

TITRE : COMPOSITION CIMENTAIRE POUR LA PROTECTION DE SURFACES CONTRE LA (BIO)CORROSION

5 La présente invention concerne la protection ou réhabilitation des installations soumises à la corrosion acide, notamment la corrosion biogénique.

 La corrosion biogénique est due à des bactéries qui vivent sur les parois émergées et humides et qui transforment le sulfure d'hydrogène (H_2S) provenant des effluents en acide sulfurique qui corrode le béton et le métal des infrastructures. Ainsi
10 de nombreux réseaux et ouvrages d'assainissement sont affectés : dans un réseau d'assainissement, l'activité de ces bactéries acidophiles est capable de corroder et détruire jusqu'à 20 mm de béton par année. La corrosion biogénique/ H_2S peut donc être un sérieux problème pour la durée de vie des ouvrages et entraîner des dépenses lourdes pour leur maintien en état.

15 La protection des infrastructures avec des matériaux résistants aux acides (résines organiques, polymères, matières plastiques, fibre de verre, etc) se révèle également couteuse et insatisfaisante, dans la mesure où ces revêtements n'empêchent pas les bactéries acidophiles de croître et de se multiplier, jusqu'à ce que l'acide sulfurique qu'elles produisent s'infilte dans le revêtement.

20 En réhabilitation, l'utilisation de résines polymère sous terre pose de plus le défi d'obtenir des surfaces suffisamment sèches pour avoir une bonne adhérence et implique des problèmes de sécurité liés à l'utilisation de solvants en milieu confiné.

 JP 2003261372, AU 200213602 et AU 200213630 décrivent des compositions de mortier comprenant un ciment et un granulat, à haute teneur en liant (ciment) par
25 rapport aux granulats. Néanmoins, les compositions décrites dans ces documents présentent l'inconvénient de présenter des défauts de surface (fissuration, poudrage...) si la cure n'est pas réalisée dans les bonnes conditions.

 SewperCoat® commercialisé par Imerys aluminates propose une stratégie de protection ou de réparation à base d'un mortier cimentaire et de granulats, mais là
30 encore à forte teneur en ciment. Cette formulation présente également la spécificité de devoir être appliquée avec une épaisseur minimum de 15 mm, ce qui est beaucoup trop épais pour des structures neuves dont la géométrie a été définie pour obtenir une hydraulicité spécifique.

Il reste donc à identifier de nouvelles compositions, permettant une protection à la corrosion acide, telle que la corrosion biogénique, qui soit fine, présente une bonne adhérence sur tout état de surface y compris les surfaces lisses, résistante et stable, et d'application aisée.

5

Selon un premier objet, la présente invention concerne une composition de mortier pour la protection de surfaces contre la corrosion, ladite composition comprenant :

- un liant hydraulique de type aluminates de calcium ;
- 10 un granulat d'aluminates de calcium ;
- dans laquelle le rapport liant/granulat est inférieur à 0.13 (en poids).

Les compositions selon l'invention présentent avantageusement un effet dit «bactériostatique » qui ralentit drastiquement le développement de l'écosystème des bactéries acidophiles, inhibant la production d'acide à la source même.

15

Contrairement à d'autres matériaux inertes comme l'époxy, le vinyle, le PVC ou le PEHD, les compositions selon l'invention adhèrent non seulement aux surfaces sèches, mais aussi très bien aux surfaces humides, ne sont pas sujet au bullage ni perforations.

20

Par liant hydraulique, on entend un liant qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau. Typiquement, on peut citer comme liant hydraulique convenant à l'invention les ciments alumineux, tels que les ciments SECAR®, notamment SECAR®71 (commercialisé par Imerys aluminates).

25

On entend par « granulat » un assemblage de particules entrant dans la constitution de mortiers ou de bétons, tels que les gravillons et sables, ou les granulats synthétiques. A titre de granulats synthétiques, on entend notamment les granulats issus de procédés de frittage ou de fusion, notamment par concassage ou broyage de clinker d'aluminate de calcium. Typiquement, les granulats convenant à l'invention ont une granulométrie inférieure à 1 mm, typiquement comprise entre 250 et 800 μm . Par exemple, les granulats de l'invention peuvent comprendre au moins 40% en poids d'alumine par rapport au poids du granulat.

