

L'ÉOLIENNE NOUVELLE FORMULE N'A NI MÉCANISME NI ENGRENAGE

En ces périodes difficiles où l'homme, en quête d'esclaves mécaniques, s'efforce de domestiquer toutes les forces de la nature, le vent est pourtant beaucoup moins mis à contribution qu'il ne le fut jadis. La France, qui fut à la tête des recherches d'aérodynamique jusqu'à l'époque où la puissance réclamée des souffleries les mit hors de portée de ses moyens, propose aujourd'hui une solution entièrement originale à l'utilisation du vent.

DANS tous les domaines, on s'efforce aujourd'hui d'exploiter à fond les ressources nationales afin d'être le moins possible tributaires de l'étranger. Cette politique, qui conduit à une exploitation rationnelle et complète des ressources hydrauliques, semble n'avoir, jusqu'ici, tenu aucun compte des énormes possibilités qu'offre une énergie gratuite, aussi accessible que celle de l'eau : l'énergie éolienne.

On ne l'a pas toujours négligée ainsi. Domestiqué sans doute avant l'eau même, le vent fut, des siècles durant, un auxiliaire extrêmement précieux pour l'homme. Trois mille six cents ans avant J.-C. les Égyptiens l'employaient à pomper l'eau pour l'irrigation et à moudre le grain. Dès l'an 640 avant notre ère, les Persans édifiaient des moulins dont les Croisés rapportèrent la conception en Occident au XI^e siècle.

Depuis l'apparition de la machine à vapeur, puis des turbines, des moteurs à essence, à huile lourde ou à gaz, on n'a pas renoncé, bien au contraire, à capter l'énergie hydraulique, mais on tend à utiliser de moins en moins le vent. Moulins à vent et marine à voile sont d'un autre âge. La raison principale est que l'emploi du vent réclame, outre beaucoup de vigilance, une main d'œuvre considérable, du moins sous les formes où on l'utilise d'ordinaire, c'est-à-dire au moyen de voilures que peuvent seuls déployer des spécialistes très compétents. Plus encore que les « caprices » du vent qui souvent sur mer ne soufflent pas dans le sens le plus favorable, c'est là ce qui a tué nos grands voiliers.

Le vent

Capricieux, le vent ne l'est pourtant guère si on étudie la question de près. En fait, il est plus régulier et plus constant que l'eau. Celle-ci est loin de posséder un débit imperturbable, le rationnement d'électricité de ces dernières années en témoigne et la Suisse, pays de houille blanche s'il en fut, a dû, après la sécheresse de 1949, importer de Hollande de l'énergie électrique.

On commence à mieux connaître le vent et, par conséquent, à lui mieux rendre justice depuis quelques années que le développement de l'aviation a amené à multiplier les observations.

Les renseignements recueillis dans tous les pays démontrent que, d'une façon générale, les caractéristiques d'un même vent moyen varient très peu, bien que soumises aux cas particuliers de climat et de relief.

Les vitesses instantanées et journalières varient

dans de grandes proportions : le vent est normalement accompagné de rafales qui augmentent ou diminuent d'un quart sa vitesse moyenne.

Les moyennes mensuelles, par contre, sont étonnamment constantes. La majeure partie des variations sont de courte durée. Une déficience est largement comblée dans l'intervalle d'un mois.

Sauf dans quelques cas relativement rares, les moyennes mensuelles ne s'écartent au plus que de 10 à 15 % de la moyenne annuelle :

— 10 à — 15 % en juillet et août ;

+ 10 à + 15 % en janvier, février et mars.

Leur variation est donc parallèle à la demande d'électricité au cours de l'année.

Les moyennes annuelles présentent une régularité beaucoup plus grande que l'énergie hydraulique disponible. La vitesse moyenne annuelle est très rarement inférieure de 10 à 15 % à la moyenne calculée sur de longues périodes. C'est ainsi que les mesures effectuées à New England pendant cinquante-quatre ans ont mis en évidence seulement trois périodes de trois à cinq ans où la vitesse moyenne annuelle fut de 5 à 6 % plus faible que la moyenne générale établie sur ces cinquante-quatre années.

