

## FASCICULE DE BREVET D'INVENTION

21 Numéro de dépôt : 1202400035  
PCT/FR2022/051534

22 Date de dépôt : 01/08/2022

30 Priorité(s) :  
FR n° FR21/08401 du 02/08/2021

24 Délivré le : 28/07/2024

45 Publié le : 1<sup>er</sup>/11/2024

73 Titulaire(s) :

VICAT,  
4 rue Aristide Bergès,  
Les Trois Vallons,  
38080 L'ISLE-D'ABEAU (FR)

72 Inventeur(s) :

POILLOT, Julien (FR);  
JACOB, Yvan-Pierre (FR);  
GUILLEMIN, Hervé (FR);  
ZELLAGUI, Sami (FR);  
CORDONNIER, Alain (FR)

74 Mandataire : Cabinet NICO HALLE & CO. LAW  
FIRM, 1st Floor SHALOM Building, Ancienne  
Route, Opposite Pharmacie du Pont/Express  
Union, B.P. 4876, DOUALA (CM).

54 Titre : Procédé de carbonatation accélérée et sa mise en œuvre dans un procédé de valorisation de déchets de béton et de rejets gazeux industriels.

57 Abrégé :

L'invention concerne un procédé de carbonatation accélérée comprenant les étapes suivantes : a) on dispose de granulats de béton recyclés de granulométrie inférieure ou égale à une valeur  $V1$  comprise entre 1 mm et 6 mm, autrement dit un sable  $\hat{O}/V1$ ; b) on effectue sur le sable  $\hat{O}/V1$  une étape de séparation en définissant une coupure granulométrique d'une valeur  $V2$  comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm de manière à obtenir : - une 1<sup>ère</sup> fraction dont la granulométrie est inférieure à  $V2$ , et - une 2<sup>ème</sup> fraction dont la granulométrie est comprise entre  $V2$  et  $V1$ ; c) on soumet la 2<sup>ème</sup> fraction à une étape de carbonatation accélérée dans un carbonateur dynamique (11) de manière obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés. L'invention concerne aussi un procédé de valorisation des déchets de béton et des rejets gazeux industriels mettant en œuvre le procédé de carbonatation accélérée, en particulier des rejets gazeux de cimenterie.

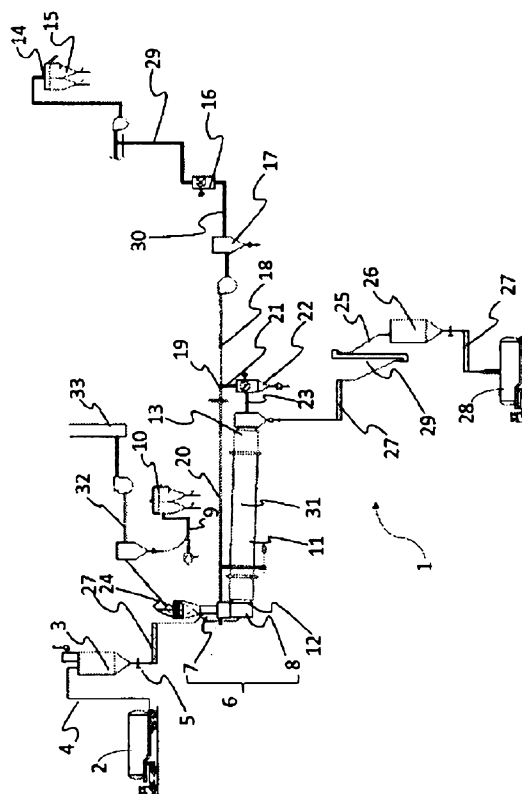


Fig. 1

**PROCÉDÉ DE CARBONATATION ACCÉLÉRÉE ET SA MISE EN ŒUVRE DANS UN  
PROCÉDÉ DE VALORISATION DE DÉCHETS DE BÉTON ET DE REJETS GAZEUX  
INDUSTRIELS**

5 Procédé de carbonatation accélérée et sa mise en œuvre dans un procédé de valorisation de déchets de béton et de rejets gazeux industriels

[0001] La présente invention concerne un procédé de carbonatation accélérée de granulats de béton recyclés, ainsi que la mise en œuvre de ce procédé dans un procédé de valorisation de ces granulats et de gaz à effet de serre émis par une installation industrielle, par exemple une cimenterie.

10 [0002] En France, la démolition de bâtiments et d'ouvrages édifiés à partir des années 50 est aujourd'hui en plein essor et engendre 300 millions de tonnes de déchets par an, dont environ 36% de matériaux à base de béton. A cet égard, il convient de rappeler que le béton est un mélange comprenant, en masse, environ : 80% de matières inertes minérales, c'est-à-dire les granulats (sous différentes formes : graviers, gravillons et sable), 15% d'un liant (essentiellement du ciment) et 5% d'eau.

15 [0003] Or, avec environ 2 tonnes par personne et par an, le béton est le matériau manufacturé le plus consommé au monde. La fabrication du béton représente actuellement environ 40% de la consommation totale de granulats. C'est pourquoi, pour des raisons économiques et environnementales, afin d'éviter au maximum de puiser dans les ressources naturelles, il est primordial de valoriser les déchets de matériaux de démolition, et en particulier ceux à base de  
20 béton, de manière à obtenir des granulats de béton recyclés qui puissent parfaitement se substituer aux granulats « naturels ».

[0004] De plus, aux déchets de matériaux de démolition à base de béton, s'ajoutent les rebuts de la fabrication de béton, ou autrement dit le béton non conforme car présentant des défauts, ainsi que les excédents de béton non utilisés sur un chantier.

25 [0005] C'est pourquoi, dans le cadre de la présente invention, on entend par « granulats de béton recyclés », des granulats de béton provenant : de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments contenant des éléments de béton, de rebuts de production de béton, ainsi que d'excédents de béton de chantier. Les granulats de béton recyclés sont obtenus par concassage et criblage de béton existant pouvant se présenter sous la forme de blocs et/ou gravats. Les granulats de béton recyclés  
30 sont donc composés de l'ancien granulats naturel qui est rattaché à l'ancienne pâte cimentaire. En outre, dans le squelette granulaire de ce béton, on distingue les deux types de fractions suivantes :

- la fraction « grossière » qui contient des granulats dont les dimensions sont supérieures à 6 mm (ou autrement dit des granulats de granulométrie supérieure à 6 mm) ;

- la fraction « sable » qui contient des granulats dont les dimensions sont inférieures ou égales à 6 mm (ou autrement dit des granulats de granulométrie inférieure ou égale à 6 mm).

5 [0006] Ainsi, les déchets de matériaux à base de béton constituent une matière première importante que l'industrie du bâtiment cherche actuellement à valoriser pour fabriquer de nouveaux matériaux destinés à la construction, et ce, selon un cercle vertueux écologique.

[0007] Cependant, pour que des granulats de béton recyclés constituent des substituts intéressants aux granulats naturels, il est essentiel que le béton comprenant des granulats de béton recyclés  
10 présente des propriétés mécaniques équivalentes, voire même meilleures que celles du béton obtenu à partir de granulats naturels. Or, les granulats de béton recyclés présentent une plus forte porosité au niveau de leur microstructure qui constitue un frein technologique à leur utilisation comme substituts aux granulats naturels. En effet, cette forte porosité engendre une absorption d'eau plus importante ; ce qui amoindrit les propriétés mécaniques du béton résultant.

15 [0008] Il est certes connu de pallier ce problème de porosité en soumettant les granulats de béton recyclés à une carbonatation accélérée, à savoir en les soumettant à un flux gazeux contenant du dioxyde de carbone.

[0009] Dans le cadre de la présente invention, on entend par « carbonatation accélérée », un processus de carbonatation mis en œuvre par un dispositif (notamment un dispositif de laboratoire  
20 ou industriel) qui se distingue donc de la carbonatation naturelle telle que définie ci-dessous.

