

# Notice RésiWay

**ResiWay AISBL** est une association à but non lucratif dont l'objectif est de faciliter les actions écologiques et de permettre à chacun de participer à rassembler les informations pratiques issues de l'accumulation d'expériences individuelles et collectives.

Ce document est repris dans la [bibliothèque en ligne ResiLib](#) dont le but est de diffuser des documents offrant des retours d'expériences et informations didactiques pour faire soi-même, de manière écologique et à faible coût.

Tout est mis en oeuvre pour proposer des informations exactes et de qualité.

Toutefois **ResiWay n'est pas l'auteur** de ce document et ne peut donc assumer la responsabilité de l'exactitude, de l'actualité et de l'intégralité des informations mises à disposition.

## Document

**Auteur:** Michel FISCHER

Note: ce nom peut être incomplet, inconnu ou un pseudonyme, selon la volonté de l'auteur

**Titre original:** Construire ses pales pour mini-éolienne

**ResiLink:** Ce document est accessible à tout moment à cette adresse, et le restera toujours

[https://www.resiway.org/document/37/FISCHER-Michel\\_Construire-ses-pales-pour-mini-eolienne\\_2006\\_fr](https://www.resiway.org/document/37/FISCHER-Michel_Construire-ses-pales-pour-mini-eolienne_2006_fr)

**URL originale:** [http://www.mini-eoles.com/mini\\_eole\\_PALEROTOR-2006\\_code\\_18573-22.pdf](http://www.mini-eoles.com/mini_eole_PALEROTOR-2006_code_18573-22.pdf)

Note: Il est possible que cette adresse soit inconnue, n'existe plus ou que le contenu original ait été remplacé

## Droits d'auteur

Ce document a été mis à disposition par l'auteur sous une licence permettant sa libre diffusion avec "**certains droits réservés**". Les droits à appliquer doivent **respecter les indications de l'auteur** cité ci-dessus ou, à défaut, la licence **CC BY-NC-SA 3.0** - <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/fr/> :



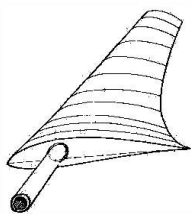
**Attribution** - Vous devez créditer l'oeuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'auteur original vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son oeuvre.



**Pas d'Utilisation Commerciale** - Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



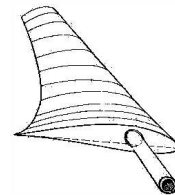
**Partage dans les Mêmes Conditions** - Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'oeuvre originale, vous devez diffuser l'oeuvre modifiée dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle l'oeuvre originale a été diffusée.



# **PALEROTOR**

## **Construire ses pales pour petite-éolienne.**

Mise à jour février 2006



### **Le vent contient une source d'énergie, renouvelable, non polluante, non taxée**

Depuis des siècles des hommes ont cherché à extraire cette énergie du vent. Des réalisations spectaculaires ont donné naissance aux moulins à vent de Hollande, du Portugal, de France. Plus lointain dans le temps des moulins à voile de la Grèce, plus lointain encore les moulins à vent des civilisations du Moyen Orient, et de l'Extrême Orient. De nos jours d'immenses moyens techniques impensables il y a un siècle seulement permettent aujourd'hui des réalisations tout à fait spectaculaires. Les métaux modernes infiniment plus performants. Des résines de synthèse permettant des formes complexes. Ces avancées techniques et des alternateurs très performants ont permis aujourd'hui ces développements de l'énergie éolienne moderne. L'amateur qui envisage être propriétaire d'un tel engin n'a plus à rêver la tête dans les nuages. La technique est là.....

Un moulin à vent, une éolienne à rotation rapide, un système vertical Darrieus ou Savonius, voir une Panémone, ne tirera qu'une somme d'énergie égale à la surface balayée par le rotor dont le rendement est de 59,3% de la puissance du vent. C'est la loi de BETZ. Plus cette surface est grande, plus importante est l'énergie

**Cette énergie fonctionne au carré de la surface. Si vous multipliez par deux le diamètre d'une hélice, la puissance est multipliée par quatre. Lorsque la vitesse du vent est multipliée par deux la puissance est multipliée au cube. Deux fois plus vite = huit fois plus d'énergie,**

**Trois fois plus vite = vingt sept fois plus d'énergie !...**

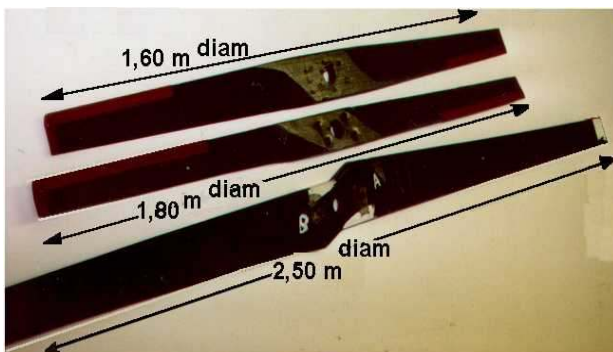
Un air froid est plus performant qu'un air chaud. Le décollage d'un avion est plus long en été qu'en hiver. C'est vrai également pour les générateurs éoliens peu importe leur type.

### **HÉLICES D'ÉOLIENNES. Bi-pales**

Les hélices d'éolienne à rotation rapide sont les éléments majeurs de ces merveilleux engins qui fonctionnent grâce au vent.

L'image de gauche présente trois types de pales que l'auteur initial de ce site a construit il y a quelques années .

La première, pale du haut, fait 1,60 m de diamètre.



Les cordes sont plus larges que d'habitude pour un site où les vents sont relativement faibles. <15 km/h moyenne annuelle. Ce type de pale fut expérimentée sur un site peu ventilé (< de 4ms/annuel) avec un bon résultat.

La deuxième pale fait 1,80 m de diamètre, profil mince. Cette pale est du type haute vitesse. Elle peut dépasser 1000 tours minute avec un vent > 35 km/h et plus si la construction est soignée. Un type de pale semblable, facile à construire, équipe notre éolienne W indcharger Circa 1953/1957, depuis plusieurs années. La pale du bas est une Bi-pales de 2,50m de diamètre. Ce type de construction est une adaptation des pales des grandes éoliennes. Sa particularité est son profil/cordes à doubles courbures aussi appelé pale "vrillée". Le traçage et le façonnage sont plus compliqués que les pales conventionnelles. Cette pale maintenant au repos bien que toujours prête à l'emploi a fonctionné plus de trois ans sans aucuns problèmes et un excellent rendement avec un alternateur Chrysler modifié.

A noter que cette pale a survécu sans dommages à la crise du verglas que le Québec a connu en 1998.

### **Prospective.**

Si vous envisagez la construction d'une éolienne, vous devez apporter un soin tout particulier à cet élément, **l'hélice, qui est le moteur de votre future source d'énergie.**

Vous pouvez utiliser différents matériaux pour la construction de vos hélices.

**Le bois** est certainement le plus accessible et le plus facile à travailler.

Ensuite l'aluminium qui est un métal solide et durable dans le temps. La tôle d'acier mince se travaille relativement bien également

Enfin, les matériaux composites tels que fibre de verre, fibre de carbone et autres composés à base d'époxydes ou de matériaux plastiques spéciaux. Vous éviterez autant que possible le mélange fer et aluminium. Pour le bois, des vis inoxydables sont recommandées. **Solidité et légèreté seront votre mot d'ordre**

Les attaches de pales (vers l'axe) seront particulièrement soignées. Le bord d'attaque des hélices rapides sera recouvert d'une pellicule époxyde ou un revêtement de métal mince. (Feuillard mince d'aluminium ou cuivre).

**L'équilibrage de votre hélice doit-être parfait, tout au moins statiquement.**

Voici en préambule quelques conseils que vous deviez vous rappeler tout au long de votre fabrication de l'organe moteur de votre moulin à vent ou votre éolienne.

---

**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**

---

# CONSTRUCTION BOIS. (Hélices)

Bien que vous pouvez construire vos pales avec d'autres matériaux si vous avez la compétence, l'expertise, il n'en demeure pas moins que nous ne saurions que vous recommander si vous êtes néophyte en la matière, de démarrer avec une hélice en bois. En effet le bois est simple à travailler avec des outils communs et l'on peut facilement se le procurer.

## AVANTAGES de la construction bois:

- Facilité d'approvisionnement. - Coût relativement faible. - Facilité de mise en oeuvre avec un outillage simple. - Durabilité excellente pour certaines essences, cèdre particulièrement.

## INCONVÉNIENTS :

- Densité du bois fréquemment irrégulière. - Traitement de surface quelquefois critique suivant l'essence. - Sensibilité à l'humidité si non traité. - Difficulté occasionnelle de trouver un bois parfaitement sec.

## Recherchez :

de préférence un bois parfaitement sec (max 20 % d'humidité) le plus léger possible, fibres bien rectilignes et très serrées, PAS de noeuds. Recherchez de préférence un bois résistant dans le temps notamment à la pourriture et insensible, ou presque, à l'humidité. Le cèdre est le bois recommandé. Le pin blanc ou rouge, pin de l'est pour l'Amérique du Nord, pin des Landes pour l'Europe. Ensuite les bois durs ou mi-durs, frêne, érable, chêne, bois exotiques comme l'acacia. Recherchez un bois qui se traite bien avec des vernis ou peintures. Certains bois ont la particularité d'être "gras" et acceptent difficilement les revêtements suggérés.

## Place au pratique

Vous avez sélectionné l'essence de bois de votre choix ou disponible localement. Avant d'acheter déterminez les dimensions de la planche que vous allez découper et façonner.

