

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication : **3 143 621**

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

②① N° d'enregistrement national : **22 13854**

⑤① Int Cl⁸ : **C 09 K 17/00** (2023.01), C 09 K 17/40, 107/00, 103/00

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②② **Date de dépôt** : 19.12.22.

③③ **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public de la
demande** : 21.06.24 Bulletin 24/25.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥③ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés** :

☐ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : *HOLCIM TECHNOLOGY Ltd Société
de droit suisse — CH.*

⑦② **Inventeur(s)** : TAPSOBA Nouffou, RICHARD
Nicolas, SERCLERAT Ivan et GIACOMETTI Tifenn.

⑦③ **Titulaire(s)** : HOLCIM TECHNOLOGY Ltd Société de
droit suisse.

⑦④ **Mandataire(s)** : REGIMBEAU.

⑤④ **Procédé de préparation d'une structure étanche à base de sol stabilisé.**

⑤⑦ La présente invention concerne un procédé de stabili-
sation et d'imperméabilisation de sol par la préparation
d'une structure étanche à base de sol stabilisé, dans lequel
la structure consiste en une ou plusieurs couches d'un sol
stabilisé.

FR 3 143 621 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de préparation d'une structure étanche à base de sol stabilisé

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne un procédé de stabilisation et d'imperméabilisation de sol par la préparation d'une structure étanche à base de sol stabilisé, dans lequel la structure consiste en une ou plusieurs couches d'un sol stabilisé.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Dans le domaine de la construction, un sol stable et rigide est nécessaire dans certaines applications, telles que le pavage, la construction, les structures de circulation, les remblais, l'arasement ou les parties supérieures de terrassement, les plateformes, de couche de forme, d'assise de chaussée ou encore de pistes de chantier, d'ouvrage hydraulique tels que canaux, barrages, bassins de rétention, bassins à résidus. Pour ce faire, il convient alors de stabiliser le sol se trouvant au niveau de la zone de construction. Cette stabilisation peut être réalisée en combinant du ciment avec le sol. Les combinaisons de ciment et de sol sont appelées, entre autres, ciment de sol, base traitée au ciment, sol stabilisé au ciment et sol traité au ciment. La création d'un sol stabilisé au ciment implique l'ajout de quantités spécifiques de ciment par unité de sol. Le sol est ensuite malaxé, humidifié si nécessaire puis re-malaxé, nivelé et compacté pour répondre aux exigences spécifiées dans les plans et dessins du chantier. Au cours du temps, les sols ainsi traités au ciment durcissent et gagnent en résistance et en rigidité.

[0003] Lorsque l'on désire assurer l'étanchéité de la structure à base de ce sol stabilisé, une couche supplémentaire étanche est ajoutée. Cette couche de surface est généralement préparée en utilisant de la bentonite, argile naturelle de type smectite à haut pouvoir de gonflement qui permet d'obtenir une parfaite et pérenne étanchéité des sols.

[0004] Ainsi, une structure étanche à base de sol stabilisé comprend :

- une couche qui fournit la résistance mécanique recherchée, généralement un mélange de sol, typiquement de terre, et d'un liant minéral ;
- une couche d'étanchéité qui peut être constituée :
 - d'un mélange de sol, typiquement de terre et de bentonite, d'épaisseur généralement d'environ 30 cm ; ou
 - d'une couche imperméable bitumineuse ; ou
 - d'une membrane d'étanchéité ; ou
 - un mélange de l'ensemble de ces solutions.

[0005] Aucune exigence en termes d'imperméabilité n'est attendue de la couche de sol

stabilisé. Aucune exigence en termes de résistance mécanique n'est attendue de la couche d'étanchéité

- [0006] Une telle approche est complexe en raison du fait que deux couches sont nécessaires pour le dispositif complet d'étanchéité. Par ailleurs, le mélange de sol et de bentonite est souvent collant, difficile à manipuler et à compacter. Il est en outre très sensible aux aléas météorologiques (type pluies modérées et ou intenses) ce qui rend le site potentiellement inaccessible durant plusieurs jours pour les engins de chantier. Enfin, les solutions de membrane ou de bitume nécessitent de mettre en œuvre, séquentiellement, deux ateliers distincts : un pour le traitement du sol, puis un autre pour la solution d'étanchéité
- [0007] La présente invention cherche à surmonter ces inconvénients en fournissant un sol stabilisé ayant à la fois des propriétés d'imperméabilisation et des performances mécaniques. Ces performances sont avantageusement obtenues à court, moyen et long terme. L'invention fournit une méthode simple de stabilisation du sol, dans laquelle un sol stabilisé peut être utilisé en tant que seul constituant d'un dispositif d'étanchéité. L'invention fournit une solution d'imperméabilisation structurelle.
- [0008] En fonction de l'application pour laquelle la structure étanche à base de sol stabilisé est destinée, elle pourra être en contact avec l'air extérieur, de l'eau ou encore une couche supérieure pouvant ou non être une couche de surface. A titre d'exemple, ces applications peuvent être le pavage, la construction, les structures de circulation, les remblais, les arasés ou les parties supérieures de terrassement, les plateformes, de couche de forme, d'assise de chaussée ou encore de pistes de chantier, d'ouvrage hydraulique tels que canaux, barrages, bassins de rétention, bassins à résidus.
- [0009] La présente invention présente les avantages suivants :
- facilité et simplicité de mise en œuvre ;
 - économie de matières premières / sols ;
 - réduction du coût de la construction du fait d'une opération de traitement en moins ;
 - réduction du nombre de couches de la structure finale.

