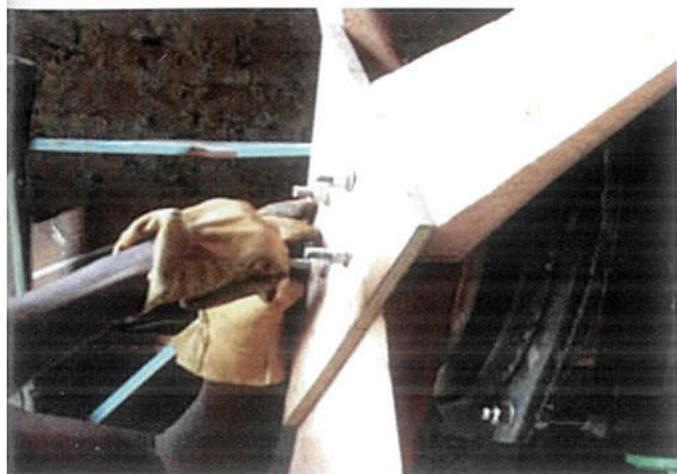


AUTO CONSTRUIRE SON EOLIENNE



HUGH PIGGOTT

Septembre 2010



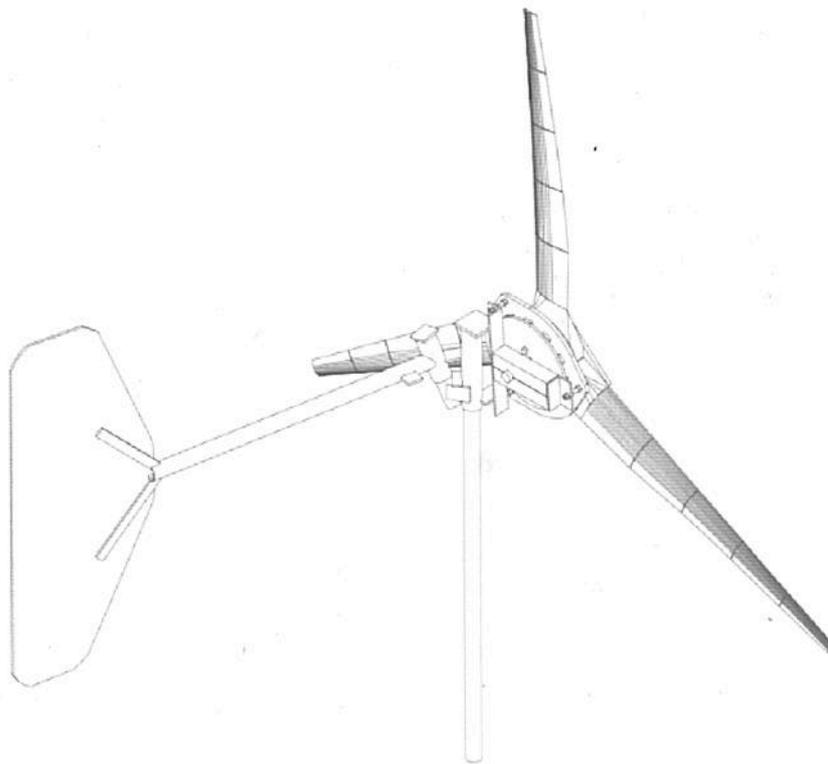
AUTO-CONSTRUIRE SON EOLIENNE

PLAN DE CONSTRUCTION D'UNE EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

© HUGH PIGGOTT

REMERCIEMENTS A ALAN BUSH, DAN BARTMAN, LES VINCENT ET
TOUTES LES PERSONNES QUI M'ONT INSPIREES

TRADUCTION REALISEE PAR L'ASSOCIATION TRIPALIUM.



SEPTEMBRE 2010

Avant propos

Cette traduction est basée sur le document de Hugh Piggott paru en août 2008 sous le titre « How To Build a Wind Turbine Recipe book ». Ce n'est pas une traduction littérale, nous avons apporté quelques modifications au texte original pour plus de compréhension.

C'est une version qui ne demande qu'à être améliorée. Toutes vos remarques et/ou modification sont les bienvenues à l'adresse contact@tripalium.org. Si vous réalisez une éolienne, envoyez nous une photo. On sera content de voir la propagation de ce savoir.

Cette traduction a été réalisée par Gaël et Guillaume. Merci à Thomas et Thomas, pour leur relecture, Jay, Hugues pour leur aide.



SOMMAIRE

Avant propos	2
Préliminaires	3
Travailler en sécurité.....	3
Quelle taille.....	3
Schéma de principe	3
Que peut faire l'éolienne	3
Contrôleur de charge.....	4
Choisir la tension des batteries	4
Types de batteries.....	5
Les fausses bonnes idées	5
Problèmes rencontrés avec les éoliennes auto- construites.	8
Outils	9
Utilisation des outils	10
Fabrication des pales	14
Différentes parties des pales	14
Choisir le bois	14
Le gabarit.....	15
La ligne du bord de fuite	15
Epaisseur de la pale.....	17
Profil aile d'avion.....	18
Assemblage des pales	18
Equilibrage	20
Finition	21
Mécanique	22
Le pivot de rotation	22
L'alternateur	22
La queue du safran	27
L'articulation du safran	28
Electricité	32
La production d'électricité	32
Les bobines	34
Les moules	37
Le gabarit de positionnement des aimants... ..	40
La résine	41
Montage et test de l'alternateur.	44
Installation	47
Câblage des batteries.....	47
Mât.....	49
Conception de l'alternateur	53
Correspondance pales/alternateur	53
Puissance de l'hélice	53
Tension de sortie/vitesse de rotation.....	54
Section de câbles et pertes de puissance.....	55
Estimation de la vitesse de rotation.....	57
Eléments de conception d'un alternateur	58
Glossaire	60
Annexes	63
Annexes 1 : liens internet	63
Annexes 2 : Coût détaillé d'un système complet	63
Annexes 3 : Liste et quantité de matériels nécessaire à la construction d'une éolienne..	64

Préliminaires

Travailler en sécurité

Il y a plusieurs risques de blessures lors de la fabrication d'une éolienne. Vous suivez ce manuel « à vos risques et péril » ! Inutile de remplir ce manuel avec les consignes de sécurité d'usage qui rendent certains guides illisibles. On pointera les principaux risques

D'après mon expérience, la plupart des gens se blessent en manipulant les aimants. Une personne a même perdu un doigt. Traiter les aimants avec attention et ne jamais laissez trainer les aimants ou le rotor aimanté.

Portez des équipements de protection quand la sécurité est en jeu – par exemple portez toujours des lunettes de sécurité pour ébarber le métal. Tout travail en atelier présente des risques potentiels surtout s'il est réalisé sans attention ou avec ignorance. Apprenez à utiliser les outils.

Les batteries sont particulièrement dangereuses. Elles peuvent dégager beaucoup d'énergie en cas de court circuit et provoquer des brûlures ou le départ d'un feu. Elles contiennent de l'hydrogène qui peut exploser en cas d'étincelles. Attention aux projections d'acide et à votre dos lors de la manutention.

Le montage du mât peut s'avérer particulièrement dangereux, plusieurs personnes ont fait tomber leur éolienne dans la manœuvre. Eloignez tout le monde de la zone de montage. Ne pas ériger le mât dans un lieu public avec un attroupement sous le mât.

Les éoliennes connectées sur batteries ne posent généralement pas de problème d'électrocution mais garder à l'esprit qu'une fois déconnectées des batteries elles tournent vite. La tension devient alors beaucoup plus importante que la tension nominale (surtout avec un système en 48 Volt). Gardez tous les boîtiers électriques fermés.

Pour une éolienne raccordée au réseau, soyez tout le temps vigilants même pendant les essais à la main, les tensions pouvant atteindre 400 Volt.

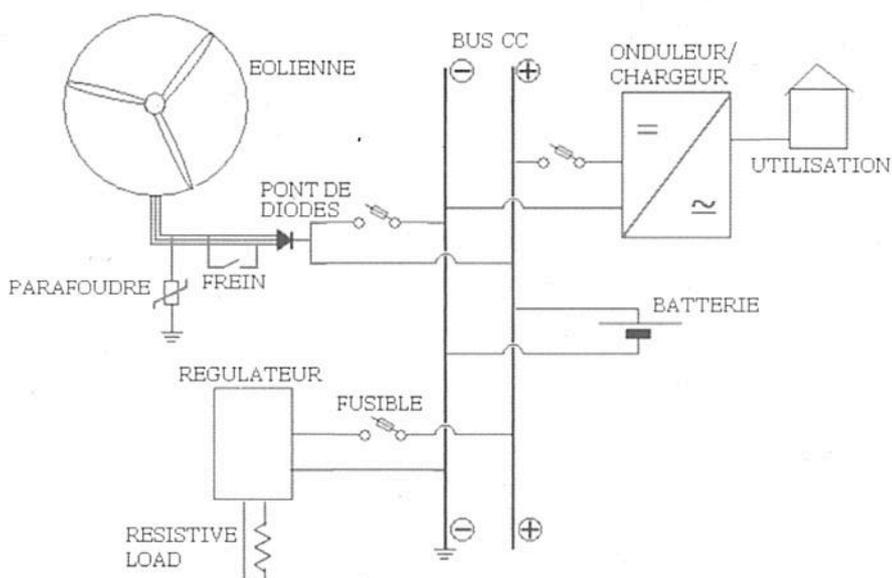
Quelle taille

La quantité d'énergie produite par l'éolienne dépend principalement de deux choses : le diamètre de l'hélice et l'exposition aux vents. La puissance nominale de l'alternateur (en watt) a finalement peu d'influence car elle n'est atteinte que par vent fort.

Les prix indiqués sont une estimation qui peut diminuer significativement en fonction du niveau de récupération. On peut économiser sur le bois, le métal.

Le prix est moins significatif que le temps passé pour mener à terme la construction. Il faut compter en semaines plutôt qu'en jours. Je recommande de commencer par la fabrication d'une petite machine, pour se perfectionner avant d'avoir épuisé son enthousiasme. Il est difficile de décrire la satisfaction obtenue quand la machine produit ses premiers kilowatts-heure...

Schéma de principe



Le courant alternatif triphasé produit par l'éolienne est converti en courant continu par un pont de diodes. Dans la plupart des cas le courant continu est transformé en courant alternatif monophasé par l'onduleur.

Que peut faire l'éolienne

Les petites éoliennes sont un bon moyen de produire de l'électricité dans les endroits ventés. L'énergie du vent est fortement liée à la vitesse du vent. Une bonne idée serait de monter l'éolienne aussi haut que possible; au dessus des arbres et des bâtiments alentour (2 fois la hauteur). Si l'endroit n'est pas plus venté que la moyenne, se lancer dans la fabrication d'une éolienne est peut être un effort inutile à part si le propriétaire en désire vraiment une. Il n'y a aucune raison de

Production mensuelle estimée pour différents vents moyens						
Diamètre éolienne	1200	1800	2400	3000	3600	4200
Puissance	200 W	350 W	700 W	1000 W	1500 W	2000 W
Moyen 3 m/s	5 kWh	12 kWh	22 kWh	34 kWh	49 kWh	67 kWh
Moyen 4 m/s	14 kWh	30 kWh	54 kWh	85 kWh	122 kWh	166 kWh
Moyen 5 m/s	23 kWh	53 kWh	93 kWh	146 kWh	210 kWh	286 kWh
Moyen 6 m/s	33 kWh	74 kWh	131 kWh	205 kWh	296 kWh	402 kWh
Moyen 7 m/s	41 kWh	92 kWh	164 kWh	256 kWh	369 kWh	502 kWh
Coût matériel €	350 €	550 €	800 €	1000 €	1350 €	1500 €

conduire en ville avec un gros 4*4 mais des gens le font. S'ils ont besoin de construire ou d'acheter une petite éolienne c'est bien (même mieux). Par contre ils ont besoin de comprendre qu'ils ne feront pas d'économie (à part les sites ventés). Cela sera moins dommageable pour la planète qu'un 4*4 mais cela ne «sauvera pas la planète».

Les éoliennes dans ce manuel sont spécialement conçues pour fonctionner avec des batteries. Elles peuvent produire de l'électricité là où il n'y en a pas.

Une bonne façon de faire est de rajouter des panneaux solaires qui chargeront les batteries pendant les périodes non ventées. C'est facile de convertir le courant continu en courant alternatif utilisable pour une habitation. Par contre les batteries et le matériel nécessaire à cette conversion coûtent cher.

Si vous êtes connectés au réseau, il y a peu d'intérêt à stocker l'électricité dans des batteries. Le système est plus efficace s'il est connecté au réseau à l'aide d'un onduleur réseau. Cette configuration est plus économique que le raccordement à des batteries mais l'électricité « vaudra moins » dans le sens où vous êtes en concurrence avec de l'électricité réseau produite à bas coût.

Certains préfèrent utiliser le vent pour le chauffage uniquement. C'est la solution la plus économique car vous évitez tous les systèmes électriques coûteux (batteries, onduleurs...) mais au final le coût de l'énergie calorifique est bien inférieur à l'électricité.

Contrôleur de charge

Ce n'est pas une très bonne idée de connecter directement une éolienne sur un système chauffant parce que la machine va avoir du mal à démarrer. Le système de chauffage a besoin d'être allumé quand la tension est suffisante. Le contrôleur de charge remplira ce rôle.

L'éolienne est un peu comme un moteur dont vous ne pouvez pas contrôler l'accélérateur. En cas d'absence de vent, elle ne tourne pas mais en cas de vent fort, il faut lui donner quelque chose à faire sinon elle risque de s'emballer. Si les câbles électriques sont déconnectés la tension peut augmenter jusqu'à endommager les lumières et les équipements électriques.

Dans tous les cas (réseau, batterie, chauffage) il est bon d'avoir un régulateur de charge qui envoie l'électricité dans une résistance. Son rôle est d'évacuer le trop plein d'électricité dans une résistance lorsque la tension est trop élevée. Ces régulateurs sont disponibles pour le raccordement batterie et de plus en plus répandus pour le raccordement réseau. Gardez en mémoire que le régulateur est conçu pour fonctionner

sur batteries. Dans certains cas vous pouvez utiliser un condensateur à la place des batteries pour stabiliser la tension si la fréquence de pulsation est assez importante.

Si vous êtes « calés » en électronique, vous pouvez fabriquer votre propre régulateur. Certains fonctionnent en allumant et en éteignant des petites charges pendant un long laps de temps, d'autres commutent rapidement sur une charge unique. Voir les plans de régulateur.

L'énergie qui est déchargée dans la résistance peut être utilisée pour chauffer de l'eau mais quand l'eau aura atteint la température maximum, elle devra être redirigée vers une autre source. On peut imaginer des systèmes complexes pour profiter au mieux de l'énergie du vent.

Les régulateurs utilisés pour les panneaux solaires photovoltaïques ne conviennent pas pour une éolienne à moins qu'ils aient une fonction de contrôleur de charge. La plupart des régulateurs solaires déconnectent les panneaux solaires. Ceci est une très mauvaise idée lorsqu'il s'agit d'une éolienne (risque d'emballement). Le « Xantrex C-40 » et le « Morningstar TS45 » conviennent pour une éolienne, le Morningstar ayant un temps de réaction plus rapide aux coups de vent.

Choisir la tension des batteries

Les batteries en 12 volts conviennent uniquement pour les petits systèmes car cela nécessite des diamètres de câble important donc chers et difficiles à manipuler. A part si vous avez une bonne raison de vouloir du 12 V, il serait mieux de choisir du 24V ou encore mieux du 48V. Pour obtenir du 48 V il vous faut 4 batteries 12V. Toutes les tensions peuvent être converties en 220 V avec un onduleur.

Pour le 12V et le 24V on peut trouver des onduleurs à des prix raisonnables. Si vos moyens sont limités 24 V est un bon choix.

En cas de connexion réseau, je vous recommande le « Windy Boy 1700 » fabriqué par SMA. Cet onduleur travaille avec une tension d'entrée continue pouvant varier de 165 à 400 Volts.

Dans la section bobinage, vous trouverez un tableau récapitulatif des options en fonction du voltage.

En cas d'utilisation de votre éolienne pour faire du chauffage, le voltage va dépendre de votre chauffage et va être limité par votre contrôleur. Une tension plus importante entraînera moins de pertes (qui sont sous forme de chaleur) dans les câbles.



Types de batteries

Il existe plusieurs types de batteries, même dans la famille des batteries « acide-plomb ». Les batteries de voiture ne conviennent pas pour stocker de grandes quantités d'énergie mais pour produire une forte intensité pendant un court instant pour démarrer le moteur. Il vous faut des batteries à décharge lente. Dans ce cas les durées de vie sont de l'ordre de 5 ans mais dépendent beaucoup de la façon de les utiliser. Elles peuvent durer de 2 à 10 ans.

Les batteries de chariot élévateur fonctionnent bien pour des cycles de charge/décharge long mais elles ne tiennent pas la charge sur des périodes de plusieurs semaines. Elles fonctionnent généralement mieux pour une charge décharge quotidienne.

Les batteries de « semi-traction » utilisée dans les bateaux... existent souvent en 12 V. Elles ressemblent à des grosses batteries de voiture (60 kg). Largement répandues, peu chères et tenant bien la charge, elles sont un bon choix.

Les batteries scellées types gel et AGM sont utilisées en raison de leur faible maintenance, pour les sites isolés ou les émanations d'acide sont un problème. Elles coûtent deux fois plus cher que des batteries à l'acide et sont facilement endommagées par des défauts de tensions de charge.

Les batteries d'occasion sont un bon compromis pour réduire la facture et l'impact environnemental de votre système d'énergie renouvelable. Dans la plupart des cas les batteries d'occasion ne valent pas les problèmes qu'elles vont vous causer (à part si on vous les donne). Les meilleures batteries d'occasions sont les vieilles batteries utilisées pour les postes de télécommunication construites avec une seule cellule dans des boîtes transparentes. Elles peuvent tenir jusqu'à 30 ans.

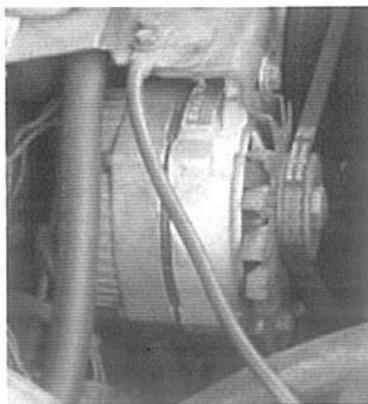
Les fausses bonnes idées

Alternateur de voiture

Les alternateurs de voiture semblent être la solution parfaite pour une éolienne auto-construite : sa fonction est de charger des batteries, c'est facile à trouver et pas cher.

Malheureusement **c'est un mauvais choix pour un générateur**

d'éolienne. Le rendement en condition normale est de 60%. En pratique plus de la moitié de l'énergie entrante est perdue. Les roulements sont trop petits pour supporter des pales de plus de 1.5 m de diamètre.



De plus l'utilisation d'un alternateur pose 3 problèmes :

1. Il est conçu pour être léger, robuste, et supporter des vitesses de rotation élevée (1500 tr/min). Pour des faibles vitesses (< 1000tr/min) la tension de sortie n'est pas utilisable. Si vous montez des pales d'éolienne sur le roulement, les pales vont faire tourner l'ensemble relativement lentement. Le problème de vitesse peut être résolu mais pas de façon satisfaisante :

- **On peut utiliser des pales plus courtes.** Le bout des pales a moins de chemin à parcourir donc elles peuvent tourner avec une vitesse plus élevée. Cette solution peut produire de l'énergie lorsque le vent est assez fort pour pousser les électrons dans les bobines. Mais la plupart du temps, le vent n'est pas assez fort et la génératrice ne produit rien. Les petites pales ne capturent pas assez d'énergie pour des vents faibles.
- **Utiliser une boîte de vitesse** pour augmenter la vitesse. Cela veut dire un surcoût, une perte d'énergie, une nouvelle source de maintenance et par dessus tout une construction assez moche et lourde. Des efforts perdus pour un résultat décevant.
- **Rebobiner l'alternateur** pour travailler à des vitesses plus faibles. Il faut utiliser plus de tours d'un fil plus fin pour chaque bobine. Cela réduit la vitesse de démarrage de production mais augmente les pertes dans les fils eux mêmes, limitant la puissance de sortie donc réduisant le rendement déjà médiocre.

2. **Les aimants des alternateurs ne sont pas des aimants permanents**, ils nécessitent une excitation pour fournir un champ magnétique. Pour avoir une tension pour des faibles vitesses, il faut que le flux soit maximal. Le courant servant à la création du champ magnétique consomme environ 30-40 watts. Cette consommation dépasse la production par vent faible. De plus 40 watts peuvent représenter jusqu' 1Kwh par jour. Une solution serait de mettre des aimants permanents. C'est assez compliqué et l'ensemble est toujours plutôt petit et léger. L'efficacité est toujours faible à part si la machine est petite (50-100 watts).