Pour une hélice bi-pales de 1,50 à 2,00 mètres de diamètre (dimensions pour l'exemple) procurez-vous une planche d'au moins 20mm, idéalement 40 mm d'épaisseur sur 12 à 18 cm de large et d'au moins 20 cm de PLUS dans sa longueur que le diamètre que vous aurez calculé. Votre choix se portera sur une planche RECTILIGNE, et si possible les quatre faces DRESSÉES. Le bois est sans noeuds, les tous petits noeuds en général ne nuisent pas s'ils sont au centre de votre future hélice. Cette planche ne portera aucuns signes de fendillements ou craquelures. N'hésitez pas à dépenser un peu plus afin d'obtenir une planche quasi parfaite.

Vous voici chez vous. NON ne laissez pas cette planche n'importe où à l'extérieur !

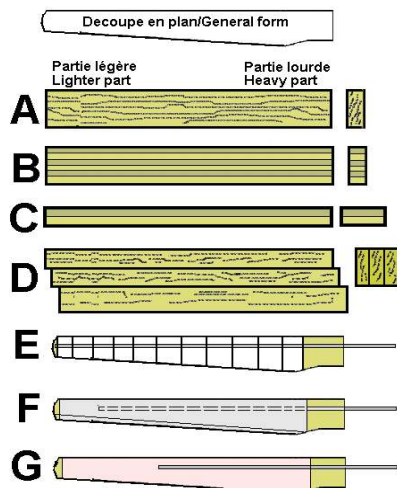
Si vous disposez d'un atelier, rentrez-la de suite à l'abri, à défaut dans votre maison dans un endroit sec non chauffé et à l'abri de l'humidité.

**Cette planche devra si possible rester dans la pièce où vous allez la façonner.**

Laissez la reposer quelques jours BIEN A PLAT idéalement sur une autre planche bien droite ou sur le plancher en l'isolant avec des cales de bois aux extrémités et au centre. Quelques jours plus tard vous vous sentez d'attaque pour commencer à façonner votre futur moteur d'éolienne. Il vous faudra un rabot à main ou un rabot électrique portable (idéal). Une scie égoïne à dents fines. Un établi solide et quelques serres joints. Plus tard, râpes, limes, toile d'émeri, perceuse électrique, tournevis.

**SÉCURITÉ ! Travaillez avec des gants, des lunettes de sécurité, des vêtements serrés.**

**Etes-vous prêts ?** Allons-y ! Vous voici en face de votre planche posée sur votre établi. Vous pensez tout haut *"Dire que cette planche sera une hélice d'éolienne d'ici quelques heures"* **Oui**, si vous suivez les instructions... et respectez autant que possible les étapes à suivre



Dans l'exemple de gauche nous ne voyons qu'une demi section de pales

## Choix des matériaux.

### Applicable tant aux bi-pales que tri-pales

On peut utiliser plusieurs sources de matériaux pour nos hélices. Certains sont à proscrire. Notons le contreplaqué ordinaire et le balsa qui ne répondent pas aux critères de solidité. Voyons nos possibilités.

**A.** Une (des) planche bien droite(s) de fil comme indiqué sera le plus simple.

La partie la plus lourde sera toujours placée vers le pied de pale (centre de votre hélice).

**B et C.** Une (des) planche(s) en bois laminé que votre menuisier préparera pour vous sera une excellente solution. Deux possibilités, le laminage en languettes (**B**) et le laminage en planches contre-collées tête bêche (**C**)

**D.** Un billot de bois tranché en trois bien dressées vous permettra d'obtenir 3 planches de poids presque identique.

**E.** La construction selon la méthode ailes avions ou ailes de modèles réduits est aussi une possibilité bien que cette approche est abandonnée sauf par les modélistes.

**F.** Un jeu de pales en aluminium ou acier léger est une approche séduisante.

**G.** Un jeu de pales en résines de synthèse est l'approche moderne de plusieurs copains qui maîtrisent l'emploi de ces résines et fibres.

Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.

Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire

Si vous envisagez la construction avec des planches pleines, des planches laminées ou des planches découpées provenant d'un gros billot, votre méthode de travail sera idem à celle suggérée. Vous pouvez utiliser le principe pale à angles fixes ou à angles variables, voir plus bas. Tel que dit, une pale à angle variables plus précisément pale vrillée est plus efficace bien que le traçage initial et le façonnage est quelque peu plus compliqué

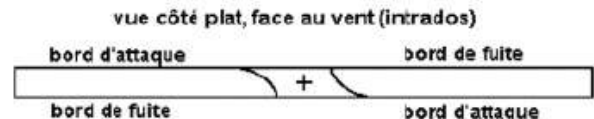
Si vous utilisez la construction avec des couples comme une construction d'aile avion ou de maquette vous devez envisager une parfaite symétrie des couples (cordes) et un support central très solide qui sera à la fois le support des couples et "l'axe" de chaque pale.

Un support en aluminium qualité aviation ou acier est fortement recommandé. Ce type de construction bien que peu utilisé de nos jours, permet une variation importante des angles d'attaque. Le revêtement sera idéalement de contreplaqué mince (2mm environ) qualité extérieur, ou, idéalement qualité aviation. Un revêtement d'aluminium mince (0,25mm par exemple) est aussi possible. Le support central si vous utilisez la construction tout métal ou résines de synthèse et fibres de verre ou fibres de carbone aura les mêmes critères que la construction ci dessus.

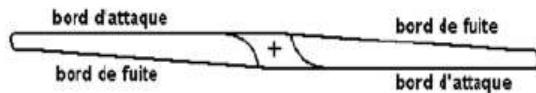
Votre choix dépend avant tout de Vous, de Vos moyens financiers et Votre habileté manuelle.

## Choix du type de pales.

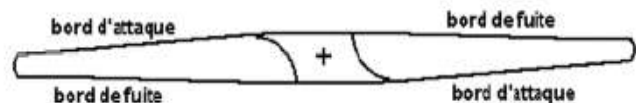
Le type de pales que vous choisirez dépendra de votre habileté dans le travail du bois. Si vous êtes débutant, vous choisirez la **pale droite**, la plus simple à réaliser



Une pale classique est la pale à **cordes variables**. Ce type de pale est à bord d'attaque droit, le bord de fuite est variable, large au centre, mince en bout. On retrouve ce type sur des milliers d'éoliennes

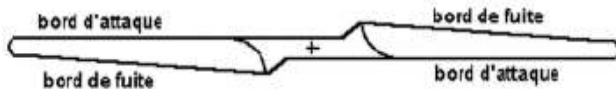


La forme trapézoïdale à **corde et angle variables** sera plus efficace mais demandera plus de travail de traçage et façonnage.



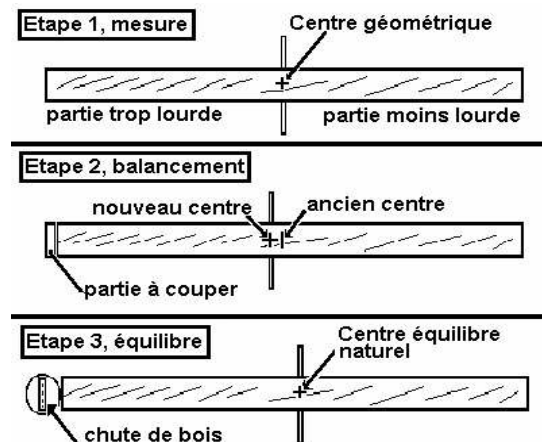
Enfin, une forme de pale inspirée des GRANDS modèles. Ce type de pale possède un excellent

rendement mais au prix de traçages nettement plus complexes



## Équilibrage initial (bi-pales)

Vous avez sélectionné votre planche idéale. Vous avez décidé du type de pales que vous allez entreprendre, vous avez dressé les 4 faces de votre planche. Il vous faut trouver maintenant l'équilibre le plus naturel de votre futur moteur éolien. Trouvez le point d'équilibre naturel de votre planche. Pour cela procurez-vous un tube de métal d'environ 15 mm de diamètre. **Placez** votre planche à cheval sur ce tube, au centre géométrique que vous aurez mesuré. **Déplacez** votre planche de manière qu'un semblant d'équilibre se fasse. **Mesurez** la différence de distance entre le centre géométrique et ce centre d'équilibre. **Divisez** cette distance par deux. **Coupez** une demi-longueur (cette moitié que vous venez de mesurer) au bout de la planche la PLUS lourde. **Reprenez votre test**. Votre centre d'équilibre sera déplacé. L'équilibre sera maintenant plus facile. Continuez ainsi jusqu'à ce que vous trouviez un équilibre acceptable et que la longueur de votre future hélice demeure à l'intérieur de ce que vous aviez calculé avec une marge d'au moins cinq centimètres de part et d'autre. Avec le plus de précision possible, repérez le centre naturel de votre planche. Percez un trou de 5 à 6 mm qui sera utile plus tard pour mémoire.