[0010] Lors de la fabrication du béton, le ciment réagit avec l'eau de telle sorte que des hydrates de silice et de calcium se forment. Ces hydrates confèrent la résistance mécanique au béton. Or, ces hydrates ne sont pas parfaitement stables au cours du temps : ils se carbonatent naturellement en absorbant lentement le dioxyde de carbone atmosphérique et se retransforment en calcaire et en  
25 gel de silice. Toutefois, ce phénomène de carbonatation naturelle se produit très lentement (sur plusieurs décennies) et essentiellement en surface du matériau de construction à base de béton. De plus, les quantités de dioxyde de carbone captées restent limitées, puisqu'elles ne dépassent pas les 15 à 20 % d'émissions de dioxyde de carbone qui se produisent lors de la réalisation du béton.

[0011] Les granulats de béton recyclés étant composés en partie de pâte cimentaire qui contient  
30 donc ces hydrates formés lors de l'hydratation du ciment, ce sont ces hydrates qui ont la capacité

de se carbonater lorsqu'on soumet lesdits granulats de béton recyclés à une carbonatation accélérée.

[0012] Cependant l'efficacité et l'optimisation de la carbonatation accélérée (à savoir ses performances de captation de dioxyde de carbone ayant notamment pour effet la réduction de la porosité au niveau de la microstructure des granulats de béton recyclés, ainsi que sa rapidité de mise en œuvre) dépendent d'un nombre important de paramètres tels que notamment la granulométrie des granulats, le dispositif de mise en contact desdits granulats avec le flux gazeux, la température, l'humidité et la pression qu'il convient de sélectionner pour que cette efficacité soit la meilleure possible. Or, il n'est pas du tout aisé de choisir et de combiner les bons paramètres pour une mise en œuvre de la carbonatation accélérée de manière optimale. C'est pourquoi, cette technique connue de la carbonatation accélérée fait toujours l'objet de recherches intenses afin d'en améliorer son efficacité pour valoriser non seulement des granulats de béton recyclés mais également des rejets gazeux industriels.

[0013] En effet, de nombreuses industries, parmi lesquelles figure l'industrie cimentière, sont soumises au système d'échanges de quotas d'émissions institué par l'Union Européenne dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Ce système repose sur un principe de plafonnement et d'échanges de droits d'émissions. Un plafond est fixé pour limiter le niveau total de certains gaz à effet de serre émis par les industries couvertes par ce système. Ce plafond diminue progressivement au cours des années afin de faire baisser les émissions de gaz à effet de serre. Dans les limites de ce plafond, les industries reçoivent ou achètent des quotas d'émissions qu'elles peuvent échanger avec d'autres industries en fonction de leurs besoins.

[0014] Par exemple, lors de la fabrication du ciment, l'industrie cimentière émet des gaz à effet de serre (à savoir du dioxyde de carbone) en sortie de four de fabrication de clinker. C'est pourquoi, compte tenu de ce système de quotas d'émission de l'Union Européenne et de l'abaissement constant du plafond d'émission, il est essentiel pour l'industrie cimentière de valoriser ses émissions de gaz à effet de serre en mettant en œuvre des solutions techniques et écologiques qui revalorisent ces émissions de dioxyde de carbone.

[0015] Ainsi, au vu de ces problématiques écologiques exposées ci-dessus quant à la valorisation d'une part des déchets de béton et d'autre part des rejets de gaz à effet de serre, il serait intéressant de disposer d'un procédé industriel qui puisse valoriser simultanément et de manière efficace ces deux types de déchets solides et gazeux.

[0016] A cet égard, la demande WO 2019/115722 A1 propose une solution technique qui répond à ce besoin, puisqu'elle décrit un procédé de fabrication d'un matériau cimentaire supplémentaire pouvant se substituer au ciment à partir de gaz d'échappement contenant du dioxyde de carbone et de granulats de béton recyclés dont le paramètre  $D_{90}$  est inférieur ou égal à 1 000  $\mu\text{m}$  (ou autrement dit 90% de ces granulats ont une granulométrie inférieure ou égale à 1 000  $\mu\text{m}$ ). Ce procédé consiste à mettre en contact lesdits granulats de béton recyclés stockés sous la forme d'une pile ou dans un silo avec le gaz d'échappement de manière à obtenir un matériau carbonaté qui est ensuite désaggloméré pour obtenir ledit matériau cimentaire supplémentaire.

[0017] Comme cela est expliqué dans la demande de brevet WO 2019/115722 A1, il est tout à fait préférable, afin d'améliorer l'efficacité et la rapidité de la carbonatation, que le paramètre  $D_{90}$  des granulats de béton recyclés soit inférieur ou égal à 100  $\mu\text{m}$ . En outre, le produit obtenu à l'issue du procédé décrit dans cette demande de brevet WO 2019/115722 A1 est un substitut au ciment. Or, comme cela a été expliqué ci-dessus, la fabrication du béton représentant actuellement environ 40% de la consommation totale de granulats, il serait intéressant de transformer les granulats de béton recyclés en un substitut des granulats naturels afin d'éviter de puiser dans les ressources naturelles de granulats.

[0018] Les inventeurs de la présente invention ont cherché à optimiser les paramètres de la carbonatation accélérée pour la rendre plus efficace de manière à valoriser des granulats de béton recyclés pour obtenir directement, à savoir sans étape supplémentaire telle qu'une étape de désagglomération décrite dans la demande de brevet WO 2019/115722 A1, des granulats carbonatés qui sont parfaitement appropriés en tant que substituts aux granulats naturels. Les inventeurs de la présente invention ont en outre cherché à intégrer leur procédé de carbonatation accélérée dans un procédé de valorisation des déchets de granulats de béton recyclés et de rejets de gaz à effet de serre, notamment des émissions gazeuses de four de cimenterie pour la fabrication de clinker.

[0019] L'invention a ainsi pour premier objet un procédé de carbonatation accélérée qui se caractérise en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

- a) on dispose de granulats de béton recyclés dont la granulométrie est inférieure ou égale à une valeur déterminée  $V_1$  qui est comprise entre 1 mm et 6 mm, autrement dit un sable 0/ $V_1$  ;
- b) on effectue sur le sable 0/ $V_1$  une étape de séparation en définissant une coupure granulométrique d'une valeur  $V_2$  déterminée qui est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm de manière à obtenir :

- une 1<sup>ère</sup> fraction dont la granulométrie est inférieure à V2, autrement dit un sable 0/V2, et
  - une 2<sup>ème</sup> fraction dont la granulométrie est comprise entre V2 et V1, autrement dit un sable V2/V1
- ;

c) on soumet la 2<sup>ème</sup> fraction à une étape de carbonatation accélérée dans un carbonateur dynamique par mise en contact de ladite 2<sup>ème</sup> fraction avec un flux gazeux contenant du dioxyde de carbone de manière à obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés.

[0020] Dans le cadre de la présente invention, on entend par « carbonateur dynamique », un dispositif de carbonatation accélérée qui est configuré pour que, lors de l'étape c) dudit procédé, la 2<sup>ème</sup> fraction soit en mouvement au sein dudit dispositif de carbonatation accélérée (par exemple au moyen d'un dispositif de relevage et de dispersion) et/ou que ledit dispositif de carbonatation accélérée soit en mouvement.

[0021] Dans un mode de réalisation de l'invention, le carbonateur dynamique comporte :

- une 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte par laquelle est introduite la 2<sup>ème</sup> fraction,
- une 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte par laquelle est introduit le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone,

lesdites 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> extrémités ouvertes sont séparées par un tronçon rotatif s'étendant selon une direction longitudinale sensiblement horizontale et au sein duquel la 2<sup>ème</sup> fraction est avancée de la 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte à la 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte et le flux gazeux circule à contre-courant de l'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction.

