

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : 2 964 420

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

21 N° d'enregistrement national : 10 03523

51 Int Cl⁸ : F 03 D 1/04 (2006.01), F 03 D 1/02, 9/00, F 28 B 5/00,
F 25 B 27/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 03.09.10.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.03.12 Bulletin 12/10.

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) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablis-
sement public — FR.

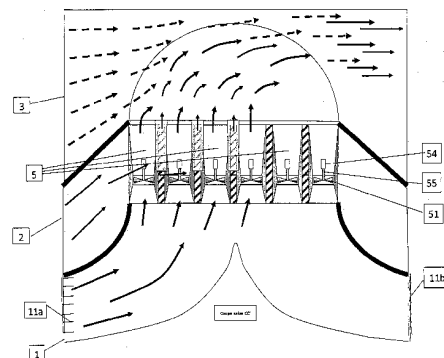
72 Inventeur(s) : CHARRON YVES et CONSTANT
MICHEL.

73 Titulaire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablis-
sement public.

74 Mandataire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES.

54 DISPOSITIF EOLIEN MULTI TURBINES A AXES VERTICAL POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE, DE FROID,
OU D'EAU.

57 La présente invention concerne un dispositif éolien comprenant une batterie (5) de mini turbines à axe vertical alimentée par un système concentrateur d'énergie constitué de pavillons orientés selon la rose des vents (1). Le dispositif est suivi éventuellement d'un système d'extraction d'air (3). De par sa configuration et la présence éventuelle d'un puits aérien, le dispositif est particulièrement bien adapté pour la production de froid, ou d'eau. La dimension métrique des turbines permet un fonctionnement par pratiquement tout type de vent. Le dispositif est particulièrement bien adapté à un environnement urbain, en montage sur le toit d'un immeuble existant ou à l'intégration dans un nouvel immeuble.



FR 2 964 420 - A1



5 La présente invention concerne le domaine des éoliennes à pales à axe vertical, en particulier comprenant des multi-turbines.

 Il existe beaucoup de types de turbine à axe vertical mais qui pour la plupart ne sont pas constitués de pales ou d'aubes avec un flux axial (selon l'axe de rotation). Les turbines conventionnelles avec axe vertical sont conçues pour
10 capter le vent perpendiculairement à l'axe de rotation. De par leur construction, elles subissent un couple de flexion sur l'arbre de rotation très important qui les rendent fragiles. Limitées en dimension selon l'axe de rotation, (longueur de l'aube sensiblement égale à la longueur de l'axe de rotation) comme en largeur, ces éoliennes sont conçues pour la production d'énergie de faible puissance.

15

 Le dispositif faisant l'objet de l'invention vise à capter l'énergie du vent avec une très grande efficacité, dans des conditions de vitesse de vent très faible à très élevée, quelque soit sa direction et à obtenir une disponibilité de l'équipement proche de 100%.

20 Un premier objectif est de capturer une énergie considérablement plus élevée que celle produite par une éolienne à pales classique.

 Un second objectif est de capturer l'énergie du vent indépendamment de sa direction sans mettre en place des moyens complexes d'adaptation au changement de direction:

25 Un troisième objectif est de permettre son installation en milieu urbain et plus particulièrement sur le toit des immeubles existants, ou de l'intégrer à la conception des immeubles en s'affranchissant des contraintes des éoliennes

à pales: volume et masse élevés des fondations, encombrement du mât et des pales, nuisances sonores et visuelles.

Ainsi, la présente invention concerne un dispositif éolien pour la production d'énergie, de froid ou d'eau, qui comporte un élément d'entrée d'air de symétrie axiale et comportant des moyens d'inflexion de la direction du vent provenant d'une direction sensiblement orthogonale à l'axe dudit élément vers une direction sensiblement axiale, un élément machine comportant une pluralité de turbines de captation de l'énergie éolienne d'axe sensiblement parallèle audit axe de l'élément d'entrée d'air.

10 Les turbines peuvent être assemblées entre elles dans l'élément machine par des moyens tels que tout l'air provenant de l'amont passe dans lesdites turbines.

Les turbines peuvent être assemblées entre elles dans l'élément machine par des moyens tels qu'une partie seulement de l'air provenant de l'amont passe dans lesdites turbines.

L'autre partie de l'air ne passant pas dans lesdites turbines peut activer des moyens d'extraction d'air en aval desdites turbines.

Les turbines peuvent être assemblées dans un élément machine de section carrée, rectangulaire ou circulaire.

20 La sortie de l'élément machine peut communiquer avec l'entrée d'un élément de sortie d'air de symétrie axiale selon le même axe que celui des turbines, ledit élément de sortie comportant des moyens d'inflexion de la direction de l'air en sortie des turbines vers une direction orthogonale.

L'élément de sortie d'air peut comporter des entrées latérales d'air de façon à entraîner l'air en sortie des turbines vers une direction orthogonale auxdites turbines.

Le dispositif peut comporter plusieurs éléments d'entrée d'air disposés selon le même axe, et communicants entre eux par un conduit, ou puits, sensiblement axial.

L'axe du dispositif peut être disposé sensiblement verticalement.

Le dispositif peut comporter des moyens de contrôle et de commande de fonctionnement des turbines en fonction de la vitesse du vent et des moyens de réglage de l'ouverture ou de la fermeture de l'entrée desdites turbines.

5 Le dispositif selon l'invention peut être installé sur le toit d'un immeuble.

La présente invention sera mieux comprise et ses avantages apparaîtront plus clairement à la lecture des descriptions de réalisations, nullement limitatives, et illustrées par les figures ci-après annexées, parmi
10 lesquelles:

- les figures 1 et 2 montrent schématiquement deux variantes de l'invention,
- les figures 3a, 3b, 3c, 4a, et 4b illustrent l'élément turbomachine et
15 l'entrée d'air secondaire,
- les figures 5, 6, 7, 8, 9a, 9b décrivent les éléments d'entrée et de sortie d'air,
- les figures 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f décrivent l'élément unitaire de turbine,
- 20 - les figures 11a, 11b, 11c montrent une variante et des avantages de la présente invention,
- les figures 12a, 12b, 13 montrent une application de la présente invention.

25 Le dispositif comprend trois éléments principaux (figures 1 et 2):

- en amont, un élément d'entrée d'air 1 recevant le vent dans une direction sensiblement horizontale et l'orientant dans une direction sensiblement verticale. L'élément d'entrée d'air 1 présente une symétrie axiale

de façon à pouvoir collecter l'air quelque soit la direction du vent. L'élément 1 fait éventuellement office de concentrateur d'énergie pour l'élément situé en aval;

5 - un élément turbomachine 5 regroupant plusieurs turbines axiales à axe vertical captant une partie de l'énergie cinétique de l'air et entraînant divers types de machines mais plus généralement des alternateurs pour la production d'énergie électrique, ou des compresseurs pour la compression d'un gaz servant, par exemple, au stockage de l'énergie captée, ou des pompes pour l'augmentation de la pression d'un fluide;

10 - un élément de sortie d'air 3 (figures 1, 5, 7, 8) ou 40 (figure 2) permettant l'évacuation de l'air capté par l'élément 1 et ralenti par le groupe des turbines ayant prélevé une partie de l'énergie cinétique de l'air d'entrée. Les éléments de sortie d'air 3 et 40 sont comme les précédents éléments ayant une symétrie axiale, selon un axe vertical.

15 Le dispositif peut également comprendre au niveau des machines tournantes un élément d'entrée d'air secondaire 2. Il est notamment destiné à faciliter l'évacuation de l'air en sortie des turbines.

Le dispositif est représenté avec l'entrée d'air dans la partie inférieure et son évacuation dans la partie supérieure. Toutefois, le dispositif selon
20 l'invention peut fonctionner de façon identique en intervertissant l'entrée et la sortie.

L'aire de la surface d'entrée de l'élément d'entrée 1 est déterminée par le produit du périmètre p de la surface horizontale et de l'ouverture $h1$ (la hauteur) de l'élément sachant que la puissance récupérable est proportionnelle
25 au cube de la vitesse de l'air et à la surface de l'ouverture d'entrée $p \cdot h1$.

L'élément d'entrée 1 peut être composé d'une pluralité d'entrées disposées sur l'ensemble de sa périphérie de façon à pouvoir recevoir l'énergie du vent dans toutes les directions azimutales. Chaque entrée peut comporter des moyens pouvant ajuster son degré d'ouverture, d'une ouverture totale à
30 une fermeture totale, par exemple, à l'aide de volets. A cet effet, comme

indiqué sur les figures 1 et 2, les volets situés dans la direction du vent 11a sont ouverts de façon à permettre l'entrée d'air en direction des turbines tandis que les volets situés en direction opposée au vent 11b sont fermés de façon à éviter que l'air entrant par les volets 11a ressortent par les volets 11b privant ainsi les turbines d'une grande partie de l'énergie cinétique. Les volets latéraux situés à 90° (non représentés) par rapport à la direction du vent peuvent être indifféremment ouverts ou fermés compte tenu du peu d'incidence de leur ouverture sur le déplacement de l'air dans les entrées d'air associées.

Le dispositif éolien peut comprendre plusieurs éléments d'entrée 1 situés à différentes élévations. A titre d'exemple, la figure 9a représente un système éolien comprenant deux entrées d'air situées sur deux niveaux de hauteur. L'élément 1 du niveau inférieur est relié à l'élément 1 du niveau supérieur par le conduit d'air 100. Ce conduit est également dénommé "puits éolien" compte tenu des autres fonctions pouvant être remplies par cet organe.

Le fonctionnement des volets d'entrée d'air des deux éléments 1 est également représenté sur les figures 12a, 12b et 13 (éoliennes intégrées à des immeubles).

L'aire de la surface de passage de l'élément turbomachine 5 (figures 1, 2 et 3a et 3c) est préférentiellement inférieure à celle de l'ouverture de l'élément d'entrée 1, par exemple, à 50 % de façon à réduire la dimension et la masse des pales et d'augmenter la vitesse de rotation des turbines sans toutefois créer un effet venturi trop important. En effet, celui-ci peut conduire à une condensation d'eau trop importante, une condition sévère de gel en hiver, voire, à des pertes de charge trop importantes. L'aire de la surface d'entrée de l'élément turbomachine détermine sa dimension principale (diamètre ou longueur des côtés s'il s'agit d'un cercle ou d'un rectangle).

Il convient de noter qu'il n'y a pas de liaison directe entre la forme de la section de l'élément 1 et celle de l'élément 5. Ainsi, on peut associer une forme circulaire, carrée, rectangulaire, polygonale pour la base de l'élément 1 à toute autre forme pour l'élément 5. Ainsi, la forme de la base de l'élément 1 peut être

définie par son support, par exemple, le toit d'un immeuble tandis que la section des turbomachines peut avoir une toute autre forme.

Le dispositif peut également comprendre au niveau des machines tournantes un système d'entrée d'air secondaire 2 facilitant l'échappement de l'air en aval des turbines. L'air en provenance de l'extérieur s'engouffre selon une direction essentiellement horizontale (la direction du vent) dans des ouïes latérales avec une forme convergente débouchant dans des canaux 26a et 27a (figures 4a et 4b) montés entre deux rangées de turbines. L'air s'écoulant tout d'abord dans une direction essentiellement horizontale modifie progressivement sa trajectoire dans les canaux 26a et 27a avant de s'échapper au travers d'éjecteurs 26b et 27b dans une direction essentiellement verticale et se mélanger au flux sortant des turbines.

Compte tenu de leur disposition au niveau des machines tournantes, les canaux 26 et 27 présentent un faible rapport largeur sur hauteur. A cet effet, l'espacement entre deux rangées de turbines doit être suffisant pour ne pas conduire à des pertes de charge trop importantes dans les canaux 26 et 27.

L'aire de la surface d'entrée de l'élément 2 est déterminée par le produit du périmètre p de la surface horizontale et de l'ouverture h_2 (la hauteur) correspondant sensiblement à la hauteur d'un étage de turbo machine. Toutefois, cette hauteur et cette surface peuvent être plus grandes ou plus petites sans modifier sensiblement le fonctionnement de l'ensemble, le débit d'air de l'entrée principale devant rester supérieur au débit d'air de l'entrée secondaire.

