

ROYAUME DU MAROC  
-----  
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ (19)  
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE  
-----



المملكة المغربية  
-----  
المكتب المغربي  
للملكية الصناعية والتجارية  
-----

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 27210 A1** (51) Cl. internationale : **F03D 1/06**  
(43) Date de publication : **03.01.2005**

---

(21) N° Dépôt :  
**27975**

(22) Date de Dépôt :  
**30.11.2004**

(30) Données de Priorité :  
**05.06.2002 DE 10225136.3**

(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:  
**PCT/EP03/05605 28.05.2003**

(71) Demandeur(s) :  
**WOBEN ALOYS, Argestrasse 19 26607 AURICH (DE)**

(72) Inventeur(s) :  
**WOBEN ALOYS**

(74) Mandataire :  
**M. MEHDI SALMOUNI-ZERHOUNI**

---

(54) Titre : **PALE DE ROTOR POUR CENTRALE EOLIENNE**

(57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UNE PALE DE ROTOR D'UNE ÉOLIENNE, AINSI QU'UNE ÉOLIENNE. L'INVENTION VISE À RÉALISER UN PROFIL DE PALE DE ROTOR ET UNE ÉOLIENNE QUI PRÉSENTENT UN MEILLEUR RENDEMENT QUE JUSQU'À MAINTENANT. A CET EFFET, DANS LA PALE DE ROTOR SELON L'INVENTION, L'ÉPAISSEUR RELATIVE SE SITUE DANS UNE PLAGE D'ENVIRON 15 % À 40 %, DE PRÉFÉRENCE DANS UNE PLAGE D'ENVIRON 23 % À 28 %, ET L'ÉPAISSEUR MAXIMALE DE PROFIL EST COMPRISE ENTRE ENVIRON 20 % ET 45 %, DE PRÉFÉRENCE ENTRE ENVIRON 32 % ET 36 %.

**MEMOIRE DESCRIPTIF**

joint à l'appui d'une demande de brevet d'invention ayant pour titre :

« Pale de rotor pour centrale éolienne »

**Déposant/Inventeur**

ALOYS WOBLEN  
Argestrasse 19  
26607 AURICH  
ALLEMAGNE

**Mandataire**

M. Mehdi SALMOUNI-ZERHOUNI  
Forum International Bldg  
62 Boulevard d'Anfa  
20000 CASABLANCA MAROC

\*\*\*\*\*

03 JAN 2018  
BI 27210

Résumé

L'invention concerne une pale de rotor d'une centrale éolienne et une centrale éolienne.

L'objet de la présente invention est de proposer une pale de rotor avec un profil de pale de rotor ou une centrale éolienne présentant un meilleur rendement que les installations utilisées à ce jour.

Pale de rotor d'une centrale éolienne, la pale de rotor présentant un maximum d'épaisseur dans une zone située environ entre 15 % et 40 % et préférentiellement dans une zone allant environ de 23 % à 28 %, la plus grande épaisseur de profil étant de 20 % à 45 % et préférentiellement de 32 % à 36 %.

---

## Pale de rotor pour centrale éolienne

---

L'invention concerne une pale de rotor pour central éolienne ainsi qu'une centrale éolienne. En ce qui concerne l'état de la technique dans ce domaine, il est fait en général référence au livre «Windkraftanlagen» (Centrales éoliennes), Erich Hau, 1996. Ce livre contient quelques exemples de centrales éoliennes, de pales de rotor pour de telles centrales éoliennes ainsi que des sections de telles pales de rotor correspondant à l'état de la technique. La figure 5.34 à la page 102 représente les paramètres géométriques de profil pour des profils aérodynamiques selon NACA. On voit que la pale de rotor est décrite par une profondeur de profil correspondant à la longueur de la corde, par une grande courbure (ou relation de courbure) en tant qu'élévation maximum d'une ligne squelette au-dessus de la corde, d'une épaisseur de courbure maximum, c.-à-d. du lieu en relation à la profondeur de profil où la plus grande courbure est réalisée dans la section de la pale de rotor, par une épaisseur de profil maximum en tant que diamètre maximum d'une circonférence inscrite, dont le centre se trouve sur la ligne squelette et sur l'épaisseur maximum, c.-à-d. le lieu en relation à la profondeur de profil, où la section de la pale de rotor atteint son épaisseur de profil maximum. De plus, on considère le rayon du bord d'attaque ainsi que les coordonnées de profil des faces supérieure et inférieure pour décrire la section de la pale de rotor. La nomenclature connue du livre de Erich Hau sera, entre autres, retenue pour la description suivante d'une section de pale de rotor dans le cadre de la présente demande de brevet.

Les pales de rotor doivent être optimisées selon une multitude d'aspects. D'une part, elles doivent être silencieuses et d'autre part, elles devront fournir un maximum de puissance dynamique, afin que la centrale éolienne commence à fonctionner déjà par vent faible, atteignant la vitesse de vent nominale par vent aussi faible que possible, c.-à-d. la vitesse du vent pour laquelle la puissance nominale de la centrale éolienne est également atteinte pour la première fois.

Si la vitesse du vent continue d'augmenter, dans le cas des centrales éoliennes actuelles, dont les pales de rotor présentent un pas réglable, la pale de rotor sera tournée toujours plus dans le vent, de façon à préserver la puissance nominale, la surface d'attaque au vent de la pale de rotor diminuant cependant, protégeant ainsi la centrale éolienne entière

ou ses composants contre les dégâts mécaniques. Il est néanmoins décisif que les caractéristiques aérodynamiques des profils de pale de rotor d'une centrale éolienne présentent une signification essentielle.

L'objectif de la présente invention est de présenter une pale de rotor avec un profil de pale de rotor ou une centrale éolienne présentant un meilleur rendement que cela n'a été le cas jusqu'à présent.

Selon l'invention, ce problème est résolu au moyen d'un profil de pale de rotor présentant les caractéristiques décrites dans une des revendications secondaires. Des développements avantageux sont décrits dans les revendications dépendantes.

Les coordonnées concrètes d'un profil de pale de rotor selon l'invention sont données au tableau 1.

L'invention est ensuite présentée au moyen d'un nombre de figures, celles-ci représentant:

- |                  |  |
|------------------|--|
| figure 1         | une vue d'une centrale éolienne selon l'invention vue en perspective de devant,        |
| figure 2         | une vue d'une centrale éolienne selon l'invention vue en perspective depuis l'arrière, |
| figure 3         | une vue de côté d'une centrale éolienne selon l'invention,                             |
| figures 4-8      | des vues de la pale de rotor selon l'invention vues sous une diversité d'angles,       |
| figure 9         | un agrandissement d'une station éolienne selon l'invention                             |
| figure 10        | une vue d'une pale de rotor selon l'invention  |
| figures 11-17-19 | diverses vues d'une centrale éolienne selon l'invention                                |
| figure 18        | une vue en coupe d'une pale de rotor selon l'invention (dans la zone proche du moyeu)  |

Le profil de pale de rotor décrit selon la présente demande de brevet concerne principalement la zone de la pale de rotor voisine de la zone d'attache de la pale de rotor (attache au moyeu). De manière préférentielle, le profil décrit dans la présente demande de brevet se trouve dans le premier tiers de la pale de rotor, en relation à la longueur totale de la dite pale, ladite longueur totale pouvant varier entre 10 et 70 m, selon la puissance nominale de la centrale éolienne concernée. Ainsi par exemple, la puissance nominale d'une centrale éolienne de la Société Enercon, du type E-112 (diamètre environ 112 m) est de 4,5 MW, la puissance nominale d'une station éolienne de la Société Enercon du type E-30 n'étant que de 300 KW.

Une caractéristique particulière du profil de la pale de rotor selon l'invention est que la plus grande épaisseur du profil est d'environ 25 % à 40 % et préférentiellement 32 % à 36 % de la longueur de la corde de la pale de rotor. A la figure 18, l'épaisseur de profil maximum est d'environ 34,6 % de la corde de la pale de rotor. A la figure 1, une corde 1 est représentée, allant du milieu 2 de l'arête arrière de la pale de rotor 3 au point le plus avancé 4 du bord d'attaque 5 de la pale de rotor. Le lieu d'épaisseur maximum, c.-à-d. le lieu en relation à la longueur de la pale de rotor où se trouve la plus grande épaisseur, est d'environ 20 % à 30 % de la longueur de la corde, préférentiellement 23 % à 28 % et 25,9 % pour l'exemple représenté. La plus grande épaisseur a été déterminée perpendiculairement à la corde et cette plus grande épaisseur est indiquée en relation au bord d'attaque de la pale de rotor.

En plus de cela, une ligne squelette 7 est représentée à la figure 18. Ladite ligne squelette résulte de la demi épaisseur correspondante de la pale de rotor 8 en un point. De manière correspondante, cette ligne squelette n'est pas droite, mais passe toujours exactement entre des points opposés sur l'intrados 9 de la pale de rotor 7 et l'extrados 10 de ladite pale de rotor 7. La ligne squelette coupe la corde au bord de fuite et au bord d'attaque de la pale de rotor.

Le lieu de courbure maximum de la section d'une pale de rotor selon l'invention est d'environ 55 % à 70 % de la longueur de la corde et préférentiellement environ 59 % à 63 %. Pour l'exemple présenté, le lieu de courbure maximum est d'environ 61,9 % de la longueur de la corde, la plus grande courbure étant comprise entre 4 % et 8 % de la longueur de la corde et préférentiellement entre 5 % et 7 % de ladite longueur de corde. Pour l'exemple présenté, la courbure est d'environ 5,87 % de la longueur de la corde.

De plus, il est tout à fait évident pour le profil de la pale de rotor selon l'invention, que l'intrados de la pale de rotor «coupe» deux fois la corde, c.-à-d. que dans cette zone, l'intrados du profil est concave, alors que l'intrados est convexe dans la zone avant du profil. Dans la zone où l'intrados est concave, l'extrados présente une limite quasiment rectiligne dans la zone opposée correspondante.

Il se peut que le fait de doter l'intrados d'une courbure concave ou de donner à l'extrados une limite rectiligne ait été connu. Cependant, la combinaison de ces deux mesures présente une grande importance pour la pale de rotor selon l'invention, étant caractéristique du profil de ladite pale de rotor selon l'invention.

Le bord de fuite du profil représenté est également remarquablement épais. Cependant, ceci ne pose pas de problème de génération de bruit au bord de fuite de la pale de rotor, parce que le profil représenté se trouve dans le tiers intérieur de la circonférence du rotor, où la vitesse de trajectoire n'est pas particulièrement élevée.

Les coordonnées x-y du profil représenté à la figure sont reproduites au tableau 1, décrivant exactement le profil de la pale de rotor selon l'invention.

Afin d'améliorer la forme aérodynamique de la pale de rotor, cette dernière est configurée de manière à présenter la plus grande largeur dans la zone de sa souche, la pale de rotor présentant de ce fait une forme plus ou moins trapézoïdale (vue du dessus), cette forme se rapprochant de la forme aérodynamique optimale. Préférentiellement, la pale de rotor présentera dans la zone de sa souche une configuration telle, que le bord de la pale tourné vers la nacelle de la centrale éolienne sera adaptée au contour de ladite nacelle pour au moins une position angulaire, par exemple de manière à ce que la distance entre la nacelle et le bord de la souche de la pale de rotor tournée vers la centrale éolienne soit très faible lorsque la pale de rotor se trouve en position nominale dans le vent, variant entre 5 mm et 100 mm.

