

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 13956

(54)

Nouveau matériau de construction.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). C 04 B 31/10.

(22)

Date de dépôt 24 juin 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : *Espagne, 27 juillet 1979, n° 482-923.*

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 7 du 13-2-1981.

(71)

Déposant : MONFORT HERRERA Alfredo, résidant en Espagne.

(72)

Invention de : Alfredo Monfort Herrera.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Faber,
34, rue de Leningrad, 75008 Paris.

La présente invention se rapporte à un nouveau matériau de construction.

L'un des buts de la présente invention est de réaliser un nouveau matériau de construction qui présente de nombreux avantages. Parmi ces avantages, on peut énumérer les suivants :

- a) Il permet d'utiliser les résidus des centrales thermiques et, ainsi, de résoudre le problème de leur évacuation.
- 10 b) Il permet de réaliser une grande économie dans la fabrication du matériau de construction, et supprime une grande partie du temps nécessaire de cuisson des matières qui sont généralement utilisées.
- c) Le matériau final obtenu offre une grande résistance mécanique.
- 15 d) Le matériau final obtenu n'oxyde pas le fer et évite ainsi les taches de rouille lorsqu'il recouvre les parties en fer.
- e) Le temps de prise du matériau est légèrement plus long que le temps de prise des matériaux connus, et par conséquent, son utilisation en est facilitée.
- 20 f) Le matériau étant pulvérulent, il peut être transporté en vrac ou en sachets.
- g) Enfin, ledit matériau garde ses qualités pendant 25 un laps de temps important et, de toute façon, supérieur à six mois.

Le matériau, objet de la présente invention, est caractérisé en ce qu'il est constitué d'un liant tel que du ciment, du plâtre ou de la chaux, auquel sont ajoutées des 30 cendres provenant de la combustion du charbon.

L'invention va maintenant être décrite avec plus de détails, en se référant à un mode de réalisation particulier, donné à titre d'exemple seulement, et on a représenté à la figure unique un schéma du processus de fabrication d'un matériau de construction destiné au crépissage.

L'élimination des déchets provenant de la combustion du charbon est un problème délicat qui se présente dans les centrales thermiques.

Ces résidus, scories et cendres volantes occupent de grands espaces de stockage et entraînent des frais d'évacuation très élevés.

Le matériau, objet de la présente invention, permet dans une grande mesure d'utiliser ces résidus et présente l'avantage d'obtenir un matériau ayant de grandes qualités, notamment, pour le crépissage.

Actuellement, on n'a pas trouvé de moyen satisfaisant pour se débarrasser des cendres volantes, car jusqu'ici, soit on les jette à la mer, soit on les jette dans des déblais pour former des terrils ou on les stocke dans des silos qui doivent être vidés périodiquement, ce qui oblige à transporter les cendres à un autre endroit.

Les centrales thermiques situées au voisinage des côtes jettent les cendres volantes à la mer, ce qui est la méthode la plus économique, toutefois, cette manière de procéder est onéreuse puisque les lois pour la protection de la nature obligent les centrales à jeter ces cendres loin des côtes.

Pratiquement, toutes les centrales thermiques utilisent le stockage dans des terrils, qui est le plus économique. Le stockage dans des silos est plus cher puisqu'il nécessite des grands frais d'installation.

Les cendres volantes peuvent être transportées à l'état sec ou humide. Le transport, parce que les cendres sont humides, est considérablement simplifié car il n'est plus nécessaire d'utiliser des moyens spéciaux, des camions ou wagons conventionnels permettant le transport. En effet, comme les cendres volantes sont fines et très légères, le transport à l'état sec présente quelques difficultés, car elles risquent d'être entraînées par le moindre courant d'air. Il est donc

nécessaire de prévoir des récipients pour les contenir.

