

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication : **2 921 358**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **07 06703**

51) Int Cl<sup>8</sup> : **C 04 B 28/02 (2006.01), C 04 B 18/08**

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 25.09.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.03.09 Bulletin 09/13.

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

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : LAFARGE Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : GARCIA EMMANUEL.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : LAFARGE.

54) **BETON A FAIBLE TENEUR EN CLINKER.**

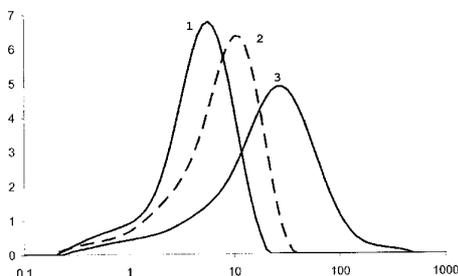
57) L'invention a pour objet un pré-mélange liant sec comprenant, en proportions massiques:

- de 15 à 40 %, de préférence de 20 à 35 %, de clinker sous forme de grains présentant un Dv97 inférieur ou égal à 30 µm;

- de 8 à 35 %, de préférence de 15 à 30 %, de matériaux liants différents du clinker; et

- de 30 à 70 %, de préférence de 35 à 65 %, de matériaux complémentaires, présentant un Dv90 inférieur ou égal à 200 µm.

L'invention a également pour objet un mélange liant sec obtenu par mélange du pré-mélange liant sec précédent avec des granulats, ainsi qu'une composition de béton humide obtenue par gâchage avec de l'eau.



FR 2 921 358 - A1





clinker), et il est encore supérieur pour un béton à ultra-haute performance.

Or les fortes émissions de dioxyde de carbone dans les procédés classiques de production de compositions cimentaires et de béton constituent un problème environnemental majeur, et, dans le contexte actuel, sont amenées à être fortement pénalisées sur le plan économique.

Il existe donc un fort besoin d'un procédé permettant de produire du béton avec des émissions associées de dioxyde de carbone réduites, ledit béton présentant des propriétés mécaniques satisfaisantes et en particulier équivalentes à celles des bétons d'usage courant existants, en vue de son utilisation dans l'industrie de la construction. En particulier, on souhaite que la résistance à la compression du béton soit supérieure ou égale à 25 MPa à 28 jours, conformément à la norme EN 206-1. On souhaite également que les propriétés rhéologiques du béton humide soient satisfaisantes, c'est-à-dire notamment que la viscosité du mélange gâché soit suffisamment faible pour permettre une manipulation aisée.

#### RESUME DE L'INVENTION

L'invention a donc pour objet un pré-mélange liant sec comprenant, en proportions massiques :

- de 15 à 40 %, de préférence de 20 à 35 %, de clinker sous forme de grains présentant un  $Dv_{97}$  inférieur ou égal à 30  $\mu\text{m}$  ;
- de 8 à 35 %, de préférence de 15 à 30 %, de matériaux liants différents du clinker ; et
- de 30 à 70 %, de préférence de 35 à 65 %, de matériaux complémentaires, présentant un  $Dv_{90}$  inférieur ou égal à 200  $\mu\text{m}$ .

Selon un mode de réalisation, le pré-mélange liant sec comprend également de 0,05 à 1,5 %, de préférence de 0,1 à 0,8 %, en masse, d'un agent fluidifiant, de préférence de type polycarboxylate.

Selon un mode de réalisation, le clinker est sous forme de grains présentant un  $Dv_{97}$  inférieur ou égal à 20  $\mu\text{m}$  et / ou un

Dv50 inférieur ou égal à 15  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieur ou égal à 10  $\mu\text{m}$ .

Selon un mode de réalisation, le pré-mélange liant sec comprend moins de 5% en masse, de préférence moins de 1%,  
5 avantagement moins de 0,4%, voire moins de 0,1%, de préférence est dépourvu :

- de matériaux sous forme de grains dont le Dv50 est inférieur ou égal à 1  $\mu\text{m}$  et / ou de surface spécifique BET supérieure à 6  $\text{m}^2/\text{g}$ .

10 Selon un mode de réalisation, les matériaux liants différents du clinker sont choisis parmi le laitier, les pouzzolanes naturelles ou artificielles, les cendres volantes et les mélanges de ceux-ci.

Selon un mode de réalisation, les matériaux  
15 complémentaires constituent une charge inerte.

Selon un mode de réalisation, les matériaux complémentaires sont choisis parmi les cendres volantes, les poudres calcaires et leurs mélanges.

Selon un mode de réalisation :

- 20 - les matériaux liants différents du clinker sont du laitier et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont de la poudre calcaire ;  
ou
- les matériaux liants différents du clinker sont des  
25 cendres volantes et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont de la poudre calcaire ; ou
- les matériaux liants différents du clinker sont du  
30 laitier et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont des cendres volantes.

Selon un mode de réalisation, le pré-mélange liant sec comprend en outre un accélérateur et / ou un agent entraîneur d'air et / ou un agent viscosant et / ou un retardateur et /  
ou un inertant des argiles et / ou un fluidifiant.

35 L'invention a également pour objet un mélange liant sec comprenant, en proportions massiques :

- de 5 à 30 %, de préférence de 10 à 20 %, du pré-mélange liant sec susmentionné ; et







optimisation poussée de l'ensemble des paramètres de formulation, et notamment grâce à :

- 5 - une optimisation de l'empilement des grains des différents matériaux (permettant de minimiser la quantité d'eau pour un comportement rhéologique donné) ;
- 10 - l'optimisation de la topologie du mélange, c'est-à-dire la multiplication et l'homogénéité dans l'espace des interfaces d'adhésion entre particules de sable et / ou granulats par des « points de colle » d'hydrates de ciment (notamment via l'utilisation de grains de clinker environ 10 fois plus fins que ceux du ciment Portland ordinaire) ;
- 15 - la recherche d'une « chrono-formulation », c'est à dire l'utilisation d'une quantité minimale de clinker pour garantir l'acquisition de la résistance mécanique à court terme, tandis que d'autres matériaux liants sont présents en une quantité ajustée pour fournir l'acquisition de la résistance mécanique à plus long
- 20 terme (prenant en quelque sorte le relais du clinker dans l'accroissement de la résistance mécanique) ;
- l'ajustement de la demande en eau par un choix de matériaux à relativement faible demande en eau (notamment faible porosité), ce qui permet aussi de
- 25 maximiser la résistance à la compression ;
- l'optimisation des différents adjuvants et notamment de l'agent fluidifiant (superplastifiant), qui permet de maximiser la réduction de l'eau en optimisant la dispersion de la poudre et donc l'empilement.

30

#### BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

La **Figure 1** représente le profil granulométrique du ciment utilisé dans les exemples ci-dessous. En abscisse figure la taille en  $\mu\text{m}$  et en ordonnée le pourcentage volumique. La

35 courbe n°1 correspond au ciment « SPLC 20  $\mu$  », la courbe n°2 correspond au ciment « SPLC 30  $\mu$  » et la courbe n°3 correspond au ciment HTS Le Teil (voir exemple 4).

La **Figure 2** représente le profil granulométrique des fillers calcaires utilisés dans les exemples ci-dessous. En abscisse figure la taille en  $\mu\text{m}$  et en ordonnée le pourcentage volumique. La courbe n°1 représente le filler BL200, la courbe n°2 représente le filler Calgar FV, la courbe n°3 représente le filler Mikhart 15 et la courbe n°4 représente le filler Calgar 40 (voir exemple 4).

La **Figure 3** représente le profil granulométrique des granulats utilisés dans les exemples ci-dessous. En abscisse figure la taille en mm et en ordonnée le pourcentage volumique cumulé. La courbe n°1 représente le sable de Honfleur 0/4R (sable roulé alluvionnaire), la courbe n°2 représente le sable 0/3,15 de Cassis (sable concassé) et la courbe n°3 représente les granulats 6,3/10 de Cassis (gravillons concassés) : voir exemple 4.

#### DESCRIPTION DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

L'invention est maintenant décrite plus en détail et de façon non limitative dans la description qui suit.