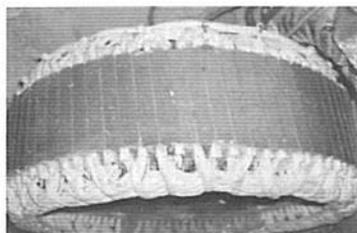
3. **Le régulateur interne de l'alternateur n'est pas fait pour recharger des batteries éloignées.** Si les batteries ne sont pas proches, la tension de l'alternateur va être supérieur à la tension des batteries donc le régulateur va commencer à limiter la tension de sortie avant que les batteries soient chargées correctement. De plus pour réduire la tension de sortie le régulateur réduit le champ magnétique, donc les pales vont tourner plus librement donc plus rapidement et provoquer bruit, vibrations, usure prématurée de tous les composants (roulements, bout de pales...). Vous allez devoir enlever et contourner le régulateur interne.

A première vue l'alternateur est une bonne solution au vu du prix et de la disponibilité mais en fait il ne vaut pas toutes les tracasseries engendrées. Il est plus simple et plus efficace de construire un alternateur spécifique pour une éolienne.

Métal dans l'entrefer des bobines

La plupart des alternateurs conventionnels ont un morceau d'acier laminé au milieu des bobines. Cela augmente le champ magnétique à travers les bobines et augmente la tension que l'on peut obtenir avec une quantité fixe d'aimants.

L'alternateur décrit dans ce manuel n'utilise pas de noyau d'acier. Il faudra plus d'aimants pour atteindre les mêmes performances donc



Vous pourriez mettre de l'acier au milieu de vos bobines mais ce n'est pas recommandable :

Les aimants chercheront à s'aligner avec les métaux. L'alternateur aura du mal à démarrer et fonctionnera par saccades.

Les alternateurs avec des noyaux d'acier sont généralement plus durs à démarrer et présentent une retenue due au champ magnétique dont l'importance n'est pas négligeable pour des faibles vitesses de vent. L'alternateur dans ce livre est libre de tourner à sa guise et plus facile à construire. Le seul désavantage est le surcoût des aimants.

Multiplés rotors et stators

Plein de gens me demandent si on peut augmenter la puissance de l'alternateur en ajoutant plus de rotors et plus de stators. La réponse est oui, mais ce n'est pas le meilleur moyen d'utiliser le matériel.

On recherche des vitesses de rotation faible avec un fort rendement pour un coût minimum de cuivre et d'aimants. Si vous construisez un alternateur avec deux stators et quatre rotors aimantés vous obtiendrez 2 fois plus de puissance à la même vitesse.

Une autre solution consisterait à mettre tous les aimants sur deux rotors avec un diamètre deux fois plus grand. Idem avec les bobines sur un grand stator. L'alternateur peut supporter entre 4 et 8 fois plus de puissance au lieu de 2 fois (pour deux alternateurs).

A chaque modification de la machine, il faut que l'alternateur et les pales correspondent. La

vitesse de l'alternateur dépend des aimants, des caractéristiques des bobines, de la tension des batteries... Si la vitesse de rotation est trop lente les pales vont caler alors que si elle est trop importante, les pales ne seront pas capable d'atteindre cette vitesse. Tous les détails sur le dimensionnement de l'alternateur sont donnés en fin de livre dans la section conception de l'alternateur.

Eolienne à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont un roulement et un axe de rotation vertical entraînés par des pales qui tournent horizontalement comme un « rond point ». Les éoliennes à « Axe horizontal » s'orientent par rapport aux vents et leurs pales sont dans un plan vertical. Les éoliennes à axe vertical sont très populaires. Bien que les premières éoliennes (datant du VI siècle avant J.C) étaient à axe vertical, la technologie des turbines à axe horizontal a depuis supplanté ces dernières.

Les avantages d'une machine à axe vertical sont de :

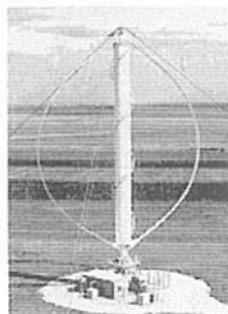
- prendre le vent de n'importe quelle direction
- d'avoir le générateur au niveau du sol.

Malgré une importante quantité de recherche, les éoliennes à axe vertical ont échoué dans leur développement. Elles peuvent être difficiles à démarrer, dures à arrêter, et de par leur conception elles présentent une moindre efficacité par rapport à celles à axe horizontal. Elles reçoivent moins de vent car elles sont souvent installées à des faibles hauteurs. L'installation sur un mât plus élevé est délicate.

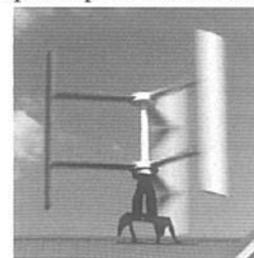
Les turbines de type « Savonius » sont de construction simple mais ont de faibles rendements. La même quantité d'effort mis dans une éolienne à axe horizontal fournira de meilleurs résultats. Les alternateurs à faible vitesse sont lourds et chers.



Les turbines de type « Darrieus » du nom de l'inventeur français en forme de batteur à œufs tournent avec une vitesse plus importante. Elles sont populaires dans les départements de recherche mais elles n'ont jamais été couronnées de succès sur le marché à part dans les années 80 en Californie. Pour faire court, le problème est le suivant : lorsque les vitesses sont importantes, les pales souffrent d'un effet « contre le vent » tous les demi-tours. Cela entraîne des fatigues importantes et réduit la durée de vie des pales. C'est la principale raison de l'arrêt de ce type de machine (commerciallement parlant).

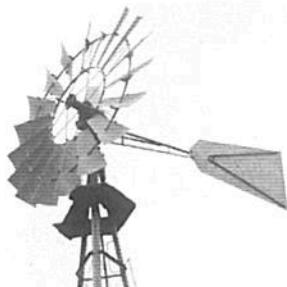


Il existe de nombreuses éoliennes à axe vertical sur le marché mais aucune ne semble avoir de retour sur expérience satisfaisant. En fait, il semble qu'aucune d'elles ne soit capable de fournir des courbes de production validées. Attention aux courbes de production générées par ordinateur...



Nombre de pales

Les éoliennes de pompage sont construites avec un nombre de pales important. **Elles ont un couple important** et elles fournissent de l'énergie mécanique pour pomper l'eau par exemple, avec de faibles vitesses de vent.



Pour la fabrication d'énergie électrique, il est plus important de rechercher la vitesse plutôt que le couple. La raison est que la quantité d'aimants et de cuivre nécessaire est beaucoup moins importante pour des vitesses de rotation plus élevées. Pour des vitesses importantes, on peut capter toute l'énergie (pas le couple mais l'énergie) qu'il y a dans le vent en utilisant seulement une, deux ou trois pales. Trois pales est le meilleur compromis. L'hélice tourne avec plus de souplesse qu'avec deux pales (voire une) notamment lors du passage d'une pale proche du mât.

Montage sur un toit

Une autre idée qui a attiré l'attention du public récemment est le montage de sa petite éolienne sur le toit de la maison. **Depuis longtemps, on sait que c'est une mauvaise idée**, mais l'intérêt du public pour le vent dans les zones urbaines a encouragé les vendeurs dans ce genre d'installation.



La vitesse de vent au niveau du toit est assez faible car les obstacles tels que les bâtiments, les arbres jouent un rôle très important sur le flux d'air. Ils cassent ce flux en différents vortex et rafales qui contiennent très peu d'énergie mais entraînent des dommages pour la machine. De plus l'installation et la maintenance sont souvent difficiles et coûteuses. Dans les villes, la turbine devrait être placée au moins à 10 mètres au dessus du haut du toit. Ce n'est pas très pratique d'installer un tel mât sur un toit.

Les éoliennes sont des machines qui engendrent beaucoup de vibrations en fonctionnement. Dans les endroits ventés **le bruit** se propage dans les bâtiments et les vibrations entraînent des **dommages sur la structure**. Dans la plupart des sites ce n'est pas tellement un problème car le vent va être insuffisant pour que la turbine cause tous ces dégâts mais une fois encore c'est beaucoup d'efforts pour peu de résultat. Dans les sites très exposés, le bâtiment va être mis à rude épreuve et les occupants vont trouver le bruit gênant. Dans ce cas il est préférable de mettre l'éolienne sur un mât indépendant bien au dessus du bâtiment et relativement éloigné.

J'ai de la sympathie pour les citadins qui veulent utiliser l'énergie du vent, mais je leur déconseille ce choix car je sais que ce n'est pas une bonne idée. Des panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques sont un bien meilleur choix pour des zones urbaines.

Diminuer sa facture d'électricité

Quand les gens me contactent (très enthousiastes) en pensant économiser de l'argent sur leur facture en utilisant une petite éolienne, je me sens mal à l'aise. Je suis très enthousiaste sur les petites éoliennes mais j'ai aussi une connaissance réaliste de ce que l'on peut en tirer. Cela fait trente ans que je les utilise et en voyant le tableau page 4 on s'aperçoit que **même un site très venté ne peut produire que quelques kWh par mois**. Atteindre ces puissances va coûter beaucoup d'argent et de temps comparé à ce que vous pourriez faire pour réduire d'autant vos consommations électriques. Si votre facture d'électricité est importante, des économies d'énergie vous feront économiser plus qu'une petite éolienne.

L'énergie du vent est gratuite, mais la conversion de cette énergie en électricité n'est pas « qu'une partie de plaisir ». Vous allez réduire votre consommation d'électricité en utilisant une petite éolienne, mais si les économies d'argent sont votre principale motivation il existe des moyens plus simples et moins chers de réduire votre facture. Améliorer l'isolation, mettre des lampes basse consommation, installer des frigos et congélateurs moins gourmands sont les premières choses à mettre en œuvre. Utilisez du bois pour le chauffage. Oubliez votre écran plasma, éteignez vos tv et ordinateur quand vous ne les utilisez pas ainsi que les appareils en veille. On peut facilement économiser et diminuer notre empreinte écologique avec de simples mesures. Une fois que vos dépenses énergétiques ont été minimisées, vous pouvez utiliser une éolienne et/ou des panneaux pour répondre à vos besoins. Mais vous n'allez pas vraiment « économiser » de l'argent quand vous aurez regardé ce que vous avez dépensé et fait. Le plaisir d'avoir une éolienne a un prix.

Si vous avez un site pour une petite turbine hydraulique alors c'est une bien meilleure solution pour économiser de l'argent.

Monter une éolienne sur une voiture pour charger des batteries.

Il va sans dire que le fait de monter une éolienne sur une voiture va lui permettre d'avoir des vents forts et de bien produire. Mais la résistance causée par la turbine constitue une surcharge pour le moteur du véhicule. On n'obtient pas d'énergie gratuite par ce biais à part dans certaines bonnes descentes. Le moteur va être obligé de produire plus d'énergie pour recharger les batteries, par l'intermédiaire de l'éolienne que si on connectait directement ces batteries sur le camion via l'alternateur.

Par contre il peut être amusant et intéressant de monter une éolienne sur un véhicule pour faire des

essais à des vitesses de vent données. **Ce n'est pas une façon très performante de mesurer les performances d'une machine et encore moins de produire de l'électricité.**

Utilisation d'un frein pour ralentir la machine

Il ne tiendrait pas plus de quelques jours dans un site venté. Il faut garder en mémoire qu'une éolienne fonctionne beaucoup plus souvent que la plupart des machines que nous utilisons. L'utilisation d'un frein ne peut se faire que pour bloquer la machine en cas d'urgence.

Canaliser l'air avec un entonnoir

Le vent ne veut pas s'engouffrer dedans. **Il est préférable d'augmenter la taille des pales jusqu'au diamètre de l'entonnoir et le résultat sera le même.** De grandes compagnies ont dépensé beaucoup d'argent pour découvrir cela.

Problèmes rencontrés avec les éoliennes auto-construites.

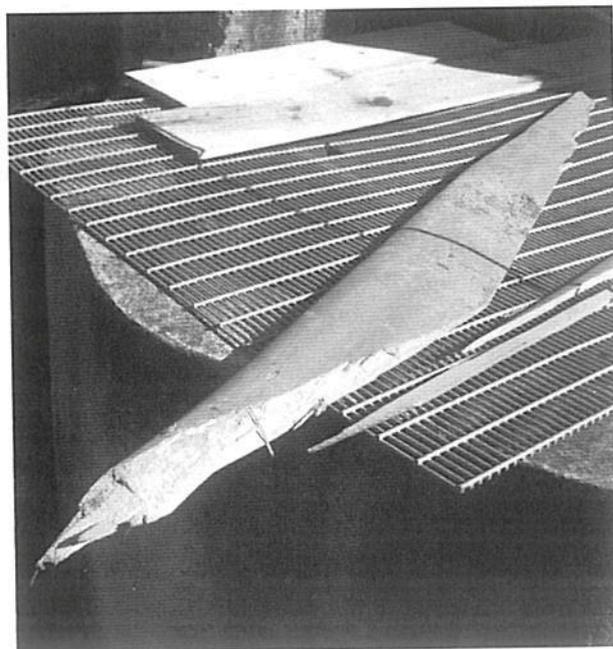
La plupart des gens ayant travaillé dans le petit éolien s'accordent à dire que les turbines sont de surprenants équipements qui posent pas mal de petits problèmes, qu'elles soient auto-construites ou achetées neuves. Jouer avec le vent procure du plaisir mais aussi des frustrations à cause des petites choses (parfois importantes) qui tournent mal. Quelques exemples de ce qui peut se passer :

- De mauvaises soudures et un mauvais équilibrage des pales peuvent entraîner la chute du safran. Quand la machine tremble, la queue s'avère être la partie la plus sensible.
- Le pont de diode grille à cause d'une mauvaise connexion et/ou d'un mauvais refroidissement. Pensez à prévoir un refroidisseur de grande taille. Connecter le mat à la terre évite les courts-circuits engendrés par la foudre.
- Dans certains cas les roulements peuvent poser problème. Un défaut sur les roulements rend possible le frottement du rotor contre le stator et réduit ainsi la durée de vie de l'alternateur.
- Dans des conditions turbulentes et sauvages, la force gyroscopique qui s'exerce sur les pales pousse les pales vers le mât et peut engendrer une casse. C'est un problème assez rare mais persistant. Cette année (2008) j'ai changé la direction de la mise en drapeau de façon à ce que la force gyroscopique pousse le bout des pales loin du mât quand la machine se met en drapeau. C'est au moment de la mise en drapeau que les pales vont le plus vite.
- Sur le plus long terme, le plus gros problème semble être la corrosion des rotors aimantés ou des aimants eux mêmes qui peut amener un problème important dans les 5 ans. Les disques doivent être très bien protégés avec une peinture efficace. Une bonne idée peut être de galvaniser le disque pour les climats

humides. Maintenant, j'utilise une peinture époxy pour ça. Sur la photo, vous pouvez voir les dommages causés sur la couche protectrice par des chutes de métal (chute qui sont des restes de soudure, de taraudage) dans l'entrefer. Une fois que la résine et la couche protectrice de l'aimant sont parties, l'aimant se corrode et gonfle petit à petit. Dans ce cas, l'aimant a été enlevé de la résine et remplacé.



Les petites éoliennes peuvent durer 20 ans mais nécessitent des réparations de temps en temps. Il est impossible de prédire la fréquence des avaries parce que chaque constructeur et chaque site sont différents. Il est raisonnable de s'attendre à deux problèmes dans la première année et à peu près à 1 par an par la suite. Ça peut être juste une diode qui lâche ou un nouveau jeu de pales à tailler. Il est bon d'avoir un stock de pièces de rechange pour pouvoir remettre en marche votre machine le plus vite possible.



Petite avarie sur une pale

Outillage

Dans la plupart des cas, de nombreuses solutions sont possibles selon vos moyens et vos compétences.

Sécurité

Lunettes de sécurité, gants cuir et plastique. Protections phoniques couvrantes. Quelques pansements, du nettoyant pour les mains.

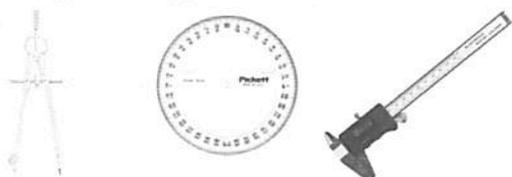
Outillage multifonction

Perceuse sans fil avec embouts de différentes tailles, tournevis, pinces, pinces étau, étau, serre-joints, marteau, pointeau.

Mesure

Mètres (5 m c'est bien), réglet, crayon, feutre, ciseau

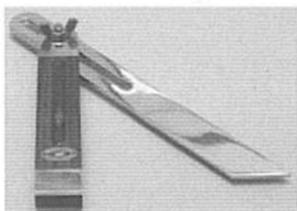
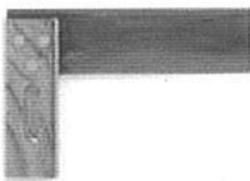
Compas ... rapporteur ... pied à coulisse



Si besoin vous pouvez faire un compas à l'aide d'une fine bande de contreplaqué en perçant un trou d'un côté pour le crayon et en mettant une vis de l'autre côté.

Equerre.....

Fausse Equerre



Balance

niveau à bulle



Electricité

Cutter, Pince coupante, pince à dénuder, couteau

Multimètre ...soudure étain Pince manchonneuse



Préparation de la résine

Petit béccher ou seringue pour mesurer des petits volumes. Sceaux et pot, cuillère et bâton.

Travail de l'acier

- **Poste à souder** au moins 130 amp en sortie pour des électrodes de 3.2 mm.
- Masque, brosse, marteau pour casser le laitier
- **Scie circulaire pour acier** (et/ou scie à ruban) pour couper droit (optionnel)
- scie à métaux
- **Torche oxy acétylène** peut être utile mais pas essentielle
- **Perceuse a colonne** pour des perçages précis.
- mèches
- scie cloche
- limes
- matériel de taraudage
- **Disqueuse**

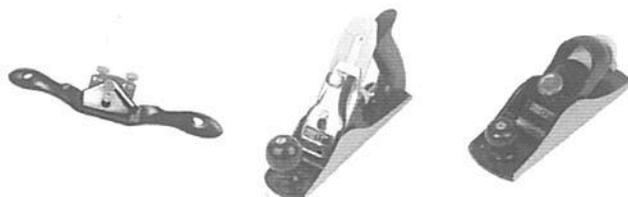


OUTILLAGE A BOIS

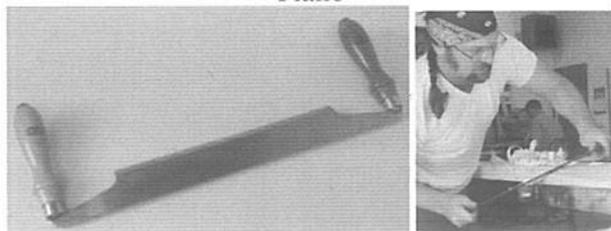
- Scie circulaire ou a ruban
- Scie égoïne
- Ciseaux à bois
- Mèches à bois
- **Scie sauteuse**



Wastringue rabot petit rabot



Plane



Utilisation des outils

Vous aurez peut-être besoin de travailler avec des outils que vous n'avez jamais utilisés. Prenez le temps pour faire des essais avant de vous lancer. Faites attention aux consignes de sécurité. Essayez-les sur des chutes avant de commettre l'irréparable.

Perceuse sans fil

La plupart des batteries ont un effet mémoire (spécifiquement les batteries au nickel). Elles fonctionneront mieux si vous les déchargez à fond avant de les recharger. Ce n'est plus le cas pour les Li-ion.

Pour bien plaquer deux morceaux de bois, il faut pré-percer un des morceaux. Si vous ne faites pas de pré-perçage, vous risquez de créer un espace (ou de garder l'espace existant) entre les deux plaques. Si les vis font 5 mm de diamètre il faut pré percer avec une mèche de 5 mm.

Embouts de vissage

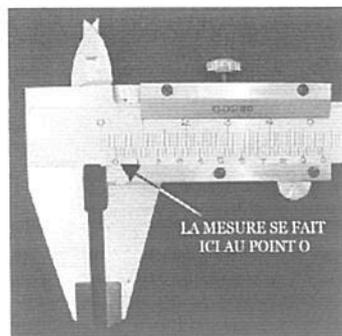
Il existe différents types d'embouts cruciformes qui sont des fois incompatibles entre eux. Le plus courant est le type « Philips », le plus populaire récemment est le « prodrive ». Les embouts prodrive ont une marque à 45 degrés des bras de la croix. Il existe différentes tailles. Utilisez bien la bonne taille sinon vous abîmez l'embout et la tête de la vis.

Métrage

Rappelez-vous le vieux qui disait « mesure deux fois, coupe une fois » et prenez le temps pour faire des bonnes mesures. Faites un essai, remesurez ce que vous venez de marquer et vous serez surpris des erreurs que vous avez faites. Les dimensions dans ce document sont rarement au millimètre près mais il faut quand même faire un peu attention. Faites notamment attention quand vous travaillez le bout des pales. Essayez de travailler avec moins d'un mm de tolérance.

