

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 631 954**  
(à utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **88 07206**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : C 04 B 28/26; E 02 D 19/16 // (C 04 B 28/26,  
14:04).

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 31 mai 1988.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 48 du 1<sup>er</sup> décembre 1989.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Société anonyme dite : SONDAGES IN-  
JECTIONS FORAGES « S.I.F. » ENTREPRISE BACHY. —  
FR.*

⑦2 Inventeur(s) : Francis Marcel Louis Delmas ; Michel Au-  
guste Georges Gandais.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet de Boisse.

⑤4 Procédé de réalisation dans le sol d'une coupure d'étanchéité résistant aux acides et béton utile à cet effet.

⑤7 L'invention se rapporte au génie civil.

Elle concerne un procédé de réalisation d'une coupure d'é-  
tanchéité dans le sol devant être au contact d'une eau acide  
présentant un pH inférieur à 5,5, selon lequel on creuse une  
tranchée dans le sol et on remplit la tranchée effectuée avec  
un béton d'étanchéité comprenant de l'eau, une argile et un  
granulat résistant aux acides à propriétés autofiltrantes, carac-  
térisé en ce que le béton d'étanchéité contient, en outre, une  
solution aqueuse de silicate de sodium et/ou de potassium et  
est dépourvu de toute matière acide ou génératrice d'acide  
susceptible de former avec le silicate un gel d'acide silicique,  
la proportion de silicate de sodium et/ou de potassium incor-  
porée dans le béton d'étanchéité étant suffisante pour donner  
lieu à la formation d'une barrière locale étanche lorsque la  
paroi d'étanchéité est localement soumise à la percolation  
d'eau acide provenant du sol environnant.

Application à la lutte antipollution.

FR 2 631 954 - A1

D

La technique des coupures d'étanchéité réalisées dans le sol sous forme de parois moulées est très fréquemment mise en oeuvre dans les ouvrages hydrauliques (coupure de l'écoulement des eaux souterraines avec possibilité de créer un réservoir amont ou de constituer une zone asséchée hors d'eau à l'aval, étanchement de digues de canalisation d'écoulements, séparation d'eau de salinités différentes, etc....).

Les coupures ou parois d'étanchéité moulées dans le sol sont réalisées en effectuant une tranchée à l'aide d'un outillage qui procède à une extraction de terrain, et en remplaçant le terrain extrait par un matériau destiné à assurer l'étanchéité. Elles peuvent également, lorsque le terrain présente une faible cohésion et qu'il s'agit de réaliser une paroi d'étanchéité de modeste profondeur, être réalisées en effectuant une succession d'empreintes à l'aide d'un outil foncé dans le sol, et en remplissant ces empreintes d'un matériau du type coulis ou mortier assurant l'étanchéité de la barrière ainsi créée, au moment de l'extraction de l'outil.

Des coupures d'étanchéité sont également utilisées dans le domaine de la protection de l'environnement pour éviter que des eaux polluées par des effluents

nocifs ne viennent contaminer des zones préservées. Les effluents nocifs sont générés principalement par des activités industrielles qui rejettent de façon accidentelle ou pas des effluents chimiques dans les nappes  
5 phréatiques ou dans les eaux de surface. Lors de la constitution d'une coupure d'étanchéité destinée à préserver des zones non affectées de la contamination provoquée par des effluents pollués, se pose le problème de la  
10 à la variété des produits chimiques susceptibles d'être présents dans les effluents.

Dans les travaux classiques faisant partie des ouvrages hydrauliques, les matériaux étanches constitutifs des parois sont très généralement constitués par des  
15 coulis, des mortiers ou des bétons d'étanchéité. Les coulis sont préparés à base d'argile, plus particulièrement de bentonite, d'un liant hydraulique qui est généralement un ciment, et, éventuellement, d'une charge qui peut être inerte ou éventuellement réactive. Les  
20 mortiers et bétons comportent les mêmes types de matériaux que les coulis mais ils présentent, en plus, une quantité importante de granulats qui constitueront un squelette granulaire. Dans les mortiers, les granulats sont limités  
25 aux matériaux sableux alors que, dans les bétons, les granulats comportent des graviers en plus du matériau sableux.

Lorsque ces matériaux sont destinés à la constitution d'écrans destinés à retenir des eaux à caractère acide, la présence de ciment hydraulique (qu'il  
30 s'agisse de ciments du type Portland ou de ciments à base de laitier qui sont les types les plus communément utilisés) constitue un point d'inquiétude en ce qui concerne la pérennité de l'étanchéité de la paroi.

