

Le mini-éolien



EYROLLES

Environnement

LE MINI-ÉOLIEN

Emmanuel Riolet

Septième tirage 2010

EYROLLES



À ma petite fée Vénusia

Remerciements

Un grand merci à tous mes amis passionnés d'éolien qui m'ont permis de faire progresser mes connaissances au fil des années en partageant leur savoir. Un grand merci également à ma compagne Sylvie pour les illustrations, ainsi qu'aux Éditions Eyrolles sans qui cette aventure n'aurait pu être possible.

Cet ouvrage fait l'objet d'un reconditionnement à l'occasion de son septième tirage (nouvelle couverture et nouvelle maquette intérieure).

Le contenu reste inchangé par rapport au tirage précédent.

Conception de la maquette intérieure : Dazibao

Mise en pages : FG Compo



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Groupe Eyrolles, 2007 pour le texte de la présente édition.

© Groupe Eyrolles, 2010 pour la nouvelle présentation, ISBN : 978-2-212-12597-9

Sommaire

Partie 1 – Introduction

Chapitre 1 – Préambule.....	2
Définition de l'éolien.....	2
Histoire de l'éolien	3
L'Antiquité.....	3
Le Moyen Âge.....	5
De nos jours.....	5
Les deux différents types d'éoliennes	6
L'éolienne à axe horizontal.....	6
L'éolienne à axe vertical.....	7
Chapitre 2 – Définitions et enjeux du mini-éolien.....	8
Qu'est-ce que le mini-éolien ?	8
Petites ou grandes ?	9
Un aérogénérateur, pour quelle utilisation ?	10
Pour votre domicile.....	10
Pour un cabanon, une maison de vacances.....	11
Bateaux, camping-cars.....	11
Maison isolée.....	11
La pédagogie.....	12
Pour le plaisir.....	12
La durée de vie et l'entretien.....	13
La durée de vie.....	13
L'entretien.....	13
En résumé	14
Chapitre 3 – La législation.....	15
Le permis de construire	15
Le voisinage.....	15
L'achat.....	16

Partie 2 – Fonctionnement et conception d'une éolienne

Chapitre 4 – Le générateur.....	20
Principes de base.....	20
Alternateur de voiture modifié pour usage éolien.....	23
Les moteurs électriques utilisés en générateur.....	27
Pourquoi utiliser un moteur en générateur ?.....	27
Avant de commencer.....	28
Principes de base.....	28
Mon moteur ne produit rien du tout.....	29
Mon moteur produit.....	31
Vous avez trouvé le moteur qui vous convient.....	32
Ce moteur est-il prévu pour aller dehors ?.....	32
A-t-il tendance à chauffer ?.....	33
Est-il en bon état ?.....	33
Procédure de test.....	33
Les qualités d'un moteur en générateur.....	35
Autoconstruction d'un générateur à aimants néodyme.....	36
Du sur-mesure.....	38
Technique de montage.....	39
Chapitre 5 – Les pales.....	42
Les matériaux.....	43
La fibre de verre.....	43
Le bois.....	44
L'aluminium.....	44
La bonne mesure.....	45
Les pales pour aérogénérateur à axe horizontal.....	46
L'angle d'attaque.....	47
Le nombre de pales.....	48
Fabriquer ses pales.....	50
Fixation des pales.....	52
Les pales pour aérogénérateur à axe vertical.....	53
Les types Savonius.....	54
Les types Darrieus.....	55

Les cas particuliers.....	56
Ce qu'il faut en retenir.....	56

Partie 3 – Construire soi-même son éolienne

Chapitre 6 – Principes de base pour autoconstruire son éolienne.....	60
Que puis-je attendre de mon éolienne ?.....	61
Pour quelles raisons autoconstruire ?.....	62
Pour commencer.....	63
Chapitre 7 – Fabriquer une éolienne à axe horizontal.....	64
Composants.....	64
Au travail.....	64
Chapitre 8 – Fabriquer une éolienne à axe vertical.....	70
Composants.....	70
Au travail.....	70

Partie 4 – Choisir et bien acheter son éolienne

Chapitre 9 – Bien acheter son éolienne à axe horizontal	78
Attention aux pièges.....	78
Terrestre ou marine ?.....	79
Autres points à vérifier.....	79
Pour faire le bon choix.....	80
Chapitre 10 – Bien acheter son éolienne à axe vertical..	81
Les modèles industriels.....	81
Les modèles artisanaux.....	82
Le cas particulier.....	82
La solution intermédiaire.....	83

Partie 5 – Raccorder son éolienne au réseau domestique

Chapitre 11 – Le régulateur.....	86
Le fonctionnement du régulateur.....	86
Comment choisir son régulateur ?.....	87
Chapitre 12 – Les batteries.....	90
Quel type de batterie ?.....	91
Les batteries à charge constante.....	92
Les batteries à charge profonde.....	92
Comment choisir la puissance ?.....	94
Le raccordement.....	96
Repères d'achat.....	97
Précautions d'utilisation.....	98
En conclusion.....	99
Chapitre 13 – Les coupleurs de batteries.....	100
Branchement des batteries en série.....	100
Branchement des batteries sur un coupleur électronique.....	103
En résumé.....	103
Chapitre 14 – L'onduleur.....	105
La puissance.....	105
Les fonctions.....	106
Installation.....	106
Points à surveiller.....	106
En résumé.....	108
Chapitre 15 – Le raccordement.....	109
Contrat avec une compagnie d'électricité.....	109
Réseau parallèle.....	110
Réseau temporaire.....	110
Réseau autonome.....	111
En conclusion.....	111

Partie 6 – Optimiser son installation

Chapitre 16 – La maîtrise de la consommation.....	114
Les appareils économiques.....	114
La chasse aux watts.....	115
Ce que vous avez à y gagner.....	116
Chapitre 17 – Les dispositifs de sécurité.....	118
Les freins mécaniques.....	118
Les risques encourus.....	120
La météo.....	120
En synthèse.....	120
Chapitre 18 – L'implantation.....	122
Fixation sur un mât.....	123
Fixation sur un pylône.....	124
Particularité pour les éoliennes à axe horizontal.....	125
Cas particulier.....	126

Partie 7 – Annexes

Annexe 1 – Les aides financières possibles.....	130
Pour vous aider dans vos démarches.....	131
En résumé.....	131
Annexe 2 – La carte des vents.....	133
Annexe 3 – Les bonnes adresses.....	134
Épilogue.....	135

PARTIE 1

INTRODUCTION

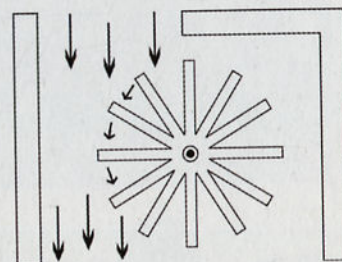
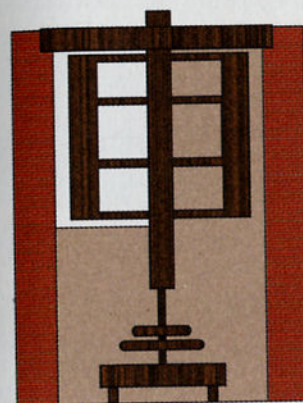
1 PrÉAmbule

Une petite éolienne peut servir à bénéficier de la fée électricité dans un lieu non relié au réseau tel qu'un camping-car, un bateau, un cabanon, une maison isolée... On peut aussi l'utiliser pour « autoproduire » tout ou partie de son courant domestique, soit par raison soit par passion, voire les deux dans de nombreux cas. Outre l'impact écologique évident, il faut savoir qu'à l'heure actuelle, dans leur état de développement, les petits aérogénérateurs modernes sont de précieux auxiliaires pour produire gratuitement du courant à partir de cette énergie renouvelable qu'est le vent. C'est donc un excellent moyen de bénéficier d'une énergie produite dans le respect de l'environnement pour un faible investissement de départ. L'objectif de cet ouvrage est de vous fournir, sans aucun élitisme technique, les informations indispensables pour franchir le pas. Nous passerons en revue le domaine de l'autoconstruction ainsi que les offres commerciales. Nous aborderons également tous les aspects s'y rattachant, tels que le raccordement au réseau, les aides financières possibles, ainsi que divers accessoires qui vous rendront de fiers services. Que vous soyez néophyte ou bricoleur chevronné, vous trouverez dans les chapitres suivants tout ce qu'il vous faut pour avoir le pied solidement ancré dans l'ère de l'autonomie énergétique. Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter une bonne lecture, et de bonnes heures de bricolage pour celles et ceux qui vont se lancer dans la passionnante aventure de l'autoconstruction.

DÉFINITION DE L'ÉOLIEN

On nomme « énergie éolienne » le fait de capter le déplacement de l'air à l'aide de moyens mécaniques afin de le convertir en force motrice. Après l'utilisation du bois comme combustible, c'est une des toutes premières sources d'énergies renouvelables

à avoir été utilisée par l'homme, avec l'énergie hydroélectrique. L'éolien est une forme indirecte d'énergie solaire, puisque les déplacements d'air sont engendrés par les variations de pression atmosphérique dues à la chaleur produite par le soleil. Le vent est une source d'énergie inépuisable que l'on peut qualifier de « 100 % propre ». Il nous distribue en permanence une quantité très importante d'énergie, dont nous ne captions actuellement qu'une très infime partie.



Ces deux schémas représentent le fonctionnement des premiers moulins perses qui étaient à axe vertical. L'ouverture était orientée du côté du vent dominant. Les pales étaient confectionnées en toile ou en cuir.

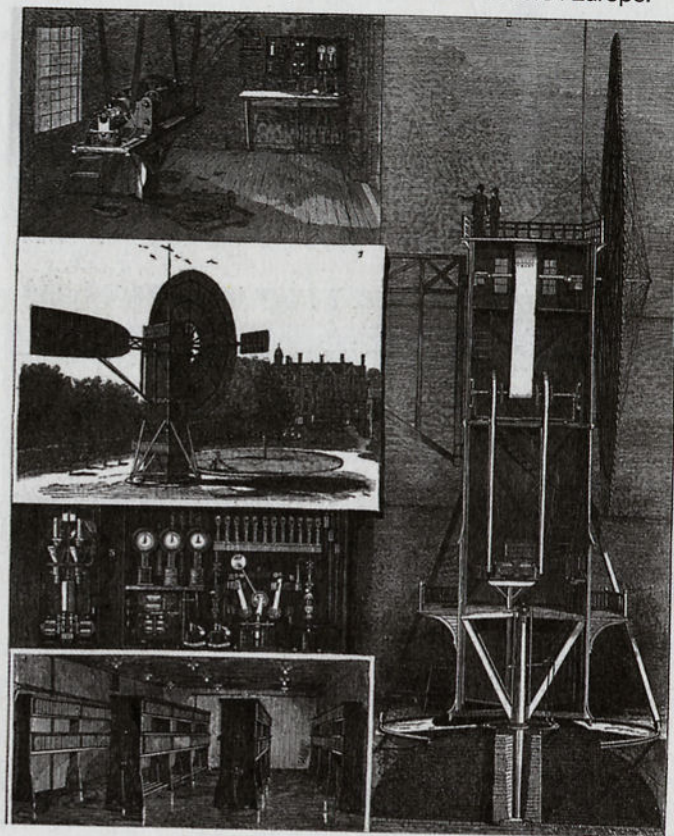
HISTOIRE DE L'ÉOLIEN

L'Antiquité

Depuis la nuit des temps, l'homme cherche à apprivoiser le vent.

Il y a environ 5 000 ans, les Égyptiens furent les premiers à capter cette source d'énergie dans le domaine maritime. Ils s'en servirent pour déplacer de petites embarcations à l'aide d'une voile. Quant aux premières éoliennes, il faut remonter jusqu'à 4 000 années en arrière pour en trouver la trace. C'est sous le règne d'Hammourabi,

roi de Babylone, qu'apparurent les premiers systèmes d'irrigation entraînés par le vent. Les autres peuples du Moyen-Orient et de l'Extrême-Orient optèrent également par la suite pour ce procédé, qui leur évitait d'avoir recours à des humains ou à des animaux pour entraîner leurs mécanismes de pompage ou bien pour mouder le grain. Il s'agissait presque exclusivement, à cette époque, de machines à axe vertical. Vers le ^{vi} siècle avant J.-C., les Égyptiens utilisaient déjà des moulins à vent à axe horizontal. Petit à petit, cette technologie commença à faire son chemin vers l'Europe.



L'éolienne mise au point par Charles Brush

Le Moyen Âge

Bien que les éoliennes soient déjà présentes en Occident bien avant le ^{xii} siècle, c'est à cette période qu'elles connaissent un réel essor. On les appelait « moulins à vent », car leur principale utilisation était de mouder le grain. On s'en servait aussi pour pomper l'eau, presser l'huile et, par la suite, pour fabriquer de la pâte à papier, de la fibre textile et faire fonctionner des scieries. Il existe plusieurs types de ces machines, la plus connue étant celle à quatre ailes en toile. Jusqu'à la révolution industrielle, les moulins à vent et les roues à aubes furent les principaux moteurs de l'activité économique de cette époque. Au fil des siècles, les différentes techniques de captage du vent se sont sans cesse perfectionnées, jusqu'à ce que la vapeur et l'électricité sonnent le glas de l'éolien pour un temps.

De nos jours

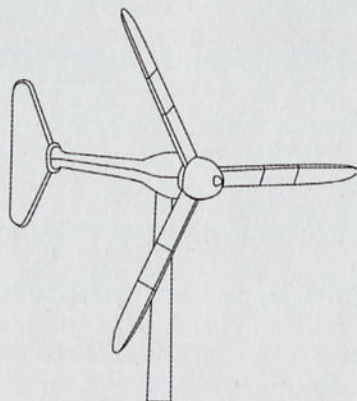
C'est le physicien et mathématicien Lord Kelvin qui eut le premier la brillante idée de coupler une génératrice électrique à un moulin à vent. Ce premier pas vers l'ère des aérogénérateurs modernes remonte à 1802. Mais les premières applications concluantes durent attendre un demi-siècle de plus, lorsque Zénobe Gramme inventa la dynamo. C'est en 1888 que la première éolienne reliée à un système de stockage du courant vit le jour. On doit cette réalisation au chercheur américain Charles Brush. L'idée était là, mais pas encore les performances. Elles ne tardèrent pas à monter en flèche grâce aux travaux du Danois Poul La Cour, qui découvrit en 1891 que le nombre de pales ainsi que leur forme ont une très nette influence sur le rendement. Grâce à cette découverte majeure sur l'aérodynamisme et le perfectionnement des générateurs, les éoliennes montèrent sans cesse en puissance. Par la suite, avec l'avènement des énergies fossiles, les éoliennes furent reléguées au second plan jusqu'à la crise pétrolière de 1973. Suite à la panique engendrée par les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, qui déboucha sur la recherche d'énergies alternatives, un regain d'intérêt sans cesse grandissant se fit sentir pour l'éolien. Les principales motivations actuelles sont la

hausse des prix des énergies fossiles et l'alternative au nucléaire. Étant donné que les ressources naturelles s'épuisent inexorablement et que les opinions publiques sont de plus en plus sensibilisées aux énergies renouvelables, il ne fait nul doute que l'éolien a de beaux jours devant lui.

LES DEUX DIFFÉRENTS TYPES D'ÉOLIENNES

L'éolienne à axe horizontal

Il existe deux différents types d'éoliennes. Le plus répandu est sans conteste l'éolienne à axe horizontal, c'est-à-dire que l'axe de rotation est placé horizontalement par rapport au sol. Bien que l'on puisse imaginer d'autres systèmes pour capter la force du vent, dans la plus grande majorité des cas, c'est le principe de l'hélice qui est mis en application.



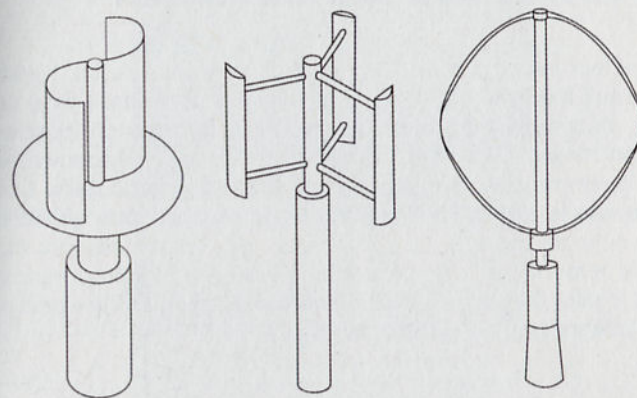
Une petite éolienne tripale à axe horizontal

La plupart du temps, en ce qui concerne la production électrique, l'hélice peut comporter deux ou trois pales. Mais il est utile de préciser dès ce stade que les systèmes à trois pales sont de loin les plus répandus, car c'est le prin-

cipe qui fonctionne le mieux. L'avantage de ce type d'aérogénérateur est de posséder un bon rendement théorique. Le principal inconvénient est qu'il doit s'orienter de lui-même face au vent, ce qui malheureusement élève le seuil de déclenchement. De plus, cette conception est moins résistante aux vents forts que les modèles à axe vertical. À noter aussi qu'il existe un type d'éolienne à axe horizontal qui, au lieu de capter le vent de face, le capte de dos.

L'éolienne à axe vertical

L'éolienne à axe vertical, quant à elle, possède l'énorme avantage de pouvoir capter des vents très faibles, ce qui en fait un excellent moteur pour le pompage de l'eau. En revanche, en ce qui concerne la production électrique, elle est moins rapide que les modèles à axe horizontal. Cet état de fait oblige à recourir à des systèmes de démultiplication de vitesse pour en tirer le meilleur parti. Les modèles les plus communs sont le type Darrieus et Savonius, du nom de leur inventeur respectif.



De gauche à droite, une éolienne de type Savonius et deux éoliennes de type Darrieus

2 Définitions et enjeux du mini-éolien

Vous êtes motivé pour construire ou acquérir un petit aérogénérateur, mais, avant de vous lancer, vous avez besoin d'y voir un peu plus clair sur les possibilités offertes par ce procédé de production électrique. Vous avez raison de chercher à vous documenter sur ce sujet car il vaut mieux savoir exactement ce que l'on peut en espérer avant de se lancer dans cette aventure. Cela ne coûte certes rien de rêver que l'on va pouvoir faire de l'ombre à son fournisseur d'électricité, mais du rêve à la réalité, il y a bien souvent de grandes différences. C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous allons voir tout ce qu'il est possible de faire avec un petit aérogénérateur. Vous pourrez vous rendre compte qu'il existe de nombreuses possibilités d'application concrètes.

QU'EST-CE QUE LE MINI-ÉOLIEN ?

Le secteur du mini-éolien part du tout petit modèle de 1 watt jusqu'aux modèles capables de produire 5 kilowatts. Passé ce seuil, on commence à basculer vers le secteur des professionnels de l'énergie. En effet, pour des raisons assez évidentes, le mini-éolien ne concerne pratiquement que les particuliers. Une fois passé le cap des 5 kilowatts, il commence à être question de revente de courant et les différents types de modèles ont vite fait de verser dans la démesure au niveau de leurs proportions. Dans le mini-éolien, on a plutôt tendance à faire dans le « petit », qui s'intègre bien dans le paysage.

PETITES OU GRANDES ?

Le débat qui consiste à opposer systématiquement les petits aérogénérateurs aux mastodontes des compagnies d'électricité est complètement stérile étant donné la conjoncture actuelle. Pour l'heure, au niveau de l'habitat principal, les mini-éoliennes sont principalement un complément, surtout s'il l'on a besoin de beaucoup de kilowatts. Personnellement, je préfère de loin vivre à proximité d'un champ d'éoliennes qu'à proximité d'une centrale nucléaire ou thermique. Si chacun faisait l'effort de maîtriser sa consommation électrique et d'assurer une partie de ses besoins en électricité par du renouvelable, le temps des énergies fossiles et du nucléaire serait assez vite révolu. Mais ne rêvons pas, nous en sommes hélas encore loin. En attendant, on peut toujours se dire que les petits ruisseaux finissent toujours par former de grandes rivières, d'autant plus que le virus de l'éolien est très contagieux. À coup sûr, il ne laisse jamais personne indifférent.



Exemple de grande éolienne

Les petits aérogénérateurs en fonctionnement ont vite fait de déclencher les passions. Mettre en place une installation éolienne pour sa maison est un acte civique, de même que favoriser tout ce qui est susceptible de garantir un avenir meilleur à nos enfants et petits enfants. Qu'elles soient petites ou grandes, les éoliennes ne rejettent strictement aucun gaz nocif et elles ne risquent pas d'exploser. Alors, si de tous les maux il faut choisir le moindre, c'est sans hésitation qu'il faut soutenir et s'investir dans toutes les formes d'énergies renouvelables et respectueuses de notre environnement. Taper sur tout et n'importe quoi sans aucun argument digne de ce nom est très facile ; c'est valable aussi pour le secteur de l'éolien. Ceux qui diabolisent avec rage les grandes éoliennes feraient mieux d'en voir les nombreux aspects positifs. S'il y a effectivement des récriminations à formuler sur certains aspects économiques ou politiques, ce n'est pas la technologie qu'il faut mettre en cause. Pour la production d'électricité, les éoliennes, l'hydroélectricité et le solaire sont de très bonnes solutions, qu'il faut développer le plus possible sur un modèle cohérent. En assurant une partie de votre autonomie énergétique, vous diminuez d'autant l'apport industriel, qui est très loin d'être produit dans des conditions convenables au niveau environnemental.

UN AÉROGÉNÉRATEUR, POUR QUELLE UTILISATION ?

Pour votre domicile

Vous pourrez facilement couvrir un certain pourcentage de votre consommation grâce à l'énergie renouvelable que produira votre aérogénérateur. Et en bonus, imaginez la tête de vos voisins quand votre quartier subira une coupure du secteur et que votre maison sera la seule à être illuminée ! De plus, une bonne installation sera tout à fait capable de prendre le relais de l'alimentation de votre réfrigérateur et de votre congélateur en cas de défaillance du réseau. Ce n'est pas le genre de mésaventure qui arrive fréquemment, mais quand cela se produit, on est bien

content d'avoir une solution de secours à portée de main, surtout quand on a un congélateur bien rempli...

Pour un cabanon, une maison de vacances...

Pour ce type de lieu, vous n'avez pratiquement besoin que de lumière, de quoi alimenter un ou deux appareils électroniques et, le cas échéant, un réfrigérateur. Dans ce cas précis, votre aérogénérateur pourra subvenir à l'ensemble de vos besoins.

Bateaux, camping-cars...

Dans ce cas aussi, une éolienne vous rendra 100 % autonome au niveau de vos besoins en électricité. En ce qui concerne les bateaux, mieux vaut bien faire ses prévisions avant ; ce n'est pas une fois en pleine mer que vous trouverez une prise de courant reliée au secteur pour vous dépanner ! En tout cas, une chose est sûre, c'est que vous ne manquerez pas de vent. Quant aux camping-cars, cela peut être utile de savoir qu'il existe un dispositif à fixer sur le toit qui permet de faire tourner une hélice à axe vertical reliée à un générateur lorsque votre véhicule roule. Ce système permet de recharger ses batteries sans tirer sur l'alternateur. Une fois à l'arrêt, il est possible d'installer en plus un petit aérogénérateur sur le toit, qui assurera le maintien en charge des batteries.

Maison isolée

Si vous désirez alimenter en électricité une maison isolée qui n'est pas reliée au réseau, vous avez tout à fait raison de vous pencher sur cette alternative, car cela vous coûtera bien moins cher qu'un raccordement. Une éolienne d'une puissance supérieure à 1 kilowatt, complétée par plusieurs panneaux solaires, vous permettra de bénéficier de l'électricité dans les mêmes conditions de confort que si vous étiez relié. Cependant, n'espérez pas alimenter de grosses machines électriques.

Votre réseau couvrira tous vos besoins élémentaires, mais pas les grosses demandes telles que les machines-outils.

La pédagogie

De l'école primaire jusqu'à l'université, les aérogénérateurs sont un excellent vecteur pour inculquer de façon ludique divers principes physiques. C'est aussi un bon moyen d'initier les élèves par la pratique à des techniques de construction et de les sensibiliser aux énergies renouvelables. C'est pourquoi de plus en plus d'enseignants ont recours à des travaux pratiques sur l'éolien. Il y a un nombre croissant de TPE sur ce sujet et les réalisations en commun commencent à se répandre. Il faut dire que pour apprendre ou réviser ses classiques en électricité et en aérodynamisme, c'est vraiment un support de premier choix.

Pour le plaisir

Et puis, au bout du compte, vous pouvez également installer une ou plusieurs petites éoliennes dans votre jardin juste pour le plaisir de les regarder fonctionner. Après tout, chacun ses hobbies, et celui-ci est plutôt sympathique ! Il y a toujours une certaine part de poésie chez les passionnés d'éolien. C'est un des nombreux charmes de cette discipline, qui n'a pas fini de nous apporter son lot de progrès techniques.



Éoliennes décoratives

LA DURÉE DE VIE ET L'ENTRETIEN

La durée de vie

Certains constructeurs vous annonceront dix ans, d'autres quinze ou vingt... Dans tous les cas, cela ne veut rien dire du tout. C'est juste une question de logique : en admettant qu'un constructeur vous indique que votre aérogénérateur a une durée de vie de quinze ans, cela veut-il dire qu'après cette date il sera bon pour la poubelle ? Eh bien non, les éoliennes jetables, non merci ! En réalité, tout est entièrement réparable. Une pale cassée se change, un roulement usé se remplace, etc. Fort de ce constat, je suis plutôt enclin à dire qu'un aérogénérateur de bonne conception et régulièrement entretenu est quasiment un investissement à vie. Raison de plus pour ne pas s'en priver !