De préférence, le transport le plus pratique est celui utilisant des wagons-citernes ou des camions-citernes. Lorsqu'on brûle des charbons dans un foyer, une fraction
5 très petite des cendres se libère à l'état finement divisé et est entraînée par les gaz de combustion, tandis que le reste, plus gros et plus lourd, se dépose dans le cendrier et constitue les cendres de foyer ou scories.

Si on utilise un charbon finement divisé et que la
10 combustion s'effectue dans de bonnes conditions, la plupart des résidus se dégage avec les gaz de combustion, les résidus solides étant ceux dénommés cendres volantes, l'aspect de celles-ci dépendant de la combustion et de la variété du charbon utilisé.

15 Généralement, on considère qu'il y a des différences entre les cendres en général, les cendres de foyer et les cendres volantes. Les études effectuées en laboratoires donnent des mesures de densité, de granulométrie et d'analyse chimique qui sont très différentes. De ces études, il ressort qu'on ne
20 peut considérer les cendres volantes comme étant un produit chimique défini, c'est-à-dire dont les propriétés et la composition chimique sont définies.

L'originalité de ces cendres volantes est déterminée par la composition du combustible, le type de chaudière utili-
25 sée, la cadence de fonctionnement ayant, également, une grande influence. Ce sont les raisons pour lesquelles les cendres volantes provenant de centrales de conception et d'âge différents, celles-ci étant alimentées avec des charbons d'origine différentes, ont des caractéristiques et des propriétés diffé-
30 rentes.

On a constaté que, pour que les propriétés des cendres volantes se maintiennent autour de valeurs moyennes, étant entendu que le charbon utilisé est le même et que le mode de combustion est identique, il faut que les cendres
35 volantes correspondant à l'allumage et à l'arrêt de la chaudière soient éliminées, parce qu'elles présentent des propriétés différentes.

On a également constaté que les caractéristiques

des cendres volantes d'une centrale thermique dont la marche est continue et dont le combustible consommé provient toujours de la même origine, sont régulières. Ainsi, les centrales thermiques situées dans les bassins miniers produisent-elles, généralement, des cendres volantes ayant des caractéristiques constantes.

Les cendres volantes ne contiennent pas un nombre de minéraux supérieurs à ceux contenus dans le charbon d'origine utilisé. Comme la plupart des matières présentes dans le charbon ne sont pas composées de plus de 5 ou 6 minéraux : un ou deux argileux, des pyrites, du quartz et des carbonates de calcium, du fer et du magnésium mélangés, les cendres volantes ne contiennent que peu de sortes de composés. Comme lors de la combustion, il y a peu de contact entre les particules de la chaudière et le charbon, la composition des cendres volantes ne dépendent finalement que de la composition du charbon. Durant la combustion, les cendres volantes restent peu de temps dans la chambre de combustion, ce temps étant insuffisant pour que les conditions d'équilibre se produisent, de sorte que la composition des particules des cendres volantes est différente de celle d'équilibre.

Beaucoup de cendres volantes fondent ou bien restent sous forme solide, suivant la fusion du minéral, la température de la chambre et l'ambiance gazeuse. Les particules qui atteignent leur point de fusion deviennent vitreuses lorsqu'elles se solidifient sans qu'aucune composition puisse être parfaitement définie, la proportion des non-brûlés variant de certaines particules à d'autres.

L'eau d'hydratation des minéraux associés au charbon se perd durant la combustion, d'autres constituants comme les composés alcalins sont vaporisés, les carbonates se décomposent et les pyrites s'oxydent. L'agglomération des particules, peu importantes compte tenu des faibles contacts physiques possibles, c'est pourquoi une proportion de 75 à 85% des cendres sont évacuées dans la cheminée. Ces particules évacuées, examinées au microscope, se présentent comme de petites sphères creuses de silicates fondues d'oxyde de fer ou de silice, accompagnées de matières non brûlées, de fragments minéraux et

de bulles des gaz de combustion.