Résumé de l'invention

- [0010] L'invention a pour objet un procédé de préparation d'une structure étanche, ayant une résistance mécanique, à base de sol stabilisé, dans lequel la structure consiste en une ou plusieurs couches, avantageusement une couche, d'un sol stabilisé, comprenant les étapes suivantes :
- (i) mélanger, en poids par rapport au poids total du sol stabilisé :
 - de 70% à 99% de sol à stabiliser ;
 - de 1% à 30% en poids d'une composition stabilisante ;
- la composition stabilisante comprenant :

- un liant hydraulique routier tel que défini dans la norme NF EN 13282-1:2014 ou NF EN 13282-2 :2014;
 - un additif hydrofuge sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un poly-siloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges ;
 - optionnellement un ou plusieurs additif(s) sélectionné dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau, et leurs mélanges ;
- (ii) compacter le sol stabilisé issu de l'étape (i).

- [0011] Avantageusement, la couche de sol stabilisé obtenue a une résistance à la compression à 28 jours, déterminée selon la norme NF EN 13286-41:2003, supérieure à 0,3 MPa.
- [0012] Avantageusement, la couche de sol stabilisé obtenue a une perméabilité, déterminée selon la norme NF EN ISO 17892-11 :2019, inférieure à 2.10^{-9} m.s⁻¹.
- [0013] Avantageusement, la composition comprend à titre de liant hydraulique routier un liant comprenant au moins 10% en poids de chaux, par rapport au poids total du liant.
- [0014] Avantageusement, la composition comprend à titre de liant hydraulique routier un liant comprenant au moins 30% en poids de clinker Portland, par rapport au poids total du liant.
- [0015] Le sol à stabiliser peut être sélectionné dans le groupe constitué par un sol de classe A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1Ai, C1Bi, C2Ai, C2Bi, D1, D2, D3 et un de leurs mélanges selon la classification des sols GTR norme NF – P11-300 1992.
- [0016] Avantageusement, lors de l'étape (i), le mélange de 1% à 20% en poids, de préférence de 2% à 10% en poids, par rapport au poids total du sol sec stabilisé, de la composition stabilisante avec le sol à stabiliser.
- [0017] Avantageusement, le sol stabilisé obtenu comprend, outre les composants du sol de départ, en poids par rapport au poids total du sol sec stabilisé
- de 0,5% à 8% de liant hydraulique routier,
 - de 0,005% à 1 % de l'additif hydrofuge,
 - de 0% à 1%, de préférence de 0% à 0,8% d'additif défloculant des argiles,
 - de 0 à 10%, de préférence de 1% à 4% de bentonite,
 - de 0 à 5%, de préférence de 0,1% à 4% d'un agent réducteur d'eau.
- [0018] Avantageusement, préalablement à l'étape (i) le sol est humidifié pour atteindre une teneur en eau allant de 2% à 40% en poids par rapport au poids sec du sol à stabiliser.
- [0019] Avantageusement, l'étape (ii) de compactage permet d'atteindre une densification de plus de 90% de la densité sèche maximale déterminée selon NF EN 13286-2 :2010.
- [0020] Avantageusement, chaque couche de sol stabilisé a une épaisseur inférieure à 45 cm, de préférence allant de 20 cm à 40 cm.
- [0021] Avantageusement, la structure est une couche de revêtement ou un remblai.
- [0022] L'invention a également pour objet l'utilisation d'une composition comprenant :

- un liant hydraulique routier tel que défini dans la norme NF EN 13282-1 :2014 ou NF EN 13282-2 :2014 ,
 - un additif hydrofuge sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un poly-siloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges ;
 - optionnellement un ou plusieurs additif(s) sélectionné dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau et leurs mélanges ;
- pour la préparation d'un sol stabilisé ayant à la fois des propriétés d'imperméabilisation et des performances mécaniques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0023] Les différents modes de réalisation présentés dans l'ensemble de la description peuvent être utilisés seuls ou en combinaison les uns avec les autres, sans limitation de combinaison.
- [0024] La présente invention concerne un procédé de préparation d'une structure étanche à base de sol stabilisé, dans lequel la structure consiste en une ou plusieurs couches, avantageusement une couche, d'un sol stabilisé, comprenant les étapes suivantes :
- (i) mélanger, en poids par rapport au poids total du sol sec stabilisé :
 - de 70% à 99% de sol à stabiliser ;
 - de 1% à 30% en poids d'une composition stabilisante ;
 la composition stabilisante comprenant :
 - un liant hydraulique routier (LHR) tel que défini dans la norme NF EN 13282-1:2014 ou NF EN 13282-2:2014 ;
 - un additif hydrofuge sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un poly-siloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges ;
 - optionnellement un ou plusieurs additif(s) sélectionné dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau et leurs mélanges ;
 - (ii) compacter le sol stabilisé issu de l'étape (i).
- [0025] Les termes « sol à stabiliser » désigne le sol destiné à être utilisé pour préparer la structure étanche par sa mise en contact avec le LHR, l'additif hydrofuge et éventuellement un ou plusieurs additifs optionnels.
- [0026] Les termes « sol stabilisé » désigne le sol constituant la structure étanche qui a été mis en contact avec le LHR, l'additif hydrofuge et éventuellement d'un ou plusieurs additifs optionnels. Le sol stabilisé selon l'invention a une résistance à la compression et une étanchéité améliorées par rapport au sol à stabiliser. A titre illustratif, la couche de sol stabilisé obtenue a une résistance à la compression à 28 jours, déterminée selon la norme NF EN 13286-41:2003, supérieure à 0,3 MPa et une perméabilité, déterminée selon la norme NF EN ISO 17892-11:2019, inférieure à 2.10^{-9} m.s⁻¹.
- [0027] Par l'expression "couche de sol stabilisé", il faut entendre une couche comportant le