Le dispositif éolien comprend en aval un élément de sortie d'air 3 ou 40. Deux réalisations sont illustrées à titre d'exemple sur les figures 1, 2, 5 et 6. L'objet de l'élément d'évacuation d'air est de permettre un prélèvement de l'énergie cinétique au niveau de l'élément 5 (turbines) à un niveau excédant la limite établie par la loi de Betz. Pour rappel, la loi de Betz précise que sans dispositif particulier d'extraction d'air, l'énergie cinétique captée par une éolienne (par exemple, celle d'une éolienne à pales classique) ne peut dépasser

60% de l'énergie cinétique contenue en amont du cylindre ayant pour base la surface d'aspiration (par exemple, la surface balayée par les pales).

Premier exemple d'élément de sortie ou d'évacuation d'air : Sur les figures 1, 5 et 6, l'élément d'évacuation comprend des ouïes latérales avec
5 entrée essentiellement horizontale débouchant dans des conduits convergents 31a, 32a, 33a, 34a et 35a. L'air sortant de ces conduits est mis en contact avec l'air s'échappant des turbines avec une direction essentiellement verticale et s'écoulant dans la partie centrale du dispositif. L'air latéral agit sur l'air
10 à l'air en sortie des turbines considérablement ralenti par le transfert d'une grande partie de son énergie cinétique aux pales des turbines ; b) il modifie la trajectoire de l'air central en le refoulant dans la direction de l'air latéral, c'est à dire dans la direction du vent.

Le changement de direction de l'air central s'effectue de façon
15 progressive. Dans un premier temps, l'air central est mis en contact avec l'air en provenance du conduit 31a dont la direction de l'air est modifiée dès l'entrée de façon à lui communiquer une forte composante verticale (angle moyen, par exemple, de 45°). L'orientation et la géométrie du conduit 31a permettent d'effectuer un mélange des flux dans de bonnes conditions (minimisation des
20 pertes de mélange) et d'amorcer le retournement angulaire du flux central. Le conduit 32a avec une moindre composante verticale contribue à accentuer l'angle de retournement du flux central. Ce retournement est successivement complété par les conduits 33a à 35a venant agir progressivement plus activement dans le cœur de l'écoulement. Au cours de cette opération, le flux
25 d'air en provenance des turbines ayant accru sa quantité de mouvement et converti la plus grande partie de la composante verticale de sa vitesse en composante horizontale transmet une partie de cette quantité de mouvement en direction du flux central puis du flux latéral à l'opposé des conduits 31a à 35a. L'air central est progressivement mis en condition pour s'échapper des
30 conduits 31b à 35b situés à l'opposé des conduits 31a à 35a avec un angle d'incidence relativement bien adapté aux conduits de sortie.

Bien que les conduits 31 à 35 soient disposés selon un arrangement relativement circulaire, les conduits 31a à 35a transportant la plus grande partie du flux d'air latéral se situent, à la périphérie de l'élément 3, dans une direction proche de celle du vent, les conduits situés de part et d'autre de ces
5 conduits transportant une quantité d'air d'autant plus faible que leur angle avec la direction du vent est plus important. A titre indicatif, la quantité d'air transportée par chacun des conduits est sensiblement proportionnelle au cosinus de l'angle fait avec la direction du vent, la puissance transmise variant sensiblement avec le cube de la vitesse. De la même façon, les conduits 31b à
10 35b transportant la plus grande partie du mélange des deux flux d'air se situent également dans la direction du vent mais à l'opposé des conduits 31a à 35a, les conduits situés de part et d'autre de ces conduits transportant une quantité d'air d'autant plus faible que leur angle avec celui de la direction de l'air central (après mélange des flux) est plus important. Il résulte que le
15 système d'évacuation d'air agit globalement dans une direction voisine de celle du vent. Par ailleurs, il convient de noter que l'air n'entrant pas dans l'élément 3 mais circulant à sa périphérie tend à aspirer l'air en aval des conduits 31b à 35b compte tenu de la dépression engendrée en aval du vent par la forme générale du dispositif. Il s'en suit que le déplacement global de l'air autour de
20 l'élément 3 tend également à activer la sortie de l'air des éléments 31b à 35b.

Deuxième exemple d'élément de sortie ou d'évacuation d'air : Sur la figure 2, l'élément d'évacuation comprend une sorte de vasque divergente dans laquelle s'effectue l'échappement de l'air central. L'air extérieur agit sur la totalité de la surface aval de la vasque pour transférer une partie de sa
25 quantité de mouvement à l'air central et incurver la direction de ce dernier. Le transfert de quantité de mouvement réalisé tout d'abord dans la partie de la vasque la plus au vent est transmis progressivement en direction du flux central, puis en direction de la partie de la vasque la moins au vent, à mesure que l'air central s'échappe de la vasque.

30 Ce système comme le précédent tend à communiquer un effet d'aspiration de l'air en aval des turbines.

Caractéristiques des turbo machines:

- montage circulaire : l'élément turbomachine principal 5 est constitué d'un ensemble de blocs élémentaires répartis en secteurs (figures 3a et 3b). Chaque secteur comprend en amont un cône adaptateur 52 collectant l'air et alimentant une section cylindrique 63 dans laquelle sont montées les pales (ou aubes) 51 des turbines. Ces pales entraînent au travers d'un arbre 64 soit une machine absorbant directement l'énergie soit un engrenage 65 transmettant l'énergie. L'ensemble des engrenages de petit diamètre 65 peut entraîner un engrenage de grand diamètre 66 sur lequel peuvent se monter d'autres engrenages de petit diamètre entraînant des alternateurs, des compresseurs ou des pompes (non représentés). Ces machines sont de préférence montées sur l'extérieur du grand engrenage de façon à ne pas perturber l'écoulement d'air au travers des blocs comprenant les turbines.

Les machines entraînant (turbines) ou entraînés peuvent être désaccouplées au niveau des engrenages (secondaires ou principal) de façon à permettre l'isolement ou le démontage d'une ou plusieurs machines et, par conséquent, leur maintenance.

- montage sensiblement rectangulaire :

Un exemple de montage sensiblement rectangulaire est représenté sur la figure 3c.

De façon à faciliter l'écoulement de l'air en amont de chaque turbine, les turbines sont montées les unes par rapport aux autres sous la forme d'un cône dans la direction de l'écoulement. Ainsi, les turbines situées au centre sont montées plus en retrait (vers l'aval) par rapport aux turbines situées à la périphérie.

Un bloc élémentaire de turbomachine (figure 10a) comprend en son centre principalement un rotor de turbine 51, entraîné par le vent et un frein absorbant l'énergie mécanique fournie par la turbine. Le frein peut être un alternateur pour la fourniture d'électricité, un compresseur pour la

compression d'un gaz ou une pompe pour le relevage de la pression d'un liquide. En dehors de la configuration du frein, les blocs élémentaires présentent des caractéristiques relativement similaires.

Chaque bloc élémentaire est précédé d'un cône adaptateur 52 canalisant l'écoulement en amont des aubes.

De façon à limiter les pertes par diffusion, chaque bloc élémentaire est suivi d'un élément avec une forme divergente 53. Cet élément permet, par ailleurs, de limiter les pertes par mélange entre plusieurs blocs élémentaires adjacents.

Chaque bloc élémentaire comprend un dispositif d'ouverture ou de fermeture pour la mise en service, l'arrêt ou la régulation de vitesse d'un bloc élémentaire. Il peut être monté en n'importe quel point d'un bloc élémentaire entre l'entrée et la sortie. Il peut être constitué de volets dont la position est commandée par un système de contrôle (volets ouverts 12 et volets fermés 13 sur la figure 10b).

Les turbines peuvent tourner à une grande vitesse de rotation permettant l'entraînement du frein (générateurs, compresseurs ou autres) en direct. Comparé à une éolienne à pales conventionnelle, le montage et le contrôle des turbines s'en trouvent grandement simplifiés, un seul palier central étant requis, la turbine et le frein étant montés en porte à faux par rapport au palier central. La turbine peut opérer à vitesse de rotation constante (vitesse de l'air en amont constant) par l'ouverture ou la fermeture des ouïes de turbine commandant leur mise en service.

La fabrication est également grandement simplifiée. Elle peut se résumer à la fabrication de modules standards de relative petite dimension (métrique) comprenant une turbine, un frein, un support, un cadre et un boîtier de raccordement énergétique (électrique, fluide). Les modules de base sont ensuite assemblés en modules de plus grande dimension.

Rendement volumique des turbines:

Selon l'invention, l'élément d'entrée d'air 1 est un moyen concentrateur d'énergie vis à vis de l'élément turbomachine 5 de façon à réduire la surface balayée par les pales des turbines. La conception des turbines peut être
5 décomposée selon deux catégories concernant leur rendement volumique :

- les rotors des turbines couvrent la totalité de l'aire de passage de l'air en aval du système concentrateur d'énergie. De ce fait, de façon à ne prélever qu'une très faible partie de l'énergie cinétique disponible immédiatement en amont des turbines (compte tenu de l'augmentation de l'énergie cinétique suite à une
10 restriction d'aire), les turbines présentent un très faible rendement volumique.

- les rotors des turbines n'occupent qu'une très faible fraction de l'aire de passage de l'air en aval du système concentrateur d'énergie. Contrairement au cas précédent, l'énergie cinétique n'étant pas captée en dehors de l'aire couverte par les rotors de turbine et de façon à prélever la même quantité
15 d'énergie cinétique que dans le cas précédent, les turbines présentent un rendement volumique très élevé voire proche de 1 dans un cas extrême.

Dans le premier cas, le rendement volumique des turbines est sensiblement proportionnel au carré de la réduction des aires au niveau du concentrateur d'énergie, au rendement de Betz près. Le rapport des
20 rendements volumiques de turbine entre les deux cas est sensiblement équivalent à l'inverse du carré du rapport des aires couvertes par les turbines en aval du concentrateur d'énergie.

Turbines avec un rendement volumique atténué

Dans un système utilisant un concentrateur d'énergie, le rendement
25 volumique des turbines doit être fortement atténué de façon à ne prélever qu'une fraction de l'énergie cinétique du vent présente en amont du dispositif et ainsi permettre l'évacuation de l'air en aval compte tenu du ralentissement de son écoulement et de la réduction de la pression statique en aval du concentrateur d'énergie. Seule une très faible fraction de l'énergie cinétique

disponible en amont d'une turbine peut être prélevée. Les deux raisons principales sont les suivantes :

- un maximum de 60 % de l'énergie cinétique disponible en amont de l'élément 1 peut être prélevé au sens de Betz pour permettre l'évacuation de l'air en aval du dispositif éolien,
- l'énergie cinétique présente en aval de l'élément 1 est très supérieure à celle présente en amont compte tenu de la réduction de surface et, par conséquent, de l'augmentation de vitesse. Ainsi en prenant comme exemple un rapport de surfaces aval – amont de 0.5, l'énergie cinétique en amont des turbines est 4 fois supérieure à celle disponible en amont de l'élément 1. Par conséquent, il ne peut être capté au niveau des pales des turbines que le quart des 60% disponible en amont immédiat des turbines soit environ 15% de l'énergie cinétique disponible en amont de l'élément 1.

Le rendement volumique des turbines étant principalement déterminé par le rapport des surfaces aval – amont de l'élément d'entrée d'air 1, la conception des aubes (largeur, angle ...) de turbines est, par conséquent, fortement dépendante de ce paramètre (figure 10d).

Dans l'exemple numérique ci-dessous comparant l'énergie délivrée par un système multi turbines avec concentrateur d'énergie amont et une éolienne à pales, le rendement des turbines a été choisi à 0.6 (60%). Cette valeur correspond à l'énergie cinétique équivalente prélevée en amont de l'élément 1. A cet effet, le rendement volumique des turbines est de 15% sur une même base d'énergie cinétique disponible immédiatement en amont de ces turbines.

Turbines avec un rendement volumique non atténué

Une autre façon de concevoir un système multi turbines avec concentrateur d'énergie consiste à capter la totalité de l'énergie cinétique sur une faible fraction de l'aire se situant en amont des turbines et en ne prélevant pas d'énergie cinétique sur la fraction complémentaire (figure 10c). Le système multi turbines comprend alors un nombre réduit de turbines

avec un rendement volumique proche de 100% correspondant à un rendement énergétique voisin de 90%. La quasi totalité de l'énergie cinétique traversant la turbine étant captée par celle ci, un second flux d'air 56b contourne la turbine pour se mélanger, au travers d'orifices 57, avec l'air ralenti en sortie de turbine. Au cours de ce mélange, le flux d'air ayant contourné la turbine restitue à l'air en sortie de la turbine une quantité de mouvement lui permettant de s'extraire de l'aval de la turbine.