Pied à coulisse

Le pied à coulisse est très utile pour faire des mesures précises à condition de savoir s'en servir. Fermez le pied à coulisse et vérifiez que vous lisez 0. Beaucoup de gens comprennent mal la lecture et ne voient pas que la mesure se fait au



niveau du « 0 » comme sur la photo ci contre. On peut mesurer les formes extérieures avec la grande « mâchoire » les parties intérieures (comme les trous du moyeu, l'entrefer) avec les petites oreilles et la profondeur avec la tige. Cette tige de profondeur est un

bon moyen de vérifier la séparation des deux rotors si vous la passez à travers les trous des vis d'extraction.

Niveau

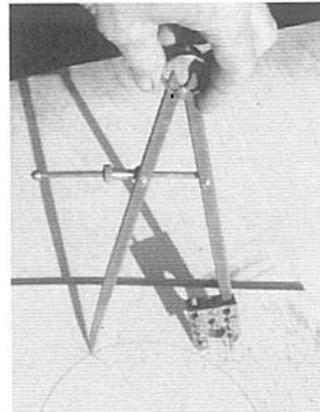
Un niveau à bulle n'est jamais parfait, la bulle a tendance à préférer un côté légèrement décalé du centre. En cas de doute faites faire un 180° au niveau et faites une moyenne des deux résultats.

Compas

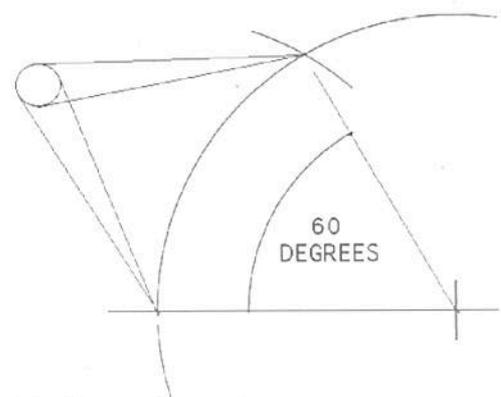
Dans ce manuel, il vous faut tracer de nombreux cercles sur du contreplaqué, il est bien d'en avoir deux : un grand, un petit. Si vous n'en avez pas sous la main vous pouvez tracer autour de boîtes ou en faire un vous même en prenant un bande de contreplaqué. Percez un trou pour le crayon et de l'autre côté une vis servira de pivot. Pour ajuster le rayon, il suffit de bouger la vis.

J'ai un compas à pointe sèche (pique des deux côtes) je fixe le crayon d'un côté a l'aide d'un terminal de connexion électrique.

Une fois que vous avez tracé un cercle, vous pouvez utiliser le compas pour faire un hexagone en conservant l'espacement du compas à la longueur du rayon. Vous divisez ainsi le cercle en 6, soit des angles de 60 degrés. Cette astuce peut être utile pour le placement des aimants, des bobines dans tous les cas ou le nombre est divisible par 3.



Vous pouvez à l'aide du



compas faire le tour du cercle en marquant un premier angle à 60 degrés et ainsi de suite jusqu'à retourner au départ. C'est un test intéressant pour la précision et savoir si vous retombez sur vos pattes après 6 étapes.

Multimètre

Le multimètre est indispensable pour mesurer l'électricité. Pour tester des batteries, il faut vous placer en courant continu soit DCV sur la plupart des appareils. DCV vient de l'anglais Direct Current Voltage. Pour une batterie de 12 volts, choisissez la

gamme 20 V ou la gamme la plus proche de 20. Vérifiez que la borne négative (noire) est connectée au « com » (common, neutre) et la borne positive (rouge) est connecté au « V ou A... ». Mettre le plus sur le plus de la batterie et faire de même avec le pôle négatif. Vous aurez un signe négatif si vous faites les connexions à l'envers. Vous devrez trouver une valeur autour de 12.5 volts. Si la valeur est en dessous de 12 la batterie a besoin d'être chargée. Branchez un chargeur sur la batterie et mesurez la tension pour voir si la batterie tient bien la charge.

Pour mesurer la tension de sortie de l'alternateur, vous devez être en courant alternatif ACV (Alternating Current). Si la tension est trop importante par rapport à la gamme choisie, le multimètre affichera 1 dans le coin gauche de l'écran.

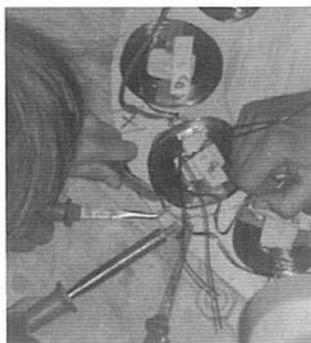
Pour vérifier les ponts de diodes, utilisez la fonction prévue à cet effet. Avant de connecter les sondes vous allez voir un « 1 » dans le coin gauche qui veut dire que votre circuit est ouvert. Déconnectez le pont de diodes de votre alternateur et des batteries. En fonction du sens de connexion des sondes sur les ponts de diodes, vous devez obtenir deux résultats différents. Dans un sens c'est le circuit ouvert, dans l'autre sens vous devez obtenir une valeur de l'ordre de 500. (ne vous formalisez pas trop pour la valeur). Zéro indique que la diode est foutue. Si vous obtenez le circuit ouvert dans les deux sens, la diode est également grillée.



La gamme résistance (Ω) en ohms sert à déterminer la résistance du circuit et à savoir si le courant passe dans le circuit. 0 correspond au court circuit et 1 dans le coin gauche est circuit ouvert.

Soudure à l'étain

Vous avez besoin d'un fer à souder l'étain (mais qui est fait de cuivre). Le point important est d'avoir le fil de cuivre propre et chaud. Ce qui donne une soudure ou l'étain va couler sur les fils et remplir les trous. Si le fil de cuivre est de diamètre supérieur à 1 mm, il est préférable de prendre du fil d'étain plus gros. Vous pouvez même utiliser une chute de tube de cuivre montée sur un clou de 15 centimètres que vous chauffez sur la plaque à gaz.



La première étape est d'enlever l'émail autour du fil sur 2 cm environ. Vous pouvez utiliser un couteau ou du papier de verre mais faites le correctement. Pendant ce temps branchez le fer pour qu'il soit chaud. Il faut faire la soudure le jour même pour éviter que la partie dénudée ne s'oxyde.

Vérifiez également la panne du fer à souder, nettoyez-la s'il le faut pour enlever toutes traces de corrosion. Vérifiez que le fer soit assez chaud en touchant celui-ci

avec l'étain. S'il est assez chaud l'étain va fondre. Couvrez les fils avec un peu d'étain pour cela placez le fer en contact avec le fil et chauffez un moment. Ensuite, vous pouvez appliquer directement la bobine d'étain sur le fil dénudé. L'étain devrait fondre directement sur le fil de cuivre. Il ne faut pas essayer d'appliquer l'étain du fer à souder sur le cuivre car l'étain ne s'étalera pas correctement et formera des boules.

Quand les bouts de fil ont été couverts d'étain, vous pouvez les réunir en les enroulant ensemble. De nouveau, il faut placer le fer en dessous jusqu'à ce que l'étain fonde. Ajoutez de l'étain jusqu'à ce que les fils soient complètement solidarisés. Protégez la soudure contre les courts-circuits avec du scotch d'électricien ou de la gaine thermo-rétractable.

Si les fils de cuivre sont trop épais et durs à torsader, mettez les côte à côte. Ensuite vous pouvez enrouler un petit fil de cuivre en spirale autour des fils puis noyez le tout dans l'étain.

Connectique

Pour les connexions électriques (batteries, ponts de diodes...) il est bien d'utiliser des cosses. Pour les fermer vous pouvez utiliser une tenaille ou une pince étau. La meilleure solution est d'utiliser les pinces qui sont prévues à cet effet comme les pinces à manchonner. Les cosses isolées au PIDG sont parfaites pour les connexions des ponts de diode tandis que les cosses nues (photo du bas) conviennent pour les connexions des batteries. Des petits tubes de cuivre percés peuvent faire des cosses pour les gros câbles.



Soudure à la baguette

C'est sans doute la partie qui requiert le plus de technique mais c'est aussi celle qui apporte pas mal de satisfaction. Comme pour la soudure à l'étain l'idée est de faire quelque chose de propre et beau. Vous avez besoin d'un bon contact pour la prise de terre et d'une surface propre pour la baguette. Meulez la rouille et le laitier avec un disque à poncer. Faites attention à ne jamais regarder directement l'arc car vous risquez d'abîmer vos yeux et cela peut être douloureux. Prévenez les gens lorsque vous soudez. Au début, il est dur de voir où vous êtes en train de toucher parce que la vitre du masque est très sombre. Tapez doucement ou grattez l'électrode proche de la zone de travail jusqu'à obtenir l'arc puis reculez de façon à être 2-3 mm de la surface pour ne pas coller au métal. Si la baguette colle au métal décollez la et recommencez. Si la baguette colle à chaque fois, vérifiez la connexion à la terre et augmentez l'intensité de l'appareil à souder.

Quand l'arc a commencé, n'allez pas trop vite. Bougez la baguette le moins possible de côté et laissez le temps au métal de chauffer. Ensuite déplacez-vous le long de la pièce à souder en fondant le métal en dessous et pour faire un lit de métal. Une couche de laitier se

forme sur le dessus. Empêchez le laitier de se glisser sous la soudure. J'aime préparer la soudure avec une légère pente et travailler en remontant cette pente de gauche à droite de façon à ce que le laitier ne puisse pas se mettre devant la soudure. Lorsque vous avez fini et que le métal a refroidi, piquez la soudure avec un marteau pour casser le laitier. Une fois la partie propre vous pouvez arrêter ou consolider la soudure.

Le conseil que je donne toujours est de bouger plus doucement. Le processus de fusion du métal se fait à des températures supérieures à 3000°C ; il prend donc un peu de temps. Si vous allez trop vite vous obtiendrez un résultat inégal car la soudure n'est pas assez chaude pour fondre correctement le métal. Si vous êtes trop lent, vous fondez trop le métal et vous pouvez passer à travers : l'ensemble n'est pas résistant. Les débutants font souvent des grosses gouttes éparpillées sur la surface car ils vont trop vite. Glissez lentement le long de la soudure en essayant de faire le moins possible de mouvement périphérique.

Lorsqu'on soude deux pièces ensemble, l'important est d'avoir une bonne pénétration des deux pièces. Faire des toutes petites vagues entre les deux morceaux en prenant le temps de faire un bon contact pour une bonne pénétration. Vous pouvez faire un pont entre deux parties séparées par 3 mm (maximum).

Quand la soudure refroidit, elle va se rétracter donc les pièces vont bouger. Essayez de faire la première soudure dans des endroits où ce rétrécissement n'engendre pas de déplacement. Avant de faire une grande soudure, faites plusieurs points pour bloquer la pièce.

Ne soudez pas le métal galvanisé (ou ayant une autre protection) car c'est plus difficile et surtout cela engendre des dégagements toxiques. Il vaut mieux disquer au préalable.

Découpe du métal

Une bonne scie à métaux (avec des lames de qualités) est le moyen le moins cher et le plus efficace de couper du métal. C'est assez rapide. Ne pressez pas trop fort dans votre mouvement vers l'avant et utilisez toute la longueur de la lame en gardant un rythme constant. C'est n'est pas plus difficile que de couper du bois. Un peu d'huile aide.



La plupart des gens préfèrent utiliser une scie circulaire (pour acier) ou une disqueuse (avec disque à découper = disque fin, ne pas ébarber avec ces disques). Fixez les pièces correctement, portez des lunettes de protection et des vêtements en coton. La

découpe produit plein d'étincelles, prenez garde à éviter les gens, les endroits sensibles car il y a un risque d'incendie. Pour faire des coupes droites d'un tube, on peut enrouler autour de celui-ci une feuille de papier.

Perçage

C'est assez surprenant mais il est très difficile de percer un trou exactement au bon endroit. La meilleure tactique consiste à s'aider de quelque chose (qui va être monté avec la pièce). Par exemple percez à travers les trous du moyeu pour percer les disques en métal (ou vice versa). Par contre cela implique de percer directement à la taille alors qu'il est plus facile de percer par étapes. Percez à 10 ou 12 mm directement est une opération lente mais faisable si la mèche est bonne et que vous appliquez la bonne pression. Une perceuse à colonne simplifie la tâche et le boulot est plus précis. Si la pièce ne passe pas dessous, vous pouvez percer à la main en gardant bien la perpendicularité et en mettant tout votre poids dessus. C'est plus facile de travailler au sol.

Si vous entendez du bruit, arrêtez : la mèche est mal taillée. Changez la mèche ou aiguisez-la et appliquez plus de force. Utilisez un lubrifiant.

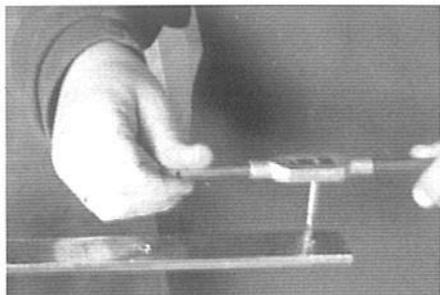
Faites attention quand la perceuse est proche de traverser la pièce. Si vous percez du métal, la pièce peut se mettre à tourner et/ou casser la mèche. Réduisez la pression lorsque vous êtes proche de la fin. Si vous travaillez le bois, vous pouvez faire des échardes sur le dos de la pièce. Pour les éviter, mettez un morceau de bois dessous.

Taraudage

Les tarauds sont en général par lot de trois. Parfois le premier taraud qui est le plus grossier suffit. Le pré-trou doit être un peu plus petit que la taille finale (tableau à droite). Le 10,25 peut être obtenu en perçant à 10 et en agrandissant légèrement le trou.

Taille Taraudage	Trou (mm)
M8	7
M10	8.5
M12	10.25
M14	12
M16	14

Pressez de manière forte en restant droit et commencez le taraudage. Pensez à lubrifier, bien tenir la poignée droite et pressez fortement en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Une fois que le taraud a pris, il va se diriger lui-même mais soyez vigilant. Corrigez s'il le faut en penchant vers la droite ou la gauche. Une fois que vous êtes bien engagé, vous pouvez aller plus vite mais faites un demi tour arrière (ou plus) chaque tour pour casser les copeaux qui se forment.



Scie à bois

Les scies électriques sont un danger évident pour les doigts. Les poussières sont nuisibles pour les yeux et les poumons. Quand vous utilisez une scie à ruban, ne tirez pas le bois à vous ou vous ferez dérailler la lame. Arrêtez la scie quand vous enlevez le bois de celle-ci.

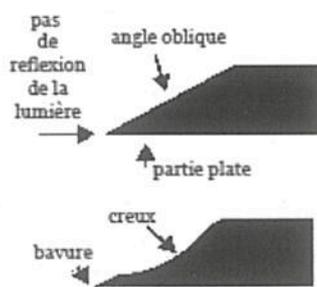


Pour faire des arrondis ne pas appliquer de pression latérale à la scie sauteuse. Poussez droit et dirigez le bois ou la scie. Par exemple pour une scie sauteuse, il faut diriger l'arrière de la machine et garder la lame droite, sinon la lame va se pencher et la coupe va avoir un angle sur l'épaisseur.

Pratiquez sur des chutes avant de vous lancer. Regardez la précision que vous atteignez en traçant une « fausse » ligne. Ensuite coupez le plus proche possible de la bonne ligne. Rappelez-vous que si vous laissez du surplus, vous pourrez l'enlever ultérieurement. L'inverse n'est pas vrai et peut vous conduire à jeter la pièce.

Autre outil pour le bois

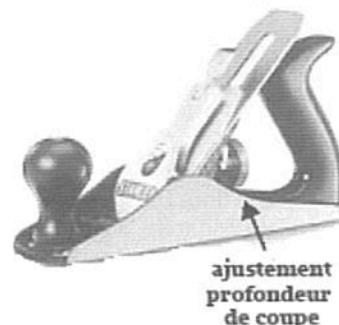
Tous les outils marchent bien quand ils sont aiguisés. Pour les rabots, wastringue...prenez le temps d'obtenir un bon angle sur la lame. Si vous pouvez voir la lumière qui se réfléchit sur le bord, la lame est émoussée.



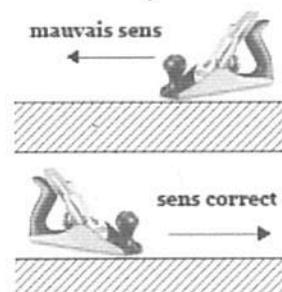
Aiguiser la lame avec une pierre à huile ou une pierre diamantée. Trouvez le bon angle en jouant jusqu'à être à plan sur l'angle oblique. Frictionnez assez fort en faisant des huit jusqu'à obtenir une bavure sur la partie plate : le fil. Frottez ensuite le fil de la partie plate à plat pour le casser. Vous pouvez aller de long en large plusieurs fois avant que la bavure disparaisse. Si l'angle devient trop obtus, attaquez l'angle avec une meule. Une face creuse facilite les aiguisages prochains. Ne pas trop chauffer le tranchant quand vous meulez car cela altère la qualité du métal. Mon outil favori pour le travail du bois est la plane. Vous pouvez pratiquement réaliser une pale en utilisant uniquement cet outil. Utilisez l'outil en tirant vers vous en faisant un premier passage sur votre gauche et le prochain passage sur votre droite. Vous obtiendrez ainsi une surface plate. Pensez que c'est une longue lame et que vous pouvez la déplacer de côté

quand vous coupez. Un mouvement similaire à celui de la scie économise les forces et améliore le contrôle.

Une wastringue convient mieux pour les travaux plus précis comme le lissage d'une surface plane et les arrondis. Il faut presser fort contre le bois avec cet outil car il a tendance à vibrer et faire quelques dégâts. Il est recommandé d'utiliser des gants. Le meilleur outil pour dégrossir et faire des surfaces plates est le rabot. Un grand pour dégrossir et un petit pour le travail délicat. Diminuez la profondeur de coupe pour plus de précision.



Avec tous les outils à main, vous obtiendrez de meilleurs résultats en travaillant dans le sens de la fibre du bois. On ne peut pas voir les fibres dans le bois mais elles sortent sur les faces coupées avec un certain angle. Si l'outil travaille contre les fibres, il va soulever ces fibres et éclater le bois. Si on travaille dans le sens des fibres, on les aplatit ce qui donne un surface lisse.



La façon la plus simple de trouver le sens des fibres est d'essayer et de se tromper. Gardez en mémoire que les fibres ne sont pas dans la même direction sur la longueur du bois et plus particulièrement autour des nœuds.

Papier de verre

La plupart des gens veulent utiliser le papier de verre pour la fabrication des pales. Le papier de verre enlève peu de bois et a tendance à produire une finition rugueuse contrairement à un outil très bien aiguisé. On peut cependant effectuer la finition avec un grain fin que l'on passe à la main. Les anneaux dans le bois sont composés de parties dures et de partie plus souple que le papier de verre enlève de façon inégale laissant des crêtes sur les parties dures. Un rabot les coupera de façon identique laissant une surface plate.

Outillage électrique

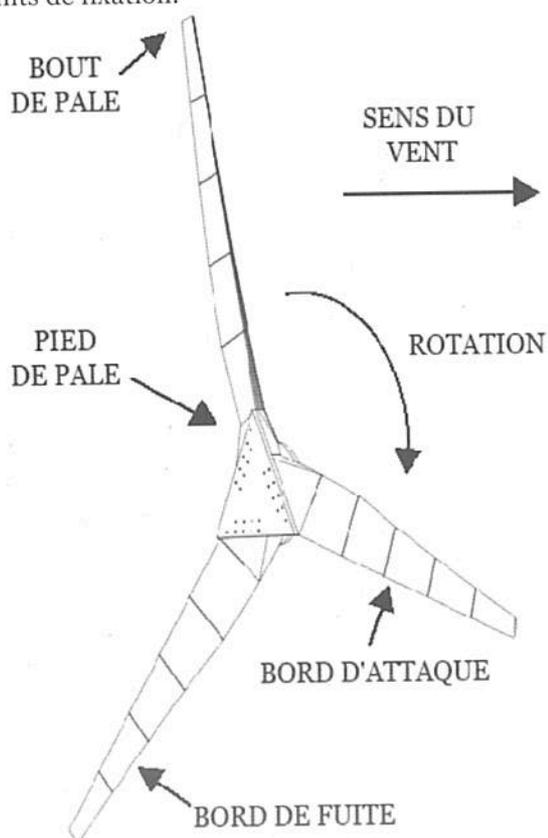
Les appareils électriques accélèrent la taille de grandes pales mais les outils à main sont plus silencieux et dégagent moins de poussière. Un outil bien aiguisé peut rivaliser avec une ponceuse à bande. Avec un peu d'ingéniosité, toutes sortes d'outils peuvent être utilisés pour la fabrication des pales comme une tronçonneuse, la découpe laser... Ca dépend juste de la vitesse à laquelle vous voulez travailler.

Fabrication des pales

Dans cette partie, nous allons décrire la fabrication des pales en bois. Le bois est un très bon matériau pour les pales car il est léger, solide et résistant aux contraintes. Pour une production de quelques pales, le bois est un des meilleurs compromis. Etant un matériau naturel, il est difficile de trouver de façon constante la même qualité.

