

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 22.03.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.09.03 Bulletin 03/39.

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) : *GTM Société anonyme — FR et DEL-
TASOL T.S. — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *GANNE PHILIPPE, DE MEO ROBERT
et FOISSAC DANIEL.*

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : *GTM GENIE CIVIL ET SERVICES.*

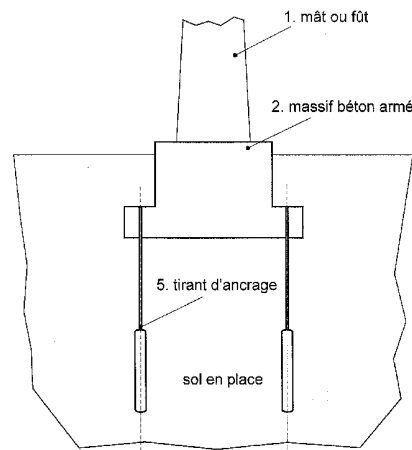
⑤4 FONDATIONS DE STRUCTURES PAR MASSIFS SOLIDARISÉS AU SOL PAR DES ANCRAGES ACTIFS.

⑤7 Fondations de structures par massifs solidarisés au
sol par des ancrages actifs.

L'invention concerne la fondation de structures hautes
et élancées (monopodes ou multipodes) et offrant une grande
prise au vent, telles des pylônes ou des éoliennes, sur
des massifs (ou semelles) solidarisés au sol par des ancrages
actifs.

Elle consiste à fixer au sol une semelle en béton armé
de faibles dimensions (2) par des tirants d'ancrage constitués
de barres ou de câbles (5) qui seront mis et maintenus
durablement à un niveau de tension élevé. On applique ainsi
à la semelle un effort vertical descendant permanent toujours
supérieur à l'effort de décollement ou d'arrachement exercé
par la structure (1) soumise à sollicitation. Cette pré-
contrainte remplit donc vis-à-vis du risque de basculement
le même rôle stabilisateur que le poids, sans cependant nécessiter
la mise en oeuvre d'importantes quantités de béton armé, et en
permettant de réduire fortement les volumes de terrassement.

L'invention présente ainsi de nombreux avantages sur
les plans technique, environnemental et économique par
rapport aux autres procédés existants.



1. Domaine technique

La présente invention concerne la fondation de structures hautes et élancées (monopodes ou multipodes) et offrant une grande prise au vent, telles des pylônes ou des éoliennes, sur des massifs (ou semelles) solidarisés au sol par des ancrages actifs
5 constitués de câbles ou de barres.

Constituée d'un « mât » ou « fût » (1) de quelques dizaines de mètres de hauteur, surmonté d'un aérogénérateur muni de pales d'hélice de grandes dimensions lorsqu'il s'agit d'une éolienne, une telle structure est soumise à des sollicitations mécaniques importantes et irrégulières, en fonction de l'intensité et de l'orientation du vent, lequel tend
10 à provoquer le renversement de ladite structure haute et élancée.

Sa fondation sur ou dans le sol doit permettre de garantir la stabilité de l'équipement face à ces sollicitations. Il est de plus hautement souhaitable de disposer d'un procédé de réalisation des fondations qui permette de limiter l'impact des travaux sur l'environnement.
15

2. Etat de la technique antérieure et problèmes posés

Actuellement il existe trois types de fondations, dont on peut par exemple trouver une description plus complète dans les cahiers des « Techniques de l'ingénieur, traité Construction » (cahier C 2 682 de Monsieur Gérard Philipponnat).
20

Un premier type (figure 1) consiste à réaliser une fondation constituée d'un massif « poids » en béton armé (2). Dans ce type, le poids du béton et de ses éventuels remblais (3) associé à des dimensions en plan importantes, pouvant atteindre par exemple celles d'un carré de 15 mètres de côté pour une éolienne de 60 mètres de hauteur, assure la
25 stabilité de l'équipement. Le poids de la structure elle-même est en effet presque toujours insuffisant pour contribuer à la stabilité de l'ensemble semelle-structure. Dès lors, il peut parfois être nécessaire d'augmenter la quantité de béton à mettre en œuvre dans la semelle dans le seul but de conférer un poids suffisant à l'ensemble. Ce type de fondation nécessite la réalisation de travaux de terrassement importants et la mise en œuvre d'une
30 quantité de béton armé élevée, ce qui a pour effet d'entraîner une agression du site d'installation de la structure d'une part, et de coûter cher d'autre part. En outre, dans le cas où le sol d'assise du massif ne présenterait pas des caractéristiques géo-mécaniques uniformes, il peut se produire, sous l'effet des sollicitations auxquelles est soumise la structure en service, des tassements différentiels préjudiciables au comportement de
35 l'ouvrage.