Le rapport des débits d'air (par conséquent, des énergies cinétiques) interne et externe est déterminé par le rapport des aires d'entrée et sortie de l'élément 1 (correspondant à l'augmentation d'énergie cinétique dans l'élément 1) mais également par le coefficient de Betz (déterminant la fraction d'énergie cinétique en amont du cône d'entrée pouvant être prélevée) pour permettre l'échappement de l'air au travers du système multi turbines.

Vitesse de rotation et contrôle des machines

Comparées à des éoliennes à pales, les turbines de la présente invention sont de très petit diamètre, 10 à 100 fois plus petit que celui d'une pale d'éolienne classique et peuvent, par conséquent, tourner à une vitesse plus élevée que celle d'une éolienne à pales. Cette vitesse de rotation peut être de l'ordre de (ou un multiple) 1500 à 1800 tours/min pour deux raisons :

- l'adaptation aérodynamique est optimum à ces vitesses de rotation,
- pas de fortes contraintes centrifuges limitant la rotation des turbines à de faible vitesse comme c'est le cas avec une éolienne à pales.

Compte tenu de cette vitesse de rotation élevée, les turbines entraînent en direct les machines absorbant l'énergie que ce soit des alternateurs, des compresseurs ou des pompes sans nécessiter la présence de multiplicateurs de vitesse.

Le nombre de turbines en fonctionnement est défini selon la vitesse du vent de façon à obtenir une vitesse proche de la vitesse optimum en amont de chaque turbine individuelle permettant un fonctionnement à vitesse constante

et toujours proche du rendement optimum. Certaines turbines sont, par conséquent, arrêtées ou démarrées pour le maintien de ce paramètre en amont des turbines en fonctionnement à l'aide d'un dispositif électronique (contrôle commande) permettant d'asservir le nombre de turbines en fonctionnement à la vitesse du vent :

- par vitesse de vent faible, la plupart des turbines sont à l'arrêt jusqu'au maintien en rotation d'une seule turbine pour un vent à l'entrée de l'élément 1 avec une vitesse correspondant à la condition minimum. Cette vitesse minimum est très inférieure à la vitesse minimum requise par une éolienne à pales compte tenu des dimensions relatives de chaque rotor. Par ailleurs, une turbine fonctionnant avec une vitesse d'air optimum en amont de son rotor opère avec un rendement aérodynamique élevé, très nettement supérieur à celui d'une éolienne à pales à la vitesse de vent correspondant au décollage des pales avec un rendement voisin de zéro. Dans cette situation, les ouvertures des entrées d'air des turbines à l'arrêt sont fermées de façon à concentrer l'air au niveau de la ou des turbines en fonctionnement.

- par vitesse de vent élevée (par exemple, au delà de 25 m/s), la plupart des turbines sont mises en service, voire, la totalité des turbines par vitesse de vent très élevée (vitesse maximum). Cette facilité permet de recueillir la totalité de l'énergie cinétique contrairement à une éolienne à pales qui est soit arrêtée soit plafonnée en puissance pour une question de protection mécanique de certains éléments (principalement les pales). Ce fonctionnement des turbines est obtenu avec un rendement aérodynamique optimum au niveau de chaque turbine, la vitesse de l'air à l'entrée de chaque turbine étant optimum. Par une vitesse de vent dépassant celle correspondant à la mise en service de toutes les turbines (fonctionnement théorique des turbines au delà de la vitesse et de la puissance optimum), les dispositifs d'ouverture disposés à la périphérie de l'élément 1 sont actionnés de façon à ne prélever que l'énergie admissible par le système et ainsi maintenir une vitesse optimum à l'entrée de chaque turbine. Ces dispositifs sont actionnés par un système contrôle commande.

- par vitesse de vent moyenne, le nombre de turbines en service est déterminé par la vitesse du vent de façon à permettre le fonctionnement de chaque turbine dans une condition de vitesse de rotation optimum (rendement optimum), un trop grand ou trop faible nombre de turbines faisant fonctionner
5 les turbines en sous ou sur régime. Cette remarque concernant la vitesse de rotation est principalement applicable aux turbines entraînant des alternateurs et déterminant la fréquence du courant alternatif en sortie. Elle est moins impérative pour les turbines entraînant des compresseurs dont la vitesse de rotation est plus facilement ajustable.

10 Les turbines entraînant divers types de machines tournantes (alternateurs, compresseurs, ou pompes) sont mises en service en fonction des besoins du moment avec, par exemple, la mise en service des alternateurs lorsque les conditions de stockage sont satisfaisantes et la demande en électricité relativement importante. A l'inverse, les turbines entraînant des
15 pompes ou des compresseurs sont mises service lorsque le stockage d'énergie est insuffisant et la demande en électricité est moins importante.

Bilan de masse des turbines

Les caractéristiques mécaniques des turbo machines d'un dispositif éolien multiturbines sont analysées dans différentes configurations de
20 concentration d'énergie, de nombre (miniaturisation) de turbines et dans le cas de turbines avec soit un rendement volumique atténué soit non atténué. Ces analyses sont réalisées en comparaison avec un dispositif éolien classique constitué d'un rotor à trois pales d'une longueur de 20 m.

Éolienne tripale classique: Le diamètre du rotor de l'éolienne tri pale est
25 légèrement supérieur à 40 m, la vitesse de rotation de l'ordre de 36 tours/min correspondant à une vitesse en bout de pale de 271 km/h. Avec une vitesse de rotation aussi faible, deux multiplicateurs épicycloïdaux sont nécessaires pour l'entraînement d'une génératrice classique tournant à 1500 tour/min.

La surface balayée par les pales est de 1257 m².

La masse d'une pale est d'environ 1635 kg soit environ 4900 kg pour trois pales. La masse totale du rotor serait supérieure d'environ 60% à cette valeur. La masse d'une pale est déterminée selon l'équation $0.1 \cdot \text{diamètre}^{2.61}$ (diamètre en mètre et masse en kg) comme il a été montré dans une étude
5 comprenant un très grand nombre de rotors de différent diamètre.

Dispositif éolien avec concentrateur d'énergie de 2: Ce système correspond à une surface en aval du concentrateur de 628 m² soit 50% de l'aire balayée par les pales d'une éolienne classique et une ouverture dans un rapport de 0.707 en dimension. La vitesse en aval du concentrateur d'énergie
10 est 2 fois plus élevée et son énergie cinétique 4 fois plus élevée que celles en amont du concentrateur d'énergie.

- Turbines balayant la totalité de l'aire en aval du concentrateur d'énergie: il s'agit donc de turbines avec un rendement volumique atténué (figure 10d) de façon à ne prélever qu'un quart de l'énergie cinétique (déduit les 60%
15 correspondant à la limite de Betz) disponible immédiatement en amont de la turbine.

Dans le cas d'un système comprenant 100 turbines, le diamètre est d'environ 2.8 m. La masse d'un rotor est de l'ordre de 4.6 kg soit environ 460 kg pour les 100 turbines (10 fois moins comparé à un système à trois pales
20 de 20 m de longueur). Compte tenu de la dimension du rotor des turbines, la vitesse de rotation peut atteindre 750 tours/min, soit la vitesse requise par une génératrice à 4 paires de pôles.

Avec un nombre de turbines plus important, le diamètre serait encore diminué, la masse réduite et la vitesse de rotation augmentée.

25 - Turbines avec un rendement volumique non atténué: Chaque turbine prélevant la totalité de l'énergie cinétique disponible immédiatement en amont soit quatre fois plus (déduit les 60% correspondant à la limite de Betz) que ce qui est permis pour l'évacuation de l'énergie en aval de la turbine, cette opération peut être réalisée par seulement un quart des turbines.

Comparé au cas précédent, il y aurait 4 fois moins de turbines avec une masse totale, par conséquent, 4 fois inférieure.

Puissance fournie par les turbines

La puissance délivrée par les turbines est illustrée au travers de deux
5 exemples.

1) Comparaison numérique entre une production d'énergie avec une éolienne à pales classique et un dispositif comportant 100 turbines de petite dimension et fonctionnant de façon optimale par tout type de vent:

Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- 10 - la surface balayée par les pales d'une éolienne à pales et celle d'entrée de l'élément 1 faisant l'objet de l'invention est de 1000 m²,
- le rendement d'une éolienne à pales est maximum aux environs de 9 m/s. Il est généralement compris entre 0,46 et 0,48. Il décroît de part et d'autre de cet optimum,
- 15 - dans le cas d'une éolienne à pales, l'augmentation de puissance est progressivement réduite au delà de 9 m/s et la puissance est plafonnée au delà de 12 m/s,
- le rendement d'une turbine du dispositif présent est voisin de 0,6 (base énergétique : énergie cinétique à l'entrée de l'élément 1) compte tenu du
20 rendement intrinsèque d'une turbine et de la possibilité d'adapter la vitesse du vent au débit optimum de chaque turbine par la mise en service du nombre optimum de turbines. Bien que le rendement d'une turbine puisse atteindre 0,9 (voire plus pour un très grand débit), il est délibérément diminué pour permettre l'échappement de l'air en sortie du divergent (vitesse suffisamment
25 positive – condition de Betz). Le rendement des turbines tient compte des dissipations d'énergie (pertes par friction et décollement), du mode d'entraînement direct des machines aval (pas de pertes résultant de l'utilisation de multiplicateurs de vitesse) et des conditions de rotation

adaptées à la production de courant alternatif sans passer par une double conversion de courant (AC/DC/AC),

- la surface totale de passage du bloc machine est de 500 m²,

- le nombre maximum de turbines pouvant être mis en service est de 100.

Vent (m/s)	3	7	10	15	20	25	30
Rendement_pales	0,050	0,460	0,460	0,160	0,068	0,035	0,000
Pw_pales (kW)	0.8	97	282	331	333	335	0

Turbines en service	12	28	40	60	80	100	100
Ouverture (m ²)	60	140	200	300	400	500	500
Vitesse air turb (m/s)	50	50	50	50	50	50	50
Rendement_turbine	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
Pw totale turbine (kW)	10	126	367	1240	2940	5742	9922
Pw par turbine (kW)	0.8	4.5	9	21	37	57	99

Pw turb/Pw pales	12,0	1,3	1,3	3,8	8,8	17,1	-
-------------------------	-------------	------------	------------	------------	------------	-------------	----------

5 Pour une vitesse de vent très inférieure à la vitesse optimale d'une éolienne à pales (9 m/s), la puissance délivrée par les turbines est largement supérieure à celle d'une éolienne à pales due à la possibilité de faire fonctionner un nombre réduit de turbines de petite dimension (par conséquent, avec un meilleur rendement). Pour une vitesse relativement faible du vent,

10 l'énergie fournie par les turbines peut être 5 à 10 fois supérieure à celle produite par une éolienne à pales.

Pour une vitesse de vent proche de la vitesse optimale d'une éolienne à pales (9 m/s), il y a peu de différence d'énergie produite entre les deux types d'éolienne.

15 Pour une vitesse de vent supérieure à la vitesse optimale d'une éolienne à pales (9 m/s), la puissance délivrée par les turbines est largement supérieure à celle d'une éolienne à pales due à la possibilité de faire fonctionner un nombre important de turbines de petite dimension (par conséquent, avec des contraintes relativement faibles comparées à une éolienne à pales de grande

20 dimension conduisant à un bridage de la puissance délivrée par ce type d'éolienne). Pour une vitesse relativement importante du vent, l'énergie

fournie par les turbines est largement supérieure (plus de 10 fois) à celle produite par une éolienne à pales.

Pour une vitesse du vent supérieure à la vitesse d'arrêt d'une éolienne à pales (environ 20 à 25 m/s), il est possible de capter une puissance de l'ordre de 5 et 10 MW avec une vitesse du vent, respectivement, de 25 et 30 m/s quand une éolienne à pales de surface équivalente ne peut atteindre 0,5 MW.

2) Comparaison numérique en fonction d'une distribution de vitesse du vent, entre l'énergie produite par une éolienne à pales et celle du dispositif présent comportant 100 turbines de petite dimension et pouvant fonctionner de façon optimale par tout type de vent.

Vent (m/s)	4	7	10	15	20	25	30
Probabilité	0,5	0,25	0,12	0,06	0,04	0,02	0,01

Dans cette condition, une éolienne à pales fournit une puissance moyenne de 100 kW tandis qu'une éolienne composée d'une batterie de turbines fournit une puissance moyenne de 494 kW soit une puissance 4,94 fois supérieure.