mélange et/ou le produit de réaction in situ des différents constituants utilisés, certains de ces constituants pouvant réagir et/ou étant destinés à réagir entre eux, au moins partiellement, lors des différentes étapes de préparation de la couche. De par les propriétés mécaniques et d'étanchéités améliorées de la couche de sol stabilisé, la couche supérieure d'étanchéité utilisée dans les méthodes conventionnelles n'est plus nécessaire.

[0028] La couche de sol stabilisé selon la présente invention a avantageusement une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 0,5 MPa, de préférence supérieure à 1,0 MPa, de préférence supérieure à 1,2 MPa, de préférence supérieure à 1,4 MPa, de préférence supérieure à 1,6 MPa, de manière préférée supérieure à 1,8 MPa et préférentiellement supérieure à 2,0 MPa. La résistance à la compression de la couche est mesurée selon la norme NF EN 13286-41:2003.

[0029] La couche de sol stabilisé selon la présente invention a typiquement une perméabilité inférieure à $2 \cdot 10^{-9}$ m.s⁻¹, de préférence inférieure à $1 \cdot 10^{-9}$ m.s⁻¹, de préférence inférieure à $5 \cdot 10^{-10}$ m.s⁻¹ et de manière préférée inférieure à $1,0 \cdot 10^{-10}$ m.s⁻¹. La perméabilité de la couche est mesurée selon la norme NF EN ISO 17892-11:2019.

Sol à stabiliser

[0030] Le sol à stabiliser peut être tout type de sol. Le sol à stabiliser est généralement composé d'un mélange de matériaux naturels, artificiels, des déchets et des matériaux recyclés. Avantageusement, le sol à stabiliser est sélectionné dans le groupe constitué par un sol de classe A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1Ai, C1Bi, C2Ai, C2Bi, D1, D2, D3 et un de leurs mélanges selon la classification des sols GTR norme NF – P11-300 1992.

[0031] Le procédé peut comprendre une étape d'humidification du sol à stabiliser. En effet, le sol a généralement une teneur en humidité optimale, évaluée à l'aide de l'essai Proctor normal selon la norme NF EN 13286-2:2010. La teneur en eau de mise en œuvre peut être différente de la teneur en eau optimale, de l'ordre de -2% à +4% par rapport à teneur en eau à l'optimum et ceci en fonction du type de sol et du liant de traitement exprimé par rapport au poids sec du matériau considéré (sol seul ou sol+ciment).

[0032] Ainsi, avantageusement, préalablement à l'étape (i) le sol est humidifié pour atteindre une teneur en eau allant de 2% à 40% en poids par rapport au poids sec du sol à stabiliser.

[0033] De préférence, lors de l'étape (i), on mélange de 80% à 99% en poids, de préférence de 85% à 98% en poids, de manière préférée de 90% à 96% en poids, par rapport au poids total du sol sec stabilisé, de sol à stabiliser avec de la composition stabilisante.

[0034] Ainsi, dans la couche à base de sol stabilisé, le sol sec représente de 70% à 99% en poids par rapport au poids de la couche étanche, de préférence de 80% à 99%, de préférence de 85% à 98%, et de manière préférée de 90% à 96% en poids par rapport

au poids total de la couche étanche.

Composition stabilisante

- [0035] Dans l'invention, on utilise une combinaison d'un liant hydraulique routier et d'au moins un additif hydrofuge. On appelle cette combinaison « la composition stabilisante ». Il convient toutefois de noter que le liant et le ou les additifs peuvent être ajoutés séparément. Ainsi, les composants de la composition stabilisante ne sont pas nécessairement pré-mélangés avec leur mélange avec le sol à stabiliser.
- [0036] Avantageusement, la composition stabilisante, de préférence dans les proportions adaptées aux proportions ci-dessus, peut se présenter sous la forme de kit de préparation avec ou sans prémélange de liant, d'additif hydrofuge et éventuellement d'un ou plusieurs additifs optionnels.
- [0037] De préférence, lors de l'étape (i), on mélange de 1% à 20% en poids, de préférence de 2% à 15% en poids, de manière préférée de 4% à 10% en poids, par rapport au poids total du sol sec stabilisé, de la composition stabilisante avec le sol à stabiliser.
- [0038] Liant hydraulique routier (encore appelé liant ou LHR)
- [0039] Un LHR est défini soit dans la norme NF EN 13282-1:2014, soit dans la norme et NF EN 13282-2:2015.
- [0040] Un LHR comprend des constituants principaux dont la proportion excède 10% en poids et qui sont choisis parmi :
- [0041] a) les constituants décrits dans la norme ciment NF EN 197-1:2012 ou la norme NF EN 197-5:2021;
- b) la chaux.
- [0042] Un liant selon l'invention est également tout liant obtenu par mélange de clinker Portland avec l'un quelconque des composants décrits dans la norme sur les liants hydrauliques routiers (NF EN 13282-1 et NF EN 13282-2).
- [0043] De manière optionnelle, le liant comprend au moins 10% en poids de chaux, par rapport au poids total du liant. Plus avantageusement, le liant comprend de 10% à 40% en poids de chaux, par rapport au poids total du liant.
- [0044] La chaux peut être de l'oxyde de calcium, de l'hydroxyde de calcium, de l'oxyde de magnésium, de l'hydroxyde de magnésium ou des mélanges de ceux-ci.
- [0045] Avantageusement, le liant comprend au moins 30% en poids de clinker Portland, par rapport au poids total du liant. Plus avantageusement, le liant comprend de 30% à 90% en poids de clinker Portland, plus avantageusement de 40% à 70% en poids par rapport au poids total du liant.
- [0046] Le liant peut également comprendre du laitier de haut fourneau, avantageusement en une teneur allant de 10% en poids à 50% en poids, et préférentiellement de 10% en poids à 30% en poids.
- [0047] Le liant peut également comprendre des cendres volantes, en particulier des cendres