Un deuxième type de fondation (figure 2) consiste à réaliser un massif en béton armé similaire à celui qui vient d'être présenté, mais en l'ancrant plus profondément dans le sol (2). Il est ainsi possible de bénéficier d'un effet d'encastrement dans le sol qui vient compléter le pouvoir stabilisant du poids de la semelle. Cet effet d'encastrement est dû au fait que le sol exerce sur la partie haute de la paroi verticale de la semelle située en aval de la direction dans laquelle agit la sollicitation (sollicitation du vent par exemple) une pression directement opposée à la direction de la sollicitation, tandis qu'une contre-pression est exercée par le sol sur la partie basse de la paroi verticale de la semelle située en amont de la direction dans laquelle agit la sollicitation. Le couple résultant de l'action de cette pression et de cette contre-pression s'oppose au basculement de la semelle et de la structure qu'elle supporte, dès lors que les caractéristiques mécaniques du terrain d'une part, et la profondeur d'encastrement de la semelle d'autre part, sont suffisantes, ce qui permet de réduire d'autant plus la surface d'appui de la semelle que sa profondeur d'encastrement sera plus élevée. Là encore, la réalisation d'une telle semelle nécessite des travaux de terrassement importants, et de plus à une profondeur élevée, en même temps que la mise en place d'une grande quantité de béton armé, avec les mêmes inconvénients que précédemment.

Un troisième type de fondation (figure 3) utilise la possibilité qu'on a de transmettre des efforts importants à un sol de bonne qualité grâce à des pieux ou des micropieux (4) scellés dans ce sol. Dans ce type de fondation, on réalise d'abord une série de pieux situés à une distance convenable de l'axe vertical de la structure haute et élancée, puis un massif (ou semelle) en béton armé (2) qui vient coiffer les pieux tout en leur étant solidement relié, et sur lequel on vient ensuite fixer la structure haute et élancée (1). Le moment de renversement qui s'exerce sur la structure haute et élancée est alors équilibré par une réaction de compression verticale ascendante exercée par les pieux qui se trouvent en aval de la direction dans laquelle agit la sollicitation, tandis que les pieux situés en amont de cette direction vont exercer un effort de traction, vertical et descendant. Une telle disposition permet de réduire notablement les dimensions en plan de la semelle, sans nécessiter en contrepartie un approfondissement excessif de celle-ci. Elle présente cependant l'inconvénient d'une souplesse souvent excessive, car la mise en compression et en traction des pieux s'accompagne de l'allongement ou du raccourcissement de ceux-ci, ce qui provoque la rotation de la semelle par rapport à son plan d'appui et, du fait de l'élancement de la structure, un déplacement horizontal non négligeable de la tête de la structure. Le caractère alternatif des efforts auxquels est soumise la structure, en raison notamment de l'irrégularité de la direction et de l'intensité

du vent, peut en outre entraîner un phénomène de fatigue des pieux préjudiciable à leur tenue dans le temps. Ce problème peut être résolu par un surdimensionnement important des pieux permettant d'augmenter la rigidité de la fondation, mais le surcoût induit par cette disposition annule en grande partie l'économie réalisée par la réduction des dimensions du massif en béton.

3. Exposé de l'invention

L'objet de la présente invention est d'apporter une solution plus avantageuse que celles évoquées précédemment, c'est-à-dire permettant de réaliser une semelle en béton armé de dimensions réduites tout en restant suffisamment rigide pour ne pas entraîner de mouvement important de la tête de la structure sous l'action de sollicitations telles que le vent, et ceci pour un coût avantageux, dès lors que l'implantation de la semelle peut se faire sur un sol de bonne qualité tel que du rocher ou un sol alluvionnaire très consolidé.