La valeur des moyennes au sol varie selon les régions. En France, les zones les plus favorisées sont la Bretagne, le Nord, la vallée du Rhône. Ensuite viennent les côtes en général, et le Massif central, grâce à son relief.

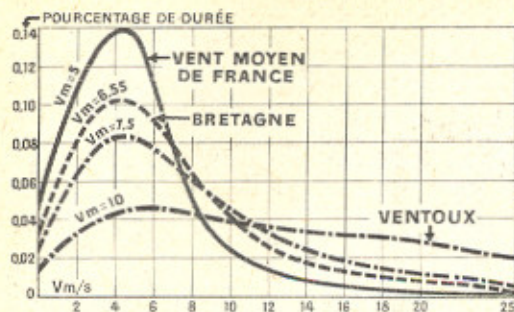
Les courbes de probabilité

La vitesse moyenne du vent pour la France est, à 30 m au-dessus du sol, de 5 m à la seconde.

La vitesse moyenne du vent, à elle seule, n'indique pas l'énergie qu'on peut en extraire.

Un exemple simple le montre. L'énergie étant proportionnelle au cube de la vitesse on pourra, pour un vent constant de 10 m/s, la représenter par 10³, soit 1000. Mais, si le vent souffle la moitié du temps à 5 m/s, et à 15 m/s pendant l'autre moitié, l'énergie sera représentée par (5³ + 15³) : 2, soit 1 750, alors que la vitesse moyenne est toujours de 10 m/s. On voit qu'il est nécessaire de découper les vitesses du vent en tranches et de déterminer le pourcentage de temps pendant lequel la vitesse du vent est comprise dans ces tranches. On devra donc dresser des graphiques appropriés et on en tirera par le calcul, d'après les caractéristiques de la machine, son coefficient d'utilisation.

Le vent croît avec l'altitude au-dessus du sol. Mais, si l'on augmente la hauteur d'un récepteur, 207



le poids de la tour de support augmente. Pour décider quel appareil aura le meilleur rendement en un lieu donné, il s'agit de savoir quelle est la hauteur au-dessus de laquelle le prix de la construction augmente plus vite que le surcroît de puissance qu'on en retire.

Le graphique ci-dessous montre les répartitions des vitesses selon l'altitude. Ces calculs, effectués à l'observatoire aéronautique de Lindenberg, portent sur des observations relevées pendant cinq ans, dont on a établi les moyennes par saison.

On voit que les vitesses croissent d'abord rapidement, sont très sensiblement constantes sur une hauteur de 600 à 1 500 m, puis recommencent à croître. Il existe donc une bande d'une épaisseur de 1 km dans laquelle le vent peut être considéré comme constant.

Le rendement

Le rendement ne joue pas, dans les éoliennes, le même rôle que lorsqu'il s'agit d'un moteur ou d'une transmission d'automobile.

Ici, l'énergie est gratuite et livrée à domicile sans frais de transport.

On peut donc sacrifier une part du rendement maximum possible au bénéfice d'une réduction du prix de revient, car le problème réel consiste à produire au prix minimum.

Il faut donc un investissement aussi réduit que possible et des charges annuelles faibles. Ces dernières impliquent une grande commodité d'emploi, avec une automaticité totale, si possible, et des frais d'entretien réduits au minimum.

De ces données, on peut conclure que :

a. bien qu'on ait intérêt à aller chercher l'énergie en altitude, mieux vaut se limiter ;

b. comme il faut de toute façon supporter le récepteur, inutile de lui adjoindre des *impedimenta* d'un poids excessif, la simple commodité consistant de les laisser au sol ;

c. moins il y a de pièces, plus faibles sont les prix de la matière, de la fabrication et de l'entretien.

Les puissances disponibles

Les Anglais estiment que la puissance moyenne contenue dans l'atmosphère est 3.10^{17} kW (300 millions de milliards de kW). Les Américains estiment que la partie utilisable sur leur territoire par des éoliennes serait 20 milliards de kW.

Vitesse moyenne du vent en altitude (calculée sur cinq ans par l'Observatoire aéronautique Lindenberg). Entre 600 et 1 600 m, elle demeure sensiblement constante.

← Courbe de probabilité des vents de différentes vitesses moyennes. On voit que le vent moyen de France souffle à une vitesse de 5 m/s pendant 14 % du temps total.

