



## (12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 28797 B1** (51) Cl. internationale : **E02D 27/50**

(43) Date de publication :  
**01.08.2007**

---

(21) N° Dépôt :  
**29675**

(22) Date de Dépôt :  
**09.02.2007**

(30) Données de Priorité :  
**12.08.2004 FR 0408837**

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :  
**PCT/FR2005/050671 11.08.2005**

(71) Demandeur(s) :  
**SOCIÉTÉ CENTRALE D'ÉTUDES ET DE RÉALISATIONS ROUTIÈRES  
SCETAURROUTE, 11, Avenue du Centre F-78280 GUYANCOURT (FR)**

(72) Inventeur(s) :  
**DEPARDON, François ; DENIOT, Michel ; MAZARE, Bruno**

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

---

(54) Titre : **DISPOSITIF ET PROCÉDE DE RENFORCEMENT D'UNE FONDATION DE  
PYLONE**

(57) Abrégé : DISPOSITIF DE RENFORCEMENT À L'ARRACHEMENT D'UNE FONDATION DE PYLÔNE, LADITE FONDATION ÉTANT RÉALISÉE PAR AU MOINS UN MASSIF (10) QUI EST ENFOUÏ DANS LE SOL ET QUI PRÉSENTE UN TRONÇON (12) DE PLUS GRANDE SECTION HORIZONTALE, CE DISPOSITIF COMPRENANT UNE DALLE (20) ENFOUÏE ET AU CONTACT DU SOL, ENTRE LEDIT TRONÇON (12) ET LA SURFACE (T) DU SOL, DÉBORDANT LA PROJECTION VERTICALE DE LA PÉRIPHÉRIE DUDIT TRONÇON (12). CETTE DALLE (20) PEUT ÊTRE RÉALISÉE À PARTIR D'UN MÉLANGE COMPRENANT DES MATÉRIAUX EXTRAITS DU SITE OU DES MATÉRIAUX D'APPORT EXTÉRIEUR (COMME DES GRAVES TRAITÉES) OU UN MÉLANGE DES DEUX, ET AU MOINS UN LIANT. AVANTAGEUSEMENT, LA PROPORTION TOTALE DE LIANT DANS LEDIT MÉLANGE EST COMPRISE ENTRE 3 ET 15% EN MASSE. UTILISATION POUR COMPENSER LE DÉFICIT DE RÉSISTANCE À L'ARRACHEMENT D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE DE PYLÔNE EXISTANTE.

## ABREGE

Dispositif de renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylône, ladite fondation étant réalisée par au moins un massif (10) qui est enfoui dans le sol et qui présente un tronçon (12) de plus grande section horizontale, ce dispositif comprenant une dalle (20) enfouie et au contact du sol, entre ledit tronçon (12) et la surface (T) du sol, débordant la projection verticale de la périphérie dudit tronçon (12). Cette dalle (20) peut être réalisée à partir d'un mélange comprenant des matériaux extraits du site ou des matériaux d'apport extérieur (comme des graves traitées) ou un mélange des deux, et au moins un liant. Avantageusement, la proportion totale de liant dans ledit mélange est comprise entre 3 et 15% en masse.

Utilisation pour compenser le déficit de résistance à l'arrachement d'une fondation superficielle de pylône existante.

Figure 3

## Dispositif et procédé de renforcement d'une fondation de pylône

La présente invention concerne un dispositif et un procédé de  
5 renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylône, destinés plus  
particulièrement au renforcement d'une fondation de pylône existante, dite  
"superficielle".

Par fondation superficielle on entend désigner une fondation peu profonde  
qui assure la stabilité du pylône en répartissant les charges sur une surface de  
10 terrain suffisamment grande. Par exemple, les pylônes de type treillis reposent  
généralement sur une fondation formée de quatre pieds, c'est-à-dire de quatre  
massifs individuels en béton enfouis, au moins partiellement, dans le sol pour  
équilibrer les moments de renversement transmis par le pylône selon les lois de  
15 bras de levier. L'évolution des réglementations en matière de stabilité des  
ouvrages conduit à réaliser des renforcements si des fondations de ce type  
sont trop faibles.

En général, le renforcement n'est nécessaire que pour la sollicitation à  
l'arrachement. Dans la plupart des cas la portance des fondations superficielles  
est suffisante pour évacuer la sollicitation à la compression.

20 On connaît déjà différents dispositifs et procédés de renforcement à  
l'arrachement de fondation de pylône. Ces procédés sont mis en œuvre sur des  
fondations existantes et visent à reprendre un déficit de résistance à  
l'arrachement d'au moins un massif de la fondation. On parle de déficit d'effort,  
noté ci-après  $Q_{al}$  et exprimé en newtons (N).

25 Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine du déficit  $Q_{al}$  parmi lesquels  
l'augmentation de l'effort d'arrachement auquel la fondation est soumise. Une  
telle augmentation peut être due:

- aux évolutions des conditions d'exploitation de la fondation (conditions  
climatiques, mécaniques, géométriques...);
- 30 - à l'affaiblissement des caractéristiques du sol autour des massifs de la  
fondation, du à un phénomène extérieur naturel ou artificiel (tempête, séisme,  
travaux...); et
- à la différence entre la géométrie réelle de la fondation et celle des  
plans de conception, suite à un défaut de fabrication de la fondation.

En fonction de la valeur du déficit d'effort à l'arrachement Qal à compenser, on a recours actuellement à deux procédés connus.

5 Le premier consiste à couler un bloc de béton autour de la membrure du pylône ou de la partie non enfouie du massif (si elle existe), de manière à augmenter le poids propre de la fondation par adjonction du poids dudit bloc de béton. Toutefois, comme il convient de limiter la taille du bloc de manière à limiter l'encombrement autour de la base du pylône, le poids de ce bloc est limité et ne permet de compenser que de faibles valeurs de déficit d'effort Qal, généralement inférieures à 20 kN.

10 Le second procédé de renforcement connu consiste à renforcer la fondation à l'aide de micropieux liés mécaniquement à la membrure des pylônes et enfoncés profondément dans le sol jusqu'à un substratum profond de bonne résistance mécanique, comme un substratum rocheux. Ce procédé est décrit dans le document FR 2 810 056. Les micropieux reprennent  
15 l'ensemble des charges appliquées aux pylônes (la fondation existante n'est donc plus vraiment sollicitée et n'est utile que pour son poids propre de béton, qu'elle apporte à l'ensemble). Les frottements latéraux créés entre chaque micropieu et le substratum profond permettent de compenser des déficits Qal élevés, supérieurs à 1000 kN. Cependant, la taille des micropieux, leur  
20 technicité et les moyens nécessaires à leur mise en place rendent ce second procédé très onéreux. En effet, dans la pratique, les pylônes ne sont généralement pas implantés à proximité des voies carrossables et il est souvent nécessaire d'utiliser du matériel lourd en terrain agricole ou escarpé. .