[0022] L'introduction de la 2<sup>ème</sup> fraction par la 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte peut être réalisée de manière séquentielle ou de préférence en continu.

[0023] Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le tronçon présente une forme générale cylindrique.

[0024] Les granulats de béton recyclés de l'étape a) sont un sable 0/V1 ou autrement dit des granulats de béton recyclés dont la granulométrie est comprise entre une valeur proche de 0 et une valeur V1 qui peut être comprise entre 1 mm et 6 mm, de préférence entre 1,5 et 4 mm, plus préférentiellement comprise entre 2 mm et 4 mm. A titre d'exemples préférés de la présente invention, les granulats de béton recyclés de l'étape a) sont un sable 0/2 ou un sable 0/4.

[0025] La 1<sup>ère</sup> fraction comprend la fraction des fines du sable 0/V<sub>i</sub> de l'étape a). Plus précisément, lesdites fines ont une granulométrie inférieure à V<sub>2</sub>, V<sub>2</sub> étant compris entre 0,1 mm et 0,2 mm. En d'autres termes, les fines ont une granulométrie comprise entre une valeur proche de 0 et environ V<sub>2</sub>, la valeur V<sub>2</sub> étant exclue.

5 [0026] La 2<sup>ème</sup> fraction comprend la fraction grossière du sable 0/V<sub>1</sub> de l'étape a). En d'autres termes, les granulats de béton recyclés de la 2<sup>ème</sup> fraction ont une granulométrie comprise entre V<sub>2</sub> et V<sub>1</sub>, les valeurs V<sub>2</sub> et V<sub>1</sub> étant incluses. La valeur V<sub>2</sub> est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm et la valeur V<sub>1</sub> est comprise entre 1 mm et 6 mm, de préférence entre 1,5 et 4 mm, plus préférentiellement comprise entre 2 mm et 4 mm.

10 [0027] Les inventeurs ont en effet découvert qu'en soumettant la 2<sup>ème</sup> fraction de granulats de béton recyclés, ou autrement dit la fraction qui est exempte des fines du sable 0/V<sub>1</sub> de l'étape a), à une étape de carbonatation accélérée dans un carbonateur dynamique, ladite carbonatation accélérée était très efficace avec un pourcentage de captation de dioxyde de carbone élevé et permettait ainsi d'obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés parfaitement appropriés pour  
15 être utilisés en tant que substituts aux granulats naturels dans la fabrication de béton.

[0028] Le pourcentage élevé de captation du dioxyde de carbone a les effets suivants :

- une réduction de la porosité de la microstructure des granulats de béton recyclés ainsi carbonatés ; ce qui permet de limiter l'absorption de l'eau qui est néfaste à la qualité du béton dans lequel sont incorporés ces granulats ;

20 - une limitation de la baisse du pH du béton dans lequel sont incorporés ces granulats (ou autrement dit une limitation de l'acidité du béton) ; ce qui permet de limiter la corrosion des aciers des structures en béton armé.

[0029] Le béton obtenu avec ces granulats présente ainsi d'excellentes propriétés mécaniques. Plus précisément, les granulats de béton recyclés carbonatés obtenus avec le procédé de carbonatation  
25 accélérée selon l'invention confèrent au béton dans lequel ils sont incorporés une bonne résistance à la compression, de bonnes propriétés de durabilité, notamment une bonne résistance vis-à-vis de la corrosion des armatures en acier qui sont contenues dans le béton, ladite corrosion étant occasionnée par les ions chlorures et le dioxyde de carbone.

[0030] Les inventeurs ont découvert de manière tout à fait surprenante que la sélection d'une  
30 coupure granulométrique à une valeur V<sub>2</sub> déterminée comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm de manière

à extraire la partie des fines du sable 0/V1, favorisait les échanges entre les granulats de béton recyclés restants (autrement dit la 2<sup>ème</sup> fraction) et le flux gazeux lors de l'étape de carbonatation accélérée au sein du carbonateur dynamique et améliorerait ainsi la captation du dioxyde de carbone. Cette découverte de l'extraction de la partie des fines pour carbonater de manière accélérée des granulats de béton recyclés va à l'encontre des connaissances générales dans le domaine technique considéré, et notamment de l'enseignement de la demande de brevet précitée WO 2019/115722 A1, qui préconisent de privilégier des fractions de granulats de béton recyclés de granulométrie les plus faibles (autrement dit les fractions fines) pour mettre en œuvre la carbonatation accélérée.

5  
10 [0031] Ainsi au cours de l'étape c) de carbonatation accélérée durant laquelle les granulats de béton recyclés sélectionnés (à savoir la 2<sup>ème</sup> fraction) sont mis en contact avec le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone, la réaction de carbonatation de la pâte cimentaire résiduelle dans ces granulats se produit.

15 [0032] Les échanges entre les granulats de béton recyclés et le dioxyde de carbone sont favorisés lorsque le carbonateur dynamique comporte une 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte et une 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte qui sont séparées par un tronçon rotatif s'étendant selon une direction longitudinale sensiblement horizontale comme décrit ci-dessus. Dans ce mode de réalisation de l'invention, ledit tronçon rotatif présente de manière avantageuse une inclinaison descendante orientée dans le sens de l'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction qui est comprise entre 0,5° et 8°, plus préférentiellement entre 1° et 5°. De manière tout à fait préférée, l'inclinaison descendante est de 2°.

20 [0033] Le tronçon rotatif peut être un cylindre sensiblement incliné présentant une 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte pour l'introduction, de manière séquentielle ou de préférence en continu, de la 2<sup>ème</sup> fraction de granulats de béton recyclés et une 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte pour l'introduction d'un flux gazeux contenant du dioxyde de carbone. Le cylindre est mis en rotation pour permettre le brassage du lit de matière constituée de la 2<sup>ème</sup> fraction, ainsi que son avancement dans le cylindre. Ce lit de  
25 matière est balayé par le flux gazeux qui avance donc à contre-courant de l'avancement du lit de matière.

[0034] De manière avantageuse, afin d'augmenter la surface d'échange entre la 2<sup>ème</sup> fraction de granulats de béton recyclés et le flux gazeux, le cylindre est équipé au niveau de sa surface interne d'un dispositif de relevage et de dispersion des granulats de béton recyclés au sein dudit cylindre.  
30 Ce dispositif est parfaitement à la portée de l'homme du métier.

[0035] D'autres caractéristiques techniques du carbonateur dynamique et de l'étape de carbonatation accélérée sont décrites ci-après.

[0036] Le carbonateur dynamique de l'étape c) peut consister en un sécheur à tambour rotatif (à savoir un dispositif parfaitement connu et utilisé dans de nombreux secteurs de l'industrie, dont celui des matériaux de construction) qui a été adapté pour la mise en œuvre de la carbonatation accélérée telle que décrite juste ci-dessus. En d'autres termes, la présente invention peut être mise en œuvre avec un sécheur à tambour rotatif qui a été adapté de manière à obtenir un carbonateur dynamique présentant les caractéristiques techniques décrites juste ci-dessus, ainsi que celles décrites ci-après. Des exemples de sécheurs à tambour rotatif pouvant être utilisés dans le cadre de la présente invention sont notamment ceux de la gamme TSM commercialisés par la société Marini- Ermont ou ceux à une enveloppe de la gamme TTD commercialisés par la société Allgaier.

[0037] L'invention a ainsi pour objet l'utilisation d'un sécheur à tambour rotatif pour la mise en œuvre d'une carbonatation accélérée sur des granulats de béton recyclés avec un flux gazeux contenant du dioxyde de carbone.