On peut également se servir de plastique ou de métal. Les fibres de verre renforcées en matériaux composites sont assez répandues. Par contre, il est beaucoup plus difficile de faire de bonnes pales en composite qu'en bois. Les matériaux composites se prêtent bien à la grande série, une fois que le moule est fait, elles sont faciles à reproduire. Les feuilles de polypropylène sont un assez bon choix pour des pales creuses assez rudimentaires. Certaines personnes coupent leurs pales dans des tuyaux de PVC. Vous pouvez trouver des détails sur internet.

Le métal n'est pas très bon pour les pales car il supporte mal les contraintes particulièrement aux points de fixation.



Différentes parties des pales

L'éolienne est composée de 3 pales tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. La partie intérieure où elles se rejoignent est appelée le pied, la partie extérieure le bout de pale. La partie de la pale qui touche l'air en premier est appelé le bord d'attaque, l'autre partie qui voit l'air partir est le bord de fuite, l'intrados est la face au vent, l'extrados la face en arrière du vent.

Le bout de pale est plus étroit que le pied. Un bout de pales étroit suffit pour capter l'énergie du vent quand les pales tournent vite. Plus proche du pied, les pales tournent moins vite, la largeur et l'angle d'incidence seront plus importants (théorie aérodynamique). L'angle d'incidence est l'inclinaison de la pale par rapport au plan du cercle balayé par les pales (autour de 10 degrés). La partie en pied de pale sert au démarrage. L'énergie fournie provient du bout des pales.

Le profil des pales est un profil plat, convexe (intrados plat, extrados convexe) créant une différence de vitesse entre le vent intrados et le vent de l'extrados. Cela conduit à une accélération de la vitesse de la pale.

Choisir le bois

Sélectionnez des pièces de bois :

1. Sans nœuds (ou des nœuds placés de manière à ne pas gêner le travail),
2. Le plus léger possible,
3. Présentant une bonne résistance aux intempéries,
4. Bien sèches, sinon les pales vont se déformer au cours de la sculpture.

Le cèdre rouge convient parfaitement, mais des bois locaux comme le douglas, l'épicéa, le mélèze conviennent également. Evitez les bois denses qui vont occasionner des forces gyroscopiques importantes.

Il est possible de construire des pales à l'aide de lamellé collé (comme les hélices d'avions). Les pales offrent une meilleure résistance aux efforts (pas de faiblesse due au nœud) mais le bois est plus difficile à travailler à la main car l'orientation des veines du bois change à chaque couche.

La position de la pièce de bois dans le tronc d'arbre joue un rôle, bien que ce ne soit pas fondamental. Dans la mesure du possible prenez des pièces de bois provenant de la même partie de l'arbre ça facilitera l'équilibrage. Ci dessous des exemples du bout de la bille de bois.

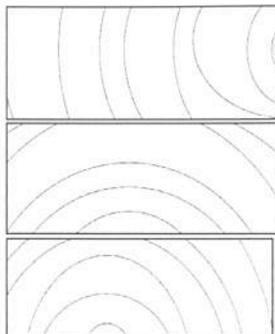
Tableau 1 : TAILLES MINIMALES DES PIÈCES DE BOIS (mm)

Diamètres turbine	1200	1800	2400	3000	3600	4200
Largeur	95	95	125	145	195	225
Epaisseur	35	35	40	45	60	75
Longueur d'une pale	600	900	1 200	1 500	1 800	2 100

Le premier exemple est la meilleure section, le fil est vertical

Le deuxième exemple est moins bon,

Le troisième exemple est le plus mauvais car le bois va avoir tendance à travailler et se déformer.

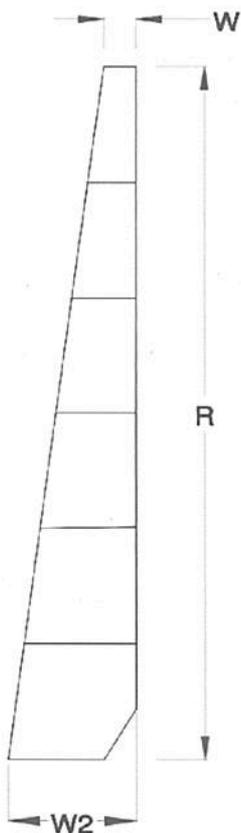


Le gabarit

Commencez par découper un gabarit. Il va nous servir à faire la découpe des poutres et à marquer les stations. Les tailles **minimales** sont notées dans le tableau 1 mais des tailles plus grandes sont préférables. Si le bois est plus large ou plus épais, vous aurez un pied de pale plus large (ce qui est toujours bien). Le bout ne sera pas affecté.

Si vous avez une longue pièce de bois, l'utilisation du gabarit nous permet d'éviter les nœuds plus facilement.

Découpez le bois un peu plus long que la pale finie (disons 5 cm). Le surplus sera coupé à la fin pour obtenir un bout de pale plus soigné.

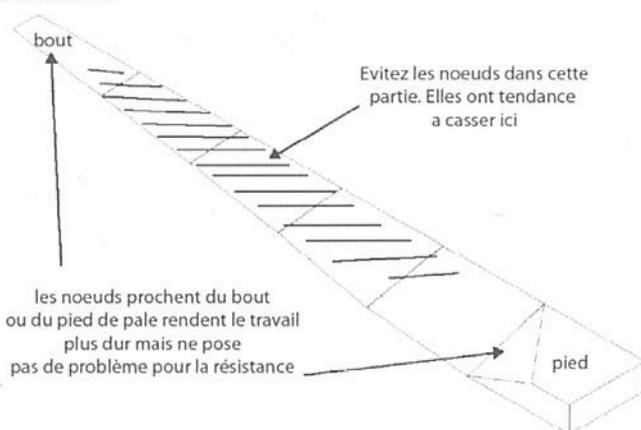


Faites le gabarit en contreplaqué. La longueur R correspond au rayon de la turbine. Mettez le gabarit sur la pièce de bois dans différentes positions afin de trouver la meilleure partie à couper. Quand vous avez trouvé le meilleur compromis vous pouvez tracer autour du gabarit pour marquer la forme de la pale.

Marquez 6 stations sur le gabarit comme défini dans le

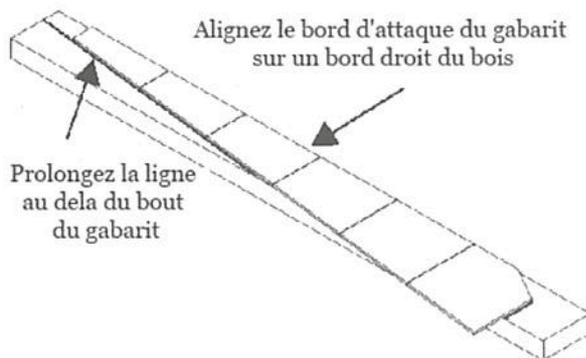
tableau 2. Reportez-les sur la pale. (La 1200 à seulement 3 stations).

Quand vous posez le gabarit sur la pièce de bois, essayez d'exclure les nœuds surtout dans la zone hachurée.



Une pale avec des petits nœuds ne pose pas de problème. Par contre les gros nœuds modifient la structure du bois et diminuent sa résistance.

Choisissez la face la plus jolie avec un bord droit et sans accros. Ce sera notre bord d'attaque. (Choisissez les 3 bords d'attaque du même côté!!!).



Le schéma montre comment positionner le gabarit sur la pièce de bois pour marquer la forme sur le bois. En pied de pale, le bois est normalement plus étroit que le gabarit. Marquez juste la ligne aussi longtemps que vous pouvez.

Finalement coupez la pièce de bois tracée avec une scie circulaire par exemple.

Le pied doit être coupé à 120 degrés pour que les 3 pales soient assemblées correctement. Faites cette opération une fois les pales finies.

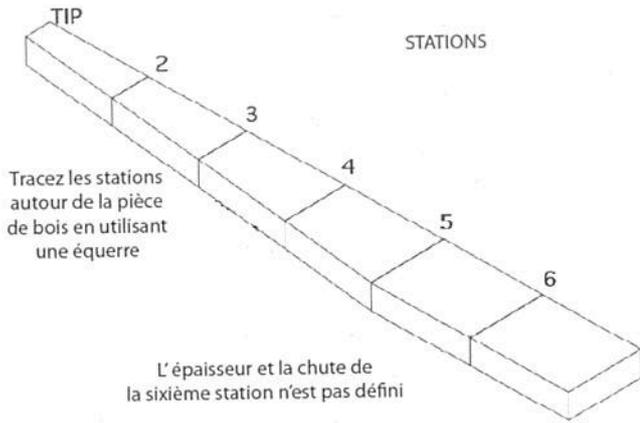
Tableau 2 : DIMENSION DU GABARIT (mm)

Diamètre turbine	1200	1800	2400	3000	3600	4200
R	600	900	1200	1500	1800	2100
W	38	50	50	63	75	88
W2	150	140	200	250	300	350
X	66	87	87	109	130	152
Station tous les	200	150	200	250	300	350

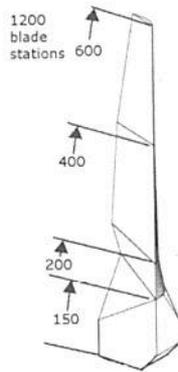
La ligne du bord de fuite

Marquez les stations

Dans un premier temps il faut marquer 6 stations tout autour de la pale. Utilisez le gabarit puis faites le tour avec une équerre. Pas besoin d'être très précis pour les stations.

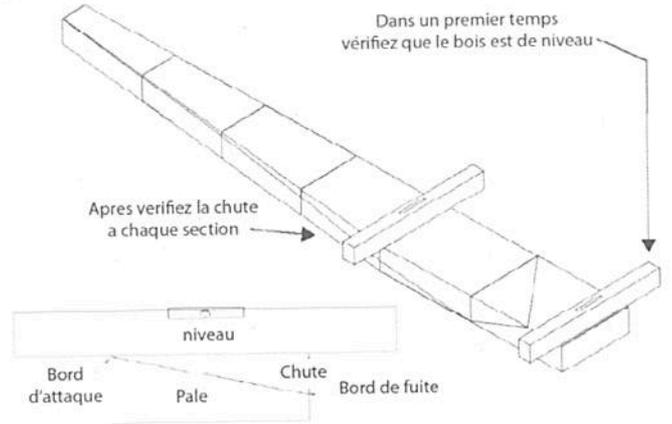


La machine de 1200 mm de diamètre à moins de stations. La dernière station est à 150 du pied de pales. Les autres sont espacés de 200, 400 et 600 mm du pied de pale.



Quand la pale est sur l'établi comme ci-dessous l'intrados est la face situé sur le dessus. La chute est mesurée en partant de l'intrados. Marquez la chute à chaque section. **A la sixième station, proche du pied de pale, la chute est presque aussi large que le bois du départ moins 3 mm.** Joignez les points ainsi obtenus. Cette ligne représente le bord de fuite.

la mesure sera erronée. Utilisez un niveau avec la technique suivante : mesurez la chute à l'aide d'un niveau en suivant le schéma ci-dessous.

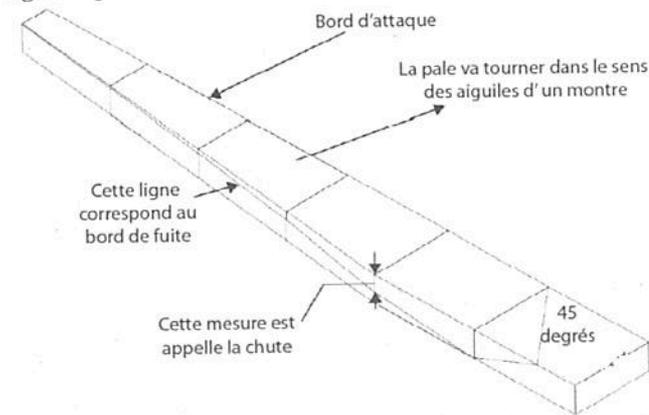


Dans un premier temps mettre la planche de bois de façon à ce que la zone du pied de pale soit d'aplomb. Vérifiez la chute à chaque section. Poussez le niveau à l'aide d'un régllet jusqu'à obtenir le niveau d'aplomb quand vous marquez la mesure.

Cette vérification peut être faite pendant le travail de la pale. On peut corriger la chute en enlevant plus de bois du bord de fuite voire du bord d'attaque si nécessaire. Dans la mesure du possible gardez le bord d'attaque droit et intact. Pour vous en assurer, tracez le bord d'attaque avec un marqueur avant de démarrer la sculpture.

Rabotez le bois pour former une nouvelle face

Cette nouvelle face est plane mais avec un angle augmentant le long de la pale à mesure que l'on se rapproche du pied de pale comme montré sur le schéma.



Tracez une ligne qui fait un angle de 45 degrés avec le bord d'attaque et qui part de la sixième station (schéma). Cette ligne coupe le bord de fuite en 1 point. Rejoignez ce point avec la dernière chute marquée.

La chute détermine l'angle d'incidence de la pale qui est un paramètre très important. Essayez d'être le plus précis possible dans les mesures et dans le marquage surtout sur le bout de pale. Si la face du bois est vrillée,

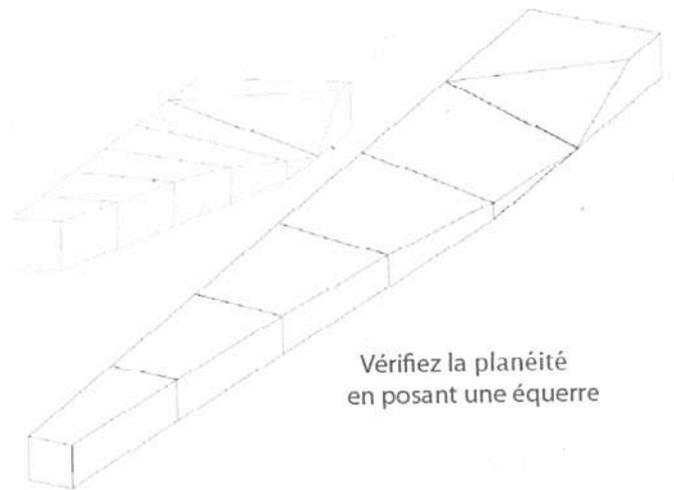


Tableau 3 : Chute à chaque station en mm. La chute 6 est l'épaisseur du bois moins 3 mm.

Diamètre turbine	1200	1800	2400	3000	3600	4200
Bout	1	2	1	1	1	2
2	5	4	3	4	5	6
3	28	8	7	9	11	13
4		14	15	19	22	26
5		28	32	40	48	56

Posez un régllet entre le bord d'attaque et le bord de fuite. Si vous ne touchez pas ces deux bords, enlevez la bosse au milieu de la pale jusqu'à obtenir une surface plane.

Pour le bout de pale, le meilleur outil est le rabot car il donne un rendu lisse et droit. Certaines personnes préfèrent utiliser un rabot électrique pour le travail de

dégrossissage. Le rabot ne fonctionnera pas dans la partie creuse en pied de pale. J'utilise une plane pour cette partie mais une autre technique consiste à faire avec une scie égoïne des coupes espacées de 5 cm qui donnent la bonne profondeur puis on attaque au ciseau à bois. Pour un travail plus précis (planéité) une wastringue fait bien l'affaire. Pour la touche finale on peut utiliser la ponceuse à bande et puis finir à la main avec du papier à grain fin. Le plus rapide étant une plane bien aiguisée.

Rappelez-vous les règles du travail du bois énoncé dans la partie outillage.

En règle générale, il est plus important d'être très précis sur le bout des pales qui fournit la puissance que sur le pied des pales. Faites que les pales soient toutes les mêmes et n'exagérez pas la précision avec laquelle vous travaillez.

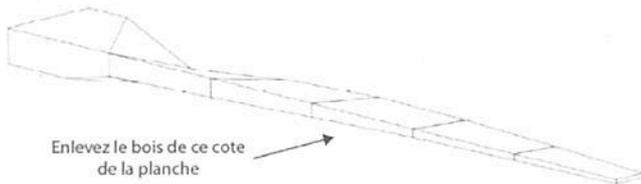
Épaisseur de la pale

Une fois que l'intrados est fini, vous pouvez maintenant attaquer le dos de la pale ou l'extrados.

Tableau 4 : Épaisseur de chaque section (mm)

Diamètre turbine	1200	1800	2400	3000	3600	4200
BOUT	5	6	6	7	8	10
2	10	8	9	11	14	16
3	17	11	14	17	20	24
4		14	19	23	28	33
5		20	27	34	41	47
R2	100	100	125	150	188	225

Nous allons créer une face parallèle à l'intrados (excepté près du pied de pale).



R2 (dans le tableau 4) est le rayon de la partie arrière du pied de pale qui ne sera pas travaillée.

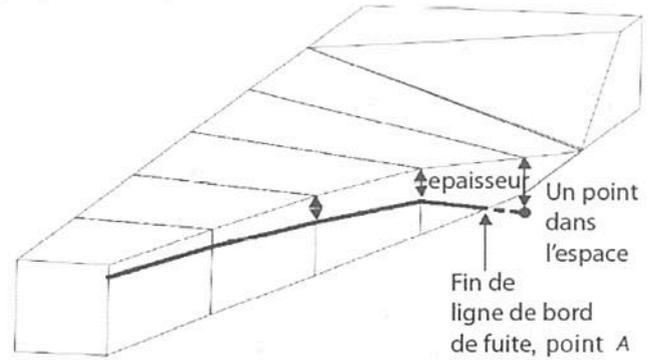
A chaque station, mesurez et marquez l'épaisseur de la pale à partir du bord d'attaque puis du bord de fuite de l'intrados. Tracez une ligne entre ces points.

Le dessin plus bas avec la partie hachurée montre le surplus de bois que vous devez enlever.

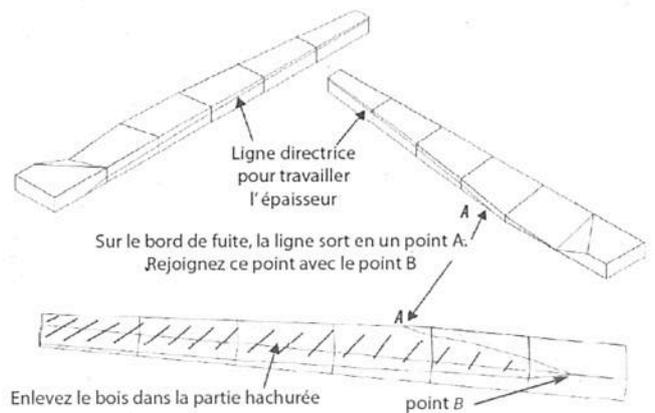
Lorsque vous allez marquer les stations, vous allez remarquer que pour le bord de fuite la ligne va sortir du bois en un point donné (point B). Tracez la ligne aussi loin que vous pouvez en essayant d'atteindre un point qui correspond à l'épaisseur que nous aurions dû avoir à cette section.

Rejoignez ce point sur le bord de fuite avec le point A obtenu sur le bord d'attaque pour définir la ligne

jusqu'à laquelle le bois est travaillé.

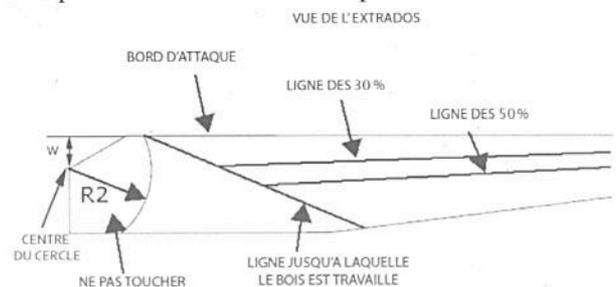


Le point sur le bord d'attaque est l'intersection entre la dernière station est le cercle défini par R2. Le cercle de rayon R2 est centré sur le coin qui provient de la découpe des pales à 120 degrés, (voir cote W, X p16). Ce point est le centre de l'assemblage.

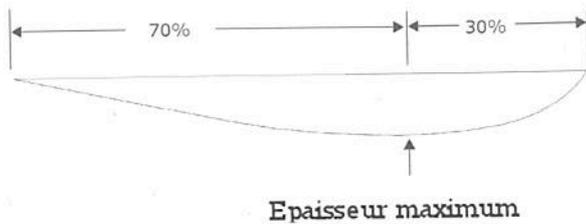


Enlevez tout le bois se trouvant au-delà de ces lignes. En bout de pale vous enlevez quasiment tout le bois. La partie hachurée montre le surplus de bois que vous devez enlever.

Lorsque vous vous rapprochez de la face escomptée, vous devez mesurer l'épaisseur réelle avec un pied à coulisse. A ce moment vous pouvez négliger la ligne et vous focaliser sur l'obtention de la bonne épaisseur à chaque section en utilisant le pied à coulisse.