Plus modestement, en France, en prenant seulement une bande de 100 m entre 50 et 150 m de haut, c'est-à-dire une région bien accessible aux éoliennes, s'étendant sur 1 700 km (le long des côtes de Nantes à Calais, et dans le Midi, de Perpignan à Montélimar, au Mont Ventoux, etc.), on trouve, compte tenu de tous les coefficients normaux de rendement et d'utilisation, 3 700 milliards de kWh par an.

Soit beaucoup plus que les 575 milliards de kWh qui nous seraient présentement nécessaires pour avoir chacun à notre disposition autant de kilowatt-heures qu'un Américain. N'en ayant que 115 milliards pour tout le pays, nous sommes cinq fois moins bien dotés. Mais on voit que nos ressources éoliennes sont bien supérieures à nos besoins.

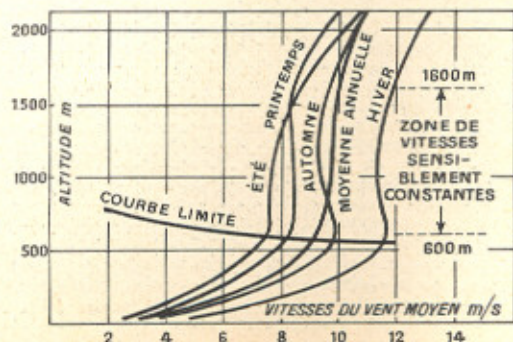
Éoliennes expérimentales

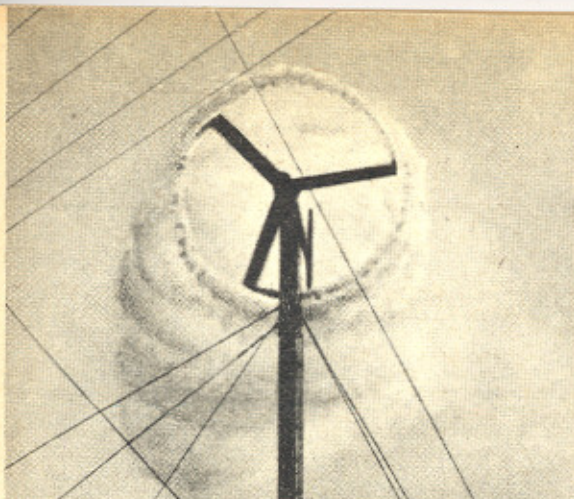
Dans le domaine, encore mal exploré, des engins considérables, susceptibles d'être utilisées à des fins industrielles, nous nous bornerons à rappeler les recherches effectuées par le Français Darrieus (en 1929, érection au Bourget d'un hélice de 20 m de diamètre), par les Russes à Yalta (en 1931, turbine de 100 kW avec hélice de 30 m de diamètre) et à énumérer les réalisations les plus récentes et qui paraissent les mieux au point.

Les éoliennes classiques réalisées, à transmission mécanique, atteignent pour le moment :

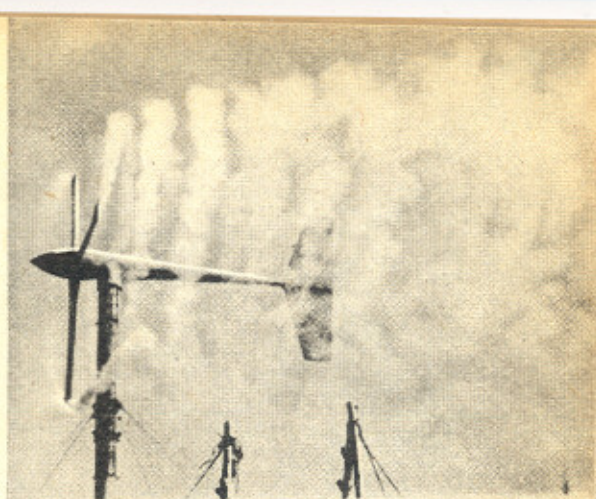
	Diamètre (m)	Puissance nominale (kW)	Rendement utile en courant
Windkraft Werk. (Danemark)...	12	12,5	0,353
Smidth and Co. (Danemark)...	17,5	50	0,34
.....	24	100	0,36
Grandpa's Knob (États-Unis)...	53	1 000	0,357

On voit que c'est surtout au Danemark que le problème a été étudié. Il est maintenant l'objet d'études très poussées en Grande-Bretagne, aussi favorisée sous le rapport des vents qu'elle l'est déjà.





