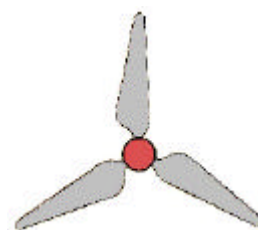


TRIPALES

Révision novembre 2004

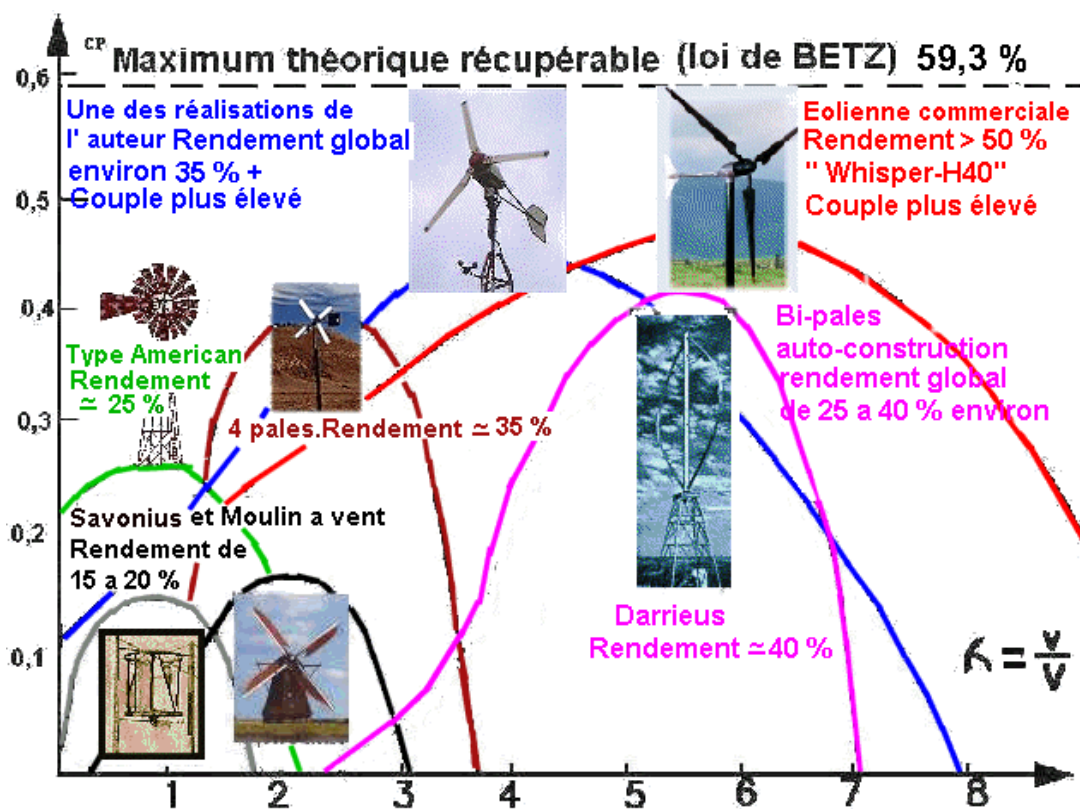


Nous avons vu dans le documents [palerotor](#) la fabrication de bi-pales. La construction de tri-pales est presque aussi aisée. Si vous avez réussi avec un jeu de bi-pales, il vous sera possible d'entamer un jeu quelque peu plus performant. Est-il justifié de construire une éolienne tripales versus 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.



Ce tableau démontre qu'une bi-pales bien construite sera équivalente à une Darrieus 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 détail :

Mono-pale. Eoliennes rapides

Très rarement utilisée du au contrepoids nécessaire et un équilibrage difficile. Une société italienne construisait 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 a 6 pales sur des sites ou 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 a 16 pales L'approche des moulins de pompage multi-aubes est caractérisé 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 a 75 tm max).

Vos projets.

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 a envisager.

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

Si votre choix se porte sur le bois, une variante dans l'approche sera a retenir attentivement.

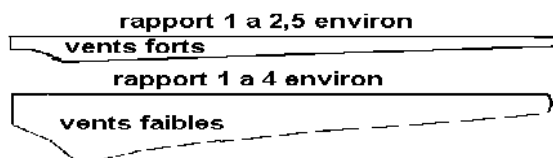
Les attaches au pied des pales devront impérativement étre TRES soignées et respecterons les normes des angles de pale a pale qui sera précisément de 120 degrés.

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 a celui, ou celle, qui veut absolument arriver à ses fins.

Voyons tout d'abord avec QUOI et COMMENT fabriquer la tri-pales de nos rêves (construction des pales : bois et autre matériaux).

Déterminez tout d'abord le type de pale en fonction de la vitesse des vents de votre région. La pale pour des vents forts sera choisie pour des vents moyens annuels de \Rightarrow 16 km/h.