L'invention a pour but de proposer un procédé de renforcement à  
25 l'arrachement d'une fondation de pylône, qui soit économique, facile à mettre en œuvre, qui nécessite des moyens d'exécution de faible encombrement et qui soit susceptible de compenser des déficits d'effort à l'arrachement Qal "intermédiaires", c'est à dire de l'ordre de la centaine de kN et restant, de préférence, inférieurs à 1 000 kN.

30 Pour atteindre ce but, l'invention a pour objet un procédé de renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylône, ladite fondation comportant au moins un massif qui est enfoui dans le sol du site de la fondation et qui présente un tronçon de plus grande superficie dans un plan horizontal, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- on creuse une fouille, autour dudit massif, au moins au dessus dudit tronçon ;

- on réalise une dalle dans la fouille, de sorte que cette dalle soit enfouie dans le sol et disposée autour dudit massif entre ledit tronçon et la surface du sol, et qu'elle déborde la projection verticale de la périphérie dudit tronçon ; et

- on recouvre ladite dalle.

En recouvrant ladite dalle, on rend celle-ci invisible et on permet, selon les cas, l'exploitation agricole du site de la fondation.

Par dalle, on entend désigner dans le présent mémoire une masse de matériaux compacte et solide, de forme et d'épaisseur variables. Avantageusement, pour réaliser ladite dalle, on prépare un mélange façonnable comprenant des matériaux extraits du sol du site ou des matériaux d'apport extérieur ou un mélange des deux, et au moins un liant, et on dépose ce mélange dans la fouille, ladite dalle résultant de la prise dudit mélange. Avantageusement, le mélange est suffisamment maniable pour pouvoir être coulé dans fouille. La nature des matériaux et les proportions de liant pouvant être utilisés pour réaliser cette dalle sont fonction du déficit d'effort  $Q_{al}$  à compenser.

Avantageusement, on cherche à réaliser une dalle présentant une masse volumique et/ou une contrainte de cisaillement à la rupture supérieure à celle du sol (ou terrain) du site de la fondation.

Le procédé de l'invention permet de compenser le déficit d'effort  $Q_{al}$  en augmentant le poids de la matière sollicitée lors de l'arrachement : d'une part, grâce au poids propre de la dalle et, d'autre part, de manière complémentaire, grâce au poids d'une masse de sol environnant, en particulier le sol surmontant la dalle, susceptible d'être entraînée avec ladite dalle lors de l'arrachement. Ceci est rendu possible par le fait que la dalle s'étende horizontalement au-delà de la périphérie dudit tronçon, de sorte qu'elle entraîne avec elle lors de l'arrachement une masse de sol, ci-après dénommée masse supplémentaire, qui n'aurait pas été entraînée en l'absence de dalle.

Le déficit d'effort  $Q_{al}$  est également compensé par l'augmentation des frottements latéraux entre la dalle de renforcement et le sol resté en place.

Avantageusement, pour que les frottements latéraux jouent un rôle suffisamment important dans le renforcement à l'arrachement, la dalle est en contact direct avec le sol du site et il convient de s'assurer de la bonne

adhérence latérale entre la dalle et le sol resté en place. Bien entendu, l'importance de ces frottements latéraux est directement liée aux caractéristiques mécaniques intrinsèques du sol en place. Avantageusement, pour faciliter l'adhérence latérale, on compacte ou on vibre ladite dalle qui, sous l'effet du compactage ou de la vibration, a tendance à s'étendre latéralement. Les bords latéraux de la dalle exercent alors une pression contre le sol environnant, ce qui renforce l'adhérence latérale et donc l'amplitude des frottements latéraux lors de l'arrachement. De la même manière, avantageusement, on compacte les matériaux utilisés pour recouvrir la dalle, pour s'assurer de la bonne adhérence latérale entre ces matériaux et le sol resté en place.

Par ailleurs, il convient également d'éviter que les surfaces des bords latéraux de la dalle et les surfaces latérales du sol environnant qui leur font face, soient trop lisses. Compte tenu des matériaux utilisés et des engins employés pour le creusement de la fouille, ces surfaces présentent généralement une rugosité suffisante.

Le procédé de l'invention permet, en outre, de réaliser la dalle directement sur le site de la fondation et de s'affranchir du transport d'une telle dalle. De plus, le chantier pour la mise en œuvre du procédé de l'invention reste de taille raisonnable car la fouille réalisée est peu profonde (la profondeur de cette fouille est au maximum égale à la profondeur du dessus du tronçon de plus grande section horizontale) et de largeur limitée (généralement la dalle ne déborde pas de la projection verticale dudit tronçon de plus de deux mètres). En outre, ce procédé ne nécessite pas l'utilisation de matériel particulier ou encombrant. Enfin, il est possible de ne renforcer qu'un massif de la fondation à la fois et ne pas renforcer la totalité de ces massifs.

De préférence, la dalle est en contact direct avec le massif et entoure ce dernier. Toutefois, une dalle qui entourerait le massif sans être directement à son contact comme, par exemple, une dalle en forme de couronne, pourrait être envisagée, du moment qu'elle déborde de la projection verticale de la périphérie dudit tronçon, et qu'elle soit susceptible d'entraîner avec elle une masse de sol supplémentaire.

D'autre part, on notera qu'il n'est pas nécessaire pour obtenir le renforcement souhaité que la dalle soit mécaniquement liée au massif et, avantageusement, pour faciliter la mise en œuvre du procédé, la dalle n'est pas

mécaniquement liée au massif. Bien entendu, lorsque la dalle résulte de la prise d'un mélange versé autour du massif, la dalle peut adhérer au massif. Cette adhérence n'est toutefois pas considérée comme une liaison mécanique au sens de l'invention car la résistance de cette liaison par adhésion est très faible par rapport au déficit d'effort  $Q_{al}$  que l'on cherche à compenser. Par liaison mécanique on entend plutôt désigner des systèmes de fixation par ancrage, serrage etc.

Afin que le mélange utilisé pour réaliser la dalle soit économique, on utilise si la nature du sol du site le permet, au moins une partie des matériaux extraits du sol du site et, avantageusement, uniquement les matériaux extraits lors du creusement de la fouille. De manière générale, on cherche à utiliser au moins une partie des matériaux extraits du sol du site lors du creusement de la fouille, pour réaliser ledit mélange et/ou recouvrir ladite dalle. On économise ainsi l'achat de matériaux d'apport extérieur, le transport de ces derniers et l'évacuation des matériaux extraits.