L'entretien

Un aérogénérateur ne demande que peu de maintenance. Une fois par an, une bonne inspection et un nettoyage s'imposent. Il s'agit de vérifier que les différents éléments ne donnent pas de signe de fatigue. Le cas échéant, il faut aussi en profiter pour penser à graisser certaines pièces. En dehors de ce check-up annuel, si votre éolienne ne fait pas de bruit suspect, il n'y a aucune raison de s'en soucier. Laissez-la effectuer son ballet avec Éole et engrangez des watts en toute sérénité. Notez quand même qu'après une très grosse tempête il n'est pas superflu de vérifier que votre éolienne n'a pas trop souffert. Mieux vaut prévenir que guérir. Un élément défaillant est susceptible d'entraîner d'autres dans sa chute s'il n'est pas remplacé dans les plus brefs délais. Mais pas de panique, un aérogénérateur de bonne facture est de constitution robuste et il est très difficile de le détériorer. Dites-vous bien qu'une éolienne n'est pas en sucre ! Elle doit supporter aussi bien le gel, la neige, la grêle, la pluie, que le soleil et les fortes températures. Quant aux vents violents, il existe de nombreux dispositifs de sécurité, qui font l'objet d'un chapitre dans cet ouvrage.

PHILOSOPHIE DE L'ÉOLIEN

> Acquérir un aérogénérateur n'est jamais un acte anodin. C'est avant tout se soucier de son environnement et de son autonomie énergétique. À lui seul, cet objet véhicule ce message. Voilà pourquoi de plus en plus de personnes franchissent le pas, soit en fabriquant soit en achetant cet appareil symbole d'écologie et de liberté. D'un modèle à l'autre, les éoliennes ont toutes leur personnalité. Il est de plus en plus à la mode de réaliser des aérogénérateurs qui soient à la fois efficaces et design.

> Du côté des créations à axe vertical, il n'est pas rare d'en voir qui tiennent littéralement de l'œuvre d'art. Car, il ne faut pas l'oublier, les petites éoliennes, c'est aussi de la poésie appliquée, c'est pourquoi elles inspirent de nombreux artistes. Allier l'utile et le beau est tout ce qu'il y a de plus faisable dans ce secteur.

EN RÉSUMÉ

Même si votre aérogénérateur n'aura jamais la puissance du réacteur numéro quatre de la centrale nucléaire de Tchernobyl, à la grande époque où il délivrait des mégawatts sans danger, il n'en reste pas moins qu'il s'avérera vite être un précieux auxiliaire pour produire du courant de façon écologique. Si vous pesez bien le pour et le contre, vous en conclurez vite que cela ne vaut vraiment pas le coup de s'en priver. Certes, il vous faudra investir au départ. Mais par la suite, si vous prenez votre calculatrice en main et que vous comptabilisez les kilowatts produits gratuitement, vous verrez que vous serez vite gagnant sur tous les plans. C'est pour vous aider à atteindre ce but qu'au fil des chapitres nous allons passer au crible tous les tenants et aboutissants de cette technique de production électrique. Cela vous aidera à faire le meilleur choix possible en toute connaissance de cause et à éviter les déconvenues. Mais plutôt qu'un long discours rébarbatif qui brasserait du vent sans pour autant produire du courant, je vous invite à aller directement à l'essentiel en vous rendant au chapitre suivant.

3

La législation

Se mettre en conformité est un point important. Cela me ferait beaucoup de peine de vous savoir aux prises avec la justice à cause de votre éolienne. Alors, pour éviter cette mésaventure, le mieux est d'être bien informé au préalable.

LE PERMIS DE CONSTRUIRE

En ce qui concerne les éoliennes, quel que soit leur type, la loi impose de demander un permis de construire pour une hauteur supérieure à douze mètres. Il faut savoir qu'il est très rarement accordé ; de nombreux partisans du mini-éolien y voient un frein à son essor. C'est vrai que cela ne facilite pas les choses, mais en y réfléchissant bien, si l'on n'impose pas de limites, on tombe vite dans le « n'importe quoi ». En ce qui me concerne, cela ne me plairait pas forcément que mon voisin installe un pylône de quarante mètres de haut juste à côté de chez moi ! Avec une hauteur de dix mètres et un aérogénérateur bien conçu, il y a de quoi faire des merveilles. Alors pourquoi se lancer dans la démesure pour grappiller quelques petits pourcentages de rendement ? La question est posée. Si néanmoins vous désirez dépasser cette hauteur, vous aurez beaucoup plus de chances que votre permis de construire soit accepté si vous faites réaliser votre installation par un professionnel reconnu. Le fait que l'aérogénérateur soit très éloigné des habitations alentour est aussi un atout de poids.

LE VOISINAGE

Si votre aérogénérateur est bruyant et qu'il gêne vos voisins, ces derniers seront en droit de vous faire des reproches, voire de

porter plainte si la situation s'envenime. Pour éviter ce genre de désagrément, évaluez le rendu acoustique de l'éolienne avant même de songer à sa fixation. Cela vous aidera à déterminer le meilleur compromis pour son futur emplacement, entre le point pour mieux capter le vent et celui pour éviter les nuisances. Mais ne dramatisons pas non plus, nous sommes en présence d'une petite éolienne ; si sa conception est correcte, il ne devrait pas y avoir de quoi affoler un sonomètre... Un éloignement de quelques mètres est suffisant pour ne rien entendre. Bien que ce soit un point discutable, vos voisins sont aussi en droit de se plaindre de l'impact visuel, surtout si votre éolienne est située juste en face de leurs fenêtres principales. C'est un cas de figure qui est très rare, mais mieux vaut prévenir que guérir. Si vous ne pouvez pas faire autrement que d'installer votre éolienne relativement proche de vos voisins, le bon sens conseillerait de leur en parler avant. Cela peut être une bonne occasion de leur faire découvrir à leur tour les plaisirs de l'éolien. Quoi qu'il en soit, un bon apéritif entre voisins vaut mieux qu'un mauvais procès ! Soyez donc vigilant sur cet aspect des choses afin de ne pas prendre le risque d'avoir des soucis par la suite.

L'ACHAT

Si vous avez acheté votre aérogénérateur par correspondance ou par le biais d'Internet, vous disposez d'un délai légal de rétractation de sept jours après réception du colis, qu'il fonctionne ou non. Conservez bien les bons de garantie du matériel. En cas de défection durant la garantie, il devra être remplacé ou réparé gratuitement par l'entreprise en charge du service après-vente. Si les données que le constructeur vous a indiquées ne sont pas conformes au rendement que vous constatez, vous êtes en droit d'exiger le remboursement total de votre achat. Par exemple, en admettant que l'on vous ait vendu un générateur qui doit produire 400 watts pour un vent de 35 km par heure et que vous constatez par des mesures incontestables que c'est moitié moins, n'hésitez pas une seconde à demander des explications. La surestimation du rendement est un cas assez fréquent dans

le cas d'éoliennes bricolées et vendues par des particuliers. Si vous passez par ce biais, dès la réception de l'engin, assurez-vous qu'il fonctionne et que les performances sont conformes à ce que l'on vous a promis. De même que l'on n'achète pas une voiture d'occasion les yeux fermés au petit bonheur la chance, on n'achète pas non plus une éolienne sans s'assurer auparavant qu'elle est conforme à sa description. Cela ne doit pas vous décourager pour autant d'acheter à des particuliers ; avec ce livre, vous avez tous les éléments nécessaires pour faire un bon choix en toute connaissance de cause et pour déceler d'éventuels problèmes.

EN RÉSUMÉ...

> Vous devez demander un permis de construire si votre éolienne est située sur un mât ou un pylône de plus de douze mètres. Vos voisins peuvent porter plainte pour nuisance sonore ou visuelle.

> Par ailleurs, vous disposez d'un délai de réflexion de sept jours pour vos achats par correspondance. Vous pouvez vous faire rembourser si la description n'est pas conforme à votre matériel. Conservez précieusement tous vos bons de garantie.

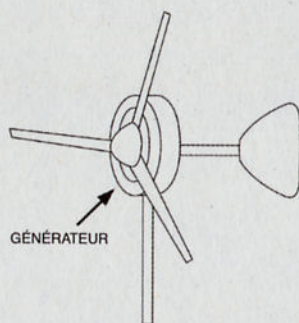
PARTIE 2

FONCTIONNEMENT ET CONCEPTION D'UNE ÉOLIENNE

4 LE GÉNÉRATEUR

PRINCIPES DE BASE

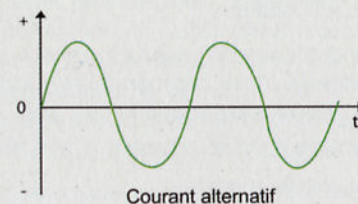
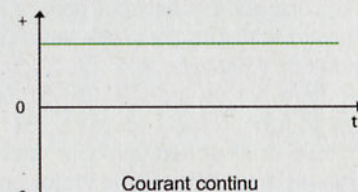
Situé au cœur de l'éolienne, le générateur électrique est la pièce maîtresse de votre installation. Rien ne sert de disposer d'un dispositif d'entraînement ultra-performant si c'est pour faire tourner un générateur qui ne produira qu'un faible courant. Pour bien comprendre les principes mis en œuvre, un petit rappel de physique de base s'impose. Ne craignez rien, on va faire ça tout en douceur !



L'électricité n'est ni plus ni moins que des électrons qui se déplacent. On peut la mesurer en ampères, en volts ou en watts. Pour bien assimiler ce phénomène, comparons-le à une chute d'eau. L'intensité du courant électrique, qui se mesure en ampères, correspond au débit de l'eau, et la tension, qui se mesure en volts, correspond à la hauteur de la chute. Les watts, quant à eux, correspondent à la force globale induite par ces deux paramètres. On les obtient en multipliant l'intensité et la tension entre elles. C'est eux qui nous indiquent la puissance que produit notre générateur. Quand on leur ajoute un facteur temps

horaire, on parle de « watts-heure » (Wh). Cette unité de mesure correspond à la quantité d'énergie produite ou consommée en une heure.

Maintenant que vous voici éclairé sur les mesures de base, passons à l'étape suivante. Pour fabriquer de l'électricité, il nous faut donc un générateur. Il en existe deux types : l'alternateur et la dynamo. Le premier produit du courant alternatif et la seconde du courant continu. Le courant alternatif s'inverse en un temps donné qui se mesure en hertz (Hz). Pour vous donner une idée plus précise, le courant domestique est du 220 volts 50 hertz, soit 50 inversions par seconde de la polarité, ce qui nous donne au total 100 inversions du + et du -. Pour ce qui est du courant continu, le + et le - restent toujours dans le même sens.



Les piles et les batteries se rechargent avec du courant continu, qu'elles restituent ensuite sous cette même forme. En ce qui nous concerne, pour la génératrice de l'éolienne, il faut opter pour un alternateur. Malgré le fait que tout serait parfaitement fonctionnel avec une dynamo au niveau de la production, il faut savoir que les gros désavantages du courant continu sont la déperdition lors de son transport et le risque de surchauffe des conducteurs, qui oblige bien souvent à recourir à des câbles de très grosse section. On se chargera plus tard de convertir le courant alter-

natif en courant continu au plus près des batteries. Pour l'instant, concentrons-nous sur le générateur.

Pour produire de l'électricité avec un alternateur, il nous faut du fil de cuivre émaillé, un champ magnétique et du mouvement. Contrairement aux idées reçues, un générateur électrique ne produit pas d'électrons. Son rôle est de mettre en mouvement les électrons contenus dans les atomes de cuivre. Autrement dit, il agit comme un circulateur. C'est lui qui donne plus ou moins de vitesse et de force aux électrons présents dans le conducteur. Quand il s'arrête, ou si le circuit est ouvert, les électrons stoppent immédiatement leur course. Pour créer un circuit avec les électrons, il utilise le magnétisme. Schématiquement, plus le champ magnétique sera fort et sa vitesse importante, plus la production d'électricité sera importante. En passant devant les bobines de cuivre, les aimants vont faire circuler tantôt les électrons dans un sens, tantôt dans un autre. Pour ce faire, une logique implacable nous impose de le faire par un mouvement circulaire. Un alternateur et une dynamo fonctionnent toujours sur la même base, à savoir qu'ils sont tous deux constitués d'un rotor et d'un stator. Le rotor est la partie en mouvement et le stator est la partie fixe. On peut s'en souvenir aisément grâce à cette mnémotechnique : rotor = rotatif, stator = statique.

Maintenant, nous disposons d'assez d'éléments pour aller plus loin. En ce qui concerne les aérogénérateurs, il existe trois types d'alternateurs qui conviennent tout à fait :

- le générateur à aimants permanents ;
- l'alternateur de voiture modifié ;
- le moteur synchrone ou asynchrone converti en générateur.

En fonction de vos besoins et de vos facilités en bricolage, vous pourrez opter pour l'un ou l'autre de ces modèles. Il faudra cependant tenir compte qu'avec un alternateur de voiture modifié vous serez forcément limité à une production maximum inférieure à 1 kWh, tandis qu'avec les deux autres possibilités, vous pourrez produire beaucoup plus si vous le souhaitez. Pour vous guider dans votre choix, il est important de savoir que la grande majorité des aérogénérateurs vendus dans le commerce utilisent des

générateurs à aimants permanents. C'est de loin la technique que je préconise. Le rendement est excellent, le seuil de déclenchement est très bas car il n'y a pas de balais qui viennent freiner la rotation, et la mise en œuvre est relativement simple.

À présent, retroussons nos manches et passons directement à la partie suivante, qui va nous apprendre à modifier un alternateur de voiture pour l'adapter à un usage éolien.

Bon à savoir

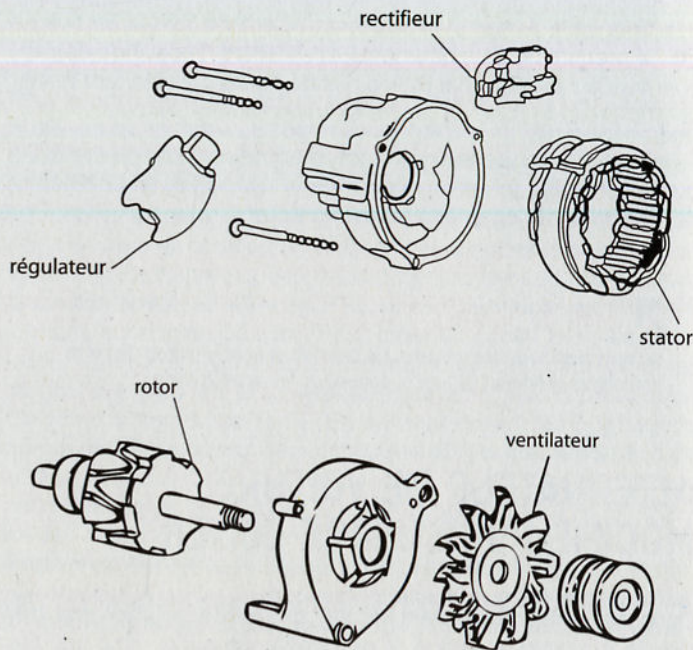
Contrairement aux idées reçues, les bicyclettes sont équipées de petits alternateurs et non de dynamos, comme on les appelle à tort.

ALTERNATEUR DE VOITURE MODIFIÉ POUR USAGE ÉOLIEN

Dans ce cas précis, étant donné que cette solution est très simple à mettre en place et peu coûteuse si l'on sait bricoler, on pourra se contenter d'un alternateur d'occasion récupéré à la casse, même s'il s'avère toujours plus judicieux d'opter pour un modèle reconditionné, voire neuf. Dans le cas où vous opteriez pour un modèle d'occasion, vérifiez bien que les roulements soient en parfait état et investissez dans des charbons neufs.

Un alternateur de voiture se compose des éléments principaux suivants :

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| • le rotor ; | • un régulateur ; |
| • le stator (ou couronne) ; | • des balais ; |
| • deux roulements à billes ; | • un ventilateur de refroidissement. |
| • un pont de diodes ; | |



Il est courant d'entendre parler d'alternateurs rembobinés chez les autoconstructeurs. Le principe consiste soit à rallonger les spires soit, plus couramment, à rembobiner le stator avec du fil plus fin en faisant plus de spires. Le but de la manœuvre est de produire plus de courant à basse vitesse de rotation sans trop sacrifier le rendement maximal. Bien que cette technique soit tout à fait fonctionnelle, elle souffre d'un gros désavantage : son problème est qu'elle n'est pas à la portée du premier bricoleur venu et que les risques de complètement détériorer l'alternateur au passage sont nombreux. À moins d'avoir une bonne initiation dans ce domaine, il faudra vous rendre chez un rembobineur professionnel pour effectuer cette opération. Autant vous le dire tout de suite, pour le résultat final que vous obtiendrez, cette grosse dépense ne vaut vraiment pas la peine. Pour le même tarif, vous pourriez vous fabriquer deux générateurs à aimants permanents qui produiront beaucoup plus. Le seul avantage de

cette technique, c'est que l'hélice peut se fixer directement sur l'alternateur, ce qui permet de créer une éolienne en toute simplicité une fois l'alternateur modifié. Mais encore une fois, ne vous attendez pas à un rendement faramineux.

Le principal défaut de l'alternateur de voiture en usage éolien est donc qu'il produit peu à bas régime. En revanche, on peut lui concéder la qualité de pouvoir tourner vite sans trop de risques de surchauffe. À moins que vous ne résidiez dans une région où il y a des vents très forts en permanence, il va donc falloir vous débrouiller pour améliorer au maximum les performances de l'alternateur à bas régime. Pour ce faire, le plus judicieux est de passer par une démultiplication. Il existe plusieurs possibilités, telles que l'utilisation de courroies, de chaînes ou d'engrenages. La solution que je préconise est d'employer une démultiplication par chaîne. Si jamais vous voulez vous lancer dans une démultiplication par courroie, sachez que les courroies crantées offrent un bien meilleur rendement que les courroies lisses. Quant aux engrenages, il s'agit là d'une réalisation complexe qu'il vaut mieux laisser de côté.

La solution de loin la plus simple pour démultiplier la vitesse est d'utiliser un mécanisme de bicyclette. Il suffira de fixer un petit pignon sur la poulie de l'alternateur et de fixer un grand pignon au niveau de l'arbre de l'hélice, puis de relier les deux par la chaîne. Cela vous permettra d'obtenir une bonne petite éolienne pour vraiment peu de frais.

Mais avant cela, il vous faudra faire sauter le régulateur ainsi que le pont de diodes qui redresse le courant. Seuls les balais sont à conserver. Cette étape est primordiale pour votre éolienne, car même si elle arrivait à tourner à une vitesse relativement importante, le régulateur bloquerait la production électrique. Les batteries de voiture ont besoin d'une charge constante, c'est pourquoi le régulateur de l'alternateur permet de ne pas laisser passer du courant trop fort ou trop faible en modulant le courant d'excitation. Pour commencer à produire, il vous faudra atteindre entre 1 000 et 4 000 tours par minute selon le modèle. Donc, pas de panique concernant le régulateur ; pour le moment, on va tout bonnement lui régler son sort. En ce qui concerne le pont de diodes, on le fait sauter pour pouvoir transporter le courant en alternatif jusqu'au plus près

des batteries. Il pourra toujours être réutilisé comme pont redresseur à cet endroit là. La bonne tension à obtenir pour recharger les batteries sera de 14 volts. À moins, elles ne chargeront pas, ou très mal, à plus, elles risquent d'être endommagées.

Maintenant que tout cela est fait, il reste une tâche cruciale. Il faut savoir que pour produire un champ magnétique, le rotor a besoin d'un courant d'excitation qui lui est transmis par les charbons. C'est en règle générale la tension de la batterie, soit 14 volts. Avant d'entreprendre quoi que ce soit, si vous avez des doutes, le mieux à faire est de vous renseigner auprès d'un électricien automobile, ou même d'un garagiste, sur les caractéristiques de votre alternateur. Pour lui donner cette excitation, la méthode la plus simple consiste à envoyer le courant nécessaire à partir des batteries. Ce n'est pas le meilleur moyen, mais, dans un premier temps, cela fonctionne impeccablement bien pour faire des tests. Par la suite, si vous êtes doué en électronique, il est utile de savoir qu'il existe quelques méthodes pour rendre votre alternateur auto-excitable. Vous trouverez aisément des schémas sur Internet en utilisant les mots-clés adéquats dans votre moteur de recherche favori.

Mais en se creusant un peu les méninges, on peut aisément contourner ce problème d'excitation. La première méthode devrait en séduire beaucoup puisqu'il n'y a strictement rien à faire. Le tout, c'est de savoir que de nombreux alternateurs très récents sont désormais auto-excités, c'est-à-dire qu'ils fournissent eux-mêmes leur courant d'excitation. Le mieux à faire pour vous en procurer un est de vous renseigner auprès d'un vendeur de pièces détachées. Il ne vous coûtera pas plus cher qu'un alternateur récent qu'il faudra bricoler plus ou moins laborieusement par la suite. La deuxième méthode consiste à remplacer les aimants du rotor par des aimants néodyme. Ce n'est pas facile du tout, mais c'est très efficace. Non seulement on règle le problème de l'excitation, mais en plus on augmente le rendement de façon très conséquente par rapport au montage d'origine. Inutile de préciser que cette technique est une fois encore réservée à des bricoleurs chevronnés. Cependant, en cherchant bien, vous pourrez trouver des modèles conçus d'origine avec des aimants permanents. Ils sont de conception japonaise

et américaine. En cherchant un peu sur Internet, vous devriez pouvoir les trouver.

En conclusion, même s'il est vrai que l'on peut gagner en simplicité par la suite, le choix d'un alternateur de voiture n'est pas des plus judicieux quand on recherche la performance. Mais il est vrai aussi que cette solution pourra séduire beaucoup de particuliers de par sa simplicité de mise en œuvre. Encore une fois, n'attendez pas monts et merveilles. Cela conviendra pour allumer deux ou trois ampoules économiques quelques heures par jour et faire fonctionner de petits appareils électroniques, ce qui n'est déjà pas si mal si vous vous êtes arrangé pour mettre en place ce procédé pour peu de frais. Sachez encore que les alternateurs de voiture sont très loin d'être une panacée pour les éoliennes à axe vertical. Cependant, cela peut fonctionner plus ou moins bien au prix d'une grosse démultiplication et d'un retour d'angle pour éviter une usure prématurée des roulements. Dans l'absolu, là où ce type de générateur s'adapterait le mieux, c'est en axe horizontal bipale, même s'il reste vrai qu'il vaut mieux mettre trois pales pour des questions de démarrage et de robustesse. C'est à vous de choisir en fonction de vos éléments et de votre savoir-faire en la matière.

LES MOTEURS ÉLECTRIQUES UTILISÉS EN GÉNÉRATEUR

Pourquoi utiliser un moteur en générateur ?

Un bon générateur fabriqué à partir d'un moteur électrique, c'est la simplicité assurée pour construire son éolienne. Après modifications éventuelles, si l'on a trouvé le modèle qui convient, il ne reste pratiquement plus qu'à fixer les pales sur l'arbre et à ajouter une queue à l'arrière pour que l'aérogénérateur soit en mesure de produire du courant. Et roulez jeunesse, vous direz-vous peut-être. Sauf que... une fois de plus, tout n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. Sinon, cela ferait bien longtemps que l'on

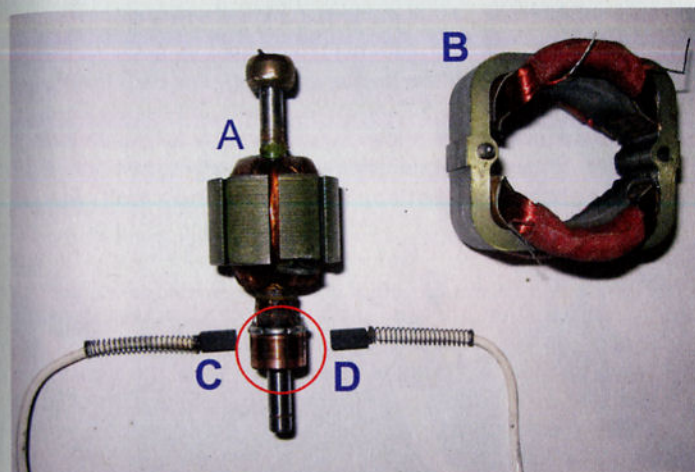
verrait fleurir des petites éoliennes un peu partout. Alors, plutôt que de rester dans le vague du sujet, attelons-nous à le décortiquer tout en douceur.

Avant de commencer

En premier lieu, tordons le cou aux idées reçues. C'est vrai, fondamentalement parlant, il n'y a guère de différence entre un moteur électrique et un générateur. Au niveau théorique, il est impossible de donner tort à ceux qui affirment que 100 % des moteurs peuvent produire du courant. Il existe pourtant une différence de taille entre un moteur et un générateur, qui réside dans l'optimisation de la fonction première. Plus explicitement, un moteur est totalement conçu pour être performant en tant que moteur et idem pour les génératrices. Sauf cas très particulier, c'est l'un ou l'autre. Selon les types de moteurs, si vous vous amusez à faire tourner rapidement l'axe avec l'aide d'une perceuse, soit vous n'obtiendrez aucun courant à la sortie, soit vous en aurez un peu, soit vous obtiendrez un résultat satisfaisant. Mais plutôt que d'y aller au petit bonheur la chance, nous allons étudier cela plus en détail.

Principes de base

Schématiquement, un moteur électrique est composé de bobines de cuivre et d'un aimant. C'est l'injection de courant dans les bobines qui crée le mouvement par l'action de deux champs magnétiques qui se repoussent – celui des bobines et celui de l'aimant. En fonction générateur, c'est l'aimant qui crée un courant électrique dans les bobines. Donc on dispose bien des mêmes éléments basiques, mais pour une utilisation différente. Là où les choses se compliquent, c'est qu'à partir de ces données il existe à la fois différents types de moteurs et différents types de génératrices qui possèdent leurs propres spécificités. Les différences les plus notables se situent au niveau du bobinage, du type d'aimant employé et de l'amorçage éventuel.



C'est un moteur classique dont le rotor a besoin d'une excitation. On peut apercevoir le rotor en A, le stator en B, les charbons en C et D. Le cercle rouge vous permet de repérer le collecteur. Ce moteur n'est pas ce qu'il y a de mieux pour faire un générateur, à moins de remplacer son système magnétique par des aimants néodyme. Mais vous allez voir plus loin qu'il y a plus simple.