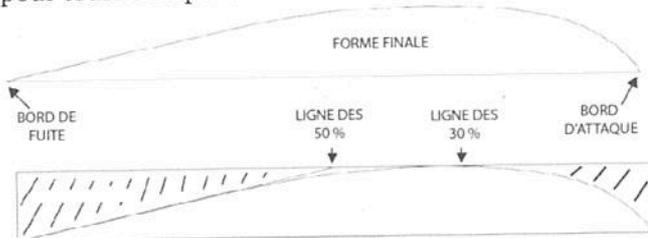


Les pales n'ont pas besoin d'être à la même épaisseur sur toute leur largeur, mais essayez d'être précis dans la zone qui correspond à l'épaisseur maximale du profil d'aile. Vérifiez l'épaisseur à chaque station sur une ligne à 30% de la distance bord d'attaque bord de fuite (schéma). C'est à cet endroit qu'il faut se servir du pied à coulisse. Vérifiez que l'épaisseur est à peu près constante sur la surface de travail de façon à ce que l'intrados soit parallèle à l'extrados.



Profil aile d'avion

Les pales ont besoin d'avoir un profil d'aile d'avion pour tourner rapidement avec le minimum de traînée.



Dans un premier temps, tracez la ligne des 50% sur l'extrados (ligne qui correspond à la moitié de la largeur).

Maintenant, il vous faut travailler cette nouvelle face entre la ligne des 50% et le bord de fuite. Sculpter une face plane définie par la ligne à 50% et le bord de fuite. L'épaisseur finale du bord de fuite doit être inférieure à 1 millimètre. Quand vous êtes proche du mm, mettez votre pale sur la tranche avec le bord de fuite en l'air, vous pourrez de cette façon voir où la lumière se réfléchit et ainsi déterminer combien vous pouvez encore enlever. Un petit rabot convient bien pour ce travail.

Une fois que le bord de fuite est terminé, on peut s'attaquer au bord d'attaque (toujours sur l'extrados) en essayant d'obtenir un profil comme sur le schéma.

Le bord d'attaque doit avoir un angle arrondi, ne faites pas un angle saillant comme sur le bord de fuite. Pour ce faire il faut casser les angles. Lorsque vous enlevez un coin, vous en créez un autre et ainsi de suite jusqu'à obtenir une surface relativement arrondie que vous pourrez poncer à la main. Ne pas faire de la partie la plus épaisse (au 30%), une partie plate ou avec un sommet pointu. Cette partie doit être légèrement arrondie. Pour faire cela il faut casser l'angle qui s'est créé sur la ligne des 50% en s'approchant de la ligne des 30% sans l'atteindre. Une wastringue et un petit rabot conviennent bien pour ces parties.

Faites les deux autres pales identiques... Puis coupez les bouts de pales en faisant bien attention. Découpez à l'aide d'une scie à métaux en commençant par le milieu et en coupant vers vous pour ne pas faire éclater le bois.

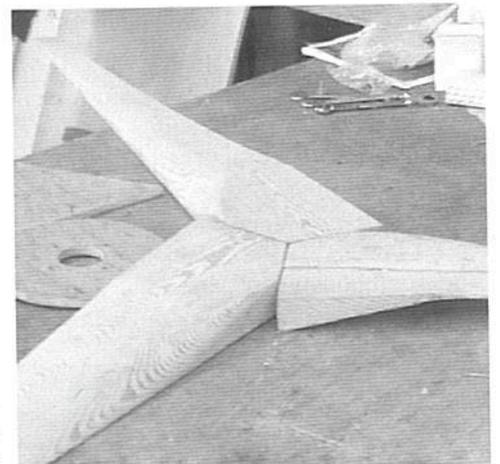
Assemblage des pales

Découpe des pieds de pales à 120 degrés

Découpez les pieds de pales à 120 degrés. Les dimensions de coupes sont dans le tableau (W, X) page 16, reportez ces dimensions sur l'épaisseur de façon à couper le plus droit possible, ce qui permettra un bon assemblage des pales. Les pieds de pales sont assemblés comme sur la photo ci-dessous.

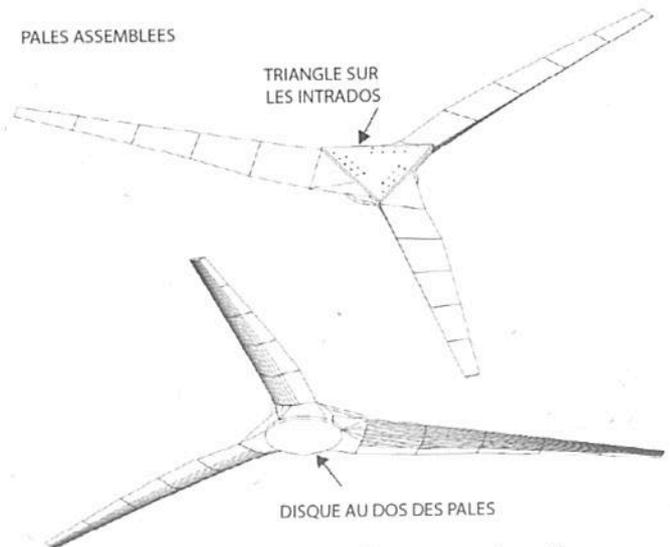
Contreplaqué de maintien des pales

Les pales sont maintenues ensemble par deux morceaux de contreplaqué qui sont vissés dans les pieds de pales. La pièce de devant est un triangle, celle de derrière un disque. Il



est préférable d'utiliser du contreplaqué **marine** (ou du métal). Essayez de trouver quelque chose de durable et de suffisamment résistant à la chaleur, les ultraviolets et les changements d'humidité.

PALES ASSEMBLEES



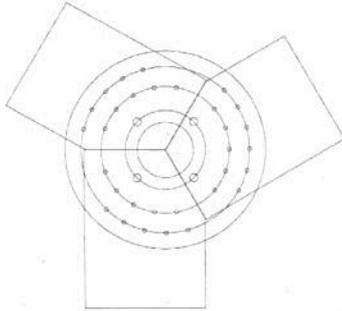
Marquage et percages des contreplaqués

Le cercle de contreplaqué a besoin d'être pré-percé avant le montage. Faites des trous au diamètre des vis. Pour cela, utilisez une perceuse à colonne pour être parfaitement perpendiculaire. On peut également fraiser les têtes.

Marquez le centre. A partir du centre, tracez deux cercles : le premier correspond au cercle intérieur du rotor, il vous servira à bien positionner le rotor. Sur le deuxième seront les trous de fixation du moyeu. Placez le rotor au centre, fixez le avec un serre-joint puis percez les trous à travers

Tailles des pièces de contreplaqués						
Diam turbine.	1200	1800	2400	3000	3600	4200
Epaisseur	9	9	12	12	18	18
Diamètre disque	200	200	250	300	375	450
Taille du triangle	268	274	357	446	536	625
Nbre, taille vis inox	30, 25mm	40, 30mm	50, 30mm	60, 30mm	60, 50mm	75, 50mm

l'ensemble de façon à être parfaitement centré avec le rotor (percez à la taille des trous du moyeu). Ensuite tracez deux cercles en plus sur lesquels seront montées les vis.



Sur l'un de ces cercles, vous allez marquer 6 points à l'aide du compas. Utilisez trois de ces points pour marquer l'endroit de jointures des trois pales. Evitez d'avoir les trous d'assemblage du moyeu ou des vis de fixation sur une de

ces 3 lignes. Si votre moyeu comporte 4 points de fixation, placez une ligne de jointure au milieu de deux points de fixation.

Positionnez une pale et dessinez le contour, répétez l'opération 3 fois pour déterminer l'endroit où les pales se rejoignent.



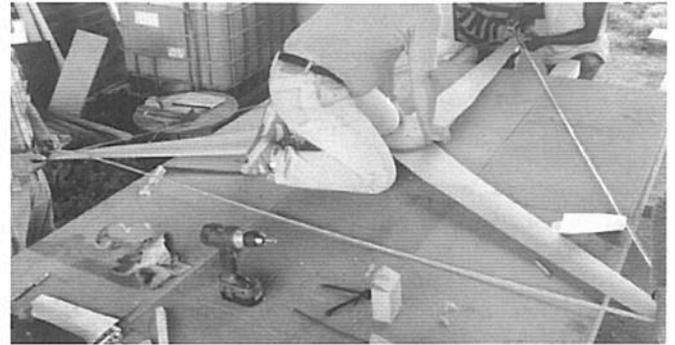
En utilisant un compas avec un écartement, disons de 25 mm, bougez autour du cercle afin de marquer les trous. Evitez de positionner les trous trop proches du bord des pales. Pré-percez et fraisez.

Passez au triangle mais **ne percez pas les trous de montage du moyeu maintenant**. Faites un cercle représentant leur position pour éviter de mettre des vis à cet endroit. Dessinez deux lignes parallèles, disposez les trous de façon ordonnée comme indiqué sur le schéma. Pré-percez et fraisez.

Solidarisation des pales

Mettez vous sur une table ou sur une surface assez grande pour poser les pales avec l'extrados sur le dessus. Joignez les pieds à 120 degrés. Fixez légèrement le disque de contreplaqué sur le dessus. Si vous travaillez à l'aide d'une palette vous pouvez solidariser l'ensemble avec un serre-joint. Si vous travaillez sur une table, utilisez un morceau de bois qui va serrer l'ensemble, le milieu tiendra le centre et vous pourrez fixer les extrémités avec la table.

Centrez le disque de contreplaqué avec les cercles de rayon R2 dessinés sur la pale.



A l'aide de trois mètres et de trois personnes, vérifiez que les bouts de pales soient à égales distances (voir photo). Modifiez jusqu'à obtenir le même écartement.

Une fois que vos pales sont également espacées et votre disque parfaitement centré, vissez le contreplaqué sur les pales. Utilisez 3 vis par pale en gardant à l'esprit qu'elles seront enlevées plus tard.

Retournez l'ensemble et mettez en position le triangle puis fixez-le avec toutes les vis. Mettez des cales sous les bouts de pales pour qu'elles soient à la même hauteur.

Maintenant, vous pouvez de nouveau retourner l'ensemble. Marquez la position des tiges filetées de l'alternateur avec une mèche à travers le rotor. Faites juste une petite marque pour repérer le centre des trous. Une fois que les trous sont marqués, dévissez le disque de contreplaqué et percez l'ensemble pales triangle avec un diamètre 25% plus grand que le diamètre des tiges filetées (pour faciliter le montage). Percez ces trous perpendiculaires aux pales. Assurez vous que le triangle repose sur du bois pour éviter qu'il n'éclate lors de la sortie de la mèche. Faites-vous aider par deux personnes à l'aide d'équerres pour vérifier la bonne perpendicularité. Si vous êtes seul, utilisez deux bouts de miroir que vous placez de chaque côté de la mèche, alignez votre mèche avec le reflet.



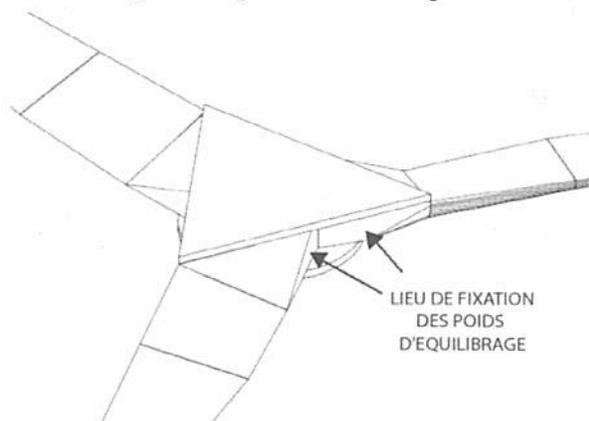
Finalement remettez le disque de contreplaqué et mettez l'ensemble des vis.

Vous pouvez démonter l'ensemble pour le peindre ou pour le transporter. Si vous voulez le coller, vous pouvez mais ce n'est pas nécessaire. L'ensemble fixé ainsi est très solide. Sous certains climats, le contreplaqué a une courte durée de vie, il est dans ce cas préférable d'utiliser du plastique ou du métal. Du contreplaqué bien peint dure assez longtemps pour les autres endroits. On peut placer un nez devant le triangle. Cela améliore le rendu général et protège le contreplaqué.

Equilibrage

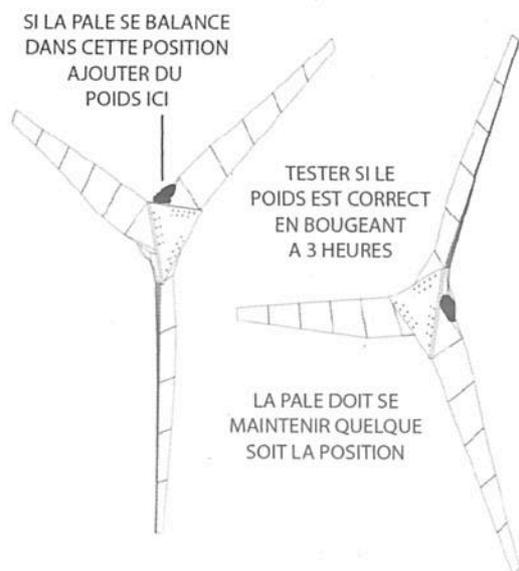
Le centre de gravité des pales doit être au centre de rotation sinon l'éolienne va vibrer et des parties vont casser (le safran tombe généralement en premier).

Même si les pales ont été parfaitement réalisées, le centre de gravité des pales va être décalé car la densité du bois n'est pas uniforme. Pour déplacer le centre de gravité, on attache des poids (bout de métal, plomb de pêche..) en pied de pale derrière le triangle mais la position exacte dépend de l'équilibrage. Certaines fois on est obligé de les placer dans une partie visible.



Equilibrage sur pied

Le moyen le plus simple pour faire l'équilibrage est d'assembler les pales en position avec l'alternateur sur un mat d'essai. Cela a plusieurs avantages: on corrige le déséquilibre éventuel de l'alternateur et on ne prend pas en compte le centre d'équilibre des pales (qui peut



être faux). Cependant, il faut effectuer l'opération en intérieur car le moindre vent peut rendre impossible la détection d'un déséquilibre.

Idéalement, il faudrait effectuer l'équilibrage sans le joint du moyeu et avec le minimum de graisse. La première étape consiste à regarder comment les pales se positionnent d'elles même. En cas de déséquilibre, elles vont danser comme un pendule autour d'une position préférée (la où le centre de gravité est le plus bas).

Ajoutez du poids au dessus du centre (opposé au centre de gravité). Vérifiez que le poids convienne en vous assurant que la pale n'a pas tendance à tourner quelque soit sa position.

Arrivé à ce moment, il se peut que la pale soit suffisamment bien équilibrée pour avoir une rotation lisse. Mais si le moyeu est un peu dur, il peut être difficile d'effectuer un travail précis. Il est bon de compléter l'opération par l'ajustement suivant.

Equilibrage fin

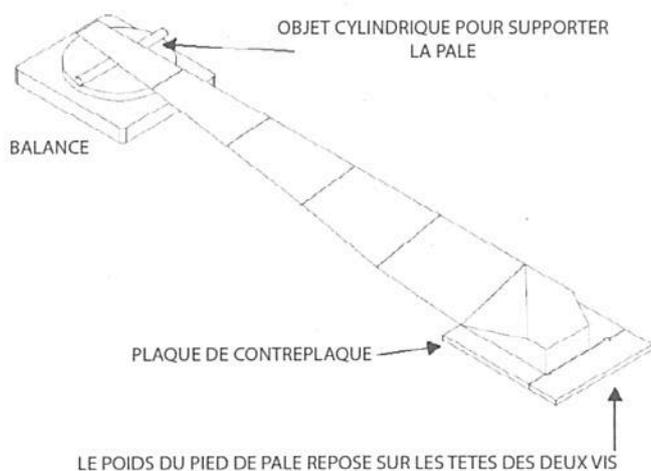
Attachez un faible poids (écrou) à l'aide d'un câble électrique rigide de façon à pouvoir le positionner le long du bord d'attaque de la pale. Mettez une pale en position horizontale et posez le poids dessus pour voir si la pale se met à tourner. Si la pale ne démarre pas déplacer ce poids en direction du bout de pale jusqu'à trouver la position où le couple est plus fort que la friction entraînant la rotation de la pale. Mesurez la distance au centre et faites le même test sur les deux autres pales. Si la distance est la même pour chaque pale alors les pales sont bien équilibrées.

Si le déplacement du poids conduisant au démarrage de la pale est léger, cela veut dire que la pale est un peu plus lourde. Ajoutez du poids à l'opposé de cette pale pour déplacer le centre de gravité. Répétez le test et ajustez l'équilibrage jusqu'à ce que chaque pale commence à tourner pour une même position du poids.



Autre méthode d'équilibrage

Si les pales sont trop grandes pour être assemblées à l'intérieur, vous allez devoir les équilibrer une par une. Cette méthode ne fonctionne que si les pales sont parfaitement centrées par rapport à l'alternateur. Une erreur ruinera l'équilibre final.



Vous pouvez comparer le poids de chaque pale pour vérifier si l'ensemble va être bien équilibré mais ce n'est pas suffisant. Ce que vous recherchez est la «masse en fonction du moment ». Le plus simple pour déterminer la masse en fonction du moment est de positionner la pale sur un pivot en pied de pale et de mesurer la masse de ce bout. Comparez ces valeurs. Faites attention de prendre les mesures de poids exactement à la même distance du pied de pale de telle façon à avoir une masse qui correspond au même moment (à la même distance). Dans le schéma, un bout de contreplaqué sur lequel sont fixées 2 vis est utilisé pour le pivot du pied de pale sur lequel est fixé deux vis. Les deux vis pivot sont dans l'alignement du pied de pale. Vissez le contreplaqué sur le dessous de la pale. Positionnez l'ensemble sur les deux premières vis. Posez le bout de pale sur la balance. Garder les mêmes réglages pour les trois pales. Si il y a des différences sur la masse, ajoutez du poids sur la plus légère jusqu'à obtenir la même lecture.

Equilibrage sur un pic

Il est possible d'équilibrer l'hélice à l'intérieur d'un local en la plaçant à plat sur un pic. Percez un petit creux dans une plaque de métal et fixez cette plaque



sur le contreplaqué. Le centre de la plaque doit être parfaitement positionné sur celui des pales. Mettez un pic (un pointeau) dans un étau et posez délicatement l'ensemble sur ce pic. Regardez de quel côté la pale va pencher et rajoutez du poids sur le côté opposé. Refaites le test.

C'est un test très sensible mais qui dépend fortement de la qualité du centrage. Lorsque vous positionnez les pales mettez des cales en dessous des trois bouts de pale de façon à avoir une faible liberté de mouvement. Vous avez juste à observer la pale qui repose sur la cale. A la fin vous devez avoir les pales qui reposent sur les trois bouts.

Equilibrage dynamique

La rotation des pales doit se faire dans le même plan, sinon il y aura un déséquilibre dynamique. Vérifiez que les bouts de pales soient dans le même plan en plaçant un objet (comme un marteau par exemple) qui effleure le bout de pale. Faites tourner l'éolienne jusqu'à ce que le bout d'une autre pale soit à la hauteur du repère. Mesurez l'écart. Une petite erreur (disons en dessous de 1% de la longueur de la pale) n'est pas un problème mais si l'on observe une erreur plus importante il faut la corriger. Il est difficile de trouver une rondelle qui soit assez fine pour compenser une petite erreur. Il est plus simple de serrer les boulons d'un côté pour forcer la pale à s'aligner.

Finition

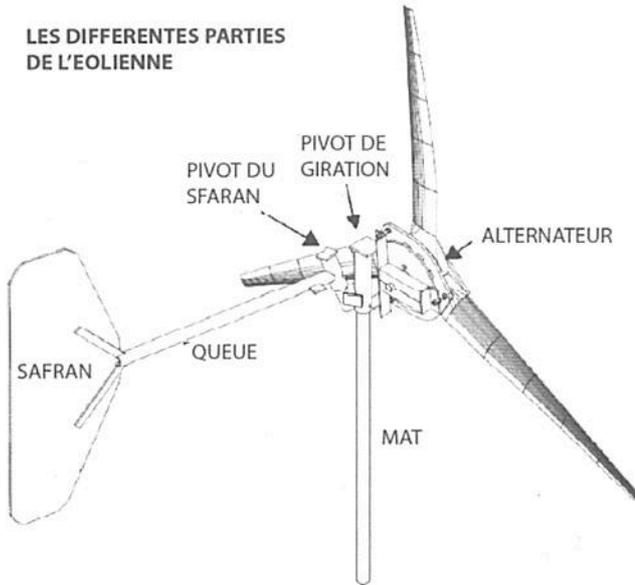
Une peinture bois spéciale extérieure de bonne qualité est le meilleur choix pour la protection des pales. Le vernis va souffrir des UV et a tendance à ne pas durer très longtemps même si le rendu est joli. Préparez bien le bois, faites plusieurs couches, poncez les et rajoutez une dernière couche de laque.

Pour des enduits un peu plus naturels, on peut utiliser de l'huile de lin seule ou mélangée avec de l'essence de térébenthine à hauteur de 30%. Cela permet de garder le motif naturel du bois.

