



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2002/10/21

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2003/04/24

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2007/10/02

(30) Priorité/Priority: 2001/10/24 (FR01 13711)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C04B 28/06* (2006.01),
C04B 28/04 (2006.01), *C04B 7/32* (2006.01)

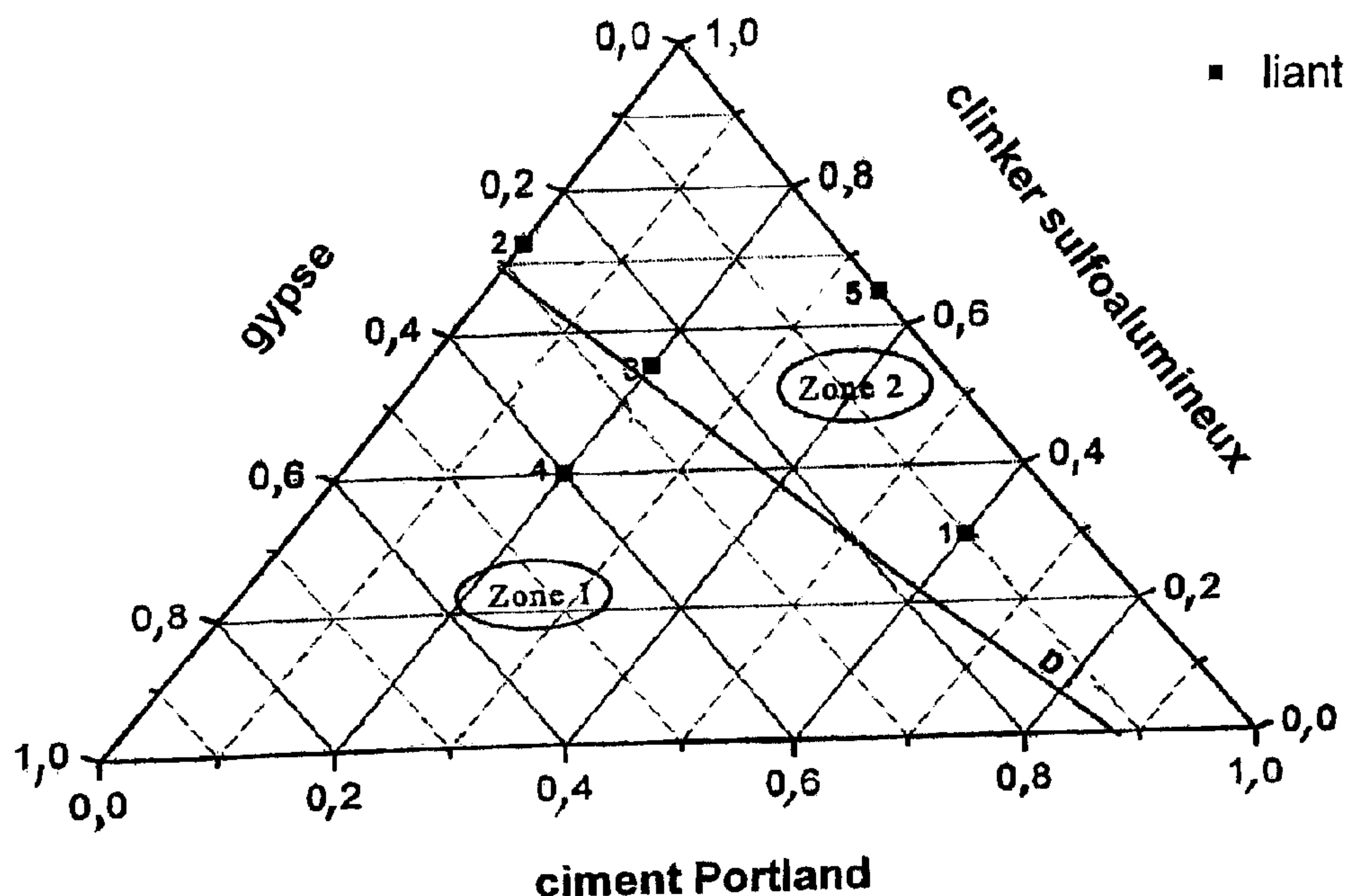
(72) Inventeurs/Inventors:
CLASSEN, BRUNO, FR;
COLOMBET, PIERRE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
CIMENTES FRANCAIS, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : CLINKER SULFOALUMINEUX SANS FER ET SANS CHAUX LIBRE, SON PROCEDE DE PREPARATION ET SON UTILISATION DANS DES LIANTS BLANCS

(54) Title: SULPHOALUMINOUS CLINKER WITHOUT IRON OR FREE LIME, PREPARATION PROCESS OF SAME, AND USE OF SAME FOR COLORLESS BINDERS



(57) Abrégé/Abstract:

Le clinker sulfoalumineux faiblement coloré renferme - plus de 55 % en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$) - plus de 10 % en poids de phase bélite (C_2S) - moins de 10 % en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$) et ne renferme pratiquement pas de phase ferrite, ni de phase gehlénite (C_2AS), ni de chaux libre. Il est préparé par un procédé de clinkérisation réalisé à des températures comprises entre 1.250° C et 1.350° C environ. Il peut être utilisé pour une large gamme d'applications en le combinant à une source de sulfate de calcium et/ou du ciment Portland, pour obtenir des liants ayant des propriétés spécifiques (couleur, temps de prise, résistance mécanique, expansion ou retrait...).



ABREGE

Le clinker sulfoalumineux faiblement coloré renferme

- plus de 55 % en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$)
- plus de 10 % en poids de phase bélite (C_2S)
- moins de 10 % en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$)

et ne renferme pratiquement pas de phase ferrite, ni de phase gehlénite (C_2AS), ni de chaux libre.

Il est préparé par un procédé de clinkérisation réalisé à des températures comprises entre 1.250° C et 1.350° C environ.

Il peut être utilisé pour une large gamme d'applications en le combinant à une source de sulfate de calcium et/ou du ciment Portland, pour obtenir des liants ayant des propriétés spécifiques (couleur, temps de prise, résistance mécanique, expansion ou retrait...).

CLINKER SULFOALUMINEUX SANS FER ET SANS CHAUX LIBRE,
SON PROCÉDÉ DE PRÉPARATION ET SON UTILISATION DANS
DES LIANTS BLANCS

La présente invention concerne un nouveau clinker sulfoalumineux, son procédé de préparation et son utilisation dans des liants, en particulier dans des liants faiblement teints, faiblement colorés ou blancs.