15 **Production de froid - Production et collecte d'eau:**

Le dispositif peut produire et collecter l'eau en provenance de l'air pénétrant dans le dispositif éolien de deux façons différentes, soit en collectant l'eau transportée sous la forme de gouttelettes d'eau (situation typique d'un temps venteux et pluvieux) soit en faisant condenser à l'intérieur du dispositif la vapeur d'eau transportée par le vent (situation typique d'une région chaude et humide).

En l'absence ou en présence de vapeur d'eau, le système peut être conçu pour la production de froid et la climatisation d'un immeuble.

- Gouttelettes d'eau transportées par le vent:

25 Cette situation se rencontre fréquemment en période de temps venteux et pluvieux.

Les gouttelettes d'eau transportées par le vent pénètrent avec l'air dans le dispositif au travers des entrées 1. De par la différence de masse volumique entre l'air et l'eau liquide (respectivement, environ 1,3 et 1000 kg/m³) et compte tenu de la forme des entrées convertissant le mouvement horizontal de l'air en un mouvement vertical et de l'effet centrifuge généré, les gouttelettes d'eau se déposent en grande majorité sur la paroi externe des entrées incurvées 1 tandis que l'air se déplace en direction des turbines.

Lorsque le dispositif contient plusieurs niveaux d'entrée d'air (figure 9a), malgré le dépôt d'une grande partie des gouttelettes sur la partie incurvée d'une entrée, les gouttelettes avec un petit diamètre collectées dans une entrée 1 inférieure sont entraînées verticalement en direction des turbines à l'intérieur du puits aérien 100. Compte tenu de la grande différence de masse volumique entre l'air et l'eau, les gouttelettes sont fortement ralenties dans leur mouvement ascensionnel tendant à se déposer sur les parois du puits 100. Après dépôt, les gouttelettes s'écoulent vers la partie inférieure du puits par ruissellement gravitaire.

L'eau est collectée au niveau des parois en certains points d'arrêt conçus à cet effet 111a, 111b et 111c avant de s'écouler au travers des conduits 111 vers un premier réservoir 110 dans lequel s'effectue un contrôle de niveau d'eau à l'aide du régulateur 113 et de la vanne 112. L'eau est ensuite évacuée en direction du réservoir principal 114 (figure 11a).

- Production de froid:

Comme il est mentionné plus haut, la surface d'entrée des turbines est inférieure à la surface d'entrée d'air 1 lorsque celle ci est unique. Elle est également inférieure à la somme des surfaces des entrées 1 lorsque l'entrée d'air s'effectue sur plusieurs niveaux. La surface d'entrée des turbines est déterminée par une borne supérieure en vue de limiter la surface d'implantation des turbines (masse des turbo machines) et par une borne inférieure en vue de limiter les pertes de charge dans l'ensemble du dispositif.

La surface transversale du puits aérien est inférieure à la surface d'entrée 1 située immédiatement en dessous du puits. Elle est également inférieure à la somme des surfaces des entrées 1 lorsque ces entrées d'air s'effectuent sur plusieurs niveaux. La surface transversale est déterminée par une borne supérieure en vue de limiter l'encombrement volumique du puits et par une borne inférieure en vue de limiter les pertes de charge dans ce puits. Toutefois, une autre méthode de dimensionnement de la section transversale du puits peut être utilisée comme il est expliqué ci-dessous.

Lorsque dans un canal, la surface se rétrécit dans la direction de l'écoulement d'un fluide compressible (l'air), la vitesse augmente inversement proportionnellement à la surface tandis que la pression statique et la température diminuent selon une loi quasi isentropique reposant sur une quasi conservation de l'énergie transportée par le vent. La chute de température dépend essentiellement de la vitesse du vent à l'entrée et du rapport des surfaces entre la sortie et l'entrée du canal convergent.

La chute de température peut être favorable à la production de froid ou à la condensation de l'eau. Toutefois, pour que cette chute de température soit significative, il faut que l'effet venturi soit important et, par conséquent, la restriction de surface importante. Ainsi, la figure 11b représente l'évolution de la température à l'entrée d'un venturi pour deux vitesses à l'entrée 1 (courbe 1 : 10 m/s et courbe 2 : 20 m/s) en fonction du rapport des surfaces. Ainsi, pour une température d'entrée de 20°C et une vitesse d'entrée de :

- 10 m/s, la température à l'entrée du venturi reste supérieure à 18°C pour un rapport des surfaces supérieur à 0,2 chutant brutalement à 10, 0 et - 10°C pour un rapport des surfaces de 0,075, 0,06 et 0,055.

- 20 m/s, la température à l'entrée du venturi reste supérieure à 18°C pour un rapport des surfaces supérieur à 0,35 chutant brutalement à 10, 0 et - 10°C pour un rapport des surfaces de 0,16, 0,12 et 0,11.

Compte tenu des conditions requises pour la production de froid ou la condensation d'eau, la température à l'intérieur du puits peut être ajustée en

fonction de la vitesse du vent et de la température à l'entrée 1 par ajustement du rapport des surfaces. Cet ajustement peut être réalisé par l'utilisation d'une multitude de puits élémentaires (figure 9b) certains d'entre eux étant ouverts (101b) ou fermés (101a) par un système de contrôle commande afin d'obtenir la surface souhaitée et, par conséquent, le degré de refroidissement de l'air et de la condensation d'eau.

Le dispositif peut être utilisé pour la production de froid, en particulier, pour la climatisation d'un immeuble. A cet effet, l'air à refroidir est mis en circulation (sens de l'écoulement indiqué par la flèche 106 sur la figure 9b) autour des puits élémentaires avec une paroi refroidie (105) en contact avec l'air refroidi par effet venturi.

- Condensation de la vapeur d'eau transportée par le vent:

La mise en œuvre est similaire à la production de froid par l'utilisation de puits élémentaires 101 avec un système d'ouverture réglable de façon à contrôler la température interne.

La fonction du puits est de créer une condition favorable à la condensation de l'eau. Toutefois, contrairement à la réalisation du froid qui est instantanée (l'augmentation de la vitesse de l'air engendre simultanément une diminution de pression et de température), la condensation de l'eau n'est pas instantanée. Elle se produit progressivement après un certain temps correspondant à l'accomplissement de certaines phases (nucléation, croissance, coalescence) et, par conséquent, compte tenu du déplacement de l'écoulement après une certaine distance. La longueur du puits est dimensionnée préférentiellement de façon à ce que la cinétique de la condensation (retard à la condensation) permette la condensation dans la partie aval du puits là où s'effectue un élargissement de la section transversale et, par conséquent, un fort ralentissement de l'écoulement favorable au dépôt des gouttelettes formées par la condensation.

Plusieurs moyens peuvent être mis en œuvre pour collecter des gouttelettes.

Dans un premier moyen, l'aval du puits peut comporter des plaques parallèles à l'écoulement (non représentées sur les schémas) sur lesquelles viennent se déposer les gouttelettes. Ces plaques peuvent être creuses et comporter sur leur surface extérieure des rainures au travers desquelles les
5 gouttelettes peuvent pénétrer et l'eau s'accumuler à l'intérieur des plaques dans la partie inférieure avant d'être évacuée vers un réservoir extérieur.

Dans un second moyen, les puits élémentaires peuvent présenter une forme hélicoïdale (non représentés sur les schémas) propice à la séparation par centrifugation des phases de différente densité. La partie aval des puits
10 élémentaires est favorable à la collecte de l'eau sur les parois des puits élémentaires compte tenu du fort ralentissement de l'écoulement dans cette zone.

Comme ci-dessus, l'eau formée par dépôt des gouttelettes peut être collectée au niveau des parois en certains points d'arrêt avant de s'écouler au
15 travers de conduits 111 vers un premier réservoir 110 dans lequel s'effectue un contrôle de niveau d'eau à l'aide du régulateur 113 et de la vanne 112. L'eau est ensuite évacuée en direction du réservoir principal 114 (figure 11a).

Quantité d'eau récupérable:

Lorsque de l'air contenant de la vapeur d'eau est refroidi, la fraction de
20 vapeur d'eau correspondant à une humidité relative supérieure à 100% condense dans un état d'équilibre thermodynamique. La quantité d'eau condensée est déterminée en fonction des pressions partielles d'eau correspondant aux états avant et après refroidissement comme il est connu de l'homme du métier. La pression partielle de l'eau (bar) est donnée en fonction
25 de la température (°C) dans le cas d'une humidité relative de 100% par la figure 11c.

En considérant une aire de 1000 m² balayée par un vent avec une vitesse de 20 m/s transportant de l'air à une température de 35°C et avec une humidité relative 100%, le volume et la masse d'air sec sont, respectivement,

de 19000 m³/s et 24000 kg/s tandis le volume et la masse d'eau à l'état de vapeur sont, respectivement, de 1900 m³/s et 880 kg/s.

Si la température est diminuée de 35 à 20°C, le volume et la masse d'eau à l'état de vapeur transportable par l'air se réduisent à respectivement, 5 590 m³/s et 470 kg/s conduisant, par conséquent, à la condensation d'environ 400 kg/s d'eau dans les conditions d'équilibre. La quantité d'eau condensable dans le puits aérien dépend de la chute en température et, par conséquent, du diamètre du puits (relativement à la dimension principale de l'entrée), aux aspects cinétiques liés en grande partie à la longueur du puits ainsi qu'à 10 l'efficacité du système de captage d'eau.

Applications urbaines

Le dispositif représenté sur les figures 1 à 11 pour la capture de l'énergie éolienne est particulièrement bien adapté à l'environnement urbain et plus précisément à l'installation sur des immeubles existants ou à leur 15 intégration dans de nouveaux immeubles.

Sur les immeubles existants, ces systèmes éoliens peuvent se présenter selon les mises en œuvre représentées sur les figures 1 à 8.

Dans les cas où la surface du toit de l'immeuble est trop grande, ou trop petite, par rapport à la surface d'entrée des turbines, une adaptation des 20 surfaces peut être réalisée au niveau de l'élément d'entrée principale d'air.

Ainsi pour une surface de turbines relativement importante, la surface de la section horizontale augmente progressivement de la surface du toit en direction des turbines (figure 7). La hauteur de l'élément 1 est déterminée de façon à respecter un rapport optimum de surface (surface d'entrée des turbines 25 relatif à l'entrée d'air principale). La surface occupée par les turbines (par conséquent la hauteur de l'entrée) est définie par la production de puissance souhaitée, la contrainte poids de l'ensemble n'étant pas, dans cette configuration, un obstacle de premier ordre. Ceci peut être le cas d'un immeuble conçu à cet effet mais avec une faible surface au sol.

A l'inverse pour une surface de turbines relativement faible, la surface horizontale diminue progressivement de la surface du toit en direction des turbines (figure 8). La hauteur de l'élément 1 est déterminée de façon à respecter un rapport optimum de surface (surface d'entrée des turbines relatif à l'entrée d'air principale). La surface occupée par les turbines (par conséquent la hauteur de l'entrée) est déterminée en premier lieu par une considération de poids. Ceci peut être le cas d'un immeuble ancien non conçu pour supporter un poids additionnel important. Le recouvrement de la totalité de l'immeuble (base de l'élément 1) est dicté par des considérations d'ordre aérodynamique.

10 Dans le cas d'intégration dans les nouveaux immeubles, ces dispositifs éoliens pourront se présenter selon les mises en œuvre illustrées sur les figures 9 à 13.

Dans la mesure où la production d'énergie est ciblée prioritairement par rapport à une production de froid ou d'eau, le puits aérien sera de grand diamètre (limitation des pertes de charge) et le dispositif éolien pourra comprendre plusieurs niveaux d'entrée d'air.

Dans la mesure où la production de froid ou d'eau est ciblée prioritairement par rapport à une production d'énergie, le puits aérien sera de petit diamètre et le dispositif éolien pourra comprendre plusieurs niveaux d'entrée d'air en amont du puits aérien.

Dans la mesure où il est envisagé de produire à la fois de l'énergie et du froid (ou de l'eau), le système peut s'apparenter au système décrit sur la figure 11 avec un puits aérien de petit diamètre, l'entrée supérieure d'air 1 étant dédiée principalement à la production d'énergie tandis que l'entrée inférieure d'air 1 est dédiée principalement à la production de froid ou d'eau. Le puits 100 est alors conçu pour la transmission des frigories (avec un système d'échange de chaleur) ou la collecte de l'eau.