Obtenues en disposant plusieurs bombes de fumigérite sous le tube portevent d'une éolienne à pales creuses, ces photo-



graphies du sillage de l'hélice de l'éolienne ont été prises par vent soufflant à une vitesse de 4 à 5 m à la seconde.

en matière de charbon, en Hollande, où sans doute, afin d'en réserver l'emplacement, on vient de prendre la précaution de « classer » tous les moulins à vent subsistants, et enfin en France où nous pensons lui avoir apporté une solution originale. La grande simplicité de cette conception, qui doit permettre une fabrication industrielle aisée, abaisserait de façon considérable le coût de l'installation et par conséquent le prix de revient du courant.

L'éolienne à dépression

En effet, alors qu'à ce jour toutes les éoliennes réalisées étaient à transmission mécanique, la nôtre ne comporte ni transmission, ni engrenage.

Elle est constituée par une hélice à trois pales de 7 m de diamètre qui tourne folle sur un axe. Un tube maintenu par des haubans sert de pylône. Sa hauteur standard, modifiable selon le site, est de 25 m. A sa base sont assemblées une turbine, une génératrice et la transmission.

L'hélice, qui démarre d'elle-même, grâce au choix de ses profils, est à régime rapide. Ses pales sont creuses et ouvertes à leur extrémité ; elles communiquent avec le moyeu, creux également, qui coiffe un coude orientable aboutissant au tube.

Lorsque l'hélice tourne, la force centrifuge chasse l'air contenu dans ses pales. Il se crée ainsi une dépression qui, descendant au sol par le tube, provoque une aspiration en arrière de la turbine. L'air ambiant pénètre dans celle-ci par son distributeur et la met en mouvement.

La régulation est entièrement automatique ; l'orientation se fait par l'hélice elle-même, qui est placée sous le vent du tube. Étant à pas variable automatique, l'hélice s'adapte automatiquement à la vitesse du vent en vue du meilleur rendement. A partir de 7,50 m/s de vitesse de vent, la puissance reste maximum et constante jusqu'à 30 m/s, où l'hélice, se mettant d'elle-même en drapeau, s'immobilise pour laisser passer l'ouragan. Le calme revenu, elle se remet, d'elle-même encore, au travail.

Les avantages résident dans l'absence de mécanique, toujours onéreuse, dans le fait que la puissance engendrée est au sol ce qui permet d'une part l'allégement du support et, d'autre part, une utilisation facile : on pourra à volonté obtenir soit de la puissance électrique, par l'intermédiaire de la génératrice, soit directement de la puissance mécanique à la poulie de la turbine pour actionner toutes espèces d'appareils : scie circulaire, hache-paille, pompes, etc. Enfin, entretien presque nul : le

joint de rotation est un labyrinthe, sans frottement, donc sans usure, et il y a, en tout et pour tout, quatre roulements à billes, qu'on garnit de graisse une fois pour toutes.

Puissance et rendement

Les machines sont en principe équipées d'une génératrice d'une puissance maximum de 3,5 kW atteinte dès que le vent est de 7,50 m/s. En cas de besoins électriques plus étendus, l'éolienne peut être prévue pour un vent nominal de 10 m au lieu de 7,50 m ; sa puissance nominale devient de 8 kW et sa production de 23 000 kWh par an. C'est pour éviter un matériel électrique trop onéreux ou dépassant les besoins qu'on s'est arrêté pour commencer à 3,5 kW. Les performances nouvelles sont établies pour le vent moyen de France, qui est de 5 m/s à 25 m de hauteur. Elles peuvent varier, en plus ou en moins, selon le site, mais, si le vent du lieu est inférieur, il suffit d'allonger le tuyau porte-vent de quelques mètres pour atteindre la performance indiquée, puisque, on l'a vu, le vent augmente de vitesse à mesure qu'on s'élève.

La turbine est le plus souvent une simple roue à action ou à réaction.