Les liants hydrauliques (incluant les ciments) sont des poudres minérales qui réagissent avec l'eau afin de former une pâte malléable qui durcit après quelques heures. On confond souvent les termes "liant hydraulique" et "ciment". De façon générale les liants hydrauliques sont composés de ciments et d'additifs minéraux. La fabrication du ciment consiste à cuire un cru, composé des matériaux appropriés dans un four rotatif, à haute température (supérieure à 1.450° C). Les nodules obtenus après la cuisson, appelés nodules de clinker, sont broyés à une finesse adéquate (ou surface spécifique) afin d'activer l'affinité du ciment avec l'eau. Le ciment est donc un clinker broyé, avec des ajouts minéraux éventuels.

Les ciments sont illustrés de manière classique par deux types de ciments, les ciments Portland et les ciments alumineux.

Pour faciliter les explications, les abréviations standards utilisées dans la suite du texte sont rappelées ci-après :

C représente CaO

$\bar{\text{S}}$ représente SO_3

A représente Al_2O_3

H représente H_2O

S représente SiO_2

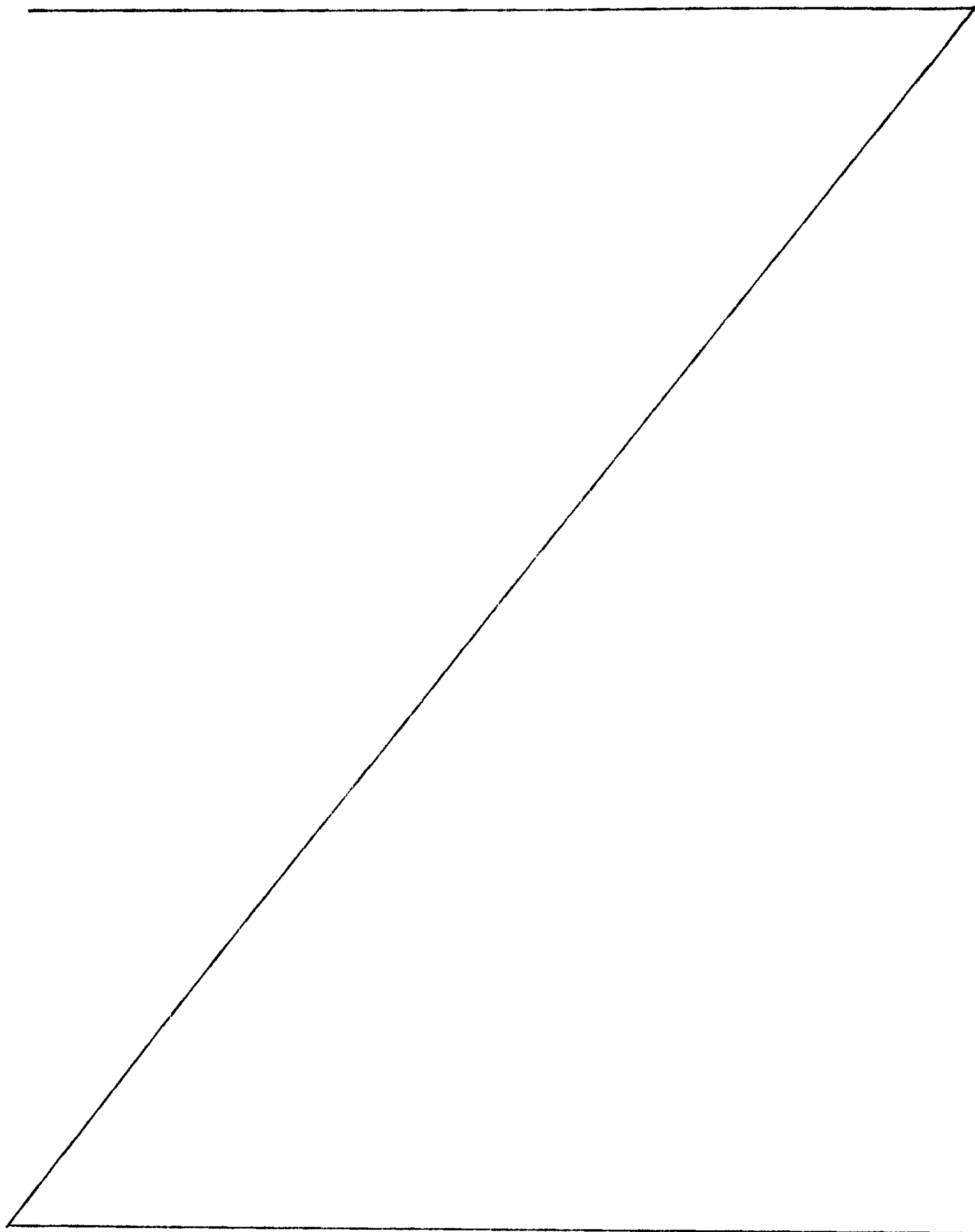
T représente TiO_2

F représente Fe_2O_3

Les ciments de type Portland sont composés de quatre phases principales, alite C_3S (40-70 %), bélite C_2S (jusqu'à 30 %), aluminat tricalcique C_3A (2-15 %) et ferrite C_4AF (jusqu'à 15 %). Le gypse est ajouté habituellement (jusqu'à 5 %) pendant le broyage du clinker.

1a

Les ciments de type alumineux couvrent une gamme de liants qui renferment de l'aluminate monocalcique CA en tant que constituant principal. Les autres phases majoritaires de cette gamme de ciments sont la phase ferrite C_4AF , et la phase dialuminate de calcium CA_2 .



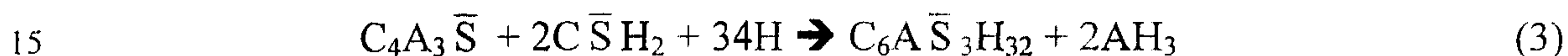
Un nouveau type de ciment a été créé durant les années 70. Il est caractérisé par une de ses phases appelée sulfoaluminate de calcium $C_4A_3\bar{S}$ (phase de Klein). Les autres phases sont généralement C_2S , C_4AF , CA , CA_2 , $C_{12}A_7$, $C\bar{S}$ et de la chaux libre. Le sulfoaluminate de calcium s'hydrate différemment en fonction des autres phases présentes dans le liant (liant = ciment + addition des minéraux actifs) :

- Si $C_4A_3\bar{S}$ est la seule phase hydraulique réactive, les produits d'hydratation sont le monosulfoaluminate de calcium et l'hydroxyde d'aluminium :



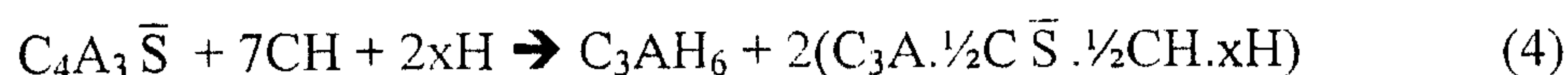
Cette réaction commence très lentement et la pâte reste malléable pendant une période de temps assez longue.