Le bord d'attaque des pales peut se dégrader avec le temps, surtout si l'éolienne est autorisée à tourner librement sans connections sur des batteries pour contrôler la vitesse. Vous pouvez acheter un scotch « spécial bord d'attaque » pour les hélices, mais il ne colle pas toujours très bien. Une autre solution est de refaire le bord d'attaque avec de l'époxy et du mastic pour une finition robuste.

Mécanique

LES DIFFERENTES PARTIES DE L'EOLIENNE



Le pivot de rotation

Comme le vent change de direction, l'éolienne doit en faire de même. Cette opération est réalisée à l'aide du pivot de rotation, interface entre le mat et la nacelle.

Le pivot de rotation est constitué de deux tubes de métal posés l'un dans l'autre. Le plus petit est le tube intérieur qui est soudé sur le haut du mat. Il faut souder une épaisse plaque de métal sur le tube le plus large. Cette plaque empêche l'ensemble de tomber le long du tube. Vous devez garder cette surface de contact bien graissée. Dans les régions humides, il faut empêcher l'eau de rentrer dans le pivot. Pour les machines plus lourdes il est recommandé de souder une rondelle sur le dessus du tube intérieur pour augmenter la surface de contact. On peut faire plus simple en posant juste une ou deux rondelles. Le tube extérieur vient se positionner au dessus de l'ensemble et tourne librement.



Vous trouverez dans le tableau ci-dessous les tailles de tube recommandées en tailles standards et la correspondance en mm. Pour les épaisseurs de tube, il est recommandé d'utiliser au moins du 3 mm.

Tailles des tubes			
Diamètre turbine	1200	1800-3000	3600-4200
Tube haut du mat	33.4 mm	48.3 mm	76 mm
Tube extérieur	42.3 mm	60.3 mm	88.9 mm

Le tube intérieur supporte une forte charge surtout dans les sites turbulents lorsque la turbine change de direction à pleine vitesse. La force gyroscopique résultante est très importante. Utilisez du tube épais supérieur ou égal à 5 mm.

Ce montage peut sembler rudimentaire mais il fonctionne parfaitement. Les systèmes plus complexes ont tendance à casser ou se gripper. La friction provenant de ce montage un peu grossier est plutôt bénéfique pour les vents faibles évitant les rotations inutiles conduisant à un enroulement du câble qui descend dans le mat.

La connexion électrique est également peu élégante. Les câbles sortant de l'alternateur passent par un trou situé au centre du capot du tube pivot et descendent librement à l'intérieur du mat. Il est important d'utiliser du câble robuste mais souple et de l'accrocher de façon sécurisée. Laissez du mou au pied de la tour. Sur un bon site, le câble va s'enrouler progressivement et il faudra le dénouer au bout d'un an environ.

La photo montre le tube pivot avec une plaque d'acier sur le dessus. Le bout en forme de C est un passe câble pour le fil qui entre dans la tour. Le câble sera fixé sur le C avec un colson qui lui empêchera de bouger.



Certaines personnes préfèrent utiliser un système pivotant (avec bague et charbon) pour éviter que le câble se torde. Si le système est bien réalisé et suffisamment protégé des intempéries c'est une bonne alternative. Si c'est l'option retenue, je recommande un montage plus précis au niveau de l'emboîtement des tubes.

Pour un site peu turbulent, un montage grossier du câble pendu va fonctionner parfaitement pendant plusieurs années sans qu'on y prête attention. Pour un site turbulent, vous pouvez mettre un prise que vous débranchez/rebranchez pour contrôler l'enroulement.

L'alternateur

Il est composé d'un ou deux rotors aimantés qui tournent avec les pales et d'un stator qui est monté sur la nacelle fixe. Le premier objet à choisir lors de la construction de l'alternateur est le moyeu qui supporte les rotors et les pales.

Choix du moyeu

Les moyeux arrière de voiture ou de camionnettes sont des bons choix pour les turbines. Pour les petites machines, on peut utiliser des moyeux de petite voiture (punto, polo, golf...) ou de remorque avec 4 points de fixation avec un diamètre de l'ordre de 100mm. Pour les plus grandes machines (à partir de 3,6m), il faut utiliser des moyeux de camionnettes types boxer, J5, ford courrier... avec une collerette à 5 ou 6 points de fixation. Le moyeu est potentiellement

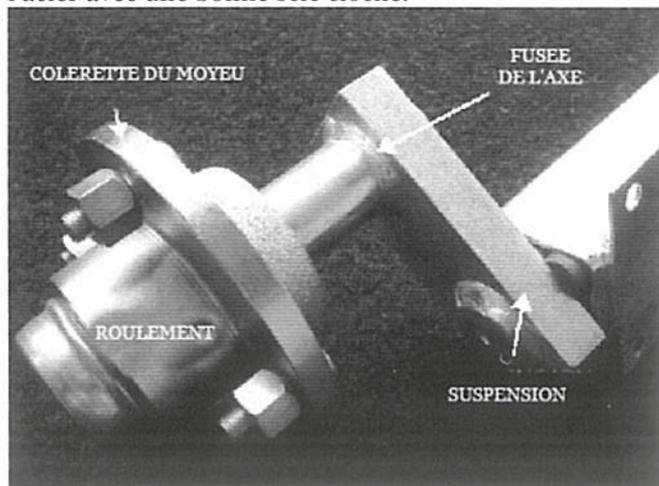


une source de problème surtout sur les sites avec des vents forts, il est donc important de faire un bon choix.

Sur la photo, on peut voir le moyeu d'un van avec à gauche la collerette au milieu la fusée et les deux roulements coniques.

Vous pouvez trouver des moyeux de tous types dans les casses automobiles. La principale chose à vérifier est le moyen de fixation de la fusée, idéalement c'est une surface plate que l'on peut fixer directement sur la nacelle. Si c'est possible, trouvez simplement le moyeu sans le système de freinage car il vous faudra l'enlever. Souvent le tambour est tenu en place à l'aide de vis que vous pouvez enlever au marteau. Dans certains cas c'est une partie intégrale du moyeu qu'il faut découper à la disceuse. Faites une découpe en cercle ou en carré juste à l'extérieur des points de fixation. Faites attention à ne pas griller votre disceuse.

Les moyeux de remorque sont également un bon choix car ils sont neufs et peuvent être achetés sur internet. Vérifiez que vous avez l'axe central avec le moyeu. La base de l'axe est souvent une simple fusée qu'il faut souder dans un gros trou découpé au milieu de la nacelle. C'est plus facile de couper des gros trous dans l'acier avec une bonne scie cloche.



Sur la photo, on voit un petit moyeu de remorque dont l'axe de rotation est soudé sur un système de suspension. Vous devriez acheter un moyeu avec une fusée démontable et la souder sur le cadre de l'alternateur. Vous pouvez faire sortir la fusée avec un marteau et monter le rotor sur la collerette à la place des roues. La petite machine de 1200 avec un seul rotor devra être montée sur le dos de la collerette.

Les moyeux sont généralement scellés par des joints spi. Le caoutchouc fait l'étanchéité contre les salissures et la moisissure, mais freine la rotation. Dans des

endroits peu ventés, certaines personnes préfèrent retirer ce joint pour augmenter la production. Inévitablement, cela réduit la durée de vie du moyeu.

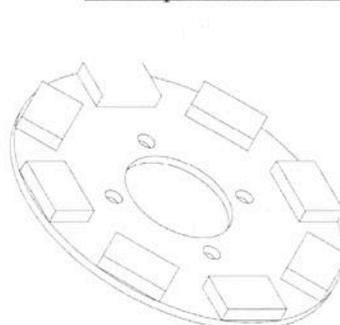


Les moyeux à roulement conique sont faciles à démonter donc à nettoyer. Enlevez le capuchon puis l'écrou, le moyeu et la fusée vont se séparer. Après un nettoyage à l'essence, graissez généreusement mais pas excessivement.

Remontez l'ensemble et serrez l'écrou jusqu'à ce que le moyeu tourne librement sans avoir de jeu. Bloquez l'écrou avec les systèmes de blocage.

La taille des écrous pour le montage de la fusée sur la nacelle devrait être de 10 mm pour les trois petites machines et de 12 voir 14 mm sur les plus grandes. Si le trou existant est trop petit il faut l'agrandir. Mesurez l'écartement des trous en étant très précis, faites un dessin et commandez les disques chez un spécialiste. Gardez en tête que 100 mm et 4" PCD sont tous les deux des tailles courantes mais qu'elles ne sont pas identiques.

Le disque du rotor aimanté



Sur le schéma de gauche on voit le disque de la petite machine avec les aimants positionnés. Toutes les autres turbines utilisent deux rotors avec un positionnement radial des aimants comme montré sur la photo de droite.

Tailles des disques d'acier mm			
<u>Diamètre turbine</u>	<u>1200 (un seul)</u>	<u>1800</u>	<u>2400</u>
DIAMETRE	230	250	300
EPAISSEUR	6	6	8
<u>Diamètre turbine</u>	<u>3000</u>	<u>3600</u>	<u>4200</u>
DIAMETRE	350	400	450
EPAISSEUR	10	10	10

Les disques doivent être en acier et non pas en aluminium, contreplaqué, plastique... car ils doivent conduire le champ magnétique. Les disques peuvent être découpés au chalumeau, il est préférable de les amener chez un spécialiste qui les découpera plus précisément à l'arc plasma, au jet d'eau ou au laser. Ca

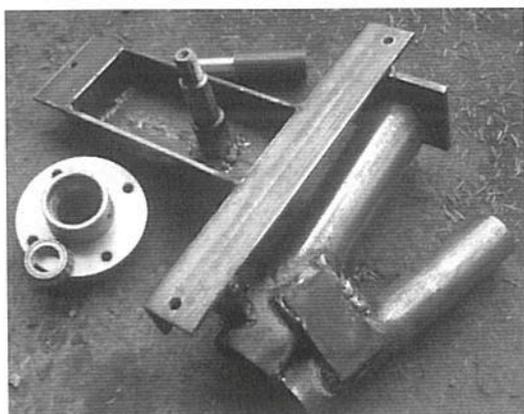
ne coûte pas trop cher (20-30 euros) et les trous sont découpés précisément.

S'il vous est impossible de le faire faire alors faites une découpe à l'acétylène et percez les trous de fixation en centrant bien le moyeu et en perçant à travers les trous du moyeu. N'essayez pas de percer en mesurant et en marquant les trous. Cela ne sera jamais précis. Percez à travers les trous existants du moyeu et mettez un boulon dans le trou que vous venez de finir. Je ne sais pas pourquoi mais avec cette méthode on est jamais parfaitement symétrique.

Faites attention à découper le trou central du disque assez large de manière à ce que le rotor soit parfaitement plat sur la collerette. Dans certain cas, il est préférable de fixer le disque sur le dos du moyeu mais ce n'est pas simple à moins que la collerette soit usinée à l'arrière (plate). Dans certain cas, le moyeu peut être renversé sur son axe mais c'est un risque pour le capot et le joint. Le rotor de la petite machine de 1200 doit être monté sur le dos de la collerette choisissez donc un moyeu qui convient (polo, golf).

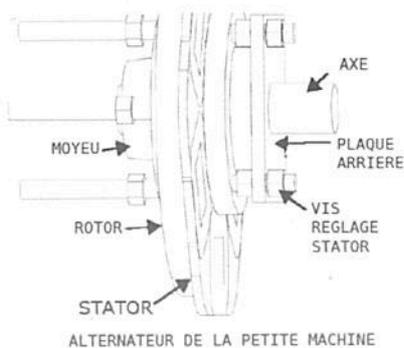
La nacelle

La nacelle sur laquelle est fixée la fusée du moyeu supporte également le stator. Le centre de l'alternateur est décalé par rapport au pivot de manière à ce que



l'éolienne s'efface par rapport au vent (avec l'aide du safran, système de mise en drapeau que l'on verra plus tard).

La partie de la nacelle (le cadre) qui supporte la machine en 1200 est une simple plaque. Au centre vient se fixer le support de fusée et sur les bords le stator.

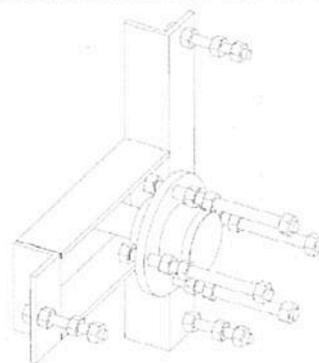


Pour les autres machines, le cadre est soit en forme de T soit en forme de H en fonction du nombre de points de fixation du stator.

Sur le schéma, les courtes tiges filetées avec les boulons sont pour le montage du stator. Les pales et les rotors sont positionnés sur les longues tiges filetées.

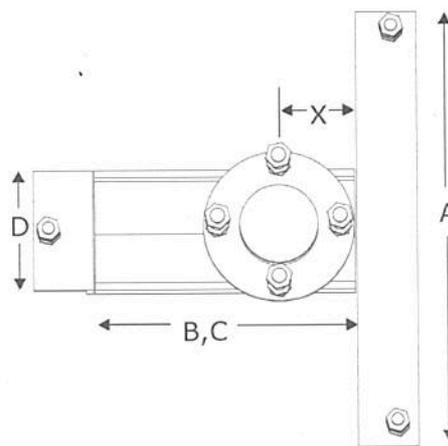
Deux cornières soudées ensemble forment un canal avec une surface plate au milieu. Si le moyeu a une collerette on peut le boulonner sur cette surface plate.

Vous devez monter le rotor le plus près possible de la nacelle pour avoir les tiges filetées (pour le montage du stator) les plus courtes possibles. Certaines fois, il vous faudra monter l'axe du moyeu à travers la nacelle et serrer par derrière.



Si la fusée n'a pas de collerette vous pouvez faire un trou dans la nacelle avec une scie cloche et puis la souder. Si vous n'avez pas de scie vous pouvez découper des demi-cercles avec une meuleuse avant de faire les soudures.

Faites bien attention à monter le moyeu au milieu du



cadre de la nacelle et perpendiculaire aux berceaux. C'est un challenge de souder une fusée perpendiculaire. Commencez par faire des points à différents endroits en gardant en mémoire que le métal se contracte en refroidissant. Si ce n'est pas perpendiculaire, meulez et recommencez.

Les turbines de 1800-3000 ont un cadre en forme de T avec 3 points de fixation pour le stator qui contiennent 9 bobines.

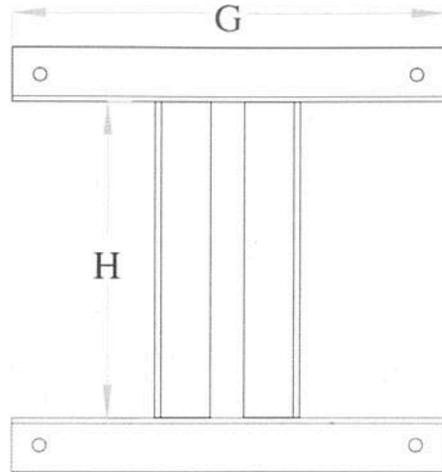
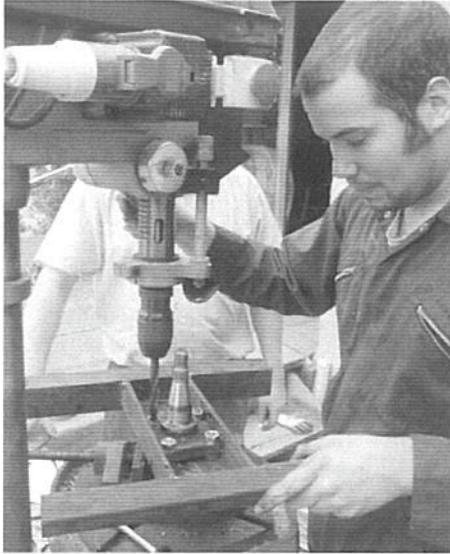
Dimensions du cadre. Cornières 50*50*6 mm			
Diamètre turbine	1800	2400	3000
Longueur A	319	353	411
Berceau B,C	187	216	267
Longueur D	100	100	100-130
Position axe X	55	65	82

A partir d'une cornière de 50*50*6 mm, coupez 4 pièces aux longueurs A, B, C, D. Soudez B et C ensemble pour former un berceau. A et D vont de chaque côté. La face où le stator va être monté doit être plane. Soudez le cadre avec cette face contre une table.

Pour la 3000 de diamètre le moyeu risque d'être plus large donc vous serez obligé de séparer les cornières B et C.

X est la distance entre centre du moyeu et la barre supérieur du T.

Les plus grandes éoliennes avec 12 aimants ont un stator avec 4 points de fixation d'où la nacelle en forme de H. Le berceau formé par les deux cornières doit être assez large pour permettre au moyeu de passer. Dans la plupart des cas on a un espace entre les deux (schéma).



Montage de la génératrice sur le pivot

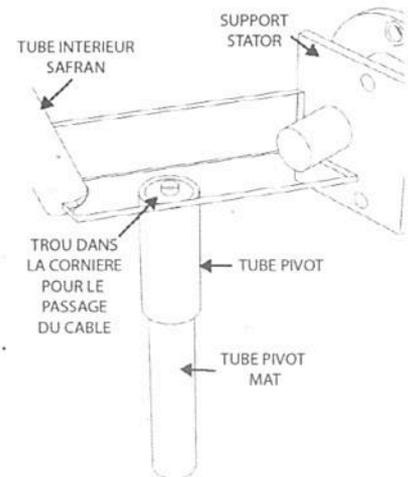
Les soudures entre le cadre de la génératrice et le tube pivot doivent être très solides. L'axe du moyeu doit être décalé pour permettre la mise en drapeau.

Déport latéral entre le centre de l'alternateur et le centre du pivot en mm			
Diamètre turbine	1200	1800	2400
Déport	60	100	125
Diamètre turbine	3000	3600	4200
Déport	150	200	250

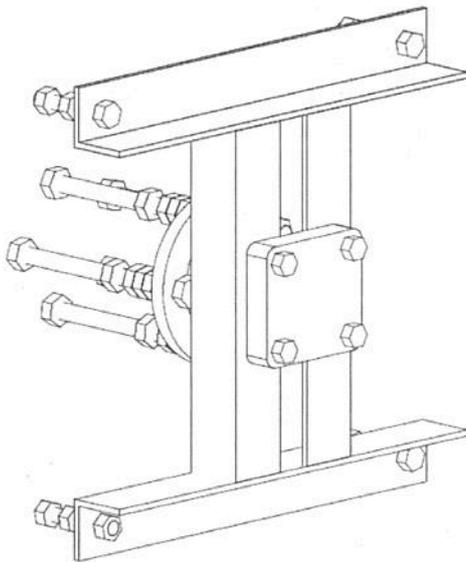
Le cadre de l'alternateur est légèrement incliné (4 degrés) et légèrement en porte-à-faux (ou les deux) pour avoir assez de distance entre le bout des pales et le mat. Sur un site turbulent, les forces gyroscopiques peuvent pousser les pales contre le mât lors d'une brusque rotation de la nacelle.

La 1200

La nacelle de la petite turbine est très simple : une cornière (50*50*6 mm) qui supporte d'un côté la plaque sur laquelle est fixée l'alternateur et de l'autre le tube intérieur du pivot du safran.



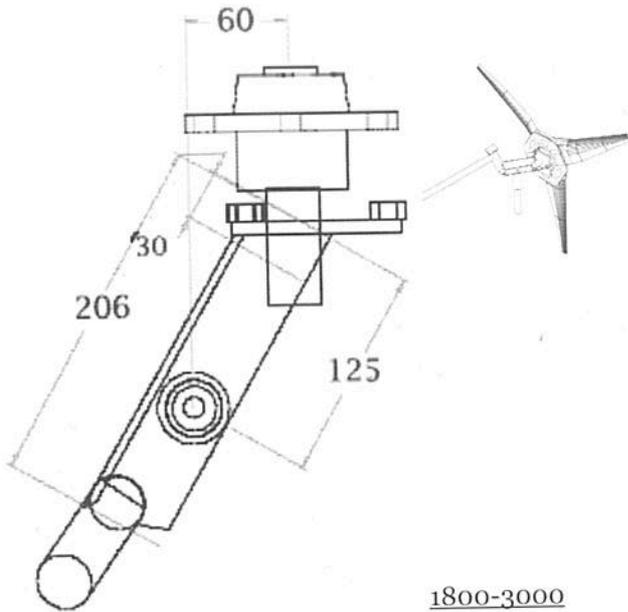
La longueur totale est de 206 mm. Le bout qui tient l'alternateur est découpé à 30 degrés environ comme Montré sur le schéma.



Sur la figure ci dessus, on peut voir que la collerette de la fusée du moyeu est fixée à l'arrière du cadre et le moyeu passe à travers le cadre. C'est un bon moyen de garder les tiges de fixation du stator courtes quand l'axe du moyeu est long. Vous pouvez ajuster la position du rotor par rapport au cadre de différentes manières. Par exemple, vous pouvez utiliser des écrous pour augmenter l'écart entre le cadre et la collerette de la fusée ou entre la collerette du moyeu et le rotor. J'aime bien avoir le rotor le plus proche possible du cadre pour garder des tiges courtes pour le montage du stator.