30

Selon un mode de réalisation, le terme « corrosion » utilisé ici fait notamment référence à la corrosion induite par un microorganisme telle qu'une bactérie, telle que la corrosion biogénique, et plus particulièrement la corrosion acide liée à H_2S notamment.

5 Ce problème est notamment décrit dans la publication Field investigations of high performance calcium aluminate mortar for wastewater applications (S. Lamberet & All - Calcium Aluminate Cements: Proceedings of the Centenary Conference, Avignon – 2008).

10 La composition de l'invention comprend un rapport liant/granulat inférieur à 0.13 (en poids). Par exemple, la composition de l'invention comprend un rapport liant/granulat inférieur ou égal à 0.12 (en poids). Par exemple la composition de l'invention comprend un rapport liant/granulat inférieur à 0.10 (en poids). Alternativement la composition comprend un rapport liant/granulat inférieur à 0.09 (en poids), par exemple inférieur à 0.08 (en poids).

15

Selon un mode de réalisation, la composition de mortier selon l'invention peut en outre comprendre une source d'alumine soluble à pH 3 dans l'eau.

L'alumine soluble est favorable dans le processus de biodétérioration pour combattre la production d'acide par les microorganismes.

20 On entend ici par « source d'alumine soluble à pH 3 dans l'eau », les ingrédients tels que la bauxite, la bayerite, la boémite, le diaspoire, l'hydrargilite, la nordstrandite, les gels d'alumines, les alumines de transitions ou encore les hydrates d'alumine comme les ingrédients SH 30 et SH 500 (commercialisés par Altéo) par exemple, seuls ou en combinaison notamment pour améliorer la distribution granulométrique de la composition.

25

Selon un mode de réalisation, la teneur totale en alumine, dans la composition est comprise entre 35 et 70%, notamment entre 45 et 65% en poids sec de la composition de mortier.

30 La teneur totale en alumine est notamment basée sur la teneur apportée par le liant hydraulique, le granulat et l'alumine soluble.

Selon un mode de réalisation, la composition de mortier selon l'invention peut également comprendre des fines.

35 On entend par « fines », des éléments de très petites dimensions (généralement un diamètre moyen inférieur à 100 μm , notamment 50 μm), typiquement utilisés soit comme charge de remplissage pour augmenter la compacité notamment d'un béton, soit comme constituant de certains liants hydrauliques. On

peut notamment citer à titre de fines le calcaire, la fumée de silice. A titre de fumées de silice, on peut notamment mentionner les produits RW-Fuller (commercialisé par AMG Silicon), Elkem microsilica 920 (commercialisé par Elkem), Elkem Microsilica 940 (commercialisé par Elkem), Cofermin et MasterRoc MS610. Les fines peuvent être comprises à hauteur de 1 à 5%, typiquement 2-3%, en poids de la composition de mortier.

Selon un mode de réalisation, la composition de mortier peut également comprendre un ou plusieurs additifs. A titre d'additifs, on peut notamment citer les additifs généralement utilisés pour réguler la prise, retenir l'eau, et/ou améliorer les propriétés rhéologiques de la formulation.

A titre d'additif, on peut citer les agents pour réduire la quantité d'eau (tel que REFPAC™ 500 commercialisé par Imerys aluminates) ; les agents acides, tels que l'acide citrique, pour maintenir l'ouvrabilité ; les agents permettant de régler la cinétique de prise tels que le carbonate de lithium (Li_2CO_3) ; les agents pour améliorer la viscosité tels que l'éther de guar, l'éther d'amidon, l'éther de cellulose,

Typiquement, la teneur en additifs dans la composition est comprise entre 0 et 5% en poids sec de la composition, de préférence entre 3 et 4% en poids sec.