Son diamètre et la vitesse d'entrée de l'air définissent son régime pour permettre un entraînement de la génératrice en prise directe.

La turbine est un moteur d'entraînement parfait, de couple régulier, équilibré et variant en sens inverse de la vitesse ; il est maximum au démarrage.

Dans le cas présent, cette disposition a une très grande valeur industrielle, car elle permet l'utilisation de l'énergie d'une manière tout à fait indépendante de ce qui se passe en haut.

Elle permet entre autres sa transformation à vitesse de rotation constante pour un alternateur synchrone dont le stator est excité par le réseau. Cette solution électrique a été étudiée et développée avec succès par les ingénieurs des services de l'Électricité de France.

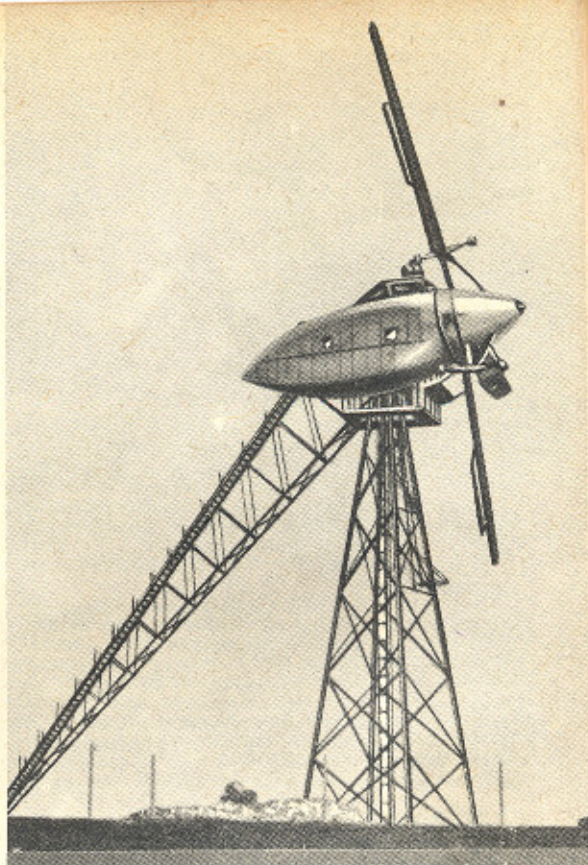
En cas de délestage subit ou de rupture de la ligne, une dérivation, commandée par une limiteur de vitesse, coupe le vide et la turbine n'emballage pas.

Le rendement de ces turbines peut varier, d'après les études de la Société Rateau, entre 80 et 92 % suivant la puissance.

Les rendements utiles en courant de l'ensemble de l'installation varient entre 0,3 et 0,5 des petites aux grosses machines. Ils pourront atteindre probablement 0,55 pour de grandes centrales.



L'éolienne expérimentale Smith-Putnam édifiée à Grandpa's Knob (E.-U.), en 1941. D'une puissance nominale de 1 500 kW, la partie mobile en pesait 265 t. Une pale de l'hélice de 55 m. de diamètre se brisa en 1945.



La machine aérienne russe de Yalta, achevée en 1931, avec 31 m de diamètre et 100 kW de puissance, fonctionna jusqu'à sa destruction en 1941. Sa moyenne de production annuelle atteignait 279 000 kWh.

Utilisée en puissance « sauvage », c'est-à-dire au fil du vent, pour toutes les opérations où une puissance continue n'est pas indispensable, cette éolienne, avec une turbine d'une puissance nominale de 5,5 ch et une puissance moyenne de 2 ch, peut fournir 48 chh par jour, soit, par entraînement direct d'une pompe (de rendement 60 %), élever 520 m³ d'eau à 15 m, ou fournir en eau chaude ou vapeur 30 500 calories, ou produire 500 kg de glace, ou 30 kWh sous forme d'énergie électrique.

La constance du vent permet d'envisager 138 h de fonctionnement par semaine — 83 % du temps — et, compte tenu de l'amortissement et de l'entretien, le prix de l'énergie fournie est neuf fois et demie plus faible que celui de l'essence, six fois moindre que celui du gas-oil.