Si on caractérise l'acidité de l'eau susceptible  
35 de percoler à travers la paroi d'étanchéité par la valeur de son pH, il est admis que pour des valeurs de pH de

7 à environ 5,5 les eaux sont considérées comme légèrement  
agressives à l'égard des ciments alors que pour des valeurs  
inférieures, les eaux passent d'un caractère fortement  
agressif à très fortement agressif à mesure que leur  
5 pH s'abaisse.

De telles eaux se rencontrent parfois dans  
le sous-sol et l'exécution de parois d'étanchéité pérenne  
dans un milieu de pH inférieur à 5,5 ne tolère pas l'incorpora-  
tion de ciment hydraulique classique qui serait détruit  
10 à terme par l'acidité des eaux de percolation détériorant  
ainsi les caractéristiques mécaniques et les caractéristiques  
d'étanchéité prévues.

Une méthode pour diminuer le risque de détério-  
ration du liant ciment par les eaux acides consiste à  
15 éliminer le problème en supprimant l'utilisation du ciment.  
Dans ce cas, les coulis habituellement composés d'eau,  
d'argile et/ou bentonite et de ciment ne sont plus envisagea-  
bles car, sans ciment, ces coulis ne sont qu'une boue  
sans cohésion et sans stabilité. Les matériaux de remplis-  
20 sage des coupures étanches sont alors composés de mortiers  
ou de béton d'étanchéité, qui eux comportent un squelette  
granulaire assurant la pérennité volumique du matériau.  
L'étanchéité est assurée par l'argile, et plus particulière-  
ment par la bentonite, qui remplit les interstices compris  
25 entre les grains du squelette granulaire.

Le squelette granulaire présente des caracté-  
ristiques de répartition granulométrique telle qu'il  
soit autofiltrant et que, notamment, le matériau argileux  
ne risque pas d'être entraîné par le courant de percola-  
30 tion. Cette caractéristique est obtenue par la présence,  
de façon naturelle ou ajoutée, en quantité appropriée,  
de matériaux fins de granulométrie comprise entre 0,002  
mm et 0,1 mm.

Cette méthode présente un certain intérêt  
35 pour éviter une destruction à court terme de l'étanchéité  
contre la percolation d'eaux acides agressives, mais

n'est pas satisfaisante à long terme car la perméabilité aux eaux acides agressives croît avec le temps. Elle est, de toute manière, inadaptée lorsque les eaux acides sont très agressives.

5 Un essai accéléré en laboratoire le met en évidence :

un béton d'étanchéité de composition pondérale :

	- gravier siliceux (5-8 mm)	=	311 kg
	- sable siliceux (< 5 mm)	=	1240 kg
10	- fines siliceuses (0,002-0,1 mm)	=	449 kg
	- bentonite	=	40 kg
	- eau	=	386 kg

est placé dans une cellule pour essai de perméabilité et soumis à un gradient de percolation (rapport de la pression d'eau exprimé en cm d'eau à l'épaisseur, exprimé en cm, de la couche de béton d'étanchéité testée) de 330 avec une eau dont le pH est amené à la valeur 0 par addition d'acide sulfurique. La valeur initiale du coefficient de perméabilité qui est de  $2 \times 10^{-9}$  m/s reste stable pendant 6 minutes, puis augmente rapidement pour atteindre la valeur de  $10^{-8}$  m/s au bout de 15 minutes d'essai de percolation, et continue de croître par la suite.

25 Il existe donc un besoin pour un procédé permettant de réaliser des parois d'étanchéité résistant de façon durable aux eaux acides fortement agressives à très fortement agressives.

L'invention vise à satisfaire ce besoin, pour lequel aucune solution satisfaisante n'existe à ce jour.

30 Plus particulièrement, l'invention concerne un procédé de réalisation d'une coupure d'étanchéité dans le sol devant être au contact d'une eau acide présentant un pH inférieur à 5,5, selon lequel on creuse une tranchée dans le sol et on remplit la tranchée effectuée avec un béton d'étanchéité comprenant de l'eau, une argile

et un granulat, résistant aux acides, à propriétés auto-filtrantes, caractérisé en ce que le béton d'étanchéité contient, en outre, une solution aqueuse de silicate de sodium et/ou de potassium et est dépourvu de toute  
5 matière acide ou génératrice d'acide susceptible de former avec le silicate un gel solide d'acide silicique, la proportion de silicate de sodium et/ou de potassium incorporée dans le béton d'étanchéité étant suffisante pour donner lieu à la formation d'une barrière locale étanche  
10 lorsque la paroi d'étanchéité est localement soumise à la percolation d'eau acide provenant du sol environnant.

