Technique 2007

© 2001/2006, Mini-eoles. Tous Droits réservés. Mise à jour Janvier 2007

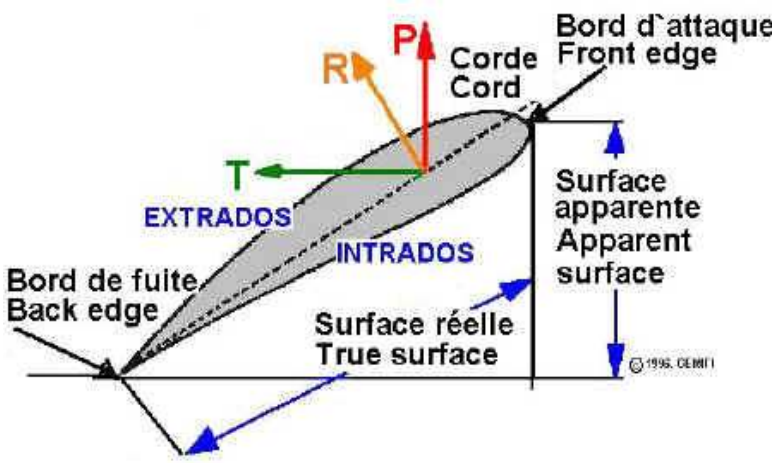
Valeurs générales appliquées aux éoliennes.

C= couple sur le capteur éolien en **N.m** (newton/ mètre)
Coefficient de portance = **Cx**
Force de traînée **Fx** en **N**
Rendement ŋ **en degrés**
Fréquence de rotation , **t/minute ou t/sec**
Vitesse de démarrage en **m/seconde**
Vitesse tangentielle en bout de pale, en **m/s**

Surface balayée en mètres carrés = **m2**
Coefficient de traînée = **Cz**
Force de portance **Fz** en **N**
Angle de calage α
Angle d`incidence en **degrés**
Vitesse nominale en **m/s ou km/h**
Vitesse instantanée en **m/s ou km/h**

Valeurs de base: Généralités.

Le joule (travail) s`exprime en newton (N) dont l`action sur le point donné se déplace de 1 mètres dans sa direction**.**
Le joule (électricité) est égal à 1 watt/heure soit 3600 joules.
Le kilomètre est égal à mille mètres. 1 km / h = 0,277 m/s. L`ancienne valeur française de la lieue encore utilisées dans certaines régions valait environ quatre mille mètres.
Le mètre (millième partie du kilomètre) 1 mètre seconde est égal à 3,6 km/h
Le mille est égal à 1609.34 mètres. 1 mille/heure = 0.447 m/s. **Mile**, nom britannique.
Note: Il existe plusieurs valeurs du mille ou Mile. Le "nautical mile" britannique vaut 1855 mètres. Aux USA il vaut 1853,25 mètres **.** On retiendra ici la valeur de 1609,34 mètres **qui est le mille terrestre.**
Le Newton (force) est une valeur qui s`exprime sur une masse de 1 kilogramme avec une accélération de 1 mètre par seconde/seconde.
En éoliennes on l`utilise aussi: **Couple** sur le rotor éolien ou surface = **C**. **Force** de trainée (**Fx**). Force de portance (**Fz**) Poussée axiale (**P**)
Le Noeud est essentiellement une valeur utilisée par la marine soit 1852 mètres. 1 noeud/heure = 0.514 m/s**.**
Un tableau récapitulatif des valeurs en fin de cet article

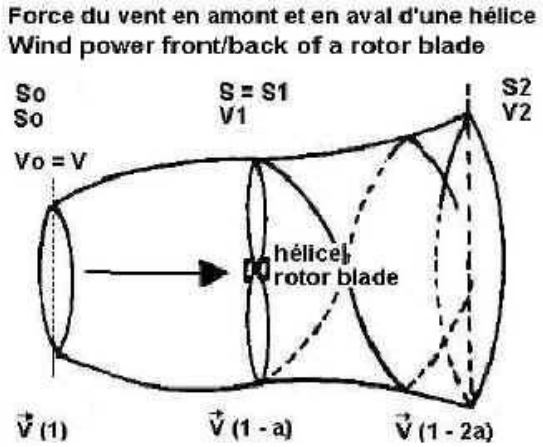


L`éolienne. Une éolienne, une Savonius, une Darrieus, un moulin a vent fonctionnent grâce au vent. Rien de plus vrai. Sans vent pas d'énergie !
Bien que la réalisation d'une petite ou moyenne éolienne ne nécessite pas de calculs élaborés si l'on se contente d'un rendement approximatif (pourvu que ça tourne et produise... un peu !)
Il n'en demeure pas moins que pour un auto-constructeur sérieux qui envisage une unité plus performante, quelques calculs préliminaires s'avèrent nécessaires.