En général, les cendres volantes ont les composants basiques suivants : silice (SiO_2), alumine (Al_2O_3), oxydes de fer (Fe_2O_3), chaux (CaO) et charbon (C) et dans une proportion 5 plus petite, généralement moins de 5% de poids : magnésie (MgO), oxydes de soufre (SO_3), alcalis (Na_2O et K_2O), et d'autres constituants en quantité encore plus réduite, tels que des composés de titane, vanadium, manganèse, phosphore, germanium, gallium, etc... Les cendres volantes provenant du même type de 10 charbon ont des compositions qui varient dans des limites étroites et le charbon est toujours présent dans ces cendres volantes, mais lorsque la combustion s'effectue dans de bonnes conditions, la proportion de matières non brûlées reste inférieure à 5%.

15 Dans des cas exceptionnels, cette proportion peut atteindre 20% et on a constaté que, lorsque cette proportion dépasse 10%, elle peut être nuisible pour certaines applications des cendres volantes, notamment lorsqu'elles sont mélangées à du ciment pour la réalisation de béton. Par contre, 20 pour certaines autres fabrications, telles que des briques ou la préparation d'agrégats, le charbon peut fournir une partie du combustible nécessaire au processus.

Les principaux composants cristallisés que l'on trouve en général dans les cendres volantes sont la mullite 25 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), le quartz (SiO_2), la magnétite (Fe_3O_4) et l'hématite (Fe_2O_3).

Comme on peut le constater, il y a une grande différence entre cette composition et celle des minéraux dont ils proviennent qui sont généralement : le quartz, le kaolin, la 30 montmorillonite, le mica, la pyrite, etc..., dans des proportions variables.

A titre d'information, ci-dessous, les compositions des cendres volantes de quelques pays. Ainsi, sur le tableau 1 figurent les trois types de classement des cendres volantes 35 de Pologne, en général ; sur le tableau 2 sont portées les compositions des cendres volantes des Etats-Unis, le pourcentage étant en poids.

TABLEAU 1.

Types de cendres volantes de Pologne

Constituants	Cendres de houille % en poids	Cendres de lignite	
		Turoszow %	Bassin région de Konin
SiO ₂	43-57	45-52	19-34
CaO.....	4-10	2,5-1,0	38-52
Fe ₂ O ₃	7,5-16	18	6-11
Al ₂ O ₃	18-28	28-32	2-4
MgO.....	1,5-5	0,15	2-4
SO ₃	0,5-3,3	0,5-	9-16
Na ₂ O + K ₂ O.....	1-3	----	0,2
Substance insoluble.	76-89	78	42

TABLEAU 2.

Cendres volantes des Etats-Unis

Constituants	Cendres volantes
Silice	34-38
Alumine	17-31
Oxy des de fer	6-26
Oxydes de calcium	1-10
Oxydes de magnésium	0,5-2
Oxydes de soufre	0,2-4
Non-brûlés	1,5-20

Sur les tableaux 3 et 4, sont donnés la composition des cendres de plusieurs centrales françaises et les mesures faites, compte tenu de l'origine, c'est-à-dire la variété de charbon utilisé et sur le tableau 5 sont comparés la moyenne des cendres provenant d'un grand nombre de centrales thermiques, avec les composants de quelques matériaux qu'elles peuvent remplacer.

TABLEAU 3

Composition des cendres volantes provenant des centrales thermiques françaises.

