

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 81 13372

⑤④ Procédé et dispositifs de protection cathodique contre la corrosion du cuvelage et des équipements d'un forage d'extraction d'eau d'une nappe aquifère.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). E 21 B 41/02; C 23 F 13/00; E 03 B 3/08, 3/15.

②② Date de dépôt 3 juillet 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 1 du 7-1-1983.

⑦① Déposant : Société anonyme dite : COMPAGNIE NATIONALE D'AMENAGEMENT DE LA
REGION DU BAS-RHONE ET DU LANGUEDOC, Société anonyme dite : GROUPEMENT
D'ETUDE ET DE REALISATION DES SOCIETES D'AMENAGEMENT REGIONAL-GERSAR,
COITE Christian et VERIT Michel, résidant en France.

⑦② Invention de : Christian Coite et Michel Verit.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,
14, rue Raphaël, 13008 Marseille.

Procédé et dispositifs de protection cathodique contre la corrosion du cuvelage et des équipements d'un forage d'extraction d'eau d'une nappe aquifère profonde.

La présente invention a pour objet un procédé et des dispositifs de protection cathodique contre la corrosion du cuvelage et des équipements d'un forage d'extraction d'eau d'une nappe aquifère profonde.

Les forages destinés à extraire de l'eau d'une nappe aquifère située à grande profondeur comportent un cuvelage le plus souvent en acier noir dont les faces externe et interne sont sujettes à la corrosion.

Il est impératif de protéger de la corrosion le cuvelage et les équipements situés à l'intérieur du forage. En effet, un forage et la mise en place du cuvelage représentent un investissement important qui doit durer un temps suffisamment long pour être amorti. De plus, les nappes profondes d'eau douce ou d'eau peu salée pouvant convenir à l'arrosage, sont généralement surmontées de terrains contenant des nappes aquifères plus salées, qui sont isolées du forage par le cuvelage. Si celui-ci venait à être détérioré par la corrosion, l'eau douce se mélangerait à l'eau plus salée et deviendrait impropre à la consommation ou à l'arrosage d'où perte du forage que l'on devrait obturer et risque de perte d'une réserve d'eau.

Enfin la corrosion du cuvelage entraîne la présence de fer dans l'eau, ce qui risque de donner à celle-ci un goût et une coloration la rendant impropre à la consommation.

On connaît le procédé dit de protection cathodique pour protéger contre la corrosion des canalisations ou d'autres structures métalliques enterrées. Ce procédé consiste à enfouir dans le sol des électrodes d'un métal plus électropositif que la structure à protéger, de sorte que ces électrodes font fonction d'anodes consommables vers lesquelles se dirigent les anions agressifs tandis qu'il y a dépôt de cations sur la structure métallique qui sert de cathode et qui se trouve ainsi protégée de la corrosion.

On utilise généralement comme anodes des masses d'un métal plus électropositif que le fer, par exemple des masses de zinc. On peut aussi utiliser des électrodes enfouies dans le sol et connectées à la borne positive d'une source de tension continue dont la borne négative est connectée à la structure à protéger.

L'objectif de la présente invention est d'adapter le procédé de protection cathodique au problème particulier de la protection de la face interne du cuvelage sur toute la hauteur immergée de celui-ci qui est élevée, de l'ordre d'un ou plusieurs milliers de
5 mètres, ainsi que la protection des équipements immergés dans l'eau contenue dans le forage.

La protection de la face externe du cuvelage ne présente pas de difficulté spéciale et elle est obtenue par les moyens habituels, en enfouissant dans le sol une ou plusieurs masses métalliques qui
10 sont maintenues à un potentiel suffisamment positif par rapport au cuvelage.

Par contre la protection de la face interne du cuvelage présente des difficultés particulières. Il faut répartir les anodes sur toute la hauteur du forage et il faut assurer au niveau de chaque
15 anode ou d'un groupe d'anodes une densité de courant suffisante pour assurer une bonne protection cathodique mais pas trop élevée pour éviter une consommation de puissance inutile. Il faut mettre au point des anodes qui résistent à la corrosion afin que le dispositif qui constitue un investissement important, soit durable.

Les anodes situées dans le forage se trouvent placées à une
20 distance variable du cuvelage qui est généralement télescopique et la résistance du circuit électrique reliant les anodes au cuvelage varie avec la résistivité du liquide contenu dans le forage. Il faut donc pouvoir ajuster avec précision le potentiel positif de chaque
25 anode ou de chaque groupe d'anodes en fonction des caractéristiques électriques du liquide et des terrains encaissants et de la distance entre anode et cuvelage.