En rouge, **P** = la portance
En vert, **T** = la trainée
En orange **R** = la résultante
La portance doit être supérieure à la trainée. L'intrados, surface inférieure reçoit la pression du vent. (environ 1/3).
L'extrados reçoit la dépression du vent, (environ 2/3).
Le bord d'attaque est le côté qui aborde le vent. Le bord de fuite est le côté qui s'éloigne du vent

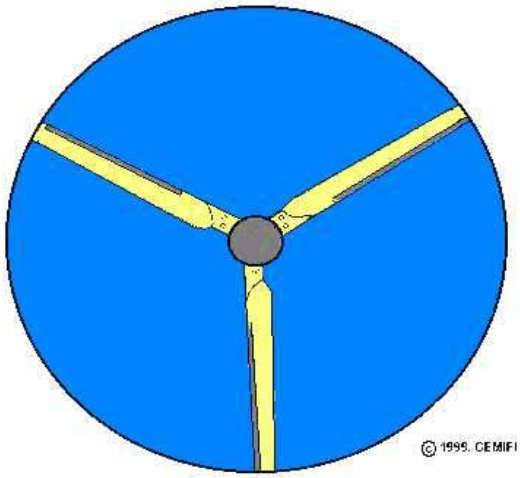
THÉORIE
Le rendement théorique rêvé dans tout système est idéalement de 100 %. Malheureusement aucun système aussi sophistiqué soit 'il rencontre ce critère. Dans le cas des systèmes éoliens ce rendement MAXIMA n'est que de 59,3 %. C'est la loi de **BETZ**.
En d'autres termes, l'énergie théoriquement extraite du vent n'est que de **59,3 %** en supposant un système parfait dont le rendement à la base serait de 100 %.
En valeurs, nous appliquons : Rendement éolien = ÉNERGIE potentielle du vent **Ep = 100 %**
ÉNERGIE théorique récupérable **Ee = 59,3** % (loi de Betz) ÉNERGIE récupérable en fin de conversion = **E/v.**
Il est bon de connaître les éléments de base qui nous permettent de calculer au plus près l'engin de nos rêves. Nous voyons sur ce dessin de gauche ci-dessus une coupe de pale.

L`Hélice c`est LE moteur de votre aérogénérateur,
Le moteur de votre aérogénérateur est l ' hélice éolienne, donc le rotor dans son ensemble. Cet ensemble prélève une partie de l'énergie cinétique du vent.
D'après les travaux de Froude, Rankine et Betz et sa fameuse loi ainsi que les travaux préliminaires d'Euler (théorème d'Euler) :
La variation d'énergie de la masse d'air qui traverse un ensemble hélice (rotor éolien) est égale à la différence ou variation de la quantité d'air entre l'amont et l'aval de l' hélice. Explication en page suivante



Comportement amont/aval Le dessin de gauche nous démontre ce qui se passe en amont et aval de l'hélice

Adapté de aérogénérateurs



Données de base.

La puissance du vent s'exprime :
Ecv = **(1/2M) * V2** Ecv s`exprime en joules.

M est égal à **1,25kg / m3** (au niveau de la mer) et
V2 la vitesse du vent en **m/s (mètres seconde) multipliée au carré**.

On peut aussi : **Ec = 1/2 m * V2**

L`énergie théoriquement extraite est égale à : **Ecs = 1/2 (Mo*VS /m) / V2**

La puissance disponible (théorique) : **P = 1/2* m* S* V2**,

Le maximum récupérable (théorique): **16/27 * 1/2 * 1,25 * S * V3** donc...

La limite de Betz nous indique que : **P = 0,37 Π/4 * D2 * V3**

La pression Pr est le rapport de la force sur une surface donnée, dans notre cas la pale, soit: **Pr = F/S.**
La pression peut être aussi exprimée sur la totalité de la surface du disque éolien. En effet, la pression du vent sur le disque éolien est la "force" qui agit sur le rotor lorsque les pales sont en mouvement Cette pression (disque éolien) est égale à la surface balayée par les pales.
Les pales recoivent une pression égale à leur surface réellement exposée au vent.

La circonférence s'exprime : **d** (diamètre) * **3,1416.** (PI)
La circonférence est le chemin parcouru par l'extrémité de la pale. On peut aussi exprimer la circonférence pour toute section(s) (ou segments) de la pale par rapport à l'axe.

La surface s'exprime pour le rotor éolien: **r** (rayon) **3,1416** (PI) **S** (surface). **S = r * r * 3,1416** (le rotor éolien est la surface balayée par une ou des pales en mouvement)

La surface pour une pale: **S = l * L** (largeur fois longueur).

Pour une pale a cordes variables: **S = l * l' / 2 * L** ou nous retrouvons la grande (**l**) largeur en général au centre, et la petite largeur en bout de pale (**l'**)

La surface active d'une pale se calcule sur la surface réellement au vent.

La surface apparente est lorsque la pale fait un angle de X degrés par rapport au vent. Voir dessin plus haut
La portion des attaches à l'axe porteur n'est généralement pas considérée comme surface active.

La force est celle qui exercée sur un corps solide s'exprime : **F = k** * **Pr** * **S = 1/2 k * R** * **S** * **V2.** **k** est le coefficient du nombre de Reynolds. **S** est la surface considérée. **V2** est la vitesse du vent en m/s (mètres / seconde) fois au carré.