[0038] Les granulats de béton recyclés du sable 0/Vi de l'étape a) peuvent provenir de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments contenant des éléments de béton, de rebuts de production de béton ou d'excédents de béton de chantier. Il peut ainsi s'agir de blocs et/ou gravats de béton, éventuellement armés avec une structure en acier, qui sont soumis à différentes étapes successives (ou le cas échéant parfois simultanées) de :

- 20 - tri pour extraire les matières en acier,
- concassage, et
- criblage,

jusqu'à l'obtention du sable 0/Vi de granulats de béton recyclés souhaité.

[0039] L'étape de tri peut être réalisée avec un système de déferrailage comprenant un électro-aimant conçu pour le prélèvement des éléments en acier combiné à une bande de séparation magnétique de déferrailage.

[0040] Par exemple, le concassage peut comprendre une étape de concassage primaire mise en œuvre par un dispositif de concassage qui comprend :

- une trémie de réception, par exemple d'un volume de l'ordre de 15 m<sup>3</sup>, alimentée par une chargeuse en matériaux de béton recyclés et de blocométrie inférieure ou égale à 500 mm ;

- un alimentateur vibrant ;

5 - un concasseur primaire de type mâchoire ou percussion configuré pour produire des matériaux de béton recyclés dont la blocométrie est inférieure ou égale à une valeur comprise entre 60 mm et 200 mm,

- un convoyeur de sortie.

[0041] Ce dispositif de concassage peut éventuellement être équipé d'un système de déferrailage tel que décrit ci-dessus.

10 [0042] Ensuite, les matériaux de béton recyclés dont la blocométrie est inférieure ou égale à une valeur comprise entre 60 mm et 200 mm ainsi obtenus peuvent être soumis à une étape de concassage secondaire de manière à obtenir des matériaux de béton recyclés de granulométrie inférieure ou égale à 20 mm. Cette étape de concassage secondaire peut être mise en œuvre dans un deuxième dispositif de concassage qui comprend par exemple :

15 - un système de dessablage par criblage ;

- un concasseur giratoire effectuant un broyage des matériaux de béton de manière à obtenir la granulométrie inférieure ou égale à 20 mm.

20 [0043] Les matériaux de béton recyclés ainsi obtenus peuvent être soumis à une ou plusieurs étapes de criblage jusqu'à l'obtention d'un sable 0/Vi. Ces étapes de criblage sont réalisées dans des dispositifs de criblage parfaitement à la portée de l'homme du métier.

[0044] De manière plus générale, l'obtention d'un sable 0/Vi de granulats de béton recyclés à partir de blocs et/ou gravats de béton issus de démolitions et/ou démantèlements d'habitations ou d'ouvrages, de rebuts de fabrication ou d'excès de chantier, est parfaitement à la portée de l'homme du métier.

25 [0045] L'étape b) de séparation peut par exemple être réalisée dans une boucle de défillérisation qui se compose d'un système de séchage flash associé à un séparateur dynamique. Le réglage du séparateur dynamique permet de définir la coupure granulométrique à une valeur V2 déterminée qui est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm.

[0046] Bien entendu, l'étape b) de séparation du procédé de carbonatation accélérée est parfaitement à la portée de l'homme du métier et peut aussi être réalisée dans un dispositif approprié pour la séparation différent de la boucle de défillérisation décrite ci-dessus uniquement à titre d'exemple de mode de réalisation de l'étape b).

- 5 [0047] Le temps de séjour dans le carbonateur dynamique de la 2<sup>ème</sup> fraction peut être compris entre 15 minutes et 12 heures. Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, ce temps de séjour est d'une heure.

[0048] Dans le mode de réalisation de l'invention dans lequel le carbonateur dynamique comporte une 1<sup>ère</sup> et une 2<sup>ème</sup> extrémités ouvertes qui sont séparées par un tronçon rotatif s'étendant selon  
10 une direction longitudinale sensiblement horizontale tel que décrit ci-dessus, la vitesse de rotation dudit tronçon rotatif est avantageusement comprise entre 0,5 tour/minute et 10 tours/minute.

[0049] La température du flux gazeux contenant du dioxyde de carbone est de préférence comprise entre 15°C et 90°C.

[0050] Le pourcentage volumique de dioxyde de carbone dans ledit flux gazeux est compris entre  
15 3% et 100%. Dans un mode de réalisation de l'invention, le flux gazeux contient uniquement du dioxyde de carbone.

[0051] La 2<sup>ème</sup> fraction de granulats de béton recyclés peut être avantageusement humidifiée avant l'étape c) du procédé de carbonatation selon l'invention, de préférence avec un taux d'humidité n'excédant pas 12%. En d'autres termes, si la 2<sup>ème</sup> fraction est humidifiée, son taux d'humidité est  
20 avantageusement inférieur ou égal à 12%. Dans le mode de réalisation de l'invention dans lequel le carbonateur dynamique comporte une 1<sup>ère</sup> et une 2<sup>ème</sup> extrémités ouvertes qui sont séparées par un tronçon rotatif s'étendant selon une direction longitudinale sensiblement horizontale, le carbonateur dynamique peut comprendre au niveau de la 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte une canne d'injection d'eau configurée pour humidifier la 2<sup>ème</sup> fraction avant la mise en œuvre de l'étape c).

25 [0052] En outre, l'humidité relative au sein du carbonateur dynamique est avantageusement comprise entre 50% et 100%.

[0053] Le taux d'humidité de la 2<sup>ème</sup> fraction, ainsi que l'humidité relative au sein du carbonateur dynamique tels que décrits ci-dessus sont appropriés pour l'optimisation de l'étape c) de carbonatation accélérée, à savoir une amélioration de la cinétique de réaction et du pourcentage de  
30 captation de dioxyde de carbone.

[0054] Le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone peut consister en des rejets gazeux industriels, de préférence des rejets gazeux d'une industrie de cimenterie.

[0055] C'est pourquoi, la présente invention a aussi pour objet un procédé de valorisation de granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels qui se caractérise en ce qu'il met en œuvre le procédé de carbonatation accélérée selon l'invention tel que décrit ci-dessus et en ce que le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone consiste en des rejets gazeux industriels, de préférence des rejets gazeux d'une industrie de cimenterie.

[0056] Ainsi, grâce au procédé de valorisation selon l'invention :

- 10 - les granulats de béton recyclés sont revalorisés en des granulats de béton recyclés carbonatés qui sont, comme cela a été expliqué ci-dessus, parfaitement appropriés en tant que substituts aux granulats naturels pour être mis en œuvre dans les formulations de béton ;
- les rejets industriels gazeux sont revalorisés car ils sont utilisés au cours de l'étape c) du procédé de carbonatation accélérée.

[0057] De manière préférée, les rejets gazeux industriels sont des gaz issus d'un four de cimenterie, plus préférentiellement d'un four pour la fabrication de clinker.

[0058] Dans un mode de réalisation de l'invention, les rejets gazeux industriels sont traités de manière à obtenir des gaz traités dont la teneur en dioxyde de carbone a été augmentée par rapport à celle des rejets gazeux industriels initiaux. Les gaz traités ainsi obtenus peuvent être stockés, par exemple en cimenterie, avant leur mise en œuvre dans le procédé de carbonatation accélérée selon l'invention.

[0059] Dans un mode de réalisation du procédé de valorisation selon l'invention, la 1<sup>ère</sup> fraction, autrement dit le sable 0/V2, de granulométrie inférieure à V2 (à savoir les fines), V2 étant compris entre 0,1 mm et 0,2 mm, est utilisée dans la fabrication d'un clinker. Ces fines sont particulièrement appropriées, car il s'agit d'un matériau décarboné qui évite la décarbonatation du calcaire naturel.