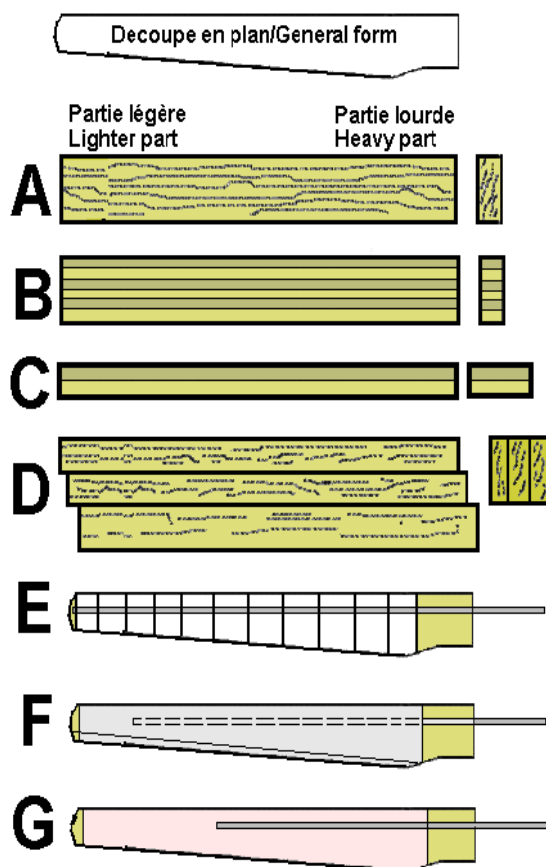
La pale pour vents faibles sera utile pour des vents moyens annuels de \leq 12 km/h. La plus grande largeur (corde) au pied de pale favorisera un démarrage plus rapide lors de vents faibles

Ce surcroit de largeur ne nuit pas au bon fonctionnement lorsque les vents deviennent plus élevés.

Les dimensions des pales du dessin ci-dessus sont exagérées pour

compréhension

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 dans [Palerotor](#) sera le plus simple

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 planches 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.

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 dans [Palerotor](#).

Vous pouvez utiliser le principe pale à angles fixes ou à angles variables. 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 est fortement recommandé. Ce type de construction bien que peu utilisé de nos jours, permet une variation importante des angles d'attaque.

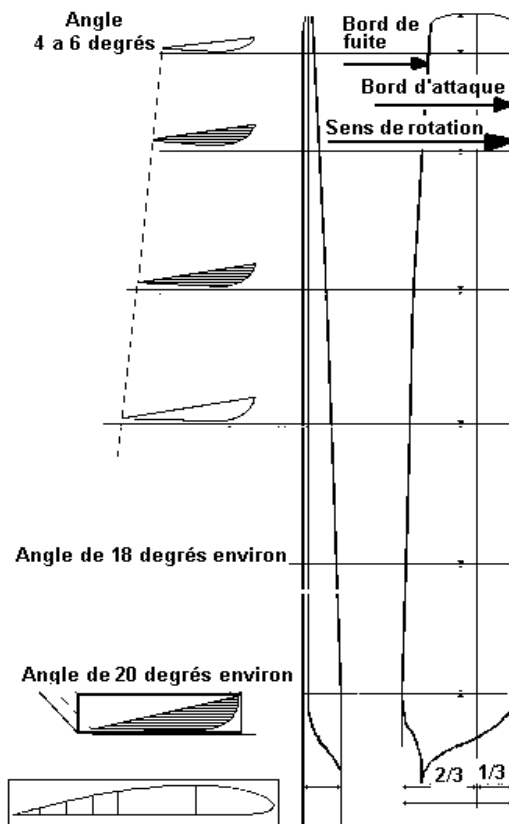
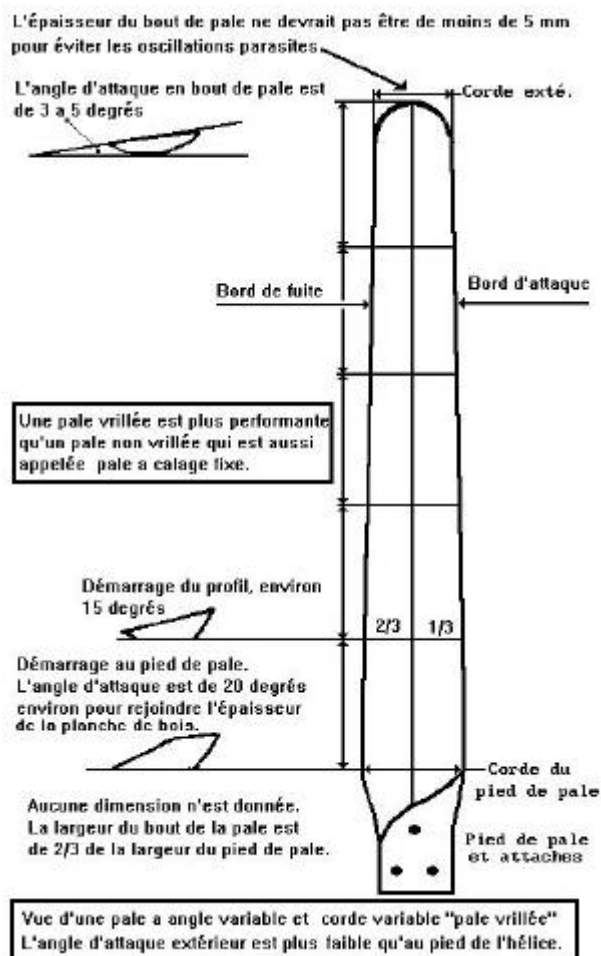
Le revêtement sera idéalement de contreplaqué mince (2mm environ) qualité extérieur, ou, idéalement qualité aviation