Le procédé de l'invention convient pour la réalisation de coupures d'étanchéité résistant à toutes sortes d'acides, sauf ceux attaquant la silice dans les  
15 conditions régnant au voisinage de la coupure. Des exemples d'acides courant pour lesquels la coupure d'étanchéité est efficace sont l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide nitrique, l'acide phosphorique, l'acide acétique, etc... Par contre, le procédé de l'invention ne convient  
20 pas pour l'acide fluorhydrique qui attaque la silice.

L'invention concerne également un béton d'étanchéité, qui est utile pour la mise en oeuvre du procédé sus-défini. Ce béton comprend de l'eau, une argile, un granulat, résistant aux acides, à propriétés auto-filtrantes  
25 et se caractérise par la présence d'une solution aqueuse de silicate de sodium et/ou de potassium et par l'absence de toute matière acide ou génératrice d'acide susceptible de former avec le silicate un gel solide d'acide silicique.

L'argile peut être une argile ordinaire  
30 quelconque. On préfère, toutefois, utiliser de la bentonite, telle que de la bentonite sodique ou calcique.

Le granulat résistant aux acides doit présenter des propriétés auto-filtrantes. Un granulat auto-filtrant est un granulat dont une fraction notable de son poids  
35 est constituée de fines particules réparties sur l'intervalle granulométrique allant de 2 à 100  $\mu$ m, de manière que ces fines particules viennent remplir dans le béton les

vides existant entre les autres particules, de taille supérieure, du granulat. Un exemple de granulat auto-filtrant est un granulat dont 10 à 30% en poids des particules sont comprises dans la gamme de 2 à 100  $\mu$ m. Les autres particules du granulat peuvent avoir une taille s'étageant de 100  $\mu$ m à plusieurs millimètres ou même dizaines de millimètres. Comme granulat résistant aux acides, on préfère utiliser un granulat siliceux.

Les silicates de sodium et/ou de potassium sont des matières disponibles dans le commerce. Ils sont habituellement commercialisés sous forme de solutions aqueuses d'une concentration de 20 à 30% en poids. Les silicates de sodium du commerce ont habituellement un rapport Rp ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ) compris entre 2 et 4, mais tout autre rapport pourrait convenir aux fins de l'invention. On préfère, toutefois, employer un silicate de sodium ayant un rapport Rp relativement élevé, supérieur à 3. De leur côté, les silicates de potassium du commerce présentent habituellement un rapport Rp ( $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ ) compris entre 1,4 et 2,5, mais tout autre rapport pourrait convenir.

Le silicate de sodium convient particulièrement dans le cas où l'acide devant venir au contact de la coupure d'étanchéité est l'acide nitrique ou l'acide chlorhydrique. Le silicate de potassium convient particulièrement dans le cas où l'acide devant venir au contact de la coupure d'étanchéité est l'acide sulfurique, l'acide acétique, ou l'acide phosphorique.

Le silicate ajouté initialement exerce deux actions bénéfiques. Premièrement, il fluidifie la suspension de bentonite, ce qui permet d'incorporer des quantités importantes de bentonite dans le béton d'étanchéité tout en conservant une maniabilité acceptable et, deuxièmement, il abaisse le coefficient de perméabilité initial du béton. Par la suite, lorsque le béton est coulé dans la tranchée pour réaliser la coupure d'étanchéité et lorsque cette coupure est soumise, à certains endroits,

à la percolation d'eau acide, le silicate ajouté donne lieu, aux endroits en question, à la formation d'une barrière étanche, résistant aux acides, de gel solide d'acide polysilicique, par suite du fait que l'acide  
 5 vient neutraliser la soude ou la potasse.

Il y a lieu de noter que la réaction du silicate avec l'acide contenu dans l'eau percolante ne se produit que localement aux endroits où se produit effectivement une percolation d'eau acide. Ceci permet  
 10 aux régions avoisinantes de la coupure d'étanchéité, qui demeurent dans un état non gélifié, de venir compenser les retraits locaux dus à la gélification et d'assurer la continuité de l'ouvrage. Si on provoquait la gélification de l'ensemble de la coupure d'étanchéité au moment  
 15 de sa réalisation, en incorporant au béton d'étanchéité une matière génératrice d'acide, comme cela est bien connu dans le domaine des compositions durcissables à base de silicate de métal alcalin, on n'obtiendrait pas une coupure d'étanchéité satisfaisante. Une gélification  
 20 globale donnerait lieu, en effet, à la formation de fissures par suite du phénomène de retrait lié à la gélification. composition de bétons d'étanchéité préférés selon l'invention :

- granulats siliceux (sable et gravier) 1200 à 1800 Kg
- 25    dont 10 à 30% en poids sont formés de fines particules réparties dans l'intervalle de 2 à 100  $\mu$  m
- bentonite sodique ou calcique, ou autre argile 15 à 150 kg
- 30    - silicate de sodium et/ou de potassium (calculé sous forme de  $\text{SiO}_2$ ) 5 à 70 kg
- eau ..... pour faire 1 m<sup>3</sup> de béton.