Les objectifs selon l'invention sont atteints au moyen d'un procédé de protection de la face interne du cuvelage d'un forage
30 d'extraction d'eau d'une nappe aquifère profonde et des équipements immergés dans l'eau de ce forage, selon lequel on descend dans l'eau contenue dans le forage plusieurs chaînes d'anodes superposées, chaque chaîne comportant une série d'anodes superposées qui sont connectées sur un conducteur d'anode, lequel conducteur d'anode est relié à la
35 surface par un conducteur de liaison qui est connecté sur la borne positive d'une source de tension continue ajustable dont la borne négative est connectée audit cuvelage et on règle séparément la tension de chaque source pour obtenir au niveau de chaque chaîne

d'anodes une densité de courant déterminée.

Les anodes sont des tiges ou des rubans de niobium, de thorium, de tantale ou de cuivre, revêtus d'un placage en platine très mince.

- 5 Selon un mode de réalisation préférentiel, les anodes sont composées chacune d'un ruban de niobium, ayant une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres, qui est revêtu d'un placage en platine ayant une épaisseur de l'ordre de 15 microns et on préfabrique en usine des chaînes d'anodes en enroulant en hélice des tronçons
- 10 de ce ruban autour de la gaine isolante d'un câble conducteur, le placage de platine étant dirigé vers l'extérieur, et en connectant une extrémité de chaque tronçon sur ledit conducteur; on enroule ensuite les conducteurs portant les anodes sur des tourets qu'on transporte à la tête de forage; on descend dans le forage un câble porteur au-
- 15 quel on accroche les unes après les autres des chaînes d'anodes superposées dont l'extrémité supérieure est connectée sur un câble conducteur de liaison que l'on accroche au câble porteur; et on connecte l'extrémité supérieure de chaque conducteur de liaison à la borne positive d'une source de tension continue réglable.
- 20 Un dispositif de protection cathodique contre la corrosion de la face interne du cuvelage d'un forage pour extraire de l'eau d'une nappe aquifère et des équipements immergés dans l'eau du forage comporte plusieurs chaînes d'anodes superposées, immergées dans l'eau contenue dans le forage, chaque chaîne d'anodes comportant une pluralité d'anodes superposées, qui sont connectées en parallèle sur un
- 25 même conducteur d'anode dont l'extrémité supérieure est connectée sur un conducteur de liaison avec la surface et le dispositif comporte, en outre, une pluralité de sources de tension continues, dont les bornes négatives sont connectées audit cuvelage et aux équipements
- 30 et dont les bornes positives sont connectées respectivement sur les extrémités supérieures desdits conducteurs de liaison par l'intermédiaire de dispositifs potentiométriques permettant d'ajuster séparément le potentiel positif de chaque chaîne d'anodes.

- 35 L'invention a pour résultat la protection contre la corrosion d'un cuvelage en acier noir d'un forage d'extraction d'eau d'une nappe aquifère située à grande profondeur, de l'ordre de deux cents mètres ou plus, et la protection des équipements immergés dans l'eau du puits.

La disposition des anodes selon plusieurs chaînes d'anodes ayant chacune une alimentation en tension continue séparée et réglable, permet d'ajuster séparément le potentiel positif de chaque chaîne d'anodes pour tenir compte des chûtes de tension en ligne et des caractéristiques électriques propres à chaque tronçon vertical du puits et des terrains encaissants, afin d'obtenir une densité de courant optimum pour une bonne protection cathodique sans dépense d'énergie excessive et une différence de potentiel, entre anodes et cuvelage, légèrement supérieure au potentiel de polarisation et de corrosion.

Les anodes composées d'un ruban en niobium revêtues d'un placage très mince en platine, permettent de réaliser des chaînes d'anodes qui résistent bien à la corrosion et qui ont une très grande longévité. De plus, ces anodes souples enroulées en hélice autour du câble d'anode peuvent être fabriquées en usine et enroulées sur un touret qui est transporté sur les lieux du forage, ce qui facilite la mise en place du dispositif dans le forage.

La disposition des anodes superposées à faible distance, de l'ordre d'un à deux mètres, permet d'obtenir un système anodique qui protège uniformément toute la surface interne du cuvelage. Ce résultat nécessite la disposition d'un système anodique quasiment continu sur toute la hauteur du puits car le périmètre de protection ou portée utile de chaque anode est limité par le couplage électrolytique avec l'acier du cuvelage qui intéresse une surface de cuvelage relativement faible par suite du faible diamètre de celui-ci.

De plus, la résistance de contact entre l'anode et le liquide conduit à utiliser des anodes dont la surface ne doit pas être inférieure à un minimum et cet objectif est atteint grâce aux chaînes d'anodes individuelles qui sont connectées en parallèle sur un même conducteur portant une pluralité d'anodes superposées.