volantes siliceuses, avantageusement en une teneur allant de 5% en poids à 40% en poids, préférentiellement de 10% en poids à 25% en poids.

[0048] Le liant peut comprendre des constituants secondaires, ne dépassant pas chacun 10% en poids, tel que définis dans la norme NF EN 13282-1:2014.

[0049] Tel qu'indiqué dans les normes, à ces constituants principaux et secondaires, on peut ajouter du sulfate de calcium.

[0050] On appelle également « ciment » les constituants principaux décrits dans la norme ciment NF EN 197-1:2012 présents dans le liant.

[0051] De préférence, la teneur en liant dans le sol stabilisé, c'est-à-dire à l'issue de l'étape (i), va de 1 % à 29,95% en poids, de préférence de 1 % à 20 % en poids et plus préférentiellement de 2 % à 10 % en poids par rapport au poids de sol sec stabilisé.

Additif hydrofuge

[0052] L'additif hydrofuge est sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un polysiloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges.

[0053] Les polysiloxanes peuvent être des dérivés polysiloxanes représentés par la formule générale (I) suivante $(R_2SiO)_n$ dans laquelle n est un entier compris entre 1 et 70 ; R, identique ou différent, est sélectionné dans le groupe constitué par les groupes : C1-C20 alkyle, C1-C20 alcoxy, C1-C20 hydroxyalkyle, C1-C20 aminoalkyle, C1-C20 haloalkyle, C7-C20 aralkyle, C6-C20 aryle groupes ou un dérivé de ces groupes. De préférence, R est choisi dans le groupe constitué par les groupes alkyle en C1-C12, alcoxy en C1-C12, hydroxyalkyle en C1-C12, aminoalkyle en C1-C12, haloalkyle en C1-C12, aralkyle en C7-C14 et aryle en C6-C12. Dans l'invention, le nombre de carbones est noté CXX à CYY ou CXX-CYY. Par exemple, un alkyle en C1-C20 ou en C1 à C20 signifie un alkyle ayant un nombre de carbone compris entre 1 et 20.

[0054] Le composé de type silane peut être un dérivé d'alcoxysilane représenté par la formule générale (II) suivante : $R^1_nSi(OR^2)_{4-n}$ dans laquelle n est égal à 1, 2 ou 3 ; R¹, identique ou différent, est un groupe alkyle en C1-C20, alcoxy en C1-C20, alcényle en C2-C20, aryle en C6-C20, aralkyle en C7-C20 ou un dérivé de ces groupes, et les substituants R¹ dans une molécule peuvent être tous identiques ou différents ; R² est un groupe alkyle en C1-C20, de préférence un groupe alkyle en C1-C6 . De préférence, R¹ est choisi dans le groupe constitué par les groupes alkyle en C1-C12, alcoxy en C1-C12, hydroxyalkyle en C1-C12, aminoalkyle en C1-C12, haloalkyle en C1-C12, aralkyle en C7-C14 et aryle en C6-C12.

[0055] Le composé de type silane peut également être tout composé portant une ou plusieurs fonctions silane de formule générale (III) *- $R^1_nSi(OR^2)_{4-n}$ dans laquelle * représente le point de liaison au composé et n, R¹ et R² sont tels que définis précédemment pour la formule générale (II). A titre d'exemple, on peut citer les tris(alcoxysilane)isocyanurate, tel que le tris(3-(triméthoxysilyl)propoyl)isocyanurate.