L'exemple non limitatif suivant, qui rapporte un essai fait au laboratoire, illustre bien l'effet  
 35 avantageux procuré par la présente invention.

EXEMPLE

Un béton d'étanchéité ayant la composition suivante (pour  $1\text{m}^3$  de béton) :

	- granulats siliceux	1720 kg
5	dont (gravier siliceux (5-8 mm) : 270 kg	
	{sable siliceux (< 5 mm) : 1060 kg	
	(fines siliceuses (2-100 $\mu\text{m}$ ) : 390 kg	
	- bentonite	35 kg
	- silicate de Na ( $R_p = 3,2$ ) sous forme	
10	d'une solution aqueuse à 28,5% en poids	40 litres
		(11,4 kg de $\text{SiO}_2$ )
	- eau	300 litres

est placé dans une cellule pour essai de perméabilité et soumis à un gradient de percolation de 15 330. Lorsque l'essai est réalisé avec de l'eau douce, le coefficient de perméabilité du béton est égal à  $2,7 \times 10^{-9}$  m/s de façon constante. Lorsque l'essai est réalisé avec de l'eau dont le pH est abaissé à la valeur 0 par addition d'acide sulfurique, le coefficient de perméabilité 20 initial reste constant à la valeur de  $2,8 \times 10^{-9}$  m/s pendant 100 minutes, puis décroît subitement pour atteindre une valeur régulière inférieure à  $1 \times 10^{-10}$  m/s.

REVENDICATIONS

1. Un procédé de réalisation d'une coupure d'étanchéité dans le sol devant être au contact d'une eau acide présentant un pH inférieur à 5,5, selon lequel  
 5 on creuse une tranchée dans le sol et on remplit la tranchée effectuée avec un béton d'étanchéité comprenant de l'eau, une argile et un granulat résistant aux acides à propriétés auto-filtrantes, caractérisé en ce que le béton d'étanchéité  
 10 de sodium et/ou de potassium et est dépourvu de toute matière acide ou génératrice d'acide susceptible de former avec le silicate un gel d'acide silicique, la proportion de silicate de sodium et/ou de potassium incorporée dans le béton d'étanchéité étant suffisante pour donner lieu  
 15 à la formation d'une barrière locale étanche lorsque la paroi d'étanchéité est localement soumise à la percolation d'eau acide provenant du sol environnant.

2. Un procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'argile est de la bentonite.

20 3. Un procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le granulat est siliceux.

4. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que 10 à 30% du poids du granulat sont formés de fines particules  
 25 réparties sur l'intervalle granulométrique allant de 2 à 100  $\mu$ m.

5. Un procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise un béton d'étanchéité ayant la composition suivante :

30	- granulat siliceux	1200 à 1800 kg
	dont 10-30% en poids sont formés de fines particules d'une grosseur allant de 2 à 100 $\mu$ m	
35	- bentonite ou autre argile	15 à 150 kg

- silicate de Na et/ou de K 5 à 70 kg  
(calculé en  $\text{SiO}_2$ )
- eau..... pour faire 1 m<sup>3</sup> de béton.

5 6. Un béton d'étanchéité comprenant de l'eau, une argile, un granulats résistant aux acides à propriétés auto-filtrantes, caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, une solution aqueuse de silicate de sodium et/ou de potassium, et est dépourvu de toute matière acide ou génératrice d'acide susceptible de former avec le  
10 silicate un gel solide d'acide silicique.

7. Un béton d'étanchéité selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'argile est de la bentonite.

8. Un béton d'étanchéité selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que le granulats est siliceux.

15 9. Un béton d'étanchéité selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce  
à 30% du poids du granulats sont formés de fines particules réparties sur l'intervalle granulométrique allant de  
2 à 100  $\mu$ m.

20 10. Un béton selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il a la composition suivante :

- granulats siliceux 1200 à 1800 kg  
dont 10-30% en poids sont formés de fines particules  
25 d'une grosseur allant de  
2 à 100  $\mu$ m
- bentonite ou autre argile 15 à 150 kg
- silicate de Na et/ou de K 5 à 70 kg  
(calculé en  $\text{SiO}_2$ )
- 30 - eau.....pour faire 1 m<sup>3</sup> de béton.