#### Clinker

Par « clinker » on entend le clinker pur, avec ou sans l'addition classique de sulfate de calcium, ou la composante clinker d'un ciment broyé et / ou sélecté, avec ou sans l'addition classique de sulfate de calcium.

Dans les compositions telles que définies ci-dessus, le clinker peut provenir d'un ciment, notamment un ciment Portland choisi parmi les ciments Portland classiques, et en particulier parmi les ciments décrits dans la norme européenne EN 197-1. On pourra utiliser par exemple un ciment CEM I ou CEM II 52.5 N ou R ou PM (Prise Mer - norme NF P 15-317) ou PMES (Prise Mer Eau Sulfatée - norme NF P 15-319). Le ciment peut être du type HRI (à Haute Résistance Initiale).

Un tel ciment doit être broyé et/ou coupé (par classification pneumatique) et éventuellement sulfaté selon la méthode classique afin de fournir du clinker présentant les caractéristiques requises dans l'invention, à savoir un  $D_{v97}$  inférieur ou égal à  $30 \mu\text{m}$ , de préférence inférieur ou égal à

20  $\mu\text{m}$ , et / ou un  $Dv_{50}$  inférieur ou égal à 15  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieur ou égal à 10  $\mu\text{m}$ . On peut qualifier ce clinker d'ultrafin. Le ciment peut par exemple être broyé à l'aide d'un atelier de broyage comprenant un broyeur primaire  
5 de type meule ou vertical couplé à un broyeur finisseur de type Horomill®, pendulaire ou broyeur à boulets, ou broyeur à jets d'air. On peut également utiliser un sélecteur ou classificateur pneumatique de seconde, troisième génération ou bien de très haute efficacité.

10 On souhaite, en réduisant la taille du clinker, maximiser les distances de diffusion des grains de ciment de façon à maximiser l'homogénéité de la matrice à travers une répartition optimale des points de colle inter-particulaires.

Le  $Dv_{97}$  (en volume) correspond au 97<sup>ème</sup> centile de la  
15 distribution de taille des particules, c'est-à-dire que 97 % des particules ont une taille inférieure au  $Dv_{97}$  et 3 % ont une taille supérieure au  $Dv_{97}$ . De même, le  $Dv_{90}$  correspond au 90<sup>ème</sup> centile de la distribution de taille des particules, c'est-à-dire que 90 % des particules ont une taille inférieure  
20 au  $Dv_{90}$  et 10 % ont une taille supérieure au  $Dv_{90}$ . De même, le  $Dv_{50}$  correspond au 50<sup>ème</sup> centile de la distribution de taille des particules, c'est-à-dire que 50 % des particules ont une taille inférieure au  $Dv_{50}$  et 50 % ont une taille supérieure au  $Dv_{50}$ .

25 De manière générale, le  $Dv_{50}$ , le  $Dv_{90}$ , le  $Dv_{97}$  et les autres grandeurs du même type qui sont caractéristiques du profil granulométrique (distribution volumétrique) d'un ensemble de particules ou grains peuvent être déterminés par granulométrie laser pour les particules de taille inférieure à  
30 200  $\mu\text{m}$ , ou par tamisage pour les particules de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$ .

Néanmoins, lorsque les particules individuelles ont une tendance à l'agrégation, il convient de déterminer leur taille par microscopie électronique, étant donné que la taille  
35 apparente mesurée par granulométrie par diffraction laser est alors plus importante que la taille particulaire réelle, ce qui est susceptible de fausser l'interprétation (agglomération et floculation).

Dans certains cas, notamment pour le type CEM II, le ciment Portland n'est pas constitué de clinker pur mais est fourni mélangé avec au moins un matériau additionnel (laitier, fumée de silice, pouzzolane, cendres volantes, schiste calciné, calcaire...), en une quantité allant jusqu'à 37%. Aussi, si le clinker utilisé provient d'un tel ciment, le ou les matériaux additionnels sont comptabilisés soit parmi les matériaux liants différents du clinker (s'ils présentent une activité hydraulique ou pouzzolanique liante), soit parmi les « matériaux complémentaires » susmentionnés (s'ils ne présentent pas de telles activités et / ou si ce sont des matériaux sous forme de grains présentant un  $Dv_{90}$  inférieur ou égal à 200  $\mu\text{m}$ , et de préférence un  $Dv_{97}$  inférieur ou égal à 200  $\mu\text{m}$ ).

Il peut être préférable d'utiliser un ciment à haute teneur en alcalins solubles. Ceci permet par exemple d'activer la composante laitier lorsqu'elle est présente.

#### Matériaux liants différents du clinker

Par « matériaux liants » on entend des matériaux susceptibles d'apporter une contribution à la résistance mécanique à la compression et notamment une contribution à la résistance mécanique à la compression à moyen terme, c'est-à-dire à partir de 1 jour après le gâchage (notamment entre 1 et 28 jours après le gâchage). Les « matériaux liants » présentent une activité hydraulique et / ou pouzzolanique.

Un type particulièrement préféré de tels matériaux liants est le laitier, plus particulièrement le laitier de haut fourneau broyé présentant un taux de verre de 80% au minimum. Ce laitier est broyé à une finesse minimale (surface spécifique Blaine, méthode normalisée EN 196-6) de 2500  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

D'autres matériaux liants pouvant être utilisés sont les matériaux pouzzolaniques comme par exemple les cendres volantes, les pouzzolanes naturelles ou artificielles. On peut également utiliser des schistes calcinés ou des métakaolins. Les divers matériaux liants différents du clinker peuvent être utilisés seuls ou en combinaison les uns avec les autres. L'homme du métier choisira des matériaux liants appropriés en

fonction de leur réactivité, c'est-à-dire de leur aptitude à promouvoir la résistance à la compression entre 1 jour et 28 jours après le gâchage. Cette aptitude varie selon le type et la provenance particulière des matériaux utilisés.

5 De préférence, les pré-mélanges liants secs selon l'invention ne contiennent pas de matériaux sous forme de grains dont le  $Dv_{50}$  est inférieur ou égal à  $1 \mu\text{m}$  et / ou de surface spécifique BET supérieure à  $6 \text{ m}^2/\text{g}$  ou éventuellement en contiennent moins de 5 %, de préférence moins de 1 % en masse, 10 avantageusement moins de 0,4 %, voire moins de 0,1 %). Il en est de même pour les fumées de silices. En effet la solution consistant à utiliser des fumées de silice est économiquement peu souhaitable, bien qu'elle soit très satisfaisante au niveau des résultats obtenus.

15 De préférence, les matériaux liants différents du clinker sont des fines. Plus particulièrement, de préférence les matériaux liants différents du clinker sont constitués de grains dont le  $Dv_{90}$  (et de préférence aussi le  $Dv_{97}$ ) est inférieur à  $200 \mu\text{m}$ .

20

#### Matériaux complémentaires

Par « matériaux complémentaires » on entend des matériaux sous forme de grains présentant un  $Dv_{90}$  inférieur ou égal à  $200 \mu\text{m}$ , et de préférence un  $Dv_{97}$  inférieur ou égal à  $200 \mu\text{m}$ .

25 Ces matériaux servent de matériaux de remplissage de la matrice, c'est-à-dire qu'ils comblent les interstices entre les autres matériaux dont les grains ont des tailles supérieures.

Bien que l'on puisse envisager que les matériaux 30 complémentaires soient des matériaux liants, l'optimisation (notamment en terme de coût) des bétons selon l'invention conduit à préférer que les matériaux complémentaires soient une charge inerte, c'est-à-dire soient des matériaux non-liants (sans activité hydraulique ou pouzzolanique).

35 On pourra par exemple utiliser comme matériaux complémentaires des poudres calcaires (fillers calcaires) ou des cendres volantes ou leurs mélanges. On pourra également

utiliser des schistes calcinés, des métakaolins, des fillers siliceux ou des poudres de silice.

Lorsqu'on utilise des cendres volantes en tant que matériaux complémentaires, il est souhaitable que les  
5 matériaux liants ne soient pas des cendres volantes mais soient de préférence du laitier ou des pouzzolanes naturels ou des mélanges de ceux-ci. On rappelle ici que les cendres volantes peuvent présenter ou non une activité liante pouzzolanique selon les types de cendres.