Mon moteur ne produit rien du tout

Vous avez récupéré un moteur électrique, vous avez fixé l'arbre sur une perceuse, vous l'avez fait tourner très vite et strictement aucun courant n'est sorti. Pas de panique, c'est normal. Si vous n'y connaissez rien en moteur électrique, mieux vaut laisser tomber. Les modifications à faire effectuer par un professionnel vous coûteront plus cher que l'achat d'un générateur neuf très efficace. En revanche, si vous ne vous débrouillez pas trop mal, voici ce qu'il faut faire :

C'est un moteur asynchrone

C'est un type de moteur extrêmement répandu qui se comporte très bien en générateur. Si vous lisez sur la plaque d'un moteur

asynchrone qu'il a besoin de 1 500 watts en 220 volts, 50 hertz pour tourner à 3 000 tours par minute, en théorie, sous certaines conditions, si vous le faites tourner à un peu plus de 3 000 tours par minute, il débitera 1 500 watts 220 volts, 50 hertz. C'est ce type de génératrice qui équipe de nombreuses éoliennes industrielles de puissance. Pour produire, ce type de moteur doit juste dépasser de peu sa vitesse de synchronisme. On pourrait presque en conclure hâtivement qu'il s'agit d'une aubaine. Sauf que... en utilisation autonome, le moteur asynchrone a besoin d'un courant d'excitation qu'il faudra lui fournir à l'aide de condensateurs fixés soit en étoile soit en triangle, et dont il faudra calculer la valeur en fonction de ses caractéristiques. C'est aussi leur valeur qui définira la fréquence. Autant le dire tout de suite : bon courage. D'autant plus qu'il faudra vous débrouiller pour faire tourner votre éolienne à vitesse constante. Pour le petit éolien, cette solution est bonne de loin sur le papier, mais la mise en application est bien trop complexe par rapport au résultat final obtenu. À titre informatif, pour se bricoler un petit groupe électrogène maison, cela peut valoir le coup.

C'est un moteur synchrone

Les moteurs synchrones peuvent quant à eux s'avérer intéressants. Mais, en y regardant à deux fois, on a vite fait de se rendre compte qu'un alternateur de voiture est de type synchrone. Alors pourquoi aller bricoler un moteur alors que pour trois fois rien vous pouvez récupérer un vrai générateur ? C'est une question à se poser au préalable. Mais ce n'est pas une raison pour tirer un trait dessus pour autant. Un moteur synchrone à aimants permanents aura de très fortes chances d'être un bon générateur pour votre éolienne et, cerise sur le gâteau, il ne demandera aucune adaptation. Mais c'est assez rare de mettre la main dessus, en dehors des petits moteurs. Vous avez plus de probabilités de tomber sur un modèle qu'il faudra adapter. Peut-être recherchez-vous beaucoup de puissance ? Dans ce cas, cela peut valoir le coup d'adapter un gros moteur. S'il n'est pas auto-amorçable, il faudra soit faire en sorte de lui apporter son courant d'excitation, soit faire en sorte qu'il le devienne. Ce genre d'opération est plutôt à faire réaliser par un professionnel.

C'est un moteur pas à pas

Si c'est un moteur d'où sortent quatre ou huit fils, c'est un moteur pas à pas. À ce moment-là, l'opération est assez simple. Les fils qui sortent correspondent à des phases : deux phases s'il y a quatre fils et quatre phases s'il y a huit fils.

La première étape consiste à repérer les phases à l'aide de la fonction contrôle de continuité présente sur pratiquement tous les contrôleurs universels. Il ne vous restera plus qu'à les relier en série. Ces moteurs transformés en générateurs sont très intéressants pour le mini-éolien. On peut en tirer facilement 30 watts aux alentours de 1 000 tours par minute, ce qui n'est déjà pas si mal vu la petite taille de ce type de générateur. En admettant que vous ayez récupéré ce moteur pour presque rien en chinant en peu, c'est une bonne affaire et du bon recyclage par la même occasion. Et si ce n'est pas suffisant, rien ne vous empêche de fabriquer une seconde petite éolienne, voire une troisième, et de raccorder le tout en parallèle sur votre régulateur. Mais avant cela, il faudra installer un pont de diodes pour redresser le courant, car il sera automatiquement en alternatif. Placez-le au plus près du régulateur afin d'éviter les déperditions. Le seul défaut de ce moteur transformé en générateur, c'est qu'il risque de griller s'il tourne trop vite. Donc, prudence lors des tests sur banc d'essai. Par précaution, votre éolienne devra être impérativement pourvue d'un dispositif de freinage ou d'arrêt en cas de vents violents.

Mon moteur produit

C'est peut-être un moteur à courant continu. Dans ce cas, on parlera d'une dynamo. Si vous êtes content de ses performances, n'hésitez pas à le garder car ils sont assez rares et très recherchés par les autoconstructeurs. Étant donné qu'il produit du courant continu, pas besoin de pont redresseur ; on peut le brancher directement sur le régulateur. Ce genre de moteur équipait certains vieux lave-linge de marque Polymotor. Si vous ne savez pas où chercher, le mieux est de poser la question à un dépanneur en électroménager. S'il peut vous en procurer un qui

est hors-service, cela vaut peut-être le coup de le faire réparer. En fonction générateur, ce moteur arrive à produire jusqu'à 70 watts-heure et il est très robuste. Avant les années 1970, les voitures étaient équipées de dynamo en lieu et place de l'alternateur. Là encore, si vous en trouvez une, c'est une bonne opportunité, car la production est au rendez-vous. Attention tout de même avant de sauter sur le premier moteur venu : certains modèles nécessitent des modifications.

Si votre moteur est récent et qu'il produit vraiment bien sans rien faire, c'est presque à coup sûr un moteur à aimants permanents. Si vous êtes content de ses performances, vous n'avez plus qu'à le transformer en éolienne. Pour en trouver un, posez la question dans un atelier qui répare les moteurs électriques. En règle générale, vous serez très bien conseillé. Mais surtout, renseignez-vous bien avant d'acheter, car le but est de trouver un modèle adapté à l'utilisation en éolien et c'est loin d'être répandu. Le cas échéant, pour vous aider à mettre les spécialistes sur la bonne voie, expliquez-leur que vous cherchez un moteur qui n'a pas besoin d'excitation avec un grand nombre de pôles.

VOUS AVEZ TROUVÉ LE MOTEUR QUI VOUS CONVIENT

Ça y est ! Vous avez trouvé la perle rare. Avant de vous emballer et de lui coller tout de suite des pales sur le bout du nez, il y a quelques points à vérifier, surtout s'il est d'occasion. Nous allons étudier cela sous forme de questions-réponses :

Ce moteur est-il prévu pour aller dehors ?

Si c'est le cas, il peut être fixé tel quel directement sur le mât. Sinon, il faudra lui confectionner un caisson pour l'abriter qui laissera passer l'air pour le refroidissement.

A-t-il tendance à chauffer ?

Si oui, il faudra prévoir un dispositif de refroidissement reposant sur un ventilateur et des dissipateurs de chaleur. Dans l'absolu, c'est toujours mieux d'intégrer ce type de dispositif. Pour le ventilateur, vous pouvez toujours vous inspirer de ceux qui sont présents sur les alternateurs de voitures.

Est-il en bon état ?

Faites-lui subir un petit check-up. S'il est sale, un bon coup de chiffon lui fera le plus grand bien. Si les câbles de raccordement ne sont pas de toute première jeunesse, remplacez-les. S'il est équipé de charbons et qu'ils sont usés, il va falloir les faire remplacer. Idem pour les roulements. Si l'émaillage du fil de cuivre qui compose les bobines est écaillé par endroits ou s'il y a des traces de chauffe, un rembobinage s'impose. Pour ces deux dernières opérations, il faudra vous rendre chez un réparateur de moteurs électriques. Demandez d'abord un devis et estimez ensuite si cela vaut le coup ou non de se lancer dans cette dépense. Dans tous les cas, c'est plus simple d'y penser au départ que d'attendre que votre éolienne soit perchée à douze mètres de hauteur...

PROCÉDURE DE TEST

Pour tester un moteur, il n'y a pas besoin de grosses compétences en électricité. Vous allez avoir besoin d'un établi, d'un étau, d'un contrôleur universel et d'une perceuse à variateur de vitesse. Voici une procédure toute simple :

- Munissez-vous de votre perceuse à variateur de vitesse.
- Fixez-la sur votre étau.
- Placez le moteur à hauteur du mandrin en utilisant des cales.
- Verrouillez l'axe du moteur dans le mandrin.

- e) Calez le moteur du mieux que vous pouvez, si besoin est.
- f) Connectez votre contrôleur universel sur la sortie du moteur (bornes ou fils).
- g) Allumez-le et réglez-le sur la mesure de puissance.
- h) C'est très important : réglez la vitesse de votre perceuse au minimum.



À présent, vous êtes fin prêt pour débiter le test. Allumez la perceuse. Le moteur va tourner tout doucement. Jetez un coup d'œil sur votre contrôleur. Si vous avez la bonne surprise de voir apparaître des chiffres, profitez-en pour vérifier si le moteur produit du courant continu ou alternatif si vous ne le saviez pas d'avance. Vous devrez toujours avoir une main sur le moteur. Elle va vous permettre de détecter une surchauffe éventuelle par la suite. Vous pouvez à présent augmenter progressivement la vitesse de votre perceuse tout en observant la mesure de production. S'il n'y a aucune production à pleine vitesse, à vous d'en tirer les conclusions. S'il y a production, mesurez précisément les ampères et le voltage à différentes vitesses. Le plus

délicat va être d'estimer le nombre de tours/minute. Vous pouvez toujours essayer de les trouver en vous référant aux données techniques de votre perceuse. Tout le monde n'a pas la chance de posséder un compte-tours, donc il faut improviser et trouver une astuce pour avoir une estimation la plus fiable possible. Attention, si jamais le moteur chauffe trop, arrêtez immédiatement le test et laissez-le refroidir. Vous pourrez reprendre plus tard à une vitesse inférieure. Il ne vous reste plus qu'à prendre votre décision en fonction des critères énoncés ci-dessous.

LES QUALITÉS D'UN MOTEUR EN GÉNÉRATEUR

Sa première qualité est d'être capable de produire un courant de charge à faible vitesse. Sa seconde est d'être capable de débiter de l'ampérage en quantité respectable aux alentours de 1 000 tours par minute. Si vous ne comptez pas utiliser de démultiplication et que ces deux qualités ne sont pas réunies, ce n'est même pas la peine d'aller plus loin. Votre aérogénérateur sera tout juste bon pour orner votre jardin. En revanche, si votre moteur est compatible avec les deux critères qualitatifs cités plus haut, vous êtes sûr d'avoir affaire à un générateur capable d'engranger des watts. Il ne vous reste plus qu'à fabriquer votre mécanisme d'entraînement et à laisser le vent faire son office.

RÉCAPITULATIF

> Si vous envisagez d'acheter un moteur neuf, prenez plutôt un générateur car il est optimisé pour remplir cette fonction. Par contre, si par chance vous arrivez à récupérer gratuitement ou à petit prix un moteur qui se comporte bien en fonction générateur, n'hésitez pas à vous lancer dans l'aventure, vous pourrez vous fabriquer une bonne petite éolienne pour vraiment très peu de frais. À partir de cette base, vous pourrez aussi bien concevoir une éolienne à axe horizontal que vertical.

Tout en sachant qu'avec ce type de générateur, pour une éolienne à axe vertical, il vous faudra obligatoirement passer par une démultiplication. Si vous êtes séduit par cette formule, il ne vous reste plus qu'à chiner à droite et à gauche pour essayer de trouver le modèle qui correspond le mieux à votre projet.

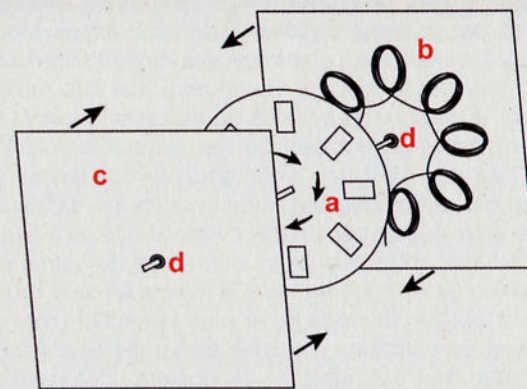
AUTOCONSTRUCTION D'UN GÉNÉRATEUR À AIMANTS NÉODYME

C'est un fait avéré, pour produire un maximum de courant il faut un champ magnétique le plus fort possible. C'est pourquoi nous allons utiliser des aimants néodyme, qui sont aussi appelés « aimants permanents » à cause de leur très grande longévité. Ils sont composés d'un alliage néodyme-fer-bore et sont au minimum dix fois plus puissants que des aimants classiques. Ils gardent toute leur propriété magnétique intacte pendant au moins trois siècles. C'est dire si votre éolienne a de l'avenir devant elle. Pour vous en procurer, le plus simple sera de vous connecter sur Internet et de taper les mots-clés « aimants + néodyme » dans votre moteur de recherche favori. Les fabricants et revendeurs indiquent la force de leurs aimants soit en gauss soit en kilos de traction. Ne vous laissez pas séduire par le premier marchand venu, comparez et commandez ce qu'il y a de plus puissant pour une masse volumique identique. Vous pourrez vous apercevoir qu'il existe des aimants d'à peu près toutes les formes. Dans le cas qui nous intéresse, seuls ceux de formes rectangulaire ou ronde font l'affaire. En l'occurrence, par souci de rendement maximum et de simplicité, nous allons opter pour une forme rectangulaire.

Comme vous pouvez le constater sur le schéma ci-contre, ce générateur est de conception très simple. En A vous pouvez voir le rotor sur lequel sont fixés les aimants, en B le stator sur lequel sont fixées les bobines, en C le carter qui maintient l'ensemble et en D les roulements à billes qui permettent d'optimiser la rotation.

ATTENTION : MANIPULATION DES AIMANTS

> Vous venez de recevoir vos aimants. Avant de vous précipiter sur votre colis, quelques judicieux conseils s'imposent quant à leur manipulation. Le magnétisme est un très grand ennemi des appareils électroniques. Attention donc de ne pas approcher vos aimants trop près de tout ce qui est susceptible d'être affecté par le champ. Prenez donc la sage précaution d'éloigner à au moins 30 cm les objets sensibles, tels que votre montre, téléphone portable, carte de crédit... Faites aussi très attention quand vous manipulerez vos aimants. Ils sont tellement puissants qu'ils peuvent très vite vous causer des mésaventures. Le premier risque est de vous faire pincer les doigts très fort et le second est de casser vos aimants. Autant les néodymes sont puissants, autant ils sont fragiles. Si jamais ils se retrouvent collés l'un à l'autre, la bonne méthode pour les séparer c'est de les faire glisser et non de chercher à les décrocher.



Plan de base du générateur

Au final, il est composé d'un carter en métal inoxydable ou en résine et fibre, d'un rotor, d'aimants néodyme, de fil de cuivre

émaillé et de deux roulements à billes. Le rotor devra être confectionné dans une matière à la fois légère et très résistante, tel que du bois recouvert de résine, de la fibre et de la résine, de l'aluminium... Pour ce qui est des roulements à billes, ne lésinez pas sur la qualité. Ils devront être solides pour résister à un travail intensif et pouvoir supporter les contraintes du climat.

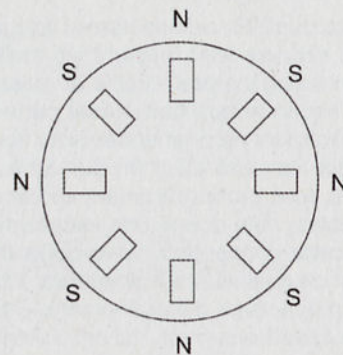
DU SUR-MESURE

Un des nombreux avantages de ce type de générateur est que l'on peut faire du sur-mesure, tant sur la taille que sur les performances. Pour en concevoir un qui fonctionne impeccablement, il faut effectuer au préalable un savant calcul qui comprend la taille des aimants et leur force en gauss ; cela déterminera la section du fil de cuivre des bobines et le nombre de spires. Chaque cas étant différent, le plus simple est de commencer avec des plans, que vous trouverez aisément sur Internet avec les mots-clés adéquats. Vous pouvez aussi vous lancer au hasard et ajuster vos bobines jusqu'à obtenir le résultat escompté. Pour tester le rendement, pas la peine de faire plusieurs bobines. Une seule suffit. Il faut la mettre en place sur le stator et faire tourner le rotor pour mesurer le courant. Il ne restera plus qu'à multiplier la tension par le nombre de bobines pour obtenir le résultat d'ensemble et modifier la bobine jusqu'au résultat souhaité le cas échéant. Dès que c'est bon, vous pouvez vous lancer dans la confection des autres bobines sur un modèle identique. J'avoue volontiers avoir débuté avec cette méthode. Ce qu'il faut savoir en schématique, c'est que plus vous aurez de spires sur vos bobines plus elles produiront, plus le fil sera fin plus vous aurez tendance à obtenir du voltage, et plus la section sera grosse plus vous aurez tendance à obtenir de l'ampérage. À partir de ces données, tout est question de dosage. Idéalement, vous devriez obtenir une tension de 13 volts avec un bon ampérage à 600 tours par minute.

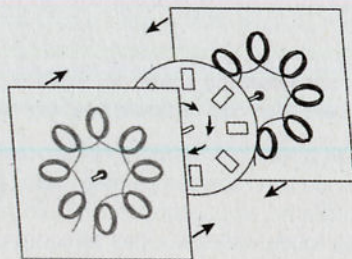
TECHNIQUE DE MONTAGE

Vous devrez disposer vos aimants en inversant leur polarité afin d'obtenir du courant alternatif. Pour contrôler la polarité, il vous faudra une boussole qui vous indiquera la face sud et nord.

Pour ce qui est des bobines, elles devront être réalisées avec soin. Les enroulements doivent être les plus réguliers possible. Si cela vous pose un problème, vous pouvez toujours essayer de récupérer des bobines toutes faites sur des moteurs électriques. Cela fonctionnera bien si elles sont exactement du même type et que, bien évidemment, elles ne sont pas endommagées. Sinon, vous pouvez toujours tenter le coup chez un bobineur professionnel. Pour une tâche simple comme celle-ci, il ne devrait pas vous en coûter trop cher. Une fois fixées sur le stator, vos bobines devront être connectées en série. Pour les relier, il faut au préalable gratter la mince couche isolante du fil de cuivre sur un centimètre avec un couteau afin que le bout des fils puisse faire contact entre eux. Par sécurité, il est plus que conseillé de renforcer et de protéger les connexions par de la gaine thermo-rétractable. Si jamais vous optez pour une technique à deux stators, qui permet d'exploiter les deux faces des aimants, reliez ces deux éléments en parallèle.



Disposez vos aimants en fonction de leur polarité.



Les faces des aimants devront frôler au plus près les bobines afin d'avoir un champ magnétique le plus efficace possible. Cela nécessite un ajustage parfait du rotor. Pour bien stabiliser vos bobines, noyez-les dans de la résine. Cela permet de bien les maintenir en place et de les protéger par la même occasion.

Il vous faudra aussi installer un pont de diodes adapté à la puissance du générateur à côté du régulateur pour redresser le courant. Si vous n'êtes pas doué du tout en électronique, vous pourrez en trouver des prêts à l'emploi dans tous les bons magasins de composants. Cela ne vaut pas le coup de s'en priver car ce n'est vraiment pas cher. Vous aurez juste à connecter vos fils en suivant les indications du boîtier.

Au vu de toutes ces qualités, cela confirme l'adage qui dit que les solutions les plus simples sont toujours les meilleures. Si vous désirez obtenir un aérogénérateur fiable et puissant, c'est sans hésiter une seule seconde qu'il faut utiliser cette technique. Elle est aussi particulièrement recommandée pour les modèles à axe vertical : du fait que ce générateur produit à très bas régime et que ces éoliennes sont particulièrement efficaces pour capter des vents très faibles, cela donne une excellente combinaison. En partant avec cette conception, vous obtiendrez à coup sûr un aérogénérateur de qualité. Mais avant cela, il faut penser à lui confectionner un mécanisme d'entraînement. C'est ce que nous allons voir avec le chapitre suivant, qui est consacré aux pales.

EN RÉSUMÉ

> Ce type de générateur est l'idéal pour l'éolien. Ses atouts sont vraiment très nombreux :

- 1) Il produit un courant de charge à bas régime.
- 2) Il a un bon rendement général.
- 3) Sa taille est modulable selon votre projet.
- 4) Il est économique par rapport à l'achat d'un générateur neuf.
- 5) Il est de conception simple, donc facile à entretenir.
- 6) Il est très robuste s'il est conçu avec de bons matériaux.
- 7) Il ne demande pas d'excitation, donc pas de frottement pour ralentir le rotor et pas de charbons à remplacer.

Après le générateur, les pales sont la seconde pièce maîtresse de votre éolienne. Il faut leur apporter un soin tout particulier. Dans ce domaine, l'aérodynamisme joue un rôle prépondérant. Il ne faut pas hésiter à tester et à optimiser le plus possible. De plus, il faut absolument tenir compte du facteur poids, qui doit être un juste compromis entre inertie et vitesse de démarrage. Sur une éolienne à axe horizontal, l'équilibrage doit se jouer au gramme près et il doit en être de même pour un modèle à axe vertical. Si jamais vos pales sont déséquilibrées, les roulements à billes vont s'user prématurément, sans parler du ralentissement dû au frottement intensif. Vous ne vous en rendez peut-être pas compte tout de suite, mais ce phénomène est inéluctable.

Vous connaissez bien sûr les fameuses éoliennes tripales, telles que les énormes modèles qui produisent du courant pour le réseau. Ce sont de loin les modèles les plus répandus. Mais en matière de mini-éolien, il existe moult variantes qui portent aussi bien sur le nombre de pales que sur leur forme ou leurs matériaux de fabrication. Et dans ce domaine, il reste encore beaucoup de choses à optimiser et à découvrir. Nous sommes loin d'être au bout de la technique de captation du vent. Régulièrement, d'ingénieurs bricoleurs font part de leurs trouvailles.

Selon la formule mise au point par l'Allemand Albert Betz en 1919, seuls 59,3 % de l'énergie du vent sont théoriquement récupérables. C'est ce que l'on appelle plus communément la limite de Betz. Peut-être qu'un jour cette limite sera franchie, sait-on jamais. En attendant, on peut toujours se consoler en se disant que, arriver à récupérer 16/27 de cette source d'énergie propre et gratuite, c'est déjà quelque chose de formidable.

LES MATÉRIAUX

Les deux matériaux le plus couramment utilisés pour la confection des pales sont le bois et la fibre de verre. Tous deux possèdent de très bonnes qualités. Mais la fibre emporte un net avantage en termes de poids, de solidité et de longévité. Par contre, son utilisation demeure assez complexe, surtout en ce qui concerne la confection des moules. Le bois, quant à lui, possède la qualité de se travailler facilement. Si l'on opte pour cette matière, il faudra particulièrement veiller à utiliser une essence qui résiste bien aux intempéries et qui ne se déforme pas. Veillez aussi à ce qu'il soit bien sec et qu'il ne présente ni nœuds ni fissures. Le principal problème que l'on peut rencontrer lorsque l'on fabrique ses pales en bois, c'est une différence d'équilibrage due à la différence de densité de ce matériau. On peut y remédier en plaçant des masselottes sur les pales. C'est le même principe que l'équilibrage dynamique d'une roue de voiture. Une autre possibilité assez courante consiste à réaliser ses pales en aluminium. On l'emploie sous forme de minces tôles relativement malléables. À l'instar de la fibre, son travail demande une bonne connaissance technique et de l'outillage adapté. Mais le jeu en vaut la chandelle, car il est léger, très résistant et insensible aux intempéries. Voilà pour les trois matériaux les plus répandus, mais il en existe un autre, plus marginal, qui fonctionne tout aussi bien, c'est le PVC. Ce matériau est en règle générale utilisé essentiellement par des industriels car il demande de gros moyens techniques. Pour vous y retrouver facilement, voici un comparatif des trois principaux matériaux utilisés pour la confection des pales en autoconstruction.

La fibre de verre

Avantages :

- Imputrescible
- Très résistant aux intempéries
- Léger
- Solide

Désavantages :

- Demande de bonnes compétences en la matière
- Assez long à mettre en œuvre (confection du moule + temps de séchage)
- Coût relativement élevé pour un particulier

Le bois**Avantages :**

- Facile à trouver
- Pas cher
- Se travaille avec des outils simples
- Solide

Désavantages :

- Sensible à l'humidité
- Demande un traitement de surface ponctuel
- Densité irrégulière
- Longévité limitée

L'aluminium**Avantages :**

- Imputrescible
- Très résistant aux intempéries
- Solide
- Longévité

Désavantages :

- Dur à travailler
- Le prix

LA BONNE MESURE

Avant de se lancer dans la construction d'un aérogénérateur, il est important de se livrer à quelques estimations de base sur ce qu'il faudra comme taille de pales. En premier lieu, il s'agit de définir exactement pour quel générateur on va opter. Tout le résultat de l'équation finale tourne autour de ce point. Suite à cela, il faut estimer au mieux les proportions des pales par rapport à l'effort à fournir. Autrement dit, et c'est extrêmement important, il faut absolument faire en fonction du générateur. Si les pales sont trop petites, elles auront du mal à l'entraîner, tandis que si elles sont trop grandes, elles risquent de faire forcer certaines parties mécaniques inutilement. Chaque cas est différent ; si vous manquez d'expérience, le mieux est de commencer par une bonne description de votre projet assortie de croquis les plus clairs possible et de demander conseil. Il existe de nombreux forums qui traitent de ce sujet sur Internet : vous pouvez trouver de bonnes adresses à la fin de l'ouvrage.

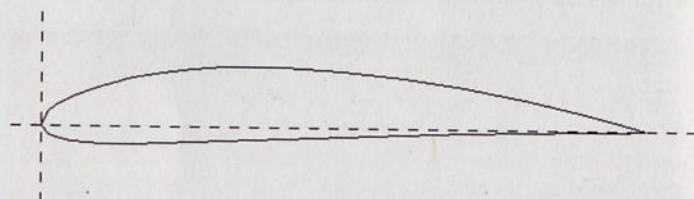
EN RÉSUMÉ

- > Choisissez bien le matériau qui servira à faire vos pales.
- > Ne négligez pas l'aérodynamisme et l'équilibrage.
- > Faites en sorte que vos pales soient proportionnées au générateur.