La portance s'exprime : **P = Cz** * **1/2 * R** * **V2** * **S**

La traînée s'exprime : **T = Cx** * **1/2** * **R** * **V2** * **S**

Les coefficients **Cz** et **Cx** sont déterminés pas le (les) type(s) de profils utilisés. Voir les données [profils] disponibles sur le réseau Web. Recherchez dans les moteurs de recherches francophones [profils, ou (par exemple) NACA + profils. Dans les moteurs de recherches anglophones, cherchez [profiles ou (pour l'exemple) NACA + profiles). Voir la liste succincte en fin de ce document de quelques sites qui parlent de profils

La longueur est la partie entière de la pale sur un rayon.

On peut calculer soit la longueur totale par rapport à l'axe, c'est donc le rayon vrai, ou, calculer seulement la partie active de la pale, cette deuxième option étant la plus exacte pour les calculs de puissance.

Exemple:

Une éolienne de 2,40 mètres de diamètre. Si le support axial mesure 30 cm de diamètre (attaches au pied de pale), donc: 2,40m/2 moins 1/2 de 30 cm = 1,05 mètres de longueur réelle de chaque pale.

Calcul (simplifié) d'une petite-éolienne.

Supposons que nous disposons d'un petit alternateur automobile ou d'un générateur à courant continu non modifié (provenance directe du fournisseur) ou, d'un alternateur ou générateur modifié selon les principes exposés dans [Alternat.pdf et Moteurs en Generatrices CC / CA .pdf]

Votre alternateur d`origine possède une puissance de sortie d' environ **200 watts** soit : **13,5 volts** * **15 ampères**.= 202,25 Watts
Un rendement brut de **80 %** est envisageable.
Le tableau des puissances possibles dans le document [Auto-construction.] nous démontre qu' une hélice de 2 mètres de diamètre nous fournirait environ 270 watts avec un vent d`environ 30 km/h. La place disponible sur notre voilier (pour l'exemple) est limitée à 1,70mètre. Par ailleurs nous avons fréquemment en mer des vents de 35 km/h (9,72 ms), voir plus. Si nous diminuons le diamètre de notre hélice à environ 1,50 mètres de diamètre afin d'avoir suffisamment de jeu autour de notre hélice (question de sécurité) que pouvons nous espérer en puissance ?

Utilisons la formule:

0.150 (coefficient fixe à 40% de rendement) *** S** (surface hélice) *** V3** (vitesse du vent multipliée au cube) **= W**atts
Soit : **0.150 * 0.75 * 0.75 * 3.14 * 9.72 * 9.72 * 9.72 = 242 watts**
Notre diamètre d'hélice et sa qualité nous donnera en principe la puissance requise en autant que le vent que nous avons envisagé (35km/h) soit coopératif.

Supposons le même alternateur en station fixe, petite résidence secondaire par exemple. Ici nous visons un vent plus faible de 30 km/h (8,33 m/s). Tentons l'expérience avec une hélice de 1,80 mètres

Reprenons notre formule de tout à l'heure.

0.150 * 0.90 * 0.90 * 3.14 * 8.33 * 8.33 * 8.33 = 220 W
Nous sommes très près de la puissance requise de 225 watts calculée précédemment. Nous pourrions calculer directement par la puissance au mètre carré soit **2,54 m2** X **0.0855** (rendement 40 %) **= 217 W.** Le résultat est très proche à 0.5% !

Vous voyez qu'il n'est pas très compliqué de calculer avec une marge d'erreur sommes toutes assez faible les dimensions futures de notre future éolienne a hélice à rotation rapide.

Une autre technique est d'envisager le diamètre d'hélice minimum à partir des données techniques de la génératrice CC ou CA
Nous pouvons calculer :
Racine carrée de **2.P** (puissance en watts brut de la génératrice CC ou CA) divisé par **Pi (3.1416) * Rhô (1.25)** * **V3** (en mètres seconde) *
Cp (rendement souhaité, dans notre cas très conservateur 40 % !)

Cette formule va rebuter certains. Servez-vous alors des tableaux

A vos calculettes pour la puissance X au carré et Y au cube rêvée !... Si l'on a un vent plus rapide l'on peut espérer plus d'énergie pour un diamètre donné d'ou, toute l'importance de ne pas sous-estimer les mesures de site, vitesse max instantanée, vitesse mensuelle-annuelle, etc.

Cette formule vous permet de réaliser quelquefois un "moulin" moins important que celui envisagé. Dès lors on constate que :

- **La vitesse du vent** moyenne/annuelle a son importance dans vos futurs calculs.
- **La taille optimale du rotor** envisagée est tributaire du facteur ci-dessus et la puissance envisagée.
- **Le rendement énergétique** au niveau de la surface balayée.

Pour Rappel: Cette formule s'établit ainsi : **P = 1/2 * R * S * V3** soit :

P = Puissance théorique récupérable au niveau de l'arbre de l 'hélice ou du rotor.

1/2 = facteur de conversion.

R = (**rhô**) densité moyenne de l'air au niveau de la mer. (1.25kg/m3) Ce facteur est variable suivant l'altitude, à moins que vous habitiez à plus de 1000 mètres d'altitude, conservez cette valeur.

S = Surface exposée au vent.

