bateau selon une trajectoire rectiligne; on utilise ainsi une très faible fraction de l'énergie contenue dans l'air en mouvement. Ce mode d'utilisation connaît actuellement un certain regain d'intérêt si l'on en juge par la prolifération des voiliers de plaisance sur nos côtes et sur nos lacs, ainsi que par la toute nouvelle apparition, ô combien fulgurante, des planches à voiles qui font actuellement fureur dans nos clubs nautiques.

L'étape suivante a vu la récupération de l'énergie éolienne dans une installation stationnaire où il a fallu substituer au déplacement rectiligne un mouvement de rotation.

Les moulins à vent les plus anciennement connus étaient ceux qu'utilisaient les Perses pour la mouture du grain. Ils comportaient un grand arbre vertical muni de plusieurs grandes voiles, le rotor était entouré par un mur circulaire percé de fenêtres permettant d'admettre le vent en provenance de plusieurs directions. Avec une telle disposition l'action du vent ne doit s'exercer que sur un côté seulement de l'axe vertical, l'autre côté devant être protégé par un écran. C'est ce modèle qui a été perfectionné au cours des siècles pour devenir une machine motrice efficace. Ces machines à vent comportaient un arbre horizontal muni de 4 ailes ou plus dont l'ensemble entièrement construit en bois formait la roue. Les ailes portaient des voiles en toile, ou en tout autre matière résistante, susceptibles d'être repliées ou étalées en fonction de la force du vent. Plus tard, ces voiles ont parfois été remplacées par des volets de bois montés sur charnière, de telle sorte qu'ils pouvaient s'effacer lorsque le vent devenait trop violent.

La roue du moulin devait être orientée et, pour cela, il était nécessaire, soit de monter l'ensemble du moulin sur un pivot, soit de monter sur un chemin de roulement le toit du moulin solidaire des pales et de l'arbre horizontal, le reste de la tour restant fixe. C'est cette seconde variante qui a été poussée à son ultime degré de perfectionnement par les Danois, notamment dans une station d'essais créée à cet effet.

Au début du XXème siècle, de nombreuses petites centrales éoliennes apparaissent en Angleterre, en Allemagne et au Danemark, comme celle d'Askou qui alimentait 450 lampes et 2 moteurs électriques.

Puis arrivent les autres sources d'énergie plus fiables et surtout permettant l'implantation de grosses sociétés productrices d'électricité anéantissant du même coup les espoirs d'un développement conséquent de l'énergie éolienne.

Les organismes de recherche toutefois ont poursuivi leurs efforts et c'est à cette époque, en 1941, que fut construit aux U.S.A. le plus grand aéromoteur du monde sur les collines de l'Etat du Vermont. La hauteur de la

tour était de 36 m, le diamètre du rotor de 33 m, chacune des deux pales en acier inoxydable pesait 8 t et avait une largeur maxima de 3,40 m. Poids total de l'installation 240 t. Puissance nominale 1.250 kW pour un vent de 15,3 m/s. L'expérience fut arrêtée en 1945 à la suite d'une fêlure de l'une des pales. En France, en 1958, à titre expérimental, l'E.D.F. a réalisé à Nogent-le-Roi un aéromoteur du même genre conçu par l'ingénieur ROMANI. L'hélice tripale avait 30 m de diamètre et la hauteur du pylône atteignait 32 m. Son poids était de 160 t pour une puissance nominale de 800 kW avec un vent de 16,7 m/s. Elle a produit 221.000 kWh entre le 2/4/58 et le 12/4/62, date de l'arrêt de l'expérience à la suite d'une rupture d'hélice. Elle fut alors démontée pour être transportée dans un endroit plus venté mais, le prix du pétrole s'écroulant, elle ne fut jamais remontée.

Les éoliennes, engins essentiellement mécaniques n'ont jamais jusqu'ici dépassé mille mètres carrés de surface, le vent fournissant environ 1 kW par m² dans les meilleures conditions; leur puissance s'est donc trouvée limitée aux alentours de 1.000 kW pour les plus grosses d'entre elles. Encore faut-il disposer d'un vent assez fort, et que représente aujourd'hui 1 mégawatt ! La moindre usine nucléaire mise en chantier en délivrera 1.000 ou 1.200. En outre, le petit mégawatt de l'éolienne est soumis aux aléas du vent ce qui peut diviser par dix le rapport des kilowatts/heure fournis sur une durée d'un an. Enfin, ces machines sont des engins monumentaux, de plus de 50 m de hauteur, délicats à réaliser et à utiliser et produisant souvent un ronflement désagréable. Il s'avère ainsi que l'hélice s'adapte de plus en plus mal aux grandes tailles et, bien que des projets grandioses soient actuellement étudiés aux U.S.A., on parle d'une éolienne de 90 m de diamètre qui, pour 10 millions de dollars d'investissement fournirait une puissance installée de 2,5 mégawatts; il ne semble pas que ce soit là la voie la plus prometteuse, par contre, il semble bien qu'en abandonnant l'hélice et en découvrant les possibilités des matériaux plastiques, les éoliennes pourraient devenir compétitives dans un bref délai.

L'ENERGIE EOLIENNE

L'énergie fournie par le vent est due à la vitesse du déplacement de l'air. Le but de l'éolienne est de transformer cette énergie cinétique en une autre forme plus facilement utilisable, mécanique (pompes), électrique (aérogénérateurs). Cette dernière énergie étant d'ailleurs souvent couplée avec la transformation en énergie chimique (production d'hydrogène) ou thermique (pompe à chaleur).

L'énergie cinétique d'un corps en mouvement est égale au demi produit de sa masse par le carré de sa vitesse

$$EC = 1/2 m v^2$$

Si le rendement de l'éolienne était parfait nous recueillerions ainsi la puissance du vent

$$P = 1/2 m v^2$$

m étant la masse d'air passant chaque seconde dans

4

l'éolienne.
v la vitesse du vent.

La masse d'air est égale au volume d'un cylindre dont la base est égale à la section de l'éolienne (s) et la longueur proportionnelle à la vitesse du vent (v) par la densité de l'air $\frac{d}{g}$

$$m = s v \frac{d}{g}$$

Ainsi la puissance théorique disponible dans une éolienne est de la forme

$$p = 1/2 s \frac{d}{g} v^3$$

Le rapport $\frac{d}{g}$ lié à la densité de l'air, pratiquement constant, est appelé coefficient k et dépend des unités utilisées pour p, s et v. Si on exprime :

$$\begin{aligned} p &\text{ en kW} \\ s &\text{ en m}^2 \\ v &\text{ en m/s} \end{aligned}$$

le coefficient k vaut 0,00064.

Il est essentiel de rappeler ici la notion de la relation entre l'énergie et la puissance.

L'énergie est définie comme « l'aptitude à produire un travail ». On entend par travail, l'effort fourni par une force déplacée selon une distance, la direction de la force étant confondue avec celle du mouvement.

La puissance représente « Le rythme de production du travail ou de dépense de l'énergie ».

L'énergie ou travail est mesurée en unités qui sont le produit d'une unité de force par une unité de longueur. Dans le système métrique, cette unité est le kilogram-mètre, noté kgm, dans le système anglo-saxon c'est le foot-pound. L'unité correspondante de puissance est le kilogrammètre par seconde (kgm/s). Ces unités sont relativement petites pour les applications, on utilise traditionnellement le cheval-vapeur (1 ch = 75 kgm/s ou 0,736 kW). Cette unité ne doit pas être confondue avec le HP (horse power) qui vaut 550 foot-pound par seconde, soit 76 kgm/s ou 1,104 ch ou 0,745 kW.

Actuellement, il est plus commode d'utiliser comme unité de puissance le kilowatt (kW) et comme unité d'énergie le kilowatt-heure (kWh).

En fait, le moulin n'est pas parfait et la puissance disponible est très variable. L'air en mouvement entre les pales doit conserver une vitesse suffisante pour s'écouler. Les frottements contre les ailes des aéromoteurs et les remous de l'air entraînent des pertes plus ou moins considérables, et un théorème dû à BETZ nous apprend qu'il existe un maximum d'énergie disponible qu'on ne peut dépasser. Cette puissance maxima est égale approximativement à 60% de la puissance totale.

Valeurs du coefficient k pour différents systèmes d'unités

Unité de puissance (p)	Unité de surface (s)	Unité de vitesse (v)	k
KW	m ²	m/s	0,00064
KW	m ²	km/h	0,000137
ch	m ²	m/s	0,0087
KW	square feet	miles/hour	0,000053
KW	square feet	knots	0,000081
hp	square feet	miles/hour	0,000071
w	square feet	feet/sec	0,00168

Le rendement ordinaire moyen est de l'ordre de 40% variant entre 25 et 60%. Quel que soit le rendement de l'appareil envisagé, on voit tout de suite que l'énergie éolienne utilisable dépend de 3 facteurs. Elle est ainsi proportionnelle à :

- la surface exposée au vent, donc au carré du diamètre pour une hélice,
- la vitesse du vent, plus exactement au cube de cette vitesse,
- la densité de l'air, donc à la pression atmosphérique.

Les écarts de cette donnée, toutefois, ne sont pas de nature à modifier de façon importante la puissance disponible et nous avons précisé que pratiquement nous ne tiendrons pas compte de ce facteur.

ACTION DU VENT SUR UNE PLAQUE

Si on place une plaque dans un courant d'air, cette plaque s'opposera au passage du vent. Pour la maintenir immobile dans le courant d'air il faudra exercer une certaine force en un point appelé centre aérodynamique de la plaque.

La force exercée sur la plaque est due à la différence de pression entre le côté face au vent (intrados) et le côté opposé (extrados). L'air s'écrase sur l'intrados d'où augmentation de pression et, étant arrêté par la plaque, il y aura moins d'air derrière donc baisse de pression sur l'extrados.

Si la plaque est maintenue par un bras pivotant autour d'un axe on peut décomposer la force exercée par le vent comme la résultante de deux forces dont l'une est parallèle au bras et l'autre qui lui est perpendiculaire. Cette force perpendiculaire tendra à faire pivoter la plaque autour de l'axe, la force parallèle sera compensée par la réaction de l'axe transmise par le bras.

Si on laisse la plaque se déplacer sous l'effet de la force sous forme d'énergie mécanique, moins il y aura de turbulence, plus ce travail sera important et pour diminuer les pertes par turbulence on devra utiliser une plaque profilée, c'est le cas des hélices d'aérogénérateurs.

Si nous appelons u la vitesse périphérique de l'extrémité la plus rapide de la surface active, v restant la vitesse du vent, le rapport $\frac{u}{v}$ permet de caractériser les différents

types de capteurs. Ces derniers peuvent être classés en deux catégories :

- ceux dont les surfaces actives se déplacent dans la

direction du vent; dans ce cas le rapport $\frac{u}{v}$ est généralement inférieur à 1. Ce sont des éoliennes où la pression du vent sur les surfaces actives est la principale action motrice ce qui nécessite pour obtenir de grandes puissances, des surfaces de grandes dimensions.

- ceux dont les surfaces actives se déplacent perpendiculairement à la direction du vent, dans ce cas $\frac{u}{v}$ peut

aller jusqu'à 10, on utilise ici la déviation d'une veine d'air sur un profil pour engendrer une poussée motrice et non plus la pression sur les surfaces actives.

RENDEMENT DES EOLIENNES

Si l'on compare l'énergie fournie par le vent à celle des autres sources d'énergie, on peut noter que :

- 1 m³ d'eau possède une énergie potentielle 800 fois supérieure à celle d'1 m³ d'air pour une même vitesse d'écoulement,
- 1 g d'essence a le même potentiel énergétique que 1.000 m³ d'air s'écoulant à la vitesse de 8 m/s,
- 1 g d'antracite a le même potentiel énergétique que 770 m³ d'air à 8 m/s.