Effets "booster"

- Effet1 – Reprise de la chaleur de compression:

L'effet est décrit ci-après dans la configuration où il présente une intensité maximum, c'est-à-dire celui d'une turbine freinée par un compresseur. La compression d'un gaz conduit à un fort échauffement du gaz comprimé (par exemple, un échauffement de 150 à 200°C lorsque le taux de compression est de 3).

Le compresseur et son système d'échappement sont conçus de façon à ce que la plus grande partie de la chaleur transférée au gaz au cours de sa compression soit restituée à l'air traversant le dispositif éolien. Ce transfert de chaleur constitue un apport d'énergie à l'air éolien se traduisant par une augmentation de vitesse et, par conséquent, d'énergie cinétique en aval de la turbine, compte tenu de la dilatation de l'air réchauffé. Ce phénomène est désigné par la terminologie "effet booster", facilitant l'évacuation de l'air éolien en aval des turbines. Par voie de conséquence, il permet un prélèvement supplémentaire d'énergie cinétique à l'air éolien sur une même base d'évacuation d'air en sortie du système éolien. Le transfert de chaleur du gaz comprimé vers l'air éolien s'effectue, par exemple, par l'utilisation d'une grande surface d'échange entre les deux flux.

Effet 2 – Transfert des frigories vers l'extérieur:

La production de froid du puits aérien vers le milieu extérieur correspond au travers d'un échange de chaleur à la production de chaleur du milieu extérieur vers le puits aérien et, par conséquent, à une augmentation de l'énergie interne de l'air circulant dans le canal ou les canaux élémentaires du puits aérien. La transmission progressive de la chaleur engendre une dilatation de l'air et, par conséquent, une augmentation de la vitesse de passage de l'air dans ces canaux.

L'augmentation de vitesse correspond à une augmentation d'énergie cinétique dans la partie aval du puits aérien. Elle contribue à faciliter l'extraction d'air en aval du puits aérien et, par conséquent, à faciliter l'écoulement au travers du dispositif aérien.

Effet 3 – Condensation de l'eau:

La condensation de l'eau à l'intérieur du puits aérien engendre un transfert de chaleur de la phase condensée (l'eau – chaleur latente) vers la phase non condensée (air partiellement humide) et, par conséquent, à une augmentation de l'énergie interne de l'air circulant dans le canal ou les canaux élémentaires du puits aérien. La transmission progressive de la chaleur engendre une dilatation de l'air et, par conséquent, une augmentation de la vitesse de passage de l'air dans ces canaux.

Comme précédemment, l'effet booster contribue à faciliter l'extraction d'air en aval du puits aérien et, par conséquent, à faciliter l'écoulement au travers du dispositif aérien.

Ainsi, l'utilisation d'un dispositif constitué en amont de conduits convertissant le déplacement de l'air horizontal (vent) en un déplacement vertical permet de recevoir l'énergie cinétique de l'air dans toute direction azimutale de vent sans rotation du dispositif tandis que la réduction de surface en aval de la surface développée par une batterie de turbines conduit à l'utilisation de turbines métriques voire décimétriques. Cet arrangement permet une réduction significative de la masse des rotors (supérieure à 10) et une très forte augmentation de la vitesse de rotation (supérieure à 30).

La faible dimension des rotors permet d'accepter une très grande vitesse d'air à l'entrée du système comme à l'entrée des turbines permettant un fonctionnement du dispositif avec des vents très largement supérieurs à 25 m/s tout en captant la quasi totalité de l'énergie cinétique du vent jusqu'à 25 m/s (éolienne classique plafonnée à environ 10 m/s). Ce mode de fonctionnement permet de prélever en moyenne 5 fois plus d'énergie que celle prélevée par une éolienne classique surtout si l'on prend en compte que le système d'extraction d'air peut faciliter l'écoulement, voire, fournir un supplément de puissance.

L'utilisation combinée d'un dispositif constitué d'une part en amont d'un concentrateur d'énergie et en aval d'une batterie de turbines et d'autre part de

turbines avec un rendement volumique non atténué conduit à l'utilisation d'un nombre très réduit de turbines. Ce nombre est dépendant de la réduction de surface du concentrateur d'énergie.

La conception générale du dispositif permet l'utilisation d'un puits
5 aérien, dispositif approprié pour la production de froid, la collecte d'eau de pluie et la condensation de vapeur d'eau.

Les performances du dispositif peuvent être améliorées en bénéficiant des effets booster activateur du déplacement d'air au sein du système.

REVENDICATIONS

- 1) Dispositif éolien pour la production d'énergie, de froid ou d'eau, caractérisé en ce qu'il comporte un élément d'entrée d'air (1) de symétrie axiale et comportant des moyens d'inflexion de la direction du vent provenant d'une direction sensiblement orthogonale à l'axe dudit élément vers une direction sensiblement axiale, un élément machine (5) comportant une pluralité de turbines de captation de l'énergie éolienne d'axe sensiblement parallèle audit axe de l'élément d'entrée d'air.
- 2) Dispositif selon la revendication 1, dans lequel lesdites turbines sont assemblées entre elles dans l'élément machine par des moyens tels que tout l'air provenant de l'amont passe dans lesdites turbines.
- 3) Dispositif selon la revendication 1, dans lequel lesdites turbines sont assemblées entre elles dans l'élément machine par des moyens tels qu'une partie seulement de l'air provenant de l'amont passe dans lesdites turbines.
- 4) Dispositif selon la revendication 3, dans lequel l'autre partie de l'air ne passant pas dans lesdites turbines active des moyens d'extraction d'air en aval desdites turbines.
- 5) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdites turbines sont assemblées dans un élément machine de section carrée, rectangulaire ou circulaire.
- 6) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la sortie de l'élément machine communique avec l'entrée d'un élément de sortie d'air de symétrie axiale selon le même axe que celui des turbines, ledit élément de sortie comportant des moyens d'inflexion de la direction de l'air en sortie des turbines vers une direction orthogonale.
- 7) Dispositif selon la revendication 6, dans lequel ledit élément de sortie d'air comporte des entrées latérales d'air de façon à entraîner l'air en sortie des turbines vers une direction orthogonale auxdites turbines.

8) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comportant plusieurs éléments d'entrée d'air disposés selon le même axe, et communicants entre eux par un conduit, ou puits, sensiblement axial.

5 9) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dont l'axe est disposé sensiblement verticalement.

10) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comportant des moyens de contrôle et de commande de fonctionnement des turbines en fonction de la vitesse du vent et des moyens de réglage de l'ouverture ou de la fermeture de l'entrée desdites turbines.

10 11) Dispositif selon l'une des revendications précédentes, installé sur le toit d'un immeuble.