Dimensions du cadre. Cornières de 50 X 50 X 6 mm		
Diamètre turbine	3600	4200
G	380	430
H	280	330

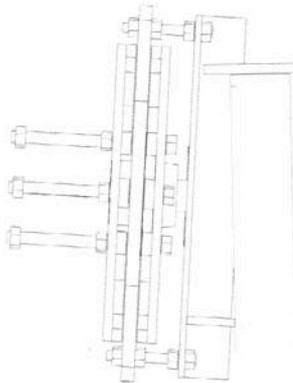
Vue de dessus de la 1200



Turbine

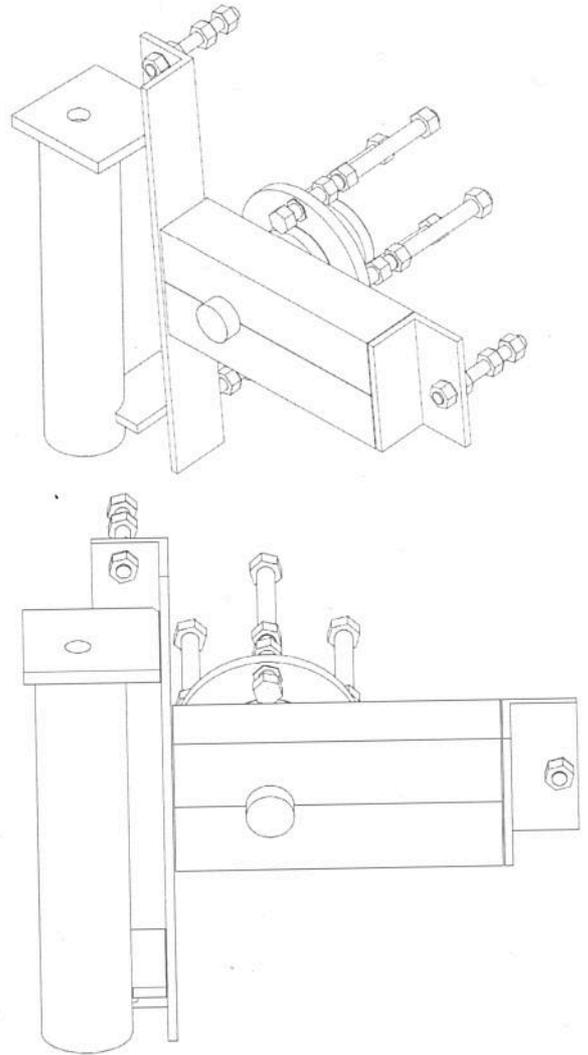
Elles ont toutes un cadre en forme de T. Le tube pivot extérieur est soudé sur la barre supérieure du T. (schéma)

Soudez une pièce carré sur le dessus du tube (avec un trou central pour le passage du câble) Positionnez le à l'intérieur de la cornière (meulez pour avoir des angles doux).

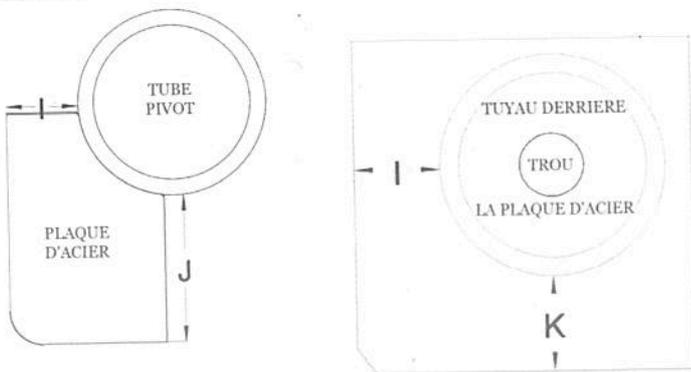


1800-3000

Tube pivot et cales métal en mm			
Diamètre turbine	1800	2400	3000
Longueur tube pivot	240	280	331
I	9	24	32
J	37	45	53
K	20	25	30



Ci dessous voici les deux pièces qui vont être soudées sur le tube de giration. Dans les deux cas ces pièces viennent se positionner à l'intérieur de la cornière A de la nacelle



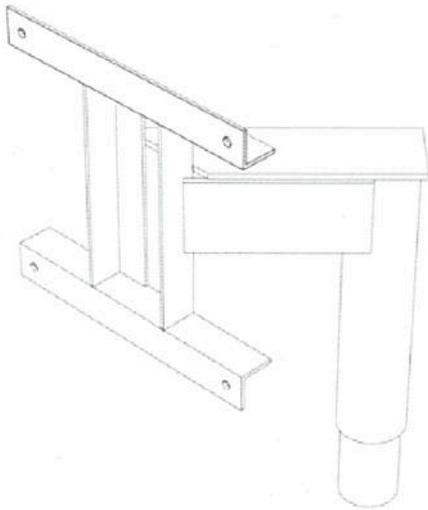
La longueur I crée un espace de coté entre le tube et la nacelle, la longueur K crée un « recul du tube ». La cale de gauche à la même cote I mais à un recul J plus important. Les distances J et K permettent de créer l'angle de 4 degrés entre l'alternateur et la verticale.

3600 et 4200 turbines

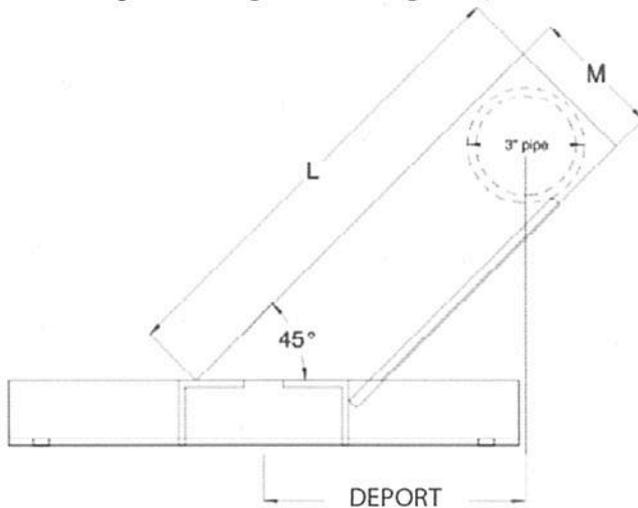
Utilisez du fer plat (100*100*10 mm) pour couvrir le tube pivot qui va servir à tenir le H de la nacelle avec un angle de 45 degrés comme ci-dessous.

Utilisez un autre morceau de ce même fer plat que vous soudez en dessous pour renforcer l'ensemble. Pensez à respecter le déport entre le centre du pivot et l'alternateur (voir page suivante). Le tube de 89 mm est sous le premier fer plat dans la position ci dessous.

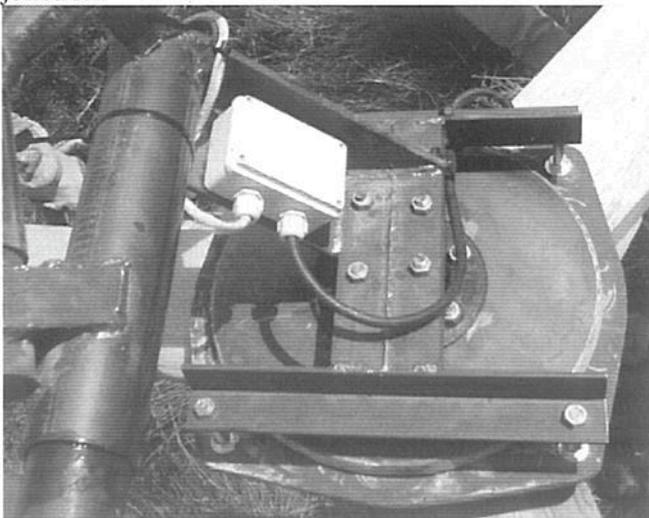
Tailles des fers plats 100*10 mm		
Diamètres turbines	3600	4200
Déport	200	250
L	360	430
M	100	100



La longueur exacte du tube pivot de 89 mm n'est pas critique. Je recommande entre **400 mm** et **500mm** avec une épaisseur supérieure ou égale à **3 mm**.

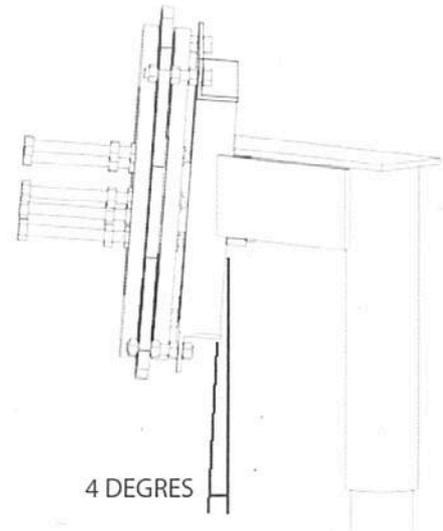


Sur la photo, on peut voir la position de la boîte de jonction.



La position surplombante de l'alternateur permet de garder les pales hors du mat et aide aussi à la mise en drapeau en cas de vents forts. Vous pouvez rajouter une marge de sécurité pour éviter que les pales touchent le mat en inclinant le H comme montré ci dessous. Le coin supérieur du second fer plat va être

plus long de **7 mm** que le coin inférieur pour obtenir **4 degrés**.



La queue du safran

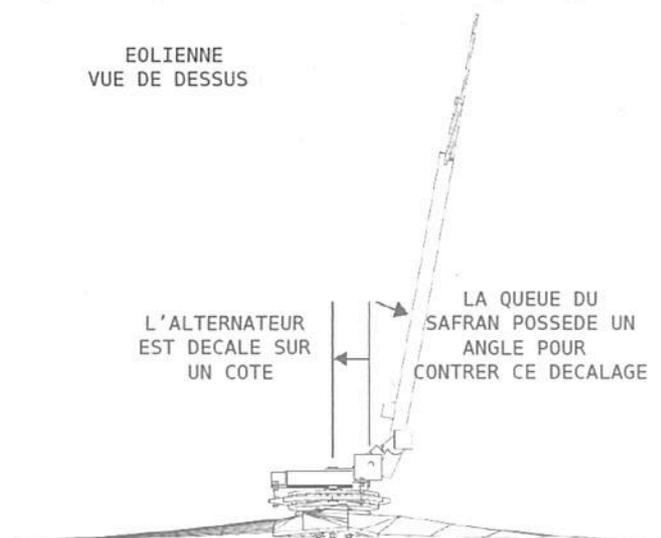
La mise en drapeau

La queue du safran est un morceau de contreplaqué vissé sur des fers plats qui sont soudés sur le tube d'acier. Là pression du vent pousse le safran de façon à ce que celui-ci soit face au vent en pivotant sur le tube de rotation. Cependant, le safran a un rôle plus important que le placement face au vent. Le safran sert aussi à la mise en drapeau lorsque le vent (environ 10 m/s) est fort pour éviter une surcharge de l'alternateur.

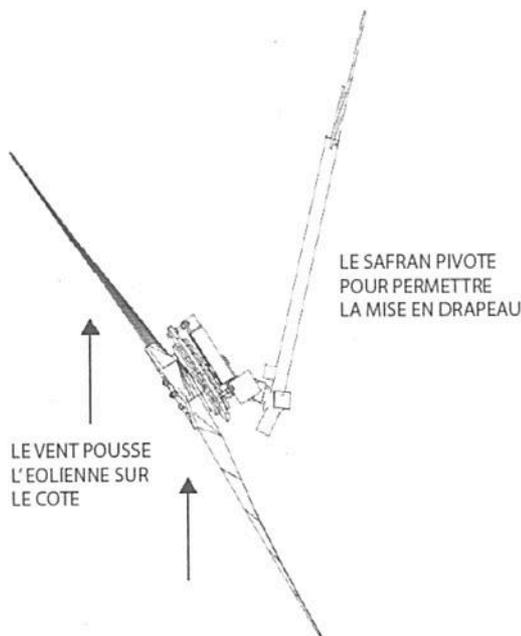
La génératrice est déportée pour que la poussée du vent tende à mettre les pales hors du vent c'est-à-dire en drapeau. La queue possède un léger angle dans le sens opposé pour contrebalancer cette tendance et permettre à la machine de rester bien face au vent en dessous de la vitesse limite choisie pour le déclenchement de la mise en drapeau (autour de 10 m/s).

La queue du safran est montée sur un pivot qui lui

EOLIENNE
VUE DE DESSUS



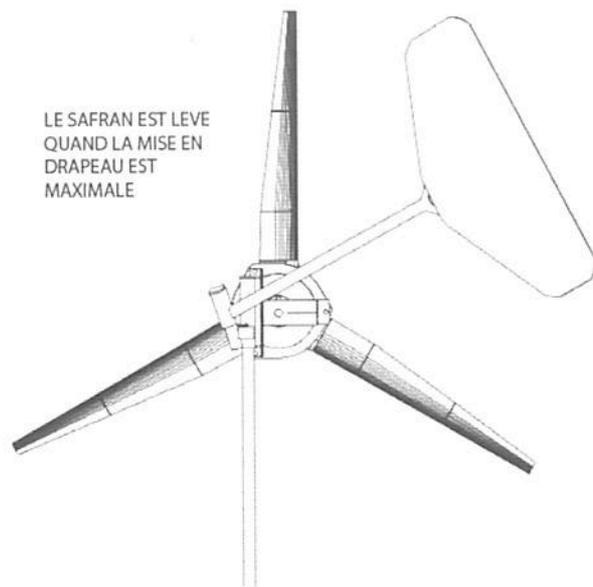
permet de se déplacer de sa position normale quand le vent dépasse une certaine poussée. A la vitesse de vent choisie, la queue du safran ne peut plus permettre à la turbine de rester face au vent. L'hélice se met en drapeau, alors que le safran demeure face au vent tout en se déplaçant légèrement en hauteur de façon à faire contrepoids pour que l'hélice se remette face au vent lorsque le vent s'affaiblit. Lors de la mise en drapeau, la poussée du vent est réduite, Un nouvelle équilibre est établi qui limite la poussée du vent sur la machine.



Le safran doit avoir une surface assez grande pour contrôler les pales et surmonter la tendance des pales à se mettre hors du vent. Dans le cas contraire, la turbine ne sera jamais face au vent. C'est une considération différente de la mise en drapeau. Pour une mise en drapeau correcte la longueur et le poids de la queue sont les critères à prendre en compte. En alourdissant la queue du safran, on peut retarder la mise en drapeau. Avec un safran plus léger, le safran se mettra plus rapidement en drapeau, la durée de vie de la machine augmentera mais elle produira moins. Cela n'aura aucune influence dans des conditions de vents faibles.

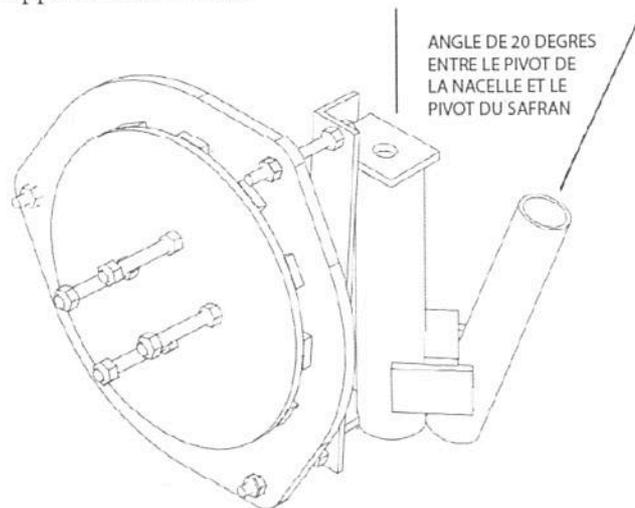
Quand la machine est en drapeau, les pales continuent de tourner mais plus lentement de façon à ne pas dépasser la puissance maximum de surcharge de l'alternateur. L'hélice peut aller dans une position quasiment parallèle à la pale permettant à celle-ci d'avoir une surface minimum face au vent et ainsi d'échapper à la violence du vent.

La mise en drapeau fonctionne parfaitement pour limiter la puissance et la vitesse tant que l'alternateur est connecté mais il n'empêchera pas une turbine déconnectée de s'emballer.



L'articulation du safran

L'articulation du safran se fait à l'aide de deux tubes emboîtés l'un dans l'autre, un peu comme le pivot de giration. Le tube intérieur est fixé sur le tube extérieur du pivot de giration avec un angle de **20 degrés** par rapport à la verticale.



Les soudures doivent être bien réalisées car c'est un point faible qui peut poser problème surtout avec des soudeurs débutants. Lorsque les pales sont déséquilibrées la queue commence à faire des petits bonds et peut tomber. Pour obtenir les 20 degrés, soudez un fer plat de **30 mm à 85 mm** du bord du tube pivot intérieur du safran. Le fer plat et le tube sont perpendiculaires. Pour une éolienne raccordée sur des batteries, je recommande un angle de **15 degrés**. On peut obtenir cet angle en coupant le fer plat de **30 mm** en **22 mm** et en le soudant à **85 mm** du bas du tube pivot intérieur du safran.

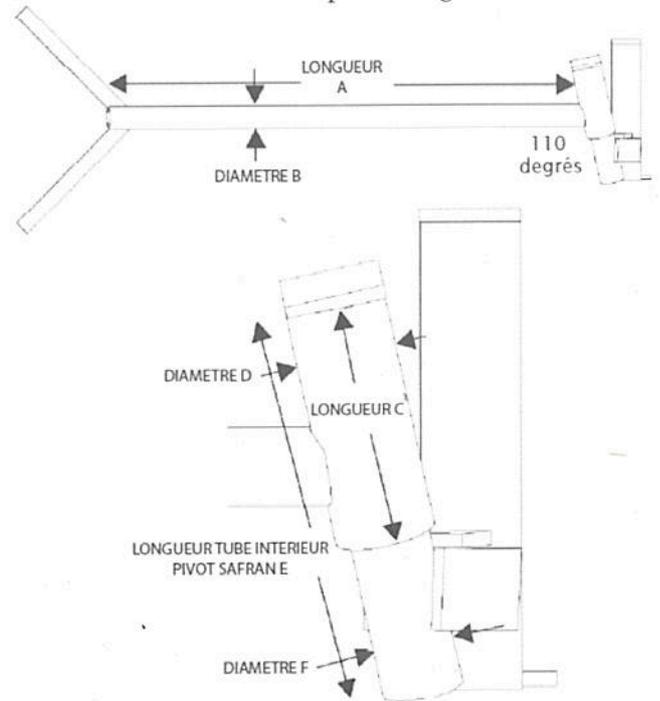
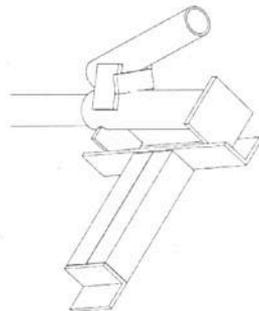
Soudez ensuite le tube intérieur sur le tube extérieur près du bas de ce dernier et ajouter deux renforts sur le côté en utilisant du fer plat de 50 mm de large par exemple.

La queue du safran

Sur le dessus du tube (extérieur) faisant l'articulation du safran, vous devez souder un plaque de métal qui servira de butée pour le tube intérieur et empêchera l'eau de pénétrer (ce qui emporterait la graisse). Pendant la soudure faites attention de ne pas mettre de laitier à l'intérieur car il pourrait gêner la rotation.



Un bon moyen de souder l'ensemble est de fixer la nacelle dans un étau. Le cadre de la nacelle et l'horizontale forment un angle de **55 degrés**. Les axes des deux tubes sont dans le même plan vertical (Utilisez un niveau pour le vérifier).



Dimensions des tubes en mm			
Diamètres turbine	1200	1800	2400
Longueur A	700	800	1000
Diamètre B	33.4	48.3	48.3
Tube exté C	130	100	150
diamètre D	42.2	60.3	60.3
Tube inté E	150	200	250
Diamètre F	33.4	48.3	48.3
Diamètres turbine	3000	3600	4200
Longueur A	1200	1500	1800
Diamètre B	48.3	48.3	48.3
Tube exté C	200	200	250
diamètre D	60.3	88.9	88.9
Tube inté E	300	300	350
Diamètre F	48.3	76	76

LE TUBE INTERIEUR DE PIVOT DU SAFRAN
PRET A ETRE SOUDER

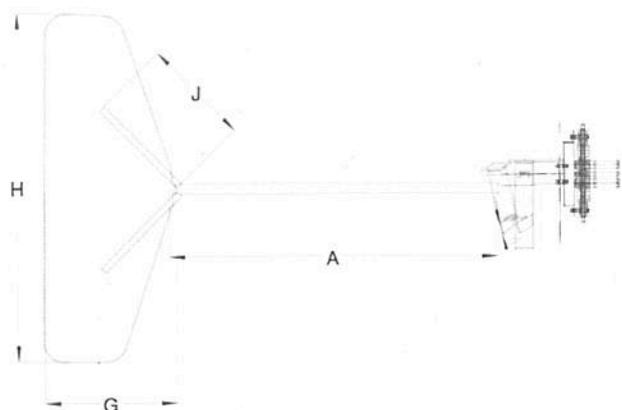
LE TUBE PIVOT DU SAFRAN
EST A L'HORIZONTALE

L'ALTERNATEUR ET LE PLAN
HORIZONTAL FORME
UN ANGLE DE 55 DEGRES



Soudez la queue avec le tube d'articulation en respectant un angle de **110 degrés**. Quelques renforts sont les bien venus car c'est une partie fragile de la machine surtout pour les turbines de plus de 3 m. Dans le cas de la 1200 et 1800 mm vous pouvez aplanir le métal et le couper avec un angle de **110 degrés**. Les plus grandes machines, ont des longues queues de safran qui engendrent beaucoup d'effort sur le tube de 48.3 mm. Découpez le tube de la queue de façon à ce qu'il épouse parfaitement la forme du tube de l'articulation. Ajoutez un triangle pour renforcez la jointure.