10

#### Pré-mélanges liants secs

Le clinker, les matériaux liants différents du clinker et les matériaux complémentaires peuvent être avantageusement combinés selon les proportions énoncées ci-dessus pour former  
15 des pré-mélanges liants secs (dépourvus d'eau), destinés à être gâchés avec des granulats et de l'eau.

Des compositions particulièrement avantageuses sont les suivantes :

- 20 - clinker, laitier et poudre calcaire (en tant que matériaux complémentaires) ;
- clinker, cendres volantes et poudre calcaire (en tant que matériaux complémentaires) ;
- clinker, laitier et cendres volantes (en tant que matériaux complémentaires) ;
- 25 - on peut également dans les formules précédentes remplacer tout ou partie des matériaux liants différents du clinker (laitier ou cendres volantes) par des pouzzolanes naturelles.

Avantageusement, on peut également prévoir dans ces pré-  
30 mélanges secs un ou plusieurs adjuvants classiquement utilisés dans le domaine : un accélérateur et / ou un agent entraîneur d'air et / ou un agent viscosant et / ou un retardateur et / ou un inertant des argiles et / ou un fluidifiant. En particulier, il est utile d'inclure un fluidifiant  
35 (superplastifiant), notamment de type polycarboxylate, en particulier de 0,05 à 1,5 %, de préférence de 0,1 à 0,8 %, en masse.

On entend par « inertant des argiles » toute molécule permettant de diminuer ou annuler l'effet néfaste des argiles sur les propriétés des liants hydrauliques. On peut notamment utiliser les inertants des argiles tels que décrits dans les documents WO 2006/032785 et WO 2006/032786.

#### Granulats

La définition des granulats est ici celle de la norme XPP18-545. Les granulats comprennent du sable (grains de taille maximale  $D_{max}$  inférieure à 4 mm, définie en tant que passant de tamis), et des gravillons (grains ou cailloux de taille minimale  $D_{min}$  supérieure à 4 mm, définie en tant que refus de tamis).

Les granulats peuvent être de nature calcaire, siliceuse ou silico-calcaire.

Le sable et les gravillons peuvent être roulés ou concassés. Un sable concassé comprend une proportion de fines plus importante qu'un sable roulé. Selon le vocabulaire en usage dans le domaine du sable, les fines sont les grains de dimension inférieure à 63  $\mu\text{m}$  (passant de tamis).

Lorsque le sable comprend des fines en quantité supérieure à 1% (fraction massique dans le sable), il importe de tenir compte de la quantité de fines apportée par le sable, en diminuant la quantité des « matériaux complémentaires » décrites ci-dessus d'une quantité égale à la quantité de fines présente dans le sable (fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$ ) au-delà du seuil de 1%.

De préférence, la teneur en argile dans le sable et les granulats est inférieure à 1 %. En effet, de fortes teneurs d'argiles affectent négativement l'ouvrabilité des bétons.

De préférence le rapport massique de la quantité de sable sur la quantité de gravillons est comprise entre 1,5:1 et 1:1,5, plus particulièrement entre 1,25:1 et 1:1,25, notamment entre 1,1:1 et 1:1,1, et idéalement est voisin de 1:1.

#### Mélanges liants secs

Les granulats, le clinker, les matériaux liants différents du clinker, les matériaux complémentaires, les éventuels

adjuvants (notamment agent fluidifiant) peuvent être associés en mélanges liants secs (dépourvus d'eau). De tels mélanges liants secs peuvent être préparés soit en mélangeant un pré-mélange liant sec sus-défini avec les granulats, soit en

5 mélangeant directement les différents constituants *ab initio*.

Les proportions massiques des différents constituants peuvent alors être définies comme suit :

- de 5 à 30 %, de préférence de 10 à 20 %, du pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 9 ; et

10 - de 70 à 95 %, de préférence de 80 à 90 %, de granulats.

Les proportions massiques peuvent également être définies comme suit :

- de 2,4 à 6,5 %, de préférence de 3,2 à 5,6 %, de clinker sous forme de grains présentant un  $D_{v97}$

15 inférieur ou égal à 30  $\mu\text{m}$  ;

- de 1,6 à 5,6 %, de préférence de 2,5 à 5 %, de matériaux liants différents du clinker ;

- de 4,8 à 11,2 %, de préférence de 5,6 à 10,4 %, de matériaux complémentaires ;

20 - de 35 à 50 %, de préférence de 40 à 45 %, de sable ;

- de 35 à 50 %, de préférence de 40 à 45 %, de gravillons; et

- moins de 0,2 % d'agent fluidifiant.

Un mélange liant sec ainsi défini est un béton sec prêt à

25 l'emploi, utilisable par simple gâchage avec l'eau.

### Béton

Le béton selon l'invention est préparé en gâchant :

- de 5 à 30 %, de préférence de 10 à 20 %, du pré-mélange liant sec ; et

30

- de 70 à 95 %, de préférence de 80 à 90 %, de granulats :

- avec de l'eau.

Les pourcentages correspondant à des proportions par rapport à la masse totale sèche.

35

Le béton peut également être préparé directement en gâchant le mélange sec défini ci-dessus avec de l'eau.

La quantité de clinker utilisée est avantageusement inférieure à  $150 \text{ kg/m}^3$ , de préférence inférieure à  $120 \text{ kg/m}^3$ .

Le béton selon l'invention peut également être préparé en gâchant directement les différents ingrédients entre eux et avec de l'eau, dans les proportions suivantes :

- de  $60$  à  $150 \text{ kg/m}^3$ , de préférence de  $80$  à  $120 \text{ kg/m}^3$ , de clinker sous forme de grains présentant un  $D_{v97}$  inférieur ou égal à  $30 \mu\text{m}$  ;
- de  $35$  à  $130 \text{ kg/m}^3$ , de préférence de  $55$  à  $110 \text{ kg/m}^3$  de matériaux liants différents du clinker ;
- de  $100$  à  $280 \text{ kg/m}^3$ , de préférence de  $120$  à  $250 \text{ kg/m}^3$  de matériaux complémentaires ;
- de  $1500$  à  $2200 \text{ kg/m}^3$ , de préférence de  $1700$  à  $2000 \text{ kg/m}^3$  de granulats ;
- un agent fluidifiant ;
- éventuellement un accélérateur et / ou un agent entraîneur d'air et / ou un agent viscosant et / ou un retardateur et / ou un inertant des argiles ; avec
- de l'eau.

On entend par «  $\text{kg/m}^3$  » la masse de matériaux à utiliser par  $\text{m}^3$  de béton produit.

La quantité d'eau de gâchage est de préférence de  $140$  à  $220 \text{ l/m}^3$ , de préférence de  $150$  à  $210 \text{ l/m}^3$ , de manière plus particulièrement préférée de  $160$  à  $200 \text{ l/m}^3$  d'eau. Selon certains modes, cette quantité d'eau est donc réduite par rapport à un béton classique. Le rapport E/C, où E désigne la quantité d'eau et C la quantité de clinker, est plus grand que dans le cas du béton classique, et ce en raison de la faible quantité de clinker qui est présente. Le rapport E/C est de préférence compris entre  $1,4$  et  $1,8$ , tout particulièrement entre  $1,5$  et  $1,7$  (idéalement voisin de  $1,6$ ).

De préférence les granulats comprennent du sable et des gravillons et le rapport massique de la quantité de sable sur la quantité de gravillons est comprise entre  $1,5:1$  et  $1:1,5$ , plus particulièrement entre  $1,25:1$  et  $1:1,25$ , notamment entre  $1,1:1$  et  $1:1,1$ , et idéalement est voisin de  $1:1$ .

Les matériaux en question présentent, selon des modes de réalisation particuliers, les mêmes caractéristiques que

celles qui ont été décrites ci-dessus en relation avec les mélanges et pré-mélanges liants selon l'invention.

Le malaxage s'effectue au moyen d'un malaxeur conventionnel, pendant une durée de malaxage usuelle dans le domaine.

5 Les compositions de béton obtenues selon l'invention présentent des propriétés mécaniques comparables, de préférence au moins aussi bonnes voire meilleures par rapport aux bétons de type C25/30 classiques, notamment en terme de résistance à la compression à 28 jours et de rhéologie.