- En présence de gypse (ou d'autres phases sulfate de calcium) $C_4A_3\bar{S}$ donne lieu à l'ettringite si le rapport molaire gypse/sulfoaluminate de calcium est supérieur à 2, et donne l'ettringite et le monosulfoaluminate de calcium dans le cas contraire :

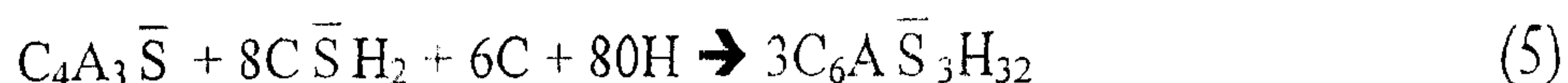


Les réactions (2) et (3) démarrent plus rapidement que la réaction (1), et après leur démarrage, sont assez rapides. En conséquence, les ciments à base de $C_4A_3\bar{S}$ en présence de sulfate de calcium sont des ciments à prise rapide avec une période de malléabilité de plus de 30 minutes. De plus en excès de gypse (rapport molaire de sulfate de calcium/sulfoaluminate de calcium > 2), ils augmentent de volume.

- Les mélanges de $C_4A_3\bar{S}$ et de chaux (oxyde de calcium) donnent lieu à une phase hydraugarnet (C_3AH_6) et à une phase Afm ($C_3A.\frac{1}{2}C\bar{S}.\frac{1}{2}CH.xH$) :



- Les mélanges de $C_4A_3\bar{S}$, de chaux et de sulfate de calcium s'hydratent très rapidement pour former l'ettringite :



A nouveau ici, des propriétés d'expansion peuvent être obtenues si la chaux et le sulfate de calcium sont en excès.

Les réactions (4) et (5) sont très rapides et conduisent très vite à la prise (c'est-à-dire en quelques minutes) et donnent naissance à des ciments durcissant très rapidement. La chaux peut être présente dans le liant en tant que partie de la composition, ou peut être le résultat de la dissolution d'une autre phase : la phase principale du ciment Portland C_3S , une fois en contact avec l'eau, libère de l'hydroxyde de calcium (la forme hydratée de la chaux) qui à son tour accélère la formation d'hydrates selon les réactions (4) ou (5).

En conséquence les cinétiques d'hydratation de $C_4A_3\bar{S}$ dépendent largement des phases présentes dans le liant. Ceci conduit à différentes applications selon que l'on souhaite obtenir un durcissement rapide, une prise rapide et/ou des propriétés d'expansion. Quelques exemples sont cités ci-après :

- Les brevets US 3 251 701, US 3 155 526, US 4 419 136 et US 3 857 714 décrivent des liants expansifs produits à partir d'un clinker renfermant du sulfoaluminate de calcium contenant du clinker qui est mélangé à d'autres constituants (par exemple du gypse et du ciment Portland) afin de produire l'ettringite (réaction (3) ou (5)) avec un excès de gypse et/ou de chaux. Ce clinker ne contenant pas uniquement $C_4A_3\bar{S}$ mais aussi de la chaux et de l'anhydrite a des applications limitées puisque des temps de prise longs (réaction (1)), qui sont requis pour de nombreuses applications, sont impossibles à obtenir.

- Le brevet US 3 860 433 décrit un ciment à très haute résistance, et à prise rapide composé de 20 à 40 % de $C_4A_3\bar{S}$, de 10 à 35 % de $C\bar{S}$, le restant étant essentiellement C_2S . Puisque la teneur en $C\bar{S}$ est élevée, le clinker broyé s'hydrate selon les réactions (2) ou (3). L'obtention d'un liant à temps de prise long, tel que la réaction (1) soit favorisée, est impossible.

- Les clinkers ferro- et sulfoalumineux développés par le CBMA (China Building Materials Academy) sont composés principalement de $C_4A_3\bar{S}$, C_2S et C_4AF (voir Tableau 1). Ils sont très utiles pour des applications générales et spécifiques telles que la construction en hiver, la fabrication de structures souterraines, la construction

marine et les applications à béton renforcé résistant à la corrosion. Cependant leur teneur en C_4AF est toujours supérieure à 3 %. Ce qui leur confère une couleur sombre. Il n'est donc pas intéressant d'incorporer ces clinkers dans des liants devant rester faiblement colorés ou pigmentés, tels que des enduits.

5 Tableau 1 – Compositions des clinkers ferro- et sulfoalumineux de CBMA

	$C_4A_3\bar{S}$	C_2S	C_4AF
Sulfoalumineux	50-70 %	10-25 %	3-10 %
Ferroalumineux	45-60 %	10-20 %	15-25 %

– Le document WO 90/15033 décrit un clinker cuit entre 1.000 et 1.200° C composé d'une teneur élevée en $C_4A_3\bar{S}$, avec un rapport molaire A/F supérieur à 0,64. Il existe donc une phase ferrite dans ce clinker. La température de cuisson étant très
10 basse, la chaux libre doit être présente de manière substantielle dans le clinker, ce qui empêche son utilisation pour des applications à temps de prise longs.

– Le brevet EP 0 181 739 décrit également un clinker présentant une forte teneur en $C_4A_3\bar{S}$, avec moins de 1 % de chaux libre. Cependant, ce clinker renferme du fer (phase ferrite) ce qui lui confère une couleur sombre (voir plus loin Tableau 7), et
15 d'autres phases telles que CA_2 , CA et C_2AS en quantités importantes (de l'ordre de 20 %).

Il apparaît donc que chaque ciment à base de sulfoaluminate de calcium est adapté à des applications limitées. Le fabricant doit donc présenter aux utilisateurs une gamme de clinkers sulfoalumineux de différents types pour convenir aux diverses
20 applications souhaitées (à temps de prise court ou long, expansif, à durcissement rapide, à résistance élevée...).