Si la nature du sol du site ne permet pas de mélanger ce sol à un liant pour obtenir une dalle suffisamment homogène et compacte (soit en raison de la granulométrie trop faible ou trop élevée des matériaux du sol soit en raison de la nature minéralogique de ce sol), on emploie des matériaux d'apport extérieur, c'est-à-dire des matériaux rapportés sur le site.

Comme matériaux rapportés, on peut utiliser des bétons prêts à l'emploi. On peut également utiliser des matériaux moins onéreux, comme des graves, c'est-à-dire un mélange naturel ou non de cailloux ou de graviers, dont la granularité est comprise entre 0 et 80mm et, de préférence, entre 0 et 40mm.

Pour que le mélange utilisé pour réaliser la dalle soit encore plus économique, il contient une faible proportion totale de liant, inférieure à 15% en masse du mélange. On constate en effet que cette proportion est suffisante pour agréger entre elles les particules des matériaux utilisés, et obtenir ainsi la dalle souhaitée. Pour que le ou les liant puissent cependant correctement jouer leur rôle, il convient de choisir une proportion totale de liant supérieure à 3%.

Les liants utilisés sont par exemple des liants hydrauliques, hydrocarbonés ou synthétiques. Comme exemples de liant hydraulique on peut citer les ciments, les laitiers, ou la chaux. Dans le cas du ciment, la proportion de ce dernier dans le mélange est avantageusement comprise entre 3 et 13% et, de préférence, entre 6 et 10% en masse (par exemple 8%). On notera que tous

les pourcentages en masse donnés dans la présente demande sont donnés pour un mélange sec (i.e. sans adjonction d'eau), à moins qu'il n'en soit précisé autrement.

5 En outre, on constate que le temps de malaxage nécessaire à la réalisation du mélange est relativement court. Il en résulte un gain de temps et d'énergie.

10 Avantageusement, lorsqu'on utilise les matériaux extraits du site pour réaliser la dalle et que ces matériaux contiennent une forte proportion d'argiles, on utilise de la chaux pour neutraliser les argiles. La proportion de chaux dans le mélange est alors comprise entre 1 et 4% en masse.

15 Lorsque la dalle est réalisée à partir de matériaux d'apport extérieur et qu'elle présente une résistance mécanique et une masse volumique suffisamment élevées par rapport au sol environnant, on peut chercher à réduire le volume de la dalle et, par là même, le volume de matériaux extraits du sol du site. Ceci permet, en outre, d'utiliser une partie importante, voire la totalité, de ces matériaux extraits pour recouvrir la dalle sans que le niveau du sol au dessus de cette dalle ne soit trop surélevé (un niveau trop surélevé constituant une gêne pour l'accès au pylône, l'installation de matériel autour du pylône lors d'éventuelles réparations ou encore une gêne pour l'éventuel exploitant agricole du terrain sur lequel est implanté le pylône) et ainsi de limiter (voire de supprimer) les coûts liés à l'évacuation de ces matériaux.

20 La couche de terrain superficielle qui recouvre ainsi la dalle participe au renforcement de la fondation. En particulier, la masse du terrain recouvrant la partie de dalle qui s'étend au-delà de la projection verticale de périphérie dudit tronçon, constitue une masse de matériaux supplémentaire (par rapport à la masse de terrain qui serait arrachée sans la dalle), sollicitée lors de l'arrachement de la fondation.

30 D'autre part, cette couche de terrain superficielle peut être cultivée par le propriétaire du champ sur lequel est implantée la fondation. Les pylônes étant généralement installés dans des terres cultivées ou cultivables, ce dernier avantage n'est pas négligeable. Avantageusement, de manière à laisser une couche de terrain suffisamment épaisse pour être cultivable et suffisamment lourde pour participer au renforcement de la fondation la dalle est enfouie à une profondeur comprise entre 0,5 et 2 mètres par rapport à la surface du sol environnant.

35



L'invention a également pour objet un dispositif de renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylônes, caractérisé en ce qu'il comprend une dalle enfouie dans le sol et disposée autour du massif, entre le tronçon de plus grande section horizontale du massif et la surface du sol, cette dalle débordant la projection verticale de la périphérie dudit tronçon.

Avantageusement, ladite dalle est réalisée à partir d'un mélange comprenant des matériaux extraits du sol du site ou des matériaux d'apport extérieur ou un mélange des deux, et au moins un liant et cette dalle résulte de la prise dudit mélange et est en contact direct avec le sol du site.

Les caractéristiques et avantages du procédé et du dispositif de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description détaillée qui suit de différents modes de réalisation de l'invention représentés à titre d'exemples non limitatifs.

Cette description se réfère aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 représente un exemple d'un massif de fondation de pylône en élévation;

- la figure 2 représente schématiquement, en vue de dessus, un exemple de fondation de pylône tétrapode avec ses quatre massifs;

- la figure 3 représente un premier mode de réalisation du dispositif de l'invention, selon le plan de coupe III-III de la figure 2;

- la figure 4 représente un deuxième mode de réalisation du dispositif de l'invention ;

- la figure 5 représente un troisième mode de réalisation du dispositif de l'invention ;

- la figure 6 représente un quatrième mode de réalisation du dispositif de l'invention ;

- la figure 7 représente un cinquième mode de réalisation du dispositif de l'invention.

La figure 2 représente une fondation de pylône, par exemple de pylône électrique type treillis, comprenant quatre massifs 10, du type de celui représenté figure 1, disposés en carré autour du pylône (non représenté). Le pylône est solidaire de cette fondation et chaque massif joue le rôle d'embase dans laquelle la membrure du pylône est ancrée. Comme on peut le voir sur la figure 1, les massifs présentent généralement plusieurs épaulements, ou gradins, et s'élargissent vers le bas, de sorte que le tronçon inférieur du massif,

également appelé semelle 12, est le tronçon de plus grande section dans le plan horizontal. Dans l'exemple représenté, la semelle 12 est de forme tronconique et s'élargit vers le bas. On notera que pour d'autres types de massif, non décrits ici, le tronçon de plus grande section horizontale est un tronçon intermédiaire, différent du tronçon inférieur du massif.

Dans le cas particulier où le massif considéré ne présente pas de semelle, par exemple dans le cas d'un massif tronconique s'élargissant vers le bas, le tronçon de plus grande section horizontale correspond à la partie d'extrémité inférieure du massif. Enfin, pour des massifs rectangulaires ou cylindriques (c'est-à-dire de section constante) le tronçon de plus grande section horizontale est défini comme étant la partie d'extrémité inférieure du massif.