Pour une pale de rotor avec les caractéristiques mentionnées plus haut, on a trouvé une augmentation de puissance nettement supérieure, allant en partie jusqu'à 10 %. Dû à cette augmentation de puissance qui n'est pas prévisible, une centrale éolienne selon l'invention atteint une plus grande puissance pour une vitesse du vent donnée située en dessous de la vitesse du vent nominale. De plus, elle atteint sa puissance nominale plus vite que jusqu'à présent. Les pales de rotor peuvent par conséquent être tournées plus tôt

(réglage du pas), faisant diminuer d'une part les émissions de bruit et d'autre part les sollicitations mécaniques de la centrale.

L'invention est basée sur le fait connu que la forme de pale de rotor actuellement utilisée de manière générale a été étudiée en tunnel aérodynamique à différentes vitesses du vent, mais toujours avec des courants d'air uniformes. Cependant, dans la nature, le vent ne présente que très rarement un courant de distribution surfacique uniforme, étant plutôt soumis à des lois aléatoires. De ce fait, et dû à des rafales de vent, il se produit pour les pales de rotor connues des décollements des filets d'air juste dans la zone intérieure de la pale, près du moyeu du rotor, précisément là où la pale ne présente plus une forme aérodynamique nette et optimale. Ce décollement des filets d'air se prolonge sur une certaine distance le long de la pale de rotor, en direction de la zone extérieure de la pale de rotor (pointe de la pale de rotor). Dû à ce fait, le filet d'air peut se détacher de la pale de rotor dans une zone en forme de bulle, causant ainsi des pertes de puissance correspondantes. On peut donc grâce à l'invention, et en considérant la situation initiale susvisée, obtenir au moyen d'une pale de rotor soigneusement configurée, une augmentation de puissance considérable, également dans la zone intérieure de la pale de rotor.

Si l'on utilisait maintenant un profil standard connu, à la place du profil déterminé empiriquement et proposé dans la présente demande de brevet, le double de la profondeur de profil (correspondant à la longueur de la corde de la pale de rotor) serait nécessaire dans la zone inférieure de la pale (zone proche du moyeu), afin d'obtenir une configuration aérodynamique nette de ladite pale. La grande épaisseur de profil dans la zone avant est, quant à elle, nécessaire pour obtenir une dérivation sûre de la charge et pour atteindre un coefficient de portance  $C_A$  supérieur à 2.

Il est connu de l'état de la technique que l'on construit de nos jours régulièrement des pales de rotor présentant une économie de matériel aussi grande que possible dans la zone intérieure. Des exemples typiques de ceci sont présentés, selon l'état de la technique susvisé, aux pages 114 et 115 de l'ouvrage «Windkraftanlagen» (Centrales éoliennes), Erich Hau, 1996. On y voit que la plus grande profondeur de profil est toujours atteinte à une certaine distance de la souche de la pale de rotor, c.-à-d. dans une zone proche de ladite souche de la pale de rotor, des économies de matériel étant réalisées avec ces pales de rotor répondant à l'état de la technique. Cependant, si l'on utilise, selon la vue de dessus, une forme optimale proche de la forme trapézoïdale, la plus grande largeur d'une pale de rotor ne se trouve plus à une certaine distance de la souche de la pale de rotor, mais

exactement dans la zone de ladite souche. On ne fera donc plus d'économies de matériaux aussi grandes que possible dans la zone intérieure des pales de rotor.

La raison des économies de matériaux réalisées jusqu'ici est due à la considération statique des conditions des courants d'air (comme susvisés) lors du calcul/développement des pales de rotor. De plus, les logiciels de calcul couramment utilisés pour les pales de rotor subdivisent ladite pale de rotor en segments de distance donnée, calculant chaque segment de pale individuellement et déduisant des résultats une évaluation pour la pale entière.

En fait, la réalité est autre. D'une part, le vent ne souffle pas uniformément et statiquement dans une aire donnée, mais fait preuve d'un comportement nettement aléatoire, tandis que d'autre part, dû à la faible vitesse périphérique de la pale de rotor dans la zone intérieure (c.-à-d. dans la zone proche du moyeu), l'influence de la vitesse du vent est considérable, de sorte que l'angle d'attaque change dans cette zone de manière fortement dépendante de la vitesse momentanée du vent. Il s'ensuit un fréquent décollement des filets d'air, également dans la zone intérieure de la pale de rotor.

Dans ce cas, il se produit un phénomène d'hystérésis. Lorsque la vitesse du vent retrouve sa valeur antérieure, par exemple après une rafale de vent, les filets d'air n'adhèrent pas immédiatement de nouveau à la pale de rotor. Au contraire, la vitesse du vent doit d'abord diminuer d'avantage (c.-à-d. que l'angle d'attaque doit continuer de changer), jusqu'à ce que les filets d'air adhèrent à nouveau à la surface de la pale de rotor. Si la vitesse du vent ne continue pas à diminuer, il se peut qu'une force significative soit exercée sur la pale de rotor durant une période prolongée, malgré l'arrivée de filets de vent, parce que lesdits filets de vent n'ont pas encore adhéré à la surface de la pale de rotor.

Grâce à la configuration de la pale de rotor selon l'invention, le risque de décollement des filets d'air est fortement réduit. Ce danger de décollement est également réduit par le profil relativement épais. La remarquable augmentation de puissance peut également être expliquée par le fait que, dû à l'effet d'hystérésis une fois qu'il y a eu décollement des filets d'air, les pertes de puissance se maintiennent durant un intervalle de temps prolongé (pour les pales de rotor selon l'état de la technique).

De plus, l'augmentation de puissance peut être expliquée en partie par le fait que le vent choisit également le chemin de moindre résistance. Ainsi, lorsque la pale de rotor est très fine dans la zone voisine du moyeu (grande économie de matériel), ceci équivaut à une

«lacune permettant la fuite du vent» dans la surface récoltante de la circonférence du rotor, par laquelle l'air peut circuler préférentiellement. On reconnaît dans le cas présent également une faiblesse des logiciels de calcul couramment utilisés, ces derniers partant toujours d'une distribution uniforme sur la surface de la circonférence du rotor.

Si l'on «bouche» ladite «lacune permettant la fuite du vent» en donnant une forme trapézoïdale à la pale de rotor dans la zone proche du moyeu, on obtiendra une meilleure distribution des filets d'air sur la surface de la circonférence au total, augmentant également l'effet sur la zone extérieure de la pale de rotor, de sorte que le fait de «boucher» ladite «lacune permettant la fuite du vent» collabore à l'augmentation du rendement en matière de puissance de la pale de rotor selon l'invention.

Ceci révèle un autre point faible des logiciels de calcul couramment utilisés, vu que ces derniers considèrent également la section de pale de rotor située au voisinage immédiat de la «lacune permettant la fuite du vent» comme section de pale de rotor à part entière, ce qui ne peut être le cas, vu les conditions particulières des courants d'air (décollement fréquent des filets d'air et, plus tard, restitution des conditions des courants d'air prévus).

Les figures 11 à 17 montrent la centrale éolienne selon l'invention de face ou de côté. On y reconnaît comment, dans la zone voisine du moyeu, les trois pales de rotor passent presque sans transition dans la structure extérieure de la nacelle. Ceci ne vaut cependant que pour la position des pales de rotor, dans la mesure où ces dernières se trouvent en position nominale dans le vent.

Dès lors que la vitesse du vent augmente au delà de sa valeur nominale, les pales de rotor sont lentement tournées hors le vent par réglage du pas, et la figure 15 montre que dans ce cas, la distance entre le bord inférieur de la zone intérieure de la pale de rotor et la nacelle augmente. Cependant, la figure 4 montre également que la face extérieure de la nacelle présente une structure dont la section correspond à un très haut degré au profil de la pale de rotor au voisinage du moyeu, ladite structure de la nacelle se trouvant immédiatement en dessous de la pale de rotor lorsque son angle d'attaque correspond à la vitesse nominale, de sorte que l'interstice entre la structure de la nacelle et la pale de rotor formé au voisinage du moyeu est très étroit.

Par conséquent, le contour extérieur de la nacelle contient également une partie de pale de rotor, qui n'est cependant pas partie intégrante de ladite pale de rotor.

Le rayon du bord d'attaque du profil de pale de rotor représenté à la figure 18 est d'environ 0,146 fois la profondeur de profil.

Comme on reconnaîtra à la figure 18, une zone pratiquement rectiligne assez longue est formée à l'extrados. Cette zone peut être décrite par exemple de la manière suivante: dans la zone allant de 38 % à 100 % de la profondeur de profil, le rayon est de 1,19 fois la longueur de la profondeur de profil. Dans la zone allant de 40 % à 85 % de la profondeur de profil (cf. figure 18), le rayon est d'environ 2,44, multiplié par la profondeur de profil. Dans la zone allant de 42 % à 45 % de la profondeur de profil, le rayon est d'environ 5,56 fois la profondeur de profil.

Dans la zone allant de 36 % à 100 % de la profondeur de profil, la déviation maximum de la droite parfaite est d'environ 0,012 fois la longueur de profil. Cette valeur est déterminante, vu que le rayon de courbure varie et que le rayon de courbure maximum est donné dans chaque cas dans les zones correspondantes.

Dans l'exemple présenté, la longueur de l'extrados est d'environ 1,124 fois la longueur de la profondeur de profil, la longueur de l'intrados étant d'environ 1,112 fois la profondeur de profil. Ceci signifie que la longueur de l'extrados n'est que très légèrement supérieure à celle de l'intrados. Il est donc très avantageux que la relation entre la longueur de l'extrados et la longueur de l'intrados soit inférieure à 1,2, et de préférence à 1,1, ou bien qu'elle soit située dans une plage de valeurs allant de 1 à 1,03.

On voit sur les figures que la pale de rotor présente sa plus grande profondeur de profil directement à l'anneau tournant de la nacelle, c.-à-d. à l'extérieur de cette dernière. Ainsi par exemple, pour une centrale éolienne présentant un diamètre de rotor de 30 m, la profondeur de profil à l'anneau tournant de la nacelle peut se situer entre 1,8 m et 1,9, étant préférentiellement de 1,84 m. Si la partie tournante présente alors un diamètre de 3,2 m, la relation entre la profondeur de profil de la pale de rotor à l'anneau tournant de la nacelle et le diamètre dudit anneau tournant est d'environ 0,575. Il est donc très avantageux que la relation entre profondeur de profil et diamètre de l'anneau tournant soit plus grande que 0,4, ou bien qu'elle soit située dans une plage de valeurs allant de 0,5 à 1. On pourra prendre n'importe quelle valeur dans la plage de valeurs mentionnée. Dans l'exemple susvisé, la relation entre profondeur de profil et diamètre du rotor est d'environ 0,061. Il est donc évident que de ce fait, la «lacune permettant la fuite du vent» est aussi petite que possible, lorsque la relation entre profondeur de profil et diamètre du rotor se situe au dessus d'une valeur

allant de 0,05 à 0,01, la valeur donnée comme exemple s'étant avérée très avantageuse en ce qui concerne la performance de la pale de rotor.