Impossible de clore ce chapitre sans préciser qu'il existe un cas particulier qui se nomme l'effet Magnus. Il se crée en plaçant un cylindre en rotation dans un flux d'air qui induit une force perpendiculaire à ce flux. C'est ce que l'on nomme la portance. Pour simplifier, disons que le mouvement initial est fortement intensifié par un autre mouvement. C'est une technique de pointe très prometteuse qui a de beaux jours devant elle. Il n'est pas impossible qu'elle soit la clé pour mettre au point des aérogénérateurs à très haut rendement dans le futur. C'est une affaire à suivre qui n'est pas à la portée du premier venu en l'état actuel des choses.

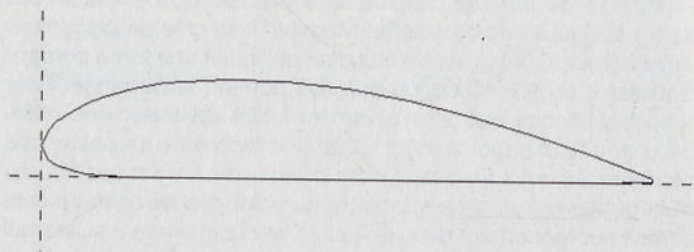
LES PALES POUR AÉROGÉNÉRATEUR À AXE HORIZONTAL

Le principe de base des pales profilées d'éoliennes est identique à celui des ailes et de l'hélice d'un avion. C'est exactement le même phénomène aérodynamique qui entre en jeu. L'air doit parcourir plus de chemin dans un sens que dans un autre. C'est ce qui crée l'effet de portance et de traînée qui permet de donner plus ou moins de couple sur l'axe. Ces deux phénomènes sont indissociables l'un de l'autre. Il n'est pas inexact d'en déduire qu'une hélice d'avion pourrait servir à entraîner un générateur. Bien que cela soit fonctionnel, le rendement est loin d'être au rendez-vous. Cela s'explique par une différence d'optimisation de la tâche à accomplir. Une hélice d'avion doit littéralement vriller l'air, tandis que celle de l'éolienne doit le capter. Par contre, de nombreux profils de pales sont tout droit empruntés à ceux des ailes d'avion ou de planeur. Les deux modèles les plus communs sont les profils suivants :



Le NACA 4412

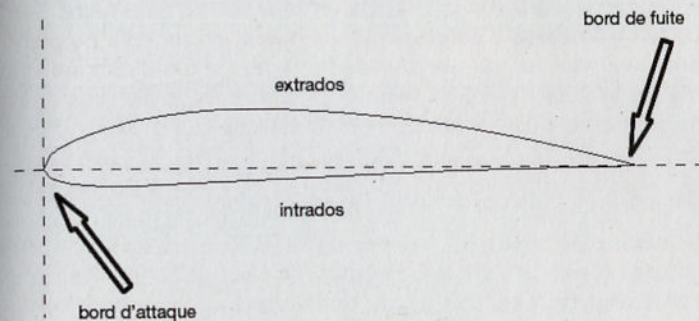
Le NACA est un profil très prisé par les autoconstructeurs.



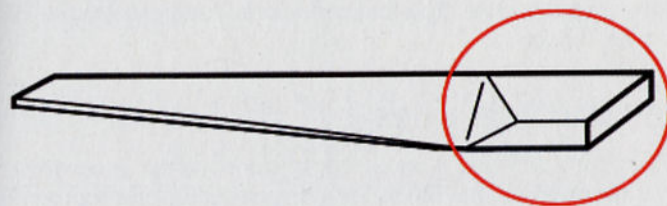
Le Göttingen 797

Le Göttingen 797 est un profil souvent adopté par les débutants car c'est le plus facile à construire grâce à sa face plate.

Une pale se compose d'un bord d'attaque, d'un bord de fuite, d'un intrados et d'un extrados. Le bord d'attaque donne le sens de rotation et le bord de fuite le suit. L'intrados est la partie plate qui fait face au vent. L'extrados, quant à lui, est derrière le vent.



En vue d'ensemble, vous pouvez découvrir le pied de pale cerclé en rouge qui sert à la fixation sur le générateur.



L'angle d'attaque

Méthode pour pales profilées

L'angle d'attaque est ce qui va donner le mouvement. Pour obtenir un angle d'attaque optimum, il faut vriller la pale. C'est le point le plus délicat à réaliser pour les autoconstructeurs.

Il est assez difficile de trouver des données fiables sur ce point. Il y a souvent à boire et à manger dans ce qui se raconte chez les spécialistes autoproclamés. En réalité, l'angle d'attaque en bout de pale est le plus souvent compris entre 3 et 6° et entre 16 et 25° en début, suivant les modèles. Ces mesures sont à ajuster au mieux en fonction des caractéristiques de votre éolienne et du type de profil choisi. La force du vent auquel sera soumis votre aérogénérateur joue aussi un rôle sur ce paramètre. Sur certains modèles d'éoliennes industrielles, on module ce point pour pourvoir les réguler. Au démarrage, l'angle d'attaque est très haut pour aider l'éolienne à se mettre en route ; par vent moyen, il est optimisé à son maximum et, par vent violent, il la freine.

Méthode pour pales plates

Beaucoup de bricoleurs n'ont pas envie de s'embêter à sculpter des pales, car bien que le rendement soit plus faible qu'avec une hélice profilée, il est tout à fait possible de faire tourner un aérogénérateur avec des pales plates. Trois planches de bois ou de la tôle d'aluminium au bout arrondi peuvent faire l'affaire à condition de ne pas être trop exigeant sur les performances. Ce n'est pas l'idéal, mais cela peut être un bon point de départ pour aller plus loin par la suite. Pour cette méthode, l'angle d'attaque idéal est de 18 degrés.

Le nombre de pales

Le nombre de pales a une énorme incidence sur le rendement des aérogénérateurs. Moins il y a de pales, plus cela tourne vite. En revanche, il faut plus de vent pour faire démarrer l'éolienne. Plus il y a de pales, plus le seuil de déclenchement est abaissé, mais le revers de la médaille c'est que l'éolienne tournera moins vite une fois en marche. Maintenant, voyons cela plus en détail. Dans l'absolu, il est vrai qu'un aérogénérateur qui ne posséderait qu'une seule pale surclasserait tous les autres mais, en revanche, il serait extrêmement fragile et aurait besoin de beaucoup de vent pour se mettre en route. Et il est vrai aussi qu'une éolienne possédant trente-deux pales se mettrait à tourner avec

un très faible vent, mais en aucun cas assez vite pour produire du courant de façon honorable.

Les éoliennes qui possèdent un grand nombre de pales sont des éoliennes destinées au pompage de l'eau. Pour exécuter cette tâche, il n'y a pas besoin de vitesse mais de régularité. Du fait qu'elles tournent avec un très faible vent et que leur vitesse reste relativement stable quand le vent augmente, elles remplissent cette fonction à merveille. Un des exemples les plus connus est la fameuse éolienne américaine.



Pour produire du courant, ce que l'on recherche, c'est un maximum de vitesse. Mais il faut aussi prendre en compte qu'un seuil de déclenchement le plus bas possible est plus qu'appréciable. Il faut donc, comme on dit, savoir composer. Il est déjà acquis qu'une seule pale est une très mauvaise option. Maintenant, avec deux, c'est déjà beaucoup mieux. Mais il reste

encore un problème. Ce type de montage a une très fâcheuse tendance à vibrer, ce qui risque d'endommager le mécanisme à la longue, surtout si l'équilibrage n'est pas parfait. Il est possible de gommer ce défaut en utilisant un amortisseur de vibrations. Entre nous soit dit, ce n'est pas simple et c'est beaucoup de travail. Pour ne rien arranger, les modèles bipales résistent assez mal aux vents forts. Autrement dit, ce n'est pas la solution que je vous conseille.

En fait, l'idéal c'est d'utiliser trois pales. C'est le compromis parfait entre vitesse, solidité et seuil de démarrage. La vitesse maximale est presque identique aux bipales et le couple est beaucoup plus important. De plus, dans cette configuration, il n'y a presque pas de problèmes de vibrations. Le tout est de bien équilibrer son ensemble et tout ira pour le mieux pour des années.

Fabriquer ses pales

Se lancer dans la fabrication d'un modèle profilé n'est pas une tâche aisée, mais avec de la méthode et de l'application c'est tout à fait réalisable par n'importe quel bricoleur motivé. Pour commencer, il faudra choisir un profil et calculer la taille en fonction de vos besoins. Mieux vaut privilégier une forme effilée assez longue qu'un modèle trapu. Si les pales sont trop courtes, l'aérogénérateur manquera de couple et sera ralenti par les turbulences qu'il génère si jamais il arrive à tourner vite. Si elles sont trop épaisses, il y aura des contraintes mécaniques élevées et des vibrations. Pour vous en sortir, pas besoin d'être un expert, il existe tout un tas de logiciels et de fichiers tableurs pour vous aider. D'ailleurs, pour vous faciliter la tâche en vous évitant de fastidieuses recherches, vous pourrez trouver à la fin du livre au chapitre « Les bonnes adresses » une adresse Internet pour télécharger un excellent logiciel en français qui se charge du calcul des pales et des profils. Il intègre même une soufflerie. Avec cela, vous aurez pratiquement tous les éléments pour concevoir un projet cohérent. Une fois les calculs effectués, il va falloir passer à la phase pratique. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes :

Le sculptage

Cette méthode consiste à sculpter ses pales dans un morceau de bois brut, ce qu'on appelle très communément un bastaing.

Cela fonctionne mais bonjour les chutes ! Il y a de quoi se faire des ampoules aux mains, même avec un rabot électrique. C'est long et il y a souvent des difficultés d'équilibrage. Mais si vous êtes motivé, pourquoi pas ?

Le moulage

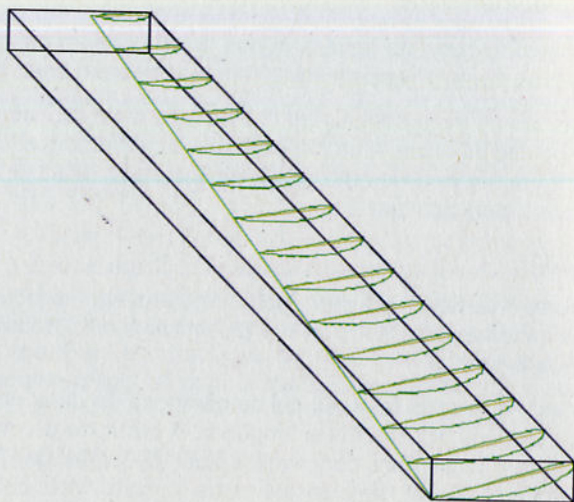
Là encore, il va falloir sculpter. Mais juste une fois, si possible dans un matériau facile à travailler. L'objectif final est d'obtenir un négatif de la pale.

Autrement dit, un moule creux qui se compose de deux parties découpées dans le sens de la longueur. À partir de ce moule, vous pourrez facilement concevoir autant de pales que vous le désirez en utilisant de la résine et de la fibre. Mais cela ne s'improvise pas ; si l'on sait travailler la fibre, c'est facile ; dans le cas contraire, mieux vaut se faire aider par quelqu'un qui connaît ou essayer une autre méthode.

Le lamellé collé

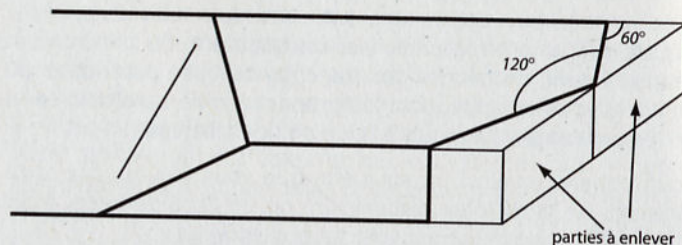
C'est un très bon compromis entre les deux premières techniques, facilement réalisable par un débutant. Le principe est simple. Il suffit de couper des tranches de votre profil dans du contre-plaqué en appliquant les proportions de taille désirée et en réglant l'angle d'attaque à l'aide de tiges filetées.

Vous obtiendrez ainsi un squelette que vous n'aurez plus qu'à recouvrir de fines tôles d'aluminium ou de fibre de verre. Mais plutôt qu'un long discours, voici un bon schéma :

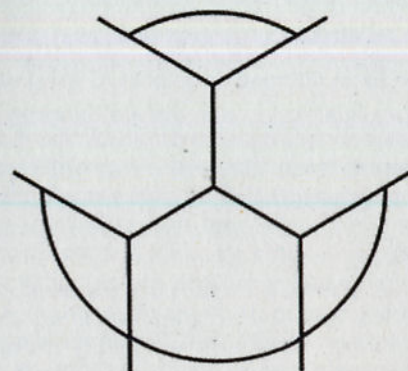


Fixation des pales

Voici le schéma pour la découpe qui permettra de les encocher :



Et voici à quoi devra ressembler votre système de fixation (n'hésitez pas à bien boulonner le tout) :



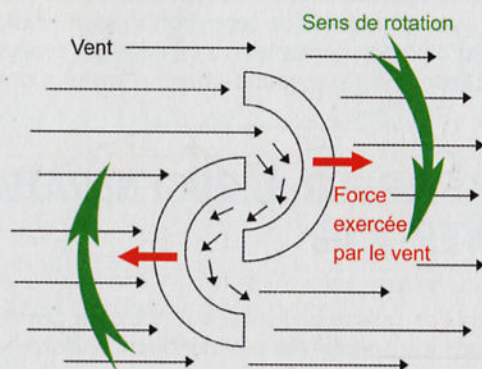
Il faudra apporter un soin tout particulier à la réalisation de vos pales. Si vous ne le faites pas, votre éolienne risque de casser ou de ne pas avoir assez de rendement. De plus, vous aurez des nuisances dues au bruit des vibrations. Même avec des différences assez infimes, les roulements à billes s'useront prématurément. Ce qu'il faut vérifier en premier c'est l'équilibrage. Vos pales doivent avoir strictement la même forme et strictement le même poids. N'hésitez pas non plus à les fixer solidement, ce n'est pas la peine de prendre le risque que quelqu'un s'en prenne une sur la tête. Si vous respectez toutes ces recommandations avec un modèle de pale profilée bien étudié et que vous disposez d'un bon générateur, il y a de fortes chances pour que votre éolienne n'ait pas grand-chose à envier à un modèle commercial.

LES PALES POUR AÉROGÉNÉRATEUR À AXE VERTICAL

Le moins que l'on puisse dire c'est que dans ce cas de figure, ce ne sont pas les possibilités qui manquent. Rien qu'entre les dérivés de type Savonius et Darrieus, il y a de quoi laisser divaguer son imagination...

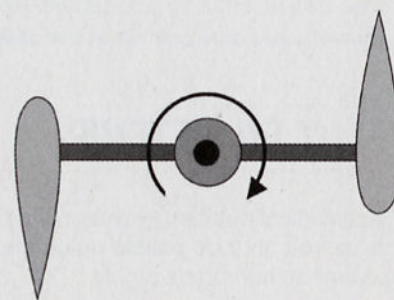
Les types Savonius

C'est le modèle idéal pour les débutants. C'est presque impossible de faire plus simple et moins cher à réaliser. Une des applications les plus connues est d'ordre publicitaire. Il s'agit des fameux panneaux en tôle qui tournent sur eux-mêmes. On entend souvent dire que ce type d'éolienne n'est pas adapté à la production de courant. C'est à la fois vrai et faux. Des modèles commerciaux de conception récente s'avèrent être très productifs, ainsi que de nombreux modèles réalisés par des amateurs éclairés. Cela vaut vraiment le coup de se pencher sur cette conception, car elle possède de gros avantages. Elle démarre avec des vents très faibles, elle résiste bien aux vents violents, elle possède un bon couple et elle est peu bruyante. Son seul défaut est que sa vitesse est limitée, ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il faille l'abandonner. De nombreux bricoleurs chevronnés ont contourné le problème de lenteur par l'allongement des pales et une bonne démultiplication. Certes, on a plus l'habitude de trouver ce type d'éolienne pour le pompage de l'eau, qui est un domaine où elle excelle. Mais les choses sont en train d'évoluer grâce au progrès de l'aérodynamisme et à la passion de certains autoconstructeurs. Pour se faire la main sur une première construction, c'est vraiment le modèle qu'il faut choisir.



LES TYPES DARRIEUS

Si l'aérodynamisme ne vous rebute pas trop, cela peut valoir le coup de se lancer dans la confection d'un modèle de ce type. Au total, il en existe quatre variantes : le rotor cylindrique, le rotor tronconique, le rotor à variation cyclique et le rotor parabolique. En ce qui concerne le petit éolien, on pourrait un peu hâtivement exclure le rotor parabolique qui est peu adapté car il ne peut démarrer seul. Mais cela est facilement contournable en ajoutant deux godets de type Savonius sur son axe pour pallier cet inconvénient. Quant aux trois autres modèles, ils sont plus simples à mettre en œuvre. Quelle que soit la variante, le principe de fonctionnement est tout droit emprunté à l'aéronautique. Tout comme pour les pales profilées d'axe horizontal, c'est l'effet de portance qui entre en jeu. Ce sont des éoliennes qui possèdent un bon rendement et un design qui ne laisse pas indifférent. Bien que leur invention date de 1931, elles conservent toujours et encore un look futuriste. Se lancer dans la conception d'un tel modèle requiert de bons calculs aérodynamiques et du travail soigné. Mais en y regardant de plus près, ce n'est guère plus compliqué que de fabriquer une éolienne à axe horizontal à pales profilées dans les règles de l'art.



Principe de fonctionnement

LES CAS PARTICULIERS

Bien qu'ils soient quelque part une variante Savonius, on peut sans problème classer les aérogénérateurs à godets sphériques dans les cas particuliers. Les anémomètres sont pour la plupart conçus sur ce principe. Cette conception est très adaptée pour une micro-éolienne. L'avantage, c'est qu'elle permet une rotation rapide et qu'elle est simple à construire. Pour ce qui est des cas vraiment particuliers, on pourrait citer pêle-mêle l'éolienne verticale à voile, dont les pales sont remplacées par des voiles de bateau, et les modèles dont le rotor s'inspire des turbines.

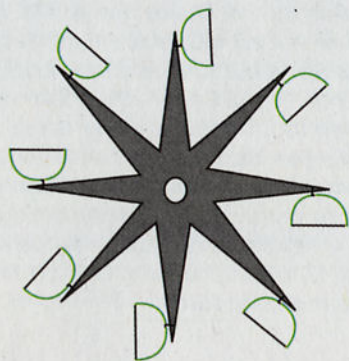


Schéma d'une éolienne à godets sphériques (vue de dessus)

CE QU'IL FAUT EN RETENIR

Les éoliennes à axe vertical méritent vraiment que l'on se penche sur leur cas. Que ce soit pour de petites ou de grandes réalisations, elles possèdent de nombreux atouts :

- 1) Elles n'ont pas besoin de s'orienter face au vent car elles sont capables de le capter d'où qu'il vienne.
- 2) Elles s'intègrent facilement dans le paysage urbain. On peut très bien les placer sur le toit d'un immeuble.

- 3) Elles sont capables de capter des vents très faibles.
- 4) Elles sont peu bruyantes.
- 5) Elles sont très esthétiques.
- 6) On peut les placer beaucoup moins haut que les modèles à axe horizontal.

Cela fait six bonnes raisons d'y réfléchir à deux fois avant de foncer tête baissée sur un modèle à axe horizontal. Cela peut valoir le coup de sacrifier un peu de rendement pour gagner en souplesse et en stabilité. Bien souvent, il vaut mieux opter pour une éolienne qui tournera avec des vents faibles et qui ne sera pas une fusée par grand vent, que pour une éolienne qui ne tournera pas par vent faible et qui turbinera tout ce qu'elle peut par vent fort, au risque de casser. La régularité du fonctionnement est aussi un critère de choix de premier ordre dans l'éolien. Ensuite, tout est question de goût et de choix personnels. Pour ma part, je considère que les éoliennes à axe vertical sont un choix judicieux pour le mini-éolien, surtout en ce qui concerne l'autoconstruction. Mais comme le dit le vieil adage, chacun voit midi à sa porte. Si vous voulez vous lancer sur cette voie, je vous conseille de commencer par la fabrication du modèle de base qui est proposé un peu plus loin dans ce livre. Par la suite, une fois que vous serez familiarisé avec cette technique, vous n'aurez plus qu'à passer la vitesse supérieure en vous inspirant de modèles déjà existants pour atteindre les performances que vous recherchez.

PARTIE 3

CONSTRUIRE SOI-MÊME SON ÉOLIENNE

6 Principes de base pour autoconstruire son éolienne

Autant le dire tout de suite, la récupération a ses limites. Une éolienne construite de bric et de broc tournera peut-être, mais au final elle vaudra ce qu'elle vaudra, c'est-à-dire pas grand-chose. On ne construit pas un aérogénérateur pour qu'il tombe en miettes au bout de quelques semaines. Donc, il faut sélectionner des matériaux de qualité et ne pas hésiter à y mettre le prix, surtout s'il s'agit de roulements à billes ou de bois.

Régulièrement, des personnes me demandent comment construire une éolienne pour zéro euro via Internet. La réponse est simple : zéro + zéro = zéro éolienne. Dans ce domaine, c'est comme pour toute autre chose, il faut irrémédiablement y mettre un minimum de moyens. Un aérogénérateur se construit non seulement avec des matériaux de qualité mais aussi avec de bons outils. Sans ces deux facteurs, ce n'est même pas la peine de se lancer. L'autoconstruction ne s'improvise pas. Il faut bien penser son projet et ne pas hésiter à sortir sa calculatrice dès que l'on est dans le doute. L'aérodynamisme et l'électricité sont deux domaines où les mathématiques sont omniprésentes. De l'électricité bricolée au hasard, c'est un gros risque d'incendie ou d'électrocution. Donc il faut être vigilant et ne pas hésiter à demander conseil ou à se faire aider.

La difficulté principale dans la construction d'un aérogénérateur, c'est qu'il faut être polyvalent. Il est très rare d'être à la fois compétent en électricité, en chaudronnerie, en travail de la fibre, etc. Pour y remédier, il existe plusieurs possibilités :

- 1) Réunir autour de vous les compétences dont vous avez besoin et réaliser le projet à plusieurs.

- 2) Acheter les pièces qui vous posent problème. Par exemple, si vous êtes doué pour sculpter vos pales et que vous êtes nul en électricité, vous pouvez acquérir le générateur prêt à l'emploi et procéder par vous-même pour les autres tâches.
- 3) Vous pouvez aussi concevoir toute la partie théorique de votre projet et vous faire aider ensuite par des artisans.

Dans tous les cas, à moins d'avoir suffisamment de bases pour être critique, ne vous fiez pas trop à ce qui se raconte sur les forums Internet, où les pseudo-spécialistes en la matière sont légion. Un tel projet demande d'avoir affaire à des spécialistes avérés qui peuvent vous donner des avis en toute connaissance de cause. Sinon, c'est le gâchis assuré.

QUE PUIS-JE ATTENDRE DE MON ÉOLIENNE ?

Bien qu'une éolienne autoconstruite soit susceptible de donner des résultats tout à fait satisfaisants, en règle générale, à puissance égale, elle ne sera jamais aussi performante qu'un modèle construit en série. Cela est dû à deux facteurs. En premier, la précision de l'ajustage et, en second, la conception professionnelle du modèle. Cependant, cela ne doit pas vous décourager de vous lancer dans l'aventure si vous en éprouvez l'envie. Construire une éolienne, cela doit être avant tout quelque chose de ludique qui repose sur la passion. Il y a toujours un petit quelque chose de magique quand on installe son aérogénérateur et qu'on le voit fonctionner pour la première fois. Donc, si la motivation est là, il n'y a vraiment aucune raison de ne pas vous faire plaisir. Certes, votre éolienne n'aura peut-être pas le rendement ni le design d'un modèle commercial, mais il n'en reste pas moins qu'elle pourra vous rendre quelques fiers services. Le résultat final sera fonction de la qualité de votre ouvrage. Si vous faites pour le mieux, votre aérogénérateur vous produira de l'électricité en quantité suffisante pour alimenter une dizaine d'ampoules économiques à diodes électroluminescentes et des appareils électriques pas trop gourmands en termes de watts (inférieurs

à 40). Au final, ce n'est déjà pas si mal si vous comptabilisez les économies d'électricité réalisées sur votre facture globale de l'année. Vouloir complètement remplacer votre fournisseur d'électricité par une petite éolienne autoconstruite est complètement utopique, à moins que vous n'ayez décidé de vivre comme au XIX^e siècle. L'autonomie énergétique totale est certes possible, mais, pour y parvenir, une petite éolienne est loin de couvrir tous vos besoins à elle seule. Donc il faut se montrer réaliste et se dire que ce qui est fourni gratuitement grâce au vent, c'est toujours ça de pris, et que regarder tourner une éolienne dans son jardin, c'est toujours sympa...

POUR QUELLES RAISONS AUTOCONSTRUIRE ?

La motivation qui revient le plus souvent est d'ordre pédagogique. Cela peut être un professeur qui veut initier ses élèves à l'éolien, cela peut être dans le cadre d'un TPE, cela peut être des parents qui ont envie de bricoler avec leurs enfants... Bref, ce ne sont pas les cas de figure qui manquent et c'est tout à fait compréhensible. Comme vous avez pu vous en rendre compte, la confection d'un aérogénérateur fait appel à de nombreuses disciplines. C'est donc un très bon moyen d'explorer différentes techniques de bricolage. C'est aussi une bonne occasion de réviser sa physique et ses mathématiques en passant à la pratique, sans même s'en rendre trop compte. Et, cela va de soi, c'est aussi un très bon vecteur de sensibilisation à l'écologie. Bref, en tout état de cause, l'autoconstruction d'un aérogénérateur bien encadrée est une excellente occasion d'acquérir des compétences de façon ludique. C'est pourquoi il existe beaucoup de réalisations à titre pédagogique.