Consti- tuants	Choques	Labouissière	Beuvry	Buily	Vendin	Harnès	Donges	Dechy	Fiers	I	II	III	IV	V	VI	VII
SiO ₂	46,8	47,7	47,3	47,2	42,3	47,7	46,6	46,9	46,0	50,7	47,5	47,8	46,1	23,3	42,0	17,8
Al ₂ O ₃	34,6	33,4	28,6	27,0	27,0	27,9	29,1	29,6	29,1	30,2	30,0	27,8	36,4	10,4	34,0	12,9
Fe ₂ O ₃	7,4	6,9	8,6	11,0	7,4	8,1	4,5	5,9	4,6	7,6	7,2	17,0	9,0	9,1	8,7	6,4
CaO	2,8	3,3	4,0	2,9	2,1	2,7	2,1	1,5	3,1	2,8	3,3	2,8	4,5	5,9	6,7	45,9
MgO	2,3	2,2	1,4	2,0	1,8	2,6	1,4	1,6	1,1	2,0	1,9	4,0	2,0	3,7	2,3	1,9
SO ₃	0,6	0,6	tr.	0,5	0,5	0,6	0,1	0,5	0,7	0,2	0,4	0,8	1,1	0,6	0,4	5,9
Alcalis..	2,8	4,1	6,4	5,2	2,7	3,0	6,6	3,5	5,8	5,6	5,2	2,6	2,3	1,7	4,1	8,3
Sans doser	1,9	0,8	0,1	0,2	1,8	1,6	0,1	0,8	0,1	---	---	9,4	1,1	0,6	---	---
C	0,8	1,0	3,6	4,0	14,4	5,8	9,5	9,7	9,5	1,5	4,9	2,1	18,3	44,7	3,7	1,3

TABLEAU 4.

Composition des cendres volantes
d'après les types de charbon français.

Composants	Houille	Lignit.de Provence	Lignite des Landes	Anthra- cite
SiO ₂	47-53	18-24	75-88	42
Al ₂ O ₃	28-35	13	2-15	19
Fe ₂ O ₃	3,6-11,5	6,3-7,2	3,6	17
CaO	1,3-4	46-48	3	10
MgO	1,4-25	1,9-2,8	0,7-1,9	6,6
SO ₃	0,1-0,9	6-6,4	0,6-2,1	1
Na ₂ O +K ₂ O..	0,9-7,3	4,5-8,3	0,4-0,8	3,2
Sans doser.	0,1	0,5	0,1	1,2

TABLEAU 5.

Comparaison entre la composition des
cend. vol. françaises et celle de quelques matériaux qu'elles
qu'elles remplacent (%)

Composants	Cendr.	Scori.	Argile	Ciment	Verre de bouteil.
SiO ₂	49,0	29,6	50,20	22	73, 00
Al ₂ O ₃	31,0	14,4	17,00	6	1,00
Fe ₂ O ₃	7,0	--	7,60	3	--
CaO	2,5	45,0	5,13	65	8,13
MgO	1,8	--	6,49	--	--
SO ₃	0,5	--	0,40	--	--
Alcalis....	4,8	--	1,37	1	17,13
Perdu dans la combust.	2,6	--	11,28	--	--
Sans doser.	0,8	--	--	--	--

Sur le tableau 6, on peut voir la composition des cendres volantes produites par différentes centrales thermiques anglaises.

Sur le tableau 7, est donnée la composition des 5 cendres volantes produites dans différentes centrales thermiques espagnoles.

On peut constater que la composition des cendres volantes est, en général, presque celle des mélanges stériles de couches de charbon à partir duquel elles sont produites. Au nord de la France, ces couches sont des ardoises de composition similaire aux argiles et elles ne diffèrent guère d'une zone à l'autre.

De l'observation des tableaux précédents, on voit que le contenu en fer et en charbon varie considérablement 15 pour des cendres volantes provenant du même charbon. Cette variation en teneur de matières non-brûlées est fonction de la construction plus ou moins ancienne de la chaudière et de la teneur en matières volatiles du charbon d'alimentation. En général, les houilles maigres et les anthracites donnent, 20 avec les mêmes chaudières, une proportion plus grande de matières non-brûlées que les houilles grasses.

Les différences dans la concentration de calcium et de fer, pour un même charbon mère, est dû au fait que les bassins carbonifères peuvent être riches ou pas en roches 25 calcaires et en minerai de fer.