Un autre exemple est donné par une pale de rotor présentant sur son premier tiers la section de profil représentée à la figure 18, la profondeur de profil à l'anneau tournant de la nacelle étant d'environ 4,35 m, le diamètre de l'anneau tournant de la nacelle de 5,4 m et le diamètre du rotor de 71 m au total. Dans ce cas, la relation de la valeur de la profondeur de profil par rapport au diamètre de l'anneau tournant de la nacelle est de 0,806 et la relation de la profondeur de profil au diamètre du rotor est, quant à elle, de 0,061. Les valeurs citées concernent un rotor à trois pales, à pas réglable.

Comme décrit, pour la pale de rotor selon l'invention, la partie la plus large (la partie présentant la plus grande profondeur de profil) est formée directement dans la zone de raccord de la pale. La zone de raccord est la zone où la pale de rotor est raccordée (attachée, vissée, etc.) au moyeu de la centrale éolienne. De plus, le bord inférieur de la pale de rotor, c.-à-d. le bord tourné vers la nacelle de la centrale éolienne, est le plus rapproché ou le mieux ajusté en direction longitudinale au contour extérieur de la nacelle. Ainsi, lorsqu'une pale de rotor se trouve en position de mise en drapeau (c.-à-d. qu'il n'y a pratiquement plus de surface tournée au vent), elle se trouve être parallèle au bord inférieur tourné vers la nacelle, la distance entre le bord inférieur et le contour extérieur de la nacelle étant minimal, préférentiellement de moins de 50 cm, ou encore mieux, moins de 20 cm.

Lorsqu'on tourne une telle pale de rotor dans le vent, elle présente également une grande surface maximale aussi dans la zone très proche de la pale de rotor (la «lacune permettant la fuite du vent» est très petite). La citation susvisée de Erich Hau montre que la pale de rotor selon l'état de la technique diminue régulièrement dans la zone voisine du moyeu (les pales de rotor sont moins larges à cet endroit qu'en leur partie de plus grande largeur) et inversement, pour la pale de rotor selon l'invention, la partie la plus large se trouve précisément dans la zone voisine du moyeu, de manière à permettre le plus grand prélèvement possible du potentiel du vent à cet endroit.

De manière connue, les pales de rotor très grandes présentent une très grande largeur au voisinage du moyeu. Afin de permettre le transport de telles pales de rotor (pour les grandes pales de rotor, c.-à-d. les pales de rotor de plus de 30 m de longueur, la largeur au voisinage du moyeu peut être de 5 à 8 m), la pale de rotor peut être constituée de deux parties, les deux parties étant séparées durant le transport et assemblées après le transport. A cette fin, les deux parties sont rassemblées avant leur installation sur la centrale éolienne,

par exemple au moyen de raccords vissés ou de raccords permanents (collage). Ceci ne présente pas de problème, en particulier pour les grandes pales de rotor, vu que la taille de ces pales fait qu'elles soient également accessibles depuis l'intérieur aux fins d'assemblage, de manière qu'on obtient extérieurement une pale de rotor d'aspect unitaire, des fentes de séparation aux bords des parties assemblées étant à peine apparentes, ou n'apparaissant pas du tout.

Le design de pale de rotor selon l'invention permet - comme le montrent des premières séries de mesures - une augmentation significative du rendement par rapport aux pales de rotor utilisées jusqu'à présent.

Comme montré aux figures 1 à 17, pour une centrale éolienne selon l'invention 1, les pales de rotor sont constituées de manière à présenter la plus grande profondeur de profil au voisinage du moyeu, les pales de rotor étant de plus très rapprochées du revêtement de la nacelle (anneau tournant de la nacelle) du compartiment machine de la centrale éolienne, le long du profil entier dans la zone voisine du moyeu. Ceci donne, du moins pour la position dans laquelle la pale de rotor adopte un angle correspondant à des vitesses du vent allant jusqu'à la vitesse nominale, une distance très faible du revêtement de la nacelle. Alors que pour les représentations, par exemple des figures 1, 2 et 3, les parties arrière des profils des pales de rotor sont également très proches du revêtement extérieur de la nacelle, pour une réalisation alternative, montrée par exemple aux figures 11 à 17, le revêtement extérieur de la nacelle est lui-même pourvu d'une partie de pale de rotor 30 qui n'est en soi cependant pas partie intégrante de la pale de rotor au total. On reconnaît en ce sens bien aux figures 15 et 17 que la partie de pale de rotor solidaire de la face extérieure de la nacelle y est fixe et forme un angle correspondant à la position angulaire d'une pale de rotor jusqu'à la vitesse nominale du vent, de manière à ce que l'interstice entre le bord inférieur de la pale de rotor et la nacelle soit également minimum dans la zone arrière de profondeur de profil, du moins pour les vitesses du vent allant jusqu'à la vitesse nominale.

On reconnaît également bien à la figure 19 que, grâce à la réalisation des pales de rotor selon l'invention, il n'y a qu'une très faible «lacune permettant la fuite du vent».

La figure 18 représente la section d'une pale de rotor selon l'invention le long de la ligne A-A montrée en figure 17, c.-à-d. le profil de la pale de rotor dans la zone voisine du moyeu.

La figure 17 indique aussi ce que l'on comprend sous le terme de diamètre D de l'anneau tournant de la nacelle.

Le diamètre du rotor est décrit par le diamètre de la surface circulaire balayée par le rotor au cours de sa rotation.

Comme on voit à la figure 15 et sur d'autres figures, la partie 30 de pale de rotor, qui n'est pas partie intégrante de la pale de rotor tournante, est partie intégrante du revêtement extérieur de la nacelle. La partie correspondante peut être vissée à la nacelle, former une seule pièce avec la nacelle ou bien y être fixée par collage.

### Revendications

1. Centrale éolienne présentant au moins une pale de rotor raccordée à un moyeu de rotor, ainsi qu'un revêtement de moyeu, caractérisée en ce qu'une partie d'une pale de rotor fermement fixée sur la face extérieure du revêtement du moyeu est formée sur ladite face extérieure du revêtement du moyeu, ne formant cependant pas partie intégrante de la pale de rotor de la centrale éolienne,
2. Pale de rotor selon la revendication 1, caractérisée en ce que la pale de rotor présente une épaisseur maximum dans une zone d'environ 15 % à 40 % et préférentiellement dans une zone allant de 23 % à 28 %, la plus grande épaisseur de profil étant de 20 % à 45 %, et préférentiellement de 32 % à 36 %,
3. Pale de rotor selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que la section de la pale de rotor est décrite par une ligne squelette dont la majeure courbure est située dans une zone entre 50 et 70°, et préférentiellement entre 60° et 65°
4. Pale de rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la plus grande courbure mesure environ 3 % à 10 %, et préférentiellement 4 % à 7 %.
5. Pale de rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite section est formée préférentiellement dans le tiers inférieur de la pale de rotor, voisin du raccordement de la pale de rotor.
6. Pale de rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la pale de rotor présente un intrados et un extrados, l'intrados présentant une partie de courbure concave tandis que l'extrados présente un segment pratiquement rectiligne
7. Centrale éolienne selon la revendication 6, caractérisée en ce que le profil de pale de rotor formé sur le revêtement du moyeu correspond essentiellement au profit de la pale de rotor au voisinage du moyeu.
8. Centrale éolienne selon la revendication 7,

caractérisée en ce que la partie de pale de rotor formée sur le revêtement du moyeu, est fixe et est essentiellement orientée de manière à ce que, lorsque la pale de rotor prend la position correspondant à une vitesse inférieure à la vitesse nominale du vent, ladite partie de pale de rotor se trouve immédiatement en dessous de la zone voisine du moyeu de la pale de rotor de la centrale éolienne.

9. Centrale éolienne présentant au moins une pale de rotor selon l'une des revendications précédentes.

10. Centrale éolienne, en particulier selon la revendication 9, la centrale éolienne présentant un rotor recevant au moins une pale de rotor présentant la plus grande profondeur de profil au voisinage du moyeu des pales de rotor, la relation entre profondeur de profil et diamètre du rotor prenant la valeur présente dans une zone située entre 0,04 et 0,1, et préférentiellement une valeur située entre 0,055 et 0,7, par exemple 0,061.

11. Centrale éolienne, en particulier selon l'une des revendications 9 ou 10, présentant un compartiment machine recevant un générateur et un rotor relié au générateur, ledit rotor comprenant au moins deux pales de rotor et présente un moyeu pourvu d'un revêtement (partie tournante), la relation entre la profondeur de la pale de rotor et le diamètre de la partie tournante présentant une valeur supérieure à 0,4 et préférentiellement située dans une plage de valeurs comprises entre 0,5 et 1.

12. Centrale éolienne, en particulier selon l'une quelconque des revendications précédentes, avec un rotor ayant préférentiellement plus d'une pale de rotor, la pale de rotor présentant une forme trapézoïdale plus ou moins proche de la forme aérodynamique optimale et sa plus grande largeur dans la zone voisine de sa souche, le bord de la souche de la pale de rotor tournée vers la nacelle étant constituée de telle façon que la forme du bord suit essentiellement le contour extérieur de la nacelle (dans le sens de la longueur).

13. Centrale éolienne selon la revendication 12, caractérisée en ce que le bord inférieur de la pale de rotor, tourné vers la nacelle, est pratiquement parallèle au contour extérieur de la nacelle dans la zone souche, lorsque la pale de rotor est tournée de manière à être mise en drapeau.

14. Centrale éolienne selon la revendication 13

caractérisée en ce que la distance entre le bord inférieur de la pale de rotor, tourné vers la nacelle, et le contour extérieur de la nacelle est inférieur à 50 cm et préférentiellement à 20 cm, lorsque la pale de rotor est mise en drapeau.

15. Centrale éolienne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la pale de rotor est tournée en dehors du plan principal de la pale dans la zone souche.

16. Centrale éolienne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la pale de rotor est constituée de deux pièces dans la zone souche, une ligne de séparation étant constituée dans le sens de la longueur de la pale de rotor.

17. Centrale éolienne selon la revendication 16, caractérisée en ce que les deux parties de la pale de rotor ne sont assemblées que brièvement avant le montage de la pale de rotor sur la centrale éolienne.

18. Centrale éolienne selon l'une quelconque des revendications 16 ou 17, caractérisée en ce que les parties de la pale de rotor sont séparées durant le transport.

19. Centrale éolienne, en particulier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la centrale éolienne présente au moins une pale de rotor caractérisée par un intrados et un extrados, la relation entre la longueur de l'extrados et la longueur de l'intrados étant inférieure à une valeur de 1,2 et préférentiellement à 1,1, en particulier dans une plage de valeurs allant de 1 à 1,03.