Elle consiste (figure 4) à appliquer la technique de la précontrainte active en fixant au sol une semelle en béton armé de faibles dimensions (2) par des tirants d'ancrage constitués de barres ou de câbles (5) qui seront mis et maintenus durablement à un niveau de tension élevé. On applique ainsi à la semelle un effort vertical descendant permanent toujours supérieur à l'effort de décollement ou d'arrachement exercé par la structure (1) soumise à sollicitation. Cette précontrainte remplit donc vis-à-vis du risque de basculement le même rôle stabilisateur que le poids, sans cependant nécessiter la mise en œuvre d'importantes quantités de matières telles que le béton armé ou les remblais qui surmontent la semelle. De plus, il est alors possible d'augmenter, dans les limites que peut supporter le sol, l'effort vertical autant qu'on le souhaite, et ainsi de réduire concomitamment les dimensions de la semelle pour une même stabilité. Enfin, comme seule la valeur de l'effort de traction et d'ancrage exercé par les tirants tendus intervient dans le pouvoir de stabilisation, il est possible de les disposer de façon indifférente sur l'emprise de la semelle, pourvu que soit respectée une symétrie de la disposition autour de l'axe de la structure et de la semelle.

En outre, la mise en tension des tirants entraîne une compression du terrain situé entre le dessous de la semelle et l'extrémité des ancrages qui permet, notamment dans le cas d'un terrain fracturé, une consolidation du sol et une amélioration de ses caractéristiques mécaniques.

Le dimensionnement, la mise en œuvre et le contrôle des tirants d'ancrages se font dans le respect des « Recommandations TA 95 concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage » publiées par le Comité Français de la Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations (éditions Eyrolles – 1995).

Ces tirants permanents bénéficient d'une protection contre la corrosion qui leur assure une durée de vie identique à celle de la semelle en béton armé.

4. Réalisation de l'invention

5 La description qui suit permettra de mieux juger, sur un exemple (figure 5), la façon de réaliser l'invention, et d'apprécier ses avantages.

Le cas proposé est celui d'une éolienne de hauteur 44 mètres à l'axe du moyeu de l'aérogénérateur (6), soumise à ce niveau à des vents d'une vitesse de 36 m/s (environ 130 km/h). Le terrain d'assise est un sol marno-calcaire plus ou moins fracturé, pour lequel on a retenu comme caractéristiques mécaniques une pression limite (p_l) de 4 MégaPascals (MPa) et un module pressiométrique (E_m) de 50 Mpa.

Dans ces conditions, une fondation par massifs « poids » en béton armé telle que représentée à la figure 1 nécessiterait que ledit massif ait une surface d'appui d'environ 140 m² (soit par exemple une semelle circulaire d'environ 13 mètres de diamètre), et une masse de près de 400 tonnes. Le volume de terrassement est alors supérieur à 400 m³.

Dans le cas où le massif en béton armé (2) est solidarisé au sol par des ancrages actifs (5), son assise peut être réduite à environ 30 m² (soit par exemple une semelle circulaire d'environ 6 mètres de diamètre), et sa masse à 130 tonnes. Le volume de terrassement est alors ramené à moins de 100 m³.

20 L'ancrage du massif est quant à lui constitué de 4 tirants 15T15 (15 torons de 150mm² de section chacun par tirant) tendus à 60% de leur limite élastique, conformément aux Recommandations TA95. Chaque ancrage a une longueur totale de 20 mètres (8 mètres de longueur libre et 12 mètres de longueur scellée).

25 La méthodologie de réalisation de la fondation ancrée est sommairement la suivante :

- terrassement de la fouille ;
- bétonnage du massif, dans la semelle duquel sont réservés des passages pour le forage des ancrages ;
- 30 - exécution des forages ;
- mise en place et scellement des tirants dans les forages, les tirants prenant appui sur la partie supérieure de la semelle par l'intermédiaire de leurs têtes d'ancrage ;
- mise en tension des ancrages après durcissement suffisant du produit de scellement) ;
- 35 - cachetage des têtes d'ancrage ;

- équipement d'au moins un tirant par massif d'une cellule de contrôle (conformément aux Recommandations TA95) ;
- remblaiement de la fouille.