[0060] En d'autres termes, le procédé de valorisation des granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels permet de valoriser non seulement la 2<sup>ème</sup> fraction de granulométrie comprise entre V2 et V1 pour obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés à l'issue de la carbonatation accélérée qui sont parfaitement appropriés en tant que substituts aux granulats naturels pour être

mis en œuvre dans les formulations de béton, mais également la 1<sup>ère</sup> fraction de granulométrie inférieure à V2 qui est un matériau décarboné très approprié dans la formulation de clinker.

[0061] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description détaillée qui est exposée ci-dessous en référence au dessin annexé représentant, à titre d'exemple non limitatif, un schéma  
5 d'une installation mettant en œuvre le procédé de valorisation de granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels selon l'invention, ainsi que des résultats expérimentaux mettant en œuvre une carbonatation accélérée selon l'invention.

[0062] [Fig. 1] La figure 1 est une représentation schématique d'une installation mettant en œuvre le procédé de valorisation de granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels selon  
10 l'invention.

[0063] [Fig. 2] La figure 2 est un histogramme du pourcentage de captation de dioxyde de carbone obtenus à partir de 5 échantillons expérimentaux comprenant des sables de granulométries différentes.

[0064] Sur la figure 1 est représentée de manière schématique une installation 1 qui met en œuvre  
15 le procédé de valorisation de granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels selon l'invention. Un camion 2 livre à l'installation 1 un sable de granulats de béton recyclés de granulométrie inférieure ou égale à 2 mm (autrement dit un sable 0/2). Ce sable 0/2 est acheminé jusqu'à un silo 3 grâce un 1<sup>er</sup> système d'acheminement 4.

[0065] L'installation 1 a une capacité annuelle de valorisation de 15 000 tonnes de sable 0/2. Pour  
20 ce faire, elle est alimentée en continu en sable 0/2, à raison d'environ 2 tonnes/heure.

[0066] Le silo 3 comprend à sa base un système d'extraction 5 qui est configuré pour :

- alimenter en sable 0/2, par l'intermédiaire d'une vis sans fin 27, une boucle de défillérisation 6,
- ainsi qu'ajuster le débit de ladite boucle de défillérisation 6 en sable 0/2.

[0067] La boucle de défillérisation 6 se décompose en un séparateur dynamique 7 et un système  
25 de séchage flash 8. La boucle de défillérisation 6 est configurée pour :

- séparer le sable 0/2 en une 1<sup>ère</sup> fraction dite sable 0/0,15 de granulométrie inférieure à 0,15 mm et une 2<sup>ème</sup> fraction, dite sable 0,15/2 de granulométrie comprise entre 0,15 mm et 2 mm, et

- sécher ces deux fractions.

[0068] Plus précisément, le réglage du séparateur dynamique 7 permet de définir une coupure granulométrique d'une valeur  $V_2$  déterminée qui est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm. Dans le cas présent, la valeur  $V_2$  a été fixée à 0,15 mm.

5 [0069] A l'issue de l'étape de séparation, la 1<sup>ère</sup> fraction représente, en pourcentages massiques, environ 20% (soit 0,4 tonne/heure) et la 2<sup>ème</sup> fraction 80% (soit 1,6 tonne/heure).

[0070] La 1<sup>ère</sup> fraction ainsi obtenue et qui est donc sèche est ensuite acheminée grâce à un 2<sup>ème</sup> système d'acheminement pneumatique 9 vers un four 10 d'une cimenterie pour la fabrication de clinker. De cette manière, les fines de la fraction sable 0/2 sont revalorisées dans le four 10 d'une  
10 cimenterie en tant que matière décarbonée très appropriée dans la formulation des clinkers.

[0071] La 2<sup>ème</sup> fraction (qui est donc également sèche) est humidifiée de telle sorte que son taux d'humidité soit de 4% avant son introduction au niveau de la 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte 12 d'un carbonateur dynamique 11 qui comporte en outre une 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte 13. Lesdites 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> extrémités ouvertes 12, 13 sont séparées par un tronçon rotatif 31 qui présente une forme  
15 générale cylindrique d'une longueur de 6,5 m et d'un diamètre de 1,3 m. L'humidification de la 2<sup>ème</sup> fraction peut être réalisée avec une canne d'injection non représentée sur la figure 1. Grâce à la mise en rotation du tronçon rotatif 31 du carbonateur dynamique 11 à une vitesse de 1,5 tour/minute, la 2<sup>ème</sup> fraction avance de la 1<sup>ère</sup> extrémité 12 à la 2<sup>ème</sup> extrémité 13 dudit carbonateur dynamique 11. Cela permet ainsi le brassage du lit de matière constitué de la 2<sup>ème</sup> fraction et son  
20 avancement au sein du tronçon rotatif 31 du carbonateur dynamique 11 .

[0072] Le tronçon rotatif 31 présente en outre une inclinaison descendante de 2 qui est orientée dans le sens d'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction au sein dudit tronçon rotatif 31 .

[0073] Le temps de séjour de la 2<sup>ème</sup> fraction dans le carbonateur dynamique 11 est d'une heure environ.

25 [0074] De plus, un flux gazeux contenant un mélange qui comprend, en pourcentages volumiques :

23% de dioxyde de carbone, 5% de dioxygène, 65% de diazote et 7% de vapeur d'eau, est injecté au niveau de la 2<sup>ème</sup> extrémité 13 du carbonateur dynamique 11. Son origine est expliquée plus en

détail ci-après. Ce flux gazeux est à une température de 55°C et a un débit de 2000 m<sup>3</sup>/h. L'humidité relative au sein du carbonateur dynamique 11 est de 75%.

[0075] La 2<sup>ème</sup> fraction est ainsi balayée par le flux gazeux qui circule à contre-courant de l'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction au sein du tronçon rotatif 31 du carbonateur dynamique 11 . Afin  
5 d'augmenter la surface d'échange entre la 2<sup>ème</sup> fraction et le flux gazeux, le tronçon rotatif 31 est équipé au niveau de sa surface interne d'un dispositif de relevage et de dispersion de la 2<sup>ème</sup> fraction (non représenté sur la figure 1 ).

[0076] Un flux gazeux à un débit de 6000 m<sup>3</sup>/heure est prélevé à la sortie 14 d'un four 15 de fabrication de clinker d'une cimenterie. La composition de ce flux gazeux, en pourcentages  
10 volumiques, est la suivante : 23% de dioxyde de carbone, 5% de dioxygène, 65% de diazote et 7% de vapeur d'eau. La température de ce flux gazeux est de 350°C. Ce flux gazeux est acheminé avec un 3<sup>ème</sup> système d'acheminement 29 jusqu'à un dispositif de refroidissement qui consiste en un système d'atomisation 16 comprenant des buses pour atomiser de l'air et de l'eau de manière à être refroidi à une température de 150°C. Ensuite, ce flux gazeux est acheminé avec un 4<sup>ème</sup>  
15 système d'acheminement 30 jusqu'à un filtre à manches 17 pour être dépoussiéré. Ce flux gazeux est ensuite acheminé avec un 5<sup>ème</sup> système d'acheminement 18 jusqu'à un point d'intersection 19 à partir duquel :

- une 1<sup>ère</sup> partie de ce flux gazeux présentant un débit de 4000 m<sup>3</sup>/heure est acheminée avec un 6<sup>ème</sup> système d'acheminement 20 jusqu'à la boucle de défillérisation 6 pour y être injecté et
- 20 - une 2<sup>ème</sup> partie de ce flux gazeux présentant un débit de 2000 m<sup>3</sup>/h est acheminée avec un 7<sup>ème</sup> système d'acheminement 21 dans un dispositif de refroidissement 22 consistant en un échangeur de chaleur air-air pour le refroidir à une température de 55°C. Le flux gazeux ainsi refroidi est ensuite acheminé avec un 8<sup>ème</sup> système d'acheminement 23 jusqu'à la 2<sup>ème</sup> extrémité 13 du carbonateur dynamique 11 . Il s'agit du flux gazeux qui est introduit dans le carbonateur  
25 dynamique 11 pour la mise en œuvre de la carbonatation accélérée et qui a été décrit ci-dessus.