Un exemple numérique permet de préciser l'ordre de grandeur de l'énergie électrique dépensée. Un forage de 2000 m de profondeur immergée comporte tous les deux mètres une anode formée par un ruban de niobium revêtu de platine ayant une largeur de 5 mm et une longueur développée de 1 mètre, soit une surface de placage de $0,005 \text{ m}^2$. La densité de courant utilisée est de 100 à 150 mA/m². La tension continue est de l'ordre de 20 volts. La puissance électrique consommée est de 2 à 5 Kw, c'est-à-dire une puissance très faible.

Les dispositifs de protection cathodiques selon l'invention permettent de supprimer les risques de corrosion du cuvelage et d'assurer une grande longévité des forages de puisage d'eau dans une nappe profonde et une exploitation sans les risques très graves dus à une rupture de cuvelage.

La description suivante se réfère aux dessins annexés qui représentent, sans aucun caractère limitatif, des exemples de réalisation de dispositifs selon l'invention.

La figure 1 est une coupe verticale d'un forage servant à extraire de l'eau d'une nappe aquifère.

La figure 2 est une demi-coupe schématique du puits selon la figure 1.

La figure 3 est une coupe verticale d'un tronçon de dispositif et la figure 4 une coupe transversale de la figure 3.

La figure 5 est une coupe verticale d'un premier mode de réalisation d'une anode.

Les figures 6 et 7 sont une coupe verticale partielle et une coupe horizontale d'un deuxième mode de réalisation.

Les figures 8 et 9 sont une coupe verticale et transversale d'une anode utilisée dans un dispositif selon les figures 6 et 7.

La figure 1 représente un forage 1, d'axe z z_1 , destiné à extraire de l'eau d'une nappe aquifère 2 qui est située à grande profondeur, supérieure à 200 m et pouvant atteindre 1000 mètres ou plus.

Le forage traverse des couches de terrain qui comportent généralement des nappes d'eau plus ou moins salée, qui ne doit pas pénétrer dans le forage. Pour cette raison, celui-ci est équipé d'un cuvelage 3 (casing) qui est constitué par des tubes en acier noir, qui ont des diamètres décroissants. Le tronçon 3a du cuvelage, qui traverse la formation aquifère 2, est perforé (crépine).

La figure 1 représente un exemple de puits équipé d'un tubage de production 4 portant à l'extrémité inférieure une pompe immergée 5 équipée d'une crépine 6. En variante, la formation aquifère peut être artésienne.

La figure 1 représente un puits qui est rempli d'eau jusqu'au sommet. Dans le cas où l'eau ne monte que dans une partie du puits, on place les anodes dans la partie immergée seulement.

Le cuvelage est exposé à des risques de corrosion généralisée par attaque chimique due aux anions contenus dans l'eau provenant notamment des chlorures et des sulfates. De plus, le cuvelage qui est au contact des terrains encaissants est exposé à des risques de corrosion par effet de piles géologiques dues aux terrains de nature différente traversés par le forage. Enfin, le cuvelage est attaqué par corrosion électrochimique due à la structure plus ou moins régulière du métal, à des variations locales de débit, à des concentrations locales de CO_2 qui créent à la surface interne des plages anodiques et cathodiques, permanentes ou temporaires, génératrices de courants électriques et de corrosion.

Il est absolument impératif de protéger le cuvelage des corrosions. En effet, un forage profond représente un investissement important et il faut que celui-ci se conserve dans le temps pour amortir la dépense. S'il arrivait que le cuvelage se perce au droit d'une nappe plus salée, ceci entraînerait un mélange de l'eau contenue dans la nappe aquifère 2 avec l'eau salée, ce qui la rendrait impropre aux usages à laquelle elle est destinée pour la boisson ou pour l'arrosage d'où une perte très importante de réserves d'eau. De plus, la corrosion du cuvelage peut entraîner la présence de fer dans l'eau qui colore celle-ci ou qui lui confèrent un mauvais goût la rendant impropre à la consommation.

Le problème à résoudre est de protéger efficacement le cuvelage et les équipements de pompage contre toutes formes de corrosion en assurant à la fois la protection intérieure et extérieure du cuvelage de manière ajustable pour tenir compte des paramètres propres à chaque forage et qui varient avec la composition de l'eau et la nature des terrains encaissants.

La protection cathodique a déjà été utilisée pour protéger la surface externe du cuvelage d'un puits ou d'un forage contre la corrosion en enfouissant dans le sol autour du puits des anodes portées à un potentiel positif par rapport au potentiel du cuvelage.