5 L'ordre de certaines de ces opérations peut toutefois être modifié dans certains cas particuliers. Ainsi par exemple, si une incertitude demeure sur la qualité du sous-sol, le forage des ancrages peut être réalisé immédiatement après le terrassement de la fouille, et constitue ainsi une reconnaissance complémentaire des terrains en place, préalable aux travaux de construction du massif lui-même.

10 Un autre problème qui peut se poser est celui des tassements différentiels qui pourraient se produire sous l'effet de la mise en tension des ancrages en cas de sol légèrement compressible : de tels tassements engendreraient en effet un « basculement » du massif qui se répercuterait inévitablement sur l'implantation de la structure elle-même, avec un effet d'autant plus grand que sa hauteur serait importante.

15 Afin de résoudre ce problème, on peut réaliser le massif en béton armé en deux phases :

- une première phase, limitée à la partie basse du massif (semelle) est exécutée avant mise en œuvre des tirants ;

20 - lorsque ceux-ci ont été mis en tension et que les éventuels tassements se sont produits, on peut réaliser la seconde partie du massif (colonne) dans laquelle sont généralement inclus les dispositifs d'accrochage de la structure, en corrigeant les éventuels défauts d'implantation consécutifs à la déformation de la semelle.

5. Avantages de l'invention et application industrielle

25 Ainsi, l'invention présentée, applicable à toutes les structures monopodes ou multipodes, telles que des pylônes ou des éoliennes, comporte de nombreux avantages :

- elle est économique, puisque les quantités de béton et de terrassement mises en jeu sont de 3 à 4 fois inférieures à celles d'une solution par massif « poids » ;

30 - elle est respectueuse de l'environnement : les fouilles étant réduites au minimum, l'impact des travaux sur le milieu environnant l'est tout autant ; en outre, la réduction des quantités permet de réduire les transports de matériaux, et donc les nuisances engendrées par le trafic routier généré par le chantier ;

- elle apporte des solutions techniques aux problèmes que peuvent poser les autres types de fondations, par massifs « poids » ou massifs fondés sur pieux ou micropieux :

35 . consolidation du sol et amélioration de ses caractéristiques mécaniques ;

- . suppression du risque de tassement différentiel sous la fondation lors de la mise en service de la structure ;
 - . reconnaissance complémentaire du sous-sol lors de la réalisation des forages ;
- 5
- . pas de phénomène de « fatigue » des ancrages ;
 - . contrôle périodique de la tension des tirants.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour réaliser la fondation de structures monopodes ou multipodes telles que des pylônes ou des éoliennes, caractérisé par ce que cette fondation est constituée d'un massif solidarisé au sol par des ancrages actifs.
- 5 2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé par ce que les ancrages actifs sont constitués de câbles à torons de type précontrainte ou de barres d'acier à haute limite élastique.