V3 = Vitesse du vent moyen considéré. (V * V * V).

E = Rendement de l'hélice estimé en %.

Quatre tableaux **Excel**, travail de collaboration de copains comme vous, sont disponibles en téléchargement libre (auto construction). Ces documents pourraient vous simplifier la vie pour vos calculs. .Assurez vous que vous possédez le logiciel EXCEL ou logiciel semblable pour exploiter ces tableaux.

Calculer les bases physiques de son futur engin (rotor éolien)

Nous l`avons vu, les paramètres de base sont le diamètre, donc la surface exposée (**S**), donc la puissance souhaitée pour un vent donné. Cette formule s'exprime
S = 2P / þ * V3 * cp

2P est la puissance souhaitée .
þ le poids de l'air (1,25 kgm3) au niveau de la mer
V3 la vitesse du vent en ms.
cp est un coefficient qui varie de 0,80 (pour une excellente pale) à environ 0,25. Pour une pale de modeste qualité.

Les tables de profils disponibles sur le Web indiquent ces données. Adresses utiles plus bas

Par exemple:

Nous souhaitons une puissance de 500 watts avec un vent optimum de 35 km/h.
Nous choisissons un **cp** de 0,32 qui est une bonne approche pour une auto-construction.
Quel sera le diamètre de notre hélice ?

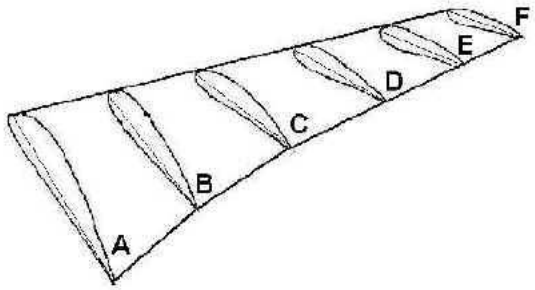
S = 500 (watts) * 2 / 1,25 (þ) * 9,72 (ms) * 9,72 * 9,72 * 0,32 = 2,72 m2

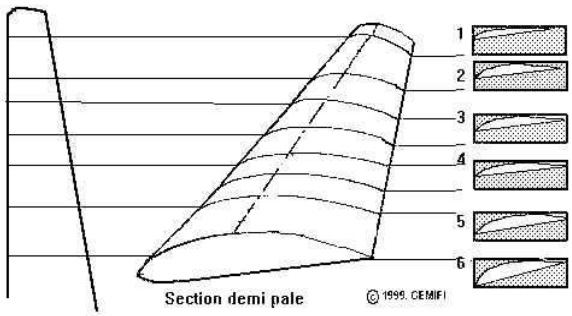
Une simple formule nous permet de déterminer le rayon puis, le diamètre :
Racine carrée de **S / 3,14** (pi)
Dans note cas : **2,72 / 3,14 = 0,866**, racine carrée de **0,866 = 0,93** mètres, donc un diamètre de **1,86**mètres

En quelques secondes de calculs simples nous avons une bonne idée de la dimension de notre futur engin. Cette simple approche est applicable pour une éolienne dont l'alternateur ou le générateur sont couplés directement.
Si vous utilisez un alternateur ou un générateur non modifié et une multiplication de vitesse mécanique, augmentez le diamètre de votre hélice de 10 à 20% afin de compenser les pertes mécaniques et, suivant l'importance des vents moyens de votre région.

Corde

La largeur d'une pale est la corde de la pale en un point donné. Cette largeur peut être fixe (pales à largeur fixe) ou variable, (pales à largeurs variables).
En général on découpe de une pale en sections dans un rapport de 1à 6, voire de 1 à 10 afin de déterminer les cordes qui sont habituellement décroissantes,
La surface pour une section précise et la circonférence pour un point donné, ce qui permet a chaque niveau de déterminer les rendements.





Quelques adresses utiles de profils (français) ou profiles (anglais)

http://naca.larc.nasa.gov/ http://freespace.virgin.net/jan.bassett http://www.aae.uiuc.edu/

http://aeromaniacs.free.fr http://www.aae.uiuc.edu/m-selig/ads/coord_database.html

http://jean-claude.etiemble.com/tracfoil/accueilE.htm http://aerolab.virtualave.net/airfoil/index.html

http://www.nasg.com/afdb/index-e.phtml http://isoar.ca/%7Eandrewm/rc/airfoils/

CALCULER LES CORDES DE VOTRE HÉLICE.

Les cordes de votre hélice peuvent se calculer aussi aisément. Si votre choix se porte sur une hélice a cordes (largeurs) fixes et calage fixe (le plus simple pour débuter) vous ne tiendrez compte que de la corde moyenne du rayon d'une pale. Par contre, si vous envisagez une pale à corde variables, ce qui est le plus recommandé pour une hélice efficace, vous opterez pour un calcul légèrement plus élaboré.
L`image ci-dessus a droite vous permet de visualiser les angles respectifs par rapport aux différentes cordes. L`image de gauche vous montre comment "découper" votre pale en segments pour vos calculs, ici six segments ou plus .
Selon la majorité des auteurs de technique éolienne, la formule la plus généralement acceptée est celle de Mark's Standards qui détermine ces paramètres: soit
C = 8 * 3,14 (pi) X **r** X **1-cos le / B** X **cp**
C : C' est la corde pour un segment déterminé. **r** : C ' est le rayon du segment (par rapport a l'axe). **B** : C ' est le nombre de pales.
cp : Varie de 0,80 (pale très performante) à 0,25 pour une modeste pale.. **1- cos le**. Cette valeur se trouve sur la majorité des sites destinés aux profils de pales, en général **le**, ou se calcule simplement à l'aide de tables ou calculette. **Un tableau Excel est disponible pour calculer simplement**

Valeurs le.