Selon un mode de réalisation, la composition de mortier peut également comprendre une ou plusieurs résines. Par résine, on entend tous les polymères en poudre redispersables adaptés au pH des matériaux cimentaires. Par exemple, on peut notamment citer la résine Vinnapas 5044N ou la résine Vinnapas 8031 H de chez Wacker®, la résine Axilat UP 600B ou Axilat HP 8538 de chez Synthomer. La ou les résines peuvent être comprises entre 0,5% et 7% en poids de la composition de mortier, par exemple entre 1 à 4% en poids, de préférence de 1,5 à 3,5% en poids de la composition de mortier. La ou les résines permettent notamment d'obtenir une bonne adhérence de la composition de mortier sur tout état de surface.

Selon un mode de réalisation, la composition de mortier selon l'invention est sous forme d'une préparation sèche, dont la granulométrie est typiquement inférieure à 800 μm .

Le terme « granulométrie » est utilisé ici pour définir la distribution statistique des tailles des particules constituant le granulat ou la composition de l'invention (ou Particle Size Distribution, PSD). La granulométrie peut être mesurée par des méthodes communément utilisées, par diffraction laser ou par tamisage notamment.

Selon un mode de réalisation alternatif, la composition peut se présenter sous forme humide. Dans ce cas, elle comprend typiquement entre 10 et 20% (en poids) d'eau.

5

Selon un mode de réalisation, la composition présente un temps d'ouvrabilité comprise entre 30 minutes et deux heures, typiquement environ une heure.

Généralement, son temps de prise est compris entre 1h et 3h, typiquement environ 2 heures et son temps de durcissement est compris généralement entre 4 et 6 heures.

Selon un autre objet, la présente invention concerne également une couche de protection d'une surface corrodée ou susceptible d'être corrodée, telle que ladite couche comprend la composition de mortier selon l'invention appliquée sur tout ou partie de ladite surface.

Le terme « corrodé » fait ici référence notamment à la corrosion biogénique acide, notamment la corrosion par H_2S .

La « couche de protection » selon l'invention désigne une couche superficielle, afin de modifier les propriétés de la surface sur laquelle elle est déposée. En particulier, la couche de protection a pour objet de protéger la surface de la corrosion, telle que la corrosion biogénique notamment.

Typiquement, ladite couche présente une épaisseur comprise entre 2 et 10 mm, de préférence entre 2 et 4 mm.

Selon un mode de réalisation, la surface peut présenter différents états de surface, de l'état lisse à l'état rugueux.

Les termes « état lisse » et « état rugueux » font référence à l'absence ou présence d'irrégularités et aspérités à la vue ou au toucher d'une surface, ainsi qu'à leur nombre et à leur nature. Ces états de surface sont notamment définis par les profils de surface CSP1-CSP9 tels que définis par les Directives Techniques de l'ICRI (International Concrete Research Institute) « Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, and Polymer Overlays », Guideline 0310.2 (correspondant à la Guideline 03732 de 1997, réapprouvée en 2002).

Selon un mode de réalisation avantageux, la couche selon l'invention adhère sur tout état de surface de béton, par exemple une surface lisse de béton.

Selon un autre objet, la présente invention concerne également un procédé de préparation d'une couche de protection d'une surface corrodée ou susceptible d'être corrodée telle que définie ci-avant, ledit procédé comprenant les étapes de:

- l'application de ladite composition de mortier selon l'invention sur tout ou partie de ladite surface, et
- le durcissement de ladite couche ainsi obtenue.

A titre de surface, on fait notamment référence aux surfaces des structures de réseaux d'assainissement construites en béton

Généralement, l'application de la composition de mortier sur la surface à protéger peut être effectuée par tout moyen, tel que l'application avec une brosse ou la projection. Plus préférentiellement, l'application est réalisée par projection.

Selon un autre objet, la présente invention concerne également une installation d'assainissement comprenant une couche de protection telle que définie ci-avant, sur tout ou partie d'une ou plusieurs surfaces corrodées ou susceptibles d'être corrodées.