1/17

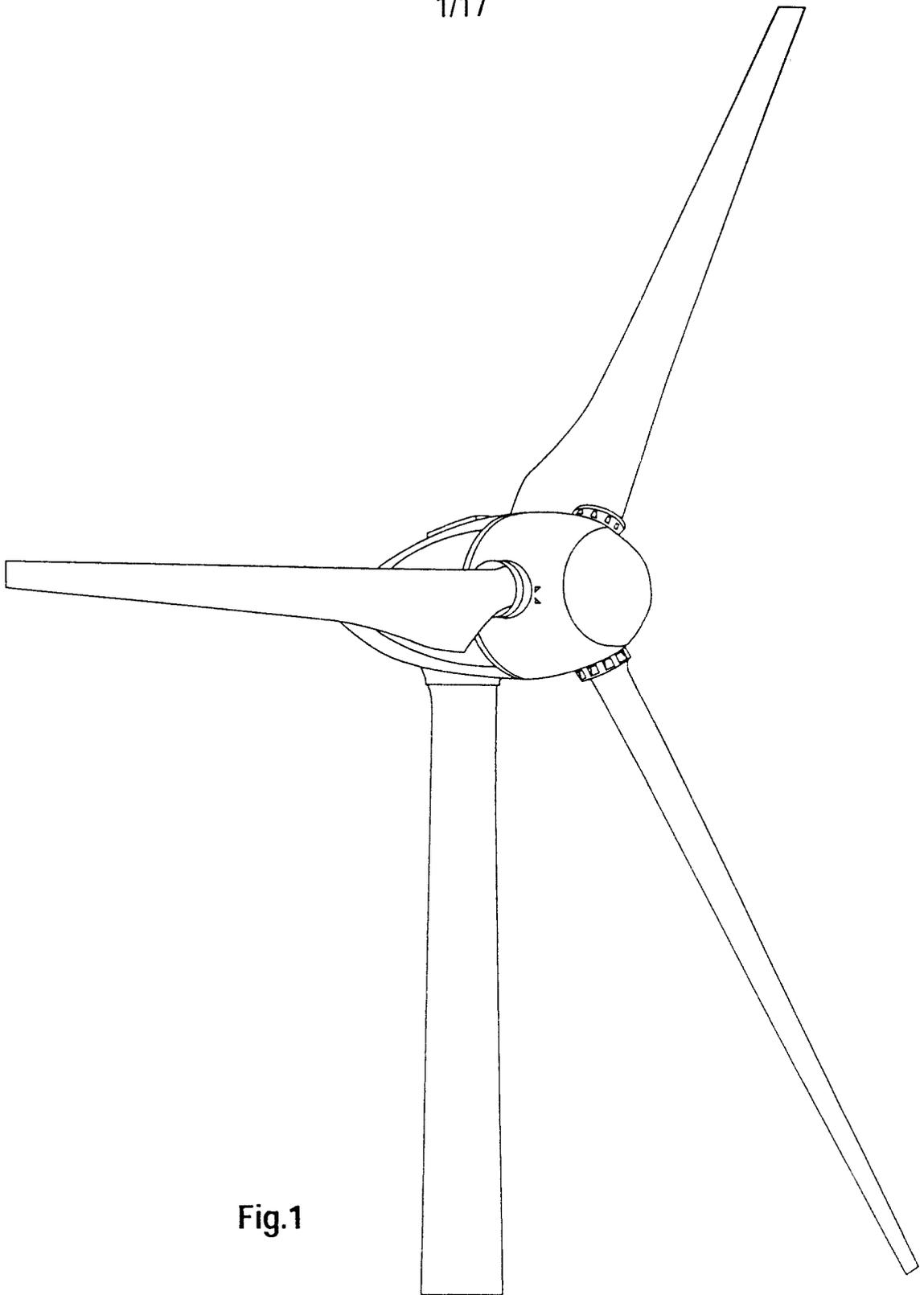


Fig.1

2/17

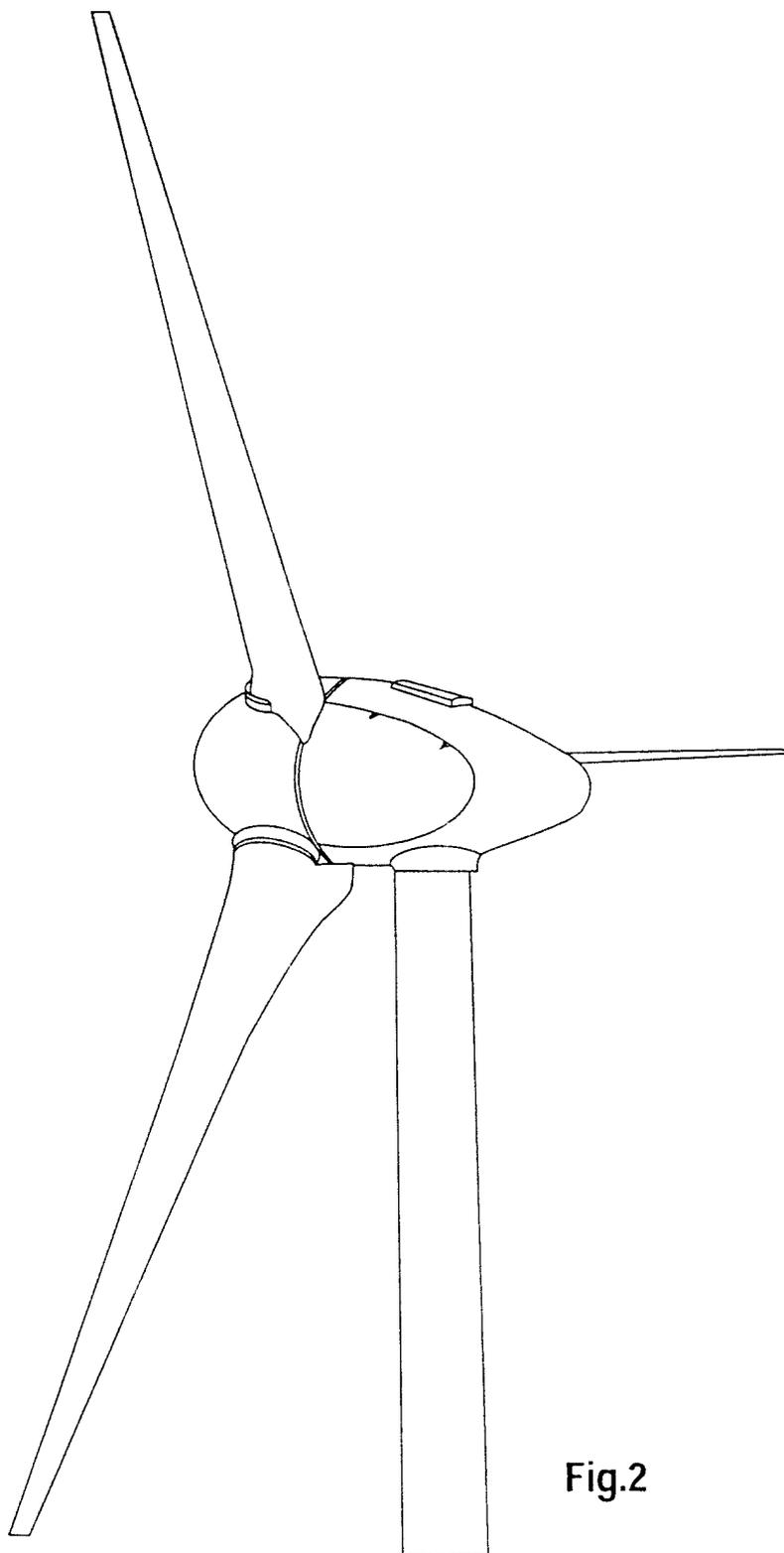


Fig.2

3/17

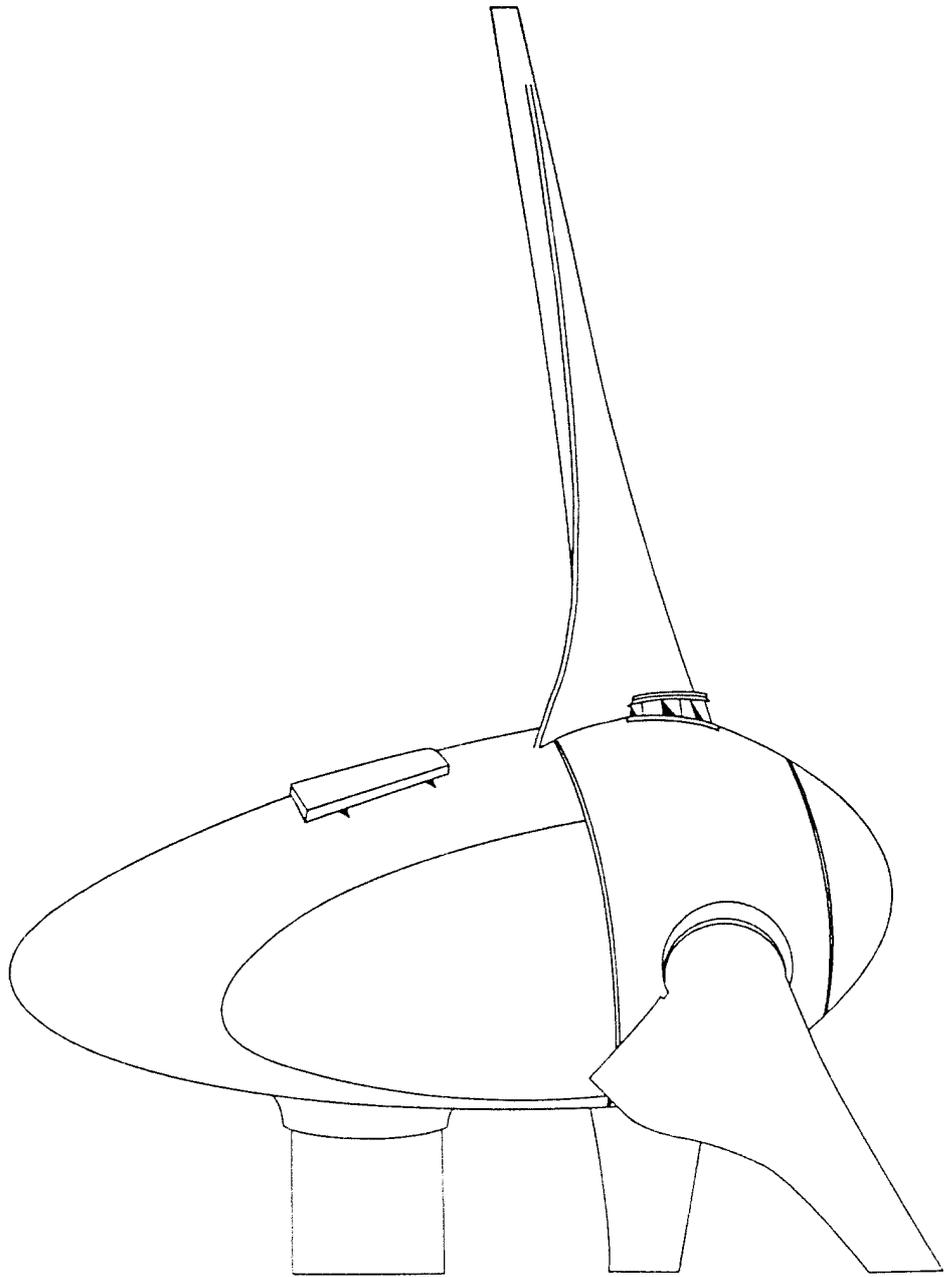


Fig.3

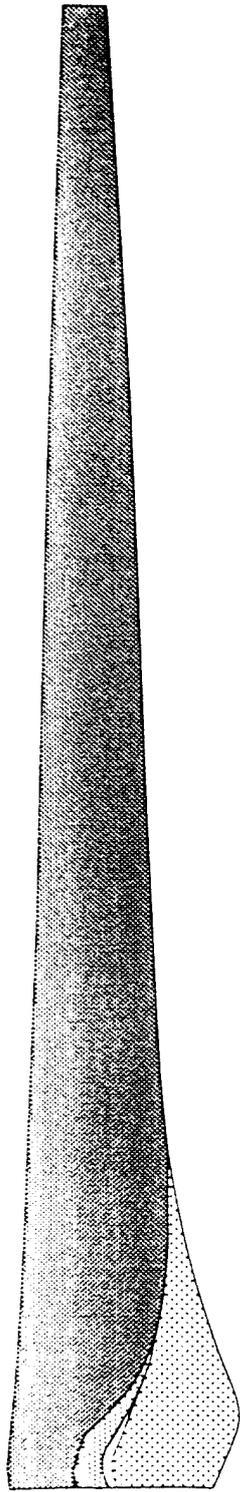


Fig.4

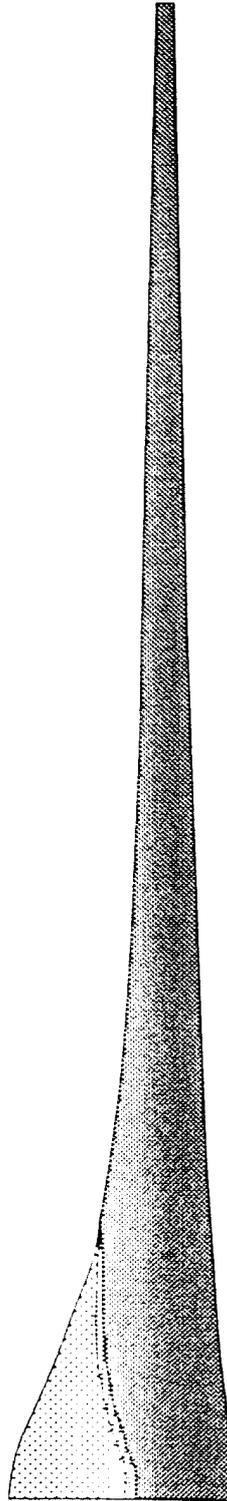