La figure 3 représente une coupe verticale selon le plan III-III (i.e. perpendiculaire à la surface T du sol, elle-même considérée comme horizontale), perpendiculaire au plan de symétrie S du massif et qui passe par le centre de la semelle 12 d'un massif 10.

En référence à cette figure, nous allons décrire un premier mode de réalisation du dispositif de renforcement de l'invention. Ce dispositif comprend une dalle 20 disposée au dessus de la semelle 12 d'un massif 10 analogue à celui précédemment décrit. La périphérie du tronçon du massif 10 de plus grande section horizontale soit, dans l'exemple, la périphérie de la semelle 12, est repérée en coupe par les points B et B' (symétriques par rapport au plan S). Les projections verticales du point B (B') sur les faces inférieure et supérieure de la dalle sont respectivement repérées par les points C et E (C' et E').

La dalle 20 présente une forme cylindrique, mais elle pourrait être tronconique ou présenter sur ses bords latéraux au moins un épaulement de manière à renforcer les frottements entre ses bords latéraux et le sol qui les entoure. La périphérie extérieure de cette dalle coupe le plan de coupe de la figure 3 aux points D et D' pour sa face supérieure et aux points A et A' pour sa face inférieure. La dalle 20 débordant la projection verticale de la périphérie de la semelle 12, les points A, A', D et D' sont situés à l'extérieur des points C, C', E et E' par rapport au plan S. Comme la dalle 20 est enfouie dans le sol elle est recouverte par une couche de terrain, dite superficielle. Ainsi la face supérieure de cette dalle 20 (et les points D, E, E' et D') est en dessous de la

surface T du sol. On note G, F, F', et G' les points situés au niveau de la surface T du sol, à la verticale des points D, E, E' et D'.

Dans l'exemple, la dalle 20 ne repose pas sur le deuxième épaulement 13 du massif 10 car le sol situé entre la dalle 20 et l'épaulement 13 est suffisamment dense pour ne pas se tasser lors de l'arrachement du massif, de sorte que la dalle 20 est immédiatement sollicitée lors du soulèvement du massif. Cependant, dans le cas où la densité du sol compris entre la dalle 20 et l'épaulement du massif 10, situé juste en dessous de cette dalle, est trop faible, on fait reposer la dalle 20 sur cet épaulement.

Selon le premier mode de réalisation représenté sur la figure 3, la dalle 20 est réalisée à partir d'un mélange comprenant des matériaux extraits du site (soit lors du creusement de la fouille, soit avant si d'autres opérations de terrassement ont été réalisées sur ce même site) et un mélange de deux liants : de la chaux et du ciment. Le traitement de ces matériaux avec ces liants permet d'obtenir un bloc solide et compact formant la dalle 20.

D'une part, la dalle 20 ainsi obtenue présente une masse volumique supérieure à celle du sol environnant et donc le poids propre de la dalle permet d'augmenter le poids de matière situé au dessus de la semelle 12 et d'améliorer la résistance à l'arrachement de la fondation. D'autre part, la dalle 20 présente une contrainte de cisaillement à la rupture supérieure à celle du sol environnant de sorte que, en situation d'arrachement, le cisaillement vertical engendré s'exerce entre la dalle 20 et le sol environnant, c'est-à-dire au niveau de la surface latérale de la dalle correspondant sur la figure 3 aux lignes AD et A'D'. Pour simplifier la lecture du présent mémoire, ce type de surface sera noté ci-après surface AA'D'D.

Comme la dalle 20 déborde de la périphérie de la semelle 12 en projection verticale, c'est l'ensemble des matériaux situés au dessus de la dalle, compris à l'intérieur du cylindre GDD'G', et des matériaux compris à l'intérieur du tronc de cône ABB'A' qui sont mobilisés, et pas seulement les matériaux situés à la verticale de la semelle 12, délimités par le cylindre FBB'F', comme cela serait le cas en l'absence de dalle. Ainsi, par rapport à un pylône dépourvu de dalle 20, on mobilise une masse de sol supplémentaire dont le poids s'oppose à l'arrachement, cette masse étant située au dessus de la dalle 20 et à l'extérieur de la périphérie de la semelle en projection verticale. Sur la figure, cette masse de sol supplémentaire est un anneau de matière compris entre les surfaces

FEE'F' et GDD'G'. De même, on mobilise une masse de sol supplémentaire comprise entre les surface ABB'A' et CBB'C'. La masse supplémentaire de matériaux sollicitée est donc fonction de la distance DE (ou CA) de débordement de la dalle 20 par rapport à la semelle 12 et de la profondeur DG (ou FE) à laquelle se trouve cette dalle.

Les explications qui précèdent illustrent de manière simplifiée le principe général à la base du dispositif de l'invention. Ce principe général se résume à l'augmentation de la masse de matière susceptible d'être mobilisée lors d'un arrachement, d'une part en jouant sur la masse propre de la dalle réalisée et, d'autre part, en mobilisant une masse de sol, dite supplémentaire, qui n'aurait pas été mobilisée en l'absence de cette dalle.

Pour être complet, il faudrait également prendre en compte les forces de frottements intervenant lors de l'arrachement comme les forces de frottement latéral qui interviennent entre la dalle et le sol environnant. Il convient de noter que ces frottements jouent un rôle additionnel dans le renforcement de la fondation. Le déficit d'effort  $Q_{al}$  est donc principalement compensé par le poids de la masse supplémentaire sollicitée et par les forces de frottement latéral.

La figure 4 représente un autre mode de réalisation du dispositif de l'invention, analogue à celui de la figure 3, mais qui diffère par la nature du matériau constitutif de la dalle 20. Cette fois, la dalle 20 est réalisée à partir de graves traitées, c'est-à-dire un mélange de graves et de liant, et, de préférence, à partir de graves traitées aux liants hydrauliques. Une définition de ce dernier type de graves traitées, accompagnée d'exemples, est donnée dans la norme française NF P 98-116 datant de février 2000. Le mélange graves/liant se fait le plus souvent hors du chantier, dans une centrale de malaxage, mais parfois directement sur le site, au moyen d'un malaxeur mobile de chantier, par exemple un pulvimixer ou un godet-cribleur. Les graves traitées sont des matériaux relativement bon marché, qui présentent une masse volumique élevée et de bonnes propriétés mécaniques, en particulier une bonne résistance au cisaillement. Ainsi, l'épaisseur de la dalle peut être assez limitée et, comme dans l'exemple représenté, les matériaux extraits lors du creusement de la fouille peuvent alors être évacués ou utilisés pour recouvrir la dalle, sans que le monticule 26 formé à la verticale du massif soit gênant de par sa hauteur qui reste relativement faible (de préférence inférieure à 50 cm).