Un premier objet de l'invention est donc de proposer un clinker sulfoalumineux unique, qui permette, en le combinant avec du sulfate de calcium et/ou du ciment Portland dans des proportions appropriées, d'obtenir des liants présentant les propriétés
25 souhaitées, notamment en termes de retrait/expansion, temps de prise, durcissement et résistance mécanique.

Un autre objet de l'invention est de proposer un clinker sulfoalumineux de couleur claire, voire quasiment blanc, c'est-à-dire dans lequel les oxydes de fer ou les autres oxydes colorés tels que par exemple l'oxyde de chrome, de manganèse, sont pratiquement absents.

5 Ces buts sont atteints par le clinker sulfoalumineux selon l'invention, renfermant

- plus de 55 % en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$)
- plus de 10 % en poids de phase bélite (C_2S)
- moins de 10 % en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$)

10 et ne renfermant pratiquement pas de phase ferrite, ni de phase gehlénite (C_2AS), ni de chaux libre.

Avec ce clinker pratiquement blanc (voir plus loin le Tableau 7), il est possible de fabriquer des liants très clairs, ou des liants plus colorés ou sombres, en ajoutant simplement un agent colorant, ce qui est impossible avec des clinkers de couleur sombre.

15 Le clinker suivant l'invention ne contenant pratiquement pas de chaux libre, son utilisation n'est pas limitée aux applications où une prise rapide est nécessaire. En effet, en présence de chaux libre, les réactions (4) et (5) ne peuvent pas être évitées. Ainsi la réaction (1) est favorisée, ce qui permet au ciment de prendre lentement, propriété généralement requise dans de nombreuses applications.

20 Une faible teneur en anhydrite ($< 10 \%$) permet à l'utilisateur de choisir par exemple, entre la réaction (1) et les réactions (2) et (3) ou entre la réaction (4) et la réaction (5) comme réaction prédominante. Ainsi, l'utilisateur peut contrôler le phénomène d'expansion ou de retrait, qui dépend principalement du rapport molaire sulfate de calcium/sulfoaluminate de calcium ($C\bar{S}/C_4A_3\bar{S}$).

25 De plus, si la teneur en anhydrite est supérieure à 10 %, la réaction (1) n'est jamais prédominante, et on ne peut jamais obtenir des liants à prise lente avec ce clinker.

Une teneur élevée en $C_4A_3\bar{S}$ ($> 55 \%$ en poids) selon l'invention élargit la gamme des propriétés de ce clinker lors de son utilisation dans un liant. En effet, d'une

part le rapport $C\bar{S}/C_4A_3\bar{S}$ peut être ajusté plus facilement si la teneur en $C_4A_3\bar{S}$ est élevée, ce qui permet à l'utilisateur un meilleur contrôle du phénomène expansion/retrait. D'autre part, des tests ont montré que la teneur en $C_4A_3\bar{S}$ dans le clinker doit être supérieure à 55 % pour obtenir des liants (composés dudit clinker, de ciment Portland, et/ou de sulfate de calcium) avec des propriétés de prise et durcissement très rapides suivant la réaction (5).

Par exemple, un mélange de 30 % d'un clinker sulfoalumineux avec 60 % de ciment Portland et 10 % de gypse ne conduit pas à un temps de prise très court (inférieur à 10 minutes) si la teneur en $C_4A_3\bar{S}$ du clinker est inférieure à 55 %.

Il est apparu que la présence de bélite (C_2S) dans le clinker est tout à fait bénéfique. D'une part, cette phase piège la chaux et il est donc plus facile d'obtenir un clinker sans chaux libre lorsque le cru contient de la silice. D'autre part, la bélite s'hydrate très lentement et est donc responsable des performances mécaniques élevées à long terme.

De manière avantageuse, le clinker sulfoalumineux selon l'invention renferme :

- de 55 % à 72 % environ en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$)
- de 10 % à 20 % environ en poids de phase bélite (C_2S)
- de 2 % à 9 % environ en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$).

De préférence, il renferme moins de 5 % en poids de phase gehlénite (C_2AS). En deçà de cette valeur de 5 % la phase gehlénite n'est pratiquement pas détectable par les méthodes actuelles de détection par diffraction X. De préférence, il renferme une teneur en chaux libre inférieure à 0,2 % avantageusement inférieure à 0,15 %, voire même inférieure à 0,10 % en poids environ, et une teneur en fer (exprimée en Fe_2O_3) inférieure à 0,3 %, avantageusement 0,25 %, voire même inférieure à 0,20 % en poids environ.

Pour obtenir une couleur la plus claire possible, la teneur totale en oxydes colorés autres que l'oxyde de fer, du clinker est de préférence inférieure à 0,7 % avantageusement inférieure à 0,5 % en poids environ (à savoir, en particulier une teneur

inférieure à 0,5 % avantageusement inférieure à 0,3 % en TiO_2 , inférieure à 0,1 % en MnO , inférieure à 0,05 % en Cr_2O_3 ...).

La présente invention concerne également un procédé de préparation dudit clinker sulfoalumineux.

5 La préparation de clinker sulfoalumineux renfermant plus de 55 % de $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$ et pratiquement pas de chaux libre, et ceci à partir d'un cru ne contenant pas de Fe_2O_3 n'est pas aisée.

En effet, il serait souhaitable d'augmenter la température de cuisson afin de combiner la totalité de la chaux pendant un temps raisonnable, mais la phase bélite
10 risque de se décomposer pour donner la gehlénite.

A des températures plus faibles, la décomposition de la sulfospurrite pour former la bélite est facilitée par la présence d'oxydes de fer, abaissant la température de décomposition de la sulfospurrite $\text{C}_5\text{S}_2\bar{\text{S}}$ à 1.230° C. Ainsi le fer facilite la cuisson des
15 clinkers sulfoalumineux. Mais la présence d'oxydes de fer dans le clinker de l'invention est précisément ce que les inventeurs ont souhaité éviter.

Il a cependant été découvert que le clinker sulfoalumineux selon l'invention pouvait être préparé par un procédé comprenant :

– le mélange de matières premières, par exemple du calcaire, de la bauxite, du sable et du gypse, en concentrations telles que les proportions pondérales
20 suivantes en oxydes soient respectées :

- $4 \leq \text{S} \leq 10$
- $34 \leq \text{A} \leq 49$
- $37 \leq \text{C} \leq 45$
- autres oxydes ≤ 2
- 25 – le complément à 100 étant $\bar{\text{S}}$

– puis la cuisson de ce mélange entre 1.250° et 1.350° C environ, pendant une durée suffisamment longue pour combiner toute la chaux, suivie d'un refroidissement rapide du mélange dans une atmosphère non oxydante.