[0077] Ensuite, les gaz restants à l'issue de la carbonatation accélérée et les gaz utilisés dans la boucle de défillérisation 6 sont collectés à la sortie 24 du séparateur dynamique 7 pour être dépoussiérés, puis acheminés grâce à un 9<sup>ème</sup> système d'acheminement 32 jusqu'à un four 33 de cimenterie pour être réintroduits dans les gaz dudit four 33.

[0078] Dans cette installation 1 , le débit de flux gazeux alimentant le carbonateur dynamique 11 est en excès par rapport au potentiel maximal de captation du dioxyde de carbone par les granulats

de béton recyclés. Ainsi, l'installation 1 contribue à la valorisation d'une partie des rejets gazeux du four 15 de cimenterie. En effet, il est émis 470 kg de dioxyde de carbone par tonne de ciment produite. Si la cimenterie produit un million de tonnes de ciment par an, l'installation 1 de carbonatation accélérée telle que décrite qui est capable de carbonater 15 000 tonnes/an de sable 0/2, contribue à une réduction de l'ordre de 0,08 % des émissions de dioxyde de carbone de cette cimenterie.

[0079] L'intérêt majeur de l'installation 1 réside dans la valorisation des granulats de béton recyclés en des granulats de béton recyclés carbonatés qui sont parfaitement appropriés en tant que substituts aux granulats naturels pour être mis en œuvre dans les formulations de béton.

10 [0080] Les granulats de béton recyclés obtenus à l'issue de la carbonatation accélérée sont évacués à la 2<sup>ème</sup> extrémité 13 du carbonateur dynamique 11 pour être acheminés, par l'intermédiaire d'une vis sans fin 27 jusqu'à un élévateur à godets 29, puis introduits dans un silo 26 de stockage par l'intermédiaire d'une gaine de liaison 25.

15 [0081] Les granulats de béton recyclés sont acheminés par l'intermédiaire d'une vis sans fin 27 jusqu'à un camion 28 pour être transportés en dehors de l'installation 1.

[0082] PARTIE EXPERIMENTALE :

[0083] Des expérimentations ont été réalisées afin de démontrer l'impact sur le pourcentage de captation du dioxyde de carbone d'échantillons constitués de granulats de béton recyclés dans lesquels les fines ont été extraites à l'issue d'une carbonatation accélérée, ainsi que les propriétés de bétons obtenus avec ces échantillons carbonatés.

[0084] 1<sup>ère</sup> série expérimentations

25 [0085] Dans une 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations, un sable 0/2 obtenu après concassage de granulats de béton recyclés provenant d'une démolition d'un bâtiment a été soumis à des étapes de séparation consistant en 4 tamisages par jet d'air selon la norme NF EN 993-10 avec les coupures granulométriques suivantes : 0,1 mm, 0,125 mm, 0,15 mm et 0,02 mm de manière à préparer les 5 échantillons suivants :

- 1<sup>er</sup> échantillon contenant la fraction sable 0/2 initiale ;

- 2<sup>ème</sup> échantillon contenant une fraction sable 0,1/2 ;

- 3<sup>ème</sup> échantillon contenant une fraction sable 0,125/2 ;
- 4<sup>ème</sup> échantillon contenant une fraction sable 0,15/2 ;
- 5<sup>ème</sup> échantillon contenant un fraction sable 0,2/2.

[0086] La masse de chacun des échantillons était de 500 g.

- 5 [0087] Les 5 échantillons ont été soumis à une carbonatation accélérée pendant une durée d'une heure dans un carbonateur dynamique consistant en un malaxeur à mortier de laboratoire rendu étanche et équipé d'un système de circulation pour le gaz, ainsi que d'un système de chauffage.

Les conditions étaient les suivantes :

- 10 - le flux gazeux était un mélange de 25 % vol. de dioxyde de carbone, 70 % vol. de diazote, 4,7 % vol. de dioxygène, 0,3 % vol. de dioxyde d'azote et 500 ppm de dioxyde de soufre à une température de 55°C ;
- un taux d'humidité des échantillons de 4,5 % ;
- une humidité relative au sein du malaxeur de 95 % ;
- une vitesse de malaxage de 10 tours/minute.

- 15 [0088] A l'issue de cette carbonatation accélérée, on a ainsi obtenu 5 échantillons carbonatés. En d'autres termes, la captation du dioxyde de carbone par les 5 échantillons au cours de cette carbonatation accélérée a permis d'obtenir 5 échantillons carbonatés.

- 20 [0089] Le pourcentage de captation de dioxyde de carbone de chacun des 5 échantillons a été déterminé avec une bombe à carbonates en effectuant une attaque avec de l'acide chlorhydrique sur chacun des échantillons 1 à 5 avant et après la carbonatation accélérée et en mesurant la pression induite par le dégagement du dioxyde de carbone résultant de cette attaque acide. Par « pourcentage de captation de dioxyde de carbone d'un échantillon », on entend le ratio de la masse de dioxyde de carbone capté par ledit échantillon sur la masse dudit échantillon.

[0090] Plus précisément, le protocole suivant a été mis en œuvre :

- 25 - 0,8 g de l'échantillon à analyser ont été transférés dans le récipient de réaction de la bombe à carbonates ;

- 5 mL d'une solution d'acétate de calcium à 5 % en volume ont été ajoutés dans le récipient ;
- 5 mL d'une solution d'acide chlorhydrique à 37% en volume ont été versés doucement dans le récipient de réaction ;
- la bombe à carbonates a été remuée lentement pendant une durée comprise entre 1 et 10 minutes.

5 [0091] Le dioxyde de carbone dégagé pendant l'attaque acide des carbonates a augmenté la pression au sein de la bombe à carbonates.

[0092] Le tableau 1 ci-dessous détaille le pourcentage de captation de dioxyde de carbone pour chacun des 5 échantillons.

[0093] [Tableau 1]

N° Echantillon	1	2	3	4	5
% de captation de dioxyde de carbone	1,4	2	2,5	3,1	1,6

10

[0094] La figure 2 est un histogramme des pourcentages de captation du dioxyde de carbone des échantillons n°1 à 5.

[0095] Au vu du tableau 1 et de la figure 2, on relève qu'avec des conditions identiques de carbonatation accélérée :

15 - Les échantillons n°2 à 5 ont une meilleure captation du dioxyde de carbone que l'échantillon n°1 . Cela témoigne de l'impact sur l'efficacité de la carbonatation accélérée lorsque les fines de granulométrie inférieure à une valeur  $V_2$  déterminée qui est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm ont été extraites de la fraction sable 0/2.

20 - La meilleure captation du dioxyde carbone (3,1 %) est obtenue avec l'échantillon n°4, à savoir avec le sable 0,15/2 ou autrement dit une fraction qui a été obtenue à partir du sable 0/2 en retirant les fines de granulométrie inférieure à 0,15 mm. Ce pourcentage de captation du dioxyde de carbone est bien supérieur à celui du sable 0/2 qui est de 1,4%.

2<sup>ème</sup> série d'expérimentations

[0096] Dans une 2<sup>ème</sup> série d'expérimentations, le sable 0/2 a été soumis à une carbonatation accélérée dans les mêmes conditions que pour la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations à la seule exception que le malaxeur à mortier de laboratoire est demeuré statique. La carbonatation accélérée a donc été effectuée en statique sans brassage du sable 0/2.

5 [0097] Au bout d'une heure, le pourcentage de captation de dioxyde de carbone était de 0,8 % et au bout de deux heures, il était de 1 %.