Pour ce qui est des particuliers, les motivations sont à la fois écologiques et économiques. La plupart des autoconstructeurs sont d'abord motivés par la protection de l'environnement et ensuite pour réaliser des économies sur leur facture d'électricité. Dans la majeure partie des cas, l'aérogénérateur sert surtout à

alimenter la partie éclairage, qui reste néanmoins reliée au réseau au cas où le courant produit par l'éolienne viendrait à manquer. Dans certains cas, il sert à fournir du courant sur un site non relié au réseau, comme un cabanon, ou un chalet isolé. C'est une bonne solution étant donné que les besoins en électricité sont faibles dans ce type de lieu. Pouvoir bénéficier de l'éclairage, de l'alimentation d'un poste de radio et de quoi recharger un ou deux appareils électroniques, c'est tout de suite un gros gain en termes de confort.

Si certains se passionnent pour les trains électriques ou les couvercles de boîtes de camembert, au même titre, d'autres sont de réels passionnés d'éoliennes. Ils commencent par construire un premier modèle, ils le perfectionnent, puis ils en conçoivent d'autres plus performants. L'éolien, c'est aussi du plaisir pour soi à partager avec les autres.

POUR COMMENCER

Si vous n'y connaissez pas grand-chose, la meilleure solution est de vous procurer des plans d'aérogénérateur à fabriquer soi-même. Vous pouvez aussi vous rapprocher d'une association d'autoconstructeurs. Vous pourrez trouver tout cela à la fin de l'ouvrage. Pour une première expérience, ne vous aventurez pas dans l'élaboration d'un modèle trop compliqué. Optez pour une simplicité maximale, vous pourrez toujours perfectionner par la suite. Bien sûr, vous pouvez aussi débiter avec les deux modèles qui vont suivre, c'est un bon point de départ pour vous familiariser avec la construction d'éolienne.

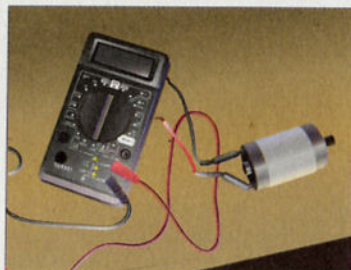
7 Fabriquer une éolienne à axe horizontal

Nous allons voir dans ce chapitre comment faire pour se confectonner une petite éolienne à axe horizontal en toute simplicité. Cette réalisation ne demande pas un haut niveau en bricolage, elle est à la portée de tout le monde.

COMPOSANTS

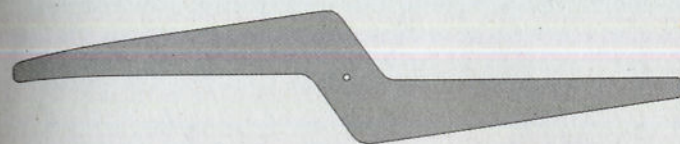
- Un bout de tube PVC de 10 cm de diamètre
- Un bout de tube PVC de 4 cm de diamètre
- Un bout de contreplaqué de 5 mm d'épaisseur
- Un collier en PVC
- Un petit moteur électrique
- De la colle normale et du mastic époxy.

AU TRAVAIL...

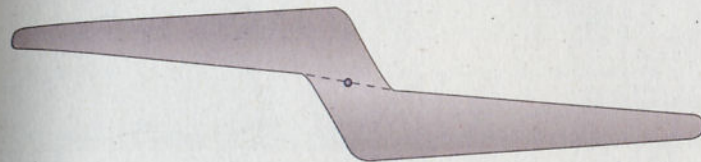


Pour commencer, il vous faudra trouver un petit moteur électrique qui convient bien comme générateur.

Ensuite, il vous faudra scanner et imprimer, en A4 ou en A3 selon la taille de votre éolienne, le contour de pale.



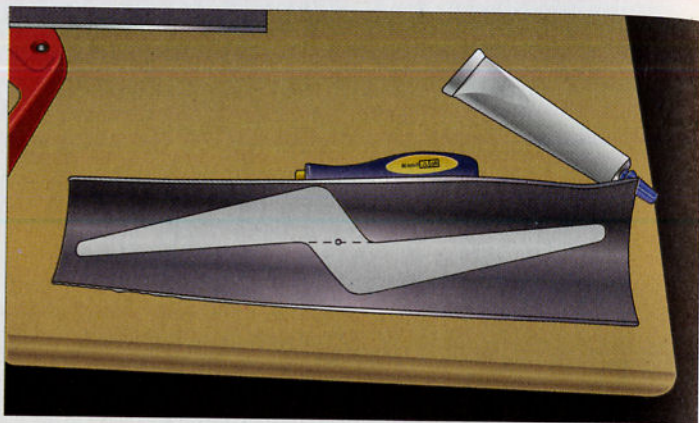
Découpez soigneusement le contour à l'aide d'une paire de ciseaux ou d'un cutter.



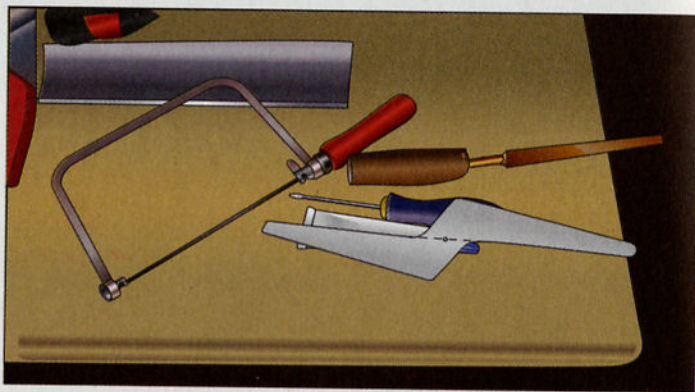
Dans le tube PVC de 10 cm de diamètre, coupez un bout de la longueur du contour de pale puis coupez-le en deux dans le sens de la longueur.



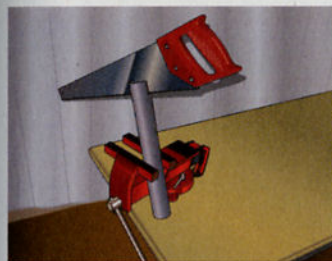
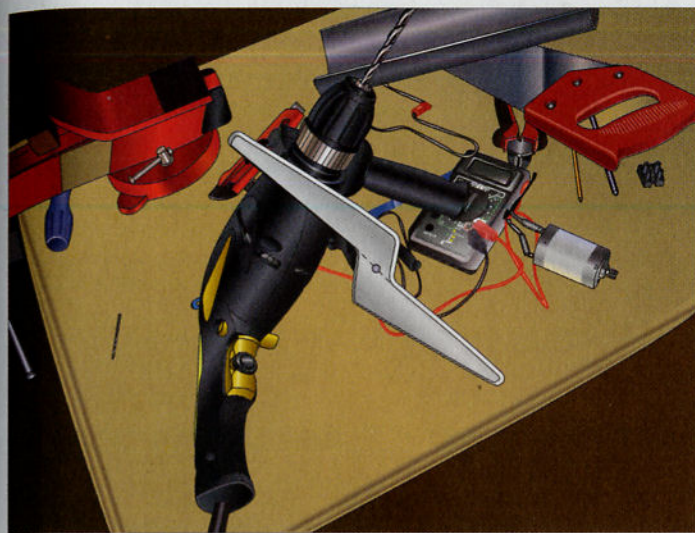
Collez le contour de pale sur une des moitiés de tube avec de la colle standard.



À l'aide d'une scie à dents fines, découpez la pale en suivant bien le profil et passez un petit coup de lime ensuite si jamais il y a des bavures.



Percez un trou d'un diamètre très légèrement inférieur au pignon fixé à l'arbre du moteur.

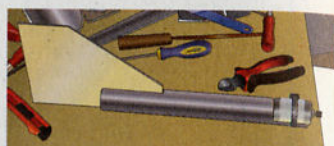
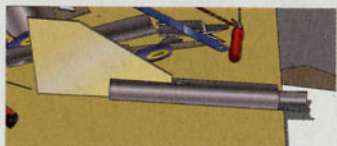


Dans le tube PVC de diamètre 4 cm, coupez la longueur qu'il vous faut puis faites une entaille de la longueur du moteur.

Toujours dans le même tube, faites une entaille pour fixer la queue. Dans un bout de contreplaqué de 5 mm d'épaisseur, découpez la queue suivant la forme sur la photo. Les dimensions ne sont pas très importantes dans l'absolu, essayez juste de respecter les proportions.



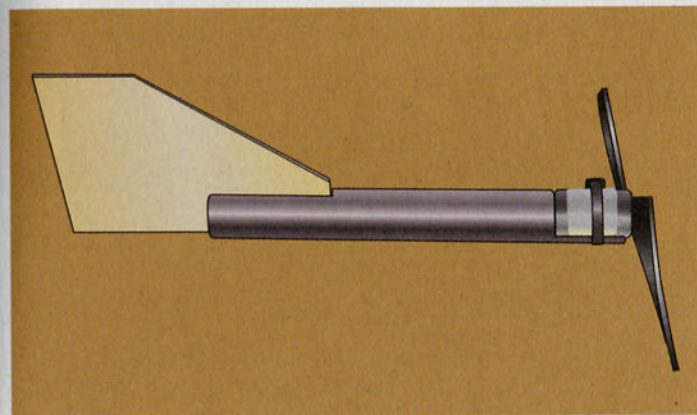
Prolongez les fils du moteur et installez-le dans son emplacement en refaisant sortir les fils à l'endroit que vous souhaitez. Une fois que tout est en place, fixez solidement le moteur à l'aide d'un collier.



Il ne vous reste plus qu'à fixer l'hélice, la face creuse devant et la face bombée en arrière. Faites-la rentrer en forçant un peu et placez la bien afin qu'elle soit parfaitement équilibrée. Dès que c'est bon, il ne reste plus qu'à la faire tenir en place avec un peu de mastic époxy et à le laisser sécher.



Votre éolienne est terminée. Selon la puissance du générateur, vous pourrez recharger une petite batterie ou installer un chargeur de piles directement sur la queue. Pour la mettre en place, percez un trou en dessous du fuselage (assez proche du générateur) pour y placer un petit tube en PVC qui viendra s'encaster dans votre mât. Si votre éolienne recharge une batterie, il faudra prévoir un système de balais pour collecter le courant. Sinon, vos fils vont s'entortiller autour du mât et votre aérogénérateur sera bloqué. Vous voilà maintenant en possession d'une belle petite éolienne bi-pales. À vous d'adapter les dimensions en fonction de votre générateur. Selon les performances de ce dernier, votre aérogénérateur sera plus ou moins performant. Ce n'est pas le Pérou, mais c'est une première expérience qui vous permettra de faire mieux par la suite.



Voilà le résultat...

8 Fabriquer une éolienne à axe vertical

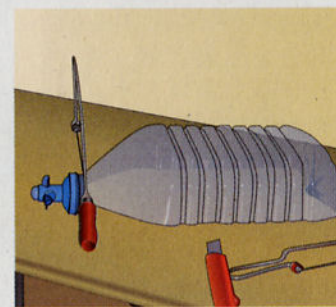
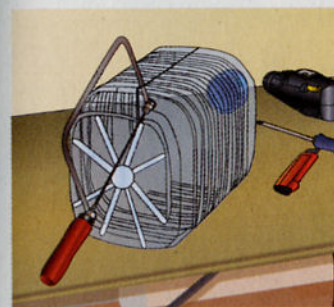
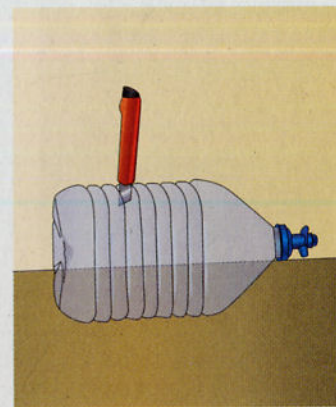
Voici un petit bricolage qui ne coûte quasiment rien. Nous allons nous lancer dans l'élaboration d'un modèle Savonius de base. En l'état, il serait ridicule de le coupler à un quelconque générateur, c'est juste pour se faire la main au niveau du principe. Par la suite, vous pourrez tenter de l'améliorer et de vous lancer dans une élaboration plus complexe et plus volumineuse. Dans un premier temps, c'est un bon support pédagogique.

COMPOSANTS

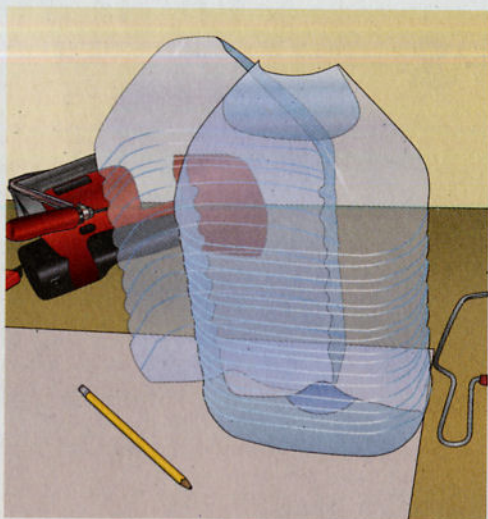
- Une bouteille d'eau vide format 8 litres (fontaine à eau)
- Un bout de contreplaqué 5 mm d'épaisseur
- Un bout de planche en bois épaisseur 2 cm
- Un support de roulette monté sur roulement
- Quatre boulons et écrous
- Quelques vis
- Un bout de fil de fer très fin ou une ficelle

AU TRAVAIL...

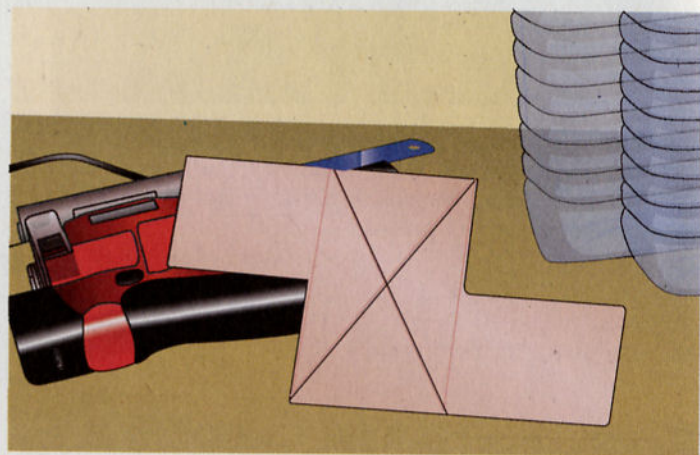
Prenez la bouteille vide et découpez-la en deux parties identiques.



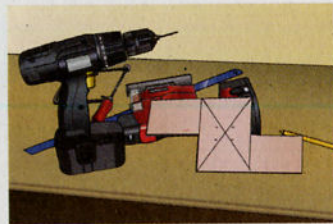
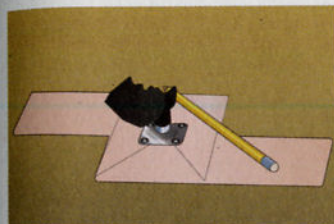
Posez les deux parties sur le bout de contreplaqué de façon à ressembler le plus possible à la disposition que vous pouvez voir sur le schéma. Avec un crayon de papier, tracez le contour formé par la base des demi-bouteilles.



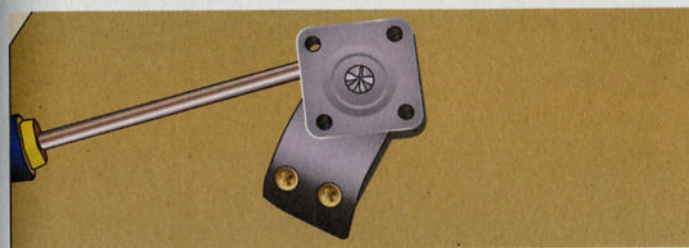
Découpez la forme ainsi obtenue à la scie sauteuse et tracez deux traits en X dans la partie du milieu pour bien repérer le centre.



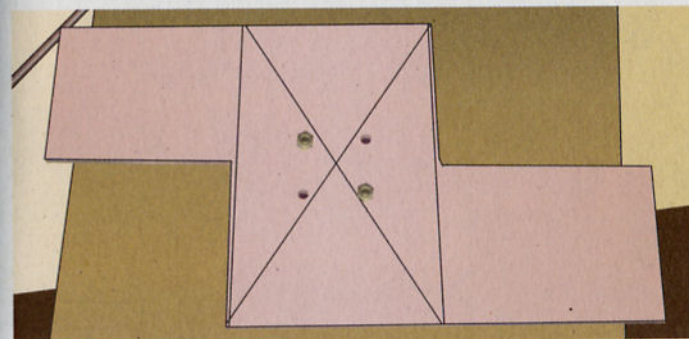
Placez le support de roulette de façon à ce que son axe soit bien au milieu de la partie centrale. Marquez les trous au crayon et percez.



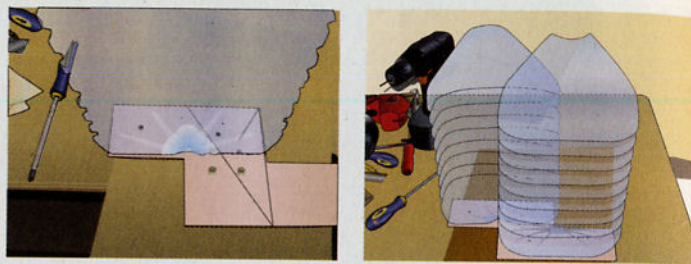
Fixez le support de roulette sur la planche en bois de 2 cm d'épaisseur qui lui sert de base à l'aide de vis. Pensez à faire des avant-trous avec un petit foret, c'est plus pratique pour insérer les vis.



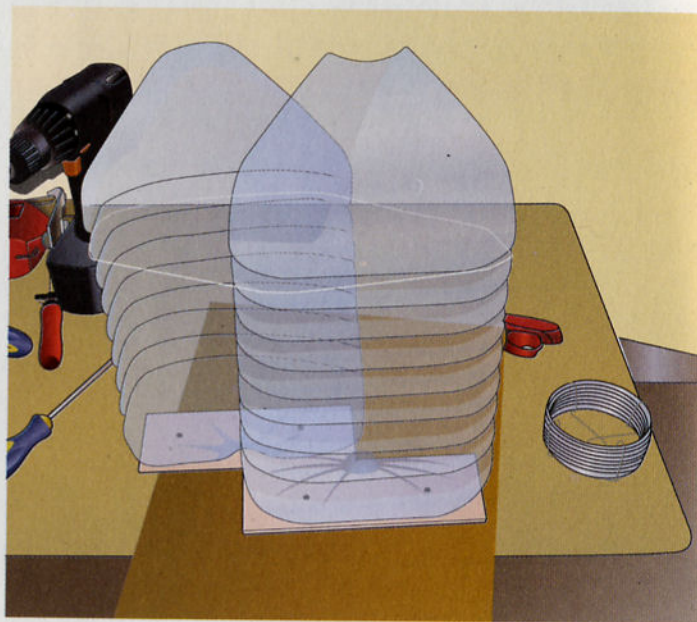
À présent vous pouvez fixer le support de pales sur le support de roulette à l'aide de boulons et d'écrous.



Il ne vous reste pratiquement plus qu'à fixer les demi-bouteilles sur la base à l'aide de petites vis en faisant un trou au préalable à l'aide d'un tout petit foret.



Et pour la petite touche finale, on rigidifie l'ensemble à l'aide du petit fil de fer et le tour est joué. Il ne faut pas forcer, c'est juste pour éviter que les pales ne s'écartent sous la force du vent.



Voilà, il ne vous reste plus qu'à sortir votre éolienne à l'extérieur et à attendre que la bise fasse son œuvre. Observez bien et essayez de trouver par vous-même comment optimiser cette conception. Vous verrez que ce n'est vraiment pas sorcier de faire évoluer ce type de modèle.

PARTIE 4

CHOISIR ET BIEN ACHETER SON ÉOLIENNE

9 Bien acheter son éolienne à axe horizontal

Pour une raison ou pour une autre, tout le monde n'a pas forcément envie de bricoler. Dans ce cas, il faut envisager l'achat d'un modèle prêt à l'emploi. Il existe dans le commerce un très grand choix de petits aérogénérateurs. Tous possèdent leurs propres caractéristiques au niveau de la puissance et de la conception. Il va donc falloir rechercher la meilleure offre en fonction du rapport qualité/prix.

ATTENTION AUX PIÈGES

Le plus grand risque que vous courez lors du choix d'un modèle, c'est d'être trompé sur la puissance annoncée par le constructeur. Sur des offres commerciales qui semblent au premier abord tout ce qu'il y a de plus sérieux, il y a bel et bien tromperie sur la marchandise. Certains vendeurs ou fabricants à la limite de l'honnêteté annoncent la puissance non pas en watts-heure comme le voudrait la logique mais en watts produits sur une durée de 24 heures. Ce qui, au final, change bien évidemment la donne. Le premier réflexe à avoir est donc de bien se faire confirmer la puissance moyenne soit en watts-heure, soit en ampères/heure. C'est une première étape, mais ce n'est pas suffisant. En admettant qu'un vendeur vous dise : « *cette éolienne produit 400 watts-heure, je vous le certifie* », peut-être a-t-il raison d'un certain côté, mais cette donnée ne veut pas dire grand-chose si elle n'est pas accompagnée d'un vecteur de vitesse du vent. Le plus souvent, on donne la puissance fournie par un modèle aux alentours d'un vent de 40 kilomètres par heure, ce qui correspond à une moyenne raisonnable pour bien estimer les performances globales. Bien souvent, la vitesse du vent est indiquée en mètres

par seconde. Ce qui est assez embêtant pour vous faire un avis si vous ne savez pas à quoi correspond cette mesure. Mais pas de souci, vous allez voir que c'est tout simple. Pour convertir des mètres par seconde en kilomètres par heure, il faut les multiplier par 3,6. Et à l'inverse, si vous voulez obtenir des mètres par seconde à partir des kilomètres par heure, il faut diviser ces derniers par 3,6.

EN RÉSUMÉ...

> La description honnête d'un aérogénérateur devra indiquer sa puissance en watts par vent moyen. Les deux pièges à éviter sont :

- que la puissance soit indiquée en watts par 24 heures ;
- que la puissance soit indiquée en fonction de vents très forts.

> En faisant attention à ces deux points, vous êtes sûr d'éviter une sérieuse déception quand votre modèle sera installé.

TERRESTRE OU MARINE ?

Il n'est pas rare dans les descriptions d'entendre parler d'éolienne terrestre ou marine. La différence se situe au niveau de la résistance des matériaux au climat marin. Une éolienne marine fera tout à fait l'affaire dans votre jardin. En revanche, une éolienne terrestre risquera de ne pas tenir le coup bien longtemps si elle est installée sur un bateau.

AUTRES POINTS À VÉRIFIER

Il faut faire attention que le seuil de démarrage ne soit pas trop élevé. Il vaut mieux opter pour un modèle de 300 watts qui commence à produire à partir de 20 km/h qu'un modèle de 600 watts qui commence à produire à partir de 30 km/h.

La technologie du générateur est aussi un point important. Le meilleur choix porte sur les générateurs à aimants permanents. C'est la solution que proposent presque tous les constructeurs, mais il existe néanmoins quelques modèles qui sont encore équipés d'alternateurs comprenant des charbons. Ce qui veut dire qu'il y a du frottement et qu'il faudra régulièrement remplacer les balais. C'est donc un choix à proscrire, d'autant plus qu'un modèle à aimants permanents ne vous coûtera pas plus cher. La qualité des matériaux est aussi un point très important à prendre en compte. Si les pales vous semblent fragiles, si l'ensemble vous fait penser à un jouet plutôt qu'à un véritable outil pour produire du courant, passez votre chemin. La disponibilité d'un service après-vente et un bon délai de garantie sont aussi deux points à vérifier lors de l'achat.

POUR FAIRE LE BON CHOIX

N'hésitez pas à bien questionner le vendeur et autant que possible à vous déplacer pour voir la marchandise avant. Il s'agit d'un achat conséquent qui ne se fait pas à l'aveuglette. En dehors du délai légal de rétractation si c'est un achat par correspondance, une fois que vous aurez effectué le paiement, il sera trop tard pour faire marche arrière si vous avez mal compris la description. Donc pas de précipitation, prenez le même soin à choisir votre aérogénérateur que celui que vous mettez lors du choix d'un véhicule et tout ira pour le mieux.

10

BIEN ACHETER SON ÉOLIENNE À AXE VERTICAL

En ce qui concerne les modèles à axe vertical disponibles dans le commerce, les critères de choix sont strictement identiques à ceux pour les modèles à axe horizontal. Ce qui diffère, c'est en premier lieu la conception. Comme vous avez pu le lire dans le chapitre consacré aux pales des éoliennes à axe vertical, il en existe plusieurs types. Dans l'absolu, tous fonctionnent très bien s'ils sont bien conçus. Le choix devra donc se porter en fonction des performances recherchées et du coup de cœur éventuel sur le design.

LES MODÈLES INDUSTRIELS

Pour l'instant, l'offre en termes d'aérogénérateurs à axe vertical fabriqués en série est proposée à des prix prohibitifs. Cela réserve ces modèles à des personnes soucieuses d'écologie qui ont le porte-monnaie bien garni. C'est bien dommage car les performances sont au rendez-vous. Au niveau technologique, il y a de quoi faire rêver n'importe quel passionné d'éolien. De nos jours, seule une poignée de constructeurs est présente sur le marché. Les modèles disponibles reposent sur des conceptions de type Savonius, Darrieus (à l'exception du rotor cylindrique) et à rotor turbine. Ils sont tous très faciles à intégrer aussi bien en paysage urbain qu'à la campagne. Espérons que dans les années à venir cette offre se démocratise. Avec l'émergence de nouveaux acteurs sur le marché, les choses pourraient très vite évoluer dans le bon sens.