De manière avantageuse, le mélange vérifie en outre les proportions pondérales en oxydes C, A et S suivantes :

- $A \leq 1,33 * S + 41$
- $A \leq -2,33 * S + 62$
- 5 - $C \leq 0,83 * S + 37$
- $C \geq 3 * S + 13$
- $C \geq -0,81 * A + 72$
- $C \leq -0,6 * A + 67$

Il est essentiel que la température de cuisson soit comprise entre 1.250 et 10 1.350° C. En effet, au-dessous de 1.250° C peut se former la sulfospurrite $C_5S_2\bar{S}$, qui a de très faibles propriétés hydrauliques. Au-dessus de 1.350° C se forme la gehlénite C_2AS , qui n'est pas réactive avec l'eau. Entre 1.250 et 1.350° C se forme la bélite en tant que phase silicate majoritaire. En outre, à une température supérieure à 1.350° C, le sulfate est volatil sous la forme de gaz SO_2 , qui favorise la décomposition de la phase 15 sulfoaluminate de calcium, et qui est un gaz nocif dont on doit limiter l'émission dans l'environnement.

La durée de la cuisson doit être suffisamment longue pour combiner toute la chaux et pour obtenir un clinker ayant moins de 10 % d'anhydrite. Cette durée dépend des conditions de cuisson, notamment du débit d'air dans le four et de la température de 20 flamme, cependant une durée de 30 minutes à 1 heure est généralement suffisante.

La cuisson est suivie d'un refroidissement rapide. En effet, il est apparu que les conditions de trempe influencent la coloration du clinker selon l'invention. Un refroidissement rapide dans une atmosphère non oxydante, rend le clinker plus faiblement coloré. Le refroidissement peut être effectué par trempe à l'eau, ou sous une 25 atmosphère d'azote.

La dernière étape consiste à broyer le clinker jusqu'à la finesse requise pour activer ses propriétés hydrauliques. Plus le clinker présente une surface spécifique élevée (mesurée par la méthode de Blaine), meilleure est sa réactivité du point de vue hydraulique. De préférence le clinker est broyé jusqu'à l'obtention d'une surface

spécifique Blaine supérieure à 3.000 cm²/g environ, avantageusement supérieure à 5.000 cm²/g environ.

La présente invention concerne également l'utilisation du clinker selon l'invention pour la préparation d'un liant par mélange dudit clinker avec un matériau
5 source d'oxyde de calcium (par exemple du ciment Portland) et/ou avec une source de sulfate de calcium (par exemple du gypse). Selon les proportions de ces trois composants, les liants obtenus peuvent présenter différentes propriétés, par exemple :

- le clinker sulfoalumineux broyé selon l'invention, seul, est un ciment à prise et à durcissement lents (au moins 5 heures) ;
- 10 – un liant comprenant de 75 à 90 % de clinker sulfoalumineux selon l'invention, et de 25 à 10 % en poids d'une source de sulfate de calcium présente un temps de prise inférieur ou égal à trois heures et permet de préparer, suivant la norme EN 196, un mortier qui présente une résistance à la compression à 28 jours supérieure ou égale à environ 50 MPa ;
- 15 – un liant comprenant de 20 à 40 % (de préférence environ 30 %) de clinker sulfoalumineux selon l'invention, de 50 à 70 % (de préférence environ 60 %) de ciment Portland et de 5 à 25 % (de préférence environ 10 %) d'une source de sulfate de calcium présente un temps de prise inférieur ou égal à 10 minutes, et permet de préparer, suivant la norme EN 196, un mortier qui
20 présente des performances mécaniques élevées à court terme.
- un liant comprenant de 55 à 90 % (de préférence environ 60 %) de clinker sulfoalumineux selon l'invention, de 5 à 30 % (de préférence environ 20 %) de ciment Portland et de 10 à 30 % (de préférence environ 20 %) d'une source de sulfate de calcium présente un temps de prise compris entre
25 30 minutes et une heure environ, et permet de préparer, suivant la norme EN 196, un mortier présentant une résistance à la compression à 5 heures supérieure à environ 20 MPa.

De manière avantageuse, la source de sulfate de calcium est du gypse.

D'autres propriétés du liant, ainsi que d'autres avantages de l'invention sont
30 présentés dans les exemples illustratifs suivants, en association avec la figure 1 qui

10

montre le comportement expansion/retrait d'un liant dans le diagramme ternaire : ciment Portland – clinker sulfoalumineux – gypse.

EXEMPLES

Exemple 1 :

- 5 Préparation d'un clinker sulfoalumineux selon l'invention et de liants à base de ce clinker.

Un cru constitué de calcaire, de sable, d'alumine blanche et de gypse, selon la composition présentée dans le tableau 2, est cuit à 1.300° C pendant une heure.

Tableau 2 : Composition du cru

	Calcaire	Sable	Alumine blanche	Gypse	Cru
% en poids du cru	43,1	4,9	19,6	32,4	100
Perte au feu	43,43	0,14	0,63	21,39	23,10
SiO ₂	0,00	98,09	0,08	0,59	4,97
Al ₂ O ₃	0,06	0,61	98,65	0,05	32,1
Fe ₂ O ₃	0,04	0,06	0,09	0,01	0,05
TiO ₂	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
MnO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
CaO	55,78	0,02	0,15	33,09	30,57
MgO	0,61	0,00	0,03	0,14	0,29
SO ₃	0,00	0,00	0,07	44,89	8,79
K ₂ O	0,01	0,42	0,00	0,00	0,03
Na ₂ O	0,00	0,02	0,35	0,00	0,10
P ₂ O ₅	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
SrO	0,00	0,01	0,00	0,08	0,01

L'analyse par diffraction X du clinker montre la présence de $C_4A_3\bar{S}$, C_2S , $C\bar{S}$, CA , CA_2 , de quartz résiduel et de corindon. Aucune phase ferrite, ni gehlénite, ni chaux libre n'ont été détectées. Les analyses chimiques montrent que la composition du clinker obtenu est :

- $C_4A_3\bar{S} = 66 \%$
- $C_2S = 15 \%$
- $C\bar{S} = 3 \%$
- Phases résiduelles = 16 % (CA, CA_2 , quartz, corindon)