[0098] Ainsi, cette 2<sup>ème</sup> série d'expérimentations témoigne de l'impact bénéfique sur le pourcentage de captation du dioxyde de carbone lorsque le carbonateur est dynamique ou autrement dit mis en mouvement. Cela favorise en effet les échanges entre les granulats de béton  
10 recyclés et le flux gazeux.

[0099] 3<sup>ème</sup> série d'expérimentations

[0100] Dans une 3<sup>ème</sup> série d'expérimentations, les échantillons n°1 et 4 contenant respectivement le sable 0/2 et le sable 0,15/2 ont été soumis à une carbonatation accélérée pendant une durée de 28 jours dans le même malaxeur à mortier de laboratoire que celui des 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> séries  
15 d'expérimentations et qui est demeuré statique. Les conditions étaient les suivantes :

- le flux gazeux était un mélange de 3% vol. de dioxyde de carbone et de 97% vol. d'air à une température de 20°C ;

- un taux d'humidité initial des échantillons de 5% ;

- une humidité relative au sein de l'enceinte de carbonatation de 65%.

20 [0101] Le pourcentage de captation de dioxyde de carbone pour l'échantillon n°1 était de 2,8% et celui de l'échantillon n°4 était de 3,6%.

[0102] Cette 3<sup>ème</sup> série d'expérimentations témoigne aussi de l'effet positif sur l'efficacité de la carbonatation accélérée lorsque les fines ont été extraites du sable 0/2.

[0103] 4<sup>ème</sup> série d'expérimentations

25 [0104] Dans une 4<sup>ème</sup> série d'expérimentations, un échantillon n°6 et un échantillon n°7 ont été préparés. L'échantillon n°6 contenait du sable 0/4 obtenu après concassage de granulats de béton recyclés provenant d'une démolition d'un bâtiment. Ce sable 0/4 a été soumis à une étape de

séparation consistant en un tamisage par jet d'air selon la norme NF EN 993-10 avec une coupure granulométrique de 0,15 mm de manière à obtenir l'échantillon n°7 d'une masse de 500 g qui contenait du sable 0,15/4.

5 [0105] Les échantillons n°6 et 7 ont été soumis à une carbonatation accélérée pendant une durée d'une heure dans le même malaxeur à mortier de laboratoire que celui des précédentes séries d'expérimentations, et ce dans les mêmes conditions de carbonatation accélérée que celles de la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations.

[0106] Le pourcentage de captation de dioxyde de carbone pour :

- l'échantillon n°6 (sable 0/4) était de 2,3% ;
- 10 - l'échantillon n°7 (sable 0,15/4) était de 3,6%.

[0107] Cette 4<sup>ème</sup> série d'expérimentations témoigne encore de l'effet bénéfique sur le pourcentage de captation du dioxyde de carbone, lorsque les fines (autrement dit les granulats de béton recyclés de granulométrie inférieure à 0,15 mm) ont été extraites du sable 0/4.

[0108] 5<sup>ème</sup> série d'expérimentations

15 [0109] Au cours de cette 5<sup>ème</sup> série d'expérimentations, les propriétés d'un béton préparé avec l'échantillon n°2 carbonaté de la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations (autrement dit un sable 0,1/2 qui a été carbonaté) ont été comparées avec celles d'un béton préparé un sable naturel classiquement utilisé.

[0110] Plus précisément, pour cette 5<sup>ème</sup> série d'expérimentations, on a utilisé :

- 20 - l'échantillon n°2 carbonaté de la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentation ;
- un échantillon n°2' carbonaté.

[0111] L'échantillon n°2' carbonaté a été obtenu à partir d'un 2<sup>ème</sup> sable 0/2 différent, au niveau de ses propriétés physico-chimiques, de celui utilisé pour la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations, car obtenu après concassage de granulats de béton recyclés provenant d'une démolition d'un bâtiment  
25 d'origine différente.

[0112] Ce 2<sup>ème</sup> sable 0/2 a aussi été soumis à une étape de séparation qui consistait en un tamisage par jet d'air selon la norme NF EN 993-10 avec la coupure granulométrique 0,1 mm de manière à obtenir un échantillon n°2' contenant une fraction sable 0,1/2.

5 [0113] L'échantillon n°2' a été soumis à une carbonatation accélérée dans les mêmes conditions que celles de l'échantillon n°2 et qui sont décrites dans la 1<sup>ère</sup> série d'expérimentations de manière à obtenir l'échantillon n°2' carbonaté.

[0114] Préparation des bétons n°1 à 3 :

[0115] Trois bétons (béton n°1 , béton n°2 et béton n°3) ont été préparés selon un procédé classique de fabrication de béton.

10 [0116] Plus précisément, le béton n°1 a été préparé avec notamment des sables et granulats naturels. [0117] Le béton n°2 a été préparé avec la même composition de sables et granulats naturels que le béton n°1 , à l'exception que 30 % de la masse de sables naturels ont été remplacés par du sable de l'échantillon n°2 carbonaté.

15 [0118] Le béton n°2 a été préparé avec la même composition de sables et granulats naturels que le béton n°1 , à l'exception que 30 % de la masse de sables naturels ont été remplacés par du sable de l'échantillon n°2' carbonaté.

[0119] Propriétés des bétons n°1 à 3 :

20 [0120] Compte tenu de la quantité de sables naturels substitués dans les bétons n°2 et n°3 par du sable carbonaté, à savoir du sable provenant respectivement des échantillons n°2 et n°2' carbonatés, ainsi que du taux de dioxyde carbone qui a été capté au cours de la carbonatation accélérée lors de la préparation de ces sables carbonatés des échantillons n°2 et n°2' carbonatés, les bétons n°2 et n°3 présentent un bilan carbone diminué de respectivement 10,8 % et 8,5 % par rapport à celui du béton n°1.

25 [0121] Les bétons n°2 et n°3 ne présentent pas le même pourcentage de diminution de bilan carbone.

Cela s'explique par les origines différentes précitées des sables 0/2 qui ont été utilisés pour l'obtention des échantillons n°2 et n°2' carbonatés. L'écart de pourcentages de 2,3 % n'est pas surprenant compte tenu des origines différentes des deux sables 0/2 et donc de leurs différences

de propriétés physico-chimiques. On relève ainsi que l'échantillon n°2 a plus capté de dioxyde de carbone que l'échantillon n°2' au cours de la carbonatation accélérée.

[0122] La résistance à la compression des bétons n°1 à 3 a été mesurée selon la norme NF EN 12390-3 sur des éprouvettes de dimension 11 x 2 x 2 cm après 7 et 28 jours de cure humide à 20°C.

5 [0123] Le tableau 2 ci-dessous détaille la résistance à la compression (exprimée en MPa) à 7 jours et 28 jours pour les bétons n°1 à 3.

[0124] [Tableau 2]

	Résistance à la compression à 7 jours (MPa)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)
Béton n°1	29	36,5
Béton n°2	29,1	36,4
Béton n°3	28,8	37,3

10 [0125] Au vu du tableau 2, on relève que la résistance à la compression des bétons n°2 et n°3 est équivalente à celle du béton n°1. Après 7 jours, la résistance à la compression des bétons n°2 et n°3 est très proche de celle du béton n°1 et après 28 jours, la résistance à la compression du béton n°3 est légèrement meilleure que celle du béton n°1.

15 [0126] Ainsi, ces expérimentations de laboratoire montrent que les bétons obtenus à partir de sables dont une partie des sables naturels ont été substitués par des sables carbonatés obtenus à l'issue d'une carbonatation accélérée effectuée sur des sables de granulométrie 0,1/2 (autrement dit des sables dans lesquels les fines de granulométrie inférieure à 0,1 ont été extraites) présentent des propriétés mécaniques équivalentes à celles des bétons obtenus à partir de sables naturels.