LES MODÈLES ARTISANAUX

Il n'est pas rare que des autoconstructeurs mettent en vente leur création. Plus encore que pour les modèles à axe horizontal, il y a du très bon et du très mauvais. Ce qui ne veut pas dire qu'il ne faut pas acheter pour autant. Il faut juste savoir se montrer prudent. Si vous tombez sur une telle offre, n'hésitez pas à faire le déplacement et à mesurer la production à l'aide d'un contrôleur universel. Les modèles reposant sur un alternateur de voiture ou un moteur électrique transformé en générateur qui seraient disposés verticalement sont vraiment à éviter. La bonne méthode consiste à ce qu'ils soient placés horizontalement avec un renvoi d'angle, sinon les roulements s'usent d'autant plus vite qu'ils doivent supporter le poids des pales. Pour une conception reposant sur un générateur à aimants permanents selon le schéma contenu dans ce livre, cela ne pose aucun problème.

LE CAS PARTICULIER

Il y a un cas particulier qui mérite que l'on s'y attarde. En effet, si les modèles commerciaux sont hors de prix pour un simple particulier, ils peuvent s'avérer très avantageux dans le cadre d'une habitation collective. On dépasse certes la limite du mini-éolien, mais en restant tout de même dans une logique d'amateur. Parce qu'il faut bien le dire encore et encore, les aérogénérateurs à axe vertical s'intègrent parfaitement dans le paysage urbain. Mais pas seulement. Ils peuvent tout à fait s'intégrer dans la conception même du bâtiment et le rendre en partie autonome en électricité. Il existe déjà quelques réalisations de ce type en France, mais cela reste malheureusement très marginal. C'est bien dommage parce qu'en y réfléchissant de plus près, un groupement de propriétaires aurait tout intérêt à mutualiser son apport éolien. En partageant le prix du système et en demandant des subventions, l'investissement est très facile à supporter. D'autant que par la suite, il pourra fournir gratuitement l'électricité des parties communes et faire baisser le prix des factures d'élec-

tricité de tous les habitants du bâtiment. C'est une solution qui mérite d'être encouragée, il existe des subventions pour inciter ce type de démarche mais l'information n'est pas toujours au rendez-vous.

LA SOLUTION INTERMÉDIAIRE

Si vous ne disposez pas du bas de laine de Bill Gates et que vous désirez absolument acquérir ce type d'éolienne à titre particulier, la solution passe par l'achat de plans. Vous pourrez ainsi déléguer la fabrication à un ou plusieurs artisans. Il vous en coûtera les fournitures et quelques heures de main-d'œuvre, ce qui vous fera l'ensemble à un prix raisonnable. Dans l'idéal, vous aurez besoin des services d'un atelier qui travaille la fibre, d'un bobineur et d'un chaudronnier. Avec ces trois compétences réunies, vous disposerez au final d'un aérogénérateur qui n'aura rien à envier aux modèles de série.

PARTIE 5

RACCORDER SON ÉOLIENNE AU RÉSEAU DOMESTIQUE

11

Le régulateur

Comme son nom l'indique, la fonction principale d'un régulateur est de réguler. Il se place entre votre éolienne et vos batteries. Sans lui, ces dernières seraient très vite complètement détériorées. Sa fonction principale est d'empêcher les surtensions. Mais ce n'est pas suffisant, un bon régulateur se doit de garantir une charge constante. C'est-à-dire qu'il faut aussi qu'il gère les sous-tensions afin de garantir un apport de courant régulier.

LE FONCTIONNEMENT DU RÉGULATEUR

Prenons un exemple. Disons que pour bien charger, vos batteries ont besoin de 13,7 volts. À ce moment-là, votre régulateur devra toujours maintenir cette tension quand votre éolienne la produira de façon supérieure ou égale et il pourra aussi interrompre la charge lorsque le courant ne sera plus assez fort – même le compenser. Mais ce n'est pas tout : quand il détectera que la ou les batteries sont assez chargées, il interrompra automatiquement la charge et, par la suite, il n'enverra qu'un faible courant d'entretien. À l'inverse, il coupera aussi automatiquement le courant après les batteries si celles-ci s'avèrent trop faibles afin d'éviter une décharge complète qui nuit grandement à leur longévité.

En plus de ces fonctions de base, bien des modèles offrent d'autres possibilités, telles que le filtrage, le redressement, une fonction charge rapide... La majorité des éoliennes produisent du courant alternatif, donc il faut penser à le redresser pour pouvoir charger les batteries. Dans certains cas, le redresseur est intégré directement dans l'éolienne. Mais dans d'autres, ce qui est plus

judicieux, il est intégré directement dans le régulateur ou placé juste avant. Cela permet de transporter le courant en alternatif au plus près des batteries, ce qui évite la déperdition et l'utilisation de câbles de grosse section. Pour ce qui est du filtrage, c'est une bonne option, surtout en ce qui concerne l'autoconstruction. Cela permet d'être sûr d'obtenir un courant continu parfait. Certains régulateurs spécialement adaptés aux éoliennes proposent une prise pour le branchement de panneaux solaires photovoltaïques. Si vous devez mettre quelques petits euros de plus pour avoir cette fonction, ne vous en privez pas car elle pourra toujours s'avérer très utile. En matière de production de courant autonome, par sécurité et confort, on a toujours tendance à coupler les moyens de production. Le couple le plus répandu étant de loin éolienne/photovoltaïque. Donc, plutôt que d'avoir à racheter un autre régulateur et d'autres batteries par la suite, autant tout brancher sur le même circuit, ce qui est beaucoup plus simple et très économique. La majorité des régulateurs du commerce comportent une prise 12 volts. C'est une option relativement utile qui permet de brancher des appareils 12 volts sur une prise allume-cigare ou autre et de les utiliser en direct sans passer par les batteries. Étant donné que l'on n'a pas toujours un convertisseur 12 volts sous la main, ça peut toujours rendre quelques services. À signaler aussi : les régulateurs haut de gamme sont équipés de petits écrans LCD qui indiquent le plus souvent l'état de charge des batteries et le niveau de production en cours. En dernier lieu, deux points très importants : vérifiez bien que le régulateur dispose d'un dispositif de protection contre la foudre et la température de fonctionnement trop élevée, ce n'est vraiment pas du luxe.

COMMENT CHOISIR SON RÉGULATEUR ?

La première chose à faire est de s'assurer que votre éolienne produit bien 12 volts. En effet, dans certains cas, plutôt sur des modèles assez puissants, la génératrice produit 24 volts. À ce moment-là, il vous faudra absolument opter pour un régulateur adapté à cette tension (ou alors en choisir un qui peut

fonctionner sur l'une ou l'autre). Cela va de soi qu'il en va de même pour les batteries et le convertisseur. Outre ce cas particulier, ce qu'il faut regarder en premier c'est la puissance exprimée soit en watts, soit en ampères, qui doit être supérieure à la production maximale de votre aérogénérateur. Cette indication de puissance correspond à l'intensité que peut supporter le régulateur. Au-delà de ce point, son fusible risque tout bonnement de griller. Il vaut donc mieux opter pour une bonne marge de sécurité.

Un autre point à surveiller aussi est la ventilation. Un modèle qui a une fâcheuse tendance à trop chauffer ne durera pas très longtemps. En ce qui concerne les aérogénérateurs du commerce, dans la plupart des cas, un régulateur adapté est soit fourni avec, soit proposé en option. Dans le dernier cas, il n'y a pas de contre-indication à l'acheter avec, à moins qu'il ne propose pas une option dont vous avez besoin. Par exemple, une prise 12 volts ou une entrée pour panneaux solaires. Un dernier point à vérifier, à qualité et puissance supportée égales, c'est la durée de la garantie. Plus elle est longue, mieux c'est.

Lors de votre achat, songez bien que votre régulateur devra fonctionner durant de nombreuses années. Inutile donc de pinailler pour essayer de gagner quelques euros en prenant un modèle de mauvaise qualité, c'est un très mauvais calcul sur le long et court terme. Concernant l'autoconstruction de ce type de matériel, à moins d'être hyper-calé en électronique, je vous déconseille vivement d'expérimenter les multiples bidouillages qui circulent sur le Net. Vous pouvez toujours essayer, mais au risque d'y perdre une ou plusieurs batteries à vitesse grand V. Un régulateur ne se monte pas avec trois bouts de ficelle, c'est du matériel de pointe qu'il faut choisir avec rigueur. N'hésitez pas à demander un maximum de conseils avant d'effectuer votre choix, car il ne faut jamais perdre de vue qu'avec l'électricité il ne faut pas faire n'importe quoi.

EN RÉSUMÉ, UN BON RÉGULATEUR DOIT POSSÉDER LES QUALITÉS SUIVANTES :

- 1) être adapté à la puissance de votre éolienne ;
- 2) gérer les surtensions et les sous-tensions ;
- 3) disposer d'une protection contre la décharge profonde ;
- 4) disposer d'une protection anti-foudre ;
- 5) disposer d'une protection contre la surchauffe ;
- 6) ne pas trop chauffer ;
- 7) disposer d'une entrée pour panneaux solaires ;
- 8) disposer d'une prise 12 volts ;
- 9) disposer d'un écran de contrôle ou de diodes témoins.

12

LES BATTERIES

La batterie est l'élément qui va vous permettre de stocker votre énergie. Elle joue le rôle d'un réservoir. Plus sa capacité est grande, plus on peut emmagasiner du courant. Le choix de cet élément ne doit pas se faire les yeux fermés. Les caractéristiques varient d'un modèle à l'autre selon les fabricants, et les descriptions manquent parfois cruellement de clarté. Nous allons donc passer cet élément au crible afin d'y voir plus clair.

Avant toute chose, il faut bien le dire, les batteries sont une grosse source de pollution potentielle. C'est pourquoi il faut bien veiller à ne pas faire n'importe quoi avec. Si cet élément est fabriqué selon les normes européennes en vigueur, s'il est choisi judicieusement, s'il est utilisé correctement et s'il est conduit dans une déchetterie en fin de vie afin d'être recyclé, à ce moment-là on peut dire que votre batterie n'aura que très peu d'impact sur l'environnement. D'autant plus qu'il faudra porter à son crédit tout le courant que vous aurez produit proprement grâce à votre installation éolienne. Si tout le monde faisait l'effort de produire 20 % de son courant à l'aide des énergies renouvelables, on pourrait globalement se passer de deux centrales nucléaires sur dix et faire plus de place aux moyens de production propres et sans danger.

Le gros problème avec les batteries, c'est qu'elles contiennent des métaux lourds et de l'acide. Donc attention danger pour la nature, en particulier pour les nappes phréatiques et toutes les sources d'eau en règle générale. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'autre méthode réellement efficace pour stocker de l'électricité en masse. Mais dans un futur proche, cela risque de changer. Plusieurs entreprises travaillent actuellement à la mise au point de batteries écologiques, sans métaux lourds et fonctionnant avec un électrolyte biodégradable. Ce n'est pas pour tout de suite, mais d'ici une bonne dizaine d'années, cela

devrait être au point. Il existe aussi une alternative qui consiste à stocker l'énergie sous forme d'air comprimé. C'est une solution qui me paraît très intéressante, c'est pourquoi, avec l'aide d'autres personnes, je m'emploie à la mettre au point. C'est une technique très prometteuse, mais, comme pour les batteries écologiques, il reste encore un bout de chemin avant que cela ne soit totalement au point. En attendant, il ne reste que deux solutions réellement efficaces pour votre installation éolienne. La première, qui est de loin la plus confortable, consiste à utiliser une ou plusieurs batteries et la deuxième consiste à tout bonnement s'en passer, à condition d'être prêt à subir des coupures plus ou moins longues à des intervalles très réguliers. Autant le dire tout net, la deuxième solution n'est viable que dans le cas particulier où l'on est sûr d'avoir du vent en permanence, ce qui peut être le cas sur un voilier. Mais même dans ce cas, l'utilisation d'une ou plusieurs batteries n'est pas un luxe. Car il faut savoir aussi qu'en plus de sa fonction première de stockage, la batterie joue aussi un rôle de filtre, ce qui permet de préserver la durée de vie de votre onduleur en lui fournissant un courant parfaitement continu suivant sa demande. Voilà pourquoi, malgré ses défauts, la batterie s'avère pour l'heure un élément indispensable de l'équipement éolien. Elle n'est pas aussi polluante que certains le laissent entendre, à condition toutefois de bien en maîtriser les tenants et les aboutissants.

QUEL TYPE DE BATTERIE ?

Il existe deux types de batterie :

- 1) les batteries à charge constante ;
- 2) les batteries à décharge profonde.

Schématiquement, le premier type est fait pour délivrer un maximum d'ampères en un court laps de temps mais s'avère très mauvais pour alimenter en permanence des appareils électriques. Quant au second, il est plutôt conçu pour délivrer des ampères sur la durée.

Les batteries à charge constante

Les batteries à charge constante sont complètement inadaptées à l'usage éolien. On trouve en très large majorité ces modèles sur les véhicules automobiles. Le problème qui se pose, c'est que comme leur nom l'indique, elles doivent être constamment maintenues à un haut niveau de charge. Quand vous roulez avec votre voiture, l'alternateur s'occupe de garder la batterie chargée à son maximum. Mais ce n'est pas tout ; dès que le moteur se met en marche, il prend aussitôt complètement le relais de la batterie et recharge la perte de courant occasionné lors du démarrage. Ces accumulateurs ne se comportent pas trop mal jusqu'à une décharge de 20 % grand maximum, tout en gardant à l'esprit qu'ils sont conçus initialement pour une utilisation optimale qui n'excède pas une décharge de l'ordre de 2 à 5 % qui correspondent aux besoins du démarreur et des appareils de bord durant la phase de démarrage. S'ils ne sont pas rechargés immédiatement et maintenus dans cet état, ils s'endommagent prématurément. Comprenez par là qu'ils ne sont pas du tout faits pour supporter de multiples cycles de charges et décharges en profondeur. Et encore moins pour rester de longues périodes sans leur pleine charge. Au-delà de 48 heures de décharge, les dommages sont irréversibles. C'est pourquoi il faut toujours débrancher sa batterie de véhicule quand on est longtemps sans l'utiliser, ou encore mieux, utiliser un petit panneau solaire pour garantir son maintien en charge. Dans le cadre d'une installation reposant sur ce type d'accumulateur, cela fonctionnera certes pas trop mal les premiers jours, mais avec des performances rapidement en baisse au fil des cycles de charge et décharge, jusqu'à une détérioration complète en trois mois grand maximum. C'est donc une option à proscrire.

Les batteries à charge profonde

Quant aux batteries à décharge profonde, elles sont tout à fait adaptées pour supporter de nombreux cycles de charges et décharges dites « profondes ». Il n'est pas rare d'entendre pompeusement qualifier ces accumulateurs de « batteries

solaires » ou, dans d'autres applications, plus modestement de « batteries de chantier ». Ce qui dans les deux cas revient strictement au même puisqu'il s'agit bien de la même chose. Les moins onéreuses sont les batteries au plomb. Leurs caractéristiques sont variables d'un modèle à l'autre, c'est pourquoi vous pourrez trouver un tableau pour vous aider à vous y retrouver plus loin dans ce chapitre. Il existe aussi un second type, plus cher, mais qui possède des caractéristiques beaucoup plus intéressantes. Il s'agit des batteries au gel. On les nomme ainsi car leur électrolyte est sous forme de gel au lieu d'être liquide. Le premier avantage, c'est qu'elles ne sont que très peu soumises au phénomène d'autodécharge. Elles peuvent rester chargées pendant plusieurs mois si on ne les utilise pas (2 % de pertes par mois en moyenne), contrairement aux modèles au plomb qui finissent par perdre assez rapidement toute leur énergie dans le même cas de figure. Le second avantage, c'est qu'elles n'émettent pas de dégagements gazeux, ce qui évite tout risque d'intoxication ou d'explosion. Cela permet de les placer dans un espace non ventilé. Et enfin, dans la plupart des cas, elles gèrent très bien la charge lente, ce qui est vraiment un très bon atout pour l'usage éolien et photovoltaïque. Cela fait déjà beaucoup d'avantages, mais ce n'est pas tout : le cycle de charges et de décharges profondes est augmenté de 50 % par rapport aux batteries au plomb et leur chargement se fait plus rapidement. Du fait qu'elles ne contiennent pas de liquide, elles peuvent s'installer n'importe où sans risque de déversement accidentel d'acide. À noter aussi qu'elles sont souvent étanches. En résumé, malgré un coût relativement plus élevé, c'est vraiment une option de premier ordre pour votre installation.

Concernant les principaux critères de choix lors de l'achat d'une batterie à décharge profonde, qu'elle soit au plomb ou au gel, ils reposent sur le nombre d'ampères par heure qu'elle peut délivrer sur un temps donné et sur la profondeur de la décharge. Il faudra bien veiller à mettre votre installation en conformité avec ce second paramètre. Certains modèles haut de gamme de batterie gèrent eux-mêmes leur profondeur de décharge, c'est-à-dire qu'ils se coupent automatiquement dès qu'ils ont atteint la profondeur critique. Si ce n'est pas le cas, il faudra

que votre onduleur s'en occupe, c'est plus qu'un bon conseil. Mieux vaut mettre plus cher dans un onduleur qui assure cette fonction que de risquer d'endommager complètement votre ou vos batteries. Ne négligez surtout pas ce facteur, il en va de la pérennité de votre investissement. Une batterie mal régulée ne durera pas longtemps, tandis que, dans le cadre d'une installation bien pensée, elle pourra jouer pleinement son rôle durant une bonne dizaine d'années. Pour mémoire, votre régulateur devra posséder la fonction de cesser complètement la charge lorsque que la batterie sera à 100 % et un élément devra posséder la fonction de couper complètement l'alimentation de l'onduleur à l'approche du seuil critique de décharge. Si ce n'est pas le cas, il faudra veiller par vous-même à ne pas décharger votre ou vos accumulateurs au-delà de leur zone critique ou bien réaliser un montage électronique qui assure cette fonction si vous êtes doué dans ce domaine.

COMMENT CHOISIR LA PUISSANCE ?

Pour répondre à cette question, la première étape consiste à définir vos besoins. Combien d'ampoules dois-je alimenter ? Est-ce que je dois alimenter un réfrigérateur, des appareils électroniques, etc. Une fois que vous aurez bouclé votre estimation, il faudra passer à la deuxième étape qui consiste à additionner vos besoins en termes de puissance. Par exemple : 10 ampoules économiques de 20 watts qui fonctionneront 4 heures par jour demanderont au total 800 watts en consommation électrique. À partir de là, vous êtes pratiquement fixé. Il ne vous reste plus qu'à choisir l'aérogénérateur et les batteries adéquats, sans oublier bien sûr le reste de l'installation. Surtout, prenez bien soin de faire vos calculs et faites-vous aider si vous avez des difficultés. Il ne s'agit pas d'estimer à la louche, mais d'obtenir un résultat mathématique. Pour vous y retrouver facilement, la puissance des batteries est donnée en ampères par heure. À partir de là, il sera toujours aisé de faire la conversion afin de la faire correspondre à votre calcul de besoin en consommation qui est exprimé en watts. Petit rappel de circonstance : pour connaître

les watts en fonction des ampères, il suffit de multiplier les volts et les ampères. Par exemple, pour une batterie de 12 volts 12 ampères, on multiplie 12 par 12, ce qui nous donne 144 watts. Et ça marche aussi dans l'autre sens en divisant les watts par les volts. Si vous êtes perdu, pas de panique, vous pouvez trouver une méthode toute simple un peu plus loin dans ce chapitre. Maintenant que les calculs de base sont faits, il reste à choisir la ou les batteries en fonction de vos besoins. Ne prévoyez ni trop court ni trop large. Entendez par là qu'il vaut mieux prévoir une bonne marge de sécurité. En premier lieu, il faut intégrer dans votre calcul le seuil de décharge à ne pas dépasser. En second, il faut aussi intégrer le facteur météo, car vous n'aurez pas tous les jours des vents constants à 70 kilomètres par heure pour assurer la recharge 24 heures sur 24. Donc il faut aussi prévoir plus large pour qu'en cas de période de vents très faibles vous puissiez avoir suffisamment de réserves de courant pour ne pas subir d'interruption. Et en troisième, il est toujours plus judicieux d'anticiper un besoin de consommation supérieur. Comme ça, par la suite, si jamais vous avez besoin d'alimenter des appareils supplémentaires, votre installation sera tout à fait capable de supporter ce besoin ponctuel ou permanent.

AIDE POUR CALCULER LA CAPACITÉ DE VOTRE BATTERIE À DÉCHARGE PROFONDE

> Calculez en premier le total de la puissance en watts dont vous avez besoin. Puis vous le divisez par la tension de votre batterie (par exemple 12 volts), ce qui vous donnera votre besoin en ampères. Reste ensuite à multiplier les ampères ainsi obtenus par le nombre d'heures de consommation. Et pour finir, appliquez un coefficient de sécurité qui correspond au seuil de décharge à ne pas dépasser. Il est compris entre 1,3 et 1,5 selon les modèles.

> Prenons un exemple :

Vous avez besoin d'alimenter des appareils électriques pour un total de 100 watts durant 6 heures par jour.

.../...

100 watts divisés par 12 volts = 8,33 ampères | multipliés par 6 heures = 50 ampères-heure | multipliés par un coefficient de sécurité de 1,3 = 65 ampères-heure au total. Il vous faudra donc une batterie capable de délivrer au moins 65 ampères par heure pour que votre installation puisse fonctionner. Mais c'est sans compter sur les caprices de la météo, il vous faudra aussi prendre en compte les jours de vent très faible pour estimer parfaitement votre besoin en stockage. Vous pourrez obtenir de précieux renseignements en la matière auprès d'un centre de météorologie.

LE RACCORDEMENT

Ne faites surtout pas l'impasse sur ce paragraphe, il est très important pour votre sécurité. Le courant continu a une fâcheuse tendance à chauffer. Par rapport au courant alternatif, il demande des sections de câble beaucoup plus importantes qui sont à ajuster en fonction du nombre d'ampères à faire transiter. Ce n'est pas un calcul qui s'improvise, si vous n'y connaissez rien, le mieux est de demander conseil à un spécialiste de l'électricité, de préférence agréé. Il n'y a pas de bricolage possible, dans tous les cas, il faut utiliser un câble spécifique. Il est important de prendre en compte que plus votre câble sera court, plus vous limiterez la chauffe et les déperditions. Par voie de conséquence, placez votre onduleur au plus près de votre ou vos batteries. Encore une fois, soyez bien vigilant sur votre raccordement. Un câble trop fin risquerait de provoquer un incendie. Un minimum de professionnalisme s'impose donc sur ce point.

REPÈRES D'ACHAT

Spécifications	Exemples	Explication
Tension	12 V c.c.	Cela veut dire qu'il s'agit d'une batterie 12 volts courant continu. On peut trouver aussi des modèles 6, 24 ou 48 volts.
Capacité	115 Ah (période nominale de 20 heures)	Indique la quantité d'énergie que la batterie peut contenir pendant une période de 8 ou 20 h de décharge à une température précisée.
Nombre de cycles	750 à 50 % de PDD	Indique le nombre de décharges et recharges que peut supporter la batterie avant de commencer à perdre en capacité. Pour l'exemple donné, il faut lire 750 décharges et recharges sans descendre plus bas que 50 % de la capacité, qui correspond au seuil de décharge à ne pas dépasser.
Dimensions	0,3 x 0,175 x 0,200	Indique le volume nécessaire pour stocker la batterie. Les chiffres correspondent dans l'ordre à la longueur, largeur et hauteur. Ils sont exprimés en mètres. Il faut multiplier par 100 pour obtenir des centimètres.
Poids (rempli d'acide ou de gel)	24 kg	Il peut être utile de connaître le poids avant si jamais la ou les batteries doivent être posées sur un support.

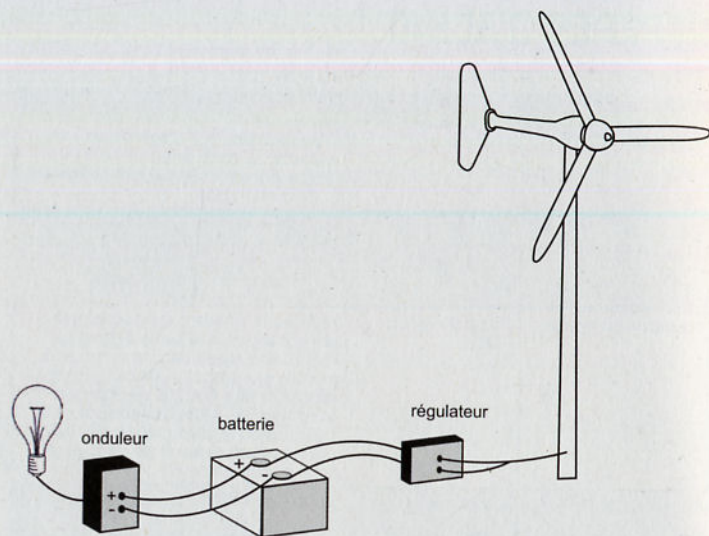


Schéma de raccordement

PRÉCAUTIONS D'UTILISATION

Les batteries font toutes appel à une réaction chimique qui, selon les modèles, est plus ou moins sensible à la température. Plus explicitement, ce facteur joue un rôle important sur le rendement. Il faut donc veiller à ne pas entreposer votre ou vos batteries dans un lieu trop chaud ou qui est exposé au gel. L'idéal est de placer cet élément dans un lieu tempéré.

Pour une raison ou pour une autre, vous aurez peut-être l'utilité de recharger votre ou vos batteries à l'aide d'un chargeur branché sur le secteur. Il n'y a pas de contre-indication à cela, sauf qu'il faut juste faire attention avec les chargeurs comportant une fonction charge rapide souvent appelée « boost ». Si vous activez cette option, votre chargeur va donner tout son maximum en ampères, ce qui risque d'endommager votre ou vos batteries.

Il est préconisé de recharger un accumulateur au maximum à 20 % de sa capacité en ampères par heure pour ceux au plomb et 40 % maximum pour ceux au gel.