Fig.5

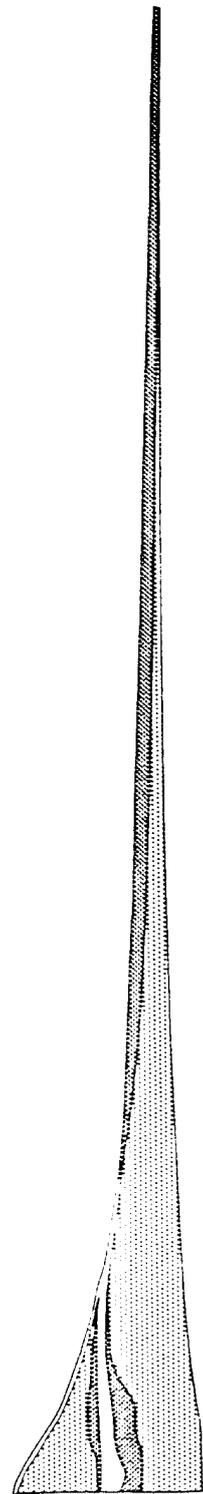


Fig.6

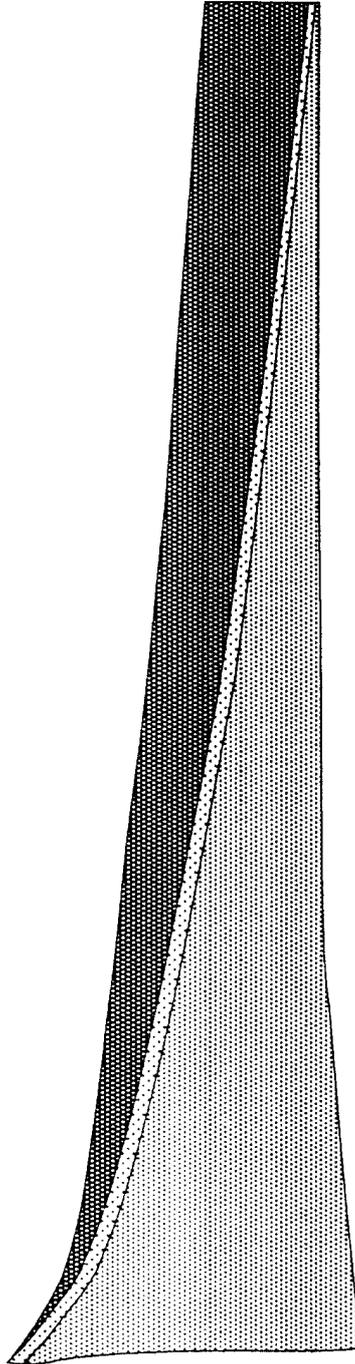


Fig.7

6/17

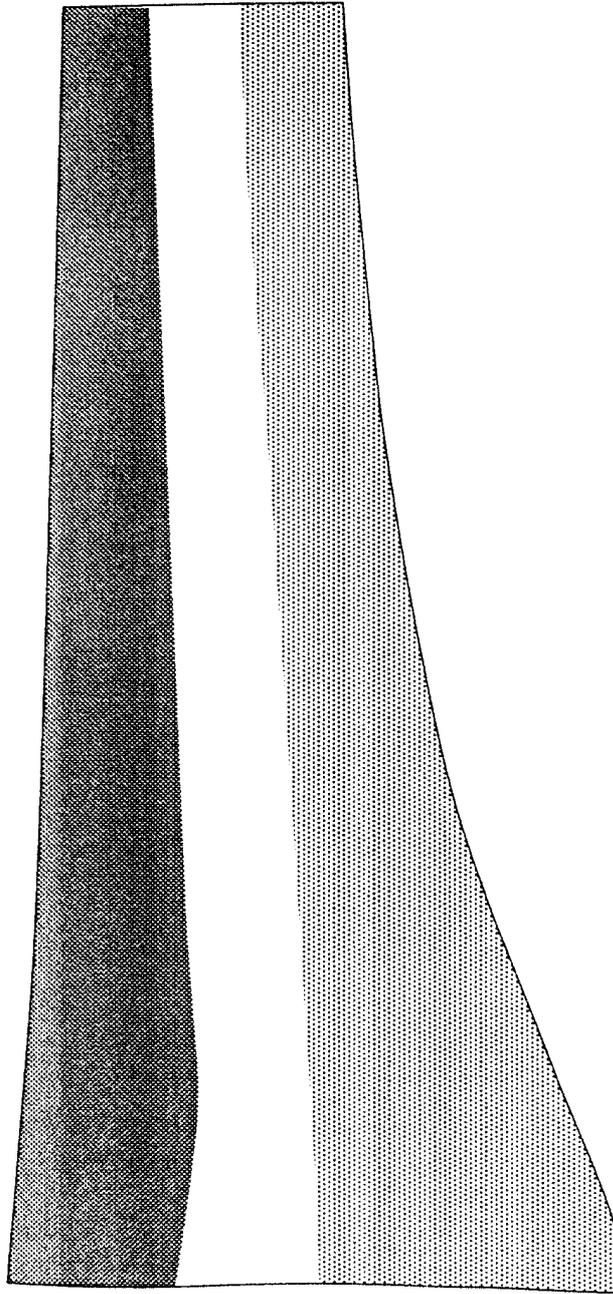


Fig.8

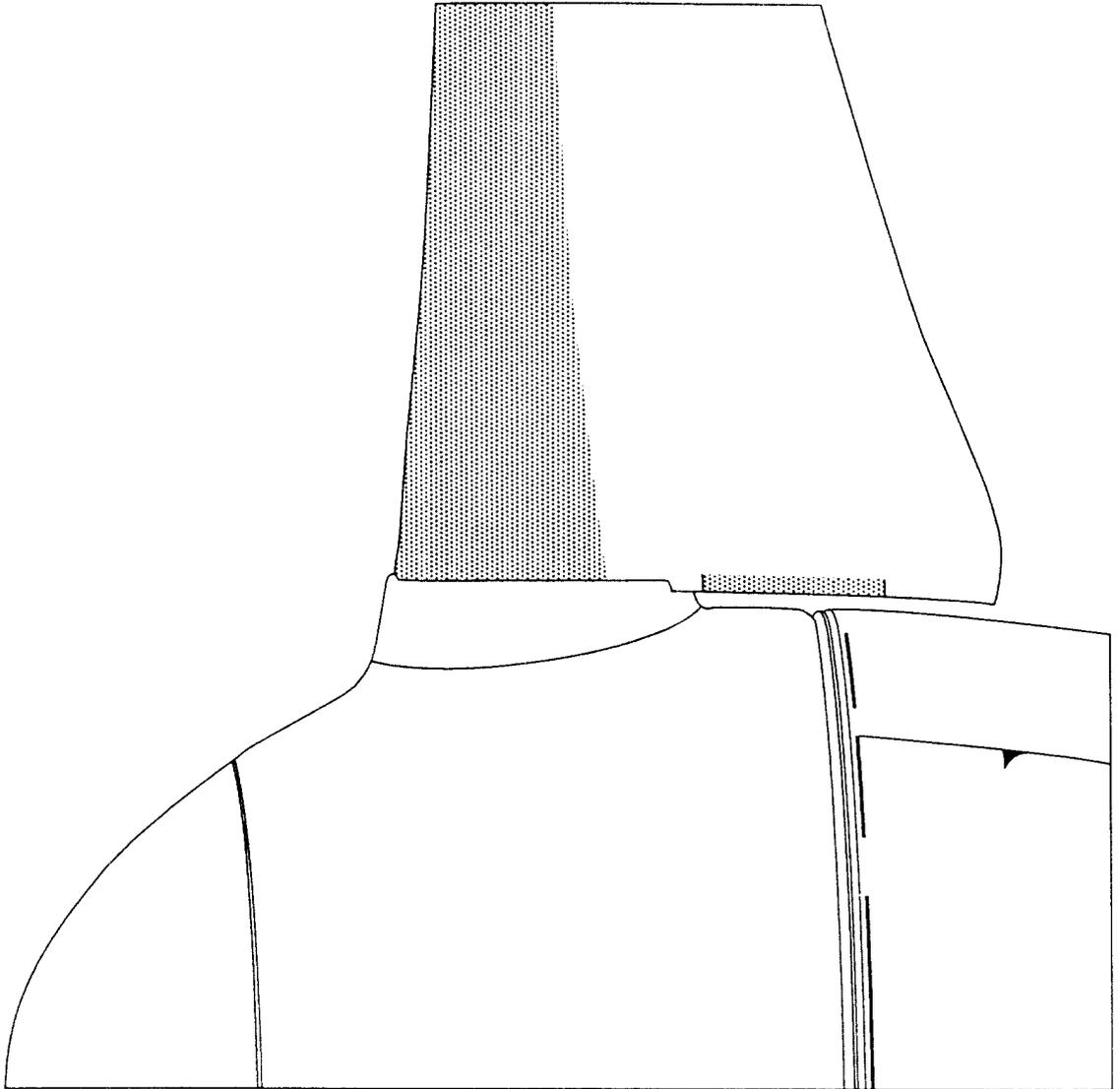
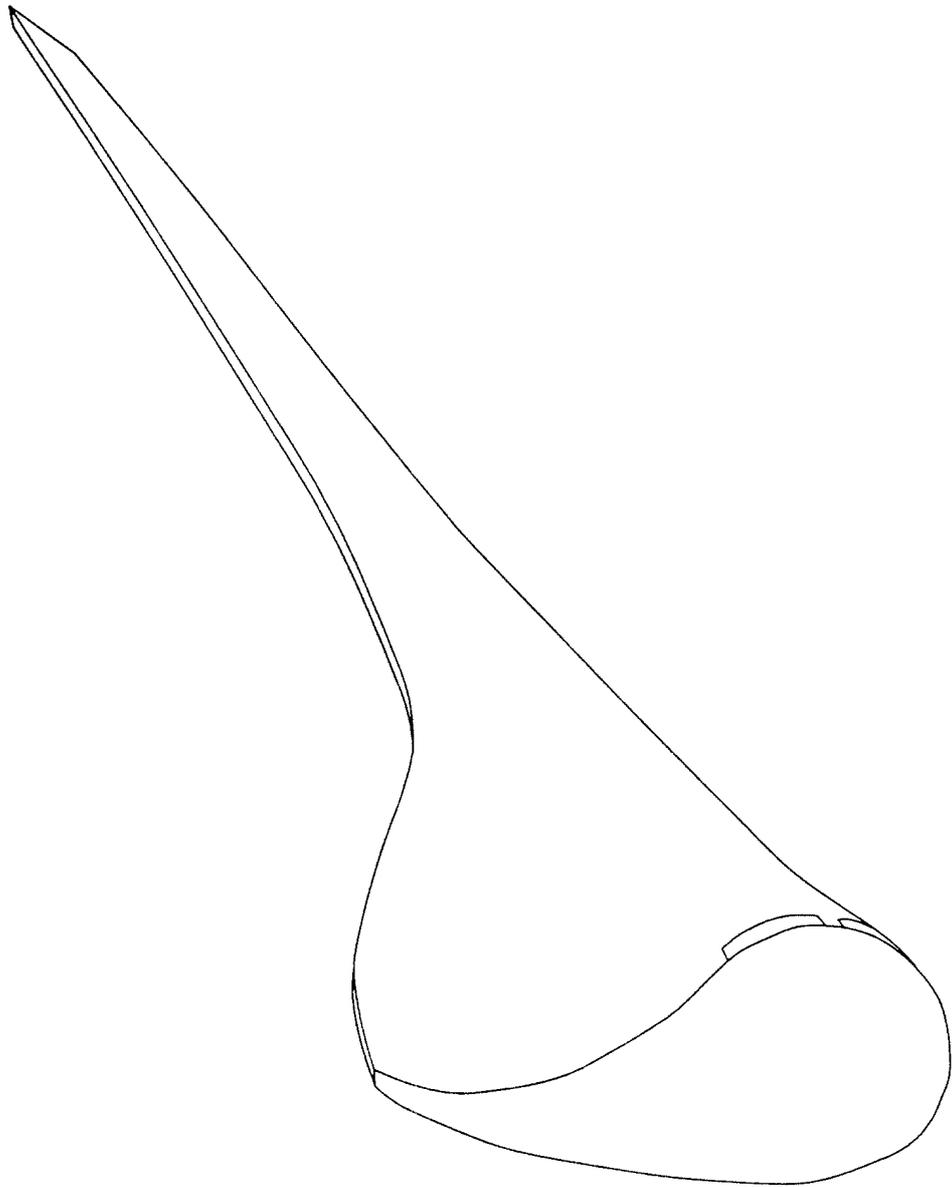