Plusieurs copains ""planchent"" sur les valeurs **le.** Voici quelques données utiles. Ces valeurs s'appliquent en principe pour tout rotor éolien. Si vous disposez d`une calculatrice scientifique il vous sera facile de calculer ces valeurs

Pour rappel :

Rapport de vitesse = $\lambda = \frac{\Omega \times r}{V}$

λ 1,0 = le 30, 4° - λ 1,2 = le 26,6° - λ 1,4 = le 23.5° - λ 1,7 = le 20,3°

λ 2,0 = le 17,9° - λ 2,5 = le 14,5° - λ 3,0 = le 12,3° - λ 4,0 = le 9,3°

λ 5,0 = le 7,5° - λ 6,0 = le 6,3° - λ 8,0 = le 4,9° λ 10 = le 4,0°

Déterminer le diamètre de l' hélice, sa puissance, sa vitesse de rotation.

Les tableaux disponibles (auto-construction), et les exemples de ces pages vous permettent de calculer facilement le diamètre idéal de votre hélice.

Par exemple :

Une hélice de 1,40 mètres de diamètre. Quels seront ses performances (théorie de base)
Surface 3,1416 * rayon au carré. Soit : **0,70m * 0,70 * 3,1416 = 1,539** mètres carrés de surface.
Vitesse du vent (Exemple, **35 km/h**) soit : **35000** mètres DIVISÉ PAR **3600** (3600 secondes dans une heure) égal **9,72** mètres seconde. DONC : **9,72 * 9,72 * 9,72 = 918** (La valeur 918 dans notre cas est un coefficient variable).
Calculons selon notre formule habituelle : **0.150** (rendement minimal estimé de 40%) *** 1,539** (m2) *** 918** (coefficient**) = 210 watts** (puissance mécanique envisageable).
Ce diamètre d' hélice pourrait donc actionner une génératrice CC ou CA de puissance de 180 watts (13,5 volts a son régime optimum calculé ici à 35 km/h)

Vitesse de rotation de l`hélice

Une hélice d'amateur aura un rendement de 4 à 6 voire plus par rapport à la vitesse du vent. Cela veut dire qu'avec un vent de 35km/h l'extrémité de l'hélice verra une vitesse de 4 à 6 fois plus élevée que celle du vent.
Prenons pour exemple un rapport de qualité de 5.
A 35 km/h le vent souffle nous l'avons vu avec une vélocité de 9,72 mètres par seconde. Le diamètre choisi dans notre cas : 1,40 mètres. Notre formule devient :

9,72 (vitesse vent) * **5** (rendement) * **60** (secondes) **/ 1.40** mètres (diamètre hélice) * **3.1416** (pi)
donc : $\frac{9,72 \times 5 \times 60}{1,40 \times 3,1416}$ **= 2916 = 664 tours minute**

A 664 tours/minute votre génératrice CA ou génératrice CC devrait fournir une bonne puissance et s'être déjà auto-amorcée si vous avez choisi la solution de rebobinage suggérée dans Alternat.pdf pour un alternateur auto ou, la multiplication mécanique de la vitesse de rotation. Si par chance votre rapport de qualité d'hélice de valeur de 5 passait à 6 la vitesse serait de 796 tours/minute d'où l' absolue nécessité de bien soigner les pales d' hélice.

Vitesse périphérique

Bien que le rapport de vitesse périphérique en extrémité de pale est un critère de qualité (voir plus haut), il est cependant un paramètre à connaître pour éviter une "survitesse" en bout de pales, survitesse qui peut devenir gênante au niveau bruit ou usure prématurée.
>>> De manière générale on se tiendra en dessous de 300 km/h de sa vitesse périphérique (extrémités des pales) . <<<

Reprenons l'exemple de notre pale de 1,40mètres de diamètre. Quel sera sa vitesse périphérique en kilomètres/heure ?
Notre calcul sera : **V = ¶ (3,14) * d** (diamètre) * **n** (vitesse de rotation) / 60 (secondes) soit :
3,14 * 1,40 * 664 / 60 = 48,64 mètres/seconde.
Donc **48, 64 m/s * 3600** (secondes dans une heure) = **175** kilomètres heure (valeur arrondie)
Si la vitesse du vent est de **9,73** mètres seconde et que l' extrémité de notre pale circule à **48,73** m/s, notre rapport initial demeurant à **5**. Donc: **48,73 / 9,72** = rapport de vitesse de **5,01**. Nous retrouvons notre valeur de rapport de qualité initialement calculée ou, envisagée !