Les présents objets et modes de réalisation sont également envisagés :

1. Composition de mortier pour la protection de surfaces contre la corrosion, ladite composition comprenant :

un liant hydraulique de type aluminates de calcium ;
un granulats d'aluminates de calcium ;
dans laquelle le rapport liant/granat est inférieur à 0.1 (en poids).

2. Composition de mortier selon l'objet 1, comprenant en outre une source d'alumine soluble à pH 3 dans l'eau.

3. Composition de mortier selon l'un quelconque des objets précédents, dont la teneur totale en alumine est comprise entre 35 et 70% en poids sec de la composition de mortier.

4. Composition de mortier selon l'un quelconque des objets précédents, telle qu'elle comprend des fines.

5. Composition de mortier selon l'un quelconque des objets précédents, telle qu'elle comprend un ou plusieurs additifs.

6. Composition de mortier selon l'un quelconque des objets précédents, telle que la composition est sous forme d'une préparation sèche dont la granulométrie est inférieure à 800 μm .

7. Composition selon l'un quelconque des objets précédents comprenant en outre 10 à 20% (en poids) d'eau.

7

8. Couche de protection d'une surface corrodée ou susceptible d'être corrodée, ladite couche comprenant la composition de mortier selon l'un des objets 1 à 7 appliquée sur tout ou partie de ladite surface.

9. Couche selon l'objet 8 telle que l'épaisseur de ladite couche est comprise entre 2 et 10 mm.

10. Couche selon l'objet 8 telle que la surface est une surface lisse ou une surface rugueuse.

11. Couche selon l'objet 8 telle que la couche adhère sur tout état de surface de béton, par exemple une surface lisse de béton.

12. Couche selon l'un quelconque des objets 8 à 11, telle que la surface est corrodée ou susceptible d'être corrodée par H_2S .

13. Procédé de préparation d'une couche de protection d'une surface susceptible d'être corrodée selon l'un quelconque des objets 8 à 11 comprenant :

l'application de ladite composition de mortier selon l'une quelconque des revendications sur tout ou partie de ladite surface, et le durcissement de ladite couche ainsi obtenue.

14. Procédé selon l'objet 13, tel que l'application est réalisée par projection.

15. Installation d'assainissement comprenant une couche de protection selon l'un quelconque des objets 8 à 11 sur tout ou partie d'une ou plusieurs surfaces corrodées ou susceptibles d'être corrodées.

Figures

[Fig. 1]La Figure 1 illustre la résistance à l'abrasion de compositions selon l'invention.

[Fig. 2] La Figure 2 illustre les résultats d'adhérence à 8 jours et 28 jours pour la composition 41B-F selon l'invention, sur des surfaces tests de rugosité CSP1.

[Fig.3] La Figure 3 illustre l'observation visuelle du Bloc A (Béton A protégé par le Ciment CEM 1) après 3 et 9 mois.

[Fig.4] La Figure 4 illustre l'observation visuelle du Bloc B (Béton A protégé par la composition 41B-S).

[Fig.5] La Figure 5 illustre l'observation visuelle du Bloc C (Béton A protégé par la composition 41B-F).

[Fig. 6] La Figure 6 illustre l'observation visuelle du Bloc E (Béton E protégé par le ciment 65% GGBFS + 15% de fumée de silice).

[Fig.7] La Figure 7 illustre l'évolution du pH de surface pour les compositions testées en fonction du temps.

Exemples

Matières premières utilisées :