L'énergie régularisée

En général, on ne peut consommer directement et immédiatement l'énergie ; il faut pouvoir la stocker pour l'utiliser même pendant les périodes où le vent ne fournit rien ou fournit trop peu. Pour de petites puissances, la batterie d'accumulateurs fournit une bonne solution, bien qu'onéreuse et d'un entretien délicat.

Ainsi, dans le cas de l'éolienne de 7 m, on pourra se contenter de ne demander qu'une partie de la puissance à l'électricité et utiliser l'autre directement à la poulie de la turbine, pour actionner, par exemple, les machines d'une ferme. Une régularisation de l'énergie électrique portant sur 100 kWh par

mois, quantité largement suffisante pour assurer l'éclairage et alimenter l'appareillage électrique usuel d'une famille de quatre personnes, n'exigerait qu'une batterie de douze éléments de 200 ampères-heure sur 24 V, à bacs de verre. On peut calculer que, dans ces conditions, le kilowattheure reviendrait à 3,60 francs contre 15 francs au secteur.

Les accu constituent sans aucun doute la solution la plus avantageuse et énergétiquement la meilleure, comme aussi la plus simple pour de petites puissances et de faibles réserves. Mais, le prix de la batterie étant proportionnel à la puissance régularisée, il devient rapidement prohibitif sitôt qu'il s'agit de puissances un peu importantes.

Aussi, à cette régularisation par batterie, préférons-nous celle par l'hydrogène qui nous paraît appelée à des développements bien plus intéressants.

La régularisation par l'hydrogène

Si l'on envoie le courant dans un électrolyseur d'eau sous pression, il se forme de l'hydrogène et de l'oxygène qui se compriment directement, sans compresseur, dans des bouteilles. L'opération est automatique et l'hydrogène comprimé constitue la réserve d'énergie qui sera utilisée, lorsque le vent fournira moins que la demande, dans un moteur ordinaire adapté (équipé comme pour le fonctionnement au gaz) monté sur l'arbre turbo-dynamo.

Avec l'électrolyse sous pression, il faut 3,5 kWh pour obtenir 1 m³ d'hydrogène et 500 l d'oxygène sous 200 à 250 kg/cm². L'hydrogène, à 15° et sous la



L'aéromoteur danois Smidth de 70 kW a une hélice de 24 m de diamètre. Marchant de jour seulement, un de ces modèles a fourni 118 729 kWh en 1947. Tous ensemble, ils ont fourni plus de 3 millions de kWh en 1943.