Force centrifuge. (Simplification)

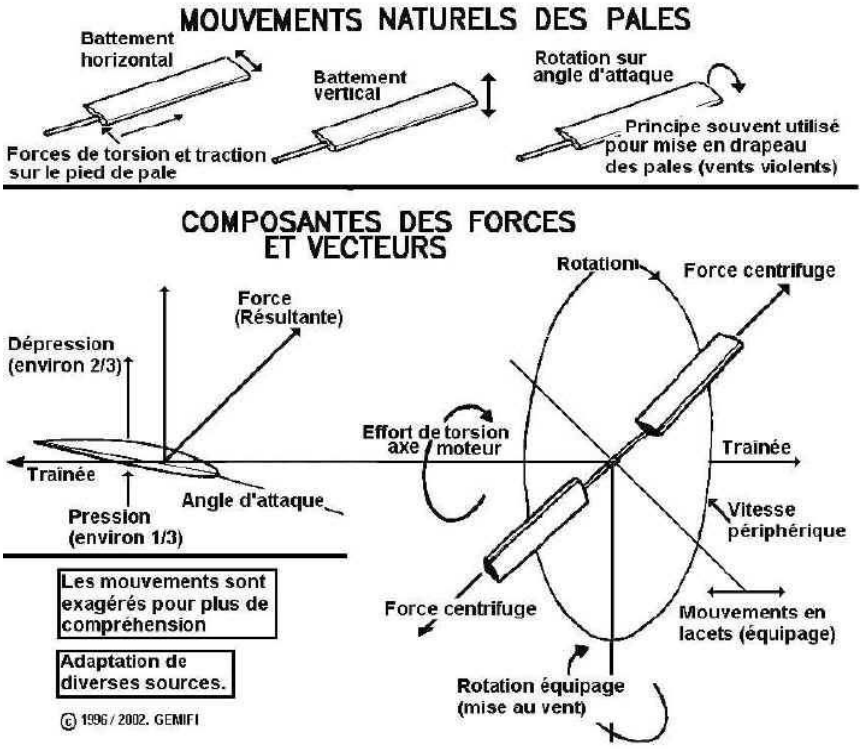
La force centrifuge exercée sur les pales peut devenir dangereuse mécaniquement. Bien des copains ont eus la désagréable surprise de voir leurs pales arrachées lors de vents très violents. La tenue mécanique ayant été négligée ! Il est facile de connaître cette force, par conséquent remédier le cas échéant AVANT le désastre.
La force s'exprime dans ce cas : **F = P/g * V2/r = m V2/r** (**formule simplifiée**)

Reprenons l' exemple de la vitesse périphérique à 35 km/h, celle-ci étant de 48,72 m/s (rapport 1 à 5)
Supposons que chacune de nos pales pèse **400** grammes, quel sera la force exercée à **664** tours minute ? Notre calcul devient :
400 (grammes) **/ 9,81** (accélération de la pesanteur) *** 2376** (Vitesse en m/s au carré) / **0,70** (rayon)
Soit : **0,400 / 9,81 = 0,0407 * 2373 / 0,70 = 3390** donc: **0,0407 * 3390 = 13 7** kilos (valeur arrondie)

Si cette valeur peut paraître modeste pour une petite éolienne il n'en demeure pas moins que tout le soins doit-être apporté tant à la qualité des matériaux utilisés qu'aux attaches de pales souvent sous évaluées.

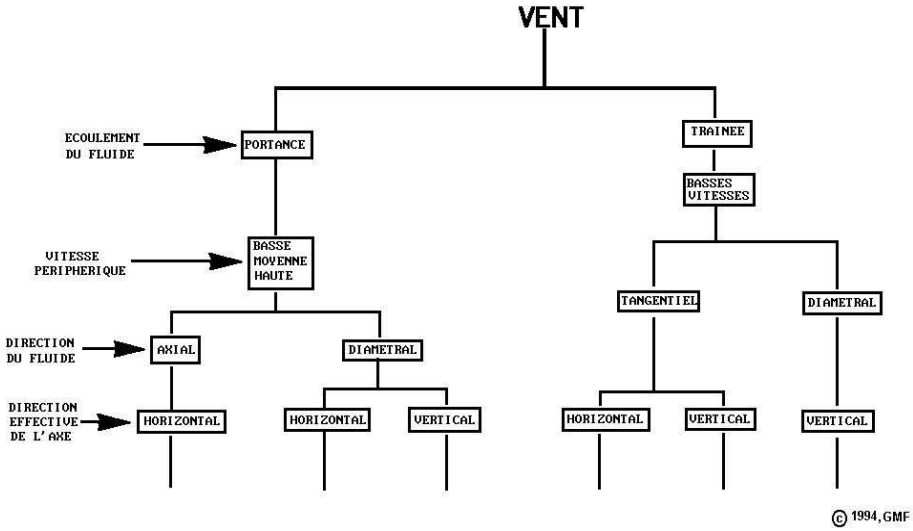
Forces en jeu

Le tableau ci-dessous représente les différences forces et contraintes d'une éolienne type axe horizontal.
Les exemples sont exagérés pour une meilleure compréhension des phénomènes.