10 En particulier, selon un mode de réalisation de l'invention, la résistance à la compression est supérieure ou égale à 4 MPa, de préférence supérieure ou égale à 5 MPa, 16h après le gâchage, et supérieure ou égale à 25 MPa, de préférence supérieure ou égale à 28 MPa, 28 jours après le  
15 gâchage.

Selon un mode de réalisation, l'affaissement au cône d'Abrams (ou valeur de slump) est compris entre 0 et 250 mm, de préférence entre 100 et 200 mm, la mesure étant effectuée selon la norme européenne EN 12350-2, de décembre 1999.

20 Selon un mode de réalisation, l'étalement à une minute est compris entre 50 et 140 mm, de préférence entre 85 et 105 mm en utilisant le cône de la norme ASTM C230 en l'absence de vibrations.

Selon un mode de réalisation, l'étalement à une minute  
25 est compris entre 180 et 270 mm, de préférence entre 215 et 235 mm en utilisant le cône de la norme ASTM C230 en présence de vibrations, la mesure étant effectuée comme indiqué à l'exemple 6 ci-dessous.

30 Ainsi les bétons selon l'invention présentent des propriétés rhéologiques équivalentes aux bétons C25/30 classiques.

De préférence, les bétons selon l'invention sont des bétons à seuil. On entend par « béton à seuil » un béton (humide) qui nécessite l'apport d'une énergie positive (par  
35 exemple, une force de cisaillement, une vibration ou un choc) afin de déclencher son écoulement. Par opposition, un béton sans seuil s'écoule tout seul, sans apport d'énergie extérieure. Ainsi, le béton à seuil se comporte

essentiellement, en dessous d'une énergie seuil, comme un solide élastique déformable ; et au-dessus de cette énergie seuil, comme un fluide visqueux.

La quantité de clinker (et de ciment) utilisée pour  
5 préparer le béton selon l'invention est très inférieure à celle qui est nécessaire pour préparer un béton classique de type C25/30, ce qui permet de réaliser des économies spectaculaires en terme d'émission de CO<sub>2</sub>. Par rapport à une  
10 formule C25/30 de référence qui contient 95 kg/m<sup>3</sup> de calcaire et 260 kg/m<sup>3</sup> de ciment, un béton selon l'invention contenant par exemple entre 100 et 120 kg/m<sup>3</sup> clinker permet de réaliser une économie d'émission de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 50 à 60 %.

Le béton selon l'invention peut être coulé selon les méthodes usuelles ; après hydratation / durcissement on  
15 obtient des objets en béton durci tels que des éléments de construction, des éléments d'ouvrage d'art ou autres.

#### EXEMPLES

Les exemples suivants illustrent l'invention sans la  
20 limiter.

#### Exemple 1 : méthode de granulométrie laser

Les courbes granulométriques des différentes poudres sont obtenues à partir d'un granulomètre laser Malvern MS2000. La  
25 mesure s'effectue en voie humide (milieu aqueux) ; la taille des particules doit être comprise entre 0,02 µm et 2 mm. La source lumineuse est constituée par un laser rouge He-Ne (632 nm) et une diode bleue (466 nm). Le modèle optique est celui de Fraunhofer, la matrice de calcul est de type polydisperse.

30 Une mesure de bruit de fond est d'abord effectuée avec une vitesse de pompe de 2000 tr/min, une vitesse d'agitateur de 800 tr/min et une mesure du bruit sur 10 s, en l'absence d'ultrasons. Durant la phase de calibration / mesure de blanc de l'appareil, on vérifie que l'intensité lumineuse du laser  
35 est au moins égale à 80%, et que l'on obtient une courbe exponentielle décroissante pour le bruit de fond. Si ce n'est pas le cas, les lentilles de la cellule doivent être nettoyées.

On effectue ensuite une première mesure sur l'échantillon avec les paramètres suivants : vitesse de pompe de 2000 tr/min, vitesse d'agitateur de 800 tr/min, absence d'ultrasons. L'échantillon est introduit pour avoir une  
5 obscuration comprise entre 10 et 20 %. On entend par « obscuration » l'extinction du signal laser par la suspension circulant entre l'émetteur et le capteur central (turbidimètre). Une obscuration de 100 % correspond à une extinction complète du signal. Au contraire, une obscuration  
10 de 0 % correspond au fluide pur translucide sans aucune particule. L'obscuration dépend de la concentration en solides de la suspension et de l'indice de réfraction des particules. Après stabilisation de l'obscuration, la mesure est effectuée avec une durée entre l'immersion et la mesure fixée à 10 s. La  
15 durée de mesure est de 30 s (30000 images de diffraction analysées). Dans le granulogramme obtenu, il faut tenir compte du fait qu'une partie de la population de la poudre peut être agglomérée.

On effectue ensuite une seconde mesure (sans vidanger la  
20 cuve) avec des ultrasons. La vitesse de pompe est portée à 2500 tr/min, l'agitation à 1000 tr/min, les ultrasons sont émis à 100 % (30 watts). Ce régime est maintenu pendant 3 minutes, puis on revient aux paramètres initiaux : vitesse de pompe de 2000 tr/min, vitesse d'agitateur de 800 tr/min,  
25 absence d'ultrasons. Au bout de 10 s (pour évacuer les bulles d'air éventuelles), on effectue une mesure de 30 s (30000 images analysées). Cette seconde mesure correspond à une poudre désagglomérée par dispersion ultrasonique.

Chaque mesure est répétée au moins deux fois pour vérifier  
30 la stabilité du résultat. L'appareil est étalonné avant chaque séance de travail au moyen d'un échantillon standard (silice C10 Sifrac) dont la courbe granulométrique est connue. Toutes les mesures présentées dans la description et les gammes annoncées correspondent aux valeurs obtenues avec ultrasons.

35

Exemple 2 : méthode de visualisation directe par microscopie électronique à balayage

Pour les poudres présentant une forte tendance à l'agglomération, on recourt à la technique de visualisation directe par microscopie à balayage (avec mesure et comptage des particules sur l'image obtenue). Chaque échantillon de  
5 poudre est éventuellement séché par passage à l'étuve à une température inférieure à 50°C, ou sous vide ou par lyophilisation. Puis on utilise deux méthodes alternatives de préparation d'échantillon : la préparation sur scotch pour observer la poudre de façon globale (phénomènes  
10 d'agglomération...) et la préparation en suspension pour caractériser les particules individuellement (taille, forme, aspect de surface...)

Dans la préparation sur scotch, on prend un plot métallique et on dépose une pastille conductrice autocollante  
15 double face ou du scotch conducteur double face sur sa face supérieure. A l'aide d'une spatule on saupoudre la poudre à observer sur cette surface, en veillant aux phénomènes électrostatiques lors du prélèvement et du saupoudrage. On peut également appliquer la face munie de l'adhésif double  
20 face sur la poudre à observer. On élimine la poudre en excès non retenue par l'adhésif en tapotant le plot, face supérieure maintenue à la verticale, sur une surface dure. Eventuellement, on souffle légèrement l'échantillon avec une bombe d'air sec pour éliminer les particules qui seraient mal  
25 fixées et on procède à la métallisation.

Dans la préparation en suspension on prend un plot en graphite. On le nettoie à l'éthanol, on polit la surface avec une pâte à polir (par exemple PIKAL). On introduit dans un bécher environ 10 cm<sup>3</sup> du liquide de suspension, ici de  
30 l'éthanol. On ajoute progressivement la poudre à observer, le bécher étant placé dans une cuve à ultrasons (afin d'obtenir une faible opacité de la suspension). L'application des ultrasons est prolongée une fois l'introduction de la poudre achevée. Puis on prélève quelques gouttes de suspension et on  
35 les dépose sur le plot en graphite. Le prélèvement est effectué au moyen d'une micropipette ou d'une spatule. Pour éviter les phénomènes de sédimentation, le prélèvement est effectué le plus rapidement possible, sans cesser d'agiter la

suspension. Le liquide est ensuite évaporé, éventuellement en plaçant le plot sous une lampe à infrarouges. La pellicule déposée doit être très fine sans présenter d'amoncellement, elle doit être à peine visible à l'œil nu. Dans le cas contraire, l'échantillon n'est pas utilisable. On élimine la poudre insuffisamment retenue sur la surface en tapotant le plot, face supérieure maintenue à la verticale, sur une surface dure. Eventuellement, on souffle légèrement l'échantillon avec une bombe d'air sec pour éliminer les particules mal fixées, et on procède à la métallisation.