Le vent a donc une faible valeur énergétique, néanmoins, du fait de sa gratuité, on peut penser, a priori, que l'énergie éolienne est bon marché. En fait, nous avons déjà vu que l'énergie réellement utilisable n'était que de 25 à 60% de celle formée par le vent, exprimée en kilowatts on obtient les chiffres suivants avec un rendement pratique de 30%.

Vitesse du vent		Puissance fournie kW			
m/s	km/h	Diamètre de l'aéromoteur m			
		5	10	15	20
2	7,2	0,03	0,12	0,27	0,48
4	14,4	0,24	0,96	2,17	3,84
6	21,6	0,81	3,24	7,34	12,96
8	28,8	1,93	7,68	17,41	30,72
10	36,0	3,77	15,00	34,00	60,00

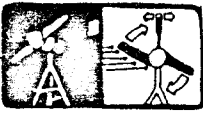
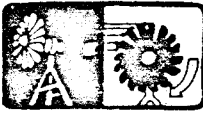
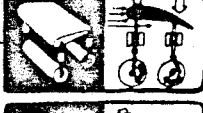










CLASSIFICATION DES EOLIENNES

Il existe de nombreux dispositifs permettant de capter l'énergie du vent dont le tableau ci-contre essaie de donner une classification. Certains sont déjà utilisés couramment, d'autres font l'objet de recherches plus ou moins avancées.

La majorité des éoliennes construites actuellement sont du type à axe horizontal parallèle au vent, car jusqu'à présent c'est l'hélice qui a de loin le meilleur rendement aérodynamique, peut-être d'ailleurs parce qu'elle a bénéficié du résultat des études menées par la recherche aéronautique.

LES EOLIENNES A AXE HORIZONTAL

Une distinction peut être faite entre les modèles de 2

Type de machine		Rapport u/v	Caractéristiques			
CAPTEURS DYNAMIQUES	Axe horizontal	Axe parallèle au vent	Aérogénérateurs 2-4 pales		2 à 20	simple
			Eolienne multipale (pompage)		2 à 5	simple
	Axe en travers		Machine alternative		0,5	complexe peu fiable
			Cerf-volant		0,5	peu fiable
			Barrage éolien		2 à 3	complexe peu fiable
	Axe vertical	Panémons		3 à 6	simple doit être lancé	
		Machines à traînée simples	Eolienne Savonius		0,5 à 1,5	simple
			Turbine multipale		0,3 à 0,4	simple
			Moulinet		0,3 à 0,6	simple
		Machines à traînée complexes	Machine à aube pivotante		0,2 à 0,6	complexe peu fiable
Machine à clapets battants				0,2 à 0,6	peu fiable bruyante	
Machine à cache orientée				0,2 à 0,6	simple	
CAPTEURS STATIQUES	Eolienne par dépression			projet		

à 4 pales dits aérogénérateurs car produisant la plupart du temps de l'électricité et les modèles multipales utilisés plus couramment au pompage de l'eau.

Lorsque l'axe est en travers du vent, on distingue 3 types de capteurs :

LA MACHINE ALTERNATIVE OU A AILE BATTANTE

Elle est composée d'une plaque aérodynamique type aile d'avion. Cette aile forme un angle avec la direction du vent sauf au changement de sens de marche; cet angle permet au vent d'exercer une pression vers le haut ou vers le bas, ceci alternativement. Elle est reliée à des roues par l'intermédiaire d'axes verticaux et de bielles qui transforment le mouvement alternatif de l'aile en mouvement de rotation des roues.

LE CERF-VOLANT

Relié à un pylône par l'intermédiaire d'un bras rigide, il transmet des mouvements d'oscillations alternatifs dans le plan vertical.

LE BARRAGE EOLIEN

Il est constitué par deux arbres l'un supérieur, l'autre inférieur, reliés par deux chaînes entre lesquelles sont disposés un certain nombre de pales orientées de manière à transformer la poussée du vent en déplacement latéral. L'action est double puisque la poussée du vent s'exerce une première fois sur les pales se trouvant à l'avant et une deuxième fois sur celles se trouvant à l'arrière.

LES EOLIENNES A AXE VERTICAL

LA PANEMONE

3 ou 4 pales fixes sont disposées en couronne autour de l'arbre moteur vertical, leur profil est tel qu'elles sont motrices pendant la presque totalité de la rotation. L'inconvénient de cette machine est d'avoir des pales qui se suivent dans le sillage les unes des autres provoquant des tourbillons nuisibles. Pour améliorer le rendement on a pu mettre en place un carénage dissymétrique qui reste cependant volumineux et difficile à orienter.

Dans les machines à traînée simples on trouve 3 modèles particuliers :

L'EOLIENNE SAVONIUS

C'est un type de machine constituée de demi-cylindres très facile à fabriquer et robuste; elle convient parfaitement pour des installations rudimentaires ne demandant pas de hauts rendements comme nous pourrions le voir plus tard en relatant les réalisations de l'I.U.T. de Dakar.

LA TURBINE MULTIPALE

Dans cette éolienne, les filets d'air agissent deux fois en entrant et en sortant du rotor. On peut en améliorer l'efficacité en mettant un carénage permettant d'orienter les filets d'air vers les pales.

LE MOULINET

Il est constitué par 4 demi-sphères opposées deux à deux et reliées à l'arbre moteur par 4 bras. Ce dispositif est souvent utilisé pour la mesure de la vitesse du vent.

Trois modèles également dans la catégorie des machines à traînée complexes :

LA MACHINE A AUBES PIVOTANTES

Par l'intermédiaire d'engrenage et de courroies, les pales pivotent dans le sens inverse au sens de rotation avec une vitesse angulaire deux fois moindre. Une girouette est nécessaire pour orienter le dispositif. Les pertes mécaniques sont malheureusement très importantes.

LA MACHINE A CLAPETS BATTANTS

Chaque pale est libre sur un axe, et une butée la maintient pendant une certaine fraction de la rotation du rotor. La pale est motrice lorsqu'elle est en butée, libre, elle s'oriente au vent et n'est pas résistante. La pale est motrice sur la moitié de la rotation, sur l'autre son effort est nul; le principal inconvénient résulte du bruit engendré par le claquement des pales sur les butées.

LA MACHINE A CACHE ORIENTE

Elle est constituée par un arbre vertical avec un certain nombre d'aubes rayonnantes et pivotantes autour de cette arbre. Seule une moitié de la machine est mise au contact de la poussée éolienne, l'autre pale lui étant soustraite par un cache pour éviter l'effet de résistance.

Les capteurs statiques ne sont cités que pour mémoire.

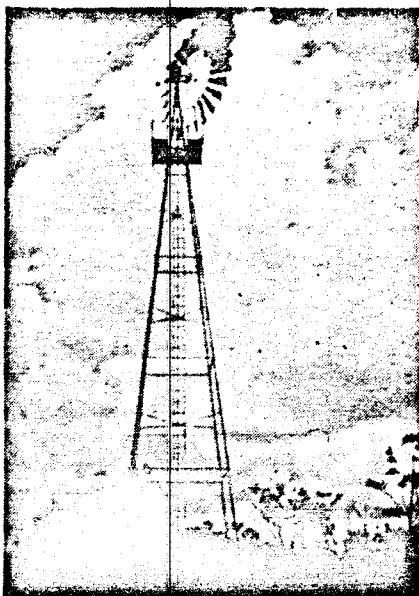
L'EOLIENNE MULTIPALE

C'est une éolienne très répandue à axe horizontal parallèle au vent, conçue pour de faibles vitesses de rotation : 30-80 tr/mn.

Elle est constituée par une roue de 2 à 6 m de diamètre environ sur laquelle est rattaché un grand nombre de pales obliques presque toujours complétées par un dispositif d'orientation et un système d'effacement devant les vents violents.

Elle est généralement associée à une pompe à piston immergée dans un puits; un système bielle-manivelle convertit le mouvement rotatif en mouvement rectiligne alternatif transmis au fond du puits par une série de tringles coulissantes.

Il faut noter que les constructeurs, à l'heure actuelle, sont nombreux et que les détails de fabrication varient quelque peu d'un constructeur à l'autre. Dans le détail de sa constitution on trouve généralement les éléments



Cliché C.E.E.M.A.T.
Eolienne multipale utilisée pour le pompage des eaux de drainage sur le polder Marie-Anne en Guyane.

suivants :

LA TÊTE MOBILE

— L'organe moteur ou rotor

Il est constitué par un certain nombre de pales en tôle galvanisée ou en toile, de 8 à 20, qui sont légèrement incurvées pour en améliorer le profil aérodynamique. Ces pales sont portées par deux cercles, eux-mêmes fixés à un certain nombre de bras (6 en général) reliés à un moyeu. L'ensemble est rigoureusement équilibré et tourne sur roulements à billes ou sur coussinets lisses anti-friction avec lubrification automatique.

— La dérive ou dispositif orienteur

Pour être efficace, la roue doit être orientée face au vent; c'est le rôle de la dérive. La tête de l'éolienne comporte un chemin de roulement à billes qui lui permet de s'orienter spontanément dans le vent sous l'effet d'une grande girouette par un bras généralement en tôle galvanisée.

— L'effacement automatique

L'axe du rotor est légèrement excentré par rapport à l'axe de pivotement de sorte que, lorsque le vent dépasse une certaine vitesse, le rotor tend à se placer dans le plan de la girouette, cette dernière comporte un ressort de rappel calibré au maximum supportable de la force du vent. Cet effacement partiel assure le réglage automatique de la puissance au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse. Toutefois, vu l'inertie considérable des rotors à pales multiples, ce système automatique de réglage devient impraticable lorsque le diamètre dépasse 7 m.

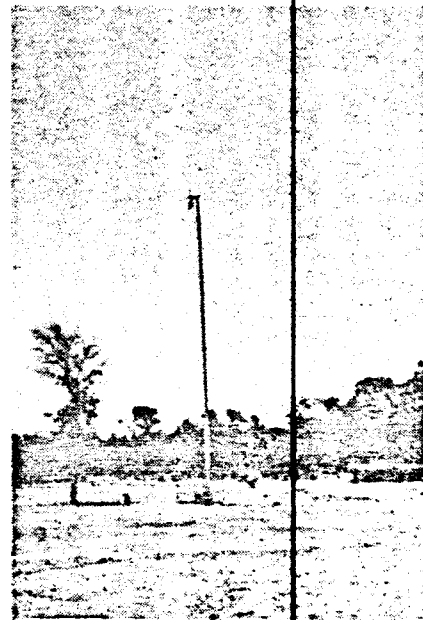
On prévoit également un frein pour arrêter la machine et la maintenir bloquée.

LA TRANSMISSION

L'axe de la roue transmet le mouvement de rotation du moyeu à un système classique bielle-manivelle, il repose sur des paliers et les engrenages fonctionnent généralement en bain d'huile afin que la lubrification soit automatique. Le rapport de transmission est compris entre 2,33 et 4. Une ou deux bielles commandent la tige de pompe et l'on peut faire varier la course de la pompe en modifiant la longueur de la bielle, cette dernière est reliée à la tige de commande métallique par un couplage élastique. La tige de commande rentre dans le tube qui lui sert de guide jusqu'au piston.

LES ELEMENTS FIXES QUI NE SONT PAS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE DEPLACÉS PAR LE VENT

— Le pylône



Cliché C.E.E.M.A.T.
Eolienne LUBING en Empire Central africain avec pylône tubulaire et cables

Les éoliennes classiques sont montées sur des pylônes de 8 à 20 m. En règle générale, le pylône devra être suffisamment haut pour que l'axe du rotor soit nettement au-dessus des arbres ou autres masques se trouvant dans un rayon de 200 à 300 m. Il convient de laisser une marge de sécurité de 3 m entre le point haut de cet obstacle et le point bas du rotor. En terrain plat il y a quelque avantage à choisir des pylônes élevés pour bénéficier d'un certain gain de vitesse. Sur une colline le gain sera moins net et il n'est plus alors nécessaire de choisir un pylône de grande hauteur.