L'amateur ne devrait pas avoir a trop se préoccuper de toutes ces forces mises en jeu dans une mini-éolienne auto-construite.
Cependant il semble adéquat de connaître (ne serais-ce que pour information) ces différents paramètres.

Classification des différent modèles d`aérogénérateurs



Bons vents a tous. Moulinette.

En pages suivantes, autres infos et tableaux utiles.

Ces tableaux sont établis pour vous aider a la résolution simplifiée de problèmes techniques.

ıntroduction

Les principales unités en cours de nos jours sont issues du système métrique dont la base est 10, ainsi que ses multiples et ses sous multiples.
Il demeure cependant certaines mesures persistantes avec une base de 12 (pied et pouce notamment) et d'autres mesures dont les références sont souvent arbitraires et relèvent souvent du domaine de l'histoire ou du folklore.

Le système international d'unités S.I (MKSA) est utilisé en concurrence avec le système I.S.O (International System Organisation) jusqu'à ce que tous les pays adhèrent de gré ou par raison commerciale a un système universel.

Les termes utilisés ci-après sont ceux généralement appliqués. Bien que des normes soient bien établies, il ne faut pas trop se formaliser si une erreur se glisse lorsque l'on parle de *Mètre* plutôt que de *mètre* ....L`essentiel est que l`on se comprenne !

Unités géométriques. (Rappel)

Nom	Symbole	Unité	Expression
Longueur	**L**	mètre	**m**
Superficie	**S**	mètre carré	**m2**
Volume	**V**	mètre cube	**m3**
Angle Plan		radian	**rd**
Angle solide	Ω	stéradian	**sd**

Unité de masse

Masse	**m**	kilogramme	**kg**

Unité de temps

Temps	**t**	seconde	**s**

Unités mécaniques

Vitesse	ʊ	mètre par seconde	**m/s**
Accélération	ϑ	mètre par seconde pars seconde	**m/s/s**
Vitesse angulaire	ω	radian par seconde	**rd/s**

Force **F** newton **N**

Il faut se souvenir que le kilogramme-poids est égal au kilogramme force, ces deux valeurs sont actuellement périmées et remplacées par le NEWTON qui est égal à: ***kgp*** *=* ***kgf*** *=* ***9,81 N***

Energie **W** joule **J**

Au même titre que le kilogramme-poids, l'énergie s'exprime maintenant par le terme: ***kgm*** *=* ***9,81 J***

Puissance P watt **W**

*L 'ancienne appellation "cheval vapeur" n'est plus utilisée, elle est remplacée par :****ch*** *=* ***75kgm/s*** *=* ***736 W***

Pression ρ pascal **Pa**

La pression s'exprime de nos jours : kgf/cm2 = 0,98 bar = 98-3 dix puissance trois ***P*** *. La pression atmosphérique normale correspond à 760 mm de mercure soit : 1,013 bar ou encore 1,03 kgf/cm2.*

Unités électriques

Intensité	**i**	ampère	**A**
Force elec-	**e**	volt	**V**

fréquemment le terme Volt-Ampère qui est la torce motrice *mesure de la puissance apparente. se lit* ***VA***

Quantité	**Q**	coulomb	**C**
Résistance	**R**	ohm	Ω

Unités calorifiques

Température	**t**	degré	**C** (celsius) ou (fahrenheit
Quantité	**Q**	joule	**J**

Unités optiques

Intensité	**cd**	candela	**cd**
Flux	**lu**	lumen	**lu**
Éclairement	**lx**	lux	**lx**

page suivante

ÉQUIVALENCE DES UNITÉS, (rappel)

Le watt (**W**) est égal à **0,001kw** à 0.102kgm/s et à 0,00136 ch
Le kilowatt (**KW**) est égal à 1000watts à 102 kgm/s et à 1,36ch
Le kilogramme-mètre seconde (**kgm/s**) est égal à 9,81W, 0,00981KW et 0,133ch. Le cheval vapeur (**ch**) est égal à 736watts, 0,736KW et 75kgm/s
Le joule (**J**) est égal à 0,00028 Wh, 0,102 kgm et 0,24 kcal

Le watt / heure est égal à 3600joules, 367kgm et 0,850kcal
Le kilo gramme mètre est égal à 9,81 joules, 0,0027 Wh et 0,0023kcal
La kilo calorie est égale à 4180 joules, 1,155Wh et 427kgm

Conversion de fractions de pouces en millimètres ( ) valeurs arrondies les plus proches en mm