- Secar® 71 : Liant hydraulique commercialisé par Imerys aluminates.
- G1 : granulats synthétiques qui a été obtenu par broyage à partir d'un clinker d'aluminate de calcium issu d'un procédé de fusion. Sa granulométrie est comprise entre 250 et 800 µm.
- G2 : granulats synthétiques qui a été obtenu par broyage à partir d'un clinker d'aluminate de calcium issu d'un procédé de frittage. Sa granulométrie est comprise entre 250 et 800 µm.
- Filler calcaire : permet une neutralisation acide et l'augmentation de la charge granulaire des fines, et donc une maîtrise de la réactivité du liant. De préférence, le ratio filler calcaire/CAC est environ 1.
- Alumines solubles à pH 3 dans l'eau provenant de bauxite, de bayerite, de boémite, de diaspore, d'hydrargilite, de nordstrandite, de gels d'alumines, d'alumines de transitions, ou encore d'hydrates d'alumine. Fumées de silice : telles que Cofermin et MasterRoc MS 610, RW-Fuller (commercialisé par AMG Silicon), Elkem microsilica 920 (commercialisé par Elkem), Elkem Microsilica 940 (commercialisé par Elkem), limitant l'effet de ressuage, généralement utilisé à hauteur de 2-3%.
- REFPAC 500 (commercialisé par Imerys aluminate): Défloculant de fumée de silice apportant également une fonction de réducteur d'eau.
- Acide citrique : permet de maintenir une ouvrabilité supérieure à 30 minutes lorsque la température augmente à 20 / 25°C. Si besoin, un additif peut être ajouté pour maintenir l'ouvrabilité.
- Accélérateur de prise, tel que Li_2CO_3 : permet d'initier la cinétique entre 5 et 20°C.
- Agent texturant, tel que l'amidon, l'éther de cellulose, l'éther de guar (Escal HS 16F commercialisé par Lamberti, ou Esacol HS 20): employé pour améliorer la texture et le collant de la solution lors de l'application.

- Résine telle que définie ci-avant pour améliorer l'adhérence de la composition.

Les granulats G1 et G2 ont la composition chimique suivante :

[Tableau 1]

	G1	G2
Al ₂ O ₃ (% en poids)	33,5 - 43,5	58,0 - 66,0
CaO (% en poids)	35,0 - 40,0	23,0 - 28,0
Fe ₂ O ₃ (% en poids)	14,0 - 18,0	2,0 - 3,0
SiO ₂ (% en poids)	3,0 - 5,0	5,0 - 6,0
MgO (% en poids)	-	0.5 - 1,0
TiO ₂ (% en poids)	-	3,0 - 4,0

5 Les % sont les % en poids par rapport au poids total du granulat.

Modes opératoires :

Granulométrie

10 Les mesures de distribution granulométriques ont été effectuées notamment pour les granulométries inférieures à 100 microns par diffraction laser sur un banc optique Malvern Mastersizer 3000 équipé avec un aéro S, un distributeur de poudre sèche, avec une gamme de mesure comprise entre 0,1 et 1500 µm.

15 Pour les granulométries plus élevées notamment (supérieures à 100 microns), et notamment pour les granulats, la granulométrie est mesurée par tamisage, par exemple au moyen de tamis à maille carrée, répondant à la norme ISO 3310, en toile inox. Typiquement, les ouvertures des tamis peuvent être choisies parmi les gammes suivantes 125, 160, 250, 400, 800, 1000. De tels tamis sont disponibles commercialement et commercialisés par exemple par Prolabo, Tripette & Renaud, 20 Retsch.

La précision est de ± 5 % et les résultats sont exprimés en pourcentage de volume par rapport à des sphères équivalentes.

Banc de mesure RAJA

25 L'appareil RAJA est utilisé pour mesurer la variation de dimension lors de la phase de prise (phase plastique). Les échantillons sont des prismes de 50 cm de longueur pour 2,5 cm d'épaisseur et 9.5 cm de largeur. Les mesures sont conduites

10

sur la base de lasers pointant sur des cales téflon spécifiques mobiles, fixées à chaque extrémité de l'échantillon. Les échantillons sont mesurés pendant 24 heures à 23°C, 50 % d'humidité relative. Les points d'ancrage du produit testé sur ces cales sont démoulés en continuant la mesure du spécimen après le temps de prise par des mesures de variation dimensionnelle traditionnelles.

Test de fissuration sous retrait empêché

Le standard ASTM C 1581 (Méthode de test standard pour déterminer l'âge à la fissuration et à la traction caractéristique de stress induit de mortier et béton sous rétrécissement) décrit la façon de mesurer le rétrécissement bloqué ou maîtrisé.