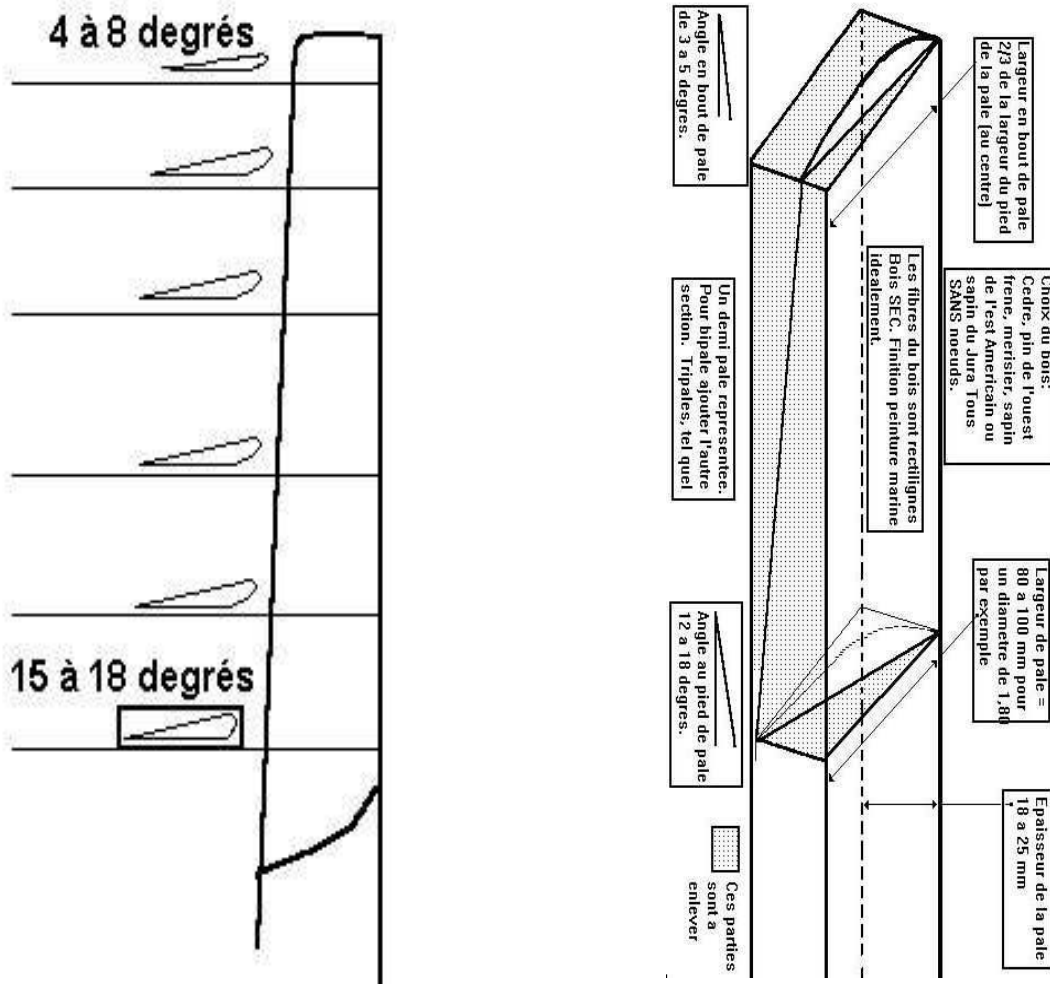
## TRAÇAGE / FAÇONNAGE

L'angle d'attaque idéal de chaque demi-pale (ou tiers de pale dans le cas d'une tri-pales) variera de 15 à 18 degrés au centre de l'hélice pour un angle de 4 à 8 degrés en extrémité de pale. Inspirez-vous des dessins et photos. Souvenez-vous: Les côtés plats (dessous ou Intrados) font face au vent, les côtés arrondis (dessus ou extrados) fuient le vent. Tout au long de votre façonnage vous devrez conserver cette approche.

### Première étape.

Votre planche bien à plat tracez en plan la découpe de votre pale suivant le type que vous aurez choisi, ie, pale droite, pale à cordes variables, etc. selon les suggestions plus haut. **Souvenez-vous** que pour une bi-pales les bord d'attaque et de fuite sont opposés ! **Coupez** les morceaux en trop. Vous pouvez commencer par tailler votre planche à l'aide d'une scie égoïne fine ou d'une scie sauteuse.

**DANGER !**, N'utilisez pas de scie circulaire pour ce travail). En effet, si vous coupez le bois dans le sens des fibres un retour dangereux de la lame est toujours possible !



Vous éliminez toutes les parties en gris tant sur la partie droite que la partie gauche de votre pale. **Dressez** à nouveau et soigneusement les côtés. **Tracez** sur les côtés les lignes qui vont délimiter les angles d'attaque. Inspirez vous des dessins de la page précédente. Vous vous retrouvez avec une ébauche de votre pale qui prend forme.



## Choix des profils.

Les choix de profils sont nombreux (listes d'accès disponibles, et répondent à des besoins particuliers. (voir Index-documents de notre site) Dans notre cas, afin de simplifier, nous utilisons un profil simple mais efficace qui a fait ses preuves depuis des dizaines d'années. Dans le cas présent il s'agit d'un classique **CLARK-Y**. **Premier choix.**

**Notre deuxième choix** sera celui du profil **NACA 4412** plus performant mais quelque peu plus difficile à réaliser.

La corde (Largeur de la pale) et l'épaisseur sont fixes sur une pale droite et varient de position en position sur une pale à cordes variables. Soignez particulièrement l'extrados (dessus arrondi) et assurez-vous que l'intrados (dessous plat) est bien plat, un léger creux (concavité) sur l'intrados qui fait face au vent ne nuit pas.

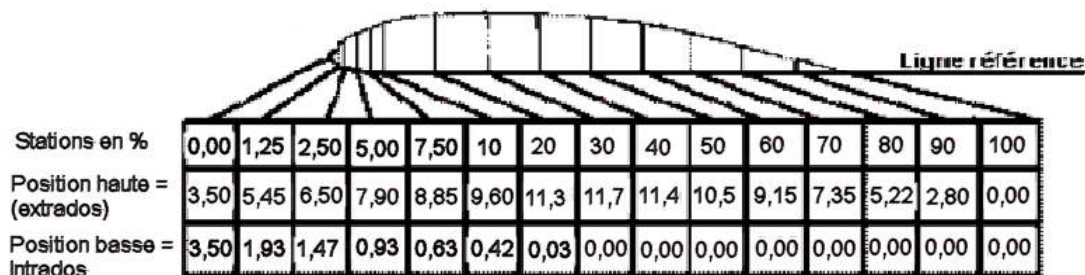
**Il est conseillé** de se fabriquer un calibre pour chaque position à l'aide de contreplaqué mince ou de tôle afin que les courbes soient **identiques d'une portion de pale à l'autre quel que soit le nombre de pales (2 ou 3 ) que vous aurez choisis. Une autre solution est offerte plus loin.** Ces profils sont adaptés de documents NACA.

Vous pouvez vous simplifier les choses en fabricant quelques calibres à l'aide de contreplaqué mince ou aluminium

Vous serez ainsi certain que vos pales sont identiques de position en position. Une solution simple est offerte en page suivante.

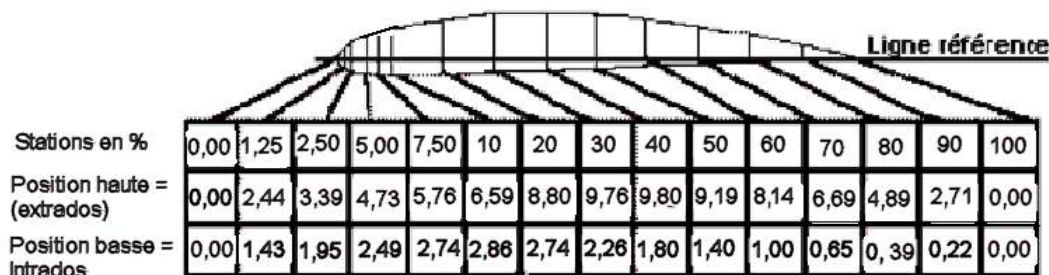
**NOTE:** Les stations et positions sont exprimées en pourcentage (%) et non en mesures métriques

### Clark-Y conventionnel



**Les positions intrados de # 00 à # 20 sont positives**  
**Les positions de # 30 à # 100 sont neutres**

### NACA 4412



**Pour Rappel:** Les chiffres indiqués pour définir les profils suggérés sont exprimés en pourcentage et **NON en valeurs centimétriques**

Copiez les profils choisis à l'aide de votre imprimante en fonction de chaque position (largeur ou corde) sur les rayons de vos futures pales. Transférez ces profils sur des plaques de contreplaqué ou aluminium.