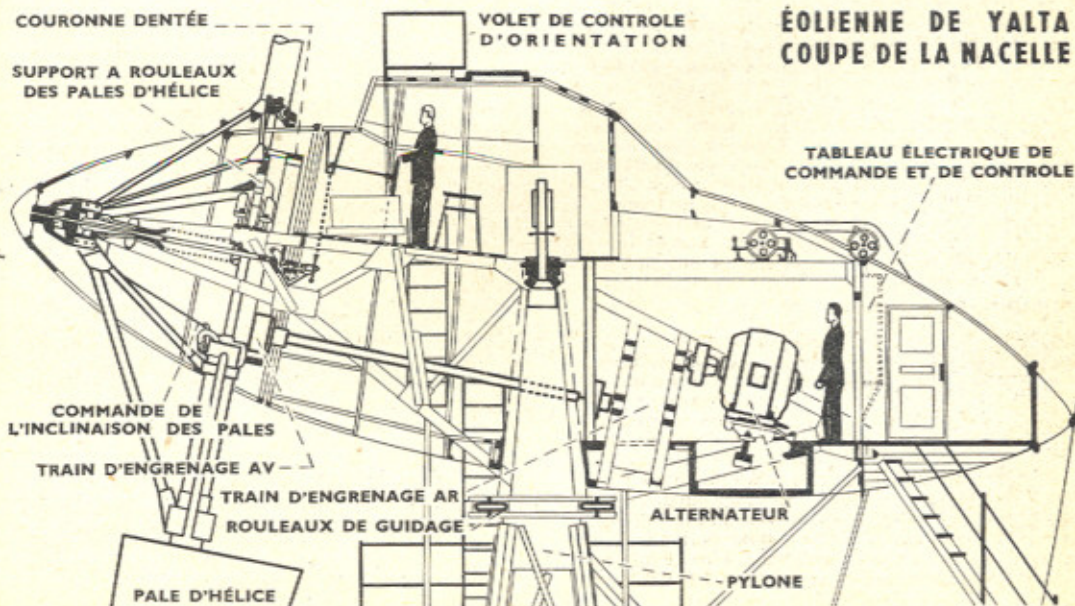
SCIENCE ET VIE

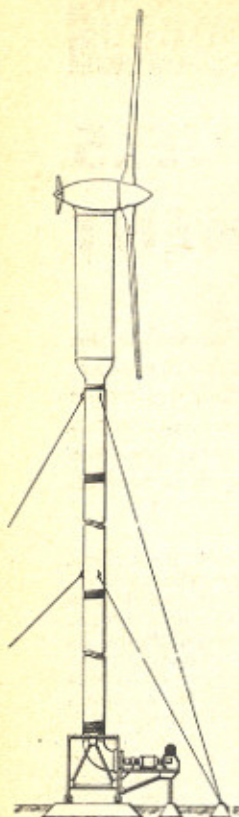
pression normale, fournit 2 500 calories par mètre cube. Les travaux d'Emichen et de Ricardo ont montré qu'un moteur marchant à l'hydrogène fournit le cheval-heure avec 0,72 à 0,8 m³ d'hydrogène, soit 1 800 à 2 000 calories. Le rendement d'un de ces moteurs est donc équivalent à celui d'un diesel. Une voiture consommant 6 l aux 100 km pourra parcourir 18 000 km par an avec les 2 560 m³ produits par l'éolienne de 7 m (en plus de 1 200 kWh conservés pour l'énergie électrique). Les charges annuelles de cette installation ressortant à 44 000 francs, le bénéfice par rapport aux prix de revient de l'essence et de l'électricité est de 20 000 francs; encore tenons-nous pour un sous-produit inutilisé les 1 260 m³ d'oxygène qui, sur le marché actuel, se vendent 50 francs le mètre cube.

Références

On est toujours mal à l'aise pour prôner sa propre invention. Nous préférons laisser les réalisations — imminentes maintenant — démontrer l'exactitude de ces assertions. Nous dirons pourtant que leur exactitude — et celle des calculs autrement compliqués qui ont précédé à l'élaboration de la machine même — a été constatée par divers bureaux d'études britanniques, dont la filiale « hélices » de la maison De Havilland, les créateurs du fameux « Comet ». Plusieurs firmes groupées comptent, en effet, utiliser la solution Andreau dans une machine expérimentale de 100 kW construite à l'instigation des services gouvernementaux.

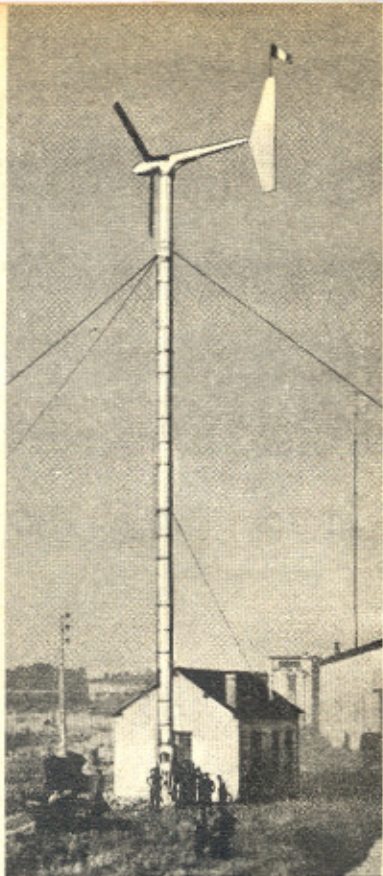
Précisons qu'en France un prototype de 6,50 m de diamètre et de 8 kW nominaux, placé à 30 m de haut, a été étudié et édifié en six mois. Bien que la pénurie de matière et de moyens qui régnait à l'époque n'ait permis qu'une construction assez rudimentaire, l'appareil est resté en l'air et a fonctionné de façon satisfaisante pendant deux ans. Il a permis les essais de pompage qui servirent de base aux calculs cités plus haut. Plusieurs ouragans





