

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : 2 968 729

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 10 60253

⑤1 Int Cl⁸ : F 03 D 11/00 (2012.01), F 03 D 1/06, H 01 Q 17/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 08.12.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.06.12 Bulletin 12/24.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : INEO DEFENSE Société par actions
simplifiée — FR.

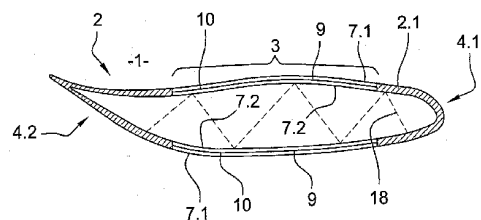
⑦2 Inventeur(s) : COLLIGNON GERARD.

⑦3 Titulaire(s) : INEO DEFENSE Société par actions sim-
plifiée.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET SCHMIT CHRETIEN.

⑤4 PALE D'EOLIENNE FURTIVE AMELIOREE ET EOLIENNE MUNIE D'UNE TELLE PALE.

⑤7 La présente invention concerne essentiellement une pale (1) d'éolienne ayant une coque (2) creuse présentant au moins localement une paroi (2.1) de type sandwich, cette paroi (2.1) étant constituée d'au moins deux peaux (7.1, 7.2) composites diélectriques séparées par une âme (9) réalisée en matériau de faible constante diélectrique. Conformément à l'invention, au moins un circuit (10) d'adaptation à comportement inductif ou capacitif est positionné à l'intérieur de l'âme (9) pour réduire la surface équivalente radar de la pale (1) dans la bande de fréquences d'un radar à la proximité duquel ladite pale (1) est destinée à être installée.



FR 2 968 729 - A1



PALE D'EOLIENNE FURTIVE AMELIOREE ET EOLIENNE MUNIE D'UNE TELLE PALE

[001]. DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[002]. La présente invention concerne une pale d'éolienne furtive
5 améliorée ainsi qu'une éolienne munie d'une telle pale. L'invention a
notamment pour but de limiter les perturbations électromagnétiques des
radars au sol dues à la réflexion des ondes du radar par les pales d'éolienne.

[003]. L'invention trouve une application particulière avantageuse dans le
domaine des pales d'éolienne en matériau composite, mais pourrait
10 également être utilisée pour tout autre élément en matériau diélectrique
susceptible de se trouver sur le chemin du signal radar.

[004]. ETAT DE LA TECHNIQUE

[005]. De manière connue, une éolienne est constituée d'une tour, d'une
nacelle contenant la génératrice électrique et d'un rotor constitué en général
15 de 3 pales à 120°. La plupart des tours sont tubulaires et légèrement
coniques, elles sont fabriquées en acier. La hauteur de la tour est en général
voisine du diamètre du rotor. La longueur des pales est de 25m environ pour
une éolienne de 750kW et de 35m pour des éoliennes de 2 à 5 MW. Pour le
futur, des pales de longueur 80m et plus sont envisagées.

20 [006]. De nombreuses perturbations des radars au sol ont été constatées
par Météo France, par l'Aviation Civile et par le Ministère de la Défense. Ces
grands utilisateurs de Radars ont saisi la Commission de Compatibilité
Electromagnétique de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) de la
question de ces perturbations en 2004.

25 [007]. Les radars météo du type bande S: 2.8 GHz et bande C: 5.6 GHz,
les radars primaires du type Bande L:1.3 GHz ou bande S:3 GHz, ainsi que
les radars secondaires (IFF à 1 GHz) sont concernés. De plus, pour les
implantations d'éoliennes off shore, les radars de surveillance côtière (bande
X: 10 GHz) sont également concernés. Les perturbations du fonctionnement

2

radar ont pour origine les réflexions de l'impulsion radar par les parties fixes (tour et nacelle) ou mobiles (pales en rotation) de l'éolienne.

[008]. La réflexion du signal radar sur les parties fixes de l'éolienne est assimilable à un écho fixe au même titre que toutes les réflexions sur l'environnement ou le relief. Le traitement du radar est donc adapté en mettant en œuvre des filtrages de type doppler MTI ou VCM, afin de filtrer ces échos indésirables. Cependant, la Surface Equivalente Radar (SER égale au produit de la surface projetée de l'objet et du gain qui est fonction de l'objet) de la tour et de la nacelle d'une éolienne peut être très élevée (supérieure à 1000 m² pour une seule éolienne) et provoquer un écho fixe d'un niveau très important allant jusqu'à la saturation du récepteur si la distance est faible (inférieure à 30 km).

[009]. Les conséquences de cette saturation peuvent alors être:

- la dégradation de plusieurs cases distance de la détection pour les distances voisines de celle de l'éolienne en cas de traitement TFAC par le radar (variation du seuil de détection radar avec le niveau de bruit aux distances voisines), et/ou
- la non linéarité de la compression d'impulsion faisant apparaître des échos parasites, et/ou
- des inter-modulations non linéaires conduisant à un étalement de spectre faisant apparaître des échos à doppler non nul.