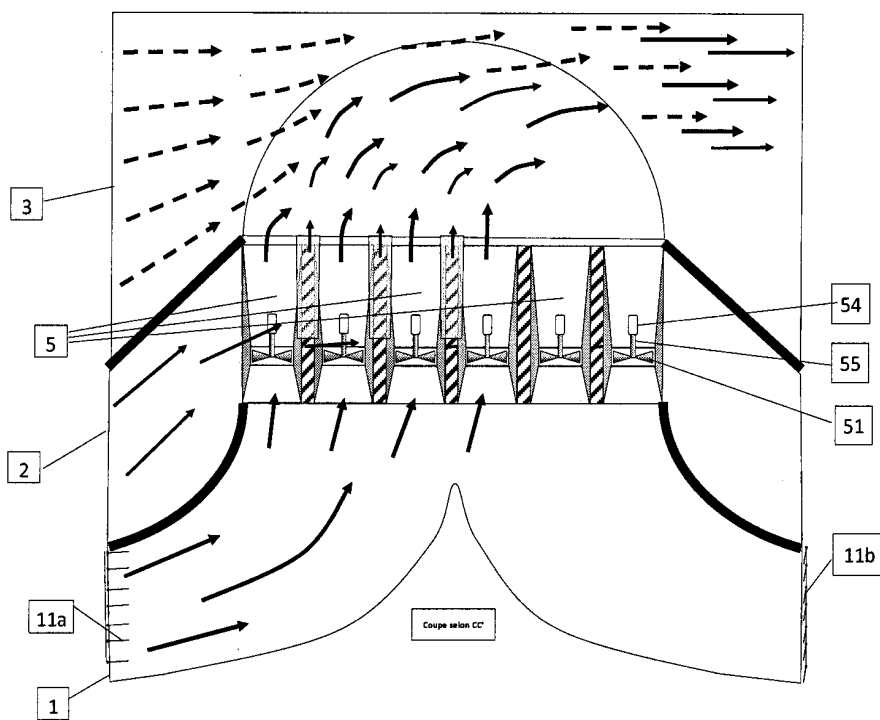


Figure 1

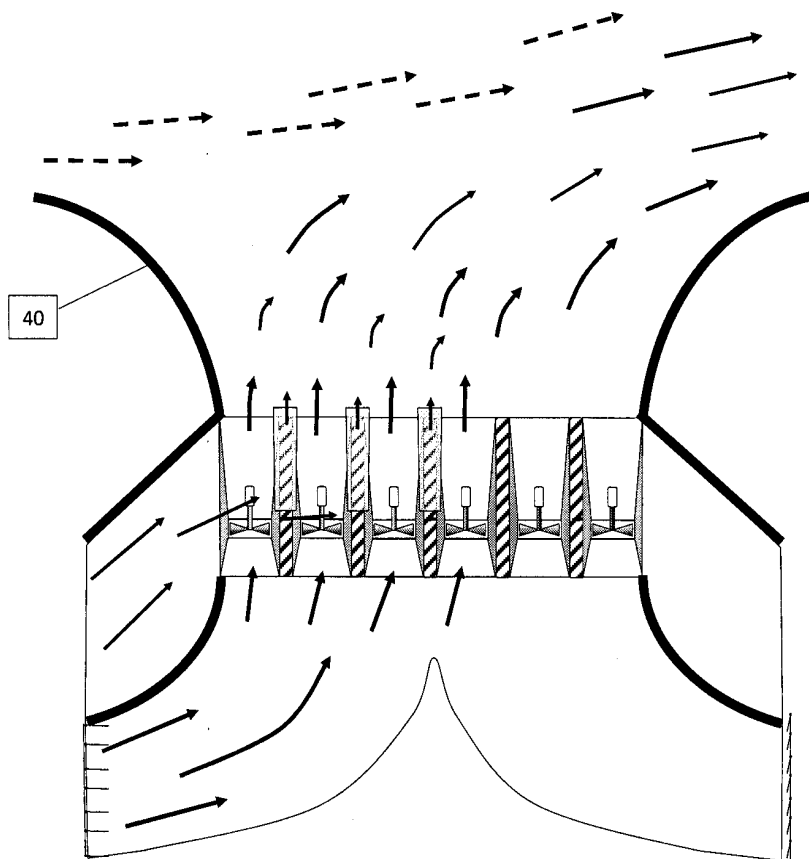


Figure 2

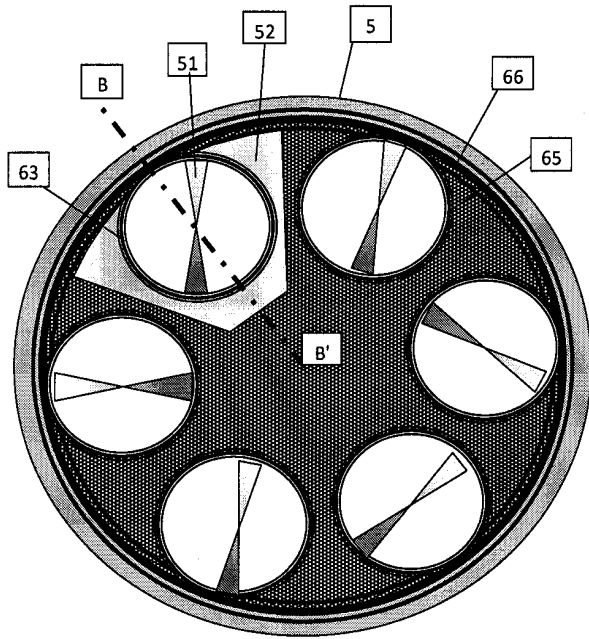


Figure 3a

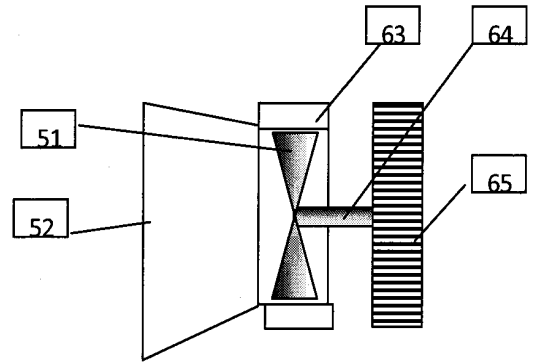


Figure 3b

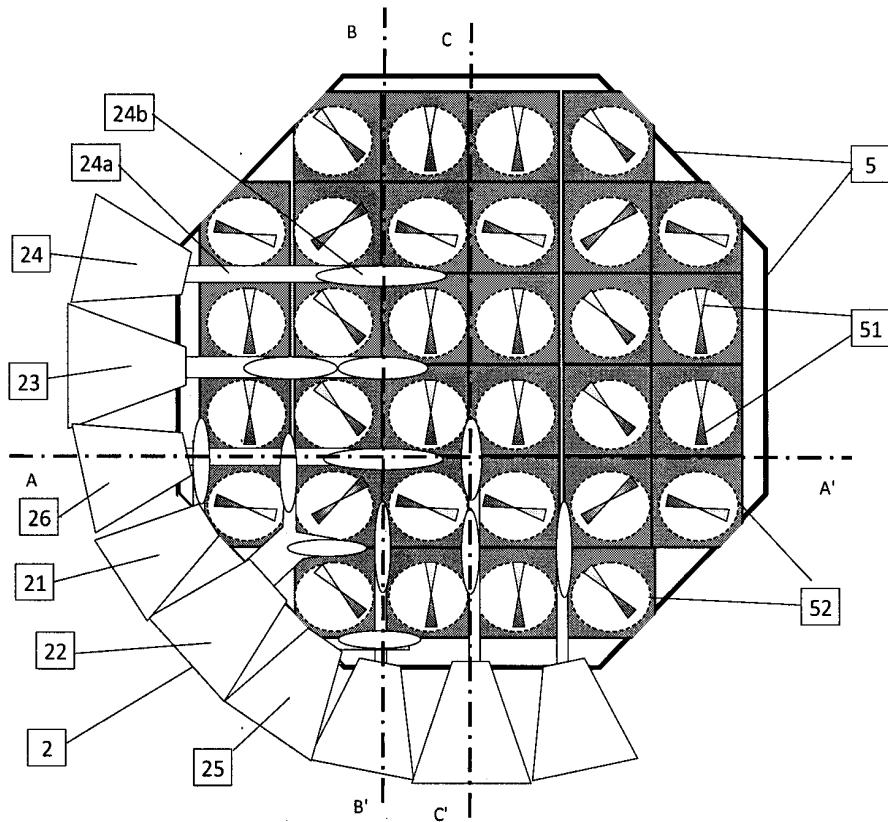


Figure 3c

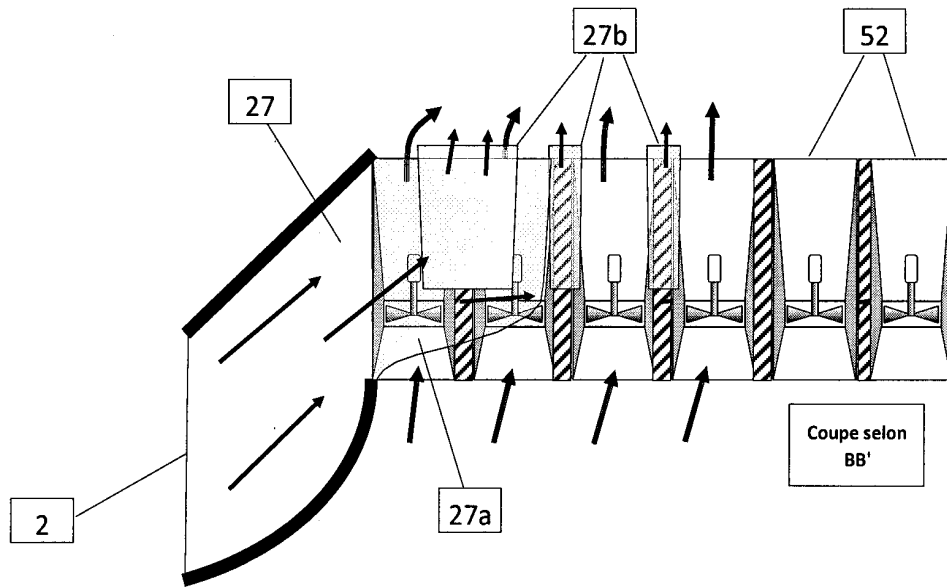


Figure 4a

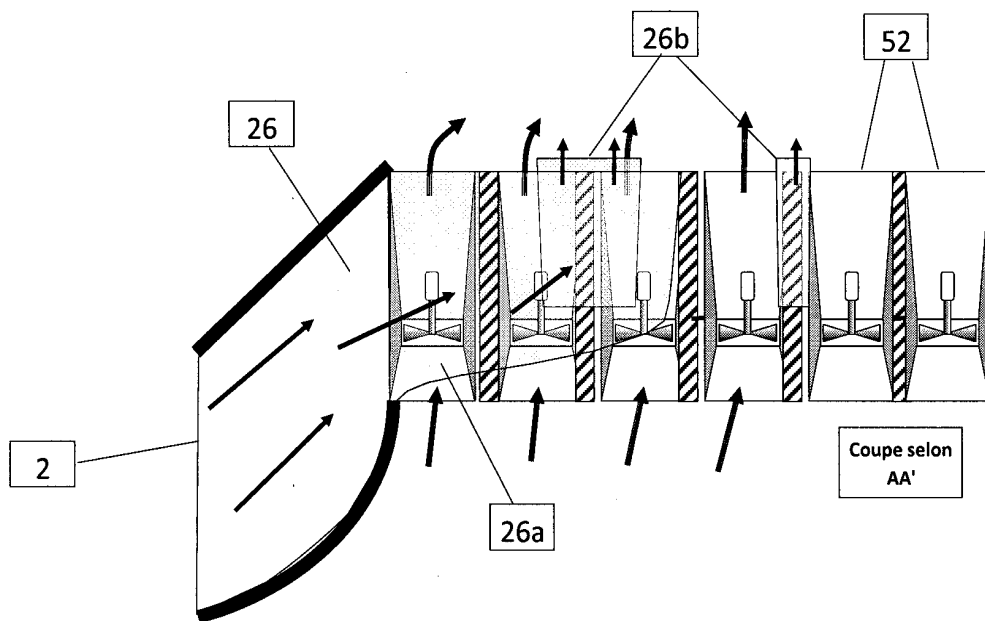