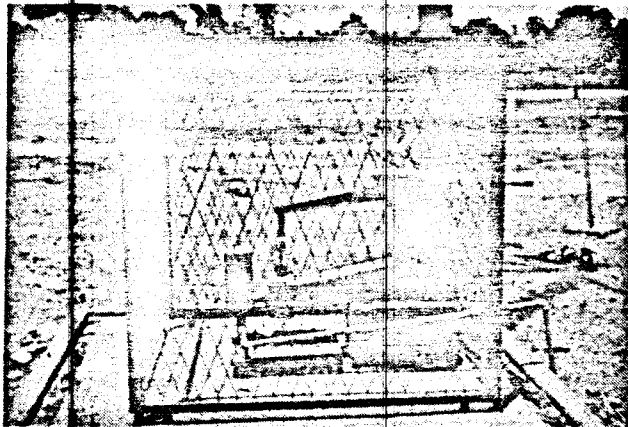
Les pylônes sont construits le plus souvent en fer corneière galvanisé. Ils peuvent comporter trois ou quatre montants. Cette dernière solution est la plus courante car la plus robuste. Des traverses horizontales sont disposées entre les montants avec un écartement voisin de 1,50 m et des tiges d'acier tendues font office de contreventement. Des semelles de base et d'ancrage sont placées au

piéd des montants afin de fixer rigidement le pylône à un bloc de béton assurant des fondations solides. On prévoit aussi une échelle d'acier sur l'un des côtés et une plate-forme d'inspection avec un garde-fou à proximité du sommet.

— Les pompes

On peut les classer en deux catégories : les pompes ordinaires et celles pour puits profonds.

. Pompes pour puits peu profonds



Cliché C.E.E.M.A.T.

Pompe de l'éolienne précédente avec dispositif de protection.

L'usage de la classique pompe aspirante est limité aux hauteurs d'aspiration inférieures à 7 ou 8 m; ces pompes conviennent pour débiter des quantités importantes d'eau à des hauteurs d'élévation relativement faibles. Elles sont toujours amorcées, ce qui est un avantage avec une éolienne. Placée au pied de l'éolienne, elle est reliée au puits par une conduite d'aspiration, souvent enterrée, munie à sa base d'un clapet de pied et d'une crépine. Si l'éolienne doit être à proximité du puits il n'est donc pas indispensable qu'elle soit placée directement au-dessus.

Lorsqu'une pompe aspirante ou autre est destinée à refouler de l'eau à une hauteur appréciable, par exemple, la hauteur du pylône de l'éolienne, on prévoit une tête de refoulement avec un amortisseur pneumatique où règne une pression correspondant à la hauteur de refoulement. En général on monte un clapet sur la canalisation de sortie. Une pompe aspirante ne devrait pas refouler à plus de 30 m.

. Pompe pour puits profonds

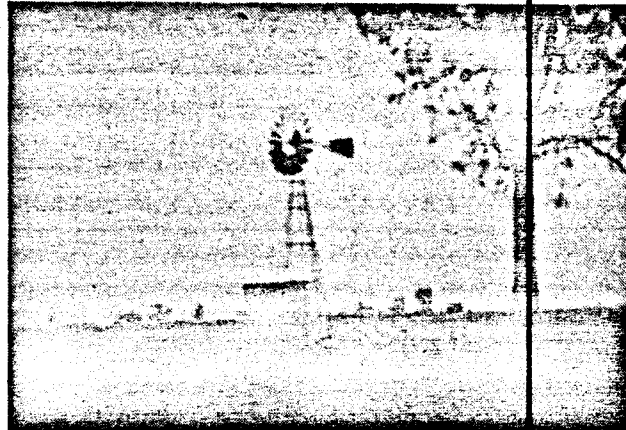
Dans ces pompes, la partie essentielle, à savoir le cylindre, est immergé à proximité du fonds du puits et le piston est entraîné par une longue tige à partir de l'axe de l'éolienne. Les détails de construction varient peu selon la profondeur du puits. Pour les très grandes profondeurs toutefois, 100-120 m, les soupapes sont remplacées par des clapets à billes.

LES SYSTEMES DE DISTRIBUTION D'EAU

La disposition des canalisations au-dessus de la

surface du sol dépendra évidemment des utilisations envisagées.

Dans le cas le plus simple, le réservoir d'accumulation se trouve au niveau du sol à proximité de la pompe qui se déverse directement dedans. A partir d'un tel réservoir on peut alimenter des canaux d'irrigation ou des abreuvoirs.



Cliché C.E.E.M.A.T.

Eolienne multipale avec réservoir d'eau pour l'approvisionnement de la population et des troupeaux dans le Gharb Marocain.

Si l'on a besoin de pression pour distribuer l'eau dans un système de canalisation d'une certaine étendue, il faudra placer le réservoir sur une élévation de terrain avoisinant ou éventuellement sur un pylône en treillis à proximité de l'éolienne.

Pour terminer, il faut préciser que les éoliennes multipales sont caractérisées par un couple de démarrage élevé et par un faible rendement lorsque le vent est fort, ceci étant imputable à l'invariabilité du couple. Ces deux aspects sont inséparables du principe même de la pompe à piston. Toutefois, on peut améliorer légèrement les conditions de fonctionnement en augmentant la course en fonction de la force du vent.

A partir de 1956 et au cours des années 60, un certain nombre d'éoliennes ont été installées dans les régions pastorales du Mali sur les forages où le niveau de pompage se trouvait entre 40 et 50 m de profondeur. Il s'agissait principalement de 38 éoliennes multipales dont 16 CAME (fabrication algérienne) et 22 AERMOTOR d'origine américaine dont les roues montées sur pylônes de 16 m mesuraient 6 m de diamètre. Elles actionnaient des pompes de refoulement par l'intermédiaire d'un train de tiges métalliques. Le débit de ces appareils calculé sur un an fut en moyenne de 10 à 20 m³/j mais la moyenne de saison sèche heureusement plus élevée pouvait atteindre 30 m³/j. De Décembre à Janvier, les éoliennes installées au nord de Gao, remplissaient pendant la nuit leur réservoir de 40 m³. C'est dire que dans des conditions éoliennes proches de l'optimum ces multipales élevaient à 45 m de hauteur environ 4 m³ d'eau par heure.

L'entretien fut assuré jusqu'en 1962 par l'entreprise ELAF qui avait exécuté les forages et installé la plupart des éoliennes, pendant cette période, régulièrement entretenues et réparées dans les délais convenables, elles ont donné toute satisfaction. A partir de cette date, une équipe locale était mise en place à Gao sous l'appellation

de «Brigade d'entretien des éoliennes». Cette brigade ne put fonctionner normalement en raison de difficultés financières et son activité diminua rapidement pour s'éteindre en 1964. L'une des principales causes étant l'absence de pièces de rechange tant pour les éoliennes que pour les véhicules. En 1971, la situation était la suivante :

- les éoliennes CAME tombées en panne très peu de temps après leur installation étaient hors d'usage.
- par contre les éoliennes AERMOTOR étaient en place et quelques unes continuaient de tourner bien que plus entretenues depuis 1964. Il faut quand même préciser que les pompes étaient toutes en panne soit bloquées, soit qu'elles n'aient plus de joints.

A l'origine des défaillances on trouve souvent la même cause, le manque d'eau et donc le fonctionnement à sec de la pompe ce qui prouve que le débit de pompage était supérieur au débit disponible, plusieurs cas ont ainsi pu se produire :

- mise en place d'une pompe à trop fort débit,
- colmatage du forage et diminution du débit,
- les variations de la nappe ont été plus importantes que prévues,
- le forage a été mal exécuté.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ÉOLIENNE MULTIPALE

Avantages	Inconvénients
Démarrage excellent par faible vent (2,5 à 3 m/s): ce qui n'est pas le cas des aérogénérateurs à hélices.	Relative fragilité du dispositif mécanique, notamment au niveau de la tringlerie.
Faible vitesse de rotation bien adaptée au fonctionnement d'une pompe à piston commandée par came et tringlerie.	Inadaptation aux puits profonds de plus de 40 m (rupture fréquente des tringleries trop longues).
Grande simplicité de construction facilitant leur fabrication éventuelle sur place.	Impossibilité de fonctionner par vent fort (l'éolienne, pour éviter une rupture, doit se mettre en drapeau, on ne peut donc valoriser les vents rapides pourtant très efficaces).
Maintenance simple ne demandant pas de qualification élevée.	Mauvaise adaptation aux changements de vitesse et d'orientation du vent (inertie élevée).
Coût d'investissement modéré.	La liaison permanente éolienne-pompe risque d'entraîner un assèchement du puits après une longue période de vent fort (d'où rupture de la pompe).

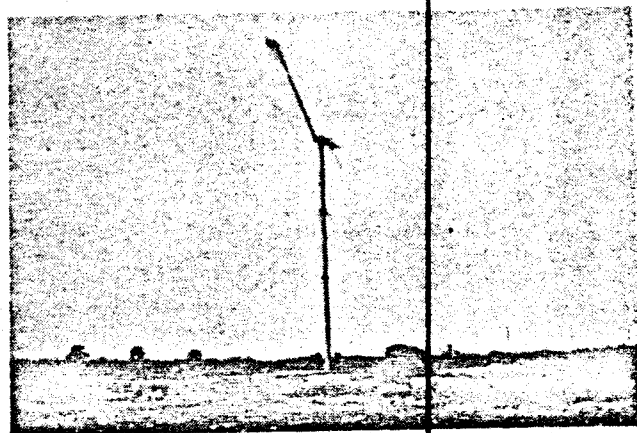
FIABILITE DES ÉOLIENNES MULTIPALES

La fiabilité des éoliennes multipales est bonne, sous réserve d'un entretien préventif régulier. L'échec des 38 éoliennes installées au Mali dans la région de Gao (1956-1960) a été essentiellement dû à un manque d'entretien régulier et à des défauts de conception (mauvaise adaptation des pompes au débit des puits).

L'AÉROGÉNÉRATEUR

La grande différence entre les éoliennes de pompage et les aérogénérateurs repose sur la vitesse de rotation beaucoup plus grande pour la deuxième catégorie.

Les aérogénérateurs sont toujours des machines rapides afin de réduire le coût de la transmission. En effet, pour qu'une génératrice électrique ne soit pas trop coûteuse, elle doit tourner à grande vitesse. Les rotors sont donc du type hélice avec un petit nombre de pales, en général deux ou trois. Leur couple de démarrage est faible et le vent doit atteindre une vitesse relativement élevée pour que la machine commence à fournir de l'énergie. La vitesse d'amorçage d'une génératrice éolienne peut fort bien atteindre 4,6 m/s et même le double au lieu des 3 m représentant la valeur normale des éoliennes multipales.



Aérogénérateur 4100 F P 7 G susceptible d'être utilisé pour le pompage de l'eau.



Détail de ce même aérogénérateur bipale avec empennage de queue pour assurer l'orientation au vent.

De plus, comme l'énergie obtenue peut être facilement transportée sans pertes excessives, à des distances atteignant plusieurs centaines de mètres, l'aérogénérateur pourra être placé dans un site choisi ce qui représente une importante supériorité sur les éoliennes de pompage nécessairement liées à un puits.

Nous nous contenterons de décrire un aérogénérateur de petit modèle susceptible d'être utilisé dans un pays en voie de développement.

Il est généralement constitué par :

- une hélice à deux ou trois pales de diamètre compris entre 1,80 m et 3 m tournant à grande vitesse et entraînant une dynamo. L'entraînement peut être direct pour les petites machines, pour les plus grosses un train d'engrenages est nécessaire,
- un empennage de queue pour maintenir le rotor face au vent,
- un dispositif de réglage de la vitesse pour replier progressivement le rotor dans le sens du vent aux vitesses élevées,
- un dispositif d'éclipsage avec commande placée au pied du pylône,
- un pylône ou un simple poteau,
- une batterie d'accumulateurs et un tableau de commande avec un dispositif propre à empêcher la batterie de se décharger dans la génératrice par temps calme.