Selon un autre mode de réalisation du dispositif de l'invention, non représenté, pour limiter l'épaisseur de la dalle et/ou renforcer les propriétés mécaniques de cette dernière, en particulier sa résistance au cisaillement, on peut insérer une structure de renfort dans le volume de la dalle, comme une grille métallique ou plastifiée, une toile, une géogridde, des nappes de géosynthétique, ou encore une véritable armature métallique autour de laquelle on met en œuvre le mélange façonnable.

On peut également envisager d'insérer dans la dalle des capteurs, logés par exemple dans un géosynthétique, pour mesurer une contrainte, un mouvement, une déformation... ces capteurs permettant de surveiller à distance le comportement de la fondation dans un lieu sensible.

Les figures 5, 6 et 7 représentent trois autres modes de réalisation du dispositif de renforcement de l'invention dans lesquels la dalle 20 est une dalle de grave traitée. Toutefois cette dalle pourrait être de composition analogue à celle de la dalle de la figure 3 ou même résulter d'un mélange de matériaux extraits du site, de graves et d'au moins un liant. La dalle 20 est ancrée dans le sol à l'aide de clous 28, qui la traversent dans le sens de l'épaisseur. Ces clous traversent le bord extérieur de la dalle 20, de préférence la partie de la dalle qui déborde de la projection verticale de la périphérie de la semelle 12 du massif 10, et sont orientés verticalement comme représenté sur la figure 5 ou sont inclinés comme représenté sur la figure 7. La longueur de ces clous 28 peut varier et, comme représenté figure 6, les clous 28 peuvent se prolonger en dessous du massif 10.

Il convient néanmoins de noter que pour limiter le coût du dispositif, la longueur des clous 28 est limitée. En particulier, contrairement aux micropieux connus, précédemment évoqués, les clous 28 de l'invention n'ont pas besoin de se prolonger jusqu'à un substratum profond. Par ailleurs, ils n'ont pas à être liés mécaniquement à la membrure du pylône.

Le rôle des clous 28 est double : d'abord, ils jouent un rôle d'ancrage de la dalle 20, ancrage d'autant plus marqué que les clous sont longs, ensuite, ils permettent de mobiliser par frottement le volume de terre qui les entoure (effet racine), ce qui permet là encore de mobiliser une masse de sol supplémentaire pour s'opposer à l'arrachement du massif 10.

Ces clous 28 peuvent être réalisés au moyen de barres ou de tubes métalliques à l'intérieur desquels on injecte éventuellement un coulis de ciment.

5 En ce qui concerne les dimensions des dispositifs de renforcement précédemment décrits, elles dépendent bien évidemment des dimensions des massifs de la fondation à renforcer, du déficit d'effort à l'arrachement Qal à compenser, et des caractéristiques du sol dans lequel ces dispositifs sont implantés.

10 A titre indicatif, on peut considérer que les semelles 12 des massifs 10 de pylônes type treillis présentent généralement une largeur et une longueur comprises entre 2 et 4 mètres, tandis que leur profondeur est comprise entre 2,5 et 5 mètres. Dans le cas des massifs représentés figure 1 et 2, utilisés par exemple par la société française R.T.E. pour les fondations de pylône électrique, le diamètre extérieur du tronçon inférieur du massif est un carré de  
15 2,35 m de côté tandis que le tronçon supérieur cylindrique du massif présente un diamètre de 90 cm. La distance séparant la surface d'appui 12a de la semelle 12 et l'extrémité supérieure du tronçon 14 est égale à 3,45 m et le massif 10 n'est généralement pas entièrement enfoui et dépasse de la surface T du sol d'une distance de 30 cm. Dans ce cas, il convient généralement que la  
20 dalle 20 déborde de la périphérie extérieure de la semelle 12, en projection verticale, d'une distance comprise entre 0.5 m et 1.5 m, de préférence 1 m. Par ailleurs, lorsque la dalle 20 est enfouie, le dessus de la dalle est généralement situé, en profondeur, entre 0,5 m et 2 m de la surface T du sol, de préférence entre 0,5 et 1 m et, par exemple, à 0.8 m, de sorte que  
25 l'épaisseur de la couche de terrain cultivable soit suffisante. L'épaisseur de la dalle, quant à elle, est variable et dépend du matériau utilisé, de la présence d'une éventuelle structure de renfort, et des efforts d'arrachement à reprendre.

On notera que le dessus de la dalle peut être réalisé en pente pour faciliter l'écoulement des eaux.

30 La structure du dispositif de renforcement de l'invention étant bien comprise, nous allons maintenant décrire un exemple de procédé d'installation d'un dispositif comme celui représenté sur la figure 3. D'abord, la zone concernée, située à la verticale de chaque massif 10 de la fondation devant être renforcés, est débroussaillée. Puis, on réalise un terrassement autour du  
35 massif 10 de manière à obtenir une fouille d'une profondeur d'environ 1,80 m

avec un débord latéral de un mètre par rapport à la périphérie extérieure de la semelle 12 du massif 10. Les quatre-vingts premiers centimètres du sol de cette zone sont décapés, talutés et conservés sur le site pour être remis en place par la suite.

5 On malaxe alors une partie des matériaux extraits du sol avec 6 à 10%, de préférence 8%, de ciment et 1 à 4 % de chaux. Une fois le mélange obtenu, on dépose ce mélange à l'intérieur de la fouille par couches successives d'environ 30 cm que l'on humidifie et que l'on compacte, en positionnant éventuellement entre deux couches une structure de renfort  
10 comme, par exemple, une géogrid. Enfin, on recouvre la dalle ainsi formée en remettant en place les premiers centimètres de sol décapés.

Avantageusement, les premiers centimètres de sol décapés sont remis en place par couches successives, par exemple par couche de 20 cm d'épaisseur, que l'on compacte, le fait de procéder par couches successives permet  
15 d'obtenir un meilleur compactage. Ces étapes de compactage permettent de restaurer l'agencement initial (en particulier la densité) de la couche de sol située au dessus de la dalle et donc de renforcer la résistance à l'arrachement.

Ce procédé, simple et peu coûteux à mettre en œuvre, présente le mérite  
20 d'utiliser des engins couramment employés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, comme une mini pelle, un matériel de compactage léger et un malaxeur mobile de chantier.