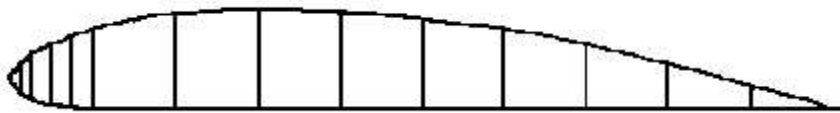
Ces demi-sections, voir l'exemple en bas de la page suivante, vont vous servir de calibre pour la réalisation

---

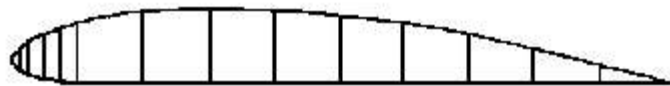
**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**

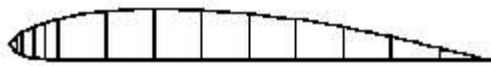
---



**Pied de pale (centre de votre hélice), grande largeur**



**Demi pale (milieux approximatifs de votre hélice) largeur moyenne**



**Extrémité de pale (bouts de votre hélice)**

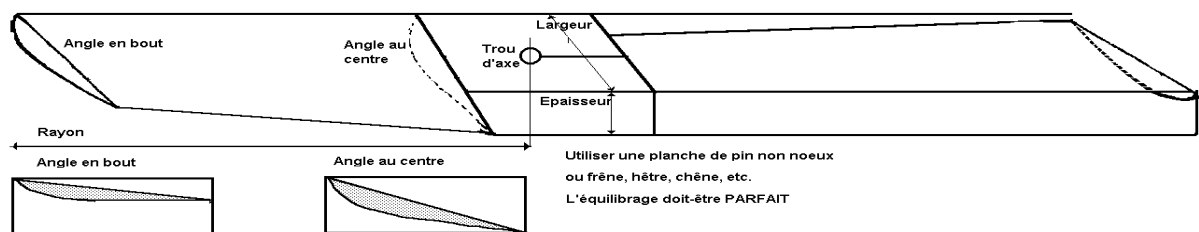
**Bien entendu les dimensions vont dépendre de celles de votre future hélice, les dessins ci-dessus ne sont qu'un exemple**

## Profils de vos pales (conformité)

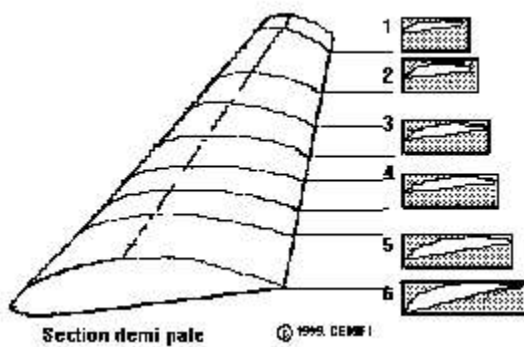
Plusieurs "planchent" sur le calcul des profils selon les données en page précédente ou les formules de calculs dans le document [technique.pdf] disponible sur commande (gratuit).

Si vous n'êtes pas très versé en calculs, vous pouvez vous tirer d'affaires en copiant sur votre imprimante le profil choisi et le transférer sur une planche de contreplaqué. Avec une feuille de papier 8 1/2 X 11 format nord américain ou une feuille A4 Europe vous pouvez tirer des largeurs (cordes) d'au moins 9 à 10 pouces, soit au moins 22 à 25 cm si vous utilisez la fonction impression en vertical.

En impression horizontale comme ci-dessous, vous arriverez facilement à détailler vos courbes de 16 à 18 cm (pied de pale) jusqu'à 6 cm environ (bout de pale). Utilisez autant de découpes que nécessaire selon la méthode suggérée plus haut.



Votre bi-pales est fabriquée selon le principe ci-dessus. Notez que les faces plates sont du Même côté mais inversées afin d'obtenir l'effet hélice et placées **FACE AU VENT**. Les côté arrondis sont les parties qui fuient le vent



Vous devez découper en plusieurs sections votre future pale afin de déterminer les cordes ou largeurs de vos pales a chaque section  
En traçant sur une grand feuille de papier ou carton léger cette étape sera plus facile.

L'exemple de gauche vous démontre les différentes positions des couples de votre future pale.

Un minimum de 6 postes sont requis, idéalement au moins 10 postes

**Notez la variation d'angle entre le pied de pale et l'extrémité de votre pale**

## EXERCICE EN IMAGES. Bi-pales

Notre éolienne Windcharger Circa 1953/1957 environ, que l'on voit a gauche a besoin d'une nouvelle hélice après des années de loyaux services. L'hélice originale était en cèdre. Le seul entretien nécessaire était une couche de nouvelle peinture tous les 3 à 5 ans.



Au début des années 80 l'hélice originale avait été remplacée par une hélice en cèdre de l'ouest. Malheureusement de nos jours le cèdre de bonne qualité pour cet usage devient de plus en plus hors de prix !

En parlant avec un ami, celui-ci nous indique qu'il dispose de quelques planches bien droites et bien sèches, mais il ne connaît pas l'essence de bois.

Il nous offre gracieusement ces planches. Nous en emportons quelques unes.

Il nous reste a sélectionner la meilleure.

**Remarque..** La durée des hélices de bois peut dépasser 15 ans si l'on prend quelques mesure élémentaires. Dans mon cas en plus de 30 ans de service de cette unité super robuste et quasiment increvable, les hélices ont tenu le coup plus de 15 ans chacune. Cela prouve sans aucuns doutes qu'une hélice bien réalisée peut durer très longtemps ]].

Une planche attire notre attention. Bien droite, pas de noeuds apparents ni de fissures typiques d'un bois vieilli. Difficile de dire à première vue s'il s'agit de cèdre ou d'une autre essence. Le rabot électrique et la scie sauteuse entrent en action. Un surfacage et dressage des quatre faces annoncent une magnifique planche de pin rouge très semblable au fameux pin "sitka" bien connu des constructeurs d'avions légers et des petite éoliennes.

=====>



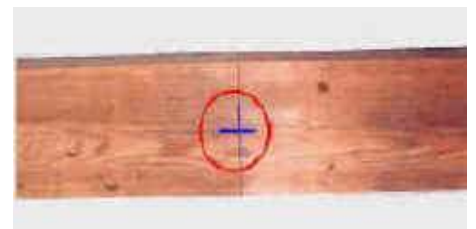
La planche mesure plus de deux mètres. Cette future nouvelle hélice fera 1,70 mètre de diamètre. De la marge pour opérer.



Première préoccupation est de trouver son point d'équilibre naturel. Suivant la technique suggérée plus haut l'on trouve bien vite cet équilibre. Un vieux tuyau de cuivre fait l'affaire.

<=====

Le repérage du centre pour le point de rotation futur est soigneusement repéré. Un trou de 6mm (1/4 de pouce) pour mémoire fait l'affaire. Prêt a attaquer cette nouvelle pale. Le cercle rouge démontre ce point d'équilibre qui sera ma référence tout au long du processus de fabrication du "moteur de remplacement" de cette Windcharger qui a maintenant plus de 50 ans d'âge. =====>

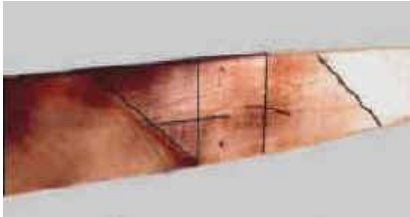
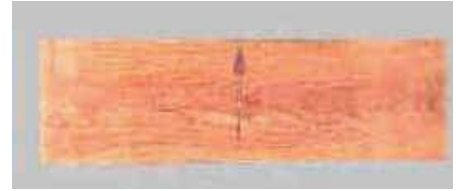






La position centrale repérée, on réserve une portion d'au moins 15 centimètres de part et d'autre du pivot (marques noires) qui sera la partie fixée sur l'axe et le système de frein de l'éolienne.

Le sens le plus favorable des fibres est respecté (flèche). On tient compte également des quelques défauts mineurs de la planche afin de déterminer **ET** le sens de rotation **ET** les côtés intrados et extrados. =====>



A partir du centre de cette future hélice, de part et d'autre on réserve une section pour le dégagement du pied de pale. Cette partie soigneusement arrondie afin d'éviter les turbulences au centre de l'hélice.

<=====



Enfin la découpe en trapèze de part et d'autre la section des bords de fuite. =====>



Le rabot et la râpe peuvent entrer en action. On commence par le pied de pale (centre de la pale) en laissant environ 2 à 3 mm de bois intact à chaque étape. On continue ainsi jusqu'aux extrémités de la pale.

<=====

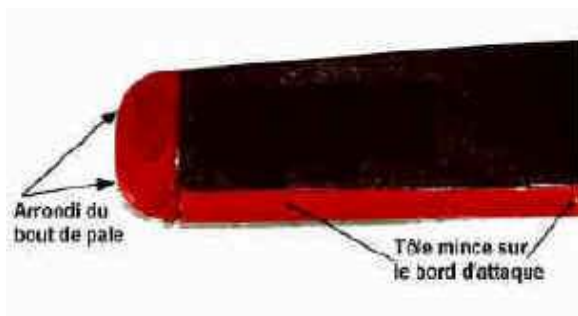
A chaque section nous vérifions la conformité avec l'autre côté de pale en s'aidant d'un calibre selon les exemples plus haut ou d'un peigne de menuisier. Les angles sont respectés selon les cotes de traçage et façonnage vus précédemment. Le ponçage au début s'effectue à l'aide d'une ponceuse électrique. =====>



**Rappel:** L'intrados (c'est la partie plate qui fera face au vent) est facile à réaliser. La partie extrados (dessus arrondi) c'est la partie qui fuit le vent est plus critique à réaliser. De la qualité de ses courbes, dépendra le rendement. <=====

La finition se fait à la main à l'aide de bandes de toile émeri (papier sablé) de plus en plus fine en effectuant un mouvement de va et vient comme montré sur les photos. =====>





La pré-finition de cette nouvelle pale est presque terminée. L'extrados (partie bombée qui fuit le vent) est presque parfaite. Quelques retouches de ci et de là en feront une hélice performante. Il reste à finaliser l'intrados (partie plate qui fait face au vent). On profite pour peaufiner le bord de fuite qui doit-être le plus fin possible. Quelques coups de ponceuse et de toile émeri vont régler le problème le temps de le dire. Laissons reposer cette nouvelle pale une journée ou deux histoire de vérifier si le bois ne travaille pas (risque de gauchissement).  
 <=====



Le pied de pale a été arrondi afin de ne pas créer de turbulences.

Sur la photo ce dégagement est clairement visible.=====>

Les trous de fixations ont été percés en référence au petit trou pilote de 6 millimètres indiqué plus haut.