Fig.9



**Fig.10**

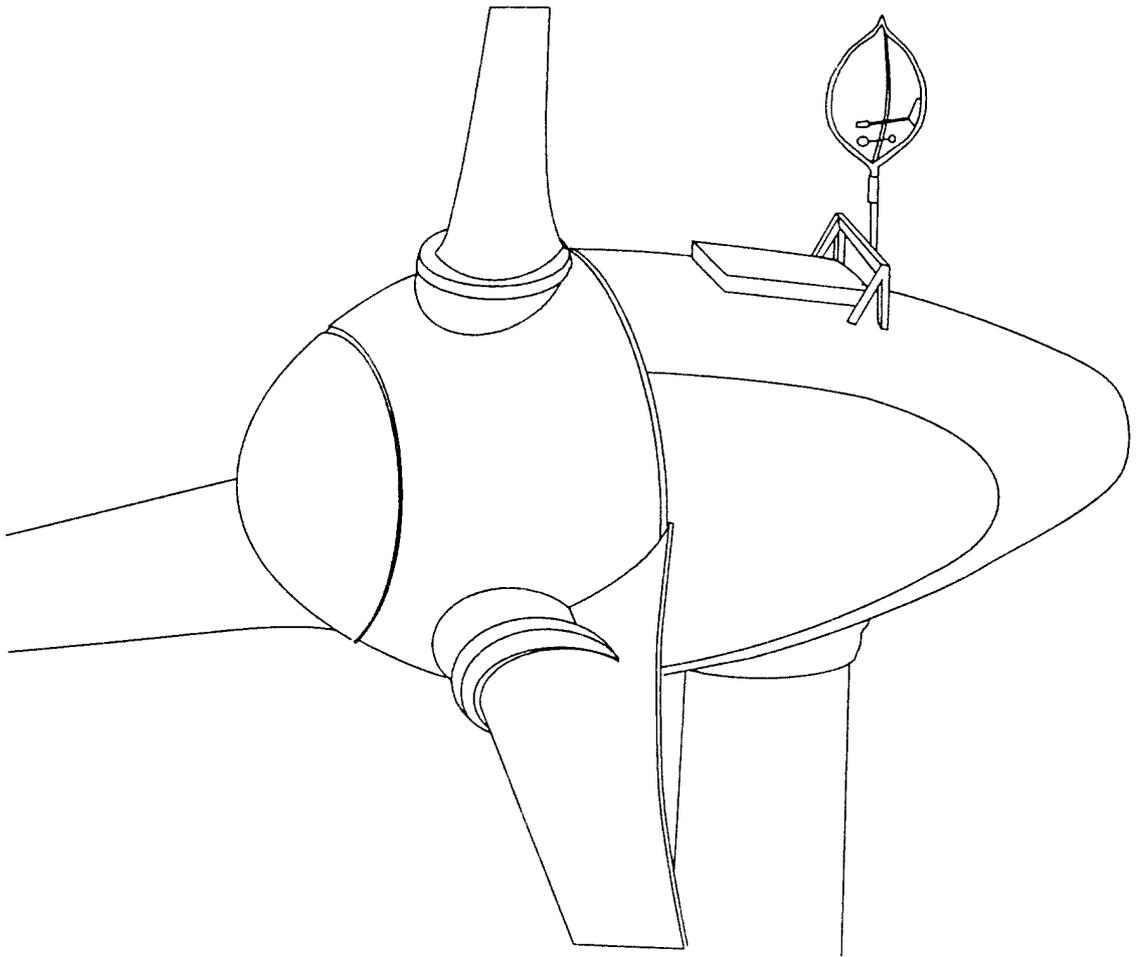
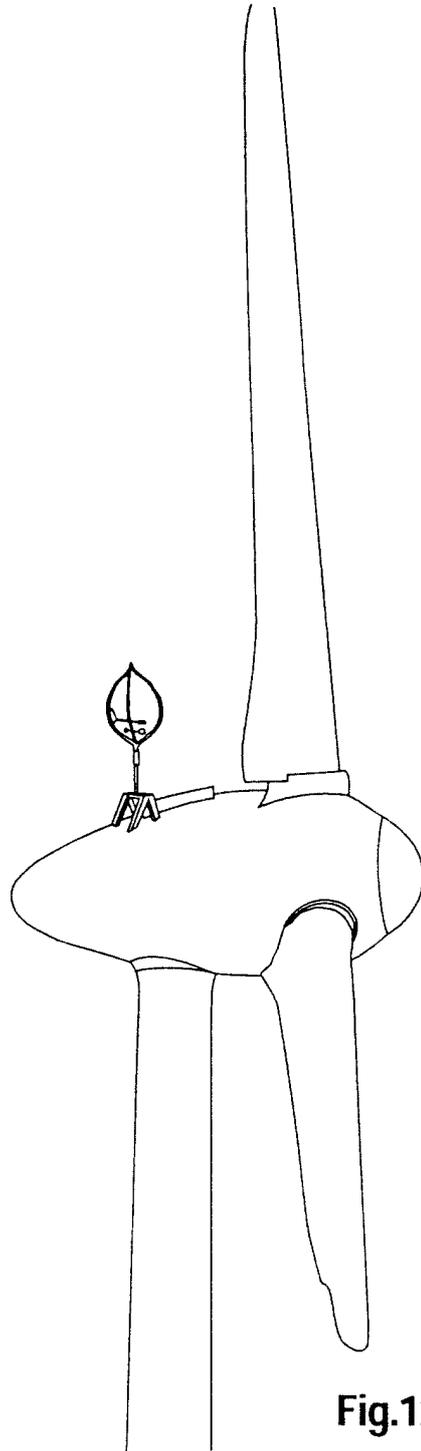