## REVENDEICATIONS

- 5 1. Dispositif de renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylône, ladite fondation comportant au moins un massif (10) qui est enfoui dans le sol du site de la fondation et qui présente un tronçon (12) de plus grande section dans un plan horizontal, caractérisé en ce qu'il comprend une dalle (20) enfouie dans le sol et disposée autour dudit massif (10), entre ledit tronçon (12) et la surface (T) du sol, cette dalle débordant la projection verticale de la périphérie dudit tronçon (12).
- 10 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite dalle (20) n'est pas liée mécaniquement audit massif (10).
- 15 3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite dalle (20) est réalisée à partir d'un mélange comprenant des matériaux extraits du sol du site ou des matériaux d'apport extérieur ou un mélange des deux, et au moins un liant.
- 20 4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite dalle (20) résulte de la prise dudit mélange et est en contact direct avec le sol du site.
- 25 5. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que la proportion totale de liant dans ledit mélange est comprise entre 3 et 15% en masse.
- 30 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que lesdits matériaux d'apport extérieur sont des graves traitées aux liants hydrauliques.
- 35 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ladite dalle (20) présente une masse volumique supérieure à celle du sol du site de la fondation.



8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite dalle (20) présente une contrainte de cisaillement à la rupture supérieure à celle du sol du site de la fondation.

5 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite dalle (20) est enfouie dans le sol à une profondeur comprise entre 0,5 m et 2 m, par rapport à la surface (T) du sol.

10 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ladite dalle (20) est, en outre, ancrée dans le sol au moyen de clous (28) qui la traversent dans le sens de l'épaisseur.

15 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ladite dalle (20) présente, en outre, une structure de renfort.

20 12. Procédé de renforcement à l'arrachement d'une fondation de pylône, ladite fondation comportant au moins un massif (10) qui est enfoui dans le sol du site de la fondation et qui présente un tronçon (12) de plus grande section dans un plan horizontal, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- on creuse une fouille, autour dudit massif (10), au moins au dessus dudit tronçon ;

25 - on réalise une dalle dans la fouille, de sorte que cette dalle (20) soit enfouie dans le sol et disposée autour dudit massif (10), entre ledit tronçon (12) et la surface (T) du sol, et qu'elle déborde la projection verticale de la périphérie dudit tronçon (12) ; et

- on recouvre ladite dalle (20).

30 13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que, pour réaliser ladite dalle (20), on prépare un mélange façonnable comprenant des matériaux extraits du sol du site ou des matériaux d'apport extérieur ou un mélange des deux, et au moins un liant, et on dépose ce mélange dans ladite fouille, la dalle (20) résultant de la prise dudit mélange.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que la proportion totale de liant dans ledit mélange est comprise entre 3 et 15% en masse.

5 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, caractérisé en ce qu'on utilise au moins une partie des matériaux extraits du sol du site lors du creusement de la fouille, pour recouvrir ladite dalle (20).

10 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisé en ce qu'on dépose ledit mélange par couches successives en disposant au moins entre deux de ces couches une structure de renfort.

15 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 16, caractérisé en ce que le mélange utilisé pour réaliser ladite dalle et/ou les matériaux utilisés pour recouvrir cette dalle, sont mis en œuvre par compactage ou vibration.

20 18. Ensemble comprenant un pylône solidaire d'une fondation qui comporte au moins un massif (10) enfoui dans le sol du site de la fondation et qui présente un tronçon (12) de plus grande section dans un plan horizontal, et un dispositif de renforcement à l'arrachement selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