Moule en forme de I

Le potentiel de fissuration peut être observé avec un moule en forme de I tel que les deux barres parallèles sont rugueuses tandis que la barre médiane est lisse. Ainsi, le matériau cimentaire est retenu par les deux parties rugueuses et si des fissurations apparaissent, elles auront lieu dans la partie médiane, dus à la traction par les deux extrémités. La surveillance des échantillons a été faite quotidiennement pendant 28 jours ou jusqu'à l'apparition des fissurations.

Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des différents mélanges ont été mesurées par compression, en utilisant une presse 3R type RP 300-10 ELC et une flexion à trois points en utilisant la presse 3R type RP 50-SYNTRIS. L'augmentation en charge de la presse 3R type RP 300-10 ELC est 2400 N/s $\pm$ 200 N/s et pour la presse 3R type RP 50-SYNTRIS, elle est de 50 N/s $\pm$ 10 N/s. L'exactitude est $\pm$ 15 %. Des prismes 2 x 2 x 16 cm³ ont été démoulés après 6 heures. Les mesures ont été conduites après 1, 2, 3, 7 et 28 jours sur les échantillons stockés soit à 23°C et 50 % d'humidité relative ou sous l'eau (conteneur stocké à 23°C).

Adhérence par traction directe

Le mortier est appliqué sur des dalles de béton (commercialisées par Antoniazzi) à l'aide d'un sablon jusqu'à obtenir une épaisseur de 10 mm. Une fois le matériau pris, la surface est légèrement poncée afin de faciliter l'accroche de plots carrés de dimension 50 x 50 mm collés à l'aide d'une résine époxy (Uratep, PAREX LANKO). Des arrachements sont pratiqués après 24 heures, 7 et 28 jours à l'aide d'un extracteur (23°C, 50% HR). Pour la détermination de l'adhérence sous eau, les

dalles de béton recouvertes par les revêtements testés sont conservées 7 jours à 23°C et 50% HR puis elles sont immergées jusqu'au moment des mesures dans de l'eau à 23°C. Les essais d'arrachement sont pratiqués après 7 jours et 21 jours.

5 *Résistance à l'abrasion*

La résistance à l'abrasion est définie par un test avec un abrasimètre circulaire Taber équipé avec des roues de broyage H22 (500 g de masse additionnelle) en suivant la procédure suivante : 2 kg de mortier de chaque échantillon sont tout d'abord mélangés avec un mélangeur Perrier puis moulés dans deux moules téflon Taber lubrifiés sur une épaisseur de 3 mm. Après 24 heures, les échantillons sont démoulés et stockés à 23°C ± 2°C et 50 ± 5 % d'humidité relative jusqu'aux échéances définies de mesure (1, 2, 3, 7 et 28 jours). Les mesures de masse sont conduites après 50, 100, 150, 200 et 500 rotations. Avant chaque mesure, les surfaces des échantillons et les pierres à broyer sont dépoussiérées. La gamme de mesure est comprise entre 0 et 20 g. L'exactitude est environ 10 %.

Résultats

L'impact de la modification du type de granulat sur le rétrécissement mesuré avec RAJA et des mélanges à bas taux de ciment a été étudié :

[Tableau 2]

Granulat	G1		G2	
Secar® 71 (%)	5	10	5	10
Retrait (en µm/m)	850	1250	350	550

Les % sont des % en poids par rapport au poids total du mélange.

Il existe une synergie entre le type de granulat et le ciment employé.

25 Deux types de mélanges d'additifs ont été explorés.

Le mélange de base est :

[Tableau 3]

REFPAC 500	1%
Acide citrique	0.005%
Carbonate de Lithium	0.0012%

Les % sont des % en poids par rapport au poids total du mélange.

Le premier est le développement d'un mélange basé sur les cinétiques : T_{off} et T_{max} inférieures à 2 heures 30 et une ouvrabilité comprise entre 30 à 60 minutes. Ce mélange contient de l'acide citrique, du carbonate de lithium, de la cellulose et une résine :

[Tableau 4]

REFPAC 500	1%
Acide citrique	0.005%
Carbonate de Lithium	0.0012%
Poudre polymère redispersable	2%
Ether de guar	0.015%

Les % sont des % en poids par rapport au poids total du mélange.