Un revêtement d'aluminium mince (0,25mm par exemple) est aussi possible..

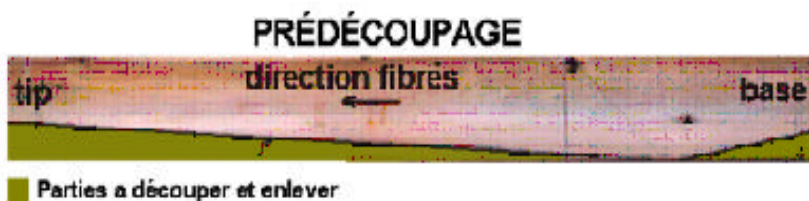
Le support central si vous utilisez la construction tout métal ou résines de synthèse et fibres de verre ou fibres de carbone aura les mêmes critères que la construction ci dessus..

Votre choix dépend avant tout de vous, de vos moyens financiers et votre habileté.

Les deux images ci-dessous vous démontrent la première étape à suivre si vous construisez vos pales en bois plein ou bois laminé comme les exemples bi-pales dans [palerotor](#). 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.



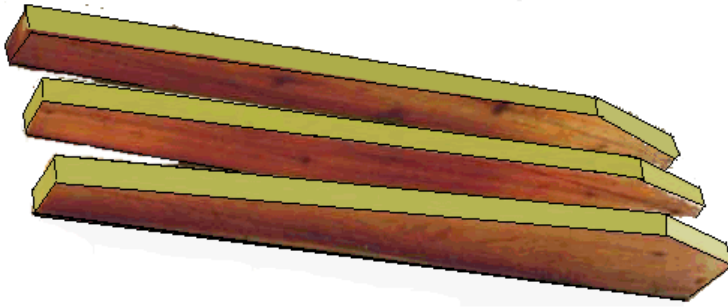
Aucunes mesures ne sont données. Celles-ci dépendent des dimensions que vous aurez calculées selon les coordonnées tableaux et [[Techniques](#)]. Angle en bout de pale, celui-ci peut varier de 3 à 6 degrés.



gauche

Découpage et façonnage

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](#)



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. [Dessin page suivante](#)

Vous devez tout d'abord amincir votre planche en partant du point [angle 18 degrés] vers l'extrémité.

Cet amincissement sera progressif et dépendra de la longueur/largeur de votre future pale. La partie [angle 20 degrés] et 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 deux dessins explicatifs en page 4. 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].

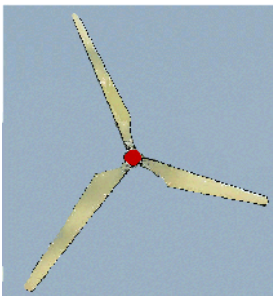
Ne faites pas de gros copeaux, en effet, votre planche est relativement fragile et tout excès risque de briser les fibres. Vous pouvez en deuxième étape utiliser une ponceuse pour parfaire votre travail.

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 [Palerotor](#).

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 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.

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

Une symétrie 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.

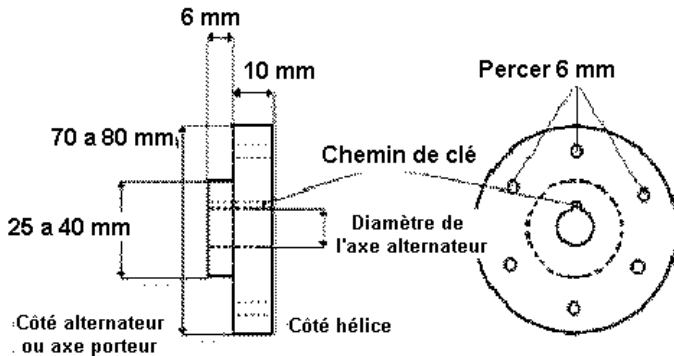
Le revêtement final (type de peinture), voir [bi-pales](#), et la couleur de vos pales dépend de du choix de chacun.