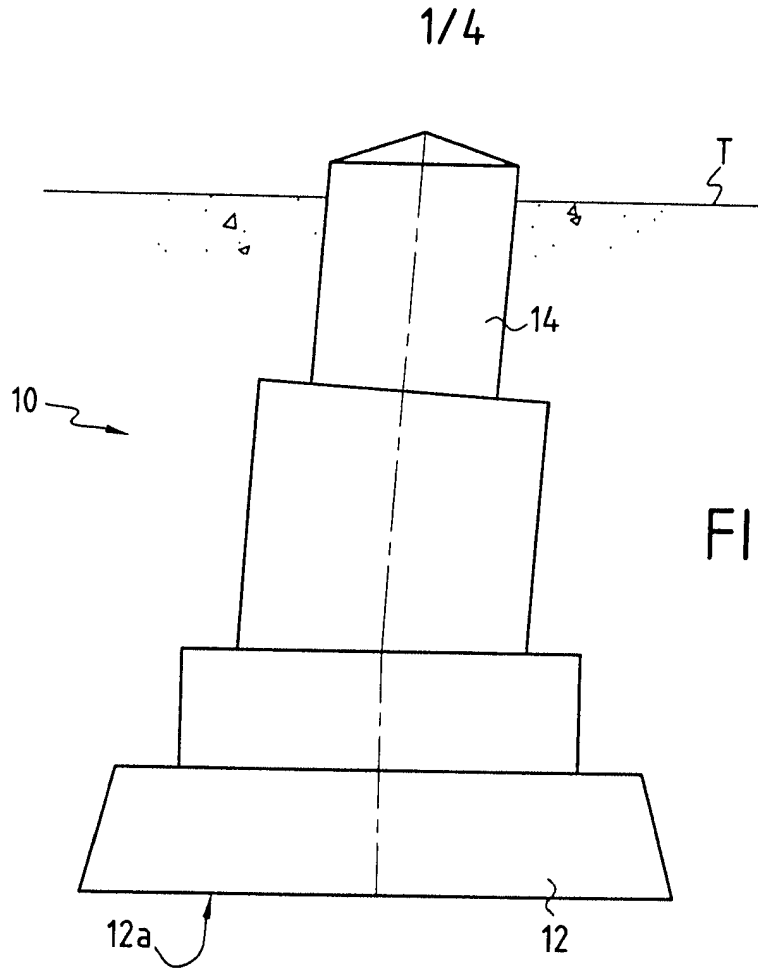


FIG. 1

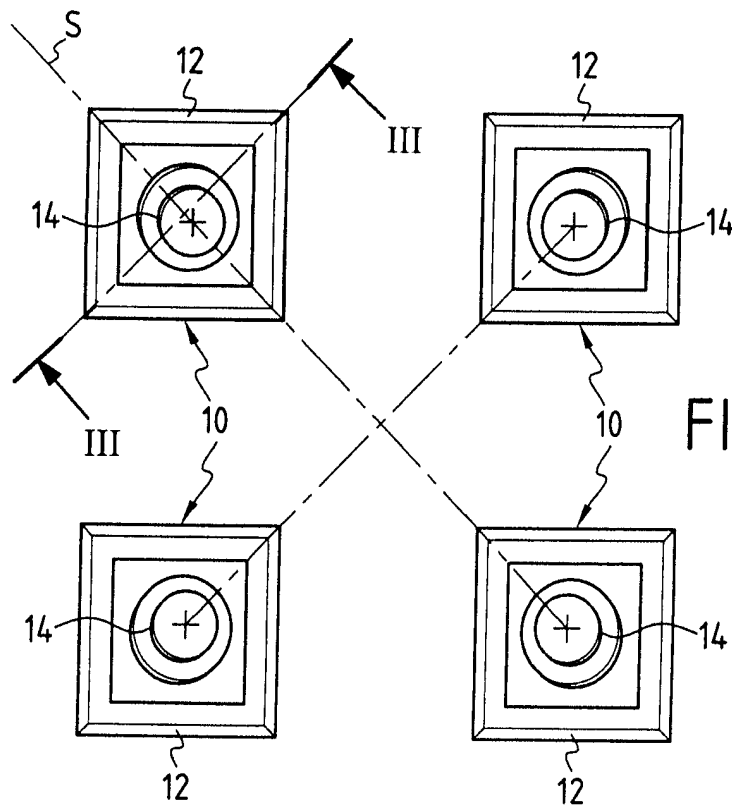


FIG. 2

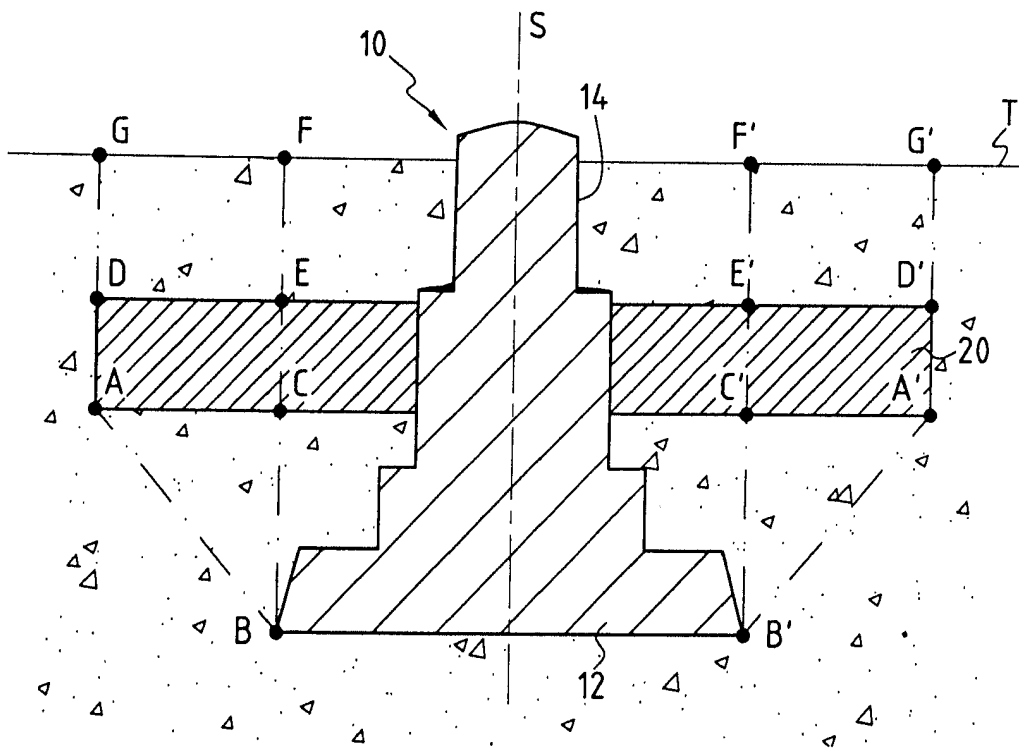


FIG.3

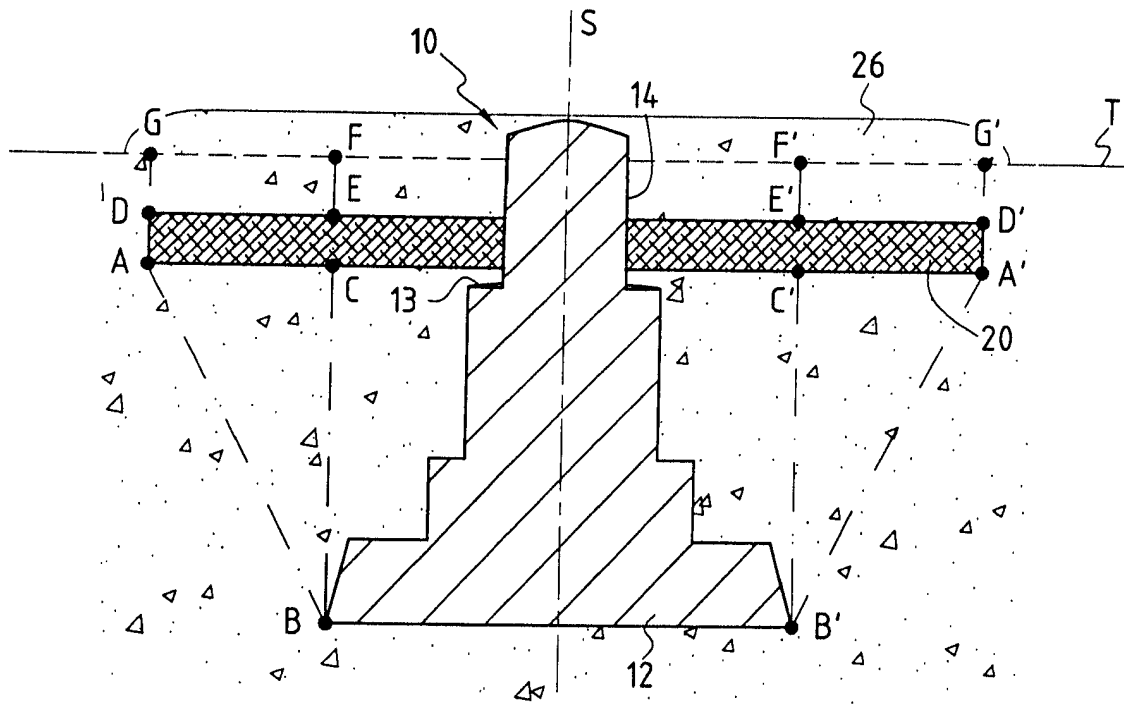