L'invention a pour objet des dispositifs de protection cathodique qui assurent en même temps la protection contre les corrosions de la surface interne immergée du cuvelage et des équipements (pompe, crépine, tubage) immergés dans l'eau du forage.

On a représenté sur la figure 1 un dispositif de protection cathodique selon l'invention qui comporte, plusieurs

conducteurs portés par un câble porteur 7, qui descend dans le forage jusqu'au fond de celui-ci. Chacun des conducteurs alimente une chaîne d'anodes et est alimenté en courant continu par un redresseur séparé $8_1 \dots 8_n$ ou par toute autre source de courant continu. La
 5 borne négative des redresseurs est connectée au sommet du cuvelage 3 et il y a continuité électrique entre les différents tronçons du cuvelage.

L'extrémité inférieure du câble 7 comporte un lest 7a pour éviter que le câble ne se déplace.

10 De plus, le dispositif comporte une anode 9 qui est enfouie dans le sol et qui est constituée par exemple par des tubes ou profilés de récupération en acier doux qui sont portées à un potentiel positif par rapport au cuvelage par un redresseur 9a ou par toute autre source de courant continu.

15 La figure 2 est un schéma sur lequel on a représenté, sous une forme éclatée, le câble 7 composé de six conducteurs 7_1 à 7_6 , portant chacun à l'extrémité inférieure une chaîne d'anodes 11. Les chaînes d'anodes sont superposées et plongées dans l'eau située dans le forage.

20 On a représenté sur la figure 2 un dispositif potentiométrique $10_1, 10_2 \dots 10_n$, associé à chaque redresseur.

La figure 3 est une coupe longitudinale partielle représentant un premier mode de réalisation et de disposition des anodes situées à l'intérieur du puits.

25 Le repère 12 représente un câble porteur qui est par exemple un câble en fibre synthétique s'étendant sur toute la hauteur du puits.

Les repères $7_1, 7_2 \dots 7_n$ représentent les câbles électriques portant les chaînes d'anodes. Chaque chaîne d'anode comporte,
 30 à l'extrémité inférieure, un premier tronçon ayant une longueur comprise entre 50 et 150 m portant une série d'anodes 11 superposées ayant une hauteur individuelle de 0,50 m par exemple.

Ces anodes sont réparties par exemple à raison d'une anode tous les deux mètres, le long d'un câble d'anode 13 ayant par exemple une section de 25 mm^2 , qui est connecté par une boîte de jonction étanche dont la section varie entre 10 et 55 mm^2 selon la longueur.
 35 L'extrémité inférieure de chaque câble d'anode comporte une tête de câble 15 qui sert de lestage.

La figure 4 est une coupe transversale selon IV-IV de la figure 3. On retrouve sur cette figure le câble porteur 12 qui est composé d'une âme centrale A en fibres synthétiques, d'une première enveloppe B en polyéthylène qui protège le câble central du contact de l'eau et d'une gaine externe C en chlorure de polyvinyle qui protège efficacement l'enveloppe du câble contre le chlore naissant.

Autour du câble porteur sont disposés les câbles électriques de liaison 14 et les câbles d'anode 13 portant les anodes 11.

10 Les câbles de liaison et les câbles d'anode comportent une âme centrale D qui est un câble porteur en acier, des conducteurs en cuivre E, une gaine F en polyéthylène réticulé qui est une gaine isolante électrique résistant à la température de l'eau et une gaine externe G en chlorure de polyvinyle de protection mécanique contre
15 les chocs et de protection contre le chlore naissant.

Tous les câbles sont reliés ensemble par des colliers 16 en matière plastique. L'âme centrale D en câble d'acier des câbles électriques rend ceux-ci autoporteurs à titre de sécurité en cas de rupture du câble porteur 12.

20 La figure 5 représente un tronçon de câble d'anode 13 portant une anode 11. L'anode 11 est un ruban de niobium ayant une largeur de 5 mm et une épaisseur de 0,3 mm. Ce ruban est revêtu du côté externe d'un placage de platine ayant une épaisseur de l'ordre de 15 microns.

25 Comme on le voit sur la figure 5, le ruban composant chaque anode est enroulé en hélice autour de la gaine extérieure du câble d'anode.

Chaque anode a une longueur déroulée de l'ordre d'un mètre. Elle est enroulée sur une gaine dont le diamètre externe est de l'ordre de 12,5 mm avec un pas de 19 mm et occupe une hauteur de l'ordre
30 de 50 cm.

Une des extrémités de l'anode, par exemple l'extrémité supérieure, est connectée par une ligature 17 sur les conducteurs en cuivre 13e du câble d'anode, qui sont mis à nu par une découpe
35 des gaines isolantes 13g et 13f. La connexion est placée à l'intérieur d'une boîte en matière plastique 18, qui est remplie de résine isolante 19. L'autre extrémité de l'anode est enfermée à l'intérieur d'une boîte de jonction 18, également remplie de résine isolante 19.