On peut éliminer les matières non-brûlées moyennant réinjection dans la chaudière de tout ou partie des cendres captées avec le charbon pulvérisé, de cette façon, on recueille une plus forte proportion de cendres volantes granulées.

30 En général, le fer dont la concentration est souvent comprise -mesurée comme Fe_2O_3 - entre le 5 et le 20%, n'est nuisible en aucun cas, car son unique influence est celle d'élever la densité des cendres volantes. Dans certains cas, il est donc convenable de séparer les portions riches 35 en fer, afin d'alléger le produit.

On exprime toujours la concentration en fer comme oxyde ferrique, mais il est convenable de savoir que celui-ci n'est pas le seul composé de fer existant dans les cen-

TABLEAU 6.
Composition des cendres volantes
de différentes centrales thermiques anglaises.

Cendres volantes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	SO ₂	P ₂ O ₅	C	H ₂ O	Solubl dans l'eau
Carmathen Bay....	41,4	23,9	12,9	2,5	1,8	0,8	3,7	0,7	0,1	0,7	0,2	10,0	0,2	1,8
Castle Donington.	45,9	24,4	12,3	3,6	2,5	1,0	3,2	0,9	0,1	0,9	0,6	4,1	0,1	1,8
Cliffquay.....	45,4	25,5	13,5	3,2	2,2	0,8	2,6	1,0	0,1	1,2	0,3	3,7	0,3	3,0
Croydon B.....	42,8	26,1	9,3	2,4	1,4	0,6	3,6	0,8	0,1	0,6	0,3	11,7	0,3	2,0
Dunston 1.....	47,7	28,6	8,3	2,1	1,9	0,4	2,6	1,1	0,1	1,4	0,2	6,1	0,6	3,6
Dunston 2.....	50,7	34,1	6,4	1,7	1,7	0,3	1,8	1,2	trac.	0,6	0,2	2,0	ND	1,7
Ferrybridge 1....	48,7	27,9	9,5	2,4	1,6	1,5	4,2	0,9	trac.	1,2	0,2	1,5	0,3	3,3
Ferrybridge 2....	47,4	27,5	10,3	2,1	2,0	1,7	4,0	0,9	0,1	1,8	0,3	0,9	ND	4,1
Hams Hall.....	48,6	28,0	8,1	3,4	1,9	1,9	3,1	1,0	0,1	1,3	0,6	0,6	0,2	2,7
Rye House.....	43,6	24,6	11,3	7,7	2,9	0,7	2,2	1,0	0,2	1,2	0,6	2,4	0,1	4,0
Skelton Grange 1.	47,2	26,7	11,9	3,4	1,9	0,9	3,8	0,8	0,1	1,0	0,2	2,1	0,1	2,8
Skelton Grange 2.	46,5	26,6	12,0	2,7	1,7	1,2	3,8	0,9	0,1	1,1	0,4	2,3	ND	2,6
Stella South.....	46,1	27,5	11,8	3,7	2,4	0,2	2,2	1,0	0,1	2,5	tra.	0,8	0,3	4,7
Uskmouth.....	44,2	26,5	8,6	1,9	1,6	0,6	3,8	0,9	0,1	0,8	0,5	8,9	0,2	2,2

TABLEAU 7
Composition d'orientation
sur quelques cendres volantes espagnoles(%)