[010]. Des solutions à ce problème consistent à réduire la SER des parties fixes. Les technologies sont connues dans le domaine de la furtivité aéronautique et navale. Ainsi, la furtivité peut être obtenue en jouant sur la forme du mat et de la nacelle par utilisation de surfaces planes orientées obliquement par rapport au radar. On utilise alors une tour de section polygonale (à la place d'une tour circulaire) et une nacelle à facettes. L'utilisation de revêtements absorbants est également envisageable.

[011]. Par ailleurs, la réflexion sur les pales en mouvement provoque un écho dont la fréquence Doppler est comparable à celle des cibles recherchées. La plage de vitesses concernée est très large puisqu'elle

s'étale de 0 à la vitesse en bout de pale (60m/s) en positif et négatif. Le traitement radar classique ne peut donc pas supprimer cet écho.

5 **[012].** Le brevet français ayant le numéro de dépôt 0852746 déposé le 28 mai 2010 décrit le principe de la réduction de la SER d'une pale d'éolienne fabriquée en composite monolithique d'épaisseur variable. Cette réduction de SER est obtenue en améliorant la transparence radioélectrique de la paroi de la pale au moyen de circuits d'adaptation à motifs métalliques quasi-périodiques. L'enseignement de ce document porte uniquement sur des pales dont la paroi est un diélectrique homogène (monolithique).

10 **[013].** En réalité, certaines pales d'éolienne sont réalisées à partir d'une technologie hybride comportant des zones homogènes comme précédemment mais également des zones en matériau de type sandwich multicouches ayant pour but d'alléger la structure tout en conservant les performances mécaniques des matériaux composites. La paroi d'un matériau
15 de type sandwich est constituée de deux peaux composites diélectriques séparées entre elles par une âme ayant une faible constante diélectrique.

[014]. On sait que les matériaux de type de sandwich sont utilisés dans la fabrication des parois des radômes. Toutefois, pour les radômes, le problème de l'adaptation de ces parois ne se pose pas dans la mesure où,
20 au moment de la fabrication, les épaisseurs des différentes parois sont adaptées pour être transparentes aux ondes radar.

[015]. D'autre part, si l'homme du métier appliquait l'enseignement du brevet numéro 0852746, il adapterait chaque paroi du matériau de type sandwich. En effet, de la même manière que pour une paroi homogène,
25 chaque peau constituant le sandwich serait adaptée en utilisant des réseaux de motifs métalliques quasi-périodiques.

[016]. En fonction de l'épaisseur des peaux et de la longueur d'onde choisie, les différentes techniques décrites dans le brevet 0852746 peuvent être utilisées. Ainsi pour les peaux minces, on utiliserait un circuit à mi-
30 épaisseur de chaque peau. Tandis que pour les peaux épaisses on utiliserait

un circuit sur chaque face de chaque peau. Le nombre de couches de réseaux métalliques est donc compris entre 2 et 4 en fonction des épaisseurs des peaux constituant le sandwich, ce qui multiplie le nombre de circuits d'adaptation et donc le coût de l'opération d'adaptation de la pale.

- 5 **[017].** Il existe donc le besoin d'une technique permettant une adaptation électromagnétique efficace et à moindre coût des pales d'éolienne réalisées au moins en partie dans un matériau composite de type sandwich.

[018]. OBJET DE L'INVENTION

- 10 **[019].** L'invention comble ce besoin en proposant une pale d'éolienne ayant une coque creuse présentant au moins localement une paroi de type sandwich, cette paroi étant constituée d'au moins deux peaux composites diélectriques séparées par une âme réalisée en matériau de faible constante diélectrique, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un circuit
15 d'adaptation à comportement inductif ou capacitif positionné à l'intérieur de l'âme permettant de réduire la surface équivalente radar de la pale dans la bande de fréquences d'un radar à la proximité duquel ladite pale est destinée à être installée.

- 20 **[020].** Selon une réalisation, le circuit d'adaptation fait varier la distance électrique entre les deux peaux pour adapter globalement la paroi de type sandwich.

[021]. Selon une réalisation, le circuit d'adaptation présente une susceptance telle que dans le diagramme de Smith, le chemin correspondant à la traversée de l'onde du radar à l'intérieur de la pale reboucle au point central de conductance 1 et de susceptance 0.

- 25 **[022].** Selon une réalisation, le circuit d'adaptation est situé à mi-épaisseur de l'âme pour deux peaux identiques ayant une même épaisseur.

[023]. Selon une réalisation, la susceptance du circuit d'adaptation permettant d'adapter globalement la paroi de type sandwich est donnée par :

$$B_0 = -2B_2 = -2B \frac{2\cos\theta - B\sin\theta}{2 + B^2 - B^2\cos\theta - 2B\sin\theta}$$

- B étant la susceptance équivalente de chaque peau,
 - θ valant $2\pi d/\lambda$, d étant l'épaisseur de l'âme, λ étant la longueur d'onde de l'onde radar à l'intérieur de chaque peau.

[024]. Selon une réalisation, le circuit d'adaptation est excentré par rapport au milieu de l'âme pour des peaux d'épaisseurs différentes.