Il n'est pas nécessaire de connecter les deux extrémités de chaque anode, ce qui entraîne une économie de travaux de connexion.

Chaque anode 11 est protégée mécaniquement contre les chocs lors de la descente par une cage formée par un grillage métallique ou par un fil métallique 20 revêtu d'une gaine en matière plastique, par exemple une gaine en chlorure de polyvinyle ou en polyamide. Le fil 20 est placé à une certaine distance de l'anode afin qu'il ne vienne pas en contact avec celle-ci. Le fil 20 va d'une boîte de jonction à l'autre.

Les anodes souples en ruban 11 sont enroulées sur les câbles d'anode en usine et les câbles portant les anodes peuvent être enroulés sur un touret et livrés sur le chantier prêts à être descendus dans le forage. Chaque chaîne d'anode comporte un nombre d'anodes variable, mais limité à environ 150 pour tenir compte des chûtes de tension en ligne et de la répartition du courant. Chacune des chaînes d'anode intéresse un tronçon de cuvelage déterminé. Elle est alimentée par un câble de liaison 14 dont la section varie de 10 à 55 mm² ou plus, selon la profondeur à laquelle se situe la chaîne d'anode. Chaque chaîne d'anode est alimentée séparément, ce qui permet de régler individuellement la tension pour obtenir sur les anodes la différence de potentiel et la densité de courant voulue.

Le choix du matériau constitutif des anodes a fait l'objet de recherches particulières et d'essais en laboratoire.

Le niobium présente une bonne résistance à la corrosion. Il est facile à travailler par les procédés métallurgiques, notamment il est facile à fabriquer sous forme de rubans très minces. Il contracte une forte polarisation, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de revêtir de platine la face interne des rubans qui est plaquée contre la gaine 13g. La polarisation évite que le courant ne sorte par cette face interne qui n'est donc pas corrodée.

La platine résiste parfaitement à la corrosion même dans un milieu agressif en présence d'eaux chaudes et chlorées.

Etant donné sa bonne résistance à la corrosion, la longévité des anodes revêtues de platine est très grande, de plusieurs dizaines d'années.

Le platine est facile à appliquer en placage très mince par simple écrasement. Il supporte de fortes densités de courant avec des polarisations très inférieures à celles des autres métaux. C'est

un excellent conducteur de l'électricité.

Malgré le prix élevé du platine, ses qualités l'on fait choisir comme revêtement des anodes. La quantité mise en oeuvre est relativement faible, de l'ordre de 1,5 à 2 g par anode de 1 mètre
5 de longueur.

Il est précisé que le niobium pourrait être remplacé par du thorium ou du tantalum, mais le niobium est préférentiel.

On décrira également ci-après un exemple de réalisation d'anodes en tiges de cuivre entièrement recouvertes de platine.

10 Chaque chaîne d'anodes comporte une alimentation indépendante en courant électrique continu constituée par exemple par un redresseur monté en série avec un dispositif potentiométrique permettant un réglage indépendant de la tension appliquée sur chaque câble d'anode.

15 Un même redresseur peut alimenter en parallèle plusieurs chaînes d'anodes comportant chacune un potentiomètre indépendant. La tension appliquée en tête de chaque conducteur de liaison 14 est limitée à 48 V pour des raisons de sécurité.

20 On règle la tension pour obtenir sur les surfaces métalliques à protéger une densité de courant déterminée en fonction de la nature de l'eau et des terrains encaissants.

La tension à appliquer est calculée et on ajuste ensuite expérimentalement en jouant sur les potentiomètres.

25 Les câbles d'anode équipés des anodes arrivent sur touret sur le chantier et la mise en place dans le forage est très rapide.

Le câble porteur porte un lest à son extrémité et il est maintenu suspendu à une poulie située au-dessus du forage. On le descend progressivement au moyen d'un treuil motorisé. Au cours de la descente, on fixe au câble porteur une première chaîne d'anodes
30 qui se déroule d'un touret.

Lorsque la longueur voulue est déroulée, on connecte l'extrémité de cette première chaîne sur un câble de liaison et on continue à descendre le câble de liaison et une deuxième chaîne d'anodes et ainsi de suite. Le nombre de câbles réunis par des colliers au
35 câble porteur passe progressivement de 1 à n. Le câble porteur est ensuite fixé en tête du forage et les câbles électriques de liaison sont connectés chacun sur un potentiomètre qui est lui-même connecté sur un redresseur dont la borne négative est connectée à la tête du

cuvelage 3.