La tension de la dynamo équipant ces petites machines est faible, généralement 6-12-24 ou 32 volts. Ceci pour ne pas multiplier exagérément le nombre d'éléments à 2 V de la batterie d'accumulateurs.

La batterie d'accumulateurs constitue un élément essentiel des petites installations éoliennes. Par vent fort, la batterie se charge et accumule l'énergie électrique qu'elle pourra restituer par vent calme.

Deux types de batterie peuvent être utilisés, les accumulateurs alcalins au nickel fer et les accumulateurs au plomb. Ces derniers sont les plus répandus et présentent l'avantage d'avoir une tension plus élevée par élément: 2 à 2,3 V contre 1,5 à 1,75 V. Par contre les accumulateurs alcalins sont plus robustes surtout avec des conditions irrégulières de fonctionnement.

FIABILITE DES AEROGENERATEURS

Les aérogénérateurs, soignés, sont à même d'avoir une

excellente fiabilité. Un rapport du Service Français des Phares et Balises sur l'utilisation des aérogénérateurs AEROWATT pour l'alimentation des phares confirme que l'on dispose aujourd'hui de machines exceptionnellement fiables même dans un environnement difficile (atmosphère marine, vents de plus de 150 km/h, etc...).

Les aérogénérateurs sont construits pour 100.000 heures de fonctionnement à vitesse nominale, soit plus de vingt ans, et ne demandent qu'un entretien réduit.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES AEROGENERATEURS

Avantages	Inconvénients
<p>Possibilité de faire tourner l'aérogénérateur par vent très violent, contrairement à l'éolienne multipale.</p> <p>Bonne utilisation des vents moyens, forts et très forts.</p> <p>Très bonne régulation (hélices à pas variable).</p> <p>Multiplicité des utilisations, le courant alternatif ou continu est très facilement utilisable (électropompes, éclairage, moteurs, etc...).</p> <p>Souplesse d'installation : on peut mettre l'aérogénérateur à un endroit optimum bien venté et utiliser l'énergie en un autre endroit (transmission électrique).</p> <p>Possibilité d'asservissements multiples.</p> <p>Bonne fiabilité pour certains modèles.</p>	<p>Pas de démarrage par vent faible (très courant en Afrique); l'obtention de la puissance nominale suppose une vitesse du vent déjà importante (8 à 6 m/s), sauf pour AEROWATT, qui a des modèles atteignant leur puissance nominale à 5 m/s.</p> <p>Prix élevé, notamment pour les modèles performants.</p> <p>Technicité élevée ne favorisant pas la construction et l'entretien par des moyens locaux.</p>

COMPARAISON DE QUELQUES AEROGENERATEURS REGULIEREMENT COMMERCIALISES

Constructeur	Modèle	Vitesse nominale du vent	Puissance nominale	Tension	Prix du générateur seul (1978) (sortie usine)
AEROWATT (France)	24 FP 7 G	7 m/s	24 W	24 V CC	6.226 F
	150 FP 7 G	7 m/s	120 W	24 V CC	10.450 F
	100 FP 5 G	5 m/s	100 W	24 V CC	13.150 F
	300 FP 7 G	7 m/s	350 W	24 V CC	16.570 F
	1100 F P 7 G	7 m/s	1125 VA	220/380 50 Hz	32.300 F
		5 m/s	1125 VA	220/380 50 Hz	72.400 F
	4100 FP 7 G	7 m/s	4100 VA	220/380 50 Hz	76.450 F
ELECTRO Gmbh WINTER-THUR (Suisse)	W 50	18 m/s	50 W	6/12/24/CC	4.870 F
	W 250	18 m/s	250 W	12/24/CC	6.290 F
	WV 15	9 m/s	600 W	24/36/CC	6.800 F
	WV 25 G	10 m/s	1200 W	24 à 110 CC	8.300 F
	WV 35 G	11 m/s	4000 W	48 à 110 CC	13.900 F
	WV 15 W	10 m/s	1200 W	110 V CA (30-70 Hz)	9.640 F
	WVG 500	10 m/s	5000 W	110/220 V (50-80 Hz)	

Constructeur	Modèle	Vitesse nominale du vent	Puissance nominale	Tension	Prix du générateur seul (sortie usine)
ENAG (France)		8 m/s	650 W	24 V CC	8.300 F
		8 m/s	1200 W	24 V CC	15.000 F
		8 m/s	2500 W	24 V CC	24.000 F
DUNLITE ELECTRI- CAL (Australie)		11 m/s	2000 W	115 V CC	≈ 15.000 F

Nota : AEROWATT étudie actuellement (1977) avec GUINARD un nouveau système de pompage éolien comprenant : un rotor AEROWATT, un multiplicateur, un arbre tournant et une pompe centrifuge GUINARD. Ce système apparaît, a priori, comme très prometteur (simplicité de construction, couple très faible au démarrage, possibilité de fonctionnement par vent fort et rendement intéressant).

Seuls les aérogénérateurs AEROWATT, avec leur faible vitesse nominale peuvent être efficacement utilisables en Afrique, leur prix élevé tient à cette possibilité de fonctionnement par vent moyen et à leur fiabilité très élevée.

Dans les régions tropicales, où la vitesse moyenne est de l'ordre de 5 m/s, l'alimentation électrique de stations de pompage, requiert une puissance de l'ordre d'un à quelques kilowatts.

Le pompage a été une des premières applications de l'énergie éolienne par la mise en oeuvre des éoliennes multipales entraînant directement une pompe alternative à piston. La plupart des expériences réalisées dans ces

zones ont montré, dans le chapitre précédent, que la fiabilité des multipales était souvent en défaut. Il semble que l'existence de machines éoliennes plus fiables soit aujourd'hui susceptible de donner satisfaction au problème de l'exhaure de l'eau, crucial dans ces pays. Le pompage éolien électrique permet de résoudre plusieurs problèmes auxquels ne répondent pas les éoliennes multipales :

Avec l'aérogénérateur :

- on peut dissocier l'éolienne du puits et donc de la pompe, la distance séparant les deux pouvant être de quelques centaines de mètres, ce qui permet de placer l'aérogénérateur là où il y a le plus de vent sur une colline par exemple alors que le forage sera réalisé au plus près de la nappe phréatique,

- on peut remplacer éventuellement l'éolienne par un groupe électrogène.

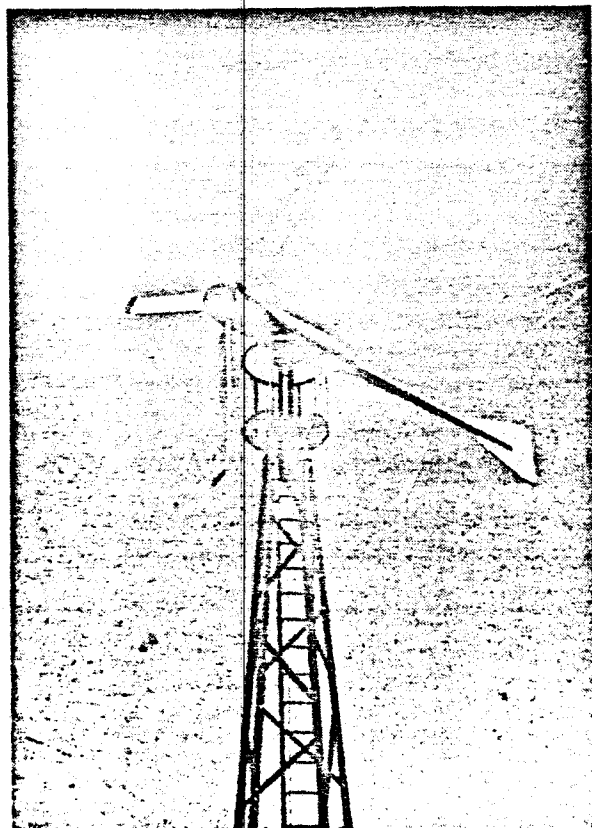
C'est pourquoi plusieurs projets sont actuellement en cours de réalisation.

Nous citerons à titre d'informations :

- la mise en place au début de 1979 de stations de pompage AEROWATT au Sénégal et dans les îles du Cap-Vert,

- en Juin 1979, également, on mettra en service un générateur de 100 kW pour le compte de l'E.D.F. sur l'île d'Ouessant. Cet aérogénérateur sera couplé avec le réseau de l'île actuellement alimenté par des groupes électrogènes,

- sur l'atoll d'Arutua en Polynésie Française, à la fin de 1979 sera également mis en service un aérogénérateur doté d'une hélice de 18 m de diamètre qui fournira par l'intermédiaire d'une batterie d'accumulateurs la quasi totalité de l'énergie électrique nécessaire au réseau de l'île.

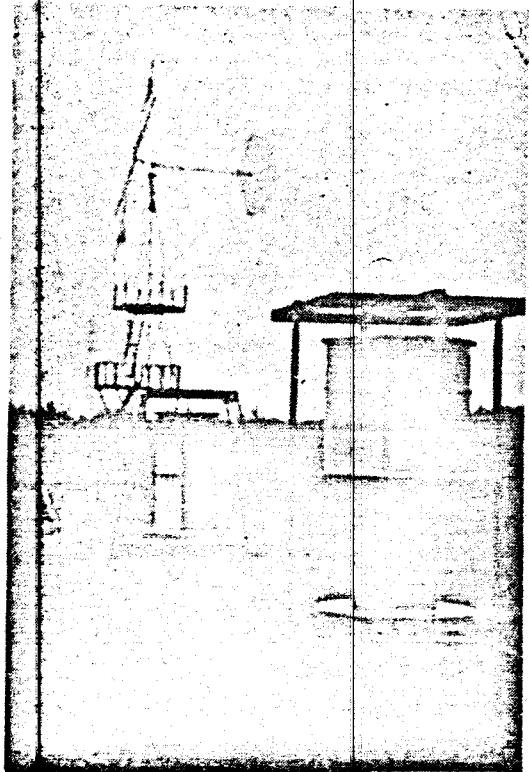


Aérogénérateur Ideolec 3000 de chez HUMBLLOT

L'ÉOLIENNE SAVONIUS

Le principe de fonctionnement de ce rotor est basé

sur l'application du théorème de la quantité de mouvement en mécanique des fluides, il consiste à dévier deux fois de 180° le jet d'air circulant à l'intérieur de deux surfaces demi-cylindriques associées, provoquant ainsi des réactions motrices intenses sur les faces internes de ces demi-cylindres.



Deux éoliennes Savonius à 1 et 2 étages au premier plan et une éolienne à voile en fond de toile au Brace Institute.

D'autre part, ce principe de fonctionnement utilise la différence importante du coefficient de pénétration dans l'air entre la face interne et la face externe d'un demi-cylindre.

Pour ce rotor, le rapport $\frac{u}{v}$ varie de 0,5 à 1,5

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
Technologie très simple; facilement réalisable en Afrique. Bonne fiabilité prévisible. Entretien très réduit. Coût très réduit. Très bien adapté aux faibles vents de l'Afrique (2-5 m/s) et à leur instabilité directionnelle éventuelle. Résistance aux tornades. Liaison éolienne - pompe simple et performante.	Rendement faible pour les vents > 5 m/s. Nécessité d'une maintenance régulière (comme toute machine tournante).

Les raisons du choix de ce type d'éolienne par

MM. BREMONT et MARIE à l'I.U.T. de Dakar (voir étude d'une éolienne de type «SAVONIUS») dans le n° 57 de M.A.T. sont les suivantes :

Il leur fallait un capteur à fort moment d'inertie avec une vitesse de rotation à fluctuation lente devant les variations rapides de l'intensité du vent. Si le rendement est moins bon, par contre le rotor ne s'arrêtera pratiquement jamais de tourner, résolvant ainsi le problème du démarrage avec un fort couple résistant. Ceci convient d'ailleurs parfaitement pour une consommation en eau d'une communauté rurale relativement constante et pour laquelle il est inutile de rechercher la performance maximum pour la rafale de 29 m/s.