Le safran



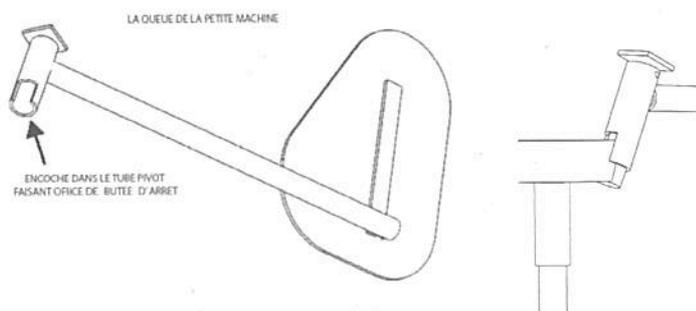
Pour le safran laissez libre cours à votre imagination. En effet la forme est libre, il faut juste respecter la surface donnée dans le tableau ci dessous. Si la surface est trop petite, la queue ne pourra garder les pales en face du vent. Le poids de la queue contrôle le comportement de l'éolienne par vent fort. Je recommande donc de suivre les tailles ci dessous.



Certaines personnes aiment faire des formes complexes mais il faut garder à l'esprit que l'éolienne est vue comme un ensemble et la forme doit respecter une certaine cohérence esthétique.

Butée d'arrêt

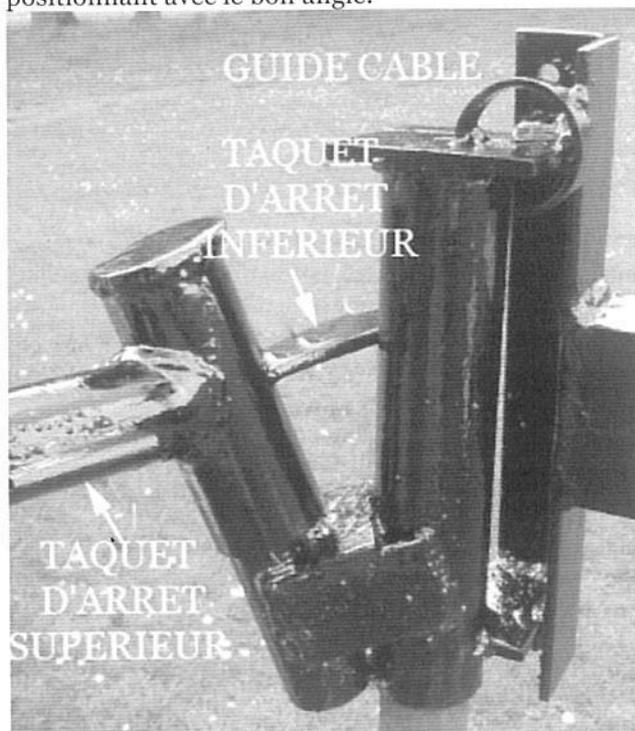
La queue doit pouvoir se déplacer sur à peu près 90 degrés. Vous allez devoir créer des butées pour limiter la plage de déplacement.



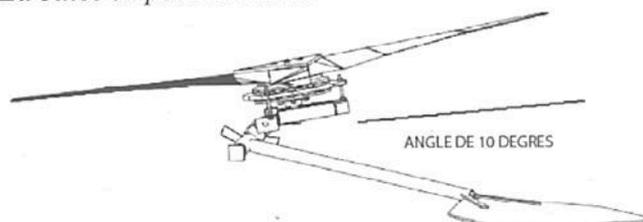
Pour les 2 plus petites machines, vous pouvez faire une encoche dans le tube d'articulation comme sur le schéma.

L'encoche passe par dessus la cornière qui supporte l'intérieur de l'articulation.

Les autres machines ont besoin de butées qui sont soudées sur le tube d'articulation. La butée pour la position basse (en fonctionnement normal), une autre pour la position haute (mise en drapeau maximum). Le plus simple pour déterminer la position des taquets et d'assembler la nacelle avec la queue du safran en les positionnant avec le bon angle.

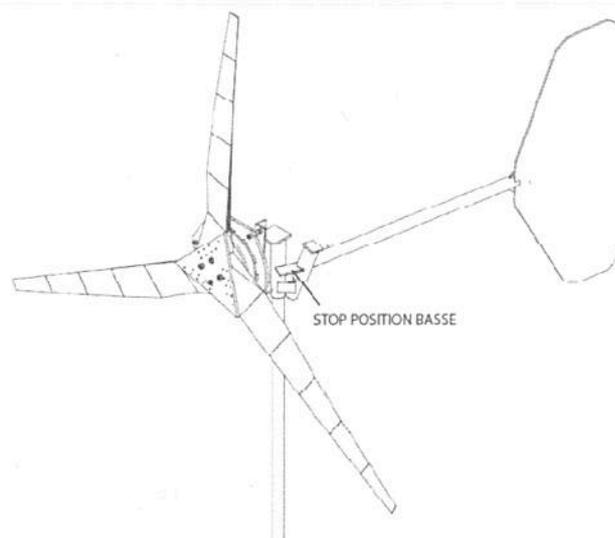
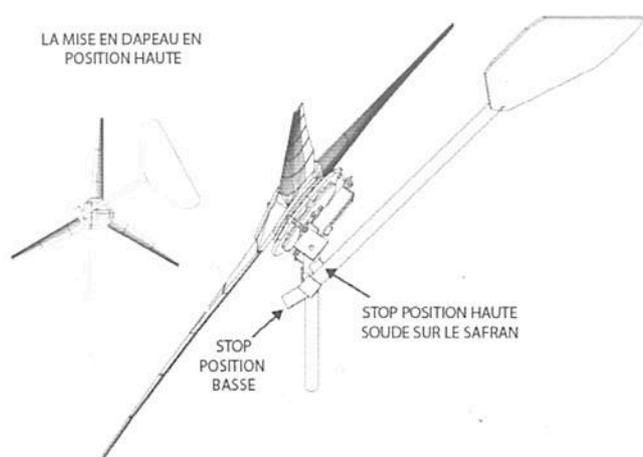


La butée en position haute



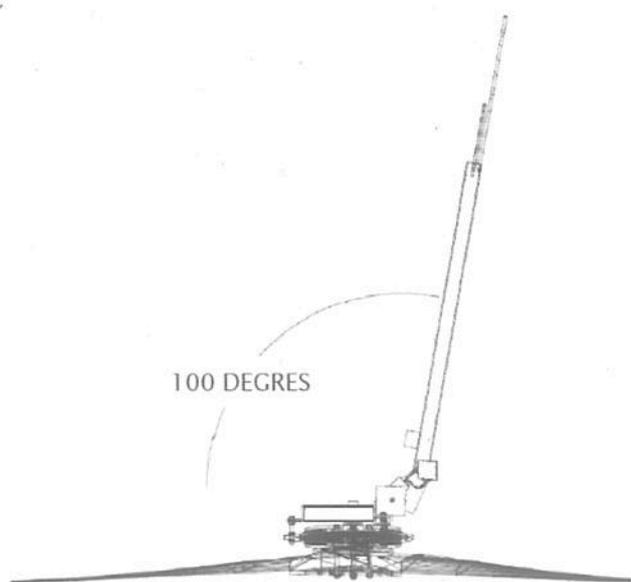
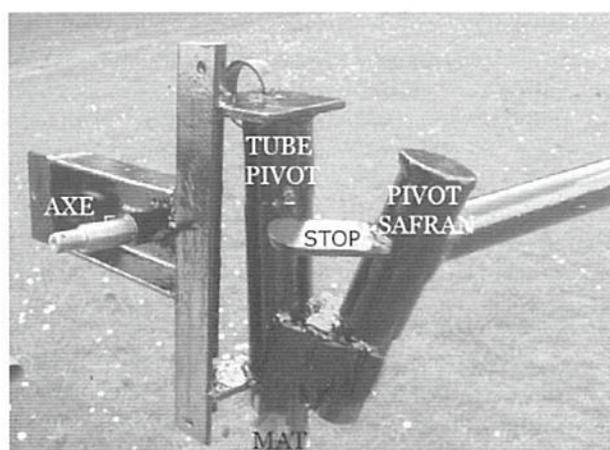
Soudez un morceau de fer plat sur le côté de la queue du safran pour empêcher que le safran entre en contact avec les pales.

Diamètre turbine	1200	1800	2400	3000	3600	4200
Surface safran G X H	20x50 cm	40x100 cm	50x120 cm	70x130 cm	70x 170cm	90x 200cm
Epaisseur contreplaqué	6 mm	6 mm	6 mm	9 mm	6 mm	9 mm
Taille fer plat en mm	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30
Longueur fer plat	Un de 20 cm	2 de 30 cm	2 de 30 cm	2 de 40 cm	2 de 50 cm	2 de 60 cm



La butée en position basse

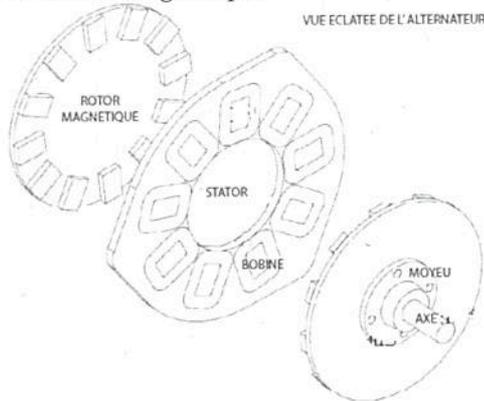
Cela correspond à la position normale de fonctionnement. Il faut que la queue fasse un angle de **100 degrés** par rapport à l'arrière de la nacelle. Soudez un morceau de fer plat sur l'extérieur du tube de l'articulation. Le bout du fer plat doit venir mourir contre le tube pivot de telle façon que la queue ne puisse pas aller plus bas.



Electricité

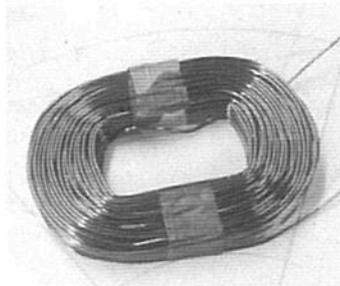
La production d'électricité

L'alternateur, discoïde à flux axial est très simple et facile à reproduire. Un ou deux rotors magnétiques tournent (grâce aux pales) en face d'une série de bobines ; on obtient ainsi de l'électricité. Les aimants sont en face l'un de l'autre avec des pôles opposés. Il y a un fort champ magnétique dans l'espace entre les deux plaques. Les pôles des aimants sont sur leur plus grande face. Le disque d'acier complète le « circuit » magnétique



Dans un premier temps, les aimants sont collés sur la plaque d'acier. L'ensemble est ensuite coulé dans la résine pour protéger les aimants et empêcher qu'ils se désolidarisent.

L'assemblage de bobines est aussi coulé dans de la résine pour former le stator. Ceci est une photo d'une bobine, elle est constituée d'un enroulement de fil de cuivre émaillé. Les bobines sont ensuite connectées ensemble avant d'être moulées.



Le stator est monté entre les deux rotors de façon à faire passer le champ magnétique au milieu de chaque bobine.

Tout changement du champ magnétique passant à travers les bobines va induire une tension dans la bobine. Des mouvements plus rapides ou un champ magnétique plus important vont entraîner une tension plus élevée dans chaque tour de chaque bobine. Trois facteurs sont déterminants pour contrôler la tension produite dans les bobines :

- Vitesse de rotation (tour/minute)
- Force du champ magnétique
- Le nombre de tours d'une bobine.

Pour des faibles vitesses de rotation, les bobines produiront une tension faible. Lorsque l'éolienne

atteint une certaine vitesse « vitesse de charge », la tension devient assez importante pour charger une batterie. C'est uniquement lorsqu'on dépasse cette vitesse que le stator peut envoyer du courant dans la batterie. En dessous de cette valeur, les pales tournent librement sans couple résistant comme lorsque les batteries sont déconnectées.

La puissance est la quantité d'énergie instantanée. La puissance de sortie de l'éolienne va dépendre principalement de la vitesse du vent et de la taille des pales. Les pales fournissent un travail mécanique qui est transformé en électricité par l'alternateur. Un alternateur puissant ne servira à rien s'il n'y a pas assez de puissance mécanique (pales trop petites).

La tension n'est pas la même chose que la puissance. S'il n'y a pas de circuit extérieur connecté sur les bobines, ou si la tension est trop faible pour charger les batteries, l'alternateur tourne librement car aucune énergie n'est convertie. Dans ces conditions, les pales peuvent être bruyantes car elles tournent plus vite. Quand un circuit est connecté, le courant dans les bobines crée une force contre électromagnétique (fcm) qui interagit avec les aimants et qui s'oppose au mouvement des pales.

Le courant se manifeste par un couple (résistance à la rotation). La tension est proportionnelle à la vitesse. La tension (U) combinée avec le courant (I) donne l'énergie électrique (puissance P) Soit $P=U \cdot I$. La vitesse et le couple sont les ingrédients de la puissance mécanique que vous devez avoir en entrée (en utilisant les pales) pour obtenir une puissance électrique en sortie. Dans les deux cas, la puissance se mesure en **Watts**.

Une partie de l'énergie est perdue dans le processus de transformation à cause de la résistance électrique dans les bobines (cette perte chauffe les bobines). Pour des vents faibles il y a peu d'énergie perdue par l'alternateur. Pour des vents forts, le courant élevé peut faire fondre les bobines. La mise en drapeau sert à éviter ce phénomène. Le stator est très exposé au vent cela lui permet de se refroidir. Il peut donc supporter des puissances supérieures à un modèle fermé.

Si vous connectez les fils sortant de l'alternateur, vous formez un court circuit donc un fort courant qui produit un couple élevé et ralentit la machine radicalement. La mise en court circuit est la meilleure manière d'arrêter la machine. Le couple élevé va faire caler les pales et diminuer fortement la vitesse voir la rendre nulle. C'est très utile pour l'érection de l'éolienne, en cas de problème ou même lorsque les batteries sont pleines.

Choisir la taille du fil et le nombre de tours par bobine

Le nombre de tours par bobine et la section du fil de cuivre ont été choisis pour correspondre exactement à la forme du stator. Le nombre de tours détermine la tension produite à la vitesse désirée. Un alternateur en 12 Volts nécessite environ deux fois moins de tours

qu'un système en 24 Volts avec le même jeu de pales (et la même vitesse de rotation).

Si le nombre de tours est trop petit par rapport à une batterie donnée, il faudra que l'hélice tourne très rapidement pour que l'alternateur commence à produire. Si le nombre de tours est trop important, l'alternateur va commencer à charger les batteries à de faibles vitesses. On aura donc un couple qui empêchera les pales d'atteindre leur vitesse optimum. Le risque est d'avoir une production faible. Il est important d'avoir le nombre correct de tours correspondant à la taille des pales et à la tension des batteries.

Les sections de fils données ici sont les tailles maximum que vous pouvez facilement rentrer dans le stator. Les fils plus gros perdent moins de puissance donc chauffent moins. Un alternateur en 12 volts va devoir supporter deux fois plus de courant qu'en 24 Volts (pour la même puissance) mais comme les fils dans la bobine sont plus courts et plus épais, la chaleur dégagée est similaire. (Le fil reliant l'éolienne et les batteries devra lui aussi être plus gros, pour prévenir des pertes trop importantes).

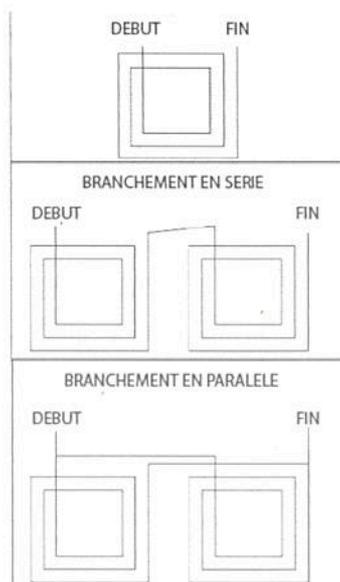
A partir d'un certain point, il est plus simple de bobiner avec deux fils car le fil de cuivre épais est peu maniable. Si vous bobinez avec deux fils dans la main, vous devez avoir deux bobines et enrôler les deux en même temps dans le bobineur. Avec deux fils plus fins, vous aurez moins de bosses dans votre bobine.

Dans certains cas, l'alternateur en 12 volts va être connecté en parallèle plutôt qu'en série pour réduire la taille du fil dans les bobines. (Voir ci dessous).

Connexions des bobines

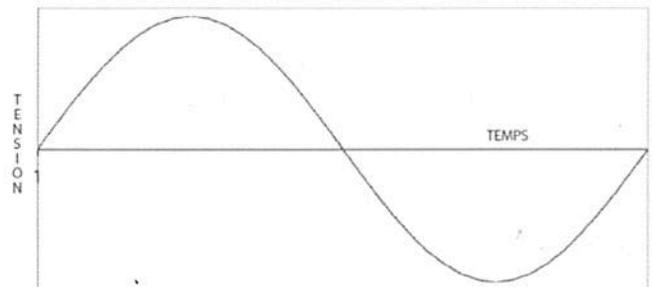
Chaque bobine va produire une tension mais la tension du stator va dépendre du type de connexion. Plusieurs connexions sont possibles.

Une bobine possède deux bouts, un début et une fin. Les bobines peuvent être connectées en série ou en parallèle. Pour une connexion en série : la fin d'une bobine se connecte avec le début de la suivante. Les tensions des bobines s'ajoutent entre elles pour produire une tension double entre le début et la fin des deux bobines.



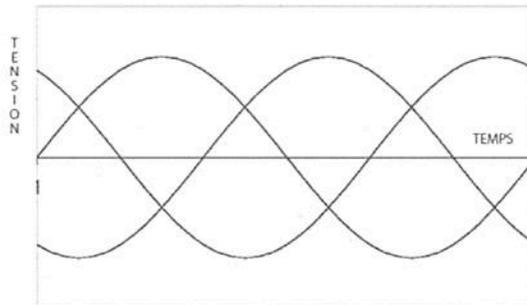
Pour les connexions en parallèle ce sont les entrées qui sont connectées ensemble. Il en va de même pour les sorties. La tension résultante est la même que pour une bobine mais elles peuvent transporter deux fois plus de courant.

Je préfère connecter les bobines en série. La connexion en parallèle pose des problèmes pour des alternateurs auto construits : les tensions de sortie de chaque bobine vont être légèrement différentes. Cette différence provoque des courants parasites entre les bobines ce qui gaspille du courant. Par contre la connexion en série pour des batteries de faible voltage implique peu de tours et un fil épais qui n'est pas très maniable. Avec des connexions en parallèle, on peut utiliser des fils plus épais. Le problème de courant parasite peut être réglé avec un redresseur spécial monté sur l'éolienne (voir p36).



Stator triphasé

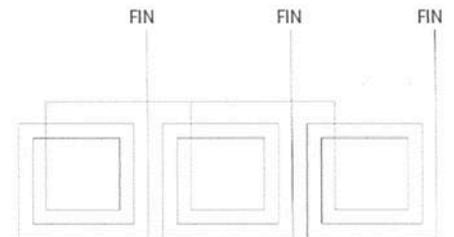
Chaque bobine va produire un courant alternatif (AC) avec l'alternance des pôles d'aimants passant devant elle (nord, sud, nord...). Ci dessus, est un graphique qui montre la variation de la tension avec le temps (signal sinusoïdal).



Tous les alternateurs dans ce manuel sont triphasés, le stator contient trois groupes de bobines qui produisent la même tension mais pas en même temps. Les stators avec trois phases présentent l'avantage de mieux utiliser l'espace entre les aimants et de délivrer une tension de sortie plus lisse.

Le meilleur moyen de connecter les trois phases de bobines est appelé montage en étoile.

(Il existe un autre montage en triangle mais je préfère l'éviter car lui aussi génère des courants parasites).



Dans une connexion en étoile, les 3 départs sont connectés ensemble comme montré ci dessus. Les 3 phases de sortie constituent les 3 fils de sortie du stator. Ce branchement série/étoile est souvent le meilleur branchement. Un exemple avec 6 bobines est détaillé ci-dessous.