[025]. Selon une réalisation, la pale comporte une charpente interne servant de raidisseur, cette charpente étant recouverte d'un absorbant.

- 10 [026]. Selon une réalisation, le circuit d'adaptation est formé par un ou plusieurs circuits imprimés souples de faible épaisseur sur lesquels sont gravées des pistes métalliques formant un motif périodique.

15 [027]. Selon une réalisation, les circuits imprimés sont des circuits en verre époxy d'épaisseur 0.1 mm, les pistes métalliques étant en cuivre et ayant une épaisseur de 35 μm .

[028]. Selon une réalisation, les peaux composites sont réalisées dans un matériau composite de type verre-résine en polyester ou époxy.

[029]. L'invention concerne en outre une éolienne comportant une pale selon l'invention.

20 [030]. **BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

[031]. L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Ces figures ne sont données qu'à titre illustratif mais nullement limitatif de l'invention. Elles montrent :

- 25 [032]. Figure 1 : une vue en coupe d'une pale d'éolienne adaptée selon

l'invention ;

[033]. Figure 2 : une vue en coupe de la zone de la pale de la Figure 1 formée d'une paroi de type sandwich ;

5 **[034].** Figure 3 : une représentation schématique d'un circuit électrique équivalent à une paroi de type sandwich ;

[035]. Figure 4 : une représentation d'un chemin correspondant à la traversée de la paroi en matériau sandwich de la pale adaptée selon l'invention par l'onde radar dans un abaque de Smith, pour une paroi sandwich ayant deux peaux de même épaisseur ;

10 **[036].** Figure 5 : une représentation d'un chemin correspondant à la traversée de la paroi en matériau sandwich de la pale adaptée selon l'invention par l'onde radar dans un abaque de Smith, pour une paroi sandwich ayant deux peaux d'épaisseurs différentes ;

15 **[037].** Figures 6a-6b : des représentations graphiques des coefficients de réflexion d'une pale non adaptée et d'une pale selon l'invention pour un radar en bande S en fonction des fréquences du signal radar, pour deux parois ayant des configurations différentes ;

[038]. Figures 7 : des représentations schématiques d'exemples de motifs des circuits d'adaptation utilisés pour adapter la pale selon l'invention ;

20 **[039].** Figure 8 : une représentation schématique d'un circuit imprimé selon l'invention muni de trous afin de favoriser la cohésion mécanique avec la pale ;

[040]. Les éléments identiques conservent la même référence d'une figure à l'autre.

25 **[041]. DESCRIPTION D'EXEMPLES DE REALISATION DE L'INVENTION**

7

- 5 [042]. La Figure 1 montre une vue en coupe d'une pale 1 d'éolienne selon l'invention comportant une coque 2 creuse présentant une paroi 2.1. Aux extrémités de la pale 1, cette coque 2 est réalisée en matériau composite monolithe pour former un bord 4.1 d'attaque et un bord 4.2 de fuite de la pale 1. Le matériau monolithe peut par exemple être un composite de type verre-résine ayant une constante diélectrique voisine de 4.
- 10 [043]. La coque 2 présente une zone 3 intermédiaire reliant le bord 4.1 d'attaque et le bord 4.2 de fuite. Dans cette zone 3, la paroi 2.1 est constituée d'au moins deux peaux 7.1, 7.2 composites diélectriques par exemple séparées entre elles par une âme 9 ayant une faible constante diélectrique. Dans un exemple, les deux peaux 7.1, 7.2 sont réalisées dans un composite diélectrique de type verre-résine ; tandis que l'âme 9 est réalisée dans un matériau diélectrique de type mousse ou nid d'abeille ayant une constante diélectrique de l'ordre de 1.1.
- 15 [044]. Les épaisseurs des différentes couches de la paroi 2.1 peuvent varier dans la section et le long de la pale 1. Les zones sandwich peuvent être constituées de plusieurs peaux 7.1, 7.2 d'épaisseurs différentes. Ces épaisseurs sont définies pour obtenir les propriétés mécaniques souhaitées, les propriétés de transparence radioélectrique étant quelconques.
- 20 [045]. En conséquence, pour réduire la surface équivalente radar (SER) de la pale 1 dans la bande de fréquences d'un radar à la proximité duquel elle est destinée à être installée, au moins un circuit 10 d'adaptation à comportement inductif ou capacitif est positionné à l'intérieur de l'âme 9.
- 25 [046]. Pour un matériau de type sandwich constitué de deux peaux 7.1, 7.2 de même épaisseur, le circuit 10 d'adaptation est situé à mi-épaisseur de l'âme 9 (cf. Figure 2).
- 30 [047]. Selon une réalisation, un matériau de type sandwich est constitué de deux peaux ayant une constante diélectrique $\epsilon=4$ d'épaisseur constante e séparées par une âme 9 en mousse de constante diélectrique voisine de 1 et d'épaisseur d . Chaque peau 7.1, 7.2 présentant une susceptance B , le

montage électrique correspondant montré sur la Figure 3 présente deux susceptances B montées en parallèle avec la susceptance BO du circuit 10.