Les mesures exécutées sur ce prototype ont permis de vérifier que le système bien adapté pour des vents inférieurs à 5 m/s perdait toute son efficacité au-delà de cette limite et ceci pour deux raisons :

- la première est inhérente au principe du rotor SAVONIUS qui induit un effet centrifuge à grande vitesse de rotation diminuant la circulation d'air dans le rotor et donc l'action motrice. C'est d'ailleurs cet effet qui permet au rotor de supporter sans s'emballer l'excès des bourrasques de 25 à 30 m/s,
- la seconde provient de la réalisation; les aubes motrices constituées par des demi-fûts présentent un bord d'attaque qui est une arête vive provoquant de ce fait un décollement immédiat de la veine, ce qui nuit à l'efficacité de la dépression sur l'extrados et donc à la puissance motrice pour des vitesses élevées.

Dans le cadre de cette étude, l'éolienne était couplée avec une hydropompe MENGIN; c'est une pompe alternative à membrane à commande hydraulique très simple qui présente les avantages suivants :

- aucun mouvement de frottement au niveau des organes descendus dans les puits,
- descente aisée du dispositif dans le puits; un cylindre en PVC suspendu à deux tuyaux semi-rigides donc adaptation instantanée à la hauteur de la nappe,
- commande hydraulique par transmission de pression (mouvement de va-et-vient) donc possibilité de réduire au maximum la perte de charge supprimant le problème de l'implantation,
- système peu coûteux, la partie haute de la pompe ainsi que le corps de pompe immergé pouvant être transférés technologiquement.

Un défaut à signaler, pour une hauteur de relèvement inférieure à 10 m, avec la membrane actuelle conçue par le constructeur pour des profondeurs de 10 à 100 m, le rendement est inférieur à celui des pompes à tringles.

Ce modèle expérimental à échelle réduite a donné une moyenne de 4,8 m³/j d'eau pompée à 13 m de profondeur sur une période de cinquante jours consécutifs avec des pointes à 8,2 m³/j environ.

Ces résultats, selon les Auteurs, pourraient largement être améliorés pour des vitesses de vent comprises entre 4 et 6 m/s en supprimant l'arête vive du bord d'attaque et en donnant à l'intrados de l'aube un profil tel que la résultante des forces de surpression atteigne un moment

maximum par rapport à l'axe ce qui va éloigner du centre le point d'application et, ce faisant, augmenter d'une part l'effet centrifuge qui freine le rotor pendant

les bourrasques et réduire d'autre part la différence entre le coefficient de l'intrados et celui de l'extrados.

COMPARAISON DES EOLIENNES POUR L'EXHAURE DE L'EAU

	Eolienne multipale	Aérogénérateur + pompe électrique	Eolienne Savonius IUT
Principe	Eolienne multipale + excentrique + tringles + pompe à piston	Aérogénérateur couplé à une pompe électrique immergée ou en surface	Rotor Savonius + réducteur + hydropompe VERGNET
Débit	10 à 20 m ³ /j à 50 m pour éoliennes AERMOTOR de Gao. Diamètre de roue : 6 m	3,5 m ³ /h à 30 m pour le modèle AEROWATT 1125 VA avec une vitesse du vent de 5 m/s, 12 m ³ /h à 30 m pour le modèle 4100 VA à 7 m/s.	4,8 m ³ /j à 13 m pour le modèle 1/6 – ultérieurement 20 à 30 m ³ /j.
Fonctionnement par vent faible.....	oui > 3 m/s	Non (minimum 5 m/s)	Oui > 2 m/s
Fonctionnement par vent fort	Non, mise en drapeau	Oui	Oui (stabilisation au-delà de 6 m/s)
Technicité	Moyenne	Elevée	Réduite
Simplicité entretien.....	Moyenne	Non	Très simple
Possibilité construction locale	Partiellement	Non	Oui pour l'essentiel
Coût	Modéré	Elevé	Faible
Nécessité installation au-dessus du puits	Impératif (compte tenu des tringles)	Non	Non (transmission hydraulique)
Possibilité d'implantation en un lieu distinct	Non	Oui (jusqu'à 500 m de la pompe)	Oui (mais très proche)
Possibilité de contrôle de niveaux	Non	Oui	Non
Fiabilité	Bonne avec entretien	<i>A priori</i> , bonne	<i>A priori</i> , élevée
Possibilité pompage à plus de 50 m.....	Non	Oui, pas de limite avec une pompe électrique immergée	A la rigueur

LE POTENTIEL EOLIEN

Il est nécessaire de bien connaître le régime des vents pour évaluer les possibilités énergétiques des éoliennes.

La région inter-tropicale comprend à l'intérieur des continents une zone à régime de vents faibles, les vitesses moyennes annuelles étant de l'ordre de 1 à 2 m/s. Cette zone recouvre en particulier celle de la forêt équatoriale et se situe grosso modo entre le 16° de latitude nord et le 16° de latitude sud. Sauf pour quelques micro-régions bénéficiant d'un relief accentué ou au contraire d'une surface d'eau importante cette zone est économiquement inutilisable sur le plan éolien.

Ce régime des vents est amélioré sur les façades maritimes des continents surtout sur les façades orientales qui reçoivent les alizés dont l'intensité est réglée annuellement par des déplacements du soleil. Les façades maritimes

peuvent avoir des régimes de vent qui atteignent des vitesses moyennes de 6 à 7 m/s.

Partant de cette limite des 16° de latitude, la vitesse moyenne annuelle augmente régulièrement, ainsi par exemple elle est de 3 m/s au Sahel sur le parallèle 16° N et elle atteint 5 à 6 m/s sur le parallèle 30° N.

Dans les archipels et sur les côtes soumises au régime des alizés, les vitesses moyennes du vent peuvent atteindre des valeurs très intéressantes pour l'utilisation de l'énergie éolienne, c'est le cas de Nouadhibou en Mauritanie où cette valeur est de l'ordre de 10 m/s.

De même qu'à l'extrémité de la presqu'île du Cap-Vert à Dakar 75% des vents sont égaux ou supérieurs à 5 m/s.

Sur le littoral du golfe de Guinée on peut compter sur une fréquence de 55% de vents supérieurs ou égaux à 3 m/s.

A Madagascar, tout le versant oriental de la chaîne montagneuse, l'extrême Sud et la Côte Nord-Ouest ont

une fréquence de vents supérieurs à 3 m/s.

Ces indications générales devront toujours être contrôlées avant l'installation d'une éolienne dans un lieu particulier. Elles montrent cependant que les limites d'utilisation des éoliennes dans les territoires africains intertropicaux sont assez étroites.

L'ETUDE DU SITE

L'étude du potentiel éolien en un site précis est la condition indispensable à l'implantation d'une éolienne. Le choix de l'emplacement est capital si l'on se rappelle que la puissance du vent varie comme le cube de sa vitesse.

Après, dans un premier temps, avoir choisi un emplacement où le potentiel éolien est considéré comme exploitable par un type quelconque d'éolienne.

Dans une deuxième sélection on doit rejeter tout site abrité par des élévations naturelles du terrain ou des masques quelconques : arbres, obstacles, etc..., particulièrement lorsque ces masques sont dans la direction des vents dominants.

L'étape suivante conduira à une étude topographique des zones les mieux ventées. De façon générale la vitesse du vent augmente avec l'altitude; ainsi recherche-t-on systématiquement les lieux élevés. De plus, il faut également tenir compte d'un autre facteur lorsque le vent s'écoule sur une colline, la vitesse des couches les plus proches du sol est affectée de façon très appréciable et si la colline a un profil assez accentué mais bien régulier, la vitesse du vent au sommet est supérieure à la moyenne par suite du rapprochement des filets d'air sous la pression des couches supérieures; c'est l'effet Venturi.

Ceci est illustré dans le tableau suivant :

Site No.	Altitude du sommet (m)	Moyenne annuelle au sommet (m/s)	Moyenne annuelle dans la région environnante (m/s)	Gain de vitesse au sommet (%)
1	150	11,2	6,7	67
2	200	9,8	7,3	38
3	365	12,1	7,8	54
4	413	11,2	6,2	80
5	578	11,2	5,6	100

La colline idéale pour assurer la plus forte augmentation de la vitesse du vent peut être décrite de la manière suivante : elle est conique avec un sommet arrondi afin que l'effet optimal puisse se produire avec des vents de toutes les directions; elle est isolée dans une plaine sans autre élévation de terrain dans un rayon de 3 à 5 km.

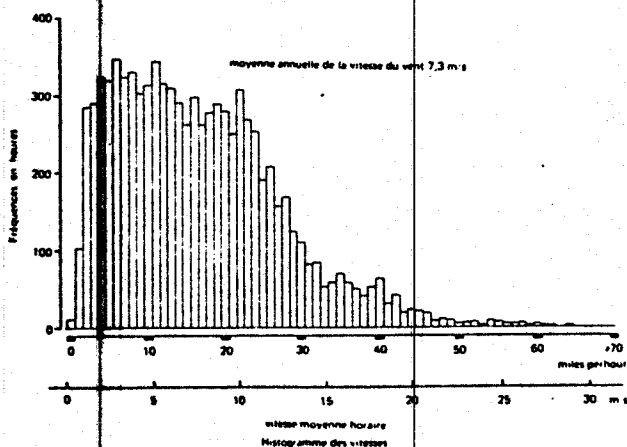
Après avoir déterminé les emplacements les plus favorables, il restera à effectuer des mesures anémométriques. Il n'est pas nécessaire d'installer partout un appareillage complet enregistrant en permanence la vitesse du vent. Il suffit d'avoir un relevé continu des moyennes horaires pour tracer l'histogramme des vitesses.

En fait, les données importantes à connaître au point où l'on veut installer l'éolienne sont :

- direction du vent dominant,
 - vitesse maximum du vent enregistrée pendant les dernières années,
 - potentiel éolien en ce point, pris sur un an ou plus, enregistré par un anémomètre intégrateur par exemple,
 - chronogramme des vitesses donnant le pourcentage de temps pendant lequel le vent aura dépassé une certaine vitesse,
 - nombre maximum de jours calmes successifs de manière à pouvoir déterminer la capacité de stockage nécessaire,
 - étude de la périodicité du vent pendant une journée. Si par exemple le vent est fort de 15 à 19 heures tous les jours et presque nul aux autres heures, les relevés journaliers pris à 8 h et 20 h n'auraient aucune signification.
- L'étude de site doit être menée avec soin afin de profiter au maximum des possibilités offertes. En effet, l'énergie du vent étant aléatoire, il convient de réduire au maximum la part laissée au hasard et de se prémunir contre les vents destructeurs.

LE STOCKAGE

Pour obtenir une production régulière d'énergie, il est



nécessaire d'effectuer un stockage de cette énergie de manière à la restituer lorsque le vent ne pourra plus entraîner l'éolienne.

Nous avons déjà vu que, dans le cas du pompage de l'eau, le stockage le plus logique consistait à accumuler l'eau dans un réservoir dont on devra déterminer les dimensions après étude — mais il existe d'autres formes de stockage de l'énergie qu'il est bon de présenter au Lecteur.