Figure 4b

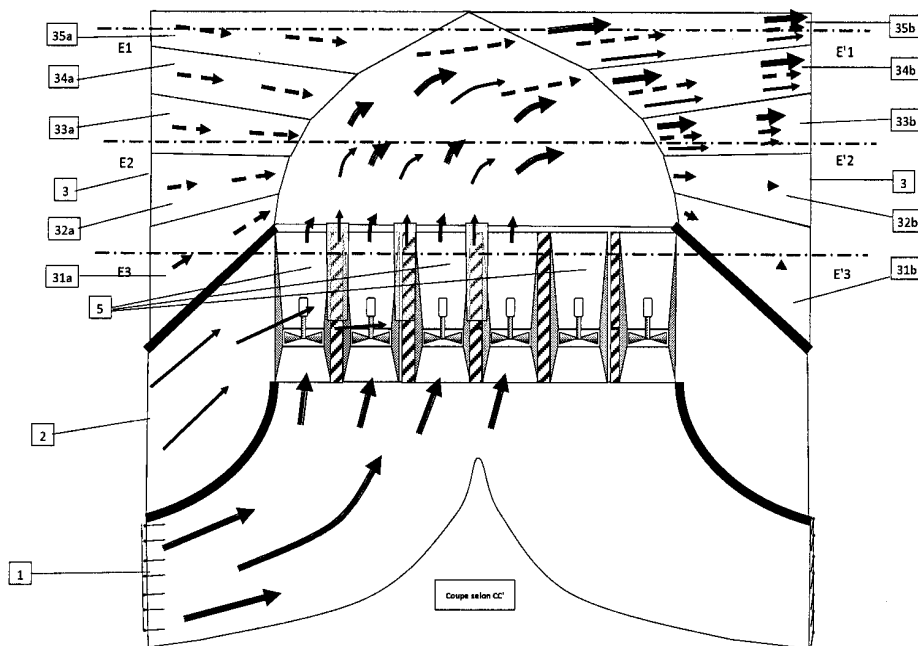


Figure 5

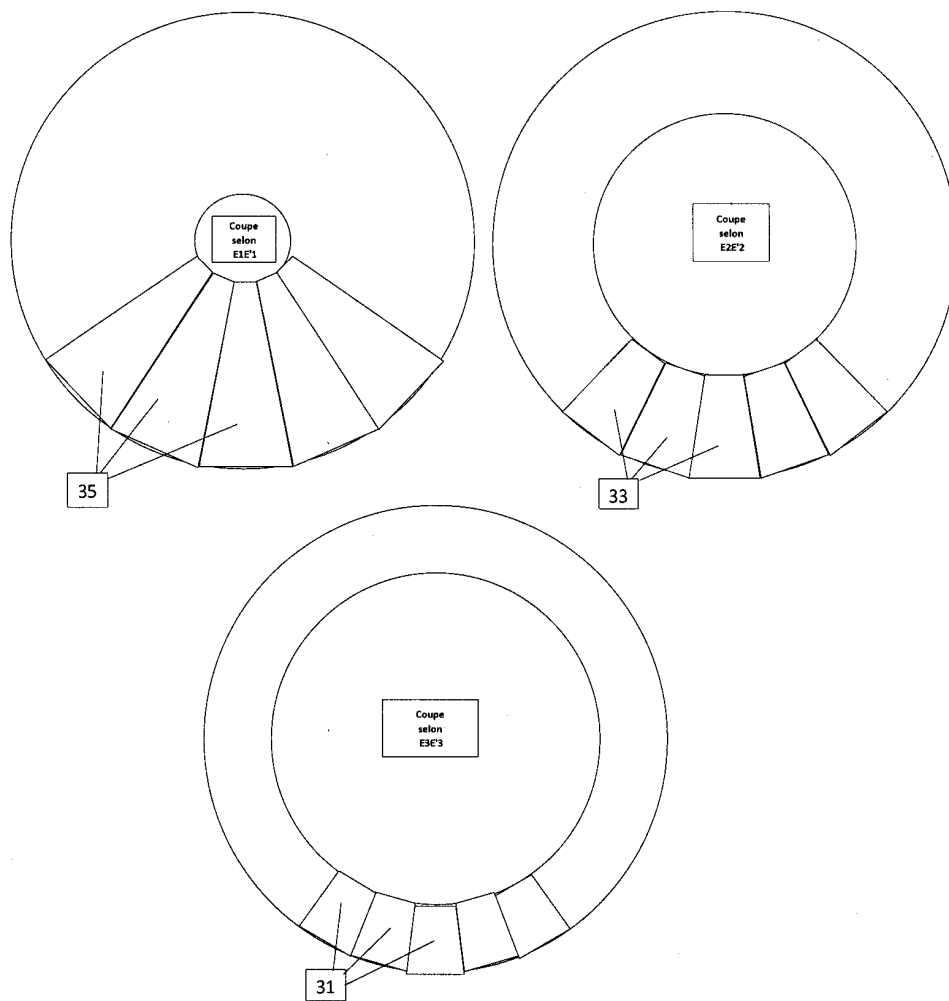


Figure 6

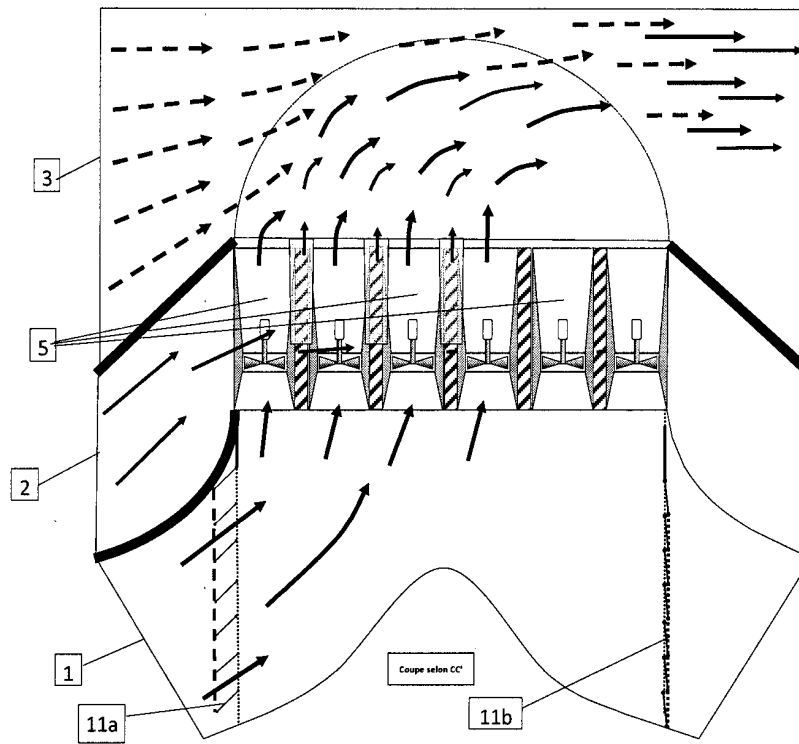


Figure 7

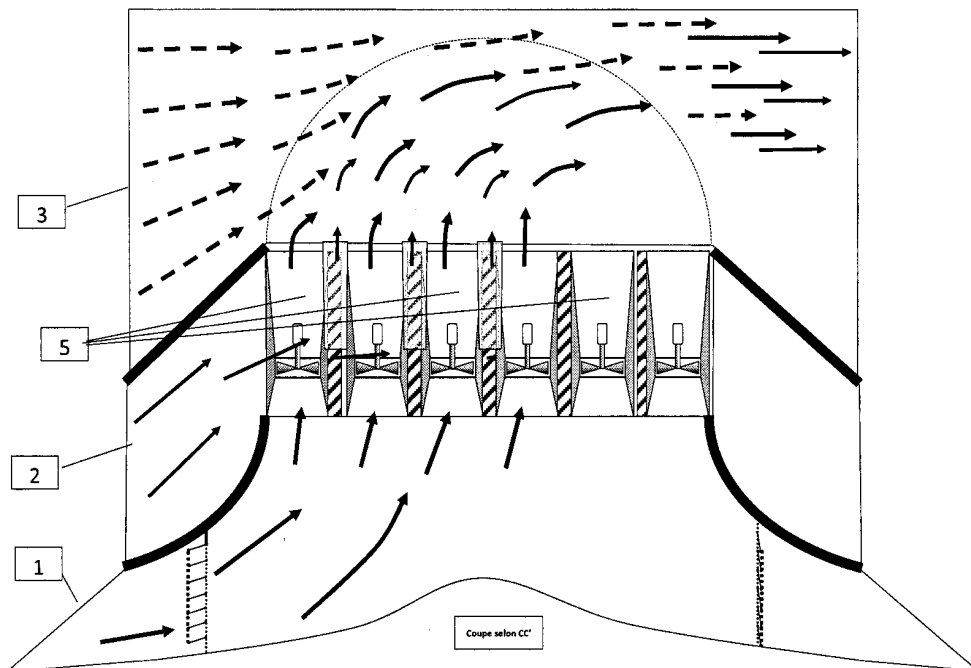


Figure 8

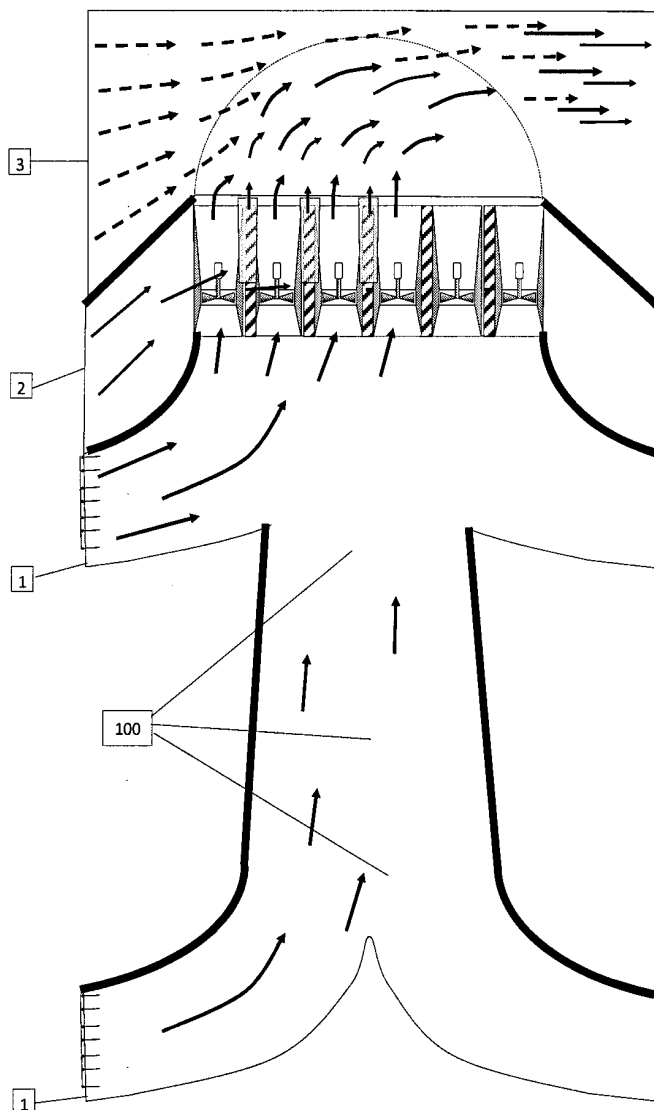


Figure 9a

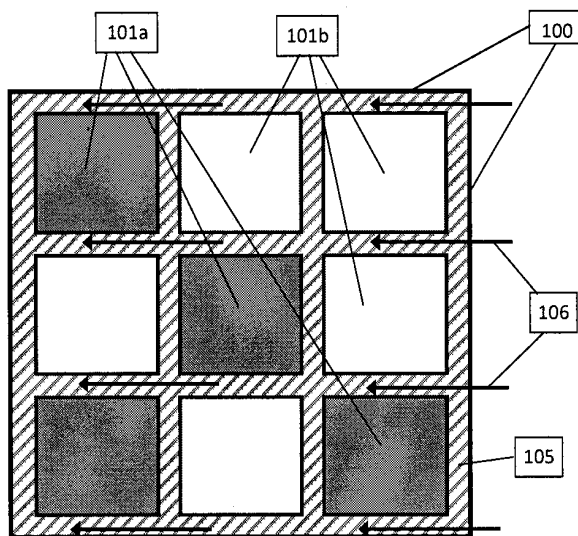
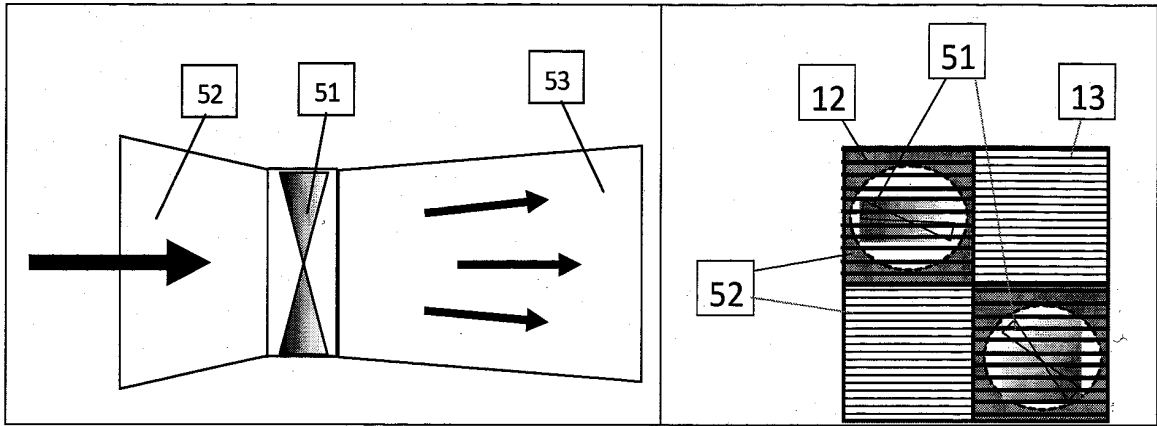