La protection extérieure du cuvelage est obtenue en enfouissant dans le sol à une distance du forage de plusieurs centaines de mètres, une ou plusieurs masses de ferraille 9 qui sont connectées à la borne positive d'un redresseur dont la borne négative est connectée à la tête du cuvelage 3. Les masses 9 sont enrobées de préférence d'un produit bon conducteur, par exemple de la bentonite humectée d'un liquide contenant des ions conducteurs si nécessaire.

Les masses 9 sont arrosées périodiquement ou en permanence pour maintenir l'humidité du sol et un bon degré de conduction électrique.

On peut aussi utiliser comme anode externe des barres métalliques par exemple des barres en ferro-silicium plantées dans le sol à plusieurs centaines de mètres de la tête de forage.

La figure 6 représente schématiquement, en coupe verticale, un tronçon d'un deuxième dispositif de protection cathodique selon l'invention.

La figure 7 est une coupe transversale selon VII-VII de la figure 6.

Ces deux figures représentent un dispositif qui est descendu dans un forage profond et qui comporte un câble central porteur 21, par exemple un câble en fibres synthétiques du type polyamides ou équivalent. Autour de ce câble, sont disposés quatre câbles électriques 22 qui comportent un conducteur 22a, isolé par une gaine 22b.

En variante, les câbles 22 peuvent être du même type que les câbles 13 et 14 de la figure 4.

Le câble porteur 21 et les câbles conducteurs 22, sont placés à l'intérieur d'une première gaine cylindrique 24 en matière plastique.

Les anodes 25 sont placées verticalement à l'extérieur de la gaine 24 à laquelle elles sont fixées par des colliers 26 en matière plastique. Le dispositif comporte, en outre, un câble 27 qui est diamétralement opposé aux anodes pour rétablir la symétrie. Ce câble 27 comporte une âme en fibres synthétiques entourée d'une gaine en matière plastique.

La figure 8 est une coupe longitudinale d'une anode 25 et la figure 9 est une coupe transversale de la figure 8.

L'anode 25 est composée d'une tige en cuivre 25a, par exemple une tige de 80 cm de long et de 1,6 cm de diamètre, qui est entièrement revêtue d'un placage en platine très mince 25b, par exemple de 20 microns d'épaisseur.

5 On voit sur la figure 6 que les anodes sont connectées par paires sur un même conducteur 22₄. La figure 8 représente par exemple l'anode inférieure d'une paire.

L'extrémité inférieure est engagée dans une boîte en matière plastique 28 remplie de résine isolante 29.

10 L'extrémité supérieure de la tige 25a est brasée sur un conducteur en cuivre 30 qui est connecté sur un câble anodique souple 31. La brasure et la connexion électrique sont enfermées dans une boîte de jonction en matière plastique 32 qui est remplie de résine isolante 33.

15 Chaque anode comporte une protection mécanique contre les chocs et les contacts intempestifs qui est constituée par exemple par des tiges 34 reliant entre elles les deux boîtes de jonction, qui sont séparées de l'anode par des bagues isolantes 35 et autour desquelles est enroulé, en hélice, un fil 36, qui est un fil métallique revêtu de matière plastique. Le fil enroulé en hélice peut être rem-
20 placé par un grillage plastifié ou en matière plastique.

On voit sur la figure 6 la connexion entre deux anodes et l'un des câbles 22.

25 Une ouverture est réalisée dans la gaine 24 pour accéder au câble 22 et l'on fixe sur celui-ci un collier 37 comportant un pointeau à vis 37a permettant de réaliser le contact électrique avec le conducteur 22a. Les deux câbles souples 31 sont connectés sur le collier 37.

30 Une fois la connexion effectuée, on enveloppe l'ouverture pratiquée dans la gaine et les câbles 31 dans une boîte de jonction remplie de résine isolante 38.

Les anodes selon les figures 6 à 9 sont des anodes rigides qui doivent être branchées en dérivation sur les conducteurs sur le chantier à mesure que l'on descend les câbles dans le forage.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de protection cathodique contre la corrosion du cuvelage (3) d'un forage (1) d'extraction d'eau d'une nappe aquifère profonde et des équipements (4, 5, 6) immergés dans l'eau de ce forage, caractérisé en ce que l'on descend dans l'eau contenue dans le
5 forage plusieurs chaînes d'anodes superposées ($7_1, 7_2 \dots 7_n$), chaque chaîne comportant une série d'anodes (11) superposées qui sont connectées sur un conducteur d'anode (13), lequel conducteur d'anode est relié à la surface par un conducteur de liaison (14) qui est connecté sur la borne positive d'une source de tension continue ($8_1 \dots 8_n$)
10 ajustable, dont la borne négative est connectée audit cuvelage et on règle séparément la tension de chacune des sources pour obtenir, au niveau de chaque chaîne d'anodes, une densité de courant déterminée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites anodes sont des tiges ou des rubans de niobium, de tantale,
15 de thorium ou de cuivre, qui sont revêtus d'un placage en platine très mince.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que:

- on préfabrique en usine des chaînes d'anodes comportant des anodes équidistantes (11) composées d'un ruban de niobium, ayant
20 une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres, revêtu sur une face d'un placage en platine, ayant une épaisseur de l'ordre de 15 microns, en enroulant en hélice des tronçons de ce ruban autour de la gaine isolante (13g) d'un câble conducteur (13e), le placage de platine étant dirigé vers l'extérieur et chaque tronçon étant connecté
25 sur le conducteur par une de ses extrémités;

- on enroule lesdits conducteurs portant les anodes sur des tourets qu'on transporte à la tête d'un forage;

- on descend dans le forage un câble porteur (12) auquel on accroche les uns après les autres des chaînes d'anodes superposées
30 (13) dont l'extrémité supérieure est connectée sur un câble conducteur de liaison (14) que l'on accroche au câble porteur;

- et on connecte l'extrémité supérieure de chaque conducteur de liaison (14) à la borne positive d'une source de tension continue ($8_1 \dots 8_n$) réglable.

35 4. Dispositif de protection cathodique contre la corrosion de la face interne du cuvelage (3) d'un forage (1) d'extraction d'eau d'une nappe aquifère (2) et des équipements (4, 5, 6) immergés dans

l'eau de ce forage, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs chaînes d'anodes superposées ($7_1, 7_2 \dots 7_n$), immergées dans l'eau contenue dans le forage, chaque chaîne d'anodes comportant une pluralité d'anodes (11) superposées, qui sont connectées

- 5 sur un même conducteur d'anode (13), dont l'extrémité supérieure est connectée sur un conducteur (14) de liaison avec la surface et le dispositif comporte, en outre, une pluralité de sources de tension continues ($8_1, 8_2 \dots 8_n$), dont les bornes négatives sont connectées audit cuvelage et aux équipements et dont les bornes positives
- 10 sont connectées respectivement sur les extrémités supérieures desdits conducteurs de liaison (14) par l'intermédiaire de dispositifs potentiométriques ($10_1, 10_2 \dots 10_n$) permettant d'ajuster séparément le potentiel positif de chaque chaîne d'anodes.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en
- 15 ce que les anodes sont des rubans de niobium ou tantale ayant une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres et une largeur de quelques millimètres, revêtus d'un placage en platine ayant une épaisseur de l'ordre de 10 à 20 microns.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce
- 20 que l'une des faces dudit ruban ne comporte pas de placage en platine.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque anode est constituée par un ruban (11) ayant une longueur de l'ordre d'un mètre, qui est enroulé en hélice autour de la
- 25 gaine isolante (13g) d'un câble conducteur (13), le placage en platine étant dirigé vers l'extérieur et une extrémité dudit ruban est connectée au conducteur (13e).

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les deux extrémités dudit ruban sont noyées dans une résine
- 30 isolante (19) placée à l'intérieur d'une boîte de jonction.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que chaque anode est entourée d'une cage de protection mécanique formée par un fil (20) enroulé en hélice ou par un grillage.

- 35 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte un câble porteur central en fibres synthétiques entouré de gaines isolantes et des câbles conducteurs (13, 14) comportant une âme porteuse (13d) entourée de