Le bois étant parfaitement sec, le gauchissement n'est pas à craindre, nous pouvons entreprendre l'aspect protection et peinture. Une ou deux couches de scellant pour les fibres va protéger le bois pour des années durant. Ensuite une première couche de peinture de fond, peinture appropriée au type de peinture qui fera la couche de finition. Enfin une ou deux couches de peinture de finition. Choisissez une peinture idéalement du type époxy, peinture à bateaux ou peinture automobile type glycérophthalique. Entre chaque couche attendez au moins 24 heures avant l'application de la couche suivante. L'extrémité de la pale est arrondie avec une petite scie de maquettiste (découpage fin) lorsque le traçage (vérification de longueurs identiques) sera effectué. L'arrondi de bout de pale a été effectué selon les normes. Le scellant, la couche de fond et les couches successives de peinture (ou vernis) ont été appliqués soigneusement. L'ajout d'une bande de métal mince sur les bords d'attaque (feuillard d'aluminium ou cuivre mince) est recommandé. Une précaution finale, on peut ajouter un mince fil de cuivre près de l'arrondi de pale afin d'éviter un fendillement du bois toujours possible.



**ET VOILA ! Une nouvelle hélice, copie conforme de la "vieille hélice".**



Cette "petite nouvelle" sera en service des années si nos prévisions sont bonnes.

La photo de gauche montre la "vieille unité" équipée de sa "nouvelle hélice".

**Visiblement le passé et le présent semblent bien s'entendre !**

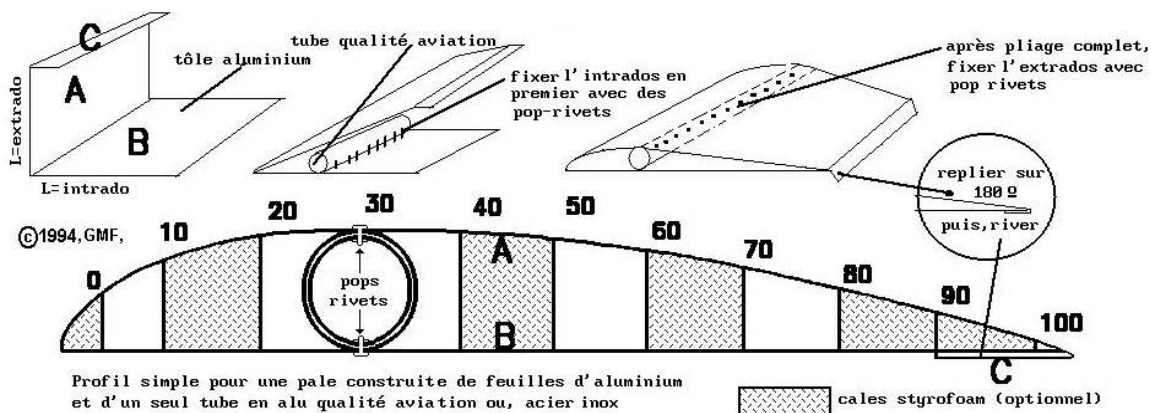
## PALES ALUMINIUM

Une hélice en bois, nous venons de le voir, est relativement facile à fabriquer. C'est plus une question de temps, de patience et de gros bon sens qu'une "Haute Technologie" pour un amateur habile. Les hélices en aluminium semblent plus faciles, cependant il n'est pas recommandé d'effectuer le pliage avec des moyens artisanaux. Faites appel à un professionnel du travail des métaux, aluminium particulièrement, qui dispose d'une plieuse de qualité.

En fournissant vos mesures et les cotes de pliage vous serez assurés d'un travail bien fait. Vos plaques d'aluminium découpées et pré-pliées, vous pouvez envisager la pré-construction



Le tube central en aluminium qualité "aviation" ou acier inox sert à la fois de support axial et aussi d'épaisseur de votre pale. Sur l'image de gauche, un tube à section carrée est utilisé. Vous pouvez également utiliser un tube à section circulaire. Des rivets "aveugles type aviation" ou "Pop-rivets" sont utilisés. Le profil est fait de manière quasiment automatique. L'extrémité de vos pales est fermée par un "bouchon" fait de bois léger, cèdre ou liège par exemple. Le diamètre total de l'engin faisait 4 mètres de diamètre. Chaque pale, au nombre de 3, mesure 1,80 mètre pour un diamètre de 4 mètres dans l'exemple



Sabrevois, Michel

Le centre de vos pales est retenu par un axe en acier inox si possible. Lui-même est fixé très solidement au support moteur qui se fixe sur l'axe de votre alternateur ou l'axe moteur si vous utilisez la méthode de multiplier la vitesse.

Sur la photo de droite Isabelle nous montre une pale prête à être fixée sur son support. L'angle d'attaque de vos pales sera constant contrairement aux pales de bois, la différence de rendement ne justifie pas dans ce cas d'une grosse dépense supplémentaire pour demander à votre professionnel de pliage de tôles d'essayer de vous fabriquer des pales à angle variable bien que la chose soit tout à fait réalisable.

Une cale d'épaisseur sur la plaque support central pourra déterminer l'angle moyen de calage, en général un angle de 6 degrés est adéquat.

Si vous recouvrez vos pales d'aluminium d'une peinture, utilisez une couche de fond qui est spécialement faite pour aluminium et de qualité extérieure. Pour la couche de peinture finale même recommandations que pour les pales de bois. Peinture marine par exemple ou peinture automobile. Remarquez que le dessin en haut de cette page mentionne un remplissage effectué à l'aide de mousse polyuréthane ou de mousse de polystyrène expansé du type utilisé pour l'isolation des maisons. Ceci a pour but de "solidifier" vos pales sans nuire au poids. Cette méthode bien que non indispensable est cependant recommandée. En remplissant l'espace vide des pales avec de la mousse de polyuréthane par exemple vous

minimisez les problèmes de vibrations qui peuvent survenir dans ce type de construction. L'image de gauche vous montre l'éolienne de l'auteur, construite au cours des années 80



**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**

## Pales en résine.

Les résines de synthèse modernes offrent un choix presque illimité et les applications sont multiples. Les plastiques communs offrent plusieurs possibilités pour l'amateur, les choix de résines spécifiques ne manquent pas.

Les fibres de verre et les résines époxydes sont d'excellents produits pour fabriquer des pales d'éoliennes bien que cette méthode, si elle apporte de grandes satisfactions, n'en exige pas moins une grande habileté.

Les fibres de carbone qui sont d'une extrême robustesse sont actuellement bien moins accessibles que les fibres de verre type marine ou auto que l'on peut se procurer un peu partout. (magasins spécialisés et grandes surfaces)

Si vous avez la possibilité d'accéder à de vraies fibres de carbone en fil ou sous forme de tissus, c'est LA solution pour des pales qui vont durer toute une vie si vous préparez bien votre moule ainsi que votre mélange de résines et fibres.

## Pales en métal, non formées ou non moulées

Les pales formées comme celles vues plus haut respectent les profils simples, intrados plats ou semi incurvés, extrados arrondis. Il est possible d'utiliser des plaques de tôle, acier léger, aluminium, avec une légère courbe pour imiter un profil simple. Le meilleur exemple sont des pales en métal pour ventilateurs de plafond.

Un de nos collaborateurs a eu une certaine déconvenue en achetant aux USA un jeu de pales métal prétendument pales pour éoliennes. Ces pales de métal embouti n'étaient QUE des pales de ventilateur en acier léger ! Un essai en fonction éolienne fut une grande surprise. Ces pales, malgré leur simplicité étaient assez performantes. Il faut reconnaître cependant que le rendement n'était guère meilleur que des aubes de moulin à vent de pompage. Rien ne vous empêche d'utiliser de telles pales pour voir comment cela fonctionne ....

## Hélices d'avion.

Les hélices d'avion furent utilisées dès le début des éoliennes à haute vitesse, dès les années 20 (1920).

Le rendement n'était pas extraordinaire mais cela fonctionnait, plus ou moins ! De nos jours il existe des hélices d'avion léger, genre Cessna par exemple, qui mises au rancart peuvent sous certaines conditions être utilisées comme hélices éoliennes pour expérimenter. Un copain a tenté d'utiliser un jeu d'hélices tripales, tout métal, provenant d'un avion accidenté. Le rendement bien que pas comparable à un jeu d'hélices spécifiquement destiné à une éolienne était cependant remarquable compte tenu de la source gratuite.

N'espérez pas de rendement mirobolant avec de telles hélices qui sont principalement destinées à tirer un aéronef et non pour capter le vent avec un maximum d'efficacité. Mais, rien ne vous empêche d'essayer !

## SUPPORTS.

Vous pouvez vous inspirer des dessins suivants. N'oubliez pas que ces supports sont la base de votre éolienne et qu'ils doivent être les plus soignés possibles.

**Support axe.** L'adaptateur de support sur la figure de droite est une pièce de précision et si possible machinée par un professionnel.