SUPPORTS

Les supports hélice sur axe moteur seront fabriqués idéalement en acier. 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 dimensions sont données pour un engin de 1,80 à 2,50 m de diam. Augmentez ou diminuez les dimensions selon vos besoins.

Adapteur pour support de pales sur l'axe alternateur

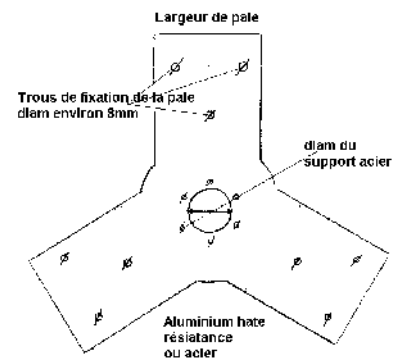
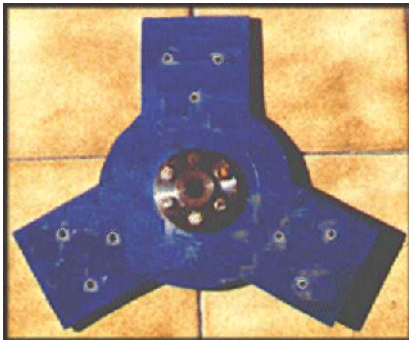


Le dessin ci-contre à gauche vous montre le principe simple de montage.

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

Ces plaques support et contre-plaques (chaque pale est serrée entre deux plaques) sont fabriquées en aluminium épais ou acier.

Usinage précis notamment axe alternateur (en général vers 17 mm) et position des 6 trous de fixation



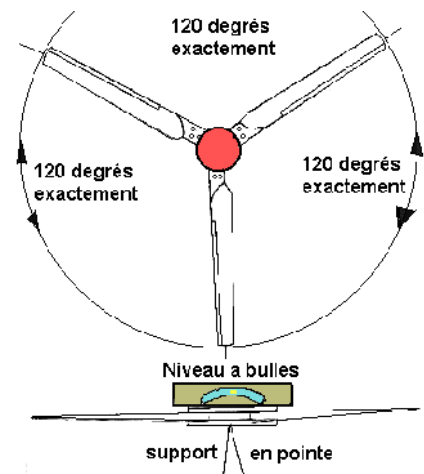
EQUILIBRAGE.

Revoir au besoin le document [Palerotor](#), bi-pales.

Votre tri-pales solidement fixée sur ses plaques support et son support axe comme ci-dessus est fixée sur un axe fou, sans retenues. Vous vérifiez tout d'abord son tracé (pales de même longueur) et son tracé 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.



Documents pour un usage privé exclusivement. Copie(s) ou usage commercial interdits selon les termes des lois en usage.



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.

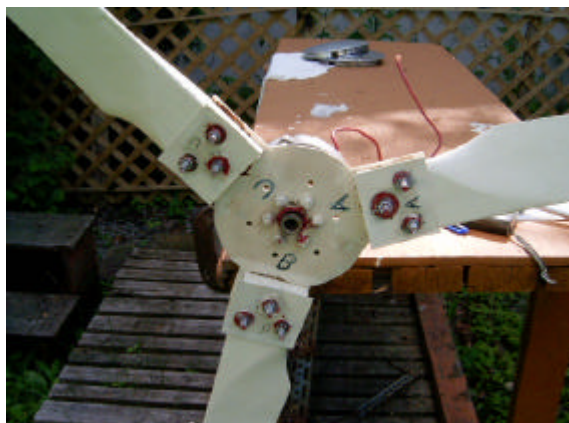
Ici l'auteur utilise un axe fou sur un banc d'essais. [photo gauche](#)

Si tout vous semble **OK** vous pouvez installer votre groupe hélice sur son axe définitif,

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 gauche nous montre notre produit fini. Une réalisation simple et efficace. Un groupe d'hélices de 1,76 m de diamètre actionne un alternateur Delco Remy pour une puissance de 250 watts + avec un vent de 35 km/h.+.

Un tri-pales fabriquée soigneusement vous offrira des centaines d'heures de fonctionnement sans problèmes.

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.

BONS VENTS CHERS AMIS
Votre amie Moulinette

Document original. Michel/Gemifi 2001.

Révision. Michel et François Novembre 2004.

Mise en pages. Hélène.



Documents pour un usage privé exclusivement. Copie(s) ou usage commercial prohibés selon les termes des lois en usage