- [048].** On considère en outre la longueur d'onde λ de l'onde radar à l'intérieur de chaque peau 7.1, 7.2. Si l'épaisseur e est faible, la susceptance B équivalente à chaque peau 7.1, 7.2 est donnée par l'expression suivante :

$$B = \sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \frac{2\pi e \sqrt{\varepsilon}}{\lambda}$$

- [049].** La Figure 4 représente l'abaque de Smith en admittance correspondant à la traversée de la paroi 2 réalisée en matériau sandwich dans la zone 3 par l'onde radar.
- 10 **[050].** On rappelle que les cercles 11.1-11.4 de cet abaque correspondent à une conductance (partie réelle de l'admittance) constante. L'axe vertical 12.1 et les portions de cercles 12.2-12.9 positionnées de part et d'autre de l'axe vertical 12.1 correspondent à une susceptance (partie imaginaire de l'admittance) constante. Un déplacement vers la droite dans le diagramme correspond à un effet capacitif du circuit tandis qu'un déplacement vers la gauche correspond à un effet inductif du circuit. Le point 15 13 situé en bas de l'abaque en admittance correspond à un court-circuit, tandis que le point 14 situé en haut correspond à un circuit ouvert. Le point central 0 de conductance 1 et de susceptance 0, qui est le point de départ du tracé du diagramme, correspond à un circuit adapté.
- 20

[051]. Lors de la traversée de la paroi sandwich par l'onde radar, on ajoute la susceptance B de la première peau 7.1 pour passer au point 1.

- [052].** On tourne ensuite vers le générateur (sens inverse trigonométrique) d'un angle correspondant à la demi-épaisseur de l'âme 9 en mousse soit $d/2\lambda$ pour passer au point 2.
- 25

[053]. On ajoute la susceptance BO du circuit 10 d'adaptation pour passer au point 3, symétrique du point 2 par rapport à l'axe vertical 12.

[054]. On a donc $B_3 = -B_2 = B_2 + B_0$; et $B_0 = -2B_2$

[055]. B_2 et B_3 correspondant respectivement aux susceptances associées aux points 2 et 3 du diagramme de Smith.

[056]. On tourne vers le générateur d'un angle $d/2\lambda$ correspondant à la deuxième demi-épaisseur de l'âme 9 en mousse pour passer au point 4.

[057]. On ajoute la susceptance B de la deuxième peau 7.2 pour passer au point 5 et reboucler ainsi au point 0, de sorte que l'adaptation est obtenue.

[058]. La susceptance B_0 du circuit 10 d'adaptation qui permet d'adapter globalement la paroi de type sandwich est donnée par :

10

$$B_0 = -2B_2 = -2B \frac{2\cos\theta - B\sin\theta}{2 + B^2 - B^2\cos\theta - 2B\sin\theta}$$

Avec $\theta = 2\pi d/\lambda$

[059]. Ce principe d'adaptation n'est pas limité à des peaux 7.1, 7.2 de mince épaisseur. Pour des peaux 7.1, 7.2 épaisses, seule l'expression mathématique de la susceptance B_0 diffère mais le principe est inchangé.

15

[060]. Pour une épaisseur de mousse inférieure à environ un quart de longueur d'onde (cas de la Figure 4 précédente), la susceptance B_0 est négative donc inductive. En revanche, pour une épaisseur de mousse supérieure à environ un quart de longueur d'onde, la susceptance B_0 devient positive donc capacitive.

20

[061]. A titre d'exemple, les Figures 6a et 6b donnent le résultat obtenu pour une adaptation en bande S (3 GHz) de deux types de sandwichs ayant des peaux 7.1, 7.2 de même épaisseur. La courbe en traits pointillés indique le coefficient de réflexion de la paroi en matériau sandwich de départ et la courbe en trait plein indique le coefficient de réflexion de la paroi en matériau

25

sandwich selon l'invention adaptée par un circuit 10 d'adaptation.

[062]. La Figure 6a a été obtenue pour un matériau de type sandwich à deux peaux 7.1, 7.2 d'épaisseur 3 mm séparées d'une âme 9 en mousse d'épaisseur 8mm. Dans ce cas, le circuit 10 d'adaptation est de type inductif.

- 5 **[063].** La Figure 6b a été obtenue pour un matériau de type sandwich à deux peaux 7.1, 7.2 d'épaisseur 4 mm séparées d'une âme 9 en mousse d'épaisseur 30mm. Dans ce cas, le circuit d'adaptation est de type capacitif.

[064]. Dans les deux cas, la réduction du coefficient de réflexion est supérieure à 15 dB au voisinage de 3 GHz.

- 10 **[065].** Dans le cas d'une paroi de type sandwich ayant des peaux d'épaisseurs différente, le circuit 10 d'adaptation est excentré par rapport au milieu de l'âme 9. Toutefois, comme montré sur la Figure 5, le principe d'adaptation de la pale 1 est le même que précédemment dans la mesure ou la susceptance du circuit 10 est choisie, de sorte que le chemin
15 correspondant à la traversée de l'onde du radar à l'intérieur de la pale 1 reboucle au point central 0 de conductance 1 et de susceptance 0.