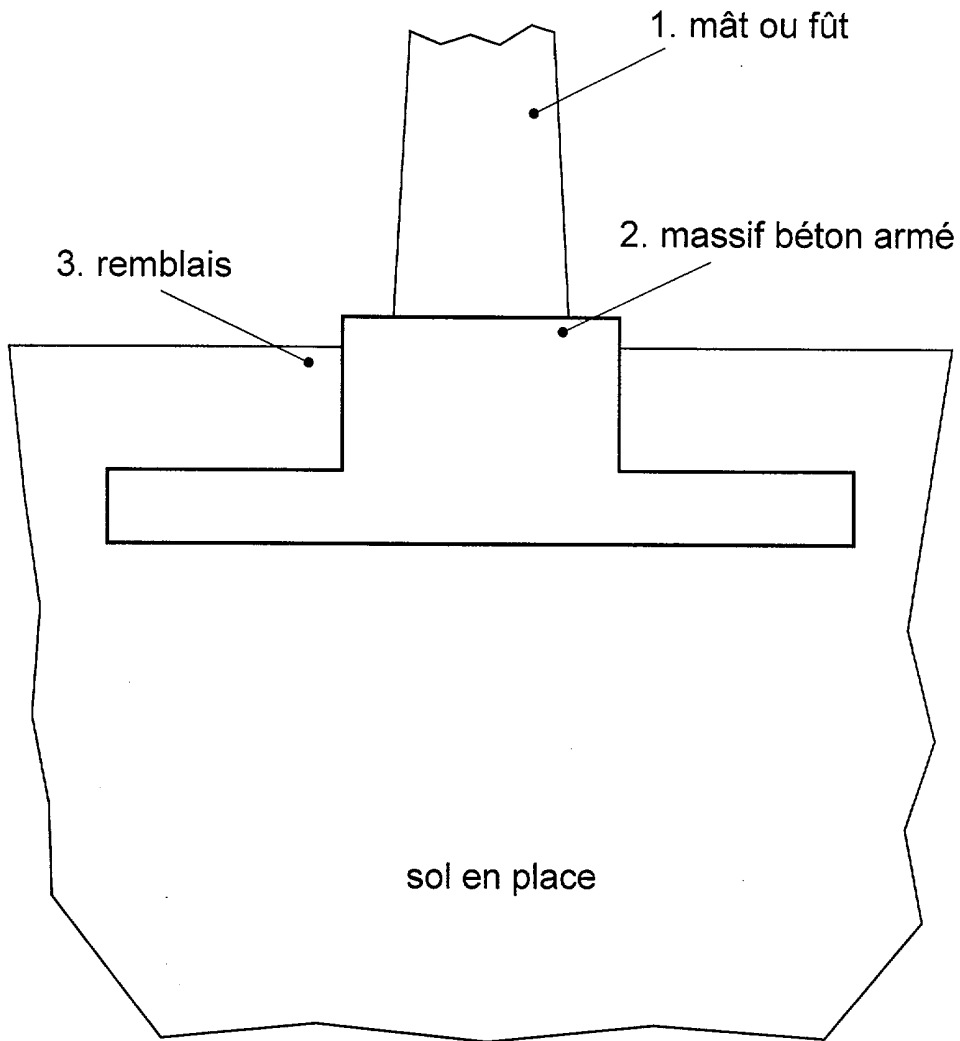


figure 1

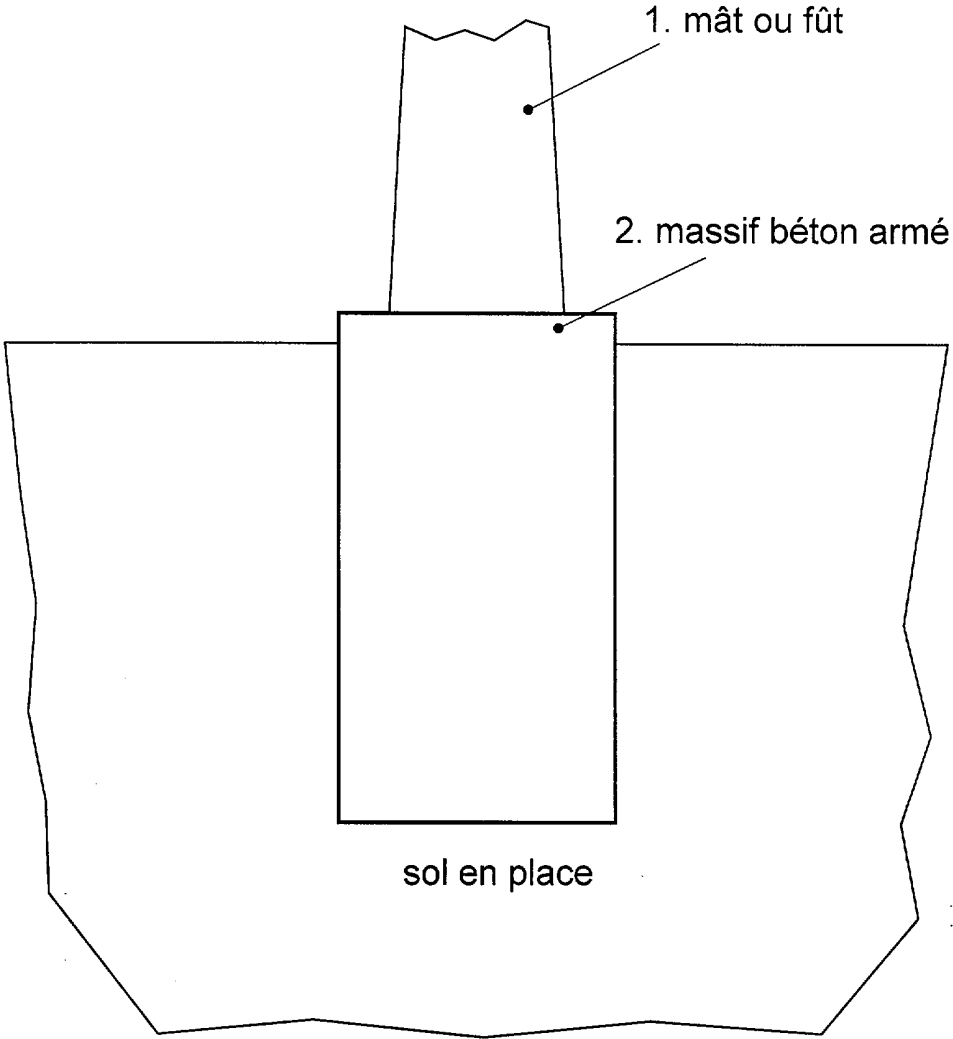


figure 2

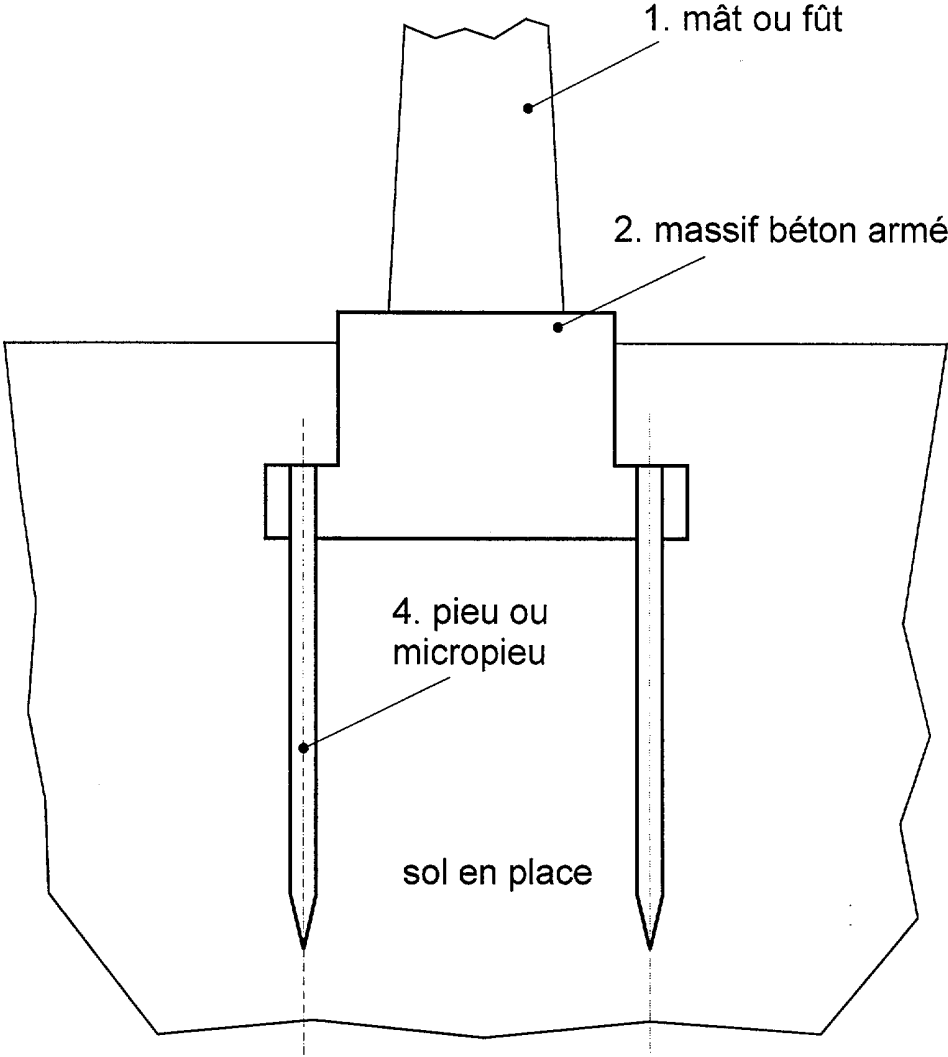


figure 3

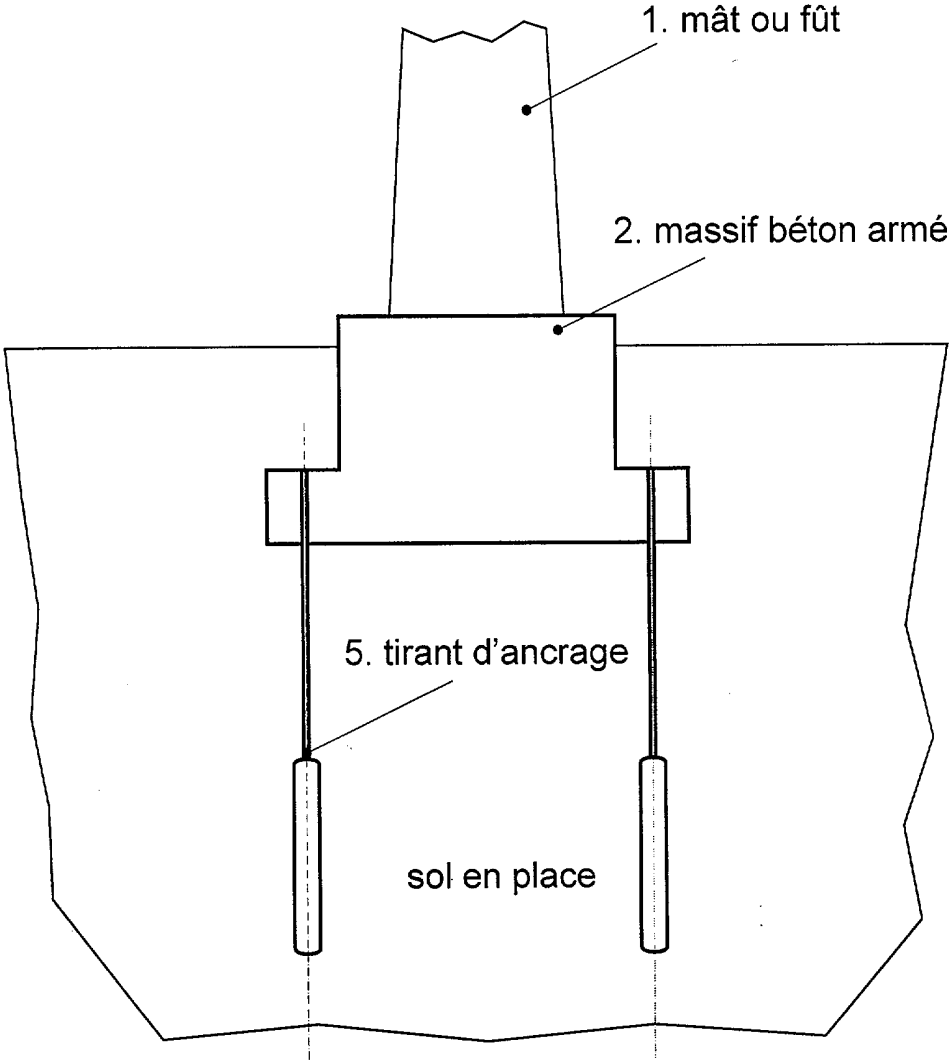


figure 4

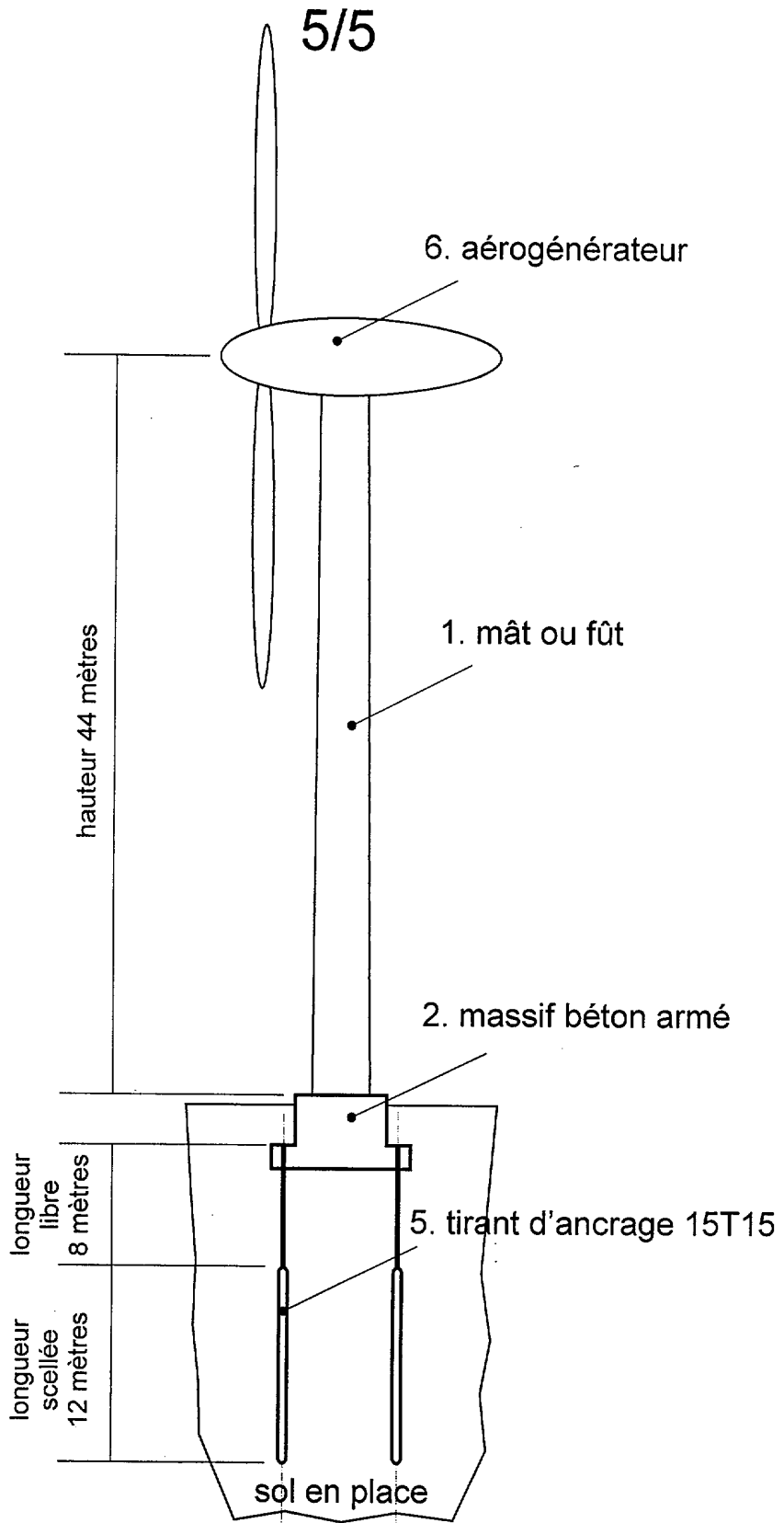


figure 5

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

FA 618867
FR 0203625

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	DE 199 01 510 A (STEPHAN LOTHAR) 3 août 2000 (2000-08-03) * revendication 1; figures 1,5 *	1,2	E02D27/50 E02D27/42
X	EP 1 074 663 A (CARL BRO AS ;NCC RASMUSSEN & SCHIOTZ ANLAEG (DK)) 7 février 2001 (2001-02-07) * alinéa '0023!; figures 1,2 *	1,2	
X	EP 0 652 326 A (RAMBAUD PASCAL) 10 mai 1995 (1995-05-10) * abrégé; figures 1,2 *	1,2	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			E02D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 novembre 2002		De Neef, K	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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</p>			

1

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0203625 FA 618867

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 21-11-2002
 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
DE 19901510	A	03-08-2000	DE 19901510 A1	03-08-2000
EP 1074663	A	07-02-2001	EP 1074663 A1	07-02-2001
			AU 6261500 A	05-03-2001
			WO 0111150 A1	15-02-2001
EP 0652326	A	10-05-1995	FR 2712334 A1	19-05-1995
			AT 148754 T	15-02-1997
			DE 69401696 D1	20-03-1997
			DE 69401696 T2	24-07-1997
			EP 0652326 A1	10-05-1995
			ES 2097621 T3	01-04-1997