ATTENTION AUX ARNAQUES

> En temps normal, on donne les ampères-heure d'une batterie sur une période de 20 heures, ce qui est quasiment une norme. Or, certains vendeurs peu scrupuleux vous indiquent les ampères-heures sur une période inférieure, ce qui a pour effet d'augmenter le nombre d'ampères-heure sans que la capacité soit au rendez-vous, bien évidemment. Donc attention sur ce point, comparez ce qui est comparable : le voltage, les ampères-heures sur une période de 20 heures, la profondeur de décharge et le nombre de cycles. Maintenant que vous savez tout cela, vous êtes au top pour choisir votre modèle de batterie.

EN CONCLUSION

Faites bien vos calculs avant de vous lancer dans l'achat d'une ou plusieurs batteries. Commencez par calculer la moyenne que produira votre aérogénérateur. Ensuite estimez exactement vos besoins en termes de watts. Et au final, choisissez de préférence un modèle de batterie au gel couplé à une protection contre la décharge totale. C'est plus cher, mais sur le moyen et long terme vous serez gagnant sur tous les tableaux. N'oubliez pas non plus de respecter toutes les précautions d'usage énoncées dans ce chapitre et vous obtiendrez une installation qui vous donnera entière satisfaction durant des années.

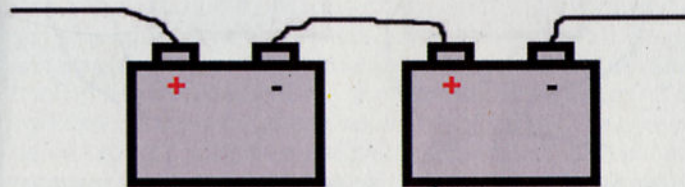
13 LES COUPLEURS DE BATTERIES

Disposer d'une seule batterie sur une installation, c'est bien... Mais pour couvrir des besoins assez essentiels, tels que l'alimentation d'un réfrigérateur ou d'un lave-linge en plus de l'éclairage, c'est insuffisant. Pour vous donner un ordre d'idée, avec une batterie au gel de capacité respectable, par exemple 70 Ah, vous aurez de quoi assurer l'alimentation de quelques ampoules économiques durant 5 ou 6 heures par jour et faire fonctionner un ou deux appareils électroniques, tels qu'un poste de radio ou un chargeur de piles. Maintenant, pour pouvoir faire mieux il va falloir augmenter la capacité de stockage. Autrement dit, il nous faut un plus gros réservoir. Raisonnablement, avec une installation en petit éolien, le choix d'un modèle d'accumulateur compris dans une fourchette de 70 à 120 Ah est tout ce qu'il y a de plus judicieux niveau rapport/performances/qualité/prix. À partir de là, vous êtes fixé ; pour bénéficier d'une autonomie plus large, il faut ajouter une ou plusieurs batteries jusqu'à couvrir l'ensemble de vos besoins, dans les limites de ce que votre aérogénérateur peut fournir, cela va de soi. C'est presque un jeu d'enfant que de mettre cette technique en application, à condition toutefois d'être bien informé sur le sujet.

BRANCHEMENT DES BATTERIES EN SÉRIE

Ce branchement n'est valable que pour augmenter le voltage. Admettons que vous ayez trouvé une bonne affaire sur des batteries 6 volts. Ce serait dommage de s'en priver. Seulement voilà, vous avez besoin de 12 volts pour votre onduleur. Qu'à cela ne tienne, il suffit de brancher les deux batteries en série pour obtenir la tension désirée. C'est idem pour générer du 24 volts,

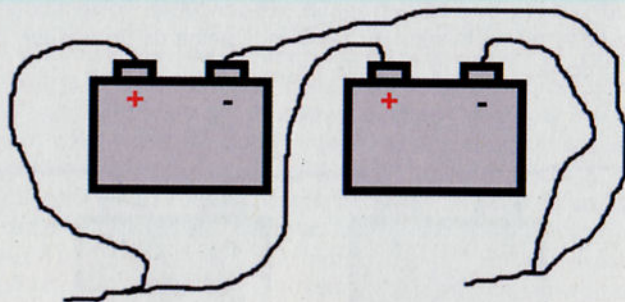
il faut brancher deux batteries 12 volts en série. Lors d'un branchement en série, on additionne la tension sans toucher à la puissance. Exemple : 2 batteries 6 volts 60 ampères connectées en série = 12 volts 60 ampères. Alors surtout faites bien attention, il est évident que ce type de montage trouve vite ses limites. En règle générale, ce que l'on cherche à augmenter, ce sont les ampères et non le voltage. Si votre installation est basée sur du 12 volts, il ne faut en aucun cas connecter vos accumulateurs de la même tension en série sous peine de provoquer une catastrophe.



Branchement en série

Lorsque l'on effectue ce type de raccordement, on additionne les ampères sans toucher au voltage. On peut d'ores et déjà se dire que c'est la bonne solution. Mais ce n'est pas si simple que ça. Si jamais vous êtes tenté par ce type de montage rustique, il est très important de savoir auparavant qu'il faut absolument que les accumulateurs soient exactement identiques. C'est-à-dire qu'ils soient de même marque, exactement du même type et aussi du même âge. Tous ces critères sont très importants à respecter. Sinon c'est la mort de votre parc de batteries qui est assurée en quelques jours au grand maximum si vous avez de la chance, sans parler des risques chimiques et pyrotechniques liés à ce genre de mésaventure. Donc, cela fonctionne en théorie sous certaines conditions, mais c'est très loin d'être la panacée car deux problèmes se posent. D'abord, vos batteries ne chargeront pas très bien, loin s'en faut. Ensuite, si l'une devient défectueuse, il faudra changer tout le parc. Sans oublier que

c'est potentiellement dangereux, donc on ne va pas s'étendre sur le sujet. L'essentiel, c'est de retenir que cette solution n'est pas bonne en soi, mais qu'elle constitue néanmoins une bonne base de travail. À la rigueur, elle peut seulement être utile pour dépanner quelques instants en cas de force majeure, à condition de savoir exactement ce que l'on fait, mais pas plus.



Branchement en parallèle

C'est une solution qui fonctionne moyennement. On est toujours sur un branchement classique en parallèle, mais on a ajouté un dispositif à base de diodes de puissance dont le rôle est d'optimiser un minimum le parc afin de protéger aux mieux vos accumulateurs en les rendant indépendants les uns des autres au niveau de leur interconnexion. C'est très bien en ce qui concerne la sécurité. Mais ce n'est pas encore l'idéal, car là où le bât blesse, c'est au niveau du rendement. Certes, les ampères-heure s'additionnent, mais il y a une perte de tension plus ou moins significative suivant les montages. Ce n'est donc pas sur cet élément que doit se porter votre choix si vous désirez faire honneur à votre aérogénérateur. N'oubliez pas que, s'il y a un maillon faible sur la chaîne d'éléments qui compose votre installation, c'est le rendement global de l'ensemble qui s'en retrouvera plus ou moins gravement affecté. À noter aussi qu'étant donné que nous sommes en courant continu avec un ampérage important du fait qu'on l'a additionné, il faut employer un câble de batterie approprié

au niveau de la section et il faut faire attention aux risques d'électrocution. Un peu d'ampérage, ça va. Beaucoup d'ampérage, attention les dégâts. Donc prudence sur ce point.

BRANCHEMENT DES BATTERIES SUR UN COUPLEUR ÉLECTRONIQUE

C'est vraiment la solution qu'il faut adopter pour gérer au mieux un parc d'accumulateurs. Vos batteries sont indépendantes les unes des autres, ce qui évite tout problème en cas de défaillance de l'une d'entre elles. Mais ce n'est pas tout. Cet appareil va surveiller en permanence le niveau de remplissage de vos batteries afin d'envoyer le courant de charge en priorité sur la plus faible. C'est hyper-efficace, tant sur le rendement qu'à l'usage. C'est vraiment la solution qu'il faut adopter, d'autant plus que le prix de ce type d'équipement est tout à fait correct. Ce qu'il faut regarder lors de l'achat, c'est si l'ampérage supporté est en conformité avec votre installation et le nombre de batteries que l'on peut connecter. Un bon coupleur devra non seulement être en mesure de recharger la batterie la plus faible, mais il devra aussi la déconnecter du circuit d'alimentation lors de son rechargement. Durant ce temps-là, il pourvoira aux besoins de l'onduleur en sélectionnant automatiquement l'accumulateur le plus chargé, et ainsi de suite. C'est la fonction séparateur. Avec un tel montage, votre parc de batteries est parti pour servir de nombreuses années en toute sérénité.

EN RÉSUMÉ

Pas de mauvais bricolage, quand on utilise plusieurs batteries ensemble, mieux vaut recourir à un coupleur électronique. Si vous n'êtes pas sûr d'avoir entièrement compris ce chapitre, demandez conseil à un professionnel. Car une fois de plus, avec l'électricité, on n'est jamais trop prudent. En dehors de cette solution, si jamais vous n'avez qu'un tout petit budget, ne cédez

surtout pas aux sirènes des bricoleurs du dimanche qui prônent le raccordement direct en parallèle. Au pire, utilisez un coupleur/séparateur manuel. Son fonctionnement est simple : quand vous constatez qu'une batterie est chargée, vous tournez un interrupteur qui bascule manuellement la charge sur la suivante qui en a besoin et ainsi de suite. C'est fastidieux, certes. Mais au moins, Cela fonctionne très bien et c'est sans risque. Vous pourrez trouver ces deux éléments chez des distributeurs de batteries à décharge profonde, dans les magasins d'équipement pour bateaux et dans les magasins d'équipement pour camping-cars pour des modèles gérant jusqu'à 4 batteries tout au plus.

14

L'onduleur

L'onduleur est un boîtier électronique qui vous permet de transformer le courant 12 volts continu de votre ou vos batteries en 230 volts 50 hertz. Autrement dit, à partir de votre éolienne, il vous permet de faire fonctionner n'importe quel appareil électrique qui se branche sur une prise de courant classique exactement de la même manière que s'il était connecté au réseau. On appelle souvent de façon abusive les alimentations sans interruption (ASI) pour ordinateurs des onduleurs. Or, ce dernier mot ne représente qu'une seule des fonctions de ce dispositif. La vraie définition d'un onduleur : il s'agit uniquement d'un élément d'électronique de puissance qui sert à convertir le courant continu en courant alternatif. Par simple déduction, on peut aisément en conclure qu'il s'agit là du fonctionnement inverse d'un redresseur qui, quant à lui, convertit le courant alternatif en courant continu.

LA PUISSANCE

Pour le petit éolien, les puissances des onduleurs disponibles sur le marché vont de 75 watts à 5 kilowatts. Plus la puissance délivrée est élevée, plus l'onduleur coûte cher à l'achat. Il faudra donc jongler un peu pour qu'il soit aussi bien en conformité avec vos attentes en termes de rendement qu'avec votre budget. Et, bien évidemment, il faudra aussi qu'il corresponde à la puissance de votre ou vos batteries. Si jamais vous avez, par exemple, besoin de 500 watts, prévoyez toujours un peu plus large et optez pour un modèle 750 watts. Ces engins, moins on les pousse, mieux ils se portent. À noter aussi qu'à partir de 750 watts les prix ont très vite tendance à s'emballer au fur et à mesure que l'on monte en puissance.

LES FONCTIONS

Un bon onduleur devra être protégé contre les surchauffes éventuelles. Il devra aussi vous prévenir en cas de demande trop élevée. La plupart de ces appareils émettent une alarme acoustique lorsqu'ils sont trop sollicités. C'est pour cela que les fabricants indiquent une puissance normale d'utilisation qui est celle sur laquelle il faut se baser et une puissance de crête, qui peut aider à faire le tampon en cas de dépassement momentané. Si vous tirez trop dessus, il va tout bonnement se couper et tenter de redémarrer automatiquement. C'est pourquoi il faut faire attention de ne pas dépasser sa puissance initiale. Selon les modèles, il pourra y avoir plusieurs tentatives de redémarrage. Certains onduleurs plutôt haut de gamme sont aussi capables de détecter le niveau de charge des batteries et de se couper avant que ces dernières n'atteignent leur seuil de décharge profonde. Ils se remettent automatiquement en marche dès que les batteries ont retrouvé un bon niveau de charge.

INSTALLATION

L'onduleur est le dernier maillon de votre chaîne. Il se place après les batteries et distribue ensuite du courant alternatif sur votre réseau. Plus concrètement, vous branchez le positif et le négatif provenant de votre ou vos batteries sur l'entrée + et - du convertisseur et en sortie vous disposerez d'une prise classique en 220 volts pour brancher vos appareils. Faites bien attention que cet élément soit installé dans un endroit suffisamment ventilé et tempéré afin de prévenir toute surchauffe. Il est plus que conseillé d'installer un fusible entre la batterie et le convertisseur pour éviter toute mauvaise surprise.

POINTS À SURVEILLER

Cet appareil est sujet aux déperditions. Les deux points à surveiller sont la consommation en stand-by et la consumma-

tion lors de la conversion. Plus le convertisseur sera puissant plus il consommera. C'est aussi pour cela qu'il ne doit pas être démesuré par rapport à vos besoins. Vous pouvez trouver cette donnée en vous référant au rendement donné par le constructeur, qui doit être supérieur à 90 %. 1 ou 2 % de plus, cela représente pas mal de courant supplémentaire à l'année. Donc cela vaut le coup d'investir dans un modèle qui, à puissance égale, consomme moins. Un autre point qui peut être utile à surveiller, c'est le bruit qui est indiqué en décibels. On ne peut pas dire qu'un onduleur produise un vacarme assourdissant, mais son ventilateur de refroidissement fait quand même un peu de bruit qui peut vite s'avérer épuisant s'il est situé à proximité d'un lieu de couchage. À ce moment-là, il faudra opter pour un modèle le plus silencieux possible.

LA BONNE ASTUCE

> Si vous n'avez pas de très gros besoins, vous pouvez d'ores et déjà vous frotter les mains car je vais vous donner une bonne astuce pour obtenir un très bon convertisseur pour la modique somme de zéro euro. Comment ce prodige est-il possible ? Eh bien figurez-vous que c'est tout simple. Par sécurité, au bout de 4 ou 5 ans, beaucoup d'entreprises mettent leur parc d'alimentation sans interruption au rebut même si les appareils fonctionnent encore.

> Plus couramment, de nombreuses PME se débarrassent de leur ASI quand leurs batteries sont usées. Voici donc une belle aubaine quand on sait qu'une ASI intègre forcément un onduleur. Il vous suffit de brancher vos batteries à la place des batteries HS et vous obtiendrez du 230 volts sinusoïdal 50 hertz en sortie. Attention tout de même à bien respecter la tension à l'entrée de l'onduleur. Pour vous en procurer un, il vous faudra mener l'enquête auprès de déchetteries ou de casses informatiques. Voilà une bonne façon de faire du recyclage !

EN RÉSUMÉ...

Fiez-vous à la puissance maximum en continu et non à la puissance en pointe pour estimer vos besoins. Prévoyez un peu plus large pour être tranquille. Assurez-vous que la puissance de votre ou vos batteries soit en conformité avec les caractéristiques techniques de l'onduleur. Et enfin, n'oubliez surtout pas de placer un fusible entre les batteries et le convertisseur. Si jamais vous n'êtes pas sûr de votre coup, n'hésitez pas à demander conseil à un professionnel avant d'effectuer votre achat.

15

LE RACCORDEMENT

Nous arrivons maintenant à l'extrémité de la chaîne. Votre installation produit un courant identique à celui du réseau et la question qui se pose à présent c'est : comment vais-je l'utiliser ? C'est une bonne question car il existe plusieurs cas de figure plus ou moins intéressants que nous allons examiner dans le détail.

CONTRAT AVEC UNE COMPAGNIE D'ÉLECTRICITÉ

Le principe c'est que votre compagnie d'électricité vous installe un compteur sur lequel vous envoyez votre courant autoproduit. Au moment de la facturation, elle effectue une balance entre ce que vous avez envoyé et consommé sur le réseau. Il s'agit ni plus ni moins que d'un système de rachat. Si vous êtes excédentaire, vous pourriez même toucher un chèque. Tout cela est bien beau... mais ne rêvez pas trop. Avant d'envoyer votre courant sur le réseau il faudra que votre installation réponde à un cahier des charges assez draconien qui est loin d'être à la portée de toutes les bourses. De plus, c'est une drôle d'idée que de vouloir revendre votre énergie propre alors que vous en aurez déjà à peine pour vous. Et pour ne rien arranger, il faut savoir que le tarif de rachat est bien souvent désavantageux par rapport à l'autoconsommation. Et ce n'est pas tout : en ce qui concerne la France, l'obligation de rachat par EDF est sur la sellette. En définitive, cette solution concerne beaucoup plus le gros éolien avec une obligation de rachat à un tarif très avantageux à partir d'une production supérieure à 20 mégawatts. Avec votre petit aérogénérateur, vous serez bien loin du compte. C'est dommage, mais c'est comme ça.

RÉSEAU PARALLÈLE

C'est à mon sens la meilleure solution. D'un côté, vous conservez le réseau électrique classique et, de l'autre, vous définissez ce que vous voulez alimenter avec votre production. Par exemple, ce qui est un cas de figure assez classique, vous faites passer votre éclairage à l'énergie propre, ainsi qu'une ou deux prises pour alimenter des appareils peu gourmands en termes de watts. Vous pouvez aussi inclure une prise de secours en cas de coupure secteur pour alimenter votre réfrigérateur et votre congélateur si jamais ils ne sont pas déjà alimentés par votre éolienne. En cas de production insuffisante pour une raison X ou Y, vous pourrez toujours vous dépanner par le secteur, soit en employant une dérivation de secours, soit en rechargeant vos batteries à l'aide d'un chargeur relié au réseau. Cette solution est simple et peu coûteuse à mettre en place. N'importe quel électricien pourra vous assister. Une installation aux normes avec un boîtier électrique équipé de fusibles de protection est plus que de mise, surtout en ce qui concerne votre sécurité et votre compagnie d'assurance.

RÉSEAU TEMPORAIRE

Le principe est simple. Vous installez un boîtier spécial sur le réseau, qui se charge de vérifier l'état de vos batteries. Quand elles sont pleines, c'est toute votre installation électrique qui est alimentée en courant propre. Quand elles ont atteint leur point de décharge critique, le boîtier se charge de couper automatiquement le courant provenant de votre éolienne pour basculer sur le secteur. Et ainsi de suite. Cette solution est bonne à condition d'avoir une production supérieure à deux ou trois kilowatts minimum. Sinon c'est presque ridicule car vos batteries se videront à toute vitesse. Avant de se lancer dans cette solution, il faut savoir aussi que ce type de boîtier n'est vraiment pas donné. Donc en attendant que cela évolue dans le bon sens, si vous

n'avez pas un gros budget, mieux vaut vous reporter sur la solution précédente.

RÉSEAU AUTONOME

Dans le cas d'un cabanon ou d'une maison isolée, il n'y a qu'une seule solution possible. Elle consiste à brancher vos appareils directement sur l'onduleur et à gérer au mieux le niveau des batteries afin de ne pas subir de coupure. Si jamais vous étiez pris au dépourvu, vous pouvez toujours tenter de recharger vos batteries à l'aide d'un véhicule ou d'un groupe électrogène de secours. Pour ce qui est des installations mobiles, telles que sur des bateaux ou des camping-cars, vous pouvez très bien vous passer de l'onduleur et alimenter votre réseau en 12 volts. Ils sont en règle générale prévus d'origine pour cet usage. Il existe tout un tas d'appareils adaptés à cet effet. Vous pourrez trouver facilement des réfrigérateurs, congélateurs, machines à laver, alimentations pour ordinateur... en version 12 volts. Et, dans ce cas aussi, vous pourrez toujours vous dépanner en cas de souci grâce à la production de l'alternateur du bateau ou du van.

EN CONCLUSION

Un réseau électrique ne s'improvise pas. Prévoyez une installation aux normes en n'hésitant pas à recourir à un professionnel le cas échéant. Vous pourrez la compléter par divers gadgets tels qu'un compteur digital qui vous indiquera précisément ce que fournit votre éolienne. Maintenant, c'est à vous de faire le choix de la solution qui vous convient le mieux en fonction de vos besoins et de votre budget. Un réseau bien pensé, c'est un gage de tranquillité. Comme tous les autres éléments qui composent la chaîne qui va de votre aérogénérateur à la prise de courant, il doit être adapté à l'usage que vous en faites et à ce que peut produire votre installation en sortie. Pour réaliser un ensemble cohérent, il faut dès le départ définir votre projet dans sa globalité et sa finalité.

PARTIE 6

OPTIMISER SON INSTALLATION

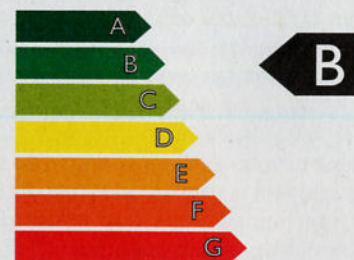
16 LA MAÎTRISE DE LA CONSOMMATION

Il faut bien le dire, une très grande majorité de personnes ne font pas du tout attention à leur consommation électrique. On pousse le bouton machinalement, on enfiche dans la prise sans se poser de question. On pense que les arguments des fabricants qui mettent en avant la puissance élevée en watts sont forcément bons. Et puis on reçoit sa facture en rouspétant et on se plaint que l'état de la planète se dégrade. Ce n'est pas vraiment une attitude qui responsabilise. Contrairement à cela, je peux vous affirmer que, quand vous disposez d'une source d'auto-production énergétique, vous vous souciez enfin des watts que vous consommez. C'est un vrai retour les deux pieds sur terre, car on a vite fait d'acquiescer de précieux réflexes, tels qu'éteindre systématiquement la lumière lorsque qu'il n'y a plus personne dans une pièce ou ne pas laisser ses appareils électriques en mode veille. Mais vous allez voir qu'il y a mieux. Nous allons à présent examiner toutes les solutions pour diviser votre consommation au minimum par deux sans changer quoi que ce soit à votre qualité de vie.

LES APPAREILS ÉCONOMIQUES

Commençons par l'élément le plus important et le plus connu qui concerne l'éclairage. Si vous utilisez des ampoules classiques, vous n'irez pas bien loin avec ce que peut fournir votre aérogénérateur. Une ampoule standard consomme en moyenne 80 watts, une ampoule économique qui éclaire de la même manière entre 15 et 20 watts et une ampoule à diodes électroluminescentes entre 2 et 5 watts. Si vous multipliez le tout par 10, vous pouvez vous rendre compte qu'il n'y a pas photo à l'arrivée. Pour ce qui est de l'électroménager, sa consommation est obligatoirement indiquée par une échelle allant de A à G associée à

un code couleur allant du vert au rouge. Vous payerez certes un peu plus cher un appareil qui consomme moins, mais il aura le mérite d'être adapté à votre installation.



Dans l'idéal, si vous poussez un peu plus loin vos recherches, vous tomberez vite sur des appareils spécialement conçus pour fonctionner avec les énergies renouvelables. Les vendeurs leur attribuent souvent le qualificatif « solaire ». Vous pourrez trouver en particulier des réfrigérateurs, des congélateurs et des machines à laver. Pour ce qui est du multimédia, les écrans LCD consomment beaucoup moins que les écrans cathodiques et les ordinateurs portables beaucoup moins que les ordinateurs de bureau. Du côté de la hi-fi, vous pouvez tout à fait envisager une installation basée sur un autoradio. Et ainsi de suite, ce ne sont pas les solutions qui manquent, ce sont les utilisateurs.

LA CHASSE AUX WATTS

Chaque watt économisé compte. Pour savoir comment réduire votre consommation, il faut bien faire le tour de votre maison et commencer par la mesurer précisément. À partir de là, à vous d'en tirer les conclusions qui s'imposent. Il faut repérer par vous-même vos mauvaises habitudes et éliminer toute consommation superflue. Après, c'est aussi à vous de faire des choix. Les questions à vous poser sont du style : est-ce que j'ai vraiment besoin d'un four à micro-ondes qui consomme 3 000 watts pour me rendre mes bons petits feuilletés tout « raplapla » ou juste pour réchauffer mon café ? Est-ce que le remplacement des convec-

teurs électriques par un chauffage au bois ne serait pas un choix judicieux ? Est-ce que j'ai vraiment besoin d'un téléviseur dans toutes les pièces ? Est-ce que j'ai vraiment besoin d'une chaîne stéréo, d'un lecteur DVD et d'un téléviseur alors qu'à lui seul un ordinateur peut parfaitement assurer toutes ces fonctions ?... Vous voyez, ce ne sont pas les exemples qui manquent. Si vous faites bien le tour et que vous vous posez les bonnes questions, vous pourrez déjà faire chuter votre consommation de façon vertigineuse, surtout si vous en êtes encore aux ampoules classiques qui restent souvent allumées pour rien. Pour vous donner un ordre d'idée, une lampe halogène consomme facilement ses 500 watts. Rendez-vous compte, c'est 25 fois plus qu'une ampoule économique de 20 watts équipée, elle aussi, d'un variateur ! Donc, autant parfois il y a juste à grappiller des watts par-ci, par-là, autant, dans la plupart des cas, il y a vraiment urgence à diminuer sa consommation électrique de manière draconienne.

CE QUE VOUS AVEZ À Y GAGNER

En réajustant votre consommation électrique, non seulement vous agrandirez le pourcentage d'apport en énergie renouvelable, mais en plus vous réaliserez de grosses économies sur vos factures. Avouez que c'est un peu ridicule d'installer une éolienne pour alimenter des appareils dont l'utilité reste à démontrer et qui videront vos batteries en moins de temps qu'il ne faut pour le dire. Si vous êtes capable de faire un effort, vous aurez l'agréable surprise d'approcher et même d'atteindre l'autonomie énergétique. Le calcul est simple. Dans l'absolu, vous avez vraiment besoin des appareils suivants :

- Lumière : 10 ampoules
- Un réfrigérateur
- Un congélateur
- Une machine à laver
- Appareils multimédias
- Besoins ponctuels

Si vous arrivez à optimiser au mieux la consommation de l'ensemble, vous serez vite surpris de vous rendre compte qu'avec une bonne petite éolienne et quelques panneaux solaires il est tout à fait possible de subvenir à l'intégralité de vos besoins. Mais une fois encore, cela passe par le geste citoyen qui consiste à se soucier de son impact environnemental. Tout au bout de la chaîne qui commence par votre aérogénérateur, il y a vous qui appuyez sur l'interrupteur et qui choisissez en toute liberté les appareils que vous achetez.