- [066].** Pour certaines pales 1 de grandes dimensions ayant par exemple une longueur de plusieurs dizaines de mètres, la structure de la pôle 1 peut être renforcée au moyen d'une charpente 18 interne (cf. Figure 1) servant de
20 raidisseur. Cette charpente 18 peut être réalisée en matériau diélectrique ou en composite carbone résine. Dans ce cas, il n'est pas possible d'améliorer la transparence de la charpente 18. La réduction de sa surface équivalente radar peut être obtenue par l'utilisation d'absorbants ou par le choix d'une forme adaptée. Ces techniques sont parfaitement compatibles et
25 complémentaires de l'utilisation de circuits 10 d'adaptation.

[067]. Le circuit d'adaptation 10 prend de préférence la forme d'un circuit métallique à mailles périodiques, comme représenté sur les Figures 7. La valeur de sa susceptance B_0 est ajustée en choisissant le pas du motif périodique et la largeur des pistes. Dans la pratique, cet ajustement est

effectué par simulation informatique.

5 **[068].** De préférence, le circuit 10 d'adaptation est formé par des circuits imprimés en réseau souples, réalisés par exemple en verre époxy, de faible épaisseur, par exemple d'épaisseur de l'ordre de 0.1 mm, sur lesquels sont gravées des pistes métalliques, par exemple en cuivre d'épaisseur 35 μm , formant un motif 28, 29 périodique composé de motifs élémentaires tangents les uns aux autres.

10 **[069].** Les motifs élémentaires peuvent par exemple être carrés comme montré sur la Figure 7aa, ou circulaires comme montré sur la figure 7b. Ce type de motifs permet au circuit 10 d'adaptation d'avoir un effet inductif indépendamment de la polarisation du signal du radar. En variante, les motifs élémentaires peuvent également être triangulaires ou hexagonaux.

15 **[070].** En variante, comme montré sur la figure 7c, on utilise des motifs élémentaires indépendants isolés dans l'espace. Ainsi, on peut utiliser des motifs élémentaires en forme de rond (motif 30.1), de croix (motif 30.2) ou de croix de Jérusalem ayant des segments à ses extrémités (motif 30.3). Les motifs 30.1-30.3 peuvent être inscrits à l'intérieur d'un carré de manière à obtenir les motifs 30.4-30.6.

20 **[071].** Les motifs élémentaires 30.1-30.6 peuvent être utilisés pour obtenir des degrés de liberté supplémentaires afin de réaliser l'adaptation dans plusieurs bandes de fréquences simultanément.

25 **[072].** Le support du circuit imprimé peut être avantageusement percé de trous de surface maximale sans couper les pistes métalliques, afin de favoriser la cohésion mécanique du matériau composite de part et d'autre du circuit. Ainsi comme représenté sur la figure 8, un circuit imprimé 34 portant des pistes imprimées 30.2 en forme de croix présente des trous 37 percés autour de chaque croix 30.2.

[073]. Les circuits 10 d'adaptation peuvent par exemple être formés de circuits carrés de 500 mm par 500 mm de côté environ associés bord à bord

avec une superposition d'au moins un fil pour assurer la continuité radioélectrique du réseau sur toute la surface.

5 **[074].** Toutefois, les pales d'éolienne 1 ont en général une forme relativement complexe qui impose de disposer plusieurs circuits 10 d'adaptation sur des surfaces courbes non développables.

10 **[075].** Cette difficulté peut être contournée en utilisant des circuits 10 d'adaptation présentant un motif 31 trapézoïdal du type de celui représenté sur la figure 7d. Le pas du motif 31 est variable mais la susceptance du circuit peut cependant rester constante sur toute sa surface en jouant sur la largeur des pistes 33.

[076]. Dans un exemple, les circuits des Figures 7 pourront être réalisés à l'aide d'une encre conductrice déposée par sérigraphie ou jet d'encre, ou tout autre type de dépôt approprié.

15 **[077].** La taille des circuits est adaptée aux rayons de courbure de la surface de la pale 1 de telle sorte que leur association soit réalisable avec un minimum d'erreur. Cette solution est décrite dans le document FR-87 00724.

20 **[078].** La distance minimale d'implantation des éoliennes est souvent fixée à 30km du radar. Une éolienne équipée de pales 1 selon l'invention pourrait donc être implantée à une distance de 12 km pour le même niveau de perturbation du radar. En effet, la puissance reçue par un radar est proportionnelle à la SER et inversement proportionnelle à la distance à la puissance 4.