Figure 9b



Figures 10a

Figure 10b

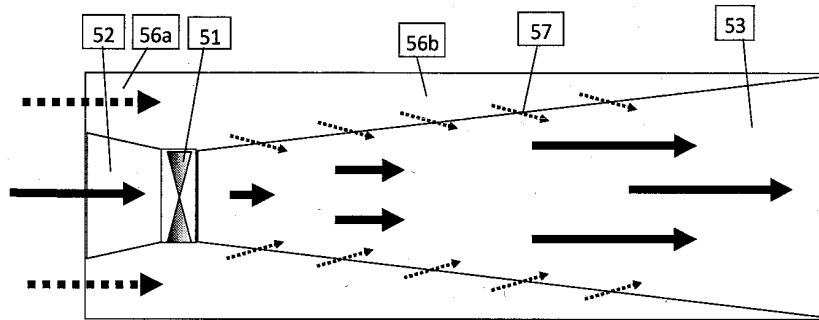


Figure 10c

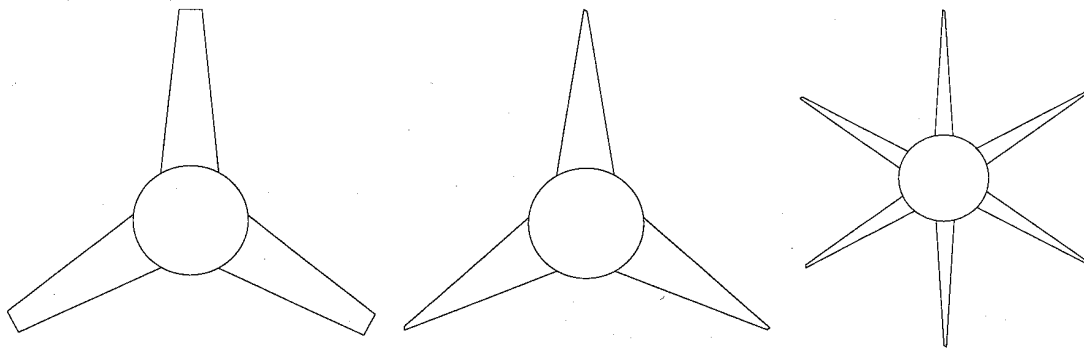


Figure 10d

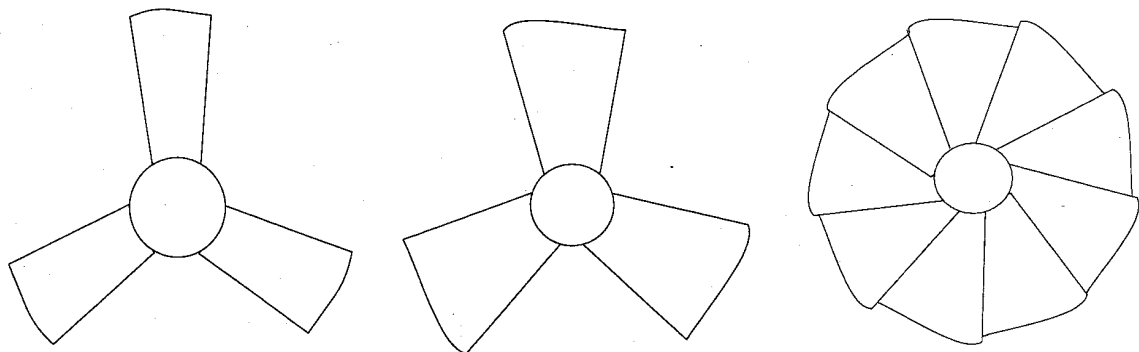


Figure 10e

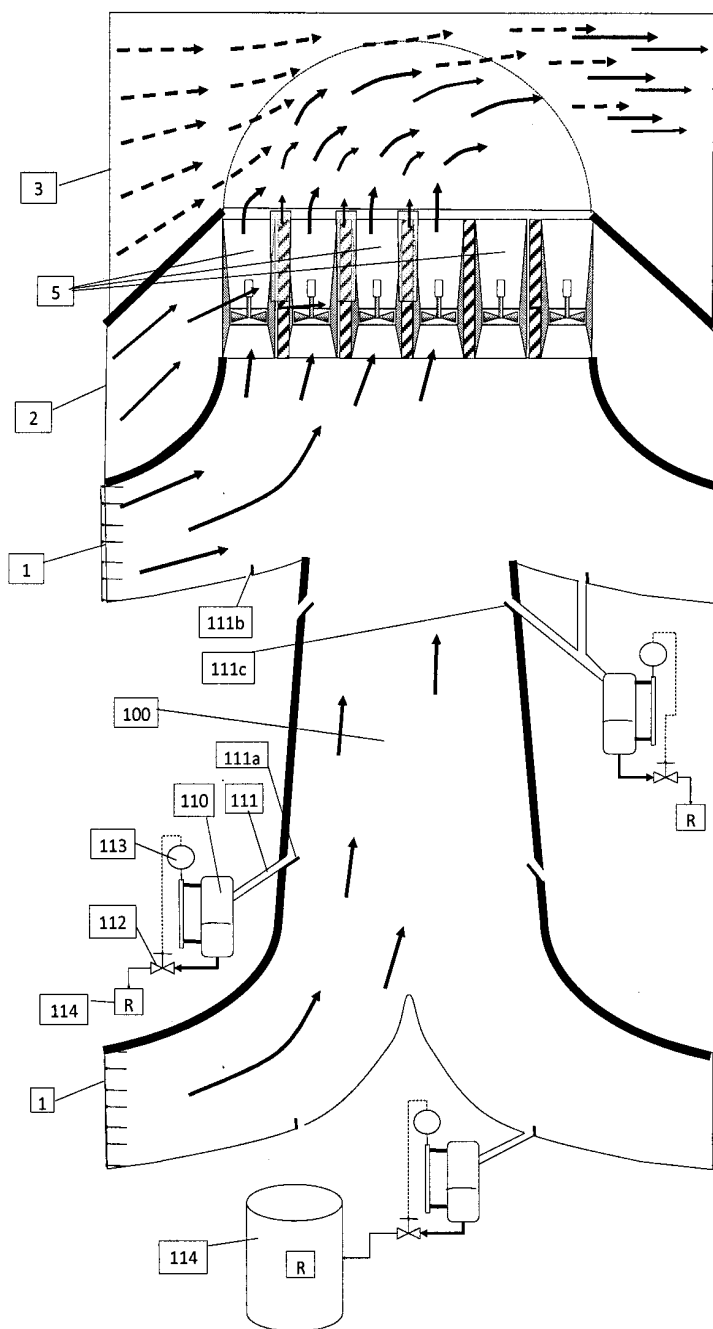
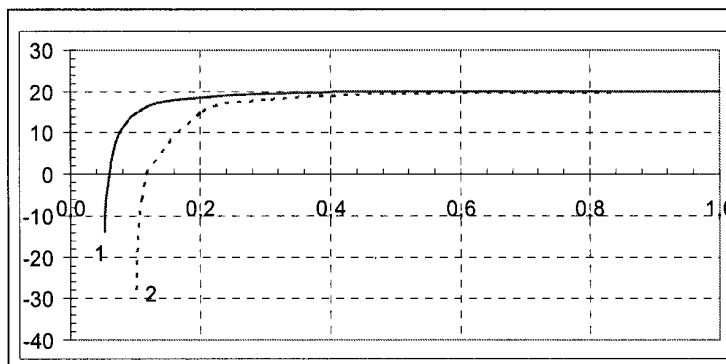


Figure 11a



Figures 11b

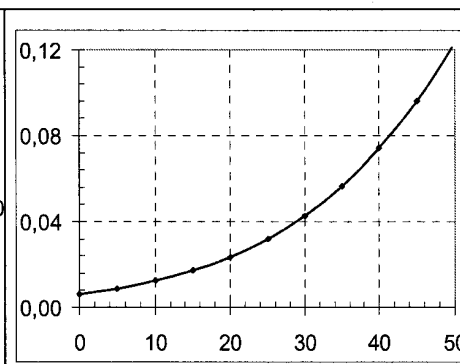
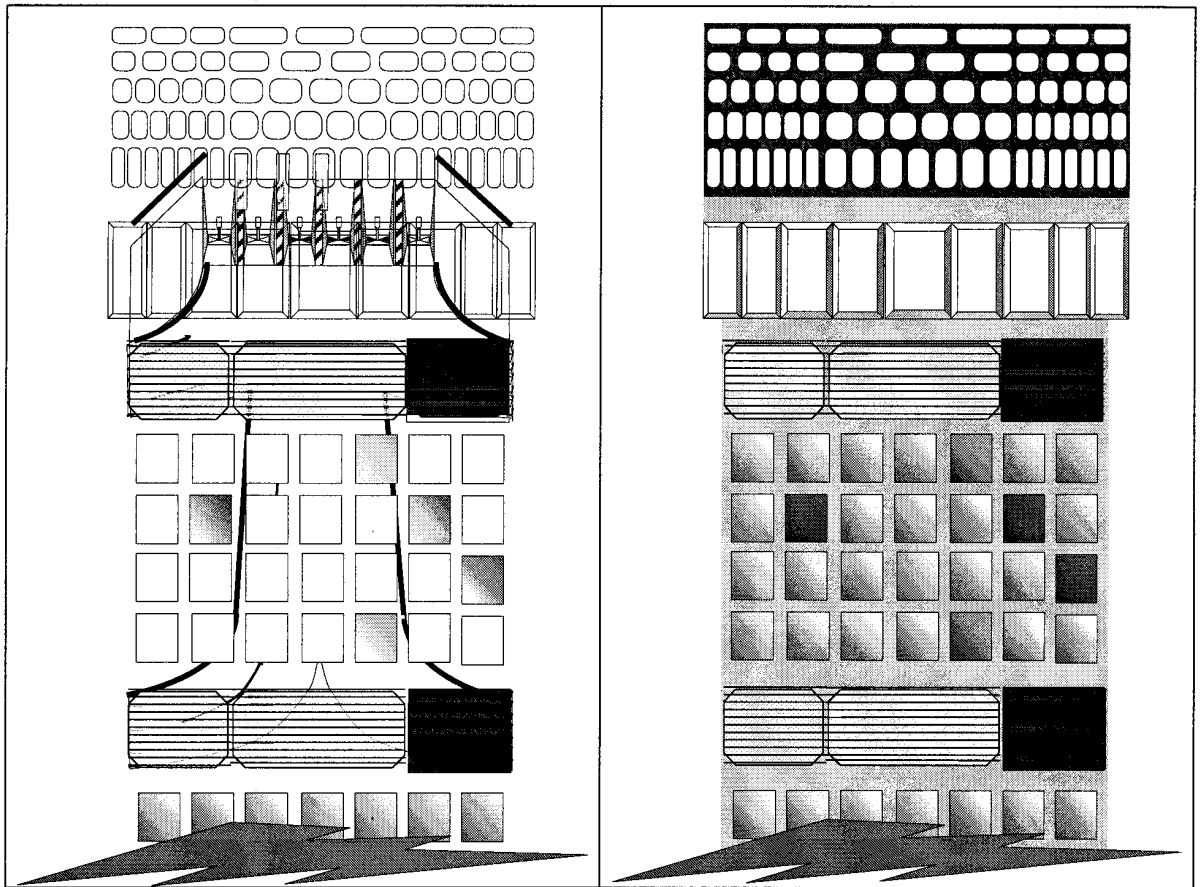


Figure 11c



Figures 12a

Figure 12b

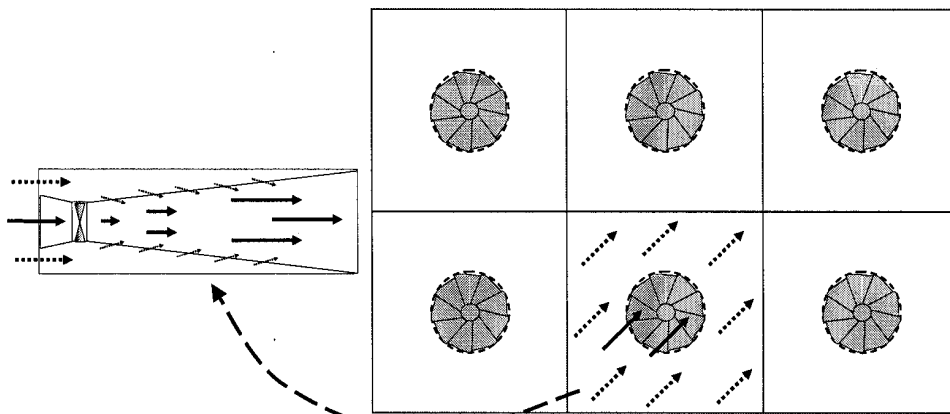


Figure 10f

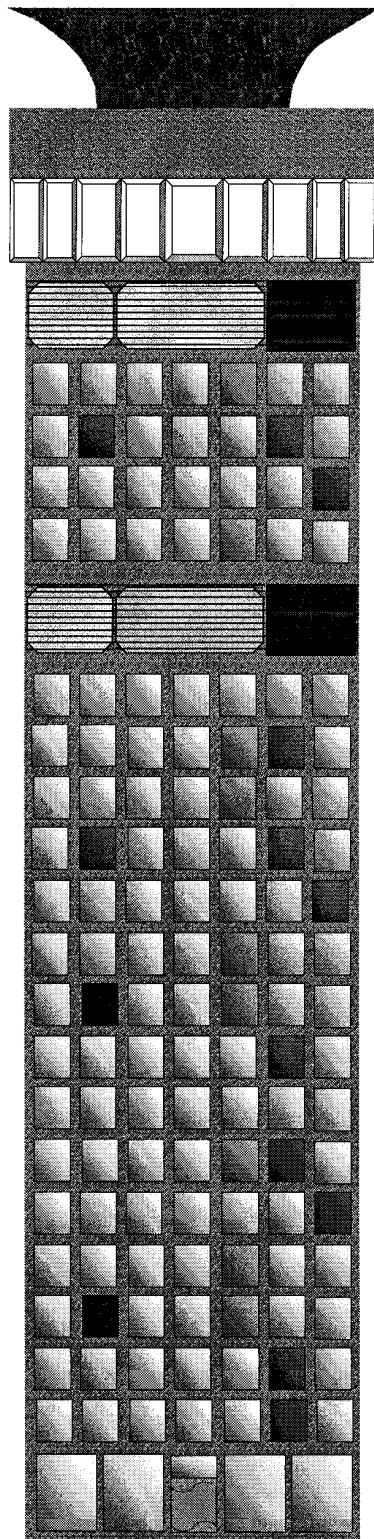


Figure 13



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 741351
FR 1003523

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	US 4 508 973 A (PAYNE JAMES M [US]) 2 avril 1985 (1985-04-02)	1,2,5,6, 8,9,11	F03D 1/04 F03D 1/02
Y	* abrégé; figures 1,3 *	3,4,10	F03D 9/00 F28B 5/00
Y	US 2009/097964 A1 (PRESZ JR WALTER M [US] ET AL PRESZ WALTER JR [US] ET AL) 16 avril 2009 (2009-04-16) * alinéa [0012] - alinéa [0014] * * alinéas [0051] - [0059] * * alinéa [0072] * * figures 3,14 *	3,4	F25B 27/00
X	CA 2 418 082 A1 (CHAFE PAUL C [CA]) 7 août 2004 (2004-08-07) * abrégé; figure 1 *	1,2,5-9, 11	
Y	EP 1 180 597 A1 (TRYP MULTISERV SERVICIOS S L [ES]) 20 février 2002 (2002-02-20) * alinéa [0049] - alinéa [0061] *	10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F03D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 mai 2011		Król, Marcin	
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	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1003523 FA 741351**

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 **26-05-2011**

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
US 4508973	A	02-04-1985	AUCUN	

US 2009097964	A1	16-04-2009	AUCUN	

CA 2418082	A1	07-08-2004	AUCUN	

EP 1180597	A1	20-02-2002	AT 264455 T	15-04-2004
			AU 768193 B2	04-12-2003
			AU 5645700 A	12-12-2000
			BR 0011594 A	05-03-2002
			CA 2374584 A1	30-11-2000
			DE 60009895 D1	19-05-2004
			DE 60009895 T2	21-04-2005
			DK 1180597 T3	26-07-2004
			WO 0071893 A1	30-11-2000
			ES 2166663 A1	16-04-2002
			MA 25360 A1	31-12-2001
			MX PA01011827 A	06-05-2002
			PT 1180597 E	31-08-2004
			US 6590300 B1	08-07-2003