Le second mélange conduit à une ouvrabilité d'environ 60 minutes et une T_{off} inférieure à 2 heures 30 et une T_{max} d'environ 3 heures. Ce deuxième mélange contient REFPAC 500, l'acide citrique, le carbonate de lithium et de la cellulose. Il a été sélectionné pour les développements ultérieurs, basés sur une faible demande en eau.

Essai de projection de mortier

Quatre mélanges ont été sélectionnés pour être projetés au moyen d'un sablon. Les mélanges testés sont présentés ci-après :

[Tableau 5]

	41B-S	43B-S	41B-F	43B-F
G1	65	75		
G2			65	75
alumine soluble	20	5	20	5
Secar® 71	5	9	5	9
Filler calcaire (d50=2µm)	5	5	5	5
Fumée de silice	1	1	1	1
Métakaolin (d50=6µm)	5	5	5	5
Total	101	100	101	100
Eau	16	16	14	15

13

Teneur totale en Al_2O_3 (% en poids par rapport au poids total du mélange)	54,5	55,8	42,5	40,4
--	------	------	------	------

Dans ce tableau, le nom de chaque colonne fait référence au type d'agrégat :
S pour le G2 et F pour le G1.

5 La projection des quatre mélanges avec le sablon sur une épaisseur d'environ
3 à 5 mm a été facile à réaliser. En couche fine, ces produits ont montré peu de
glissement. L'éther de guar a permis d'apporter un effet collant. Les aspects des
revêtements sont particulièrement lisses et moins granuleux dans le cas des
mélanges contenant le plus de fines (mélanges 41B-S et 41B-F). Aucune fissuration
10 n'a été observée après une semaine.

Les propriétés ont été caractérisées pour ces quatre mélanges à 23°C et 50 %
d'humidité relative :

- rhéologie ;
- 15 - propriétés mécaniques ;
- RAJA ;
- fissuration après aspersion ;
- fissuration en suivant le standard C 1581 ;
- fissuration dans les moules en forme de I.

20

Les résultats sont résumés –dessous :

[Tableau 6]

		41B-S	43B-S	41B-F		43B-F
Eau (% en poids par rapport au poids total de la formule)		16	16	15	14	14
Etalement 25 coups	T_0 (mm)	220	210	230	185	235
	T_{30} (mm)				170	225
	T_{60} (mm)				165	197
T_{off} (h)		2	3	2.5		
T_{max} (h)		3	5	6		6

14

Raja ($\mu\text{m/m}$)	300-350	450	1650 (?)	900
Passage au sablon	oui	oui	oui	oui
Fissure après projection	Non	Non	Non	Non
Fissure dans le moule en I	Non	Non	Non	Non
Fissure selon la norme C1581	Non	n.d.	n.d.	Non
Compression mécanique à 7 jours (MPa)	3	10	45	42

Résistance à l'abrasion

La résistance à l'abrasion des 4 mélanges au moyen d'un abrasimètre Taber est illustrée à la Figure 1.

5 Notamment, les compositions 41B-F et 43B-F sont particulièrement résistantes à l'abrasion.

Impact de la préparation de surface

10 Des essais de projection par voie humide grandeur nature (de type chantier) de la composition **41 B-F** selon l'invention ont été menés sur des éléments de murs en L en béton banché, c'est-à-dire très lisse. Les surfaces ont été préparées de différentes manières afin d'obtenir des états de surface de rugosités différentes :

- Surface 1 : « brut de décoffrage », e.g. lisse,
- Surface 2 : « brut de décoffrage », et revêtue d'un primaire d'adhérence,
- 15 - Surface 3 : « brut de décoffrage », dégraissée et sèche,
- Surface 4 : « brut de décoffrage », dégraissée et laissée humide,
- Surface 5 : « brut de décoffrage », et nettoyée à l'eau,
- Surface 6 : « brut de décoffrage », et sablée pour atteindre une rugosité 1 (CSP 1),
- 20 - Surface 7 : « brut de décoffrage », et sablée pour atteindre une rugosité 2 (CSP 2),
- Surface 8 : « brut de décoffrage », et sablée pour atteindre une rugosité 3 (CSP 3).