5 Différents liants ont été préparés avec le clinker sulfoalumineux ci-dessus, en mélange avec du gypse et du ciment Portland blanc. Leurs temps de prise ont été mesurés par texturométrie sur des pâtes et leurs performances mécaniques ont été déterminées sur des mortiers préparés suivant la norme EN 196, à savoir avec du sable siliceux CEN de 0 à 2 mm, un rapport massique eau/liant de 0,5 et un rapport massique
10 liant/sable de 1/3. Les résultats sont présentés dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 3 : Composition et performances des liants

Liant n°	1	2	3	4	5
<u>Composition %</u>					
– Clinker sulfoalumineux	100	75	60	70	30
– Gypse	/	25	20	10	10
– Ciment Portland blanc	/	/	20	20	60
<u>Temps de prise</u>					
– Début	23 h	2 h 10	30 min	50 min	4 min
– Fin	23 h 15	3 h	60 min	110 min	6 min
<u>Résistance à la compression (MPa)</u>					
– à 3 heures	-	-	4,7	-	-
– à 5 heures	-	-	24	5,2	9
– à 1 jour	-	26	-	37	18
– à 7 jours	-	67	-	-	-
– à 28 jours	50	74	57	45	54

(-) = non mesurée

On note en particulier la rapidité de prise du liant 5 sans préjudice d'une résistance à la compression élevée à long terme.

Exemple 2 :

Cet exemple a pour but de montrer l'effet de la présence de bélite comparé à celle de la gehlénite sur les performances mécaniques à long terme des clinkers sulfoalumineux de la présente invention.

5 Le clinker de la présente invention diffère du clinker sulfoalumineux décrit dans le brevet EP-B-0 181 739 par la nature de la phase silicate principale ; EP-B-0 181 739 renferme de la gehlénite C_2AS alors que le clinker de l'invention renferme plus de 10 % de bélite (voir tableau 4).

10 Tableau 4 : Comparaison de la composition minéralogique des clinkers selon l'invention (exemple 1) et selon EP-B-0 181 739

Constituants	Clinker selon l'invention	Clinker selon EP-B-0 181 739
$C_4A_3\bar{S}$	66 %	60 %
$CA, CA_2, C_{12}A_7$	15 %	14 %
C_2S (bélite)	15 %	-
C_2AS (gehlénite)	(nd)	17 %
$C\bar{S}$	3 %	-
C_4AF	-	3 %
CT	-	4 %
autres (Ca, Mg, K, Na,...)	1 %	2 %

(nd = non détectée)

A ces deux clinkers a été ajouté du gypse (10 % en poids) afin d'obtenir un liant présentant un rapport molaire sulfate de calcium sulfoaluminate sensiblement égal à 2 (proportions stœchiométriques selon la réaction (3)).

15 Les évolutions de la résistance à la compression des deux liants (mesurée sur un mortier préparé suivant la norme EN 196) durant le premier mois ont été comparées (tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression

Age	Clinker selon l'invention	Clinker décrit dans EP-B-0 181 739
1 jour	28 MPa	38 MPa
7 jours	65 MPa	57 MPa
28 jours	74 MPa	58 MPa

On peut noter que les résistances mécaniques du liant contenant le clinker selon EP-B-0 181 739 n'évoluent pas après 7 jours alors que celles du liant correspondant à la
5 présente invention continuent à augmenter, pour donner une résistance à la compression supérieure de plus de 25 % au bout de quatre semaines.

Exemple 3 :

On a préparé un cru à base de gypse, d'alumine blanche, de calcaire et de calcaire contenant de la silice. La composition de ce cru est présentée dans le tableau 6.

10

Tableau 6 : Composition du cru

	Calcaire	Calcaire contenant de la silice	Alumine blanche	Gypse	cru
% en poids du cru	17,8	29,6	30,3	29,3	
Perte au feu	43,29	35,10	0,63	20,30	23,05
SiO ₂ (S)	0,34	19,24	0,08	1,97	6,35
Al ₂ O ₃ (A)	0,08	0,47	98,65	0,37	29,43
Fe ₂ O ₃ (F)	0,11	0,15	0,09	0,11	0,12
TiO ₂	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01
MnO	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
CaO (C)	55,89	44,83	0,15	33,11	30,9
MgO	0,20	0,21	0,03	1,38	0,41
SO ₃ ($\bar{S}$)	0,08	0,05	0,07	41,90	9,4
K ₂ O	0,00	0,04	0,00	0,05	0,02
Na ₂ O	0,00	0,01	0,35	0,03	0,11
P ₂ O ₅	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
SrO	0,02	0,08	0,00	0,60	0,16

Ce cru renferme donc les proportions pondérales en oxydes suivantes (%) :
 $S = 8,25$; $A = 38,26$; $F = 0,16$; $C = 40,17$; $\bar{S} = 12,22$; autres = 0,95.

Ce mélange a été cuit à 1.300°C pendant une demi-heure. Puis le clinker a été broyé jusqu'à une surface spécifique Blaine égale à $5.000\text{ cm}^2/\text{g}$.

5 L'analyse par diffraction X du clinker montre qu'il est composé de sulfoaluminate de calcium, de bélite, d'anhydrite et de phases aluminates de calcium (CA , CA_2). La présence d'alumine non combinée est également observée. Ni chaux libre, ni phase ferrite n'ont été détectées. La teneur en $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$, C_2S , et $\text{C}\bar{\text{S}}$ est :

- $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}} = 57\%$
- 10 – $\text{C}_2\text{S} = 18\%$
- $\text{C}\bar{\text{S}} = 8\%$
- Phases résiduelles = 17%

L'index de blancheur de l'échantillon est mesuré, selon la norme CIE 1931 sous illuminant C (proche de la lumière naturelle) sous un angle de 45° . Les caractéristiques de couleurs sont données dans le système L-a-b et sont comparées à celles d'un ciment
 15 Portland blanc et à celles d'un clinker sulfoalumineux renfermant du fer (voir tableau 7). La valeur L quantifie la luminance de l'échantillon, alors que a et b décrivent la couleur. Ainsi, les échantillons étudiés sont d'autant plus blancs que L est proche de 100 et que a et b sont proches de zéro.

20 Tableau 7 : Caractéristiques de couleur de ciments

	Clinker sulfoalumineux selon l'invention	Ciment Portland blanc	Clinker sulfoalumineux selon EP-B-0 181 739 (renfermant du fer)
L	96,22	93,65	78,1
a	-1,21	-2,54	0,1
b	2,05	4,33	15,4

Exemple 4 :

Préparation d'autres clinkers selon l'invention.

15

Trois clinkers ont été préparés à partir de gypse, d'alumine blanche, et de deux calcaires différents : l'un contenant de la silice et l'autre n'en renfermant pas.