La métallisation est effectuée par projection sous vide d'un flot de métal en fusion (or ou carbone). La mesure de MEB elle-même est effectuée de manière classique pour l'homme du métier.

#### Exemple 3 : méthode de mesure de la surface spécifique BET

La surface spécifique des différentes poudres est mesurée comme suit. On prélève un échantillon de poudre de masse suivante : 0,1 à 0,2 g pour une surface spécifique estimée à plus de 30 m<sup>2</sup>/g ; 0,3 g pour une surface spécifique estimée à 10-30 m<sup>2</sup>/g ; 1 g pour une surface spécifique estimée à 3-10 m<sup>2</sup>/g ; 1,5 g pour une surface spécifique estimée à 2-3 m<sup>2</sup>/g ; 2 g pour une surface spécifique estimée à 1.5-2 m<sup>2</sup>/g ; 3 g pour une surface spécifique estimée à 1-1,5 m<sup>2</sup>/g.

On utilise une cellule de 3 cm<sup>3</sup> ou de 9 cm<sup>3</sup> selon le volume de l'échantillon. On pèse l'ensemble de la cellule de mesure (cellule + tige en verre). Puis on ajoute l'échantillon dans la cellule : le produit ne doit pas être à moins d'un millimètre du haut de l'étranglement de la cellule. On pèse l'ensemble (cellule + tige en verre + échantillon). On met en place la cellule de mesure sur un poste de dégazage et on dégaze l'échantillon. Les paramètres de dégazage sont de 30 min / 45°C pour le ciment Portland, le gypse, les pouzzolanes ; de 3 h / 200°C pour les laitiers, fumées de silice, cendres volantes, ciment alumineux, calcaire ; et de 4 h / 300°C pour l'alumine de contrôle. La cellule est rapidement bouchée avec un bouchon après le dégazage. On pèse l'ensemble et on note le résultat. Toutes les pesées sont

effectuées sans le bouchon. La masse de l'échantillon est obtenue par soustraction de la masse de la cellule à la masse de la cellule + échantillon dégazé.

On effectue ensuite l'analyse de l'échantillon après  
5 l'avoir mis en place sur le poste de mesure. L'analyseur est le SA 3100 de Beckman Coulter. La mesure repose sur l'adsorption d'azote par l'échantillon à une température donnée, ici la température de l'azote liquide soit  $-196^{\circ}\text{C}$ . L'appareil mesure la pression de la cellule de référence dans  
10 laquelle l'adsorbat est à sa pression de vapeur saturante et celle de la cellule de l'échantillon dans laquelle des volumes connus d'adsorbat sont injectés. La courbe résultant de ces mesures est l'isotherme d'adsorption. Dans le processus de mesure, la connaissance du volume mort de la cellule est  
15 nécessaire : une mesure de ce volume est donc réalisée avec de l'hélium avant l'analyse.

La masse de l'échantillon calculée précédemment est entrée en tant que paramètre. La surface BET est déterminée par le logiciel par régression linéaire à partir de la courbe  
20 expérimentale. L'écart-type de reproductibilité obtenu à partir de 10 mesures sur une silice de surface spécifique  $21,4 \text{ m}^2/\text{g}$  est de 0,07. L'écart-type de reproductibilité obtenu à partir de 10 mesures sur un ciment de surface spécifique  $0,9 \text{ m}^2/\text{g}$  est de 0,02. Une fois toutes les deux semaines un contrôle  
25 est effectué sur un produit de référence. Deux fois par an, un contrôle est réalisé avec l'alumine de référence fournie par le constructeur.

#### Exemple 4 : matières premières utilisées

30 Dans ce qui suit, on utilise plus particulièrement les matériaux suivants.

Ciment : on utilise un ciment CPA CEM I 52.5 (provenance Lafarge Ciments - cimenterie de Saint-Pierre la Cour, dit « SPLC »). La fraction la plus fine de ce ciment est  
35 sélectionnée au moyen d'un séparateur Alpine AFG100. Deux qualités de ciment sont notamment produites :

- le ciment « SPLC 20  $\mu$  » (vitesse de turbine de 13000 tours par minute, 42,95 % de matière récupérée) ;

- le ciment « SPLC 30  $\mu$  » (vitesse de turbine de 9000 tours par minute, 57,8 % de matière récupérée).

Le profil granulométrique de ces deux qualités de ciment est visible sur la **Figure 1**. Ce ciment est obtenu à partir  
 5 d'un mélange de base de 95 % de clinker , 2 % de calcaire et  
 3 % filler, auquel est ajouté 5 % de gypse ou d'anhydrite et éventuellement des agents de mouture et / ou réducteurs du chrome VI. Ainsi, le ciment comprend au moins 90 % de clinker.

Pour le béton témoin (C25/30 de référence), on utilise du  
 10 ciment HTS CPA CEM1 52.5 PEMS Le Teil (fournisseur Lafarge).

Matériaux liants : on utilise du laitier provenant de Fos sur Mer, broyé industriellement à 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$  (Blaine).

Matériaux complémentaires : on utilise les fillers calcaires dont la liste suit.

- 15 - Calgar 40 (Provençale SA) avec une surface spécifique BET de 0,99  $\text{m}^2/\text{g}$  et une valeur au bleu de méthylène  $\text{MB}_F$  de 0,6 g/100 g selon la norme NF EN 933-9;
- Mikhart 15 (fournisseur Provençale SA) avec une surface spécifique BET de 1,2  $\text{m}^2/\text{g}$  et une valeur au bleu de  
 20 méthylène  $\text{MB}_F$  de 0,27 g / 100 g selon la norme NF EN 933-9 ;
- BL200 (fournisseur Omya) avec une surface spécifique BET de 0,86  $\text{m}^2/\text{g}$  et une valeur au bleu de méthylène  $\text{MB}_F$  de 0,3 g/100 g selon la norme NF EN 933-9 ;
- 25 - Calgar FV (Provençale SA) avec une surface spécifique BET de 1,03  $\text{m}^2/\text{g}$  et une valeur au bleu de méthylène  $\text{MB}_F$  de 0,3 g/100 g selon la norme NF EN 933-9.

Le profil granulométrique de ces matériaux est visible sur la **Figure 2**.

30 Adjuvant : on utilise le fluidifiant Optima 203 de Chryso, qui est de type polycarboxylate.

Granulats : on utilise les matériaux dont la liste suit, tous fournis par Lafarge.

- Sable 0/3,15 de Cassis (sable concassé) ;
- 35 - Sable de Honfleur 0/4R (sable roulé alluvionnaire) ;
- Granulats 6,3/10 de Cassis (gravillons concassés).

Le profil de distribution granulométrique de ces matériaux est représenté à la **Figure 3**.

Exemple 5 : formulations de béton selon l'invention

Les formules qui suivent sont des formules de compositions de béton selon l'invention, à l'exception de la formule C25/30 qui est un témoin. Les matériaux utilisés sont ceux décrits à l'exemple 4. Chaque nombre correspond à la masse de matériau utilisée (en kg) pour préparer 1 m<sup>3</sup> de béton.

Formule G3-1

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Honfleur 0/4R	941,5
Ciment SPLC 20 $\mu$	100
Filler BL200	218,8
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	2,3
Eau	164,2

10

Formule G3-2

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Cassis 0/3,15	941,5
Ciment SPLC 20 $\mu$	100
Filler BL200	93,8
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	2,3
Eau	164,2

15

Dans la formule G3-2 la quantité de filler est réduite par rapport à la formule G3-1 car le sable utilisé (concassé et non roulé) comporte une quantité importante de fines, dont on tient compte dans la fraction des matériaux complémentaires.