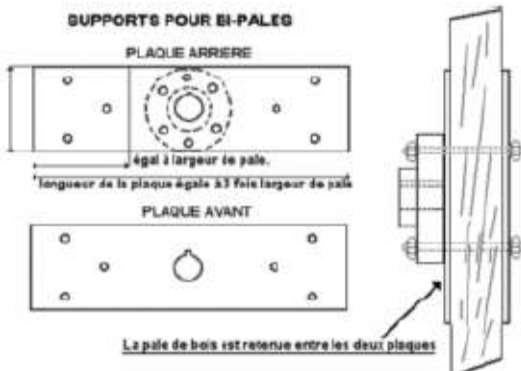
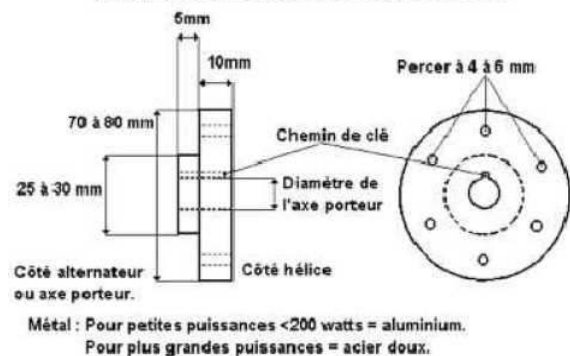
Les dimensions sont données titre indicatif. Vos mesures peuvent varier dans un sens ou un autre.

Cette pièce servira à fixer les supports de pales en acier ou alu épais sur l'axe de votre alternateur ou générateur.

Le diamètre de l'axe porteur d'un (alternateur-auto) est généralement de 17mm ou en Amérique du Nord roulement et axe type 6203 pour un alternateur standard.

A vérifier avec votre fournisseur alternateur.

### ADAPTEUR POUR SUPPORT DE PALES



## Support bi-pales.

Le support pour bipales est le plus simple à réaliser. Cependant l'alignement des axes et trous de fixations doit être très précis.

**Notez que la pale est serrée entre deux plaques** (plaque support + contre-plaque). De plus, vous remarquerez que les trous de fixation de la partie bois de l'hélice sont décalés en triangle. Ce n'est pas sans raisons. En effet, si vous placez vos trous "alignés" ils se trouvent dans l'axe d'un même groupe de fibres du bois, d'où risques à courte échéance de voir le bois éclater à cet endroit. Combien de copains, voire même un collègue d'enseignement mécanique, alignent les trous de fixation sur le même groupe de fibres du bois au risque de voir leurs pales éclater à la moindre contrainte mécanique. **Tout est question de logique !**

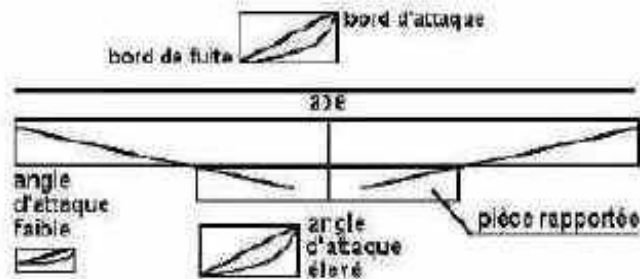


## Angle d'attaque variable et.... Planches pas assez épaisses !

Si vous optez pour un angle d'attaque variable il n'est pas impossible que vous ne trouviez pas de planche de bois assez épaisse pour l'angle d'attaque élevé au centre. Vous pouvez rapporter, en collant fermement avec une colle insensible à l'humidité, une section de planche sur la section centrale.

Cette simple astuce vous permettra d'obtenir un angle élevé au centre de votre pale sans investir dans le prix élevé d'une planche très épaisse.

L'image ci-contre vous montre comment ajouter une section de planche au centre de votre future hélice si vous ne trouvez pas de planche assez épaisse et que vous avez choisi une [pale vrillée \(angles d'attaque variables\)](#)



## CALCULS ÉPAISSEUR/LARGEUR

Déterminer l'épaisseur de votre planche de bois en fonction de (des) angles souhaités est chose relativement aisée. Inversement, calculer les paramètres, largeur (cordes), corde, arcs, sinus, cosinus etc, etc. n'est pas toujours évident.

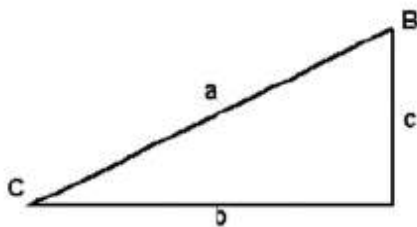
Une simple équation trigonométrique vous permettra de calculer aussi bien la cotangente, la cosécante, le cosinus....

Par exemple : Si vous connaissez **C** et **b** il vous sera facile de calculer **c**.

**B = 90 - C**    **a = c / cos C**    **C = b \* tg° C** , etc, etc

Toutes formes de calculs vous seront possibles dès l'instant où vous connaissez au moins deux paramètres

Il existe des tables toutes faites et des formules de calculs simplifiés dans tout ouvrage de [base trigonométrique](#).

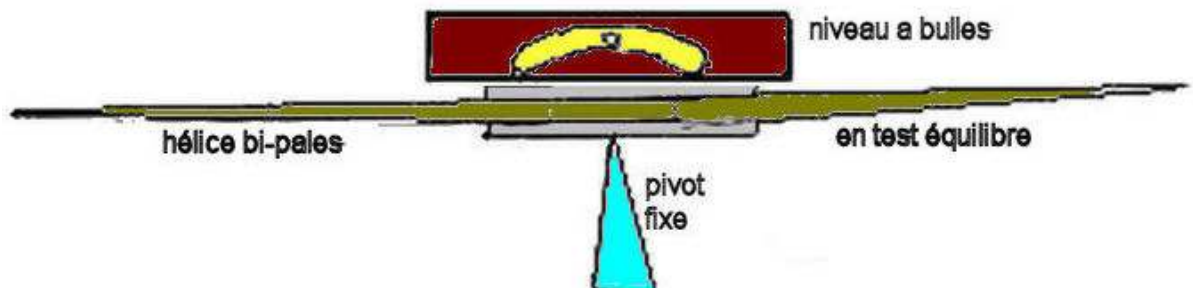


## ÉQUILIBRAGE

Bien que tout au long du façonnage vous avez vérifié l'équilibre de votre future rotor éolien. Il est plus probable que vous aurez besoin d'un équilibrage fin. Fixez les plaques de fixation comme s'il s'agissait d'un produit final. Adaptez votre hélice sur son

support.

Un premier test simple est illustré par l'image ci-dessous. Un support en pointe et un niveau à bulles vous permet dans une première étape de vérifier l'équilibrage initial avant les procédures mentionnées plus loin.



Ensuite, fixez solidement votre groupe hélice sur l'axe de votre alternateur ou l'axe de la partie motrice.

**Cet axe doit-être "fou"**, c'est à dire qu'il doit tourner librement SANS retenues. Faites tourner à la main votre hélice.

Il n'est pas impossible qu'elle s'arrête toujours au même endroit, donc la partie la plus lourde vers le bas. Maintenant vous devez contrôler le traçage de votre hélice. Repérez les extrémités de votre pale. Celles-ci doivent absolument être au même rayon. Coupez la partie la plus longue s'il y a lieu. Réajustez au besoin. Arrondissez les bouts comme sur les photos de pales montrées plus haut. Ceci effectué...

A l'aide d'un élastique, fixez un petit poids de cinq à vingt grammes sur la pale la plus légère et faites le glisser du centre vers l'extrémité de la pale. En procédant ainsi vous aurez une bonne idée du dé-balancement de votre hélice.

Le petit poids (momentané) compensera les différences d'une pale à l'autre. En faisant tourner votre hélice à la main, si votre pale se trouve bien équilibrée avec le petit poids, elle devra s'arrêter n'importe où quel que soit l'impulsion donnée. [Page suivante ==>>>](#)

**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**



Cette étape qui semble fastidieuse est pourtant absolument nécessaire. Reprenez votre travail autant de fois que nécessaire. Maintenant il s'agit d'évaluer le petit poids utile pour compenser le déséquilibre. Un pèse lettres est idéal. Utilisez du plomb fondu ou encore de la soudure de plombier en forme de petit cylindre de quelques millimètres de diamètre et d'une longueur de 10 mm environ. Lorsque le plomb est refroidi, glissez le à la hauteur de la pièce de métal qui était retenue par votre élastique. Il s'insère à l'intérieur d'un trou borgne (donc non percé de part en part) que vous aurez percé. Reprenez l'étape d'équilibrage avec et SANS l'élastique afin de vérifier votre équilibrage.

Une colle du type époxy retiendra parfaitement votre poids de compensation. Enlevez la pièce de métal retenue par l'élastique. Faites tourner votre hélice à la main. Elle devrait en principe se retrouver presque équilibrée, voire même la partie initiale qui était la plus légère se retrouver la plus lourde. Limez si nécessaire le petit cylindre de plomb afin qu'il ne dépasse pas de la surface de votre hélice. Votre hélice est alors PRESQUE parfaitement équilibrée.

Vérifiez encore une fois la surface du bois. Passez au besoin un dernier passage de toile d'éméri TRES FINE sur la couche de fond afin d'éviter toutes aspérités nuisibles. Une couche de peinture sur le contrepoids fera que ce dernier sera invisible. LA couche finale de peinture est apposée bien entendu.

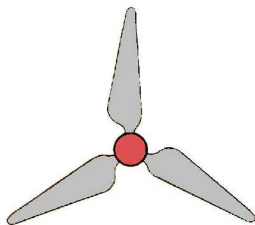
Votre hélice qu'elle soit de deux ou trois pales doit s'arrêter sur n'importe quelle position, signe qu'elle est équilibrée de façon statique. Essayez une dernière fois l'équilibrage. Celui-ci devrait être parfait. En cas de léger débailancement de quelques grammes vous pouvez compenser à l'aide d'une couche de peinture supplémentaire sur le côté le plus léger.