17 LES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Le principal ennemi de votre aérogénérateur, c'est le vent violent. Il n'y a certes pas une grosse tempête chaque semaine, mais le jour où il y en a une, mieux vaut avoir bien prévu cette éventualité. Sinon, vous n'aurez plus qu'à vous apitoyer sur ce qu'il restera de votre petit bijou. C'est pourquoi il faut impérativement prévoir un dispositif de sécurité.

LES FREINS MÉCANIQUES

Il existe plusieurs techniques pour freiner l'éolienne en cas de tempête. Les plus répandues en autoconstruction sont l'effacement latéral ou vertical. Elles reposent sur un changement de position en cas de vent élevé et un retour à la position initiale grâce à un ressort de rappel. Le but recherché est de plus ou moins dévier l'éolienne de sa position optimale où elle capte le mieux le vent. Dans le cas de l'effacement latéral, l'éolienne se déporte sur le côté de sa position face au vent afin de tourner moins vite. Dans celui de l'effacement vertical, elle peut se soulever littéralement jusqu'à la verticale pour réduire sa vitesse. Ces deux techniques concernent exclusivement les modèles à axe horizontal. Il existe une autre technique qui est très employée pour les modèles à axe vertical ; cela consiste à jouer sur l'angle d'inclinaison des pales, toujours avec des ressorts de rappel pour revenir à la position optimale quand les choses se sont calmées.

Pour des modèles plus élaborés, souvent d'origine industrielle, on peut trouver des dispositifs de freinage à mâchoires ou à disque reposant sur la force centrifuge ou actionnés grâce à un anémomètre.

Globalement, tous ces dispositifs sont bons et ont fait leurs preuves. Mais ce n'est parfois pas suffisant, surtout en ce qui concerne les éoliennes à axe horizontal. Il est plus que souhaitable qu'elles soient équipées d'un système d'arrêt d'urgence. C'est à la fois utile en cas de grosse tempête et pour effectuer une opération de maintenance. Si jamais vous avez besoin d'intervenir rapidement sur votre aérogénérateur et que son hélice tourne vite, n'allez surtout pas y mettre les mains. C'est pourquoi un système de blocage à distance est vraiment très appréciable.

Dans le pire des cas, si jamais la météo vous annonce un très gros coup de vent, plutôt que de croiser les doigts, mettez votre éolienne à l'abri ou protégez-la comme il faut. C'est encore le plus sûr moyen d'éviter la casse. Pour vous aider à apprécier le danger, voici l'échelle de Beaufort commentée :

Force	Description	Vitesse en km/h	Attitude
0	Calme	Moins de 1	Rien à signaler
1	Très légère brise	De 1 à 5	Rien à signaler
2	Légère brise	De 6 à 11	Rien à signaler
3	Petite brise	De 12 à 19	Rien à signaler
4	Jolie brise	De 20 à 28	Rien à signaler
5	Bonne brise	De 29 à 38	Rien à signaler
6	Vent frais	De 39 à 49	Rien à signaler
7	Grand frais	De 50 à 61	Rien à signaler
8	Coup de vent	De 62 à 74	Laisser faire le frein
9	Fort coup de vent	De 75 à 88	Attention
10	Tempête	De 89 à 102	Stopper l'éolienne
11	Violente tempête	De 103 à 117	Mettre à l'abri
12	Ouragan	Supérieur à 118	Mettre à l'abri

Vous pouvez remarquer que les cas où il vaut mieux mettre l'éolienne à l'abri sont extrêmement rares. Mais c'est toujours utile de savoir comment agir en cas de coup dur.

LES RISQUES ENCOURUS

Si votre aérogénérateur ne dispose d'aucun dispositif de protection en cas de tempête, le principal risque, c'est le crash. D'une hauteur de 12 mètres, il n'en restera pas grand-chose. En outre, il y a le risque plus courant que des éléments subissent des dommages. Il n'est pas rare qu'une pale puisse casser, c'est pourquoi en autoconstruction mieux vaut prévoir tout de suite un jeu de pales de remplacement. Pour les modèles du commerce, elles sont la plupart du temps vendues séparément à l'unité. L'autre partie sensible, c'est le générateur, qui risque tout bonnement de griller s'il tourne à des vitesses trop importantes, c'est pourquoi il vaut mieux stopper l'éolienne en cas de grosse tempête.

LA MÉTÉO

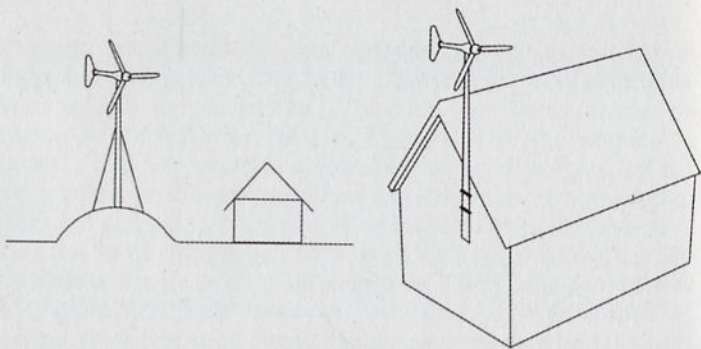
Disposer d'une éolienne, cela suppose que l'on s'intéresse un minimum à la météo. Une petite station avec un anémomètre vous sera de la plus grande utilité pour vous alerter en cas de risque de très fort coup de vent. Si une très grosse tempête se profile à l'horizon, en règle générale, vous serez alerté avant par les médias. En dehors des vents violents, votre aérogénérateur ne craint pas grand-chose car il est initialement prévu pour faire face aux aléas climatiques. Qu'il neige, qu'il pleuve ou qu'il grêle, ce n'est normalement pas un problème. Il faut juste commencer à s'inquiéter quand la vitesse du vent dépasse les 80 kilomètres par heure. À part ça, à moins d'un tsunami ou d'un tremblement de terre, il n'y a pas trop de quoi s'en faire.

EN SYNTHÈSE

Pour les modèles du commerce, la marge de sécurité est en règle générale très grande. A priori, si vous ne tombez pas sur la tempête du siècle, votre aérogénérateur devrait tenir le coup.

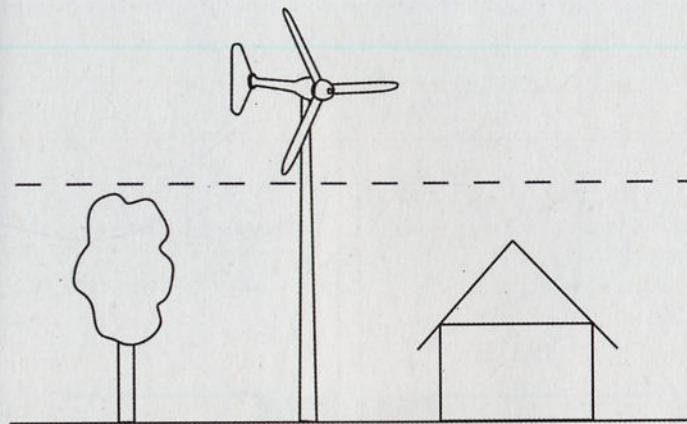
En ce qui concerne les modèles autoconstruits, il vaut mieux se montrer plus prudent quant à leur résistance en cas de tempête et vous référer au tableau de l'échelle de Beaufort. Dans les deux cas, les dispositifs de sécurité sont un facteur à prendre en compte lors de l'achat ou de la conception. À savoir aussi que les éoliennes à axe vertical sont moins fragiles que celles à axe horizontal. Elles supportent beaucoup mieux les tempêtes et, la plupart du temps, un bon mécanisme de régulation est amplement suffisant. Mais dans tous les cas, si un ouragan est annoncé, quel que soit le modèle, mieux vaut prendre ses dispositions avant qu'il ne s'abatte. L'avantage des petits aérogénérateurs par rapport aux mastodontes des compagnies d'électricité, c'est que l'on peut les mettre à l'abri.

Votre éolienne est prête et il ne vous reste plus qu'à l'installer. Fort bien. Mais tant qu'à faire, autant rechercher le meilleur endroit possible pour qu'elle puisse faire au mieux son office. L'objectif est de trouver un compromis pour la placer le plus haut possible sans toutefois exagérer la hauteur du mât. Plus elle sera haute, meilleures seront les performances. Mais en contrepartie, les contraintes mécaniques sur le support augmenteront. Et vice versa. De préférence, l'aérogénérateur devra être dégagé des obstacles éventuels de tous les côtés pour pouvoir saisir le vent dans toutes les directions. Pour ce faire, on peut déjà essayer d'utiliser le relief s'il y en a.



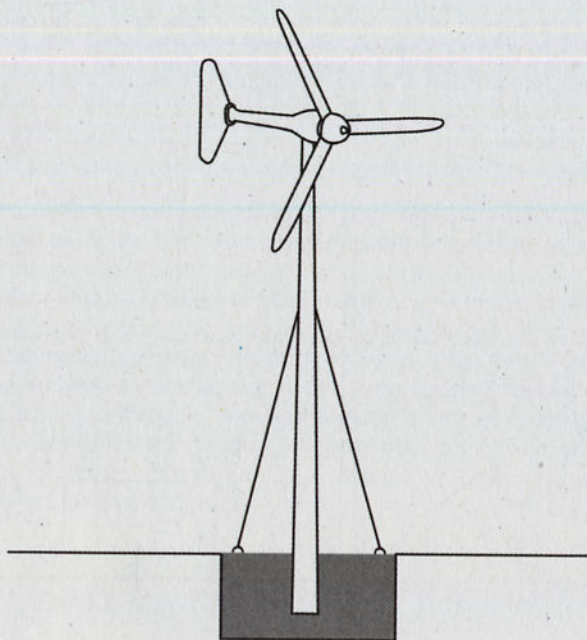
On peut aussi fixer l'éolienne sur le toit de sa maison. Cela vous permet déjà de gagner de la hauteur en toute simplicité et d'avoir une bonne assise pour fixer le mât. Pour la fixation, il suffit de s'inspirer de ce qui se fait avec les antennes pour satellite et d'employer les mêmes fournitures, mât et cerclage ou mât et attaches murales.

Très logiquement, votre éolienne devra être placée à l'endroit le plus venteux de votre terrain. Il peut se repérer aussi bien au feeling qu'à l'aide d'un anémomètre. L'idéal serait que votre aérogénérateur soit situé au minimum à 2 mètres au-dessus des obstacles.



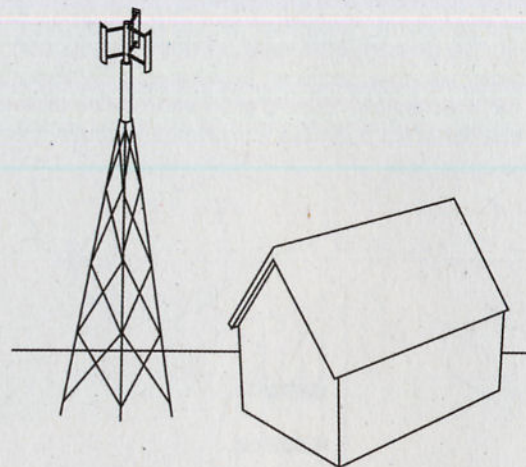
FIXATION SUR UN MÂT

Cette solution est plutôt l'apanage des éoliennes à axe horizontal. Dans le cas où l'aérogénérateur est fixé sur un mât ancré dans le sol, il faudra prévoir une bonne fondation en béton armé. Le mât devra être soit en aluminium soit de tout autre conception métallique ne craignant pas la rouille. Il ne faut surtout pas lésiner sur la solidité. Plus le tube sera long, plus il sera soumis à des forces intenses. Il vaut mieux prévoir le pire et se préparer à ce qu'il puisse résister à une très grosse tempête. Ensuite, il va falloir prévoir des fixations pour placer des haubans. Les haubans sont des câbles métalliques que l'on retrouve sur les bateaux pour renforcer le mât. On va utiliser exactement le même principe. Voici ce que cela donne en image :



FIXATION SUR UN PYLÔNE

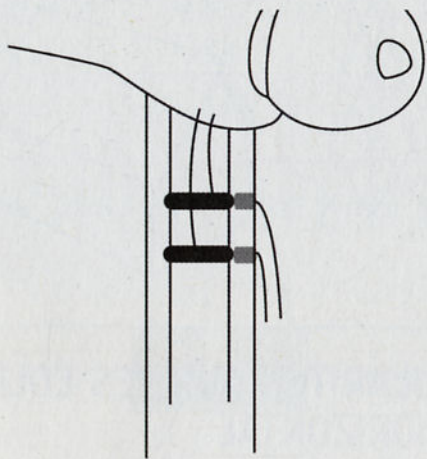
Cette méthode convient aussi bien aux éoliennes à axe horizontal que vertical. Le pylône devra avoir une bonne assise au sol et être solidement maintenu. Il est tout à fait envisageable de le confectionner avec de la cornière aluminium de bonne épaisseur. C'est une très bonne solution pour les éoliennes à axe vertical qui peuvent se contenter d'être à 3 ou 4 mètres du sol. Au-delà de cette hauteur, bien que cette technique soit très fiable, cela devient vite inesthétique. Mais avec un peu de fibre artistique, il est toujours possible de faire des merveilles.



PARTICULARITÉ POUR LES ÉOLIENNES À AXE HORIZONTAL

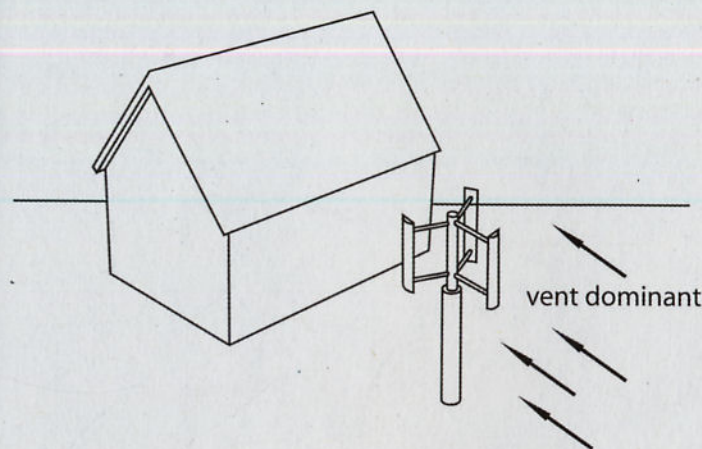
Si vous avez opté pour un modèle du commerce, vous n'aurez aucun souci particulier pour l'installer sur son support. En revanche, si vous l'avez conçu de vos mains agiles, il y a de fortes probabilités pour que vous soyez confronté à un sérieux problème... En effet, il va falloir que votre aérogénérateur fasse la girouette. Il doit pouvoir tourner à 360 degrés pour capter le vent dans toutes les directions. Qu'à cela ne tienne vous direz-vous, un ou deux roulements à billes et l'affaire est dans le sac. Une fourche de vélo ou tout autre élément du même acabit feront entièrement l'affaire. Effectivement, c'est la moitié de la solution. Mais il reste un gros problème. Votre aérogénérateur produit du courant, il y a donc deux fils qui en sortent pour rejoindre le reste de l'installation, situé en contrebas. Or, étant donné qu'il tourne sur lui-même, il n'y en pas pour longtemps pour qu'il soit bloqué

par l'emmêlement de ces fils ou que ces derniers soit littéralement arrachés. Pour y remédier, il faut intégrer un dispositif de transmission du courant en créant un point de jonction mobile entre la partie fixe et la partie en mouvement. En s'inspirant de ce qui se fait avec les charbons d'alternateur ou de moteur électrique, la solution n'est pas dure à trouver. La preuve en image :



CAS PARTICULIER

Peut-être y aura-t-il un obstacle sur votre terrain que vous ne pourrez éviter. Par exemple un mur ou un arbre. Ne vous découragez pas pour autant. Repérez d'où vient le vent dominant et installez votre aérogénérateur face à sa direction.



À RETENIR ABSOLUMENT !

> Si l'éolienne est fixée sur un mât ou un pylône, il faudra que le terrain soit dégagé de toute chose fragile dans un rayon au moins égal à la hauteur. Par déduction, l'éolienne devra aussi être positionnée de façon à ne pas tomber sur l'habitation en cas de chute et encore moins sur quelqu'un. Évitez de placer votre aérogénérateur trop près de chez vos voisins ou de la voirie, surtout s'il est bruyant. Ne sous-estimez surtout pas les contraintes mécaniques auxquelles sera soumis le mât ou le pylône. Mieux vaut au contraire les exagérer. Employez des matériaux robustes et inoxydables.

> Si vous n'êtes pas sûr de leur choix, investissez dans un kit de fixation éolien : mât + hauban. Et si vous ne vous sentez pas en mesure de réaliser cette tâche, faites appel à un spécialiste. Il vous en coûtera quelques heures de main-d'œuvre, mais c'est toujours mieux que de récupérer votre éolienne en miettes après un crash au sol au bout de quelque temps.

PARTIE 7

ANNEXES

A1 LES AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Si vous avez construit votre éolienne vous-même, vous pouvez faire imprimer par vos soins un beau diplôme de l'éco-citoyen modèle, c'est à peu près tout ce qu'il existe comme aide vous concernant. Mais après tout, si vous vous êtes bien débrouillé, cela m'étonnerait fort que vous vous soyez endetté pour votre aérogénérateur. En autoconstruction totale, on excède rarement les 1 500 € pour une installation complète. Votre subvention, c'est vous qui vous l'attribuez en économisant sur votre facture d'électricité durant des années. Comme quoi, on n'est jamais aussi bien servi que par soi-même. Concernant les modèles du commerce, n'hésitez pas non plus à imprimer un beau diplôme d'éco-citoyen. Mais en bonus, si vous êtes un heureux veinard qui paye des impôts, vous aurez le droit de demander une déduction pour l'achat d'un modèle d'une production inférieure à 3 kilowatts. Et si vous ne payez pas ou peu d'impôts, suivant cette disposition fiscale, l'excédent vous est remboursé. En clair, cela signifie que si vous devez 1 000 € au fisc et que votre crédit d'impôts suite à l'achat de l'aérogénérateur s'élève à 600 €, vous ne payerez au total que 400 € d'impôts. Autre exemple, si vous devez 100 € au fisc et que votre crédit d'impôt est de 600 €, l'État vous remboursera 500 €. Il n'y a pas à s'en plaindre, mais il y a toutefois deux choses à savoir :

1. Le crédit d'impôt n'est accordé que s'il s'agit de votre résidence principale.
2. Son montant se calcule hors pose.

Pour les modèles d'une production supérieure à 3 kilowatts, des dispositions particulières existent. Renseignez-vous auprès de l'ADEME pour obtenir tous les renseignements relatifs à votre situation.

Dans le cas où vous êtes sur un site non relié au réseau, en zone rurale, vous pouvez toucher jusqu'à 95 % de subventions par plusieurs organismes et jusqu'à 70 % en zone urbaine. Les conditions sont qu'il doit s'agir soit de votre résidence principale ou secondaire, soit d'un local professionnel ou à vocation touristique et que le coût de l'électrification globale par des énergies renouvelables soit inférieur à celui d'un raccordement de votre installation sur le réseau. Si vous passez par ce biais, sachez que votre installation est automatiquement concédée à votre fournisseur d'électricité et que vous devrez vous acquitter d'une redevance mensuelle proportionnelle à la puissance de votre générateur.

Sous certaines conditions, il est possible de bénéficier d'un taux de TVA réduit à 5,5 %, ce qui est toujours appréciable. Cette mesure devrait s'élargir dans les années à venir.

POUR VOUS AIDER DANS VOS DÉMARCHES

L'ADEME est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie et du Développement durable, de l'Industrie et de la Recherche. Sa mission est de susciter, animer, coordonner, faciliter ou réaliser des opérations ayant pour objet la protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie. Ses domaines d'intervention sont l'énergie, l'air, le bruit, les déchets, les sites et sols pollués et le management environnemental. Des antennes régionales sont disséminées sur tout le territoire et les DOM TOM.

EN RÉSUMÉ

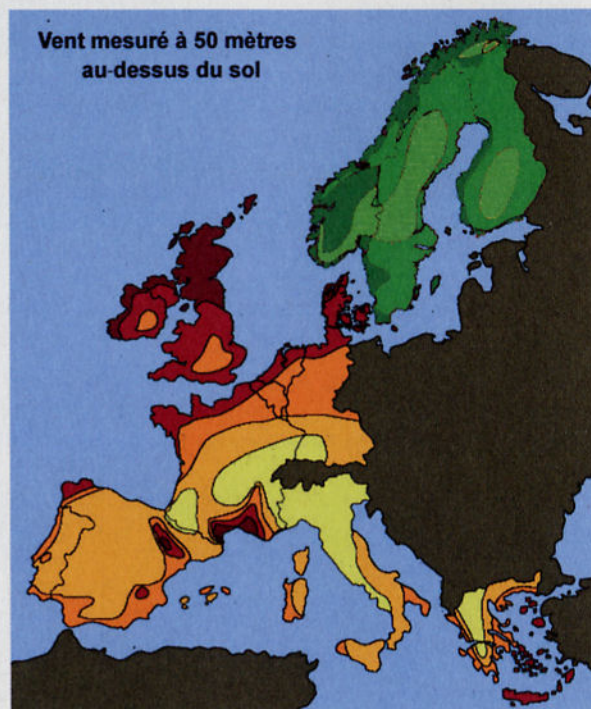
L'ADEME est donc l'organisme qui coordonne toutes les initiatives écologiques. Cette agence pourra vous dire si vous avez droit à des subventions ou non, vous guider pour vos démarches et vous indiquer les spécialistes à qui vous adresser pour votre

installation. Elle sert aussi de lien entre diverses associations et les particuliers. Alors, plutôt que de perdre votre temps avec des « on dit » et des « il paraît que », le plus simple, si vous vous lancez dans l'achat d'un aérogénérateur, c'est de demander conseil à l'agence la plus proche de chez vous ; ils se feront un plaisir de répondre à toutes vos questions.

A2

LA CARTE DES VENTS

À titre indicatif, vous trouverez ci-dessous la carte des vents en France et plus largement en Europe. Elle vous indique les régions les plus exposées au vent. Mais ne vous en faites pas, ce n'est pas parce que vous êtes en zone orange clair ou jaune que votre aérogénérateur ne tournera pas. C'est juste utile pour savoir si votre région est sujette aux vents très violents tels que le mistral.



43 LES BONNES ADRESSES

Vous trouverez davantage d'informations sur les sites suivants :

- Le site de l'auteur qui vous informe sur les alternatives écologiques : www.realiste.info
- Le site de l'ADEME pour vous renseigner sur les aides : www.ademe.fr
- Un site d'informations sur les éoliennes www.planete-eolienne.fr
- Le site d'une association d'autoconstructeurs : <http://users.swing.be/compagnons-eole/>
- Un lien pour télécharger le logiciel de profil de pales : <ftp://ftp2.realiste.org/realiste/eole/pales.zip>

Épilogue

Vous disposez à présent de toutes les informations nécessaires pour faire vos premiers pas en direction de l'éolien. Maintenant, il ne vous reste plus qu'à approfondir par la pratique si vous désirez autoconstruire, ou à franchir le pas si vous désirez acheter. Dans les deux cas, maintenant que vous avez le pied à l'étrier, vous devriez être satisfait sur tous les points.

N'hésitez surtout pas à vous faire conseiller auprès de l'ADEME avant d'acheter et à vous rapprocher d'associations si vous voulez autoconstruire. En cherchant un petit peu parmi les liens que je vous ai indiqués, vous vous rendrez vite compte qu'il existe un peu partout des professionnels de talent et des bricoleurs de génie. Se faire aider sur un projet aussi complexe est presque une nécessité, il n'y a pas à en rougir, bien au contraire. Une fois que vous maîtriserez bien un ou plusieurs facteurs du montage éolien, vous serez à votre tour en mesure de rendre service autour de vous. Ne perdez pas de vue pour autant qu'un aérogénérateur n'est jamais qu'une possibilité parmi tant d'autres de produire de l'électricité proprement. Il existe encore bien des alternatives toutes aussi efficaces pour vous rendre service dans ce domaine.

Vous souhaiter bon vent dans le cadre de cet ouvrage serait un pléonasme, donc il ne me reste plus qu'à vous souhaiter de longues années de plaisir avec votre aérogénérateur.

Dépôt légal : mars 2010
N° d'éditeur : 8174
IMPRIMÉ EN FRANCE

Achevé d'imprimer le 15 mars 2010
sur les presses de l'imprimerie « La Source d'Or »
63039 Clermont-Ferrand
Imprimeur n° 12554



*Dans le cadre de sa politique de développement durable,
La Source d'Or a été référencée IMPRIM'VERT[®]
par son organisme consulaire de tutelle.
Cet ouvrage est imprimé - pour l'intérieur -
sur papier recyclé « Cyclus Offset » 100 g
des Papeteries de France, fabriqué avec une pâte sans chlore
répondant à la certification TCF et à l'écolabel « Ange Bleu ».
L'usine opère selon les certifications environnementales
ISO 9001, 14001 et EMAS.*



Les éoliennes gagnent peu à peu notre habitat, pour permettre au consommateur d'économiser davantage son énergie.

Mais comment les choisir ? Pour quels besoins ? Est-il possible de les faire soi-même ? Comment les raccorder au réseau ? Que dit la loi à ce sujet ? Quelles sont les aides ?

Vous trouverez dans cet ouvrage des réponses concrètes aux questions les plus courantes ainsi que des conseils pour bien choisir votre mini-éolienne, des pas à pas pour la réaliser vous-même et des solutions pour la raccorder au réseau et optimiser votre rendement.

L'auteur, Emmanuel Riolet, est expert consultant en énergies renouvelables.

“ Un guide pratique et sur mesure
pour économiser votre énergie ! ”

Cet ouvrage est imprimé, pour l'intérieur, sur papier recyclé Cyclus, ce livre est ainsi plus respectueux de l'environnement.