- [0056] Le silane et le polysiloxane peuvent être choisis dans le groupe constitué par l'isobutylméthoxysilane, le polydiméthylsiloxane, le polydiméthylsiloxane à fonction amino, l'aminoéthylaminopropyltriméthoxysilane, octyltriéthoxysilane, iso-octyltriéthoxysilane, octyltriméthoxysilane, iso-octyltriméthoxysilane, silicone de potassium, silicone de sodium, méthylsiliconate de potassium, les tris(alcoxysilane)isocyanurate, tel que le tris(3-(triméthoxysilyl)propoyl)isocyanurate et leurs mélanges. De préférence, le silane et le siloxane peuvent être choisis dans le groupe constitué par le polydiméthylsiloxane, l'octyltriéthoxysilane, l'iso-octyltriéthoxysilane, l'octyltriméthoxysilane, l'iso-octyltriméthoxysilane, le méthylsiliconate de potassium, les tris(alcoxysilane)isocyanurate, tel que le tris(3-(triméthoxysilyl)propoyl)isocyanurate et leurs mélanges.
- [0057] Le sel d'acide gras peut être un composé répondant à la formule R^3COOH dans laquelle R^3 est un alkyle linéaire ou ramifié comprenant un nombre de carbone allant de C15 à C48, de préférence de C18 à C45, de préférence de C20 à C40, et plus préférentiellement de C24 à C36. De préférence, R^3 est un alkyle linéaire. Avantagement, l'acide gras est un sel de zinc, de sodium, de calcium, de magnésium, de manganèse, de cuivre ou un mélange de ceux-ci. Dans un mode de réalisation préféré, le sel d'acide gras est sélectionné dans le groupe constitué par un sel de stéarate, de préférence sélectionné dans le groupe constitué par le stéarate de sodium, le stéarate de calcium et un mélange de ceux-ci.
- [0058] De préférence, l'additif hydrofuge est sélectionné dans le groupe constitué par le stéarate de calcium, le polydiméthylsiloxane, l'octyltriéthoxysilane, l'iso-octyltriéthoxysilane, l'octyltriméthoxysilane, l'iso-octyltriméthoxysilane, le méthylsiliconate de potassium, les tris(alcoxysilane)isocyanurate, tel que le tris(3-(triméthoxysilyl)propoyl)isocyanurate et leurs mélanges.
- [0059] De préférence, lors de l'étape (i), la teneur en additif hydrofuge ajouté va de 0,05% à 10% en poids, de préférence de 0,1% à 6% en poids et plus préférentiellement de 0,2% à 5% en poids par rapport au poids de ciment.
- [0060] Avantagement, l'additif hydrofuge est un silane, qui est ajouté en une teneur allant de 0,1% à 5% en poids par rapport au poids de ciment.
- [0061] Avantagement, l'additif hydrofuge est un polysiloxane, qui ajouté en une teneur allant de 0,1% à 5% en poids par rapport au poids de ciment.
- [0062] Avantagement, l'additif hydrofuge est un sel d'acide gras, qui ajouté en une teneur allant de 0,1% à 7% en poids par rapport au poids de ciment.
- [0063] L'additif hydrofuge peut être ajouté à l'état sec ou à l'état liquide. Pour l'additif hydrofuge à l'état liquide, la teneur est exprimée en % en poids du contenu solide dans le mélange liquide par rapport au poids total du ciment. De préférence, l'additif hydrofuge est à l'état liquide avec une teneur en additif solide comprise entre 10 et 70

% en poids, de préférence entre 30 et 60 % en poids.

Additifs optionnels

- [0064] La composition stabilisante peut également comprendre un ou plusieurs additif(s) sélectionné(s) dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau, et leurs mélanges.
- [0065] De préférence, la teneur en bentonite va de 0% à 10% en poids, de préférence de 1% à 4% en poids et de manière préférée de 2% à 4% en poids, par rapport au poids total de sol sec stabilisé.
- [0066] L'additif défloculant des argiles peut être sélectionné dans le groupe constitué par les phosphates de sodium ou de potassium, les silicates de sodium ou de potassium, et leurs mélanges. De préférence, l'additif défloculant est le sodium hexametaphosphate. De préférence, la teneur en additif défloculant va de 0% à 1% en poids, de préférence de 0,01% à 1% en poids et de manière préférée de 0,01% à 0,8% en poids, par rapport au poids total du sol sec stabilisé.
- [0067] L'agent réducteur d'eau peut être sélectionné dans le groupe constitué par un plastifiant, un superplastifiant et un de leurs mélanges.
- [0068] Le terme "superplastifiant" tel qu'utilisé dans la présente description et les revendications qui l'accompagnent est à comprendre comme incluant à la fois les réducteurs d'eau et les superplastifiants tels que décrits dans le livre intitulé « Concrete Admixtures Handbook, Properties Science and Technology », V.S. Ramachandran, Noyes Publications, 1984.
- [0069] Les réducteurs d'eau incluent, par exemple les lignosulfonates, les acides hydroxycarboxyliques, les glucides et d'autres composés organiques spécialisés, par exemple le glycérol, l'alcool polyvinylique, l'alumino-méthyl-siliconate de sodium, l'acide sulfanilique et la caséine.
- [0070] Les superplastifiants appartiennent à une nouvelle classe de réducteurs d'eau, chimiquement différents des réducteurs d'eau normaux et capables de réduire les quantités d'eau d'environ 30 %. Les superplastifiants ont été globalement classés en quatre groupes : les condensats sulfonés de naphthalène formaldéhyde (SNF) (généralement un sel de sodium) ; les condensats sulfonés de mélamine formaldéhyde (SMF) ; les lignosulfonates modifiés (MLS) ; et les autres. Des superplastifiants plus récents incluent des composés polycarboxyliques comme les polycarboxylates, par exemple les polyacrylates. Un superplastifiant est de préférence un superplastifiant nouvelle génération, par exemple un copolymère contenant un polyéthylène glycol comme chaîne greffée et des fonctions carboxyliques dans la chaîne principale comme un éther polycarboxylique. Les polycarboxylates-polysulfonates de sodium et les polyacrylates de sodium peuvent aussi être utilisés. Des dérivés d'acide phosphonique peuvent aussi être utilisés.