**Votre hélice est maintenant prête pour un test pratique.**

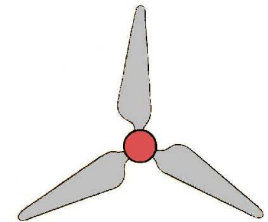
Montez fermement votre hélice sur votre alternateur ou son axe porteur. Installez votre équipement éolien sur un support (mât provisoire de 2 ou 3 mètres de haut). Attendez que le vent soit coopératif, un minimum de 20 km/h (5,5m/s) est nécessaire pour un BON test. Vérifiez visuellement la rotation de votre hélice, son comportement et, absence quasi totale de vibrations quelques que soient les vitesses du vent. Si tout est parfait vous serez prêts à installer votre fabrique d'électricité au haut de sa tour. Dans le cas contraire, reprenez l'équilibrage tant et aussi longtemps que celui-ci ne sera pas parfait. Tout le rendement et absence quasi totale de vibrations dépendent du soin apporté.

**Remarque:** Un équilibrage statique ne veut pas dire nécessairement un bon équilibrage dynamique (en rotation rapide). C'est ici que votre ingéniosité peut intervenir. Un test visuel peut souvent détecter la pale en défaut

En colorant les extrémités de pales avec des peintures de couleurs différentes, votre test visuel peut-être facilité.



## TRIPALES



Nous avons vu dans les documents précédents la fabrication de bi-pales. La construction de tri-pales est presque aussi aisée. Si vous avez réussi avec un jeu de bi-pales, il vous sera possible d'entamer un jeu quelque peu plus performant. Est-il justifié de construire une éolienne tripales versus une hélice plus simple du type bi-pales ?

**Avantages et inconvénients. (Tri-pales).** L'avantage indiscutable est un démarrage généralement plus rapide qu'une bi-pales pour une même vitesse de vent. Le couple est aussi plus important. La fabrication n'est pas plus compliquée hormis quelques solutions simples visant à optimiser l'équilibrage. L'inconvénient, bien que ce ne soit pas un obstacle, est un poids plus élevé. Les attaches de pales sont aussi un peu plus compliquées. Sommes toutes, les avantages semblent dominer. Le tableau en page suivante démontre qu'une bi-pales bien construite sera équivalente à une Darrieus à axe vertical soit environ 24 à 40 % de rendement. La vitesse de rotation d'une bi-pales est généralement rapide. Par contre la vitesse de rotation d'une tri-pales est d'environ moins 4 % par rapport à une bi-pales, mais, le couple sera plus important notamment au démarrage.

**Types d'hélices.** Une hélice de mini éolienne ou de grandes unités se détaille :

**Mono-pale. Eoliennes rapides.** Très rarement utilisée du au contrepoids nécessaire et un équilibrage difficile. Une société italienne construit de telles unités.

**Bi-pales. Eoliennes rapides.** Le plus courant pour les petites unités est sa facilité de mise en oeuvre à la portée de tous, ou presque ! La particularité des hélices bi-pales est de tourner généralement très vite. Leur inconvénient est que le couple de démarrage est souvent très faible sans astuces de variation du pas (angle d'attaque)..

**Tri-pales. Eoliennes rapides.** Une hélice tri-pales semble offrir le meilleur des deux mondes. Couple nettement plus élevé au démarrage et vitesse de rotation proche des bi-pales. Cette vitesse de rotation est inférieure d'environ moins 4 % par rapport à une hélice bi-pales de même diamètre. Le couple est plus élevé, avantage non négligeable lors de vents relativement faibles

**Multi-pales. Eoliennes rapides.** Nous retrouvons des unités comportant de 4 à 6 pales sur des sites où les vents sont particulièrement faibles ou, lorsque le couple nécessaire est plus important que la vitesse de rotation.

**Multi-pales. Moulins de pompage.** Nous retrouvons des unités comportant de 8 à 16 pales L'approche des moulins de pompage multi-pales est caractérisée par ces engins d'un couple important qui est nécessaire au pompage au détriment de la vitesse de rotation qui est très faible (environ 50 à 75 t/m max).

## Vos projets tri-pales.

Vous avez construit une magnifique unité bi-pales mais vous remarquez que le dieu Eole n'est pas très favorable dans votre région.

Ou bien, vous notez que le couple de démarrage ou le couple lors de l'auto-excitation de la génératrice CA ou CC freine trop votre engin éolien.

Un rotor éolien tri-pales pourrait résoudre ce "problème". Ou bien, vous envisagez de construire de toutes pièces une unité. Votre choix se portera sur une hélice tri-pales. Dans les trois cas, une approche légèrement différente de la construction d'une bi-pales est à envisager.

Les critères de votre choix de matériaux, bois, aluminium, acier léger, matériaux de synthèse, seront sensiblement les mêmes que ceux exposés pour la fabrication de bi-pales.

Si votre choix se porte sur le bois, une variante dans l'approche sera à retenir attentivement. Les attaches au pied des pales devront impérativement être **TRES soignées et respecter les normes des angles de pale à pale qui sera précisément de 120 degrés.**

En effet, un décalage de seulement 4 degrés risque de voir votre équipage éolien vibrer fortement, vibration pouvant entraîner la destruction. Voir plus loin les implications.

Que ces quelques remarques ne vous découragent pas, rien n'est impossible à celui, ou celle, qui veut absolument arriver à ses fins.

L'image ci contre vous démontre la première étape à suivre si vous construisez vos pales en bois plein ou bois laminé comme les exemples du document bi-pales. Reviser au besoin

Vous tracez les courbes en plan et découpez les parties superflues.

Ensuite, avant de tailler vos pales selon les exemples bi-pales, vous devez dresser vos trois pales de manière identique.

Cela vous permettra ultérieurement un travail plus facile. Aucune mesures ne sont données. Celles-ci dépendent des dimensions que vous aurez calculées selon les coordonnées et tableaux de Auto-construction le document [Techniques] que vous pouvez obtenir Sans Frais.

L'angle en bout de pale, celui-ci peut varier de 4 à 6 degrés.

L'angle effectif au pied de pale sera de 15 à 18 degrés

**(ne pas dépasser à ce niveau un angle de 18 degrés !)**

En effet, au-delà de 18 degrés il existe un phénomène toujours possible que l'on appelle décrochage.

Par contre au niveau près de l'attache des pales, cet angle pourra être de 20 degrés +.

Voyez le dessin de droite pour explications

L'épaisseur du bout de pale ne devrait pas être de moins de 5 mm pour éviter les oscillations parasites.

L'angle d'attaque en bout de pale est de 3 à 5 degrés

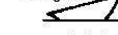


Bord de fuite

Bord d'attaque

Une pale vrillée est plus performante qu'une pale non vrillée qui est aussi appelée pale à calage fixe.

Démarrage du profil, environ 15 degrés



Démarrage au pied de pale. L'angle d'attaque est de 20 degrés environ pour rejoindre l'épaisseur de la planche de bois.



Aucune dimension n'est donnée. La largeur du bout de la pale est de 2/3 de la largeur du pied de pale.

Corde du pied de pale

Pied de pale et attaches

Vue d'une pale à angle variable et corde variable "pale vrillée". L'angle d'attaque extérieur est plus faible qu'au pied de l'hélice.

## Choix des matériaux. Applicable tant aux bi-pales que tri-pales

Nous avons vu dans bi-pales les différentes techniques possibles. Pour une tri-pales elles seront les mêmes. Reportez vous au début de cette documentation.

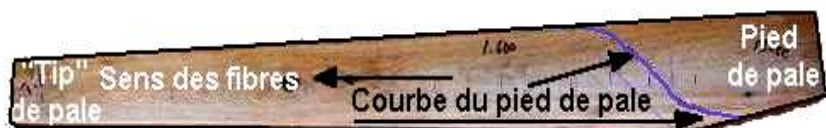
**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**

# Exercice en images, tripales

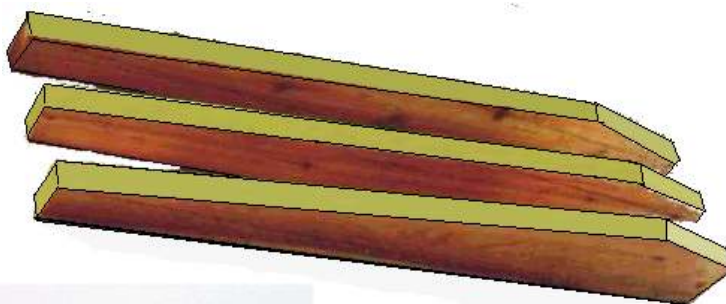
## Découpage et façonnage

Vous avez sélectionné votre bois et votre méthode comme indiqué au début de bi-pales. Tous les côtés sont dressés le plus proprement possible afin de vous faciliter le traçage ultérieur. Tracez une première planche selon les détails du dessin de gauche. Vous respectez le sens des fibres sur les 3 planches.



Une première pale servira de modèle

Vos trois futures pales sont découpées à l'identique. Vous devez les raboter ensemble de telle manière qu'elles présentent rigoureusement la même forme et un poids le plus identique possible.



Vous devez tout d'abord amincir votre planche en partant du point (angle 18 degrés) vers l'extrémité comme le dessin sur la droite de la page précédente l'indique.

Cet amincissement sera progressif et dépendra de la longueur/largeur de votre future pale. La partie [angle 20 degrés vers la fixation. Le reste de la base ne sera pas touché pour l'instant. Une ligne rectiligne sera tracée sur la tranche du côté bord d'attaque en laissant au moins 5mm de jeu pour la finition ultérieure. Les angles suggérés vous serviront de modèle.

Du côté du bord de fuite, vous tracez une autre ligne rectiligne qui définira la partie basse de vos profils.