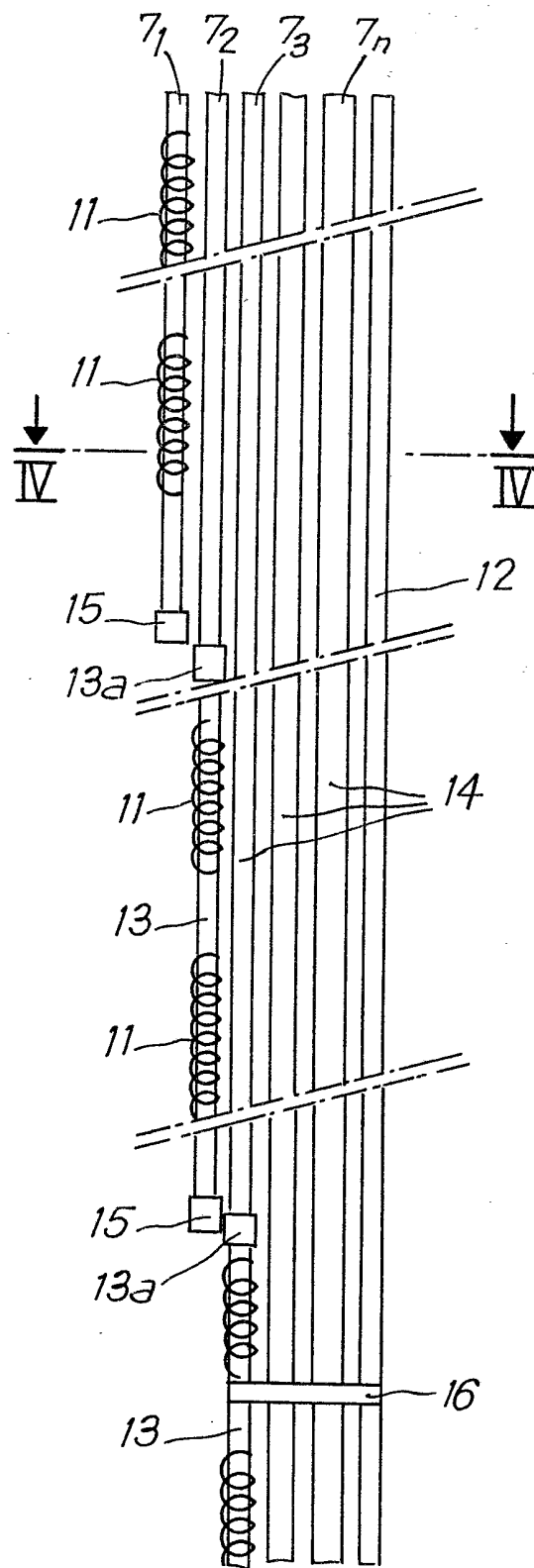
conducteurs (13e) et de gaines isolantes (13f, 13g), lesquels câbles conducteurs sont maintenus assemblés par des colliers (16) en matière plastique.

5 11. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les anodes sont des tiges en cuivre, revêtues extérieurement d'un placage mince en platine ayant une épaisseur de l'ordre de 10 à 20 microns.

10 12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comporte un câble porteur central (21) en fibres synthétiques et une pluralité de câbles conducteurs (22) composés d'un conducteur central (22a), enveloppé dans une gaine isolante (22b), lesquels câbles porteurs et conducteurs sont enveloppés dans une gaine isolante (24) et il comporte, en outre, des anodes superposées (25) qui sont disposées à l'extérieur de ladite gaine et qui sont
15 fixées à celle-ci par des colliers en matière plastique (26).

2/5

Fig. 3



4/5

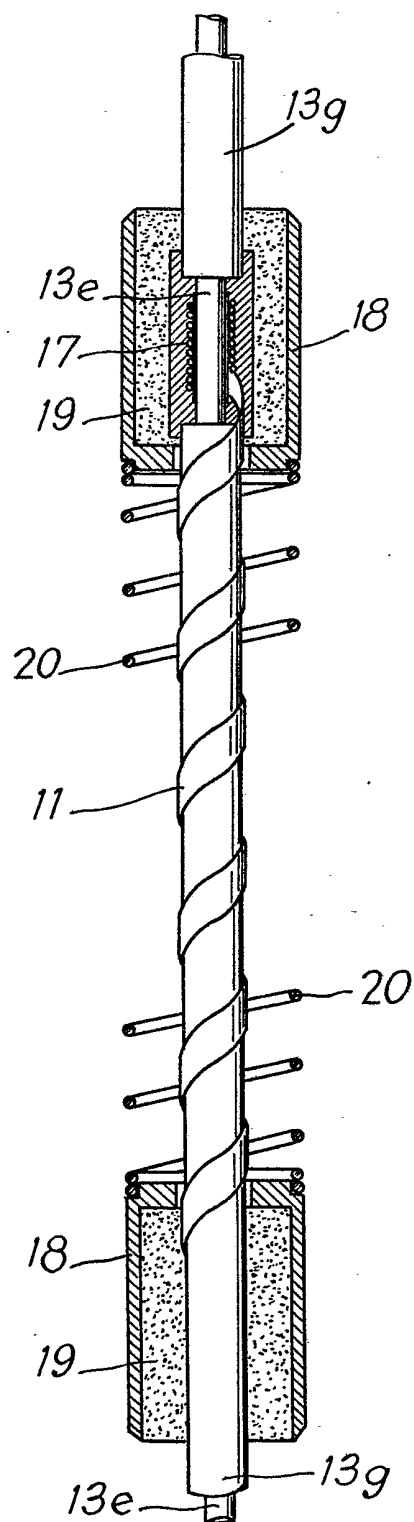


Fig. 5

5/5