LE VOLANT D'INERTIE

Il est capable d'emmagasiner une certaine quantité d'énergie qu'il libère au moment du ralentissement de l'ensemble rotatif. Les volants en fonte classiques per-

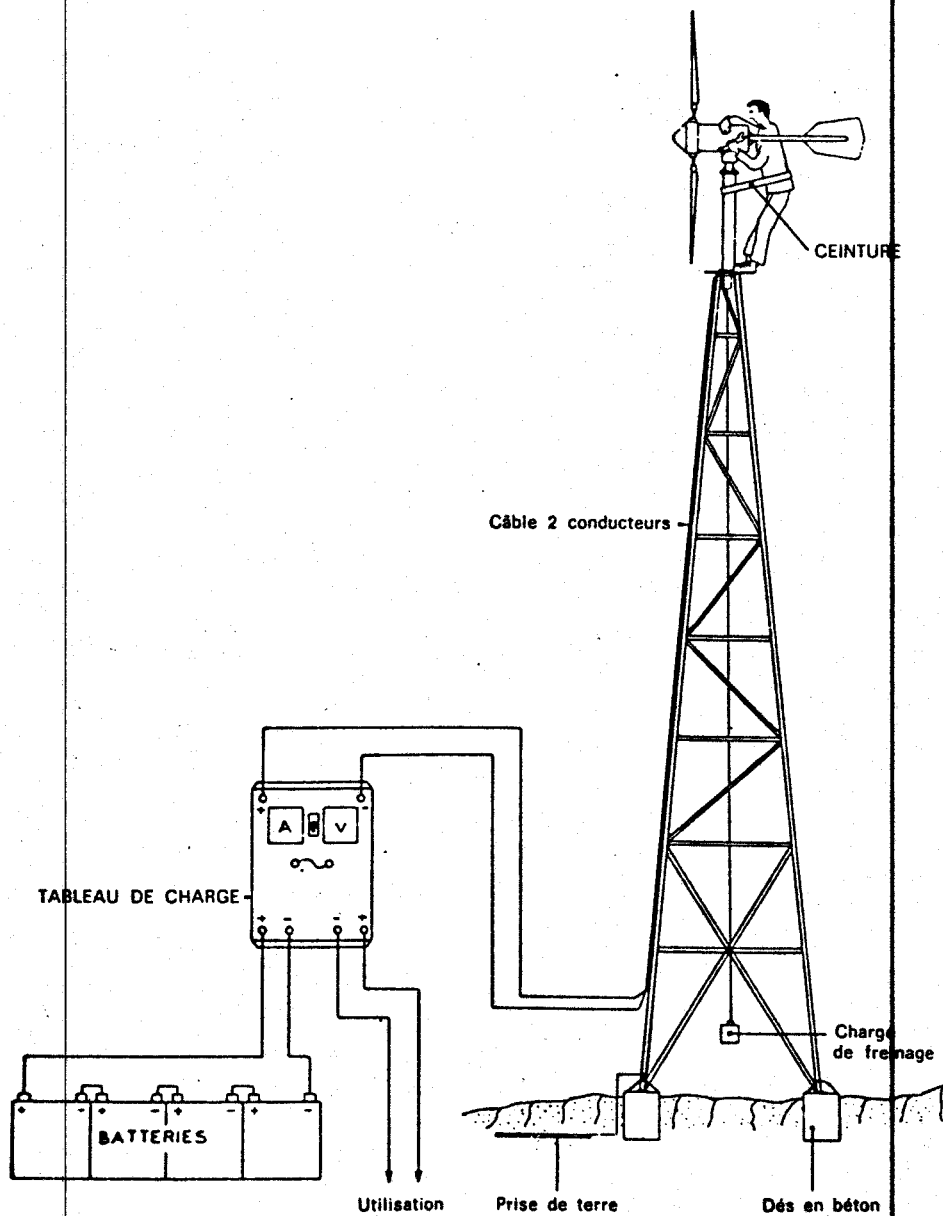
mettent de faibles stockages; ils entretiennent surtout la rotation de la génératrice par vent instable. Récemment de nouveaux volants faits de fibres composites (résine + métal) ont donné de bien meilleurs résultats.

Le rapport de l'énergie restituée par le volant à celle fournie par ce dernier est de l'ordre de 80%.

LE POMPAGE D'EAU

L'énergie supplémentaire sert à pomper de l'eau qui entraîne des turbines aux heures creuses. Ce système est utilisé par l'E.D.F. dans les Vosges entre le lac Blanc et le lac Noir. On pourrait constituer une série de petites retenues couplées avec des éoliennes.

Le rapport entre l'énergie fournie par la descente de



Installation d'une éolienne avec stockage par batteries.

l'eau et celle nécessaire à sa montée est de l'ordre de 70%.

L'AIR COMPRIME

L'énergie en excès sert à comprimer de l'air dans un réservoir à pression constante. Cet air servira par la suite comme comburant dans une turbine à gaz. On ne peut pas détendre directement l'air dans une turbine car l'abaissement de la température déposerait du gel sur les pales de la turbine.

Le rapport entre l'énergie récupérée et l'énergie stockée est dans ce cas de l'ordre de 80%.

L'HYDROGENE

On peut produire de l'hydrogène et de l'oxygène par décomposition de l'eau sous action électrique, c'est-à-dire par hydrolyse. L'hydrogène peut ensuite être transporté soit sous forme gazeuse, soit sous forme solide (hydrures) pour être utilisé comme combustible. Le rapport de l'énergie récupérée par la combustion de l'hydrogène à l'énergie dépensée pour l'hydrolyse est de l'ordre de 70%.

LA BATTERIE

Cette dernière transforme l'énergie électrique en énergie chimique stockable pour la restituer par la suite sous forme électrique avec un rendement de 60%. Il existe deux types de batteries, celles au plomb et les alcalines qui peuvent être au cadmium-nickel, fer-nickel ou zinc-argent; ces dernières durent 30 ans au lieu de 10 mais sont trois fois plus chères. Cette méthode a déjà été évoquée lors de l'étude de l'aérogénérateur.

LE STOCKAGE THERMIQUE

Depuis longtemps on a pensé à stocker l'énergie produite par une éolienne sous forme de chaleur. Ce procédé utilisé par les Danois durant l'entre-deux-guerres a été repris et remis au goût du jour en 1974. On utilise pour cela une pompe à chaleur. Des études pour coupler une éolienne et une pompe à chaleur sont menées actuellement, notamment par M. ROMANI.

LE COUPLAGE DE L'ENERGIE SOLAIRE ET EOLIENNE

Comme l'énergie éolienne, l'énergie solaire est susceptible de varier considérablement et rapidement. On peut espérer en utilisant les deux conjointement réduire les capacités de stockage. Des études américaines ont montré que pour l'énergie éolienne, la capacité de stockage nécessaire pour assurer une fourniture constante 19 années sur 20 est de l'ordre de 1.500 H, pour l'énergie solaire de 1.600 H alors que pour une installation couplant les deux formes d'énergie elle ne serait que de 900 H.

LES EOLIENNES ARTISANALES

Les éoliennes utilisées au pompage de l'eau sont un moyen idéal pour s'affranchir de la technologie tentacu-

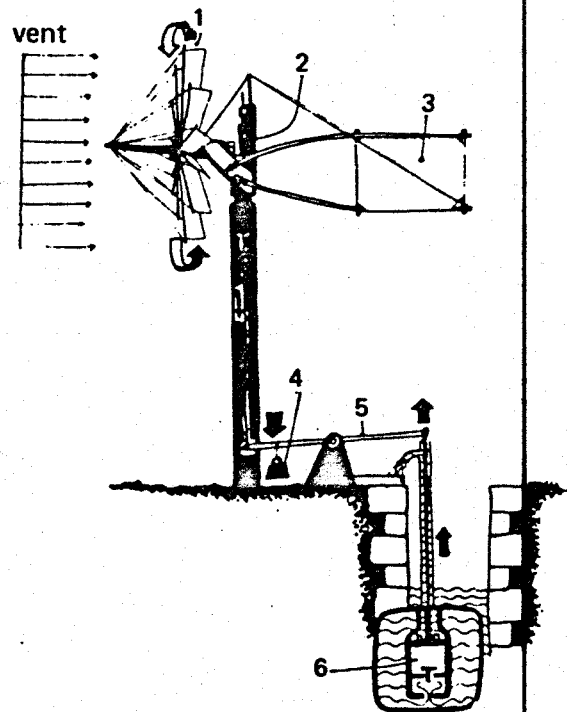
laire des pays industrialisés dans la mesure où elles ne sont pas trop difficiles à fabriquer et à entretenir.

C'est pourquoi de nombreuses personnes et organismes ont fait des recherches pour apporter des solutions au problème capital du manque d'eau des pays sahéliens.

Nous allons présenter quelques réalisations répondant à cette définition.

EOLIENNE DE M. SAHORES

Elle a été primée au récent concours EOLE. C'est une éolienne multipale de 3 m de diamètre, les pales sont en tissu tendu sur une armature de bois, la pompe est alternative actionnée par un système bielle-manivelle. Les pales sont reliées entre elles par un système élastique ce qui leur permet de s'effacer devant les fortes poussées du vent. La surface de toile est maxima lorsque le vent est faible ce qui donne un bon couple de démarrage. On obtient ainsi une grossière régulation de la vitesse. Cette éolienne est orientée par une dérive en toile montée sur bambous. Sa construction est relativement facile, mais elle doit être démontée par vent fort, son coût en 1974 était de 350 F.



- 1 - Roue,
- 2 - Transmission de la rotation,
- 3 - Dérive,
- 4 - Contrepoids,
- 5 - Balancier,
- 6 - Pompe.

Principe et schéma de fonctionnement de l'éolienne SAHORES.

Cette machine peut pomper jusqu'à 1,5 m³/h avec une rotation de 60 tours par minute. Elle démarre avec des vents de 2 m/s et pompe alors 120 l/h à 6 m de profondeur. On peut pomper jusqu'à 40 m.

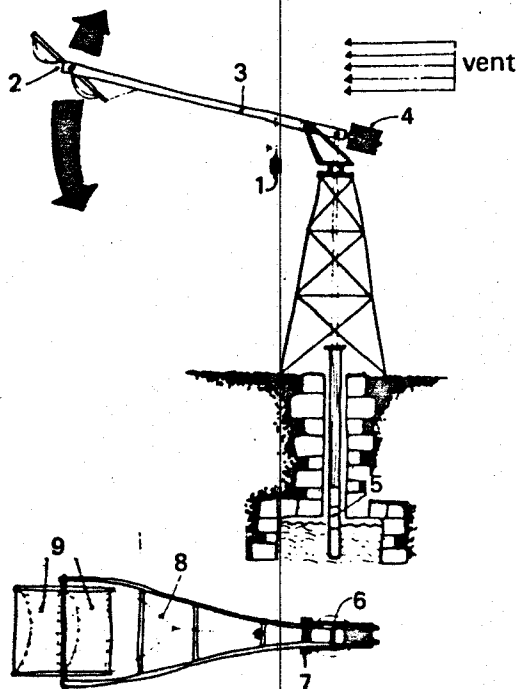
EOLIENNE A AILE BATTANTE

Cet appareil conçu par Peter BADE utilise le mouvement alternatif créé par la machine pour actionner directement une pompe à piston.

L'aile est montée sur un bras et pivote dessus. Le pivotement de la pale est obtenu par le changement d'angle du vent apparent dû au mouvement du bras; ce pivotement inverse le rôle de l'aile et crée une force opposée sur le bras ce qui le ramène à la position initiale et ainsi de suite. Cette machine relativement simple à construire peut donner 100 m³ par jour avec :

- un vent de 5 m/s,
- une aile de 29 m²,
- un bras de 20 m de long,
- une profondeur de nappe de 40 m.

Il peut être construit artisanalement avec un bras en bois et une aile en toile.



- 1 - Contrepoids de l'aile,
- 2 - Aile à voiles,
- 3 - Bras du levier,
- 4 - Contrepoids du levier,
- 5 - Pompe,
- 6 - Tringle de la pompe,
- 7 - Pivot du levier,
- 8 - Dispositif limitant l'oscillation,
- 9 - Voiles.