- [0071] De préférence, l'agent réducteur d'eau est un polymère de polynaphtalène sulfonate, un polycarboxylate, un polyméla mine sulfonate ou un de leurs mélanges.
- [0072] De préférence, la teneur en agent réducteur d'eau va de 0% à 5% en poids, de préférence de 0,1% à 4% en poids, de manière préférée de 0,2% à 3% en poids, par rapport au poids total de sol sec stabilisé.
- [0073] Avantageusement, le sol stabilisé obtenu comprend, outre les composants du sol de départ, en poids par rapport au poids total du sol sec stabilisé
- de 0,5% à 8% de liant hydraulique routier,
 - de 0,005% à 1 % de l'additif hydrofuge,
 - de 0% à 1%, de préférence de 0% à 0.8% d'additif défloculant des argiles,
 - de 0% à 10%, de préférence de 1% à 4% de bentonite,
 - de 0% à 5%, de préférence de 0,1% à 4% d'un agent réducteur d'eau.

Caractéristiques de procédé chantier

- [0074] La structure étanche est préparée par un procédé comprenant les étapes suivantes :
- (i) mélanger le sol à stabiliser et la composition stabilisante, qui sont tels que précédemment décrits ; puis
 - (ii) compacter le sol stabilisé issu de l'étape (i).
- [0075] Tel que déjà indiqué, lors de l'étape (i) on peut ajouter une composition comprenant le liant et le(s) additif(s) pré-mélangés ou chaque constituant de la composition stabilisante peut être ajouté de manière séparée, simultanément ou étalé dans le temps. Pour le liant, on pourrait envisager d'ajouter de manière séparée le ciment et la chaux.
- [0076] L'étape de mélange peut être réalisée par toutes méthodes connues de l'homme du métier permettant l'obtention d'une monocouche homogène. Avantageusement, lors de l'étape (i) le mélange est réalisé à l'aide d'un malaxeur type pulvimixeur.
- [0077] Lors de l'étape (ii), le compactage est avantageusement un compactage mécanique.
- [0078] Le compactage peut être réalisé pour réduire l'épaisseur de la monocouche d'au moins 10%, de préférence d'au moins 15%, de préférence d'au moins 20% et de manière préférée de 20 à 25%.
- [0079] L'étape (ii) de compactage permet avantageusement d'atteindre une densification de plus de 90% de la densité sèche maximale déterminée selon la NF P 94-093:2014 ou NF EN 13286-2:2010.
- [0080] De l'eau peut être ajoutée lors de l'étape (i), afin d'atteindre les paramètres optimaux de compactage du sol et également de permettre l'hydratation du ciment. Avantageusement, préalablement à l'étape (i) le sol est humidifié pour atteindre une teneur en eau allant de -2% à +4% par rapport à la teneur en eau optimale du sol à stabiliser.
- [0081] Le procédé peut comprendre les étapes suivantes :
- (i-2) Ajout de l'eau pour atteindre une teneur en eau cible (en plusieurs étapes si nécessaire)

(i-1) Épandage du liant et de(s) additif(s), puis

(i) mélange préférentiellement à l'aide d'un malaxeur du type pulvimixer,

(ii) compactage mécanique.

[0082] L'étape (ii) de compactage mécanique permet avantageusement d'atteindre la densification : 97% de la MDD (Maximum Dry Density).

[0083] L'étape (ii) est avantageusement réalisée en procédant aux étapes suivantes :

(a) pré-réglage de la surface avec une niveleuse par exemple puis

(b) compactage mécanique, à l'aide de divers types de compacteurs (pied de mouton, compacteur pneumatique et compacteur à rouleau) ;

(c) un dernier réglage de la surface est généralement nécessaire afin d'atteindre la côte finale et un état de surface satisfaisant.

[0084] Ce procédé est avantageusement mis en œuvre sur un sol à stabiliser prêt, c'est-à-dire un sol dans lequel les gros éléments ont été enlevés et qui a avantageusement été scarifié.

[0085] Ce procédé est particulièrement adapté lorsque la structure étanche est une couche de forme.

[0086] La couche de sol stabilisé obtenue suite à l'étape (ii) a une épaisseur inférieure à 45 cm, de préférence allant de 20 cm à 40 cm.

[0087] La structure étanche est avantageusement constituée d'une ou deux couches de sol stabilisé. Lorsque la structure étanche comprend plus d'une couche de sol stabilisé, alors, suite à l'étape (ii), les étapes (i) et (ii) sont répétées.

[0088] La structure étanche peut ensuite être en contact avec l'air extérieur, de l'eau ou encore une couche supérieure pouvant ou non être une couche de surface. A titre d'exemple en fonction de ces applications, une telle structure pourra être destinée au pavage, à la construction, aux structures de circulation, aux remblais, aux arases ou aux parties supérieures de terrassement, aux plateformes, aux couches de forme, aux assises de chaussée ou encore de pistes de chantier, aux ouvrages hydrauliques tels que canaux, barrages, bassins de rétention, bassins à résidus.

[0089] L'invention concerne également l'utilisation d'un sol stabilisé selon l'invention pour une structure de construction, de préférence la construction de routes, de bâtiments, d'ouvrages hydrauliques tels que canaux, barrages, bassins de rétention, bassins à résidus.

[0090] Avantageusement, le procédé ne comprend pas d'étape d'ajout d'une couche d'étanchéité de quelque nature que ce soit. En effet, la structure combine des propriétés d'imperméabilité et structurelles.

[0091] Ainsi, selon l'invention, on utilise une composition comprenant :

- un liant hydraulique routier tel que défini précédemment ;
- un additif hydrofuge tel que défini précédemment ;

- optionnellement un ou plusieurs additif(s) tel(s) que défini(s) précédemment ;
pour la préparation d'un sol stabilisé ayant à la fois des propriétés
d'imperméabilisation et des performances mécaniques.