Formule G3-3

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Honfleur 0/4R	941,5
Ciment SPLC 20 $\mu$	100
Filler Calgar FV	218,8
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	2,5
Eau	164

20

Formule G3-4

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Honfleur 0/4R	941,5

24

Ciment SPLC 20 $\mu$	100
Filler Calgar 40	217,9
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	3
Eau	163,6

Formule G3-5

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Honfleur 0/4R	941,5
Ciment SPLC 20 $\mu$	100
Filler Mikhart 15	217,9
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	3,5
Eau	163,2

Formule G3-6

Granulats Cassis 6,3/10	941,5
Sable Honfleur 0/4R	941,5
Ciment SPLC 30 $\mu$	100
Filler BL200	218
Laitier	60
Adjuvant Optima 203	2,3
Eau	164,2

5

Formule G4-1

Granulats Cassis 6,3/10	920
Sable Honfleur 0/4R	920
Ciment SPLC 20 $\mu$	120
Filler BL200	126
Laitier	100
Adjuvant CHRYSOPLAST 209	0,80
Eau	193

Formule G4-2

Granulats Cassis 6,3/10	920
Sable Honfleur 0/4R	920
Ciment SPLC 20 $\mu$	120
Filler BL200	144
Laitier	80
Adjuvant CHRYSOPLAST 209	1,02
Eau	195

10 Formule C25/30 (référence)

Granulats Cassis 6,3/10	900
-------------------------	-----

Sable Honfleur 0/4R	900
Ciment HTS Le Teil 52,5 N	257
Filler BL200	95
Adjuvant CHRYSOPLAST 209	0,54
Eau	189

#### Exemple 6 : performances des bétons selon l'invention

Les performances des bétons selon l'invention sont évaluées sur les points qui suivent.

- 5 - Résistance à la compression. Celle-ci est mesurée en fabriquant des éprouvettes cylindriques de diamètre 70, 110 ou 160 mm et d'élançement 2, en rectifiant celles-ci selon la norme NF P18-406, puis en les mettant sous charge jusqu'à la rupture. En ce qui concerne la mise  
10 en charge, le protocole consiste à entourer chaque échantillon de deux ou trois épaisseurs de ruban de cellophane, à le centrer sur le plateau inférieur d'une presse au moyen d'un gabarit de centrage (machine  
15 d'essais mécaniques de capacité 3000 kN asservie en force, conforme aux normes NF P18-411 et 412), à configurer un asservissement en force de 1 MPa/s, à effectuer la mise en charge jusqu'à la rupture selon la norme NF P18-406 et à relever la valeur de la charge à la rupture. Par la suite on en déduit la valeur de la  
20 résistance en divisant la force par la section de l'éprouvette.

Le résultat des mesures de résistance à la compression est reporté dans le tableau 1 ci-dessous : il montre en particulier que les formulations ci-dessus permettent  
25 d'obtenir une résistance à la compression supérieure ou égale à 4 MPa à 16 h et supérieure ou égale à 25 MPa (voire voisine de 30 MPa) à 28 jours.

30 Tableau 1 - résistances à la compression (en MPa) jusqu'à 28 jours mesurées sur cylindre de diamètre 70 mm.

	Echéance : 16 h	Echéance : 24 h	Echéance : 28 j
C25/30 réf	nm	9,8	32,2
G3-1	5,4	6,3	29,8
G3-2	nm	7,5	nm

G3-3	5,4	6,5	29,1
G3-4	5,4	6,9	29,1
G3-5	5,5	6,7	29,2
G3-6	5,0	6,0	29,4
G4-1	6,1	7,9	36,8
G4-2	nm	nm	30,1

nm = non mesuré.

On évalue également la rhéologie des compositions de béton ci-dessus. Pour cela, on effectue une mesure de l'étalement "statique" et "vibré" comme suit :

On utilise le cône ASTM décrit dans la norme ASTM C230. Le cône est positionné sur une table vibrante électromagnétique SINEX TS100 dotée d'un plateau carré de 600 mm × 600 mm (fréquence 50 Hz, amplitude 0,5 mm). La mesure d'étalement est faite sur une surface sèche. L'étalement est mesuré selon 3 directions, on retient la valeur moyenne arrondie à 5 mm près.

Pour la préparation : on introduit 2 litres de mélange sec dans la cuve ; on mélange 30 secondes à sec à petite vitesse ; on arrête le mélangeur ; on introduit la quantité totale d'eau et l'adjuvant liquide ; on malaxe 2 minutes à petite vitesse. A la fin de la gâchée, soit 2 minutes après le contact eau (T=2 min), le cône est rempli en une fois et arasé, puis on soulève le cône.

A T=3 min, on mesure l'étalement "statique" après une minute d'attente.

A T=3 min 15, on met en route une vibration à 50Hz et 0,5 mm d'amplitude durant 30 s.

A T=3 min 45, on mesure l'étalement "vibré".

Le béton est récupéré et conservé dans un sac plastique fermé afin d'éviter le dessèchement entre les mesures. Avant chaque prélèvement, la pâte est légèrement agitée à l'aide d'une spatule.

A T= 10 min, le cône est rempli en une fois, arasé puis on soulève le cône.

A T= 11 min, on mesure l'étalement "statique" après une minute d'attente.

A T=11 min 15, on met en route une vibration à 50Hz et 0,5 mm d'amplitude durant 30 s.

A T=11 min 45, on mesure l'étalement "vibré.

Les résultats sont reportés dans le tableau 2 ci-dessous. Ils montrent que les bétons formulés selon l'invention présentent des performances acceptables en terme de rhéologie, voire aussi bonnes que celles d'un béton C25/30 classique. La différence entre les résultats obtenus avec et sans vibrations met en évidence un comportement de fluide à seuil (comme pour un béton C25/30 classique).

10 Tableau 2 - performances rhéologiques (les étalements sont donnés en mm)

	Etalement à 3 min statique	Etalement à 11 min statique	Etalement à 3 min 45 vibré	Etalement à 11 min 45 vibré
C25/30	95	95	225	225
G3-1	95	95	230	230
G3-2	100	100	225	225
G3-3	90	90	225	220
G3-4	90	90	225	220
G3-5	90	90	225	225
G3-6	90	90	225	225
G4-1	100	100	220	215
G4-2	nm	95	nm	225

nm = non mesuré.

**REVENDEICATIONS**

- 5           **1.** Pré-mélange liant sec comprenant, en proportions massiques :
- de 15 à 40 %, de préférence de 20 à 35 %, de clinker sous forme de grains présentant un Dv97 inférieur ou égal à 30  $\mu\text{m}$  ;
  - 10           - de 8 à 35 %, de préférence de 15 à 30 %, de matériaux liants différents du clinker ; et
  - de 30 à 70 %, de préférence de 35 à 65 %, de matériaux complémentaires, présentant un Dv90 inférieur ou égal à 200  $\mu\text{m}$ .
- 15           **2.** Pré-mélange liant sec selon la revendication 1, comprenant également de 0,05 à 1,5 %, de préférence de 0,1 à 0,8 %, en masse, d'un agent fluidifiant, de préférence de type polycarboxylate.
- 20           **3.** Pré-mélange liant sec selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le clinker est sous forme de grains présentant un Dv97 inférieur ou égal à 20  $\mu\text{m}$  et / ou un Dv50 inférieur ou égal à 15  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieur ou égal à 10  $\mu\text{m}$ .
- 25           **4.** Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 3, qui comprend moins de 5% en masse, avantageusement moins de 0,4% en masse, de préférence est dépourvu, de matériaux sous forme de grains dont
- 30           le Dv50 est inférieur ou égal à 1  $\mu\text{m}$  et / ou de surface spécifique BET supérieure à 6  $\text{m}^2/\text{g}$ .
- 35           **5.** Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel les matériaux liants différents du clinker sont choisis parmi le laitier, les pouzzolanes naturelles ou artificielles, les cendres volantes et les mélanges de ceux-ci.

6. Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les matériaux complémentaires constituent une charge inerte.
- 5 7. Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les matériaux complémentaires sont choisis parmi les cendres volantes, les poudres calcaires et leurs mélanges.
- 10 8. Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel :
- 15 - les matériaux liants différents du clinker sont du laitier et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont de la poudre calcaire ; ou
  - les matériaux liants différents du clinker sont des cendres volantes et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont de la poudre calcaire ; ou
  - 20 - les matériaux liants différents du clinker sont du laitier et / ou des pouzzolanes naturelles, et les matériaux complémentaires sont des cendres volantes.
- 25 9. Pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant en outre un accélérateur et / ou un agent entraîneur d'air et / ou un agent viscosant et / ou un retardateur et / ou un inertant des argiles et / ou un fluidifiant.
- 30 10. Mélange liant sec comprenant, en proportions massiques :
- 35 - de 5 à 30 %, de préférence de 10 à 20 %, du pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 9 ; et
  - de 70 à 95 %, de préférence de 80 à 90 %, de granulats.

- 5           **11.** Mélange liant sec selon la revendication 10, dans lequel les granulats comprennent du sable et des gravillons, le rapport massique de la quantité de sable sur la quantité de gravillons étant compris entre 1,5:1 et 1:1,5, de préférence entre 1,25:1 et 1:1,25, plus particulièrement entre 1,1:1 et 1:1,1.
- 10           **12.** Composition de béton humide, comprenant de l'eau en association avec :  
- de 5 à 30 %, de préférence de 10 à 20 %, du pré-mélange liant sec selon l'une des revendications 1 à 9 ; et  
- de 70 à 95 %, de préférence de 80 à 90 %, de granulats ;  
15           les pourcentages correspondant à des proportions par rapport à la masse totale sèche.
- 20           **13.** Composition de béton humide selon la revendication 12, dans lequel les granulats comprennent du sable et des gravillons, le rapport massique de la quantité de sable sur la quantité de gravillons étant compris entre 1,5:1 et 1:1,5, de préférence entre 1,25:1 et 1:1,25, plus particulièrement entre 1,1:1 et 1:1,1.
- 25           **14.** Composition de béton humide selon la revendication 12 ou 13, dans laquelle le rapport E/C, où E désigne la quantité d'eau et C la quantité de clinker, est compris entre 1,4 et 1,8, de préférence entre 1,5 et 1,7, et est idéalement voisin de 1,6.
- 30           **15.** Composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 14, comprenant de 140 à 220 l/m<sup>3</sup>, de préférence de 150 à 210 l/m<sup>3</sup>, de manière plus particulièrement préférée de 160 à 200 l/m<sup>3</sup> d'eau.
- 35           **16.** Composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 15, qui est un béton à seuil.

- 5           **17.** Composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 16, présentant une résistance à la compression supérieure à 4 MPa, 16 heures après le gâchage, et supérieure à 25 MPa, 28 jours après le gâchage.
- 10           **18.** Composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 17, présentant un étalement compris entre 180 et 270 mm, de préférence entre 215 et 235 mm, mesuré à l'aide du cône de la norme ASTM C230, à l'issue d'une durée de 1 minute et 45 secondes, dont 30 secondes en présence de vibrations de 50 Hz de fréquence et de 0,5 mm d'amplitude.
- 15           **19.** Composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 18, présentant un affaissement au cône d'Abrams (ou valeur de slump) compris entre 0 et 250 mm, de préférence entre 100 et 200 mm.
- 20           **20.** Objet en béton durci de la composition selon l'une des revendications 12 à 19.
- 25           **21.** Procédé de préparation d'une composition de béton humide comprenant une étape de :  
- gâchage du mélange de l'une des revendications 10 ou 11, avec de l'eau ; ou  
- gâchage du pré-mélange de l'une des revendications 1 à 9, avec des granulats et de l'eau.
- 30           **22.** Procédé de préparation d'une composition de béton humide comprenant une étape de gâchage de :  
- de 60 à 150 kg/m<sup>3</sup>, de préférence de 80 à 120 kg/m<sup>3</sup>, de clinker sous forme de grains présentant un Dv97 inférieur ou égal à 30 µm ;  
35           - de 35 à 130 kg/m<sup>3</sup>, de préférence de 55 à 110 kg/m<sup>3</sup> de matériaux liants différents du clinker ;  
- de 100 à 280 kg/m<sup>3</sup>, de préférence de 120 à 250 kg/m<sup>3</sup> de matériaux complémentaires ;

- de 1500 à 2200 kg/m<sup>3</sup>, de préférence de 1700 à 2000 kg/m<sup>3</sup> de granulats ;
  - un agent fluidifiant ;
  - éventuellement un accélérateur et / ou un agent entraîneur d'air et / ou un agent viscosant et / ou un retardateur et / ou un inertant des argiles ;
- avec
- de l'eau.

5

10      **23.** Procédé de préparation d'une composition de béton humide selon la revendication 22, dans lequel le clinker et / ou les matériaux liants différents du clinker et / ou les matériaux complémentaires sont selon les revendications 1 à 9.

15

20      **24.** Procédé de préparation d'une composition de béton humide selon l'une des revendications 21 à 23, dans lequel le gâchage est effectué à un rapport E/C, où E désigne la quantité d'eau et C la quantité de clinker, compris entre 1,4 et 1,8, de préférence entre 1,5 et 1,7, et idéalement est voisin de 1,6.

25      **25.** Procédé de préparation d'une composition de béton humide selon l'une des revendications 21 à 24, dans lequel la quantité d'eau utilisée est de 140 à 220 l/m<sup>3</sup>, de préférence de 150 à 210 l/m<sup>3</sup>, de manière plus particulièrement préférée de 160 à 200 l/m<sup>3</sup>.

30      **26.** Procédé de préparation d'un béton humide coulé, comprenant une étape de :

- coulage d'une composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 19.

35      **27.** Procédé de fabrication d'un objet en béton, comprenant une étape de :

- durcissement d'une composition de béton humide selon l'une des revendications 12 à 19 ou d'une

composition de béton humide coulée selon la  
revendication 26.