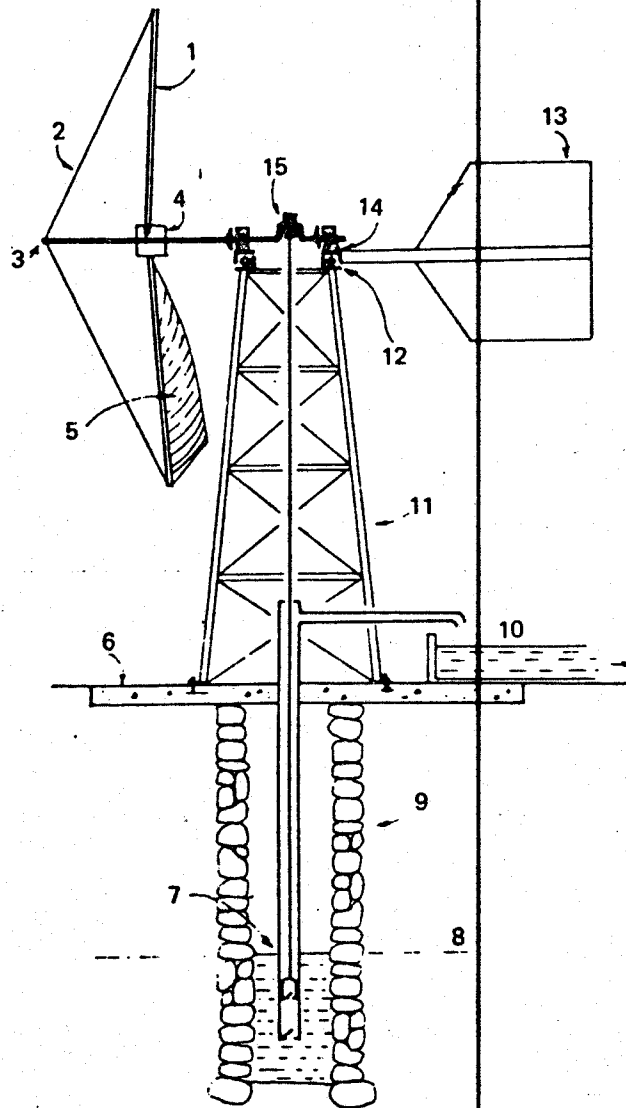
Principe et schéma de fonctionnement de l'aile battante.

EOLIENNE TRIPALE

Le Brace Institute a construit une éolienne tripale de 9,75 m de diamètre dont les pales en fibre de verre peuvent être construites artisanalement. La transmission

est celle d'un pont arrière de camion avec boîte de vitesses et provient de la récupération. Il y a un dispositif régulateur de vitesse afin de limiter la puissance de sortie de la pompe à 26 kW. L'orientation est manuelle. Pour une hauteur de pompage de 10 m, on peut obtenir 183 m³/h avec un vent de 8 m/s et 616 m³/h avec un vent de 12 m/s.

LES EOLIENNES A VOILES



- 1 - Mâture,
- 2 - Hauban métallique,
- 3 - Axe,
- 4 - Moyeu,
- 5 - Voile,
- 6 - Dalle en béton,
- 7 - Pompe à piston,
- 8 - Niveau de l'eau,
- 9 - Puits ou forage,
- 10 - Eau pompée,
- 11 - Tour (métal ou bois),
- 12 - Roulements à rouleaux (ou paliers en bois imbibés d'huile),
- 13 - Gouvernail,
- 14 - Plaque tournante avec paliers en bois,
- 15 - Bras de manivelle.

Coupe schématisée de l'éolienne à voile type «Crétoise».

Elles dérivent toutes du modèle Crétois utilisé depuis longtemps dans tout le bassin méditerranéen aussi bien

pour pomper l'eau que pour moulin le grain. Cette éolienne à axe horizontal est constituée d'un certain nombre de voiles triangulaires, 6 à 12 fixées sur des rayons en bois eux-mêmes solidaires d'un moyeu central. En cas de vent violent, la voile se gonfle, se déforme diminuant sa surface au vent en freinant sa vitesse de rotation.

Cette souplesse de la voile lui permet de démarrer pour des vents de faible vitesse: 2,75 m/s. Elle est généralement couplée directement sans aucun engrenage à un piston à qui elle transmet le mouvement alternatif dans le corps de pompe.

Une «Crétoise» de 4 m de diamètre avec un vent de 3,5 m/s peut fournir une puissance de 100 watts et donc remplacer un homme.

Ce type d'éolienne a été testé par P. FRAENKEL de la mission presbytérienne américaine à la station de Omo en Ethiopie. Le compte rendu de cet essai a été publié sous l'égide de l'Intermédiaire Technology - 20 éoliennes ont ainsi pu être mises en place entre le 1er Avril 1974 et le 20 Août 1975 en comparaison d'ailleurs avec un modèle Savonius artisanal et des modèles industriels Dempster.

L'EOLIEUNE SAVONIUS

Nous citerons pour mémoire cette éolienne déjà évoquée et réalisée par MM. BREMONT et MARIE à l'I.U.T. de Dakar.

LES EOLIENNES A BASE DE COMPOSANT DE CYCLES

On utilise très couramment les roues arrière de bicyclette pour constituer le rotor de l'éolienne soit complètes, soit en choisissant un certain nombre de composants tels que jantes, rayons, moyeux, roues dentées, etc... On fait souvent appel également aux tubes du cadre ainsi qu'au pédalier, aux manivelles.

14 modèles d'éoliennes composées en partie de pièces détachées de cycle sont décrites dans le petit opuscule de J. RAPHE édité par la Société Parisienne d'Edition dans la collection «Les sélections du système D».

CONSTRUCTEURS D'EOLIENNES

EOLIENNES POUR LE POMPAGE DE L'EAU

On trouve actuellement sur le marché un grand nombre d'éoliennes servant au pompage de l'eau. En premier lieu des éoliennes multipales assez rustiques dont les avantages principaux sont le faible prix et la robustesse. En général, le rotor entraîne un axe horizontal lui-même relié à un axe vertical, par un engrenage si on utilise une pompe centrifuge ou par une bielle si l'on actionne une pompe à piston.

La pompe à piston présente l'avantage de bien travailler pour de faibles débits (quelques centaines de l/h) à forte profondeur (jusqu'à 30 ou 50 m). Elle est bien adaptée aux pays arides où on va chercher profondément relativement peu d'eau. Elle présente l'inconvénient de nécessiter un bon couple au démarrage et donc d'imposer l'utilisation d'un rotor multipale.

Les constructeurs dont les noms suivent proposent

Machinisme Agricole Tropical - N° 67

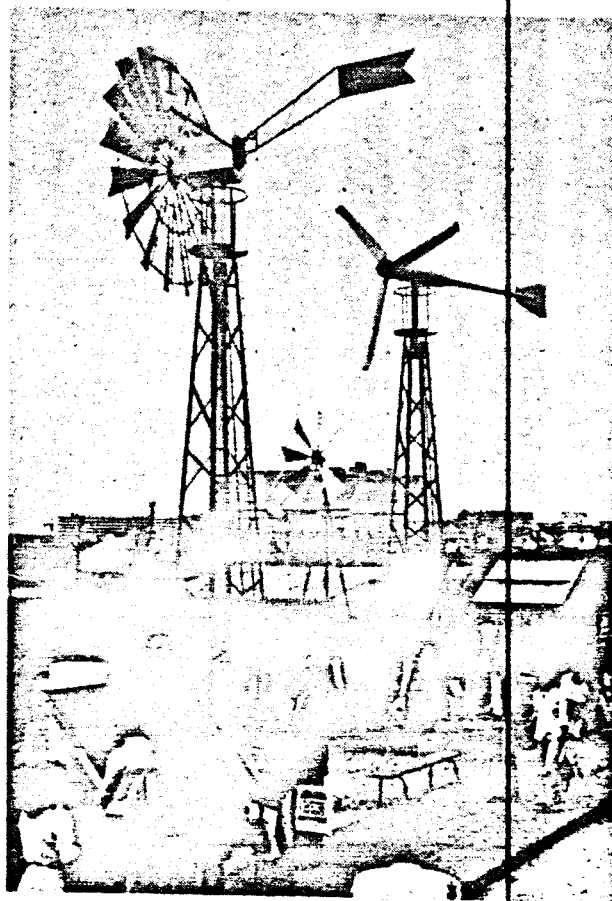
tous des éoliennes multipales et des pompes à piston.

Ets BRUNO Z.I. Bonchamp-les-Laval - 53210 ARGENTRE - Tél. : (43) 53-65-90, propose des éoliennes «Le Mistral» allant de 2 à 6 m de diamètre.

C.E.M.A. 37, rue du Maréchal Foch - 69220 BELLEVILLE-SUR-SAONE - Tél. : (74) 66-14-24. Entreprise de serrurerie qui fabrique environ quinze modèles de «pompes éoliennes». Ces éoliennes se mettent en drapeau par fort vent, grâce à une pale annexe.

GUILLEMINOT - 10270 LUSIGNY-SUR-BARSE - Tél. : (25) 45-20-02, propose des éoliennes de 2 à 2,60 m de diamètre avec pylônes de 4 à 6 m de hauteur.

Ets M. HUMBLLOT & Fils - 8, rue d'Alger, Coussey 88300 NEUFCHATEAU - Tél. : (29) 94-09-09.



A la Foire de Paris les productions des Ets HUMBLLOT.

A gauche GEANTEOL.

Au centre SUPERCADTEOL.

A droite IDEOLEC 3000.

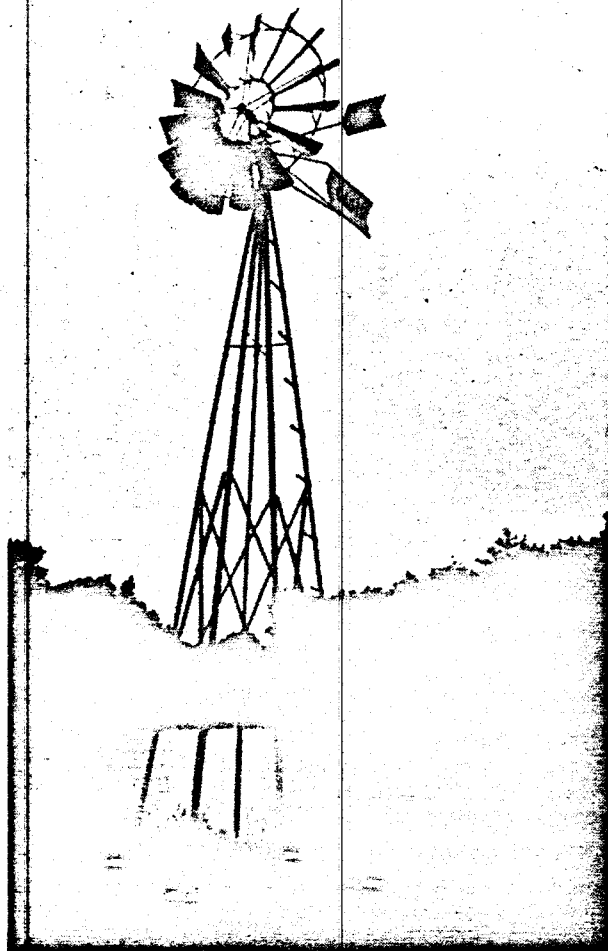
fabrique plusieurs types d'éoliennes :

- CADETEOL avec roues de 175 cm,

- JUNIOREOL avec roues de 175 - 200 - 225 - 250 - 275 cm,

- GEANTEOL avec roues de 350 - 400 - 500 - 600 cm.

PONCELET & Cie - B.P. 1, Place de la Victoire
10380 PLANCY L'ABBAYE - Tél. : (25) 37-40-15,
commercialise sous la marque Oasis des éoliennes de
pompage dont les diamètres vont de 1,40 à 2,50 m. Ces
éoliennes possèdent une «régulation» par mise en drapeau
de l'hélice.



L'éolienne «Oasis» de chez PONCELET.

ATELIERS ET CHANTIERS NAVALS DE
CHALON-SUR-SAONE - B.P. 103 - 71103 CHALON-
SUR-SAONE - Tél. : (85) 46-75-34, fabricant des
éoliennes sous licence NEYRPIC. Ce sont des éoliennes
plus sophistiquées que celles proposées par les construc-
teurs précédents, mais nettement plus chères.