Fig.11

10/17



**Fig.12**

153,38

11/17

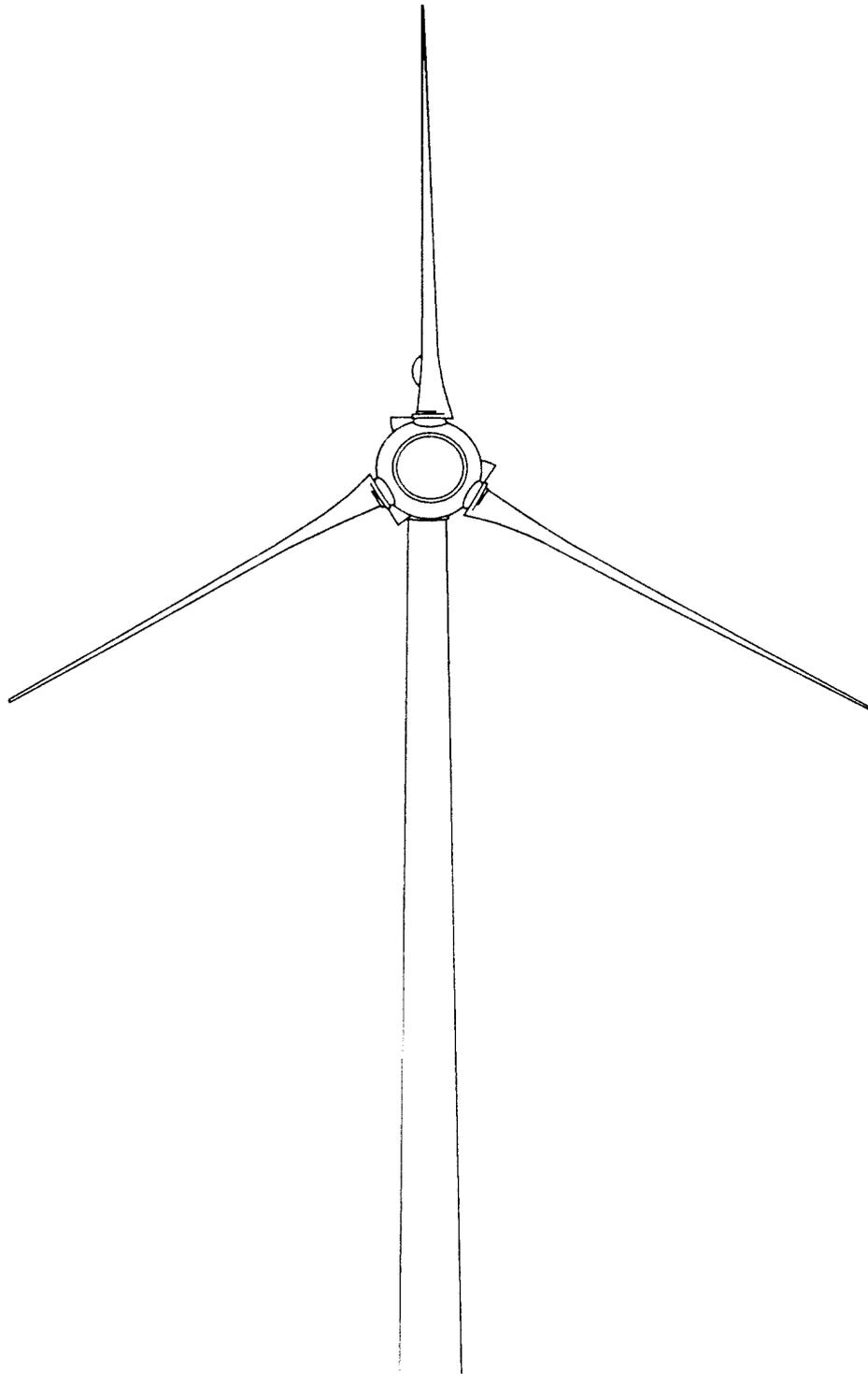
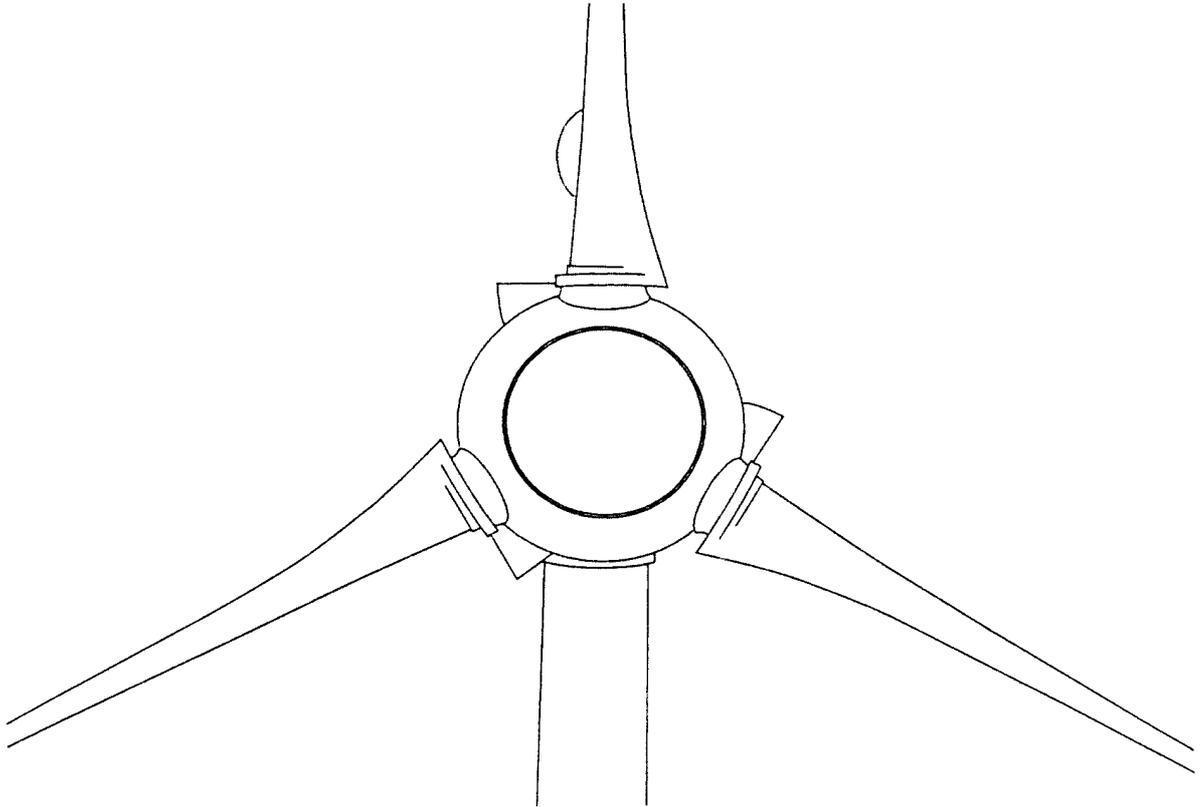