REVENDEICATIONS

1. Pale (1) d'éolienne ayant une coque (2) creuse présentant au moins localement une paroi (2.1) de type sandwich, cette paroi (2.1) étant
 5 constituée d'au moins deux peaux (7.1, 7.2) composites diélectriques séparées par une âme (9) réalisée en matériau de faible constante diélectrique,
 caractérisée en ce qu'elle comporte :
- au moins un circuit (10) d'adaptation à comportement inductif ou
 10 capacitif positionné à l'intérieur de l'âme (9) permettant de réduire la surface équivalente radar de la pale (1) dans la bande de fréquences d'un radar à la proximité duquel ladite pale (1) est destinée à être installée.
2. Pale d'éolienne selon la revendication 1, caractérisée en ce que le
 15 circuit (10) d'adaptation fait varier la distance électrique entre les deux peaux (7.1, 7.2) pour adapter globalement la paroi (2.1) de type sandwich.
3. Pale d'éolienne selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le circuit (10) d'adaptation présente une susceptance (B0) telle que dans
 20 le diagramme de Smith, le chemin correspondant à la traversée de l'onde du radar à l'intérieur de la pale (1) reboucle au point central (0) de conductance 1 et de susceptance 0.
4. Pale d'éolienne selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée
 25 en ce que le circuit (10) d'adaptation est situé à mi-épaisseur de l'âme (9) pour deux peaux (7.1, 7.2) identiques ayant une même épaisseur (e).
5. Pale d'éolienne selon la revendication 4, caractérisée en ce que la
 30 susceptance (B0) du circuit (10) d'adaptation permettant d'adapter globalement la paroi de type sandwich est donnée par :

$$B_0 = -2B_2 = -2B \frac{2\cos\theta - B\sin\theta}{2 + B^2 - B^2\cos\theta - 2B\sin\theta}$$

- B étant la susceptance équivalente de chaque peau (7.1, 7.2),

- θ valant $2\pi d/\lambda$, d étant l'épaisseur de l'âme, λ étant la longueur d'onde de l'onde radar à l'intérieur de chaque peau (7.1, 7.2).

5 6. Pale d'éolienne selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le circuit (10) d'adaptation est excentré par rapport au milieu de l'âme (9) pour des peaux (7.1, 7.2) d'épaisseurs différentes.

10 7. Pale d'éolienne selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle comporte une charpente (18) interne servant de raidisseur, cette charpente (18) étant recouverte d'un absorbant.

15 8. Pale d'éolienne selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le circuit (10) d'adaptation est formé par un ou plusieurs circuits imprimés souples de faible épaisseur sur lesquels sont gravées des pistes métalliques formant un motif périodique.

20 9. Pale d'éolienne selon la revendication 8, caractérisée en ce que les circuits imprimés sont des circuits en verre époxy d'épaisseur 0.1 mm, les pistes métalliques étant en en cuivre et ayant une épaisseur de 35 μm .

10. Pale d'éolienne selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce que les peaux (7.1, 7.2) composites sont réalisées dans un matériau composite de type verre-résine en polyester ou époxy.

25 11. Eolienne comportant une pale (1) définie selon l'une des revendications 1 à 10.