AEROGENERATEURS

AEROWATT SA - 36, rue Chanzy - 75011 PARIS -
Tél. : 371-36-21 et 371-35-78, cette société commercialise
deux gammes d'éoliennes FP 5 et FP 7. La puissance

nominale correspond à un vent de 5 m/s (18 km/h) pour
les éoliennes FP 5 et 7 m/s (25 km/h) pour les éoliennes
FP 7.

La gamme FP 7 va de 24 W (1 m de diamètre) à
4.100 W (9,8 m de diamètre). Ces éoliennes bipales
possèdent une régulation très bien étudiée et résistent à
des vents de plus de 200 km/h.

ENAG SA - Route de Pont l'Abbé - 29000 QUIMPER
Tél. : (98) 95-44-25 et 95-31-44, fabrique des éoliennes
plus rustiques que les éoliennes AEROWATT. Les diffé-
rents modèles vont de 400 à 2.500 W. La puissance
nominale est atteinte pour des vents de 8 m/s, il existe
3 modèles : 650 W, 1.200 W et 2.500 W qui fournissent
un courant continu sous 24 à 30 V pour les 2 premiers
modèles, 110 V pour le 3ème.

Ets HUMBLLOT (déjà cité) construit depuis fin 1975
un aérogénérateur appelé Ideolec.

ATELIERS ET CHANTIERS NAVALS DE CHALON-
SUR-SAONE (déjà cités), Neypic. Eolienne de 6,10 m de
diamètre modifiée en aérogénérateur. Installation de 8 kW
110 continu.

FABRICANTS ETRANGERS

ELEKTRO St Gallerstrasse 27 WINTERTHUR Suisse.
Fabrique des éoliennes de 50 W à 5.000 W alternatif ou
continu (1 dizaine de modèles) avec pales en bois.

WINCO Sioux City - Iowa 51102 U.S.A. -
SAMCO - Palais de la Scala - MONTE-CARLO (Importa-
teurs).

ALTERNATIVE et TECHNOLOGIE - B.P. 51 -
75861 PARIS CEDEX 18 (Importateurs).
L'éolienne est de 200 W.

DEMPSTER INDUSTRIES BEATRICE NEBRASKA
68310 U.S.A. Construit des éoliennes de 1,80 m à 5,50 m
de diamètre.

LUBING 2847 BARNSTORF Postfach 171 R.F.A.
1 modèle tripale de 2,20 m de diamètre et 1 modèle
quadripale.

SOUTHERN CROSS - Box 454 TOOWOOMBA -
QUEENSLAND 4350 AUSTRALIA. Une dizaine de
modèles s'étalant entre 1,80 m et 7,70 m.

BAKER THE HELLER ALLER Co. - NAPOLEON
OHIO - U.S.A.

CONCLUSION

Les éoliennes, après avoir suscité beaucoup d'espoir
et sans doute aussi beaucoup d'illusions quant à la gratui-
té de l'énergie, ont provoqué de nombreuses déceptions.
On ne peut en aucune façon faire rivaliser l'énergie du
vent avec l'énergie nucléaire comme tentent de le faire

les Auteurs futuristes des projets colossaux. Par contre, les éoliennes sont un élément appréciable d'une politique de décentralisation de l'énergie et de sa diversification. L'énergie éolienne ne peut être la panacée universelle susceptible de répondre à la croissance démentielle de notre consommation énergétique, elle doit être utilisée de façon judicieuse là où l'environnement lui permet de concurrencer les autres formes d'énergie.

Pour les régions tropicales, il semble que les services susceptibles d'être rendus par les éoliennes sont limités par un certain nombre de facteurs.

- Le potentiel d'énergie dans ces régions est relativement faible du fait de l'insuffisance des vents exploitables sauf dans certaines zones bien déterminées.

- L'éolienne ne permet pas d'exploiter rationnellement et complètement les possibilités de la nappe phréatique. Les marges de sécurité à prendre pour éviter les accidents aux vitesses élevées conduisent à des débits moyens très inférieurs aux possibilités de captage.

Par contre, grâce à la simplicité des appareils de petite taille, l'énergie éolienne offre indéniablement une facilité d'utilisation pour les pays en voie de développement et il est plus raisonnable de faire appel à elle pour développer un village qu'à une forme d'énergie réclamant une haute technologie.

Bien que l'on ne puisse lui prédire un avenir aussi brillant que celui de l'énergie solaire dans ces régions chaudes, elle reste cependant, dans l'immédiat, une solution pleine d'intérêt pour satisfaire les besoins essentiels de la population.

BIBLIOGRAPHIE

GOLDING (E.W.) - Eoliennes pour le pompage et la production d'électricité à la ferme (FAO/Bulletin de renseignements n° 17, 1961, 67 p.).

L'utilisation de l'énergie éolienne pour l'exhaure de l'eau au Mali : bilan d'exploitation des éoliennes de la région de Gao (Bull. de Liaison du C.I.E.H., n° 6, Août 1971, p. 6-13).

RESUME

Après un rapide historique des éoliennes l'A. définit l'énergie éolienne puis propose une classification des différents modèles rencontrés. Parmi ces derniers, trois sont étudiés en détail. L'éolienne multipale conçue pour de faibles vitesses de rotation et caractérisée par sa simplicité de fonctionnement et d'entretien. L'aérogénérateur généralement bipale, machine plus rapide, plus complexe mais plus performante. L'éolienne SAVONIUS de réalisation artisanale à technologie très simple adaptée aux faibles vitesses moyennes des vents africains.

Une comparaison des avantages et des inconvénients de ces 3 types d'éoliennes est présentée dans un tableau récapitulatif. Le chapitre suivant est consacré à l'étude du potentiel éolien de plusieurs régions tropicales, et aux conseils pratiques pour le choix d'un site. Le stockage de l'énergie est alors abordé sous ses multiples aspects avant de décrire un certain nombre d'éoliennes construites de façon artisanale en conditions tropicales. Un dernier chapitre, enfin, essaie de dresser la liste des principaux constructeurs actuels français et étrangers de ce type de matériel.

ABSTRACT

After a brief historical record on wind machines the Author defines wind power and proposes a classification for the

Utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage : mise au point d'un nouveau modèle d'éolienne (Bull. de Liaison du C.I.E.H., n° 17, Mai 1974, p. 14-19).

L'énergie gratuite du vent peut-elle rendre des services à l'agriculture ? (l'Agricole, n° 26, 7 Septembre 1974, p. 8-12).

Aérogénérateurs (Etude AEROWATT S.A., 37 rue Chanzy 75011 Paris, 1975, 17 p.).

MENIN (J.) - L'électricité à bon compte avec les éoliennes (Fermes Modernes, n° 28, Février 1975, p. 27-30).

BETTIGNIES (Chr.), LEFEBVRE (H.), NAZARE (E.) Des éoliennes populaires... et des petites centrales éoliennes... aux centrales aérothermiques... et aux éoliennes à turbines (Neuf, n° 54, Mars-Avril 1975, p. 64-81).

MAVOR (D.G.) - The energy crisis and wind power. (Farm Building Progress, n° 41, Juillet 1975, p. 11-13).

BLANC (M.) - L'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau (Informations et Documents/BCCEOM, n° 20 4ème tri. 1975, p. 27-48).

FRAENKEL (P.) - Food from windmills (I.T.D.G./Intermediate Technology Development Group/Londres, Novembre 1975, 74 p.).

WATT (S.B.) - The Cretan sail wind wheel as a power source (Appropriate Technology, vol. 2, n° 3, Novembre 1975, p. 4-5).

Eolienne type Savonius pour l'exhaure de l'eau (Bull. de Liaison du C.I.E.H., n° 26, Août 1976, p. 12-17).

Energie Eolienne (Ecologie/Editions de la Surienne - n° spécial - 3ème tri. 1977, 84 p.).

MEAS (O.) - Les éoliennes (Etude réalisée au C.E.E.M.A.T.).

NOEL (J.M.) - L'utilisation actuelle de l'énergie éolienne dans la zone intertropicale (Industries et Travaux d'Outre-Mer, n° 300, Novembre 1978, p. 831-832).

- various models available. Among these, three are examined in details. The multi-blade turbine designed for low speeds of rotation and characterized by its easy operation and maintenance; the two-blade wind machine, more rapid, more sophisticated but more efficient. The unsophisticated SAVONIUS rotor of small scale development, well suited to the average low speeds of African winds.

Advantages and disadvantages for the 3 types of wind machines are compared in a recapitulative table. The following chapter deals with the wind power available in several tropical areas and practical recommendations to select a site. Then energy storage is considered from many viewpoints and some wind machines manufactured under tropical conditions are described. In the last chapter are listed the leading French and foreign manufacturers of this type of equipment.

RESUMEN

Después de un breve historial sobre los aeromotores el Autor define la energía eólica y propone una clasificación de los diferentes modelos existentes. Estudia tres de estos en detalle. El aeromotor de varias paletas diseñado para bajas velocidades de rotación y que se caracteriza por la simplicidad de su funcionamiento y entretenimiento. El aerogenerador de dos paletas, más rápido y complicado pero más eficiente. El rotor SAVONIUS de realización artesanal y tecnología muy sencilla adaptada al bajo promedio de las velocidades de los vientos africanos.

Las ventajas y desventajas de estos tres tipos de máquinas están comparadas en un cuadro recapitutivo. En el capítulo siguiente se estudia el potencial eólico de varias regiones tropicales y se indican recomendaciones para la selección del lugar idóneo. Luego se considera el problema del almacenamiento de energía desde varios puntos de vista antes de describir algunos aeromotores construidos de modo artesanal en condiciones tropicales. En el último capítulo se intenta dar una lista de los principales constructores franceses y extranjeros de este tipo de equipo.



HÉLIOFORCE INTERNATIONALE 1979

F. TROUDE

Ingénieur au C.E.E.M.A.T.

Avec le parrainage de nombreuses personnalités nationales et régionales ainsi que de l'O.N.U.D.I. et de la C.E.E., l'A.S.I. Applications Solaires Internationales a organisé à la Baule du 18 au 22 Juin 1979 un Congrès faisant le point du développement des techniques d'utilisation de l'énergie solaire. Nous présentons ci-après une sélection des informations recueillies par le C.E.E.M.A.T. tant autour de tables rondes que dans les stands des constructeurs pour ce qui concerne les applications possibles dans les pays en voie de développement. Nous n'avons pas cherché à faire une synthèse car, sur de nombreux points, les avis divergent et les expériences sont encore insuffisantes pour trancher mais nous présentons au lecteur les thèses en présence qui n'engagent que leurs Auteurs. (Les commentaires du C.E.E.M.A.T. sont imprimés en italiques)

ENERGIE SOLAIRE DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

M. LAMADIEU Professeur à l'Ecole Inter-Etats des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Ouagadougou a présenté les travaux menés en Haute-Volta.

Dans ce pays 1 m² de capteur-plan fournit au cours

de l'année, une énergie équivalente à 175 kg de fuel (ou 420 kg de bois) alors que la consommation moyenne de bois est estimée à Ouagadougou à 560 kg par habitant et par an dont 80% pour les seuls besoins de la cuisine.

Les travaux ont porté sur les matériels suivants :

1) Pompes à cycle thermodynamique du type SOFRETES pour l'exhaure de l'eau.

2) Chauffe-eau solaire. Cette utilisation est limitée actuellement à la satisfaction des besoins d'une faible partie de la population à haut niveau de vie (hôtels).

3) Cuisinière solaire. La cuisinière solaire à miroir parabolique est considérée par le conférencier comme un « gadget » inadapté au contexte local pour deux raisons principales : la première est qu'il faut déplacer régulièrement l'appareil pour suivre le mouvement du soleil, la seconde est la nécessité pour la femme de rester au soleil en plein midi pour surveiller la cuisson.

L'E.I.E.R. étudie une cuisinière à capteur plan à eau de 1 m² raccordée à des cocottes minutes placées à l'intérieur de l'habitation.

Un problème fondamental évoqué est l'adaptation de cette technique aux habitudes alimentaires actuelles,