Fig.13



**Fig.14**

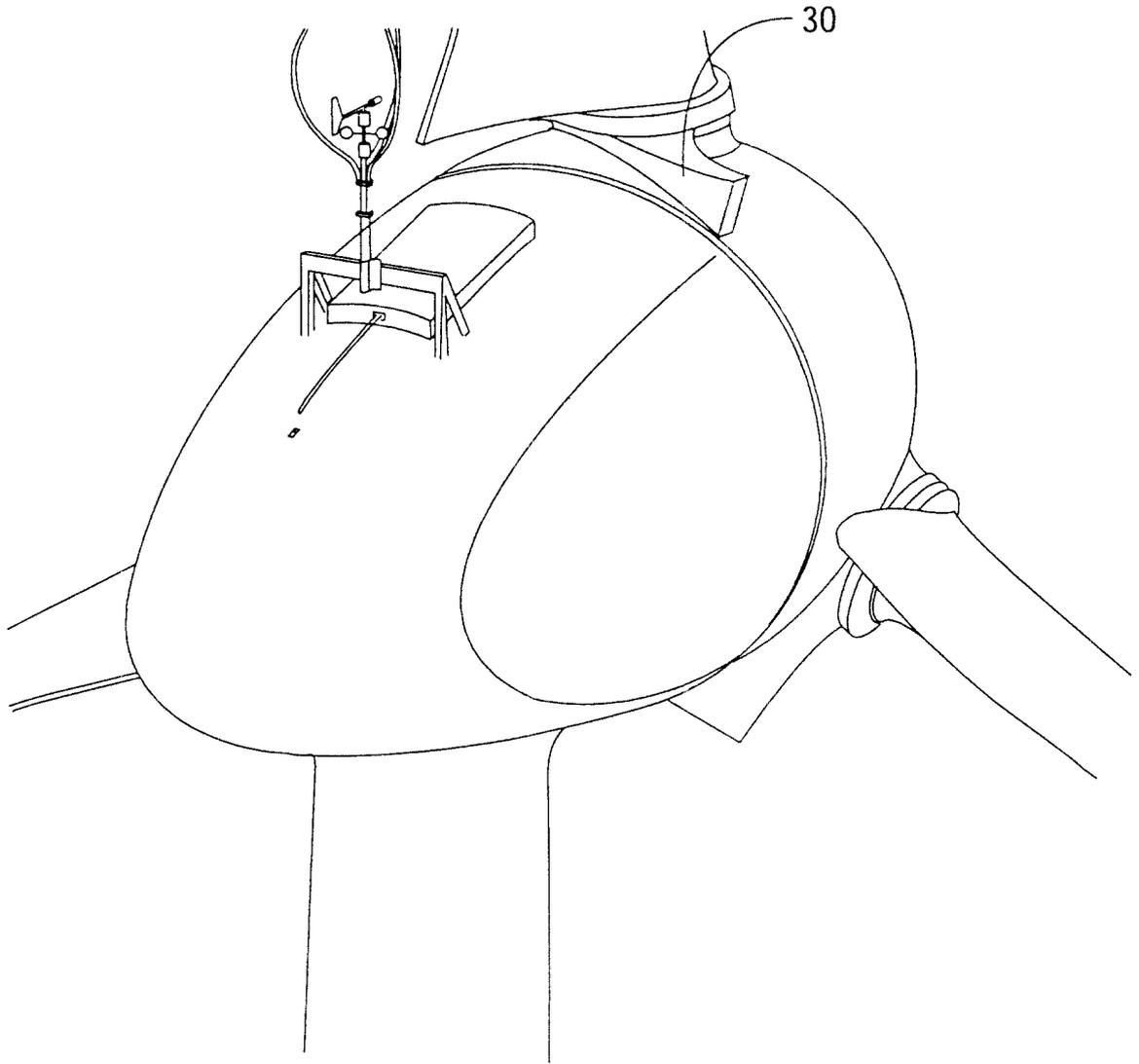


Fig.15

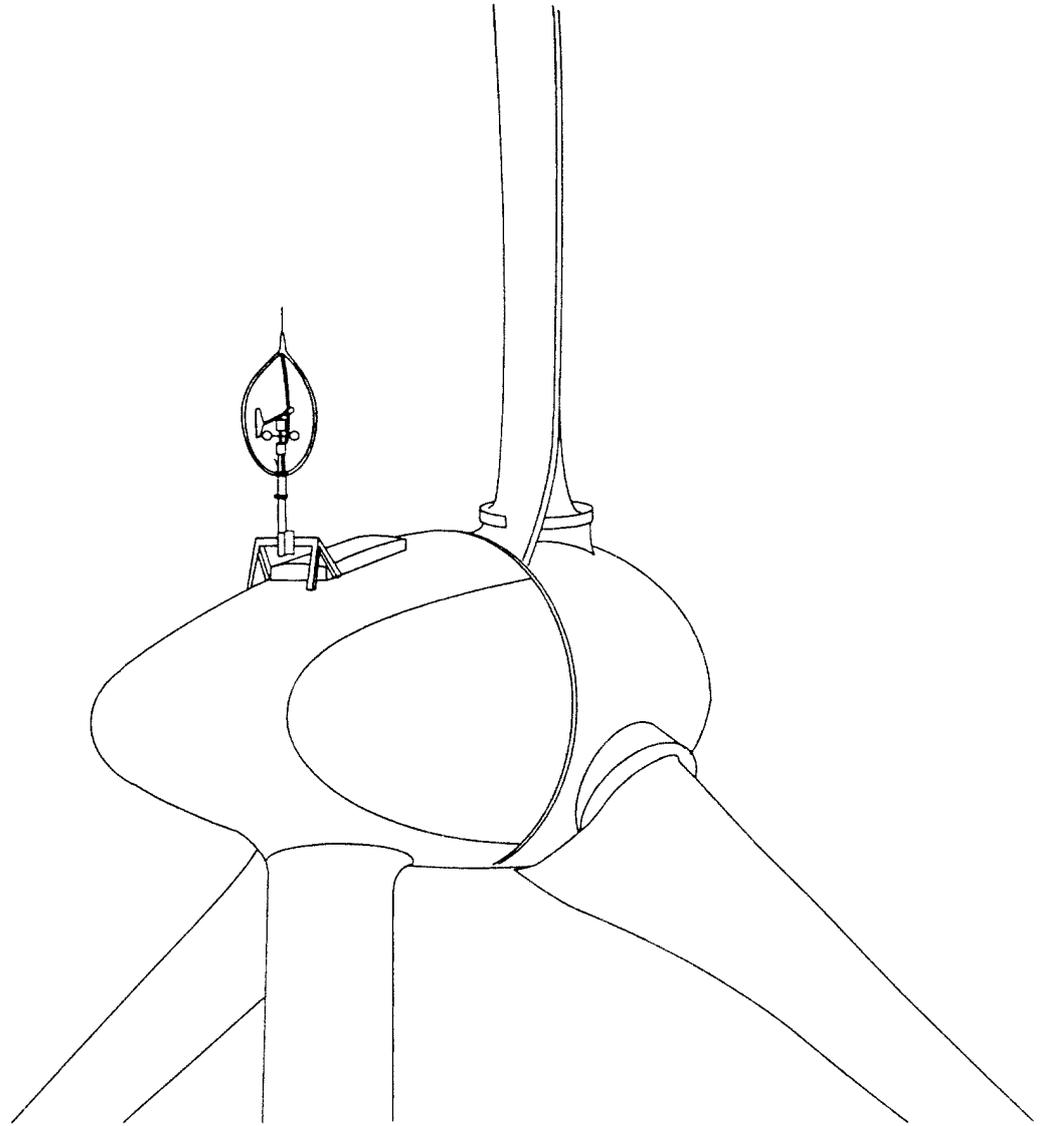


Fig.16

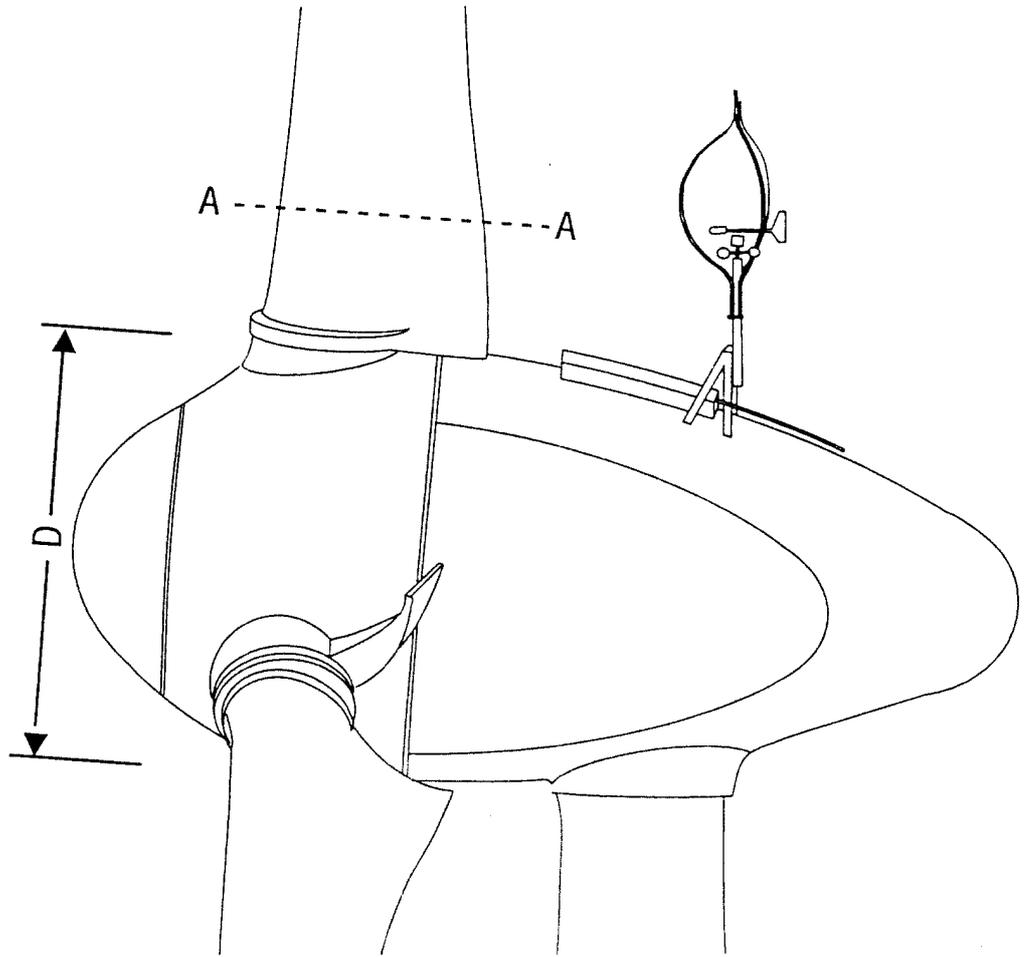


Fig.16

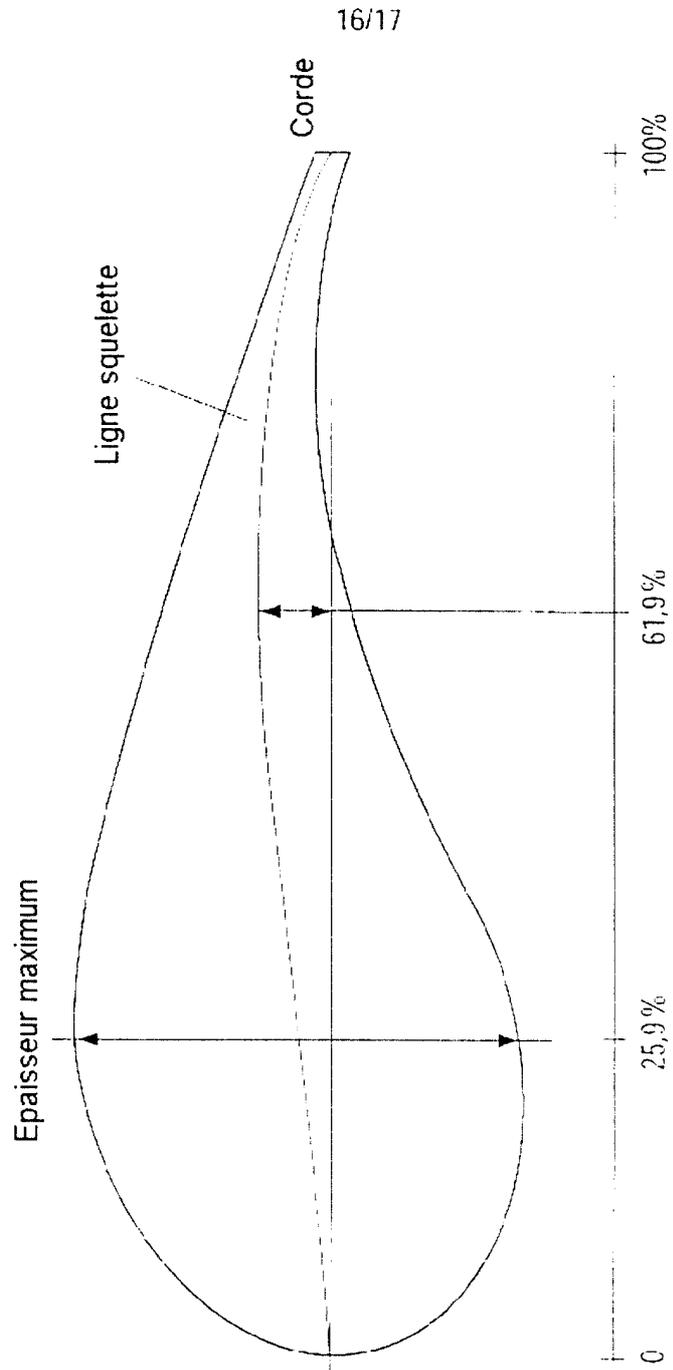


Fig.18

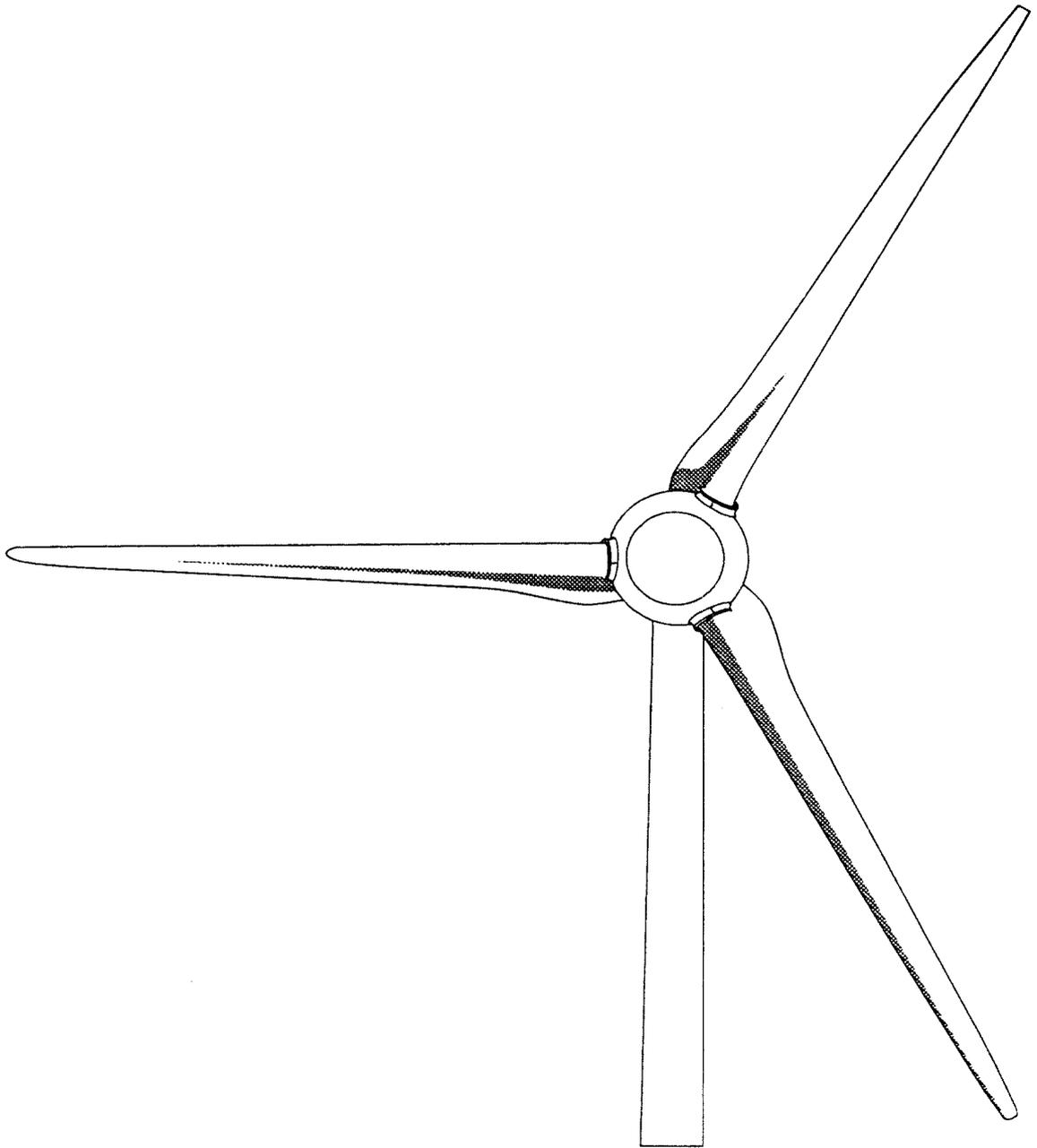


Fig.19