FIG. 4

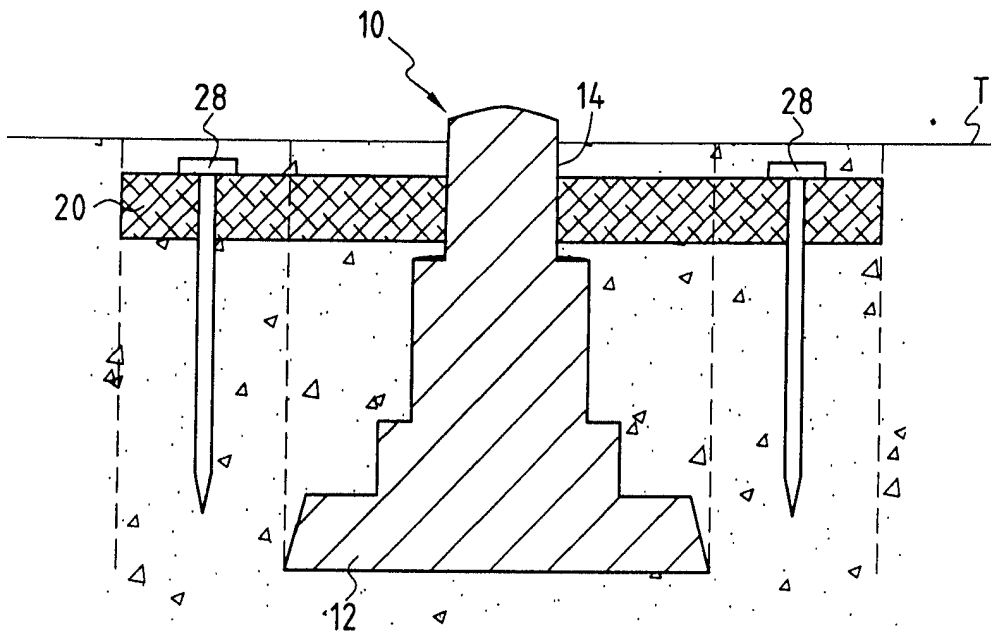


FIG. 5

4/4

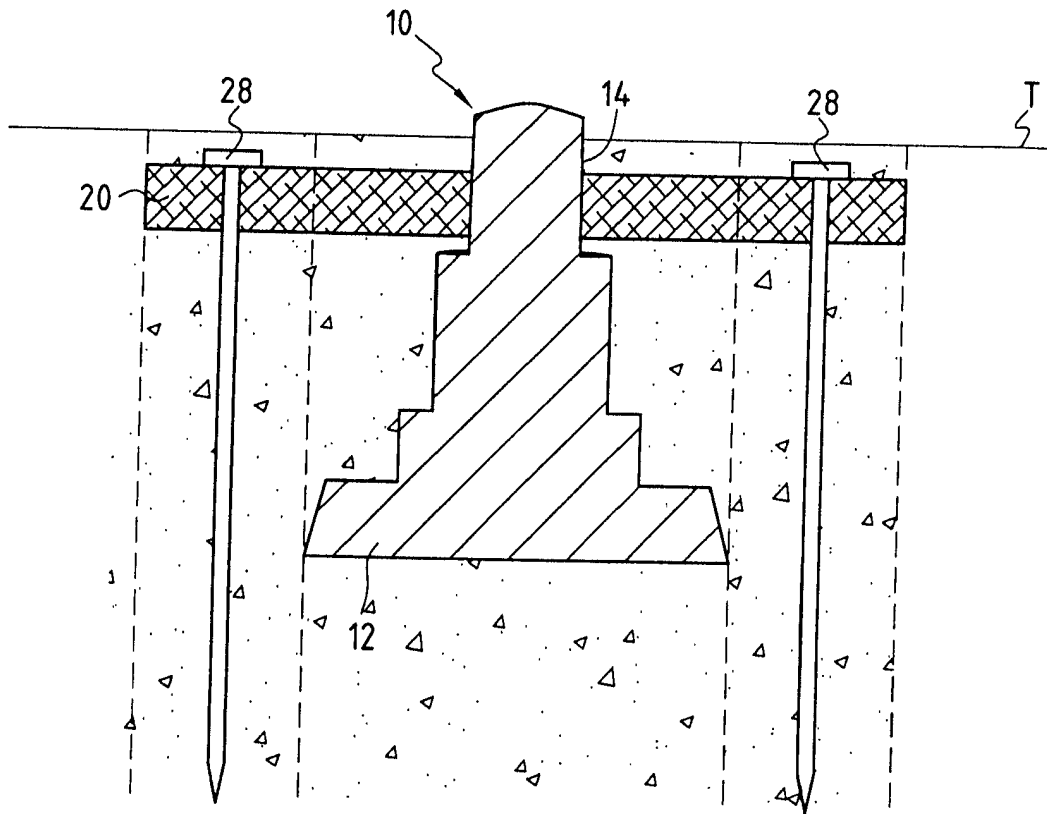


FIG. 6

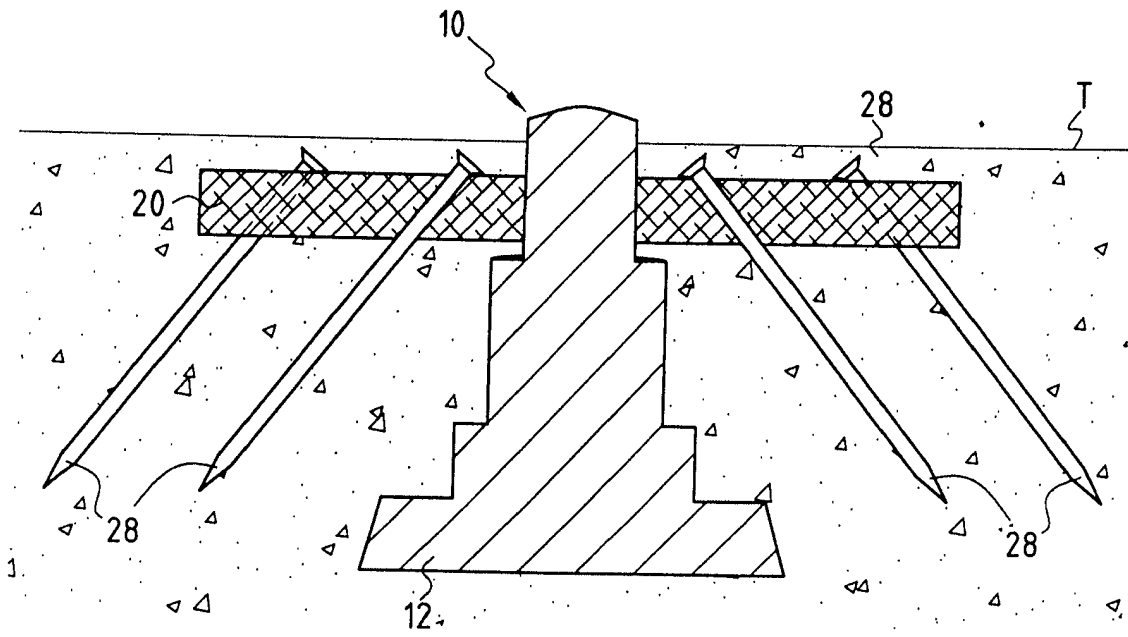


FIG. 7