Revoir les dessins explicatifs. Vous pouvez commencer à raboter le côté intrados c'est à dire la partie plate ou légèrement concave qui fera face au vent. Débutez par la partie côté pied de pale en direction de l'extrémité [Tip].

**Ne faites pas de gros copeaux, en effet, votre planche est relativement fragile et tout excès risque de briser les fibres. Vous pouvez en deuxième étape utiliser une ponceuse à main pour parfaire votre travail.**

Maintenant passez à la partie extrados. Cette partie sera idéalement façonnée à l'aide d'une ponceuse dont vous utiliserez des toiles de plus en plus fines. Les courbes et angles seront vérifiés selon la même méthode que les bi-pales [Palerotor]

A chaque étape conservez quelques millimètres de jeu pour les finitions. Votre première pale prend forme, elle devrait présenter une forme semblable aux deux images ci-dessus. La courbe au pied de pale sera bien arrondie comme indiqué ci-dessus et dans [Palerotor-bipales]. Cette première pale vous servira de modèle. Les deux autres pales seront façonnées identiques. La finition de vos pales (construction bois) sera effectuée selon la même procédure indiquée dans la première partie bi-pales.

Prenez un soin tout particulier pour les bords d'attaque et bord de fuite et le pied de pale. Les arrondis seront le plus parfaits possibles.

La finition AVANT scellants des fibres et peinture seront effectués avec des toiles de finition de plus en plus fines.

Une toile émeri de 140 à 180 sera utilisée pour une surface lisse. Les scellants, soit anti-humidité (fortement recommandé) et, ou, scellant de fibres, seront poncés avec grande précaution. Enfin, les vernis ou peintures seront appliqués.

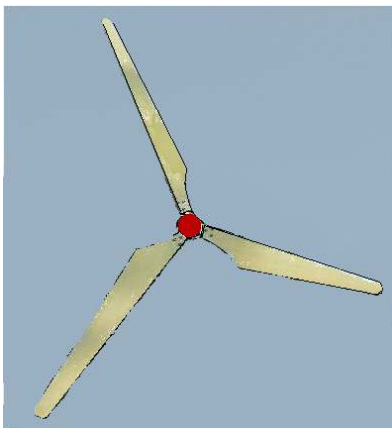
Réviser si nécessaire les explications de base de la fabrication de bi-pales. Le principe est rigoureusement le même.

---

**Ce document est diffusé gracieusement pour usage privé UNIQUEMENT.**

**Copie(s), distribution(s) ou usage commercial INTERDITS selon les termes des lois en usage de chaque pays signataire**

---



Votre jeu de tripales AVANT toute autre opération pourrait, **DEVRAIT !**, avoir l'aspect de la photo de gauche.

**Une identité la plus parfaite de vos trois pales.**

**Un poids le plus égal de pale à pale.**

**Une symétrie des angles de pale à pale parfaitement de 120 degrés entre chaque pale.**

Le revêtement final (type de peinture), voir bi-pales, et la couleur de vos pales dépend de du choix de chacun.

Revoyez la partie b-pales pour compléments d'infos.

## SUPPORTS pour tripales

Ce type de support sera utilisé notamment pour adapter l'axe moteur (système à multiplication) ou axe alternateur (prise directe) vers les plaques supports casserole de frein et, ou supports fixes de pales ou encore supports pour un système de pales variables

Les dimension suggérées sont pour un engin de 1,60 à 2,50 m de diamètre

Augmentez ou diminuez les dimensions selon vos besoins.

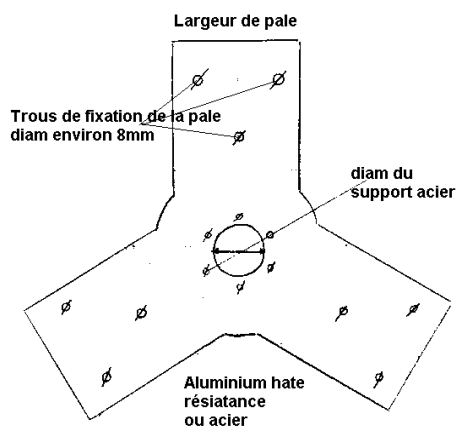
Le dessin ci-contre vous montre le principe simple de montage.

Le support machiné précisément est fixé par six vis inox au plateau support des pales fixes.

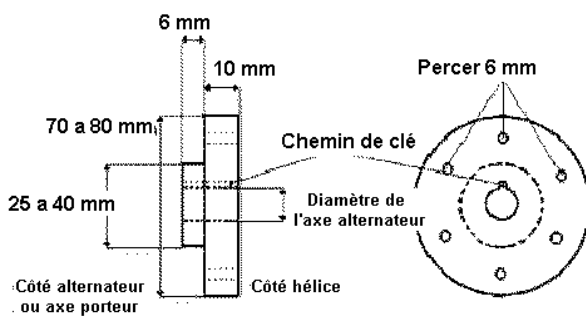
Les plaques support et contre-plaques sont fabriquées en aluminium épais ou acier. de la même manière que bi-pales. Images ci-dessous

**Pour rappel**

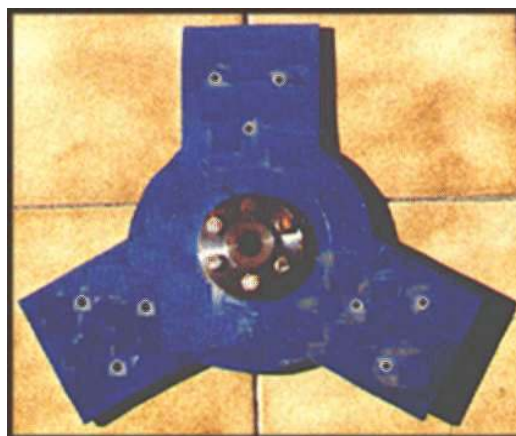
**(chaque pale est serrée entre deux plaques)**



## Adapteur pour support de pales sur l'axe alternateur



Métal : Pour petites puissances <200 watts = aluminium.  
Pour plus grandes puissances = acier doux.





## EQUILIBRAGE.

Revoir au besoin la partie bi-pales. En première étape nous utiliserons à nouveau le principe du niveau à bulles comme indiqué dans bi-pales.. Bien entendu votre tri-pales est solidement fixée sur ses plaques supports et son support axe comme ci-dessus et fixée sur un axe fou, sans aucunes retenues.

Vous vérifiez tout d'abord son traçage (pales de même longueur) et son tracage de position identique des extrémités de pale. Vous vérifiez ATTENTIVEMENT la conformité des angles qui doivent être absolument de 120 degrés de pale à pale.

L'équilibrage statique peut être vérifié selon une méthode simple à l'aide d'un niveau à bulles. Image ci-contre.

Une autre solution serait de suspendre votre groupe hélice à l'aide d'un fil fixé au plafond, et de vérifier l'équilibrage initial selon une autre méthode. Votre groupe moteur est maintenant terminé si vous avez suivi ces infos de base et vous-vous êtes référé aux **infos de base de Palerotor. Bi-pales. Recommencez autant de fois que nécessaire les tests d'équilibrage et de traçage**

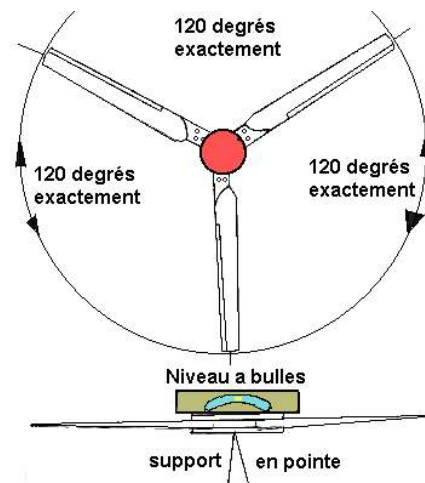
Si tout vous semble **OK** vous pouvez installer votre groupe hélice sur son axe définitif, Ici l'auteur utilise un axe fou sur un banc d'essais.



Vous pouvez maintenant fixer ce groupe sur la nacelle et l'axe de votre alternateur ou l'axe porteur. Ici l'ensemble hélice tripales est installé sur l'axe de l'alternateur. Effectuez un dernier test avec son axe porteur ou son axe alternateur.

**Remarquez** que les pales sont peintes de couleurs en bout de pales et appelées **A-B-C**.

Ceci nous permettra de vérifier le tout en fonction et de corriger au besoin.



L'image de droite nous montre notre produit fini. Une réalisation simple et efficace. Un groupe d'hélices de 1,86 m de diamètre actionne un alternateur pour une puissance de 350 watts PLUS avec un vent de 35 km/h. et plus

Une éolienne tri-pales fabriquée soigneusement vous offrira des centaines d'heures de fonctionnement sans problèmes si vous soignez votre boulot

Une rotation incomparablement plus souple et un couple à diamètre égal, bien supérieur à une bi-pales. De plus en plus les constructeurs industriels, tant GROSSES unités de plusieurs centaines de kilowatts que les constructeurs de petites unités individuelles choisissent de plus **en plus la tri-pales. NON SANS RAISONS.**



### Conclusion.

L'essentiel a été dit. Comme toutes choses, il y a matière à amélioration. Vos commentaires et suggestions sont toujours bienvenus. Ce document est distribué à titre d'information uniquement

**Les auteurs déclinent toute utilisation dangereuse que le, les, constructeurs éventuels pourraient encourir.**

**Nous vous rappelons notre conseil : SÉCURITÉ.**

**BONS VENTS**  
**Votre amie Moulinette**