[0092] Le sol stabilisé peut ainsi être utilisé en tant que seul constituant d'un dispositif d'étanchéité d'une structure.

[0093] Avantageusement, le dispositif d'étanchéité consiste en au moins une couche de sol stabilisé.

MÉTHODES DE MESURE

Evaluation de la résistance mécanique :

[0094] La résistance à la compression à 28 jours est déterminée selon la norme NF EN 13286-41 de Juillet 2003.

Évaluation de la perméabilité :

[0095] L'évaluation est réalisée selon la norme NF EN ISO 17892-11. Deux éprouvettes issues du même mélange sont testées. La perméabilité est calculée selon la norme précédente et exprimée en vitesse d'écoulement en m.s-1.

[0096] La perméabilité à l'eau est mesurée à l'aide d'œdomètre. La norme suivie pour les essais en laboratoire est : NF EN ISO 17892-11:2019.

EXEMPLES

[0097] Les exemples suivants, non-restrictifs, illustrent des exemples de réalisation de l'invention.

Matériaux

[0098] Le sol à stabiliser est un sol limoneux classé A2 selon la classification des sols GTR norme NF – P11-300 1992.

[0099] Le liant hydraulique routier (LHR) a la formulation suivante :

- 100 parties en poids de constituants principaux et secondaires du liant hydraulique routier (LHR) au sens de la norme NF EN 13282-1:2014 comprenant en poids par rapport au poids total des constituants principaux et secondaires :
 - 39% de clinker Portland (K)
 - 15% de laitier de haut-fourneau (S)
 - 21% de chaux (oxyde de calcaire) (CL)
 - 15% de cendres volantes siliceuses (V ou Va)
 - 10% en poids de constituants secondaires au sens de la norme NF EN 13282-1:2014
 - 2 parties en poids de sulfate de calcium ;

[0100] Outre ce LHR, on ajoute au sol à stabiliser :

- additif hydrofuge choisi parmi le calcium stéarate et le silane (Silquest® A-Link 597 fourni par Momentive) selon les quantités données dans le Tableau 1 ci-après ;
- du sodium hexametaphosphate selon les quantités données dans le Tableau 1 ci-

après.

- [0101] Les formulations comparatives sont réalisées avec de la bentonite seule ou en mélange avec de la chaux hydratée ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dans les proportions données dans le Tableau 1 ci-après.

Méthodes d'essai en laboratoire

- [0102] Étapes successives du protocole d'essai :
1. Dans un malaxeur à couteaux, mélanger le sol à stabiliser.
 2. Humidification du sol à stabiliser par ajout d'eau dans le malaxeur pour atteindre une teneur en eau de 19% en poids par rapport au poids sec du sol. Mélanger 2 minutes.
 3. Le cas échéant, ajout dans le malaxeur des additifs. Mélanger 3 minutes.
 4. compactage pour atteindre une densification de 97% de la densité sèche maximale déterminée selon NF EN 13286-2:2010 ou NF P 94-093:2014.
- [0103] Pour ces essais, des éprouvettes sont préparées pour l'évaluation des résistances mécaniques et pour les essais de perméabilité.
- [0104] Ainsi, pour les essais de perméabilité, le sol traité est compacté à l'aide d'un moule spécial dans un petit anneau inoxydable (70 mm de diamètre et 20 mm d'épaisseur) à l'aide d'un dispositif de presse en mode de compression statique. Après le compactage, l'anneau inoxydable avec le sol traité est arasé sur les deux faces à l'aide d'une règle métallique. Puis, l'échantillon est pesé et placé dans un sac plastique hermétique pendant 24 heures dans une enceinte climatique régulée à 20°C et 95% d'humidité relative.
- [0105] Pour l'évaluation des résistances mécaniques, le même protocole est suivi mais un moule standardisé est utilisé (la norme NF EN 13286-53). La taille des échantillons est de 50 mm de diamètre et de 100 mm de hauteur. Puis, l'échantillon est pesé et placé dans un sac plastique hermétique pendant 28 jours dans une enceinte climatique régulée à 20°C et 95% d'humidité relative.

Résultats

- [0106] Différentes éprouvettes sont préparées avec les formulations présentées dans le tableau ci-dessous.
- [0107] FR : éprouvette de référence comprenant uniquement le sol à stabiliser
- [0108] FT : éprouvette témoin comprenant le sol à stabiliser et le LHR
- [0109] FC1 : éprouvette comparative comprenant le sol à stabiliser et de la bentonite
- [0110] FC2 : éprouvette comparative comprenant le sol à stabiliser, de la bentonite et de la chaux
- [0111] FI1 à FI4 : éprouvettes selon l'invention

[0112] [Tableaux1]

Formulation (% poids du sol stabilisé)	FR	FT	FC1	FC2	FI1	FI2	FI3	FI4
Sol à stabiliser	100	96,15	96,15	95,24	96,15	96,15	96,15	96,15
LHR	-	3,85	-	-	3,73	3,62	3,81	3,81
Bentonite	-		3,85	3,81	-	-	-	-
Chaux hydratée	-		-	0,95	-	-	-	-
Calcium stéarate	-		-	-	0,12	0,24	-	-
Silane	-		-	-	-	-	0,04	-
Sodium Hexametapho sphate	-		-	-	-	-	-	0,04
Perméabilité (m.s-1)	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$9,4 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$
Résistance à la com- pression à 28 jours (MPa)	0,06	1,65	0,15	0,32	2,18	2,12	2,12	1,72