20 [0127] Ces expérimentations démontrent que le procédé de carbonatation accélérée de granulats de béton recyclés est une solution efficace pour obtenir des granulats de béton recyclés qui sont parfaitement appropriés en tant que substituts au granulats naturels pour être mis en œuvre dans les formulations de béton.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de carbonatation accélérée, caractérisée en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

5 a) on dispose de granulats de béton recyclés dont la granulométrie est inférieure ou égale à une valeur déterminée  $V_i$  qui est comprise entre 1 mm et 6 mm, autrement dit un sable 0/ $V_i$  ; b) on effectue sur le sable 0/ $V_i$  une étape de séparation en définissant une coupure granulométrique d'une valeur  $V_2$  déterminée qui est comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm de manière à obtenir :

- une 1<sup>ère</sup> fraction dont la granulométrie est inférieure à  $V_2$ , autrement dit un sable 0/ $V_2$ , et

10 - une 2<sup>ème</sup> fraction dont la granulométrie est comprise entre  $V_2$  et  $V_1$ , autrement dit un sable  $V_2/V_1$  ;

c) on soumet la 2<sup>ème</sup> fraction à une étape de carbonatation accélérée dans un carbonateur dynamique (11) par mise en contact de ladite 2<sup>ème</sup> fraction avec un flux gazeux contenant du dioxyde de carbone de manière à obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés.

15 2. Procédé de carbonatation accélérée selon la revendication 1, caractérisé en ce que les granulats de béton recyclés du sable 0/ $V_1$  de l'étape a) proviennent de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments contenant des éléments de béton, de rebuts de production de béton ou d'excédents de béton de chantier.

20 3. Procédé de carbonatation accélérée selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le temps de séjour dans le carbonateur dynamique (11) de la 2<sup>ème</sup> fraction est compris entre 15 minutes et 12 heures.

4. Procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la température du flux gazeux contenant du dioxyde de carbone est comprise entre 15°C et 90°C.

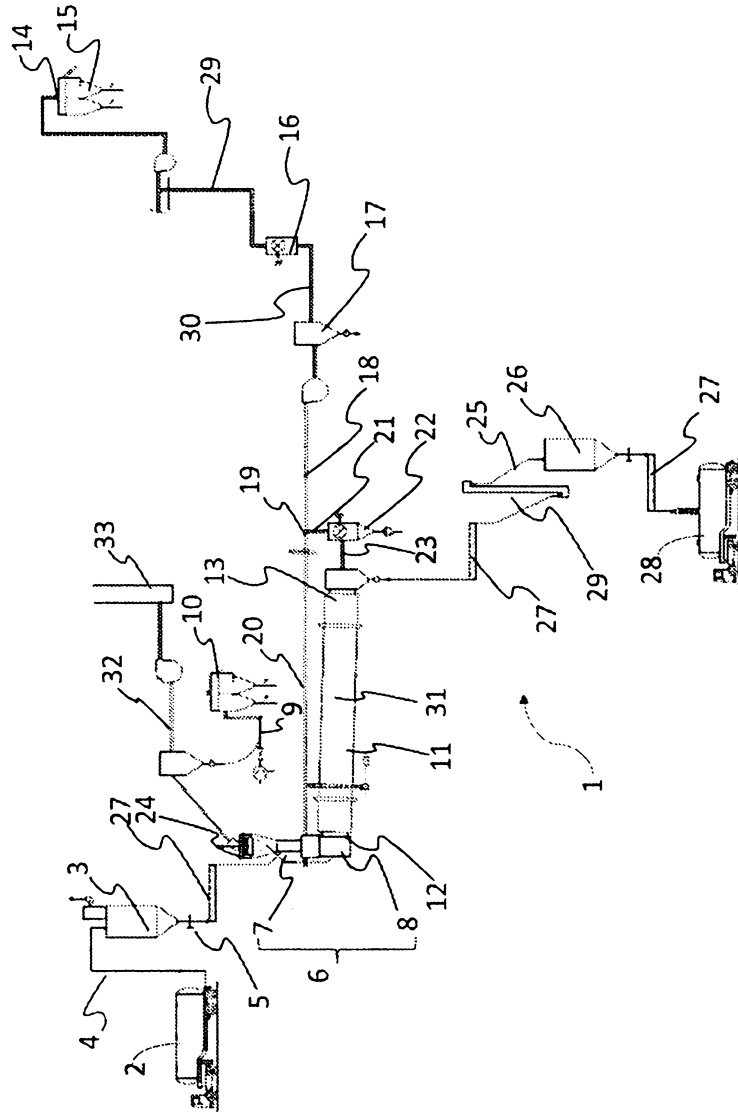
25 5. Procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le pourcentage volumique de dioxyde de carbone dans ledit flux gazeux est compris entre 3% et 100%.

6. Procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la 2<sup>ème</sup> fraction est humidifiée avant l'étape c) avec un taux d'humidité inférieur ou égal à 12%.
7. Procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'humidité relative au sein du carbonateur dynamique (11) est comprise entre 50% et 100%.
8. Procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le carbonateur dynamique (11) comporte :
- une 1<sup>ère</sup> extrémité ouverte (12) par laquelle est introduite la 2<sup>ème</sup> fraction,
  - une 2<sup>ème</sup> extrémité ouverte (13) par laquelle est introduit le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone,
- lesdites 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> extrémités ouvertes (12,13) sont séparées par un tronçon rotatif (31) s'étendant selon une direction longitudinale sensiblement horizontale et au sein duquel la 2<sup>ème</sup> fraction est avancée de la 1<sup>ère</sup> extrémité (12) à la 2<sup>ème</sup> extrémité (13) et le flux gazeux circule à contre-courant de l'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction.
9. Procédé de carbonatation accélérée selon la revendication 8, caractérisé en ce que le tronçon rotatif (31) présente une inclinaison descendante orientée dans le sens de l'avancement de la 2<sup>ème</sup> fraction qui est comprise entre 0,5° et 8°, plus préférentiellement entre 1° et 5°.
10. Procédé de carbonatation accélérée selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que la vitesse de rotation du tronçon rotatif (31) du carbonateur dynamique (11) est comprise entre 0,5 tour/minute et 10 tours/minute.
11. Procédé de valorisation de granulats de béton recyclés et de rejets gazeux industriels, caractérisé en ce qu'il met en œuvre le procédé de carbonatation accélérée selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 et en ce que le flux gazeux contenant du dioxyde de carbone consiste en des rejets gazeux industriels, de préférence des rejets gazeux d'une industrie de cimenterie.
12. Procédé de valorisation selon la revendication 11, caractérisé en ce que les rejets gazeux industriels sont des gaz issus d'un four de cimenterie, de préférence d'un four pour la fabrication de clinker.

Abstract

L'invention concerne un procédé de carbonatation accélérée comprenant les étapes suivantes : a) on dispose de granulats de béton recyclés de granulométrie inférieure ou égale à une valeur  $V1$  comprise entre 1 mm et 6 mm, autrement dit un sable  $0/V1$ ; b) on effectue sur le sable  $0/V1$  une étape de séparation en définissant une coupure granulométrique d'une valeur  $V2$  comprise entre 0,1 mm et 0,2 mm de manière à obtenir : - une 1<sup>ère</sup> fraction dont la granulométrie est inférieure à  $V2$ , et - une 2<sup>ème</sup> fraction dont la granulométrie est comprise entre  $V2$  et  $V1$ ; c) on soumet la 2<sup>ème</sup> fraction à une étape de carbonatation accélérée dans un carbonateur dynamique (11) de manière obtenir des granulats de béton recyclés carbonatés. L'invention concerne aussi un procédé de valorisation des déchets de béton et des rejets gazeux industriels mettant en œuvre le procédé de carbonatation accélérée, en particulier des rejets gazeux de cimenterie.

[Fig. 1]



[Fig. 2]