1/64 = 0,395mm. (0,40)	1/32 = 0,79mm. (0,80)	1/16 = 1,59mm. (1,6)
3/32 = 2,88mm. (3,00)	1/8 = 3,17mm. (3,20)	5/32 = 3,97mm. (4,00)
3/16 = 4,76mm. (4,80)	7/32 = 5,56mm. (5,60)	1/4 = 6,35mm (6,50)
9/32 = 7,14mm (7,20)	5/16 = 7,94mm (8,00)	11/32 = 8,73mm (8,80)
3/8 = 9,52mm (9,60)	13/32 = 10,32 (10,50)	7/16 = 11,11mm(11,20)
15/32 = 11,91mm (12,00)	/2 = 12,70mm(13,00)	17/32 = 13,49mm(13,50)
9/16 = 14,29mm (14,50)	19/32 = 15,08mm(15,00)	5/8 = 15,87mm (16,00)
21/32 = 16,67mm (16,80)	11/16 = 17,46mm (17,50)	23/32 = 18,28mm (18,50)
3/4 = 19,05mm (19,20)	25/32 = 19,84mm (20,00)	13/16 = 20,64mm (21,00)
27/32 = 21,43mm (21,50)	7/8 = 22,22mm (22,50)	29/32 = 23,02mm (23,10)
15/16 = 23,81mm (24,00)	31/32 = 24,60mm (25,00)	**1 pouce = 25,40mm**

Le pied (mesure anglo saxone) est égal à 30,48 cm. Il ya 12 pouces au pied

Percages

En mesure métrique l'on utilise en règle générale des valeurs arrondies et NETTES
Ainsi, l'on évitera d'utiliser un foret de 7,84mm, l'on utilisera de préférence 8,00mm

Visserie métrique (écrous, boulons) on utilisera de préférence les mesures suivantes. sauf autres spécifications

3mm de diamètre, filetage 0,5	4mm de diamètre, filetage 0,7
5mm de diamètre, filetage 0,8	6mm de diamètre, filetage 1,0
8mm de diamètre, filetage 1,25	10mm de diamètre, filetage 1,50
12mm de diamètre, filetage 1,75	14mm et 16mm, filetage 2,00
18mm, 20mm, 22mm, filetage 2,50	24mm de diamètre, filetage de 3,00
30mm de diamètre, filetage de 3,50	36mm de diamètre, filetage 4,00
42mm de diamètre, filetage de 4,50	48 et 52mm, filetage de 5,00

Equivalences et calculs simples de valeurs différentes recherchées

Valeur origine...	Changer pour...	Multipliez par...
acres	mètres carrés	4,047
acres	pieds carrés	43,560
atmosphères	livre pouce carré	14,7
atmosphères	cm de mercure	76
BTU	Kw / heure	2,93 X 10-4
BTU pied carré	langleys (cal - cm 2)	0,271
BTU pied carré	calorie cm2 seconde	0,000135
BTU	Kilocalories	0,252
BTU	calories	252
BTU	joules	1,055
calorie / minute	Watts	0,0698
calorie	Kcalorie	0,001
calorie	pied livre	3,09
calorie	joules	4,184
calorie	BTU	3,93 X 10 -3
calorie cm 2 seconde	BTU	7,380
celsius	Fahrenheit	* 9 / 5 + 32
centimètre cube	pouces cube	0,0610
centimètre carré	pouce carré	0,155
centimètre carré	pied carré	0,00108
centimètre	pouces	0,394
fahrenheit	Celsius	-32 X 5 / 9
gallon US	litre	3,785
gallon anglo-saxon/canada	litre	4,546
gallon	Quarts	4
gallon	livres (lb)	0,00220
hectares	acres	2,47
hp	Kw	0,745

Valeur origine...	Changer pour...	Multipliez par...
joules	BTU	9,48 X 10-4
joules	calories	0,239
joules	pied / livre	0,738
kilo	livre	2,20
kilo	tonne (Int)	0,00110
kilocalorie / minute	kilowatt	0,0698
kilocalorie	BTU	3,97
kilocalorie	calories	1000
kilogramme mètre	pied livre	7,23
kilowatt heure	BTU	3,413
kilowatt	Hp	1,34
kilowatt	kilo calorie minute	14,3
kilowatt heure	pied livre	2,66 X 10 6
langleys (calories minute)	BTU pied carré	3,69
langleys (calories minute)	watts centimètre carré	0,0698
litres	gallon US	0,264
litres	Quart US	1,06
livre pouces	atmosphère	0,068
livre	gramme	454
livre	kilogramme	0,454
mètre	pouces	39,4
mètre carré	mille carré	3,86 X 10-7
mètre	pied	3,28
mètre	mile (millième)	6,21 10-4
mètre carré	pied carré	10,8
mètres en	centimètres	100
mile	mètre	1,609
mille	acre	640
mille	pied	5,280
mille carré	mètre carré	2,59 X 104
mille	pied carré	2,79 X 10-7
pied carré	mètre carré	0,0929
pied cube	litre	28,3
pied carré	centimètre carré	929
pied / livre	calorie	0,324
pied	mètre	0,305
pied	pouces	12
pied livre	joule	1,36
pied livre	kilogramme mètre	0,138
pied carré	pouces carrés	144
pied livre	Kilowatt / heure	3,77 x 10 -7
pieds (ft)	pouces	12
pouce cube	centimètre cube	16,4
pouces carrés	centimètre carré	6,45
pouces (inches)	centimètre	2,54
quart	litre	0,946
watts cm 2	calorie cm 2 (langleys)	14,3

Si vous notez une ou des erreurs ou désirez apporter d`autres valeurs utiles, contactez nous

Tous droits réservés © 2006 Mini-Eoles.com **Auteur** g.m.fischer **Mise en pages** Maryse et Hélisa

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