Le cru a été cuit à 1.300° C pendant 30 minutes. Puis chaque clinker a été broyé jusqu'à une surface spécifique Blaine égale à 5.000 cm²/g. Leurs compositions minéralogiques (teneur en bélite, anhydrite et sulfoaluminate de calcium) sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Composition des clinkers obtenus

Clinker	C ₂ S (%)	C $\bar{S}$ (%)	C ₄ A ₃ $\bar{S}$ (%)	Phases résiduelles
1	11,5	4	70	15,5
2	12,5	7	61,5	19
3	17,5	7,5	57,5	17,5

A partir de ces clinkers, deux types de liants ont été préparés :

- 10 – liant de type A : liant à prise et durcissement rapides composé de 60 % de ciment Portland, 30 % du clinker sulfoalumineux selon l'invention et 10 % de gypse ;
- liant de type B : liant constitué de chaque clinker et de gypse dans les proportions stœchiométriques selon la réaction (3), qui durcit lentement.

15 Pour chaque liant A, ont été déterminés le temps de prise (initial et final) et la résistance à la compression après 5 heures d'hydratation, et pour chaque liant B les temps de prise et la résistance à la compression à 28 jours (sur des mortiers préparés suivant la norme EN 196). Les résultats sont présentés dans les tableaux 9 et 10.

Tableau 9 : Liants de type A

Liant	N° de clinker utilisé	Temps de prise		Résistance à la compression à 5 heures
		Initial	Final	
A1	1	5 min. 30 s	7 min.	5,5 MPa
A2	2	8 min.	10 min.	6 MPa
A3	3	7 min.	10 min.	5 MPa

16

Tableau 10 : Liants de type B

Liant	N° de clinker utilisé	Temps de prise initial	Résistance à la compression à 28 jours
B2	2	110 min.	67 MPa
B3	3	110 min.	63 MPa

Ainsi, avec chaque clinker, il est possible de fabriquer un liant à prise et durcissement rapides, ainsi qu'un liant à prise lente ayant une bonne résistance à la compression à long terme. En faisant varier la teneur en ciment Portland et en sulfate de calcium du liant, on peut fixer les temps de prise ainsi que le temps de durcissement pour répondre aux exigences de toute application souhaitée. Ce clinker est en quelque sorte un clinker "universel".

Exemple 5 :

Le clinker sulfoalumineux de l'exemple 1 a servi à préparer cinq liants différents afin de tester leurs propriétés de retrait et d'expansion. Les compositions des liants sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Composition des liants (% en poids)

	Liant 1	Liant 2	Liant 3	Liant 4	Liant 5
Ciment Portland	60 %	0 %	20 %	20 %	35 %
Clinker sulfoalumineux	30 %	73 %	55 %	40 %	65 %
Gypse	10 %	27 %	25 %	40 %	0 %

Les mortiers hydratés, préparés conformément à la norme EN 196 (rapports pondéraux liant/sable = 0,33 et eau/liant = 0,5) ont été placés sous atmosphère contrôlée (50 % d'humidité relative à 20° C) pour mesurer le retrait ou immergés dans l'eau à 20° C pour mesurer leur expansion. Les résultats sont regroupés dans les tableaux 12 et 13 ci-après.

Tableau 12 : Mesure d'expansion ($\mu\text{m}/\text{m}$).

Durée du traitement	Liant 1	Liant 2	Liant 3	Liant 4	Liant 5
2 jours	40	60	-30	620	-70
7 jours	60	50	-10	760	10
28 jours	-20	20	10	820	

Tableau 13 : Mesure de retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)

Durée du traitement	Liant 1	Liant 2	Liant 3	Liant 4	Liant 5
2 jours	60	160	245	105	270
7 jours	250	350	315	150	500
28 jours	390	510	380	240	

5 Comme on peut le voir sur la figure 1, des liants ayant des propriétés de faible retrait/expansion sont des compositions proches de la ligne D dans le système ternaire ciment Portland-clinker sulfoalumineux-gypse.

Dans la zone 1, les liants correspondants présentent des propriétés d'expansion (cf. liant 4). Au contraire, dans la zone 2, on observe un retrait notable (cf. liant 5).

10 Le diagramme ternaire de la figure 1 permet donc :

- connaissant la composition d'un liant, c'est-à-dire ses proportions en gypse, clinker sulfoalumineux selon l'invention, et ciment Portland, de prévoir son comportement : retrait ou expansion ;
 - ou inversement, en fonction d'un cahier des charges imposant des valeurs
- 15 limites de retrait ou d'expansion, de choisir la composition appropriée en gypse, clinker sulfoalumineux selon l'invention et ciment Portland du liant à utiliser.

REVENDEICATIONS

1. Clinker sulfoalumineux renfermant :

- plus de 55 % en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$)
- de 10 % à 20 % en poids de phase bélite (C_2S)
- moins de 10 % en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$)
- moins de 5 % en poids de phase gehlénite (C_2AS),

une teneur en chaux libre inférieure à 0,2 % en poids environ, et une teneur en fer (exprimée en Fe_2O_3) inférieure à 0,3 % en poids environ.

2. Clinker sulfoalumineux selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il renferme :

- de 55 % à 72 % environ en poids de phase sulfoaluminate de calcium ($C_4A_3\bar{S}$)
- de 2 % à 9 % environ en poids d'anhydrite ($C\bar{S}$).

3. Clinker selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que sa teneur totale en oxydes colorés autres que l'oxyde de fer est inférieure à 0,7 % en poids environ.

4. Procédé de préparation du clinker selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant le mélange de matières premières en concentrations telles que les proportions pondérales suivantes en oxydes soient respectées :

- $4 \leq S \leq 10$
- $34 \leq A \leq 49$
- $37 \leq C \leq 45$
- autres oxydes ≤ 2
- le complément à 100 étant $\bar{S}$

puis la cuisson de ce mélange entre 1.250° et 1.350° C environ, pendant une durée suffisamment longue pour combiner toute la chaux, suivie d'un refroidissement rapide du mélange dans une atmosphère non oxydante.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le mélange vérifie en outre les proportions pondérales en oxydes C, A et S suivantes :

$$- A \leq 1,33 * S + 41$$

$$- A \leq -2,33 * S + 62$$

$$5 \quad - C \leq 0,83 * S + 37$$

$$- C \geq 3 * S + 13$$

$$- C \geq -0,81 * A + 72$$

$$- C \leq -0,6 * A + 67$$

10 6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que le refroidissement est effectué par trempe à l'eau.

7. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que le refroidissement est effectué sous une atmosphère d'azote.

15 8. Procédé selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que le clinker est ensuite broyé jusqu'à l'obtention d'une surface spécifique Blaine supérieure à 3.000 cm²/g environ.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le clinker est broyé jusqu'à l'obtention d'une surface spécifique Blaine supérieure à 5.000 cm²/g environ.

20 10. Utilisation du clinker selon l'une des revendications 1 à 3 ou obtenu par le procédé selon l'une des revendications 4 à 9, pour la préparation d'un liant par mélange dudit clinker avec un matériau source d'oxyde de calcium et/ou une source de sulfate de calcium.

11. Utilisation selon la revendication 10, pour la préparation d'un liant par mélange dudit clinker avec du ciment Portland et/ou une source de sulfate de calcium.

25 12. Liant comprenant de 75 à 90 % de clinker sulfoalumineux selon l'une des revendications 1 à 3 ou obtenu par le procédé selon l'une des revendications 4 à 9, et de 25 à 10 % en poids d'une source de sulfate de calcium, présentant un temps de prise inférieur ou égal à trois heures et permettant de préparer, suivant la norme EN 196, un

mortier qui présente une résistance à la compression à 28 jours supérieure ou égale à environ 50 MPa.

13. Liant comprenant de 20 à 40 % de clinker sulfoalumineux selon l'une des revendications 1 à 3, ou obtenu par le procédé selon l'une des revendications 4 à 9, de 5 50 à 70 % de ciment Portland et de 5 à 25 % d'une source de sulfate de calcium, présentant un temps de prise inférieur ou égal à environ 10 minutes.

14. Liant selon la revendication 13 comprenant environ 30 % de clinker sulfoalumineux, environ 60 % de ciment Portland et environ 10 % d'une source de sulfate de calcium.

10 15. Liant comprenant de 55 à 90 % de clinker sulfoalumineux selon l'une des revendications 1 à 3, ou obtenu par le procédé selon l'une des revendications 4 à 9, de 5 à 30 % de ciment Portland et de 10 à 30 % d'une source de sulfate de calcium, présentant un temps de prise compris entre 30 minutes et 1 heure environ, et permettant de préparer, suivant la norme EN 196, un mortier qui présente une résistance à la 15 compression à 5 heures supérieure à environ 20 MPa.

16. Liant selon la revendication 15, comprenant environ 60 % de clinker sulfoalumineux, environ 20 % de ciment Portland et environ 20 % d'une source de sulfate de calcium.

17. Liant selon l'une des revendications 11 à 16, caractérisé en ce que la source 20 de sulfate de calcium est du gypse.

1/1

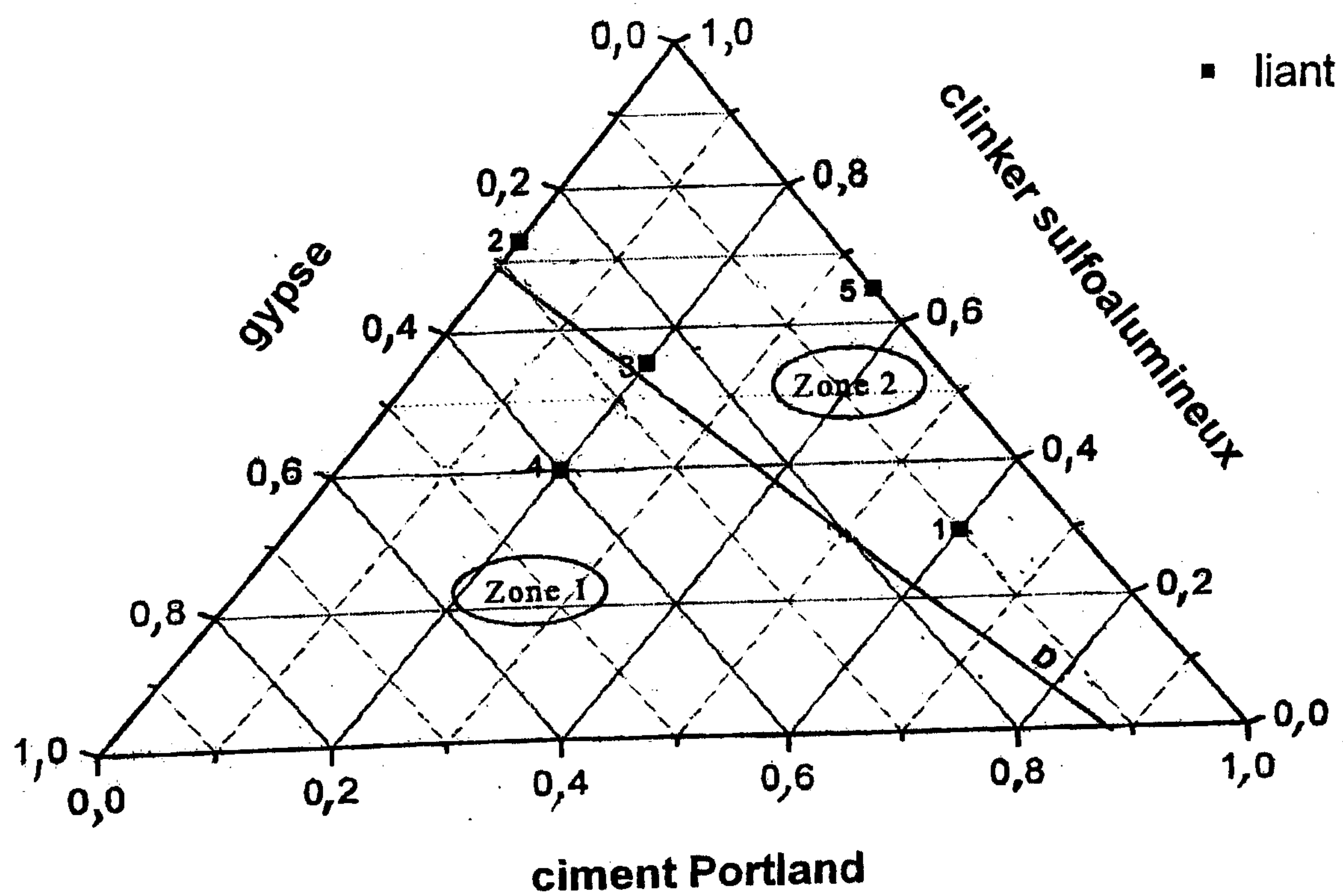


Fig. 1