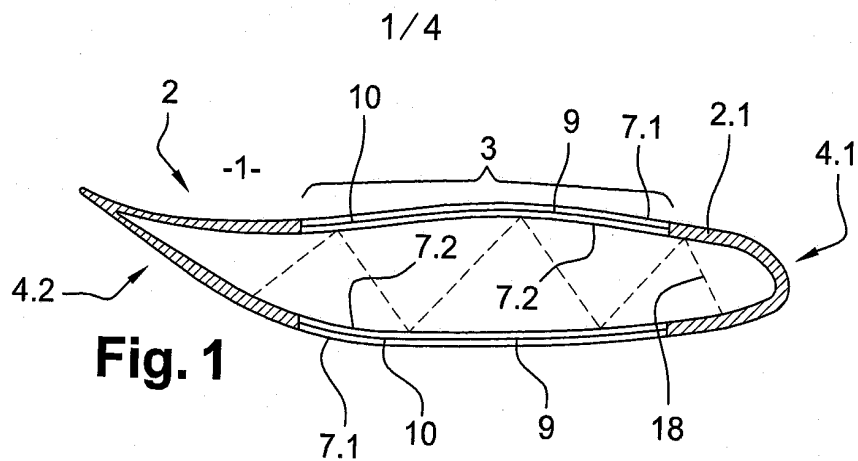


Fig. 1

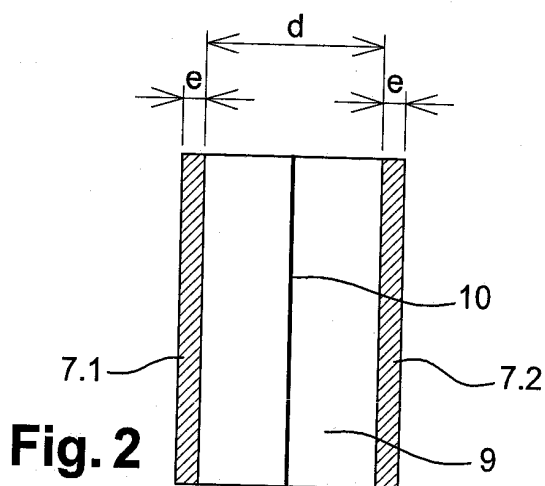


Fig. 2

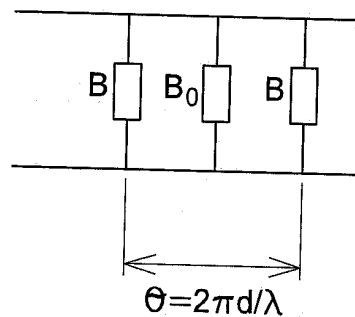


Fig. 3

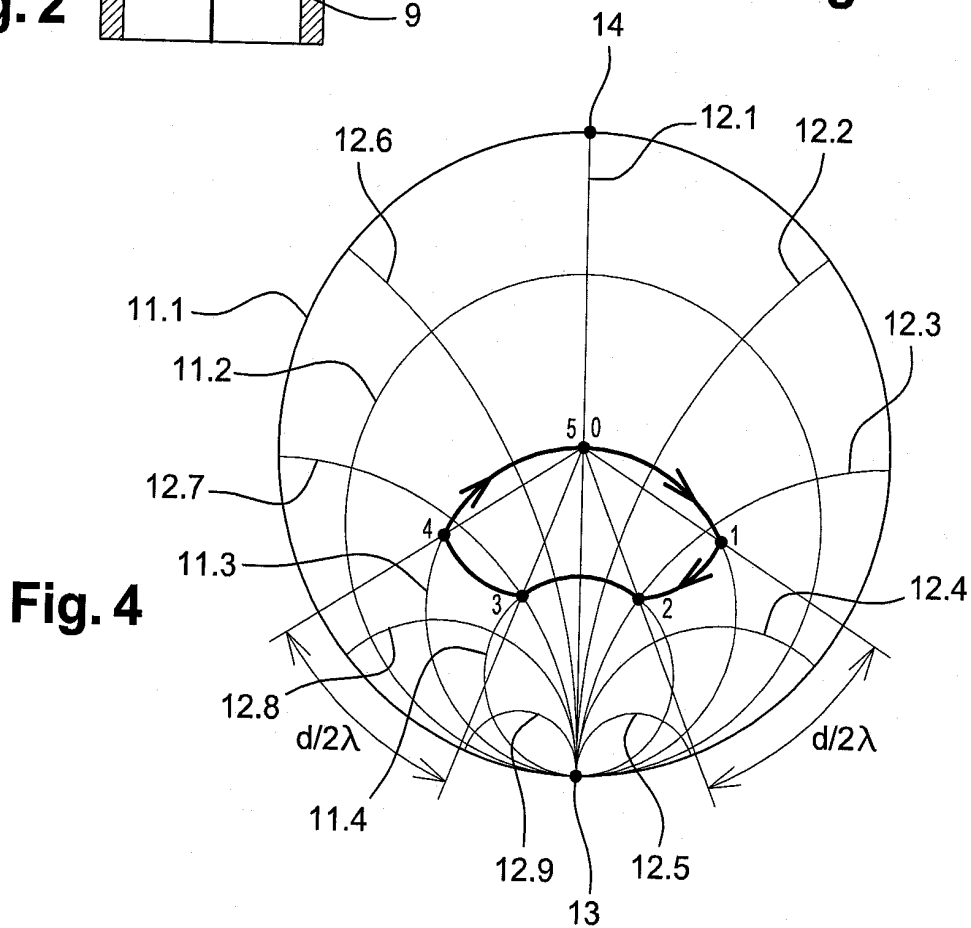


Fig. 4

3/4

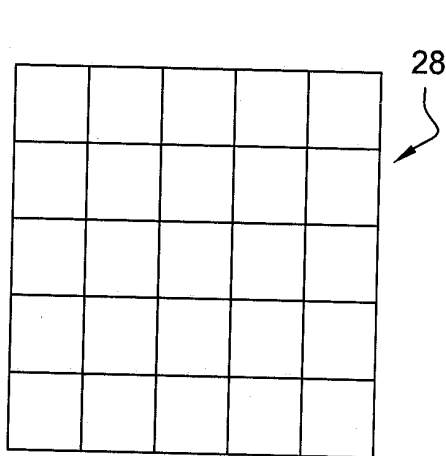


Fig. 7a

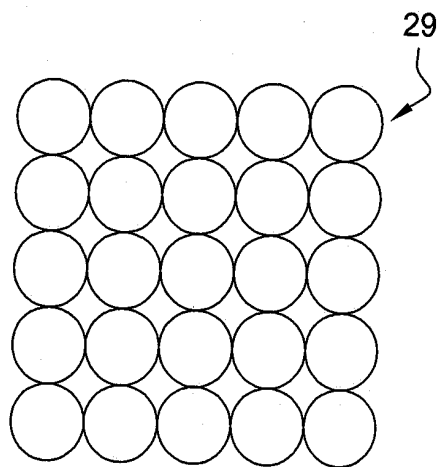


Fig. 7b

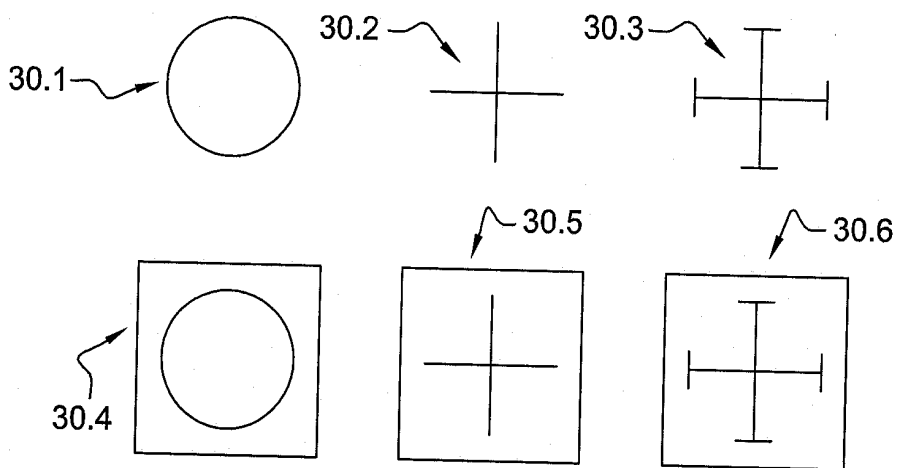


Fig. 7c

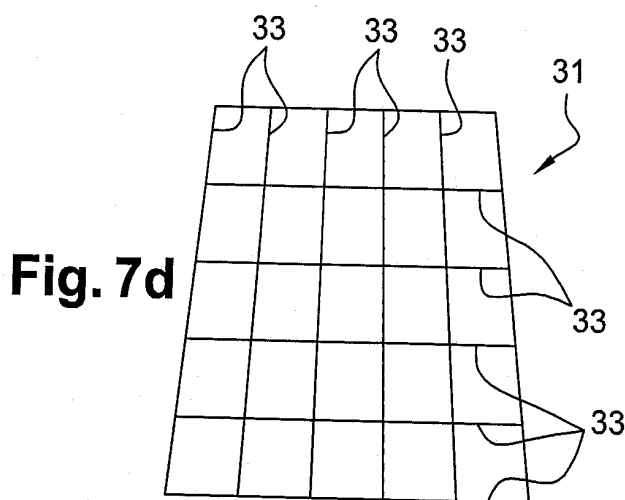
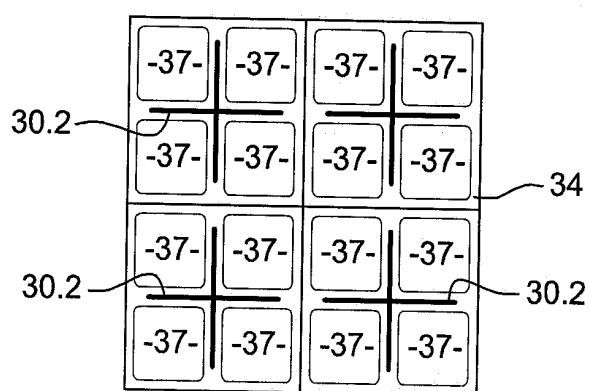


Fig. 7d

4/4

**Fig. 8**



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 749135
FR 1060253

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2010/122352 A2 (VESTAS WIND SYS AS [DK]; APPLETON STEVE [GB]; NIELSON KNUD STENBAEK [D] 28 octobre 2010 (2010-10-28) * page 1, ligne 13-28; figures 2-6 * * page 2, ligne 16-26 * * page 3, ligne 1-8 *	1-11	F03D11/00 F03D1/06 H01Q17/00
A	WO 2009/140949 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]; BETTERMANN JOACHIM [DE]; FRYE ANDREAS [DE]) 26 novembre 2009 (2009-11-26) * figures 3,4 * * page 2 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F03D