[0113] On constate que seule l'utilisation combinée du LHR avec un additif hydrofuge permet d'améliorer significativement la perméabilité et la résistance à la compression du sol à stabiliser. L'ajout directement de bentonite, seul ou en mélange avec de la chaux, dans le sol à stabiliser n'est pas suffisant.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de préparation d'une structure étanche, ayant une résistance mécanique, à base de sol stabilisé, dans lequel la structure consiste en une ou plusieurs couches, avantageusement une couche, d'un sol stabilisé, comprenant les étapes suivantes :
- (i) mélanger, en poids par rapport au poids total du sol stabilisé :
 - de 70% à 99% de sol à stabiliser ;
 - de 1% à 30% en poids d'une composition stabilisante ;
 la composition stabilisante comprenant :
 - un liant hydraulique routier tel que défini dans la norme NF EN 13282-1:2014 ou NF EN 13282-2 :2014 ;
 - un additif hydrofuge sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un polysiloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges ;
 - optionnellement un ou plusieurs additif(s) sélectionné dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau, et leurs mélanges ;
 - (ii) compacter le sol stabilisé issu de l'étape (i).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la couche de sol stabilisé obtenue a une résistance à la compression à 28 jours, déterminée selon la norme NF EN 13286-41:2003, supérieure à 0,3 MPa et une perméabilité, déterminée selon la norme NF EN ISO 17892-11 :2019, inférieure à $2.10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la composition comprend à titre de liant hydraulique routier un liant comprenant au moins 10% en poids de chaux, par rapport au poids total du liant.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la composition comprend à titre de liant hydraulique routier un liant comprenant au moins 30% en poids de clinker Portland, par rapport au poids total du liant.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le sol à stabiliser est sélectionné dans le groupe constitué par un sol de classe A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1Ai, C1Bi, C2Ai, C2Bi, D1, D2, D3 et un de leurs mélanges selon la classification des sols GTR norme NF – P11-300 1992.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant, lors de l'étape (i), le mélange de 1% à 20% en poids, de préférence de 2% à 10% en poids, par rapport au poids total du sol sec

- stabilisé, de la composition stabilisante avec le sol à stabiliser.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le sol stabilisé obtenu comprend, outre les composants du sol de départ, en poids par rapport au poids total du sol sec stabilisé
- de 0,5% à 8% de liant hydraulique routier,
 - de 0,005% à 1 % de l'additif hydrofuge,
 - de 0% à 1%, de préférence de 0% à 0,8% d'additif défloculant des argiles,
 - de 0 à 10%, de préférence de 1% à 4% de bentonite,
 - de 0 à 5%, de préférence de 0,1% à 4% d'un agent réducteur d'eau.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel préalablement à l'étape (i) le sol est humidifié pour atteindre une teneur en eau allant de 2% à 40% en poids par rapport au poids sec du sol à stabiliser.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (ii) de compactage permet d'atteindre une densification de plus de 90% de la densité sèche maximale déterminée selon NF EN 13286-2 :2010.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque couche de sol stabilisé a une épaisseur inférieure à 45 cm, de préférence allant de 20 cm à 40 cm.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la structure est une couche de revêtement ou un remblai.
- [Revendication 12] Utilisation d'une composition comprenant :
- un liant hydraulique routier tel que défini dans la norme NF EN 13282-1 :2014 ou NF EN 13282-2 :2014 ,
 - un additif hydrofuge sélectionné dans le groupe constitué par un silane, un polysiloxane, un sel d'acide gras, et leurs mélanges ;
 - optionnellement un ou plusieurs additif(s) sélectionné dans le groupe constitué par la bentonite, un défloculant des argiles, un agent réducteur d'eau et leurs mélanges ;
- pour la préparation d'un sol stabilisé ayant à la fois des propriétés d'imperméabilisation et des performances mécaniques.

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914495
FR 2213854

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 A	US 4 565 577 A (BURKHARDT RUDOLF [DE] ET AL) 21 janvier 1986 (1986-01-21) * revendications 1,5 * * exemples 1-3 * -----	1-5, 8, 9, 11, 12 6, 7, 10	C09K17/00 C09K17/40 C09K107/00 C09K103/00
A	US 10 793 764 B2 (LAFARGE SA [FR]; HOLCIM TECHNOLOGY LTD [CH]) 6 octobre 2020 (2020-10-06) * le document en entier * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C09K E02D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 juin 2023		Domínguez Gutiérrez	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213854 FA 914495**

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 **21-06-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4565577	A	21-01-1986	AT	37019 T	15-09-1988
			CA	1231519 A	19-01-1988
			DE	3326836 A1	14-02-1985
			DK	363184 A	27-01-1985
			EP	0139838 A1	08-05-1985
			JP	H0455475 B2	03-09-1992
			JP	S6044581 A	09-03-1985
			US	4565577 A	21-01-1986

US 10793764	B2	06-10-2020	AR	104374 A1	19-07-2017
			AU	2016251301 A1	02-11-2017
			BR	112017022199 A2	03-07-2018
			CA	2983361 A1	27-10-2016
			CN	107531570 A	02-01-2018
			CO	2017011905 A2	19-04-2018
			EP	3286155 A1	28-02-2018
			RU	2017138270 A	23-05-2019
			US	2018148628 A1	31-05-2018
			WO	2016170092 A1	27-10-2016