LA PREMIÈRE ÉOLIENNE FRANÇAISE A DÉPRESSION POUR USAGE PARTICULIER

Un prototype de cette machine, à l'étude depuis sept ans, fut construit et mis en place près d'Orléans, le 14 juillet 1947. Elle avait 30 m de haut et une hélice de 6,50 m de diamètre. Elle resta en l'air deux ans et subit sans dommage plusieurs ouragans. Les essais, conduits avec la collaboration de l'E. D. F., se révélèrent satisfaisants. A gauche, schéma d'ensemble de l'éolienne de 7 m. Ci-dessous : le prototype en cours d'érection et, à droite, le même une fois dressé. Le modèle de 7 m, pour une hauteur de 25 m et un poids de 600 kg, pourra produire annuellement 11 000 kWh.



détruisirent une cabane et un pylône voisins sans l'affecter en rien. Nous ne l'avons réformé que parce que sa protection contre la corrosion était insuffisante faute des produits nécessaires.

L'éolienne de 55 m

Ces références nous autorisent à parler d'une machine plus ambitieuse, dont nous avons entrepris l'étude avec la collaboration des services d'études de l'Électricité de France.

Il s'agit d'une éolienne de 55 m de diamètre dont les détails de fonctionnement sont rigoureusement identiques à ceux de l'éolienne de 7 m. L'hélice est à régime rapide et la vitesse périphérique de ses pales peut atteindre 800 km/h.

La turbine, à une seule roue, tourne en principe à la vitesse constante de 750 tours/minutes, ce qui donne des vitesses tangentielles relativement faibles, de l'ordre de 120 m/s, et permet une réalisation légère, facilement fabriquée en emboutis de tôle.

Le porte-vent est cylindrique. Il a 8 m de diamètre et 30 m de long, ce qui porte l'axe de l'hélice à 60 m du sol. La puissance maximum est atteinte avec un vent de 18 m/s. Au delà, elle reste constante. Cette puissance nominale est de 6 300 ch à la turbine, de 4 400 kW à l'alternateur.

Sur cette base et utilisée au fil du vent, on arrive, en prenant 1 950 ch comme puissance moyenne, à la production quotidienne de 47 000 chh, ce qui permet, si on l'utilise à l'élévation d'eau à 15 m telle qu'elle est pratiquée en Algérie, où un hectare réclame 5 000 m³ par an, l'irrigation de 31 000 h ; à 40 m, elle permettrait la distribution de 160 l d'eau par personne et par jour à une ville d'un million d'habitants. Utilisée à produire de la chaleur, elle fournirait l'équivalent de 1 350 t d'anthracite

ou de 1 030 t d'essence et, s'il s'agit d'électricité, pourvoirait aux besoins de 40 000 à 50 000 personnes à un prix de revient cinq fois inférieur à celui de l'énergie électrique fournie par les barrages.

Cela en puissance « sauvage », avec le tiers du temps sans tourner. Ces prix sont déjà, d'après les devis prévus pour la construction des éoliennes, vingt fois inférieurs à ceux d'une énergie équivalente obtenue par diesel.

En puissance régularisée, on arrive à une puissance moyenne de 570 kW qui, utilisée pour la fabrication d'hydrogène destiné à notre parc automobile agricole, devrait permettre d'énormes économies de devises en attendant mieux, car l'utilisation d'une source d'énergie aussi peu onéreuse peut permettre de trouver enfin une solution à l'angoissant problème des prix de revient, générateur de malaises sociaux. Alors que la compression des salaires réduit le pouvoir d'achat et le nombre des consommateurs éventuels, l'abaissement du prix de l'énergie et ses incidences les augmentent (1).

Nous serions heureux si les réalisations ultérieures, démontrant l'exactitude de nos calculs, contribuaient à améliorer le standard de vie et à juguler l'interminable perte de substance que constitue l'achat à l'étranger des milliards d'hectolitres de carburant indispensables à l'activité du pays.

J. Andreau

(1) Il n'est pas exclu que le principe de l'éolienne à dépression soit applicable à la navigation, ce qui aurait une incidence sur le fret et sur les prix, mais, dans l'exposé de ces projets qu'on pourrait aisément taxer d'utopiques, on comprendra que nous préférons nous limiter à la terre ferme.