A	PINTO J ET AL: "Radar signature reduction of wind turbines through the application of stealth technology", ANTENNAS AND PROPAGATION, 2009. EUCAP 2009. 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23 mars 2009 (2009-03-23), pages 3886-3890, XP031470611, ISBN: 978-1-4244-4753-4 * le document en entier *	1	
A	US 2007/251090 A1 (BREUGEL SJEFF V [NL] ET AL) 1 novembre 2007 (2007-11-01) * alinéa [0018]; figure 3 *	1	
A	EP 2 153 964 A1 (LM GLASFIBER AS [DK]) 17 février 2010 (2010-02-17) * figures 2,3 *	1	
A,D	FR 2 930 601 A1 (INEO DEFENSE SA [FR] INEO DEFENSE [FR]) 30 octobre 2009 (2009-10-30) * le document en entier *	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 juillet 2011		Biloen, David	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1060253 FA 749135**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **14-07-2011**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2010122352	A2	28-10-2010	AUCUN	

WO 2009140949	A1	26-11-2009	DE 102008024644 A1	03-12-2009
			EP 2297815 A1	23-03-2011
			US 2011129352 A1	02-06-2011

US 2007251090	A1	01-11-2007	CN 101062594 A	31-10-2007
			DE 102007020338 A1	31-10-2007

EP 2153964	A1	17-02-2010	EP 2326475 A2	01-06-2011
			WO 2010018225 A2	18-02-2010
			US 2011164987 A1	07-07-2011

FR 2930601	A1	30-10-2009	AUCUN	