1 / 2

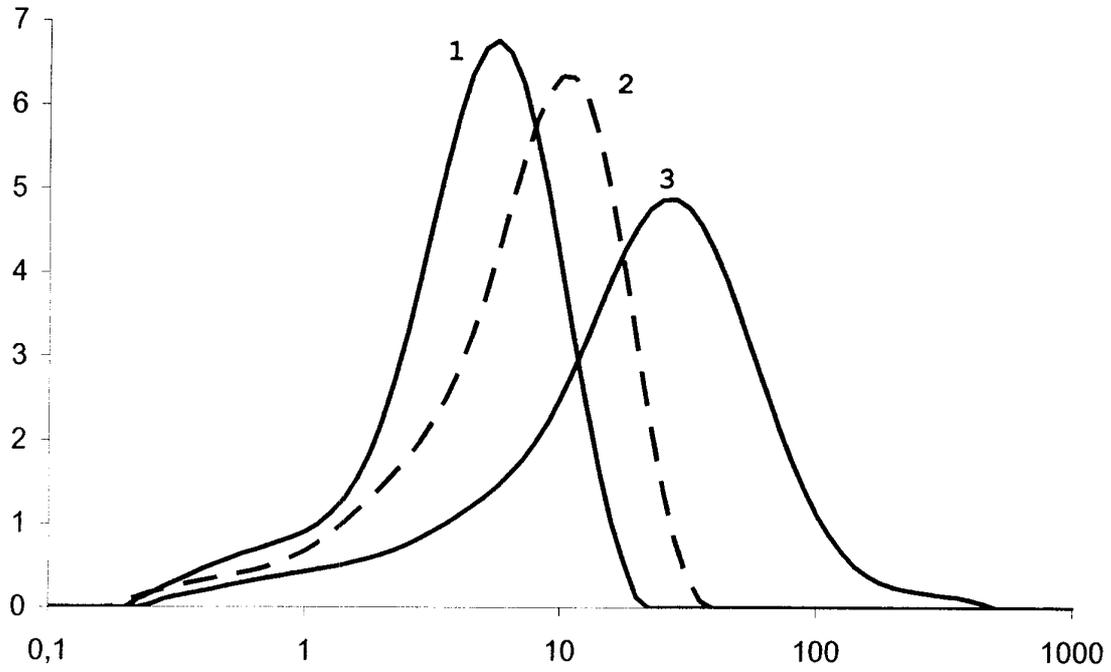


Figure 1

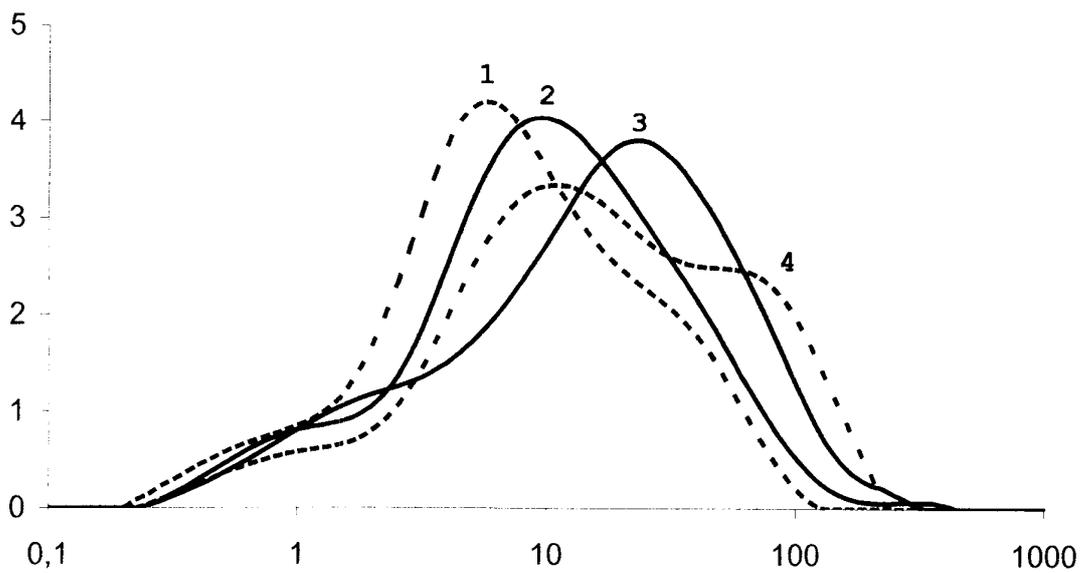


Figure 2

2 / 2

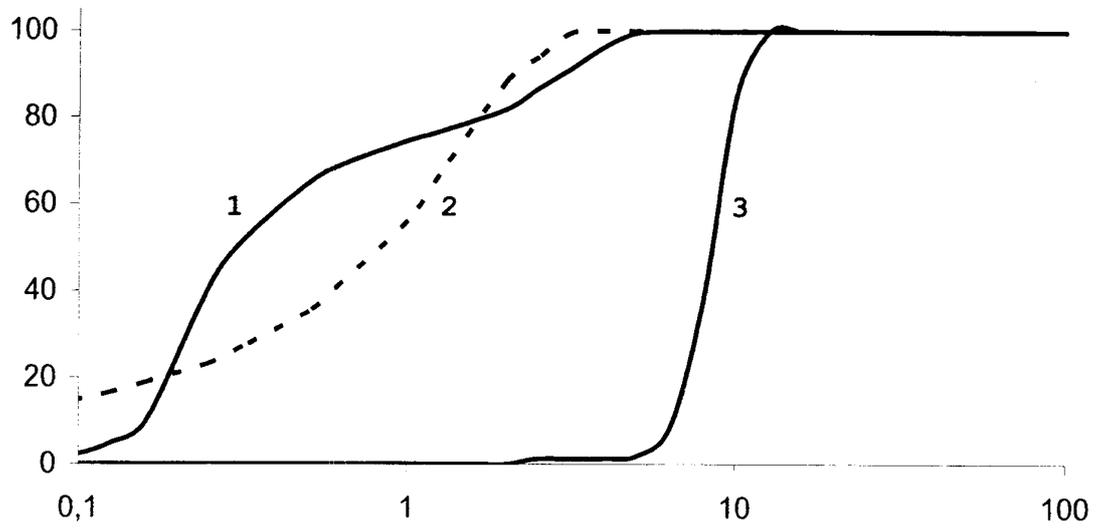


Figure 3

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 703098  
FR 0706703

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		
E	WO 2007/132098 A (LAFARGE SA [FR]; GARCIA EMMANUEL [FR]) 22 novembre 2007 (2007-11-22) * le document en entier *	1-3,5-7, 9-27	C04B28/02 C04B18/08
X	EP 1 702 899 A (LUKAS WALTER PROF DR [AT]) 20 septembre 2006 (2006-09-20) * le document en entier *	1-27	
A	WO 93/21122 A (AALBORG PORTLAND AS [DK]; BORGHOLM HANS ERIK [DK]; DAMTOFT JESPER SAND) 28 octobre 1993 (1993-10-28) * page 3, ligne 31 - page 7, ligne 22 *	1-27	
A	JP 2002 265241 A (TAIHEIYO CEMENT CORP) 18 septembre 2002 (2002-09-18) * abrégé *	1-27	
A	FR 2 590 248 A (TEKOM TECH KONST MAT CENTAR [BG] TEKOM TEC KONST MAT [BG]) 22 mai 1987 (1987-05-22) * exemple 1 *	1-27	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	WO 2004/041746 A (PROCEDO ENTPR ETABLISSEMENT [LI]; RONIN VLADIMIR [SE]) 21 mai 2004 (2004-05-21) * le document en entier *	1-27	C04B
A	WO 2007/053398 A (EXCELL MATERIALS INC [US]; ABBATE WILLIAM V [US]; MUELLER DANIEL F [US]) 10 mai 2007 (2007-05-10) * le document en entier *	1-27	
A	US 5 478 391 A (BABAEV SHAHVIRAN T [RU] ET AL) 26 décembre 1995 (1995-12-26) * exemples 4,5 *	1-27	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 juillet 2008		Gattinger, Irene	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 703098  
FR 0706703

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		
A	<p>CHIKAMATSU, R. ET AL: "High-flowability concrete composition"                      CHEMICAL ABSTRACTS, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, US,                      vol. 118, no. 12,                      22 mars 1993 (1993-03-22), page 438,                      XP000353843                      ISSN: 0009-2258                      * abrégé *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-27	<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 juillet 2008		Gattinger, Irene	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p>		<p>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                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	

1  
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0706703 FA 703098**

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 16-07-2008

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
WO 2007132098	A	22-11-2007	FR 2901268 A1	23-11-2007
			US 2007266906 A1	22-11-2007
EP 1702899	A	20-09-2006	DE 102005012317 A1	28-09-2006
WO 9321122	A	28-10-1993	AT 134597 T	15-03-1996
			CA 2118029 A1	28-10-1993
			DE 69301658 D1	04-04-1996
			DE 69301658 T2	14-11-1996
			DK 640062 T3	18-03-1996
			EP 0640062 A1	01-03-1995
			ES 2086228 T3	16-06-1996
			FI 944793 A	12-10-1994
			GR 3019995 T3	31-08-1996
			GR 3031584 T3	31-01-2000
			NO 943854 A	18-11-1994
			PL 172061 B1	31-07-1997
			US 5584926 A	17-12-1996
ZA 9302597 A	26-10-1993			
JP 2002265241	A	18-09-2002	AUCUN	
FR 2590248	A	22-05-1987	BG 41885 A1	15-09-1987
			DE 3636659 A1	30-04-1987
			JP 62119149 A	30-05-1987
WO 2004041746	A	21-05-2004	AU 2003239026 A1	07-06-2004
			BR 0315470 A	23-08-2005
			CA 2503369 A1	21-05-2004
			CN 1694855 A	09-11-2005
			EP 1558543 A1	03-08-2005
			JP 2006505479 T	16-02-2006
			KR 20050074523 A	18-07-2005
			MX PA05004693 A	18-10-2005
			SE 524154 C2	06-07-2004
			SE 0203287 A	08-05-2004
			TR 200501408 T2	22-01-2007
			UA 80001 C2	10-08-2007
			US 2004089203 A1	13-05-2004
			ZA 200503583 A	22-02-2006
WO 2007053398	A	10-05-2007	AUCUN	
US 5478391	A	26-12-1995	AUCUN	