25 Par CSP 1, CSP 2, SCP 3 on entend les surfaces telles que décrites dans les Technical guidelines de l'ICRI (International Concrete Research Institute « Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, and Polymer

Overlays », Guideline 0310.2 (correspondant à la Guideline 03732 de 1997, réapprouvée en 2002)).

Les adhérences sont mesurées selon la norme NF EN 1542.

5 Les adhérences obtenues après 28 jours et 8 mois sont rassemblées dans la Figure 2.

Ces résultats montrent que :

- les compositions selon l'invention sont capables d'adhérer aussi bien sur des supports rugueux (surfaces 6 à 8) que sur des supports lisses (surfaces 1 à 5).

10 Les compositions présentent une adhérence d'au moins 0,5 MPa.

- On observe un accroissement du niveau d'adhérence en fonction du temps.

Résistance à la corrosion biogénique acide

15 Deux mélanges (41B-S et 41B-F) selon l'invention sont appliqués sur des blocs 15x15x15 cm de béton à base de liant OPC CEM-1 et de granulats silicieux sur une épaisseur de 3 mm (respectivement bloc B et bloc C).

Un troisième bloc identique (bloc A) n'est pas recouvert d'une couche selon l'invention.

20 Un quatrième bloc 15x15x15 cm de béton est préparé à base de liant incluant 65% de laitier de haut fourneau (GGBFS) plus 15% de fumée de silice et de granulats silicieux (bloc E). Ce type de liant à base de laitier de hauts fourneaux est réputé être plus résistant que le CEM-1 à la corrosion biogénique.

25 Ces quatre blocs sont introduits dans une chambre Fraunhofer afin de tester de manière accélérée l'effet de la corrosion biogénique par H₂S sur ces blocs.

Avant le début de la corrosion, une préparation spécifique est réalisée sur ces blocs, afin d'abaisser leur pH de surface via une carbonatation, et ce afin de permettre le développement des bactéries source de corrosion biogénique.

30 Les détails de ce processus ainsi que le fonctionnement de la chambre de corrosion Fraunhofer sont décrits de façon détaillée dans la publication Wack, H. et al., Accelerated testing of materials under the influence of biogenic sulphuric acid corrosion (BSA), Microorganisms-Cementitious Materials Interactions, 25-26 June 2018, Toulouse, 23-32.

Ces essais ont été réalisés avec une concentration de 100 ppm de H₂S dans la chambre et 100% d'humidité relative.

Les pH de surface ont été mesurés sur les quatre blocs de façon régulière. Une observation visuelle de ces blocs a été réalisée sur une durée de 9 mois. Les observations visuelles de ces blocs pour les échéances de 3 mois (104 jours) et 9 mois (301 jours) sont présentées Fig.3 à Fig.6. Il ressort des figures 4 et 5 que les blocs sont toujours en très bon état après 9 mois.

L'évolution continue des pH de surface sur plus de 9 mois dans la chambre de corrosion sont présentés Figure 7.

Comme le montrent le tableau 7 et la figure 7, on constate que les blocs A et E sont après 9 mois dans un état de détérioration très avancé.

Inversement, les blocs B et C recouverts des mélanges 41B-S et 41B-F sont toujours en très bon état même après 9 mois dans la chambre Fraunhofer.

En effet, le pH des blocs B et C reste stable à des pH supérieurs à 3 tandis que le pH des blocs A et E est descendu aussi bas que pH=2, voire pH=1,2.

[Tableau 7]

pH de surface après t=XX jours dans la chambre				
	t=0	t=104 jours	t=203 jours	t=301 jours
Bloc A	9,1	3,8	2,2	2,2
Bloc B =Béton A protégé avec compo 41BS	8,6	6,4	3,9	3,3
Bloc C =Béton A protégé avec compo 41BF	8,5	6,8	3,8	3,1
Bloc E	8,3	3,4	1,8	1,2