Cendres volantes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂	K ₂ O+ Na ₂ O	Sans doser	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	P.P.C.
Almería	43,7	31,6	13,9	4,6	1,0	1,6	--	1,6	--	--	--	3,0
Badalona.....	44,2	18,9	11,5	--	1,1	3,4	0,5	--	--	--	--	0,8
Badalona.....	50,2	28,8	9,4	3,4	1,7	2,2	--	4,2	--	--	--	--
Burceña.....	39,4	26,7	11,7	5,3	2,1	0,4	--	4,8	--	--	--	9,5
Cadiz.....	43,7	31,6	13,9	4,6	1,0	1,6	--	1,6	--	--	--	3,0
Compostilla II....	44,4	24,2	8,8	7,3	2,4	2,6	3,3	--	--	--	--	9,0
Ensidesa.....	37,6	25,5	27,9	5,9	1,1	0,9	--	--	--	--	--	1,1
Ensidesa.....	51,4	30,3	9,9	2,2	1,6	0,3	--	--	0,3	0,2	--	3,0
Ensidesa.....	47,1	29,6	9,1	0,9	1,4	0,7	2,6	--	--	0,1	0,1	7,3
Escatron.....	39,0	28,7	24,9	5,3	0,6	0,9	0,4	--	--	0,4	--	0,2
Figols.....	46,4	11,6	19,7	--	1,4	2,3	0,1	--	--	--	--	0,1
Figols.....	46,0	21,1	8,6	--	1,4	2,6	0,2	--	--	--	--	0,7
Guardo.....	44,8	24,2	8,8	7,3	2,4	2,6	3,3	--	--	--	--	9,0
Malaga.....	43,7	31,6	13,9	4,6	1,0	1,6	--	1,6	--	--	--	3,0
Puertollano.....	46,9	34,8	11,0	4,1	1,5	--	0,8	0,4	--	--	--	--
Soto de Ribera....	50,3	31,7	7,7	--	2,1	0,6	3,5	--	--	--	--	4,6
Soto de Ribera....	49,6	31,0	7,6	--	2,0	--	3,1	--	--	--	--	2,2
Ujo.....	36,4	24,8	18,1	11,3	2,9	3,0	0,5	--	--	--	--	33,8

dres volantes. En effet, on a réussi à séparer divers composés par des méthodes magnétiques et analytiques. Nous donnons comme exemple, le résultat de l'analyse réalisée par Simmons et Jeffery sur des cendres dont la composition était de :

5 35-51% de SiO_2 , 21-30% de Al_2O_3 , 5-27% de Fe_2O_3 et 2-9% de CaO , les autres constituants ne dépassant pas le 5%.

Le résultat a été le suivant :

Fe soluble (SO_4Fe) $\angle$ 1%.

Fe non magnétique ($2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) $\sim$ 5%.

10 Fe magnétique (magnetite et hématite) $\sim$ 20%.

Silicate de fer (verre) $\sim$ 4%.

On peut donc prendre comme classement des minéraux de fer composants des cendres volantes le précédent, c'est-à-dire : soluble, non magnétique, magnétique et silicate.

15 D'autres éléments qui intéressent aujourd'hui du point de vue de leur récupération des cendres volantes sont : le germanium, le gallium, le vanadium et le titane, mais les méthodes connues ne sont guère rentables, quoique pour le germanium et le titane, elles peuvent donner des résultats économiques. Etant donné leur faible proportion, leur action n'est point nuisible quand on utilise les cendres volantes dans le ciment, comme matériau céramique, etc...

Comme indiqué, ci-dessus, les cendres volantes proviennent principalement des centrales thermiques. En

25 Espagne, vers la fin de 1967, il existait une puissance totale installée de 12.889 mégawatts (MW) dont 8.222 MW correspondaient aux centrales hydrauliques et 4.667 MW aux centrales thermiques. C'est-à-dire que les centrales thermiques correspondent à une production de 36,2% du total.

30 Par contre, la production annuelle était de 40,77 milliards de KWh correspondant pour 22,64 à une production hydro-électrique et 18,13 à la production thermo-électrique, c'est-à-dire à 44,4% du total.

Ces chiffres sont expliqués par les caractéristiques du système électrique espagnol, où la production d'énergie électrique est entièrement rattachée à la pluviométrie. Ainsi donc, quand l'année est pluvieuse, la production hydro-
5 électrique est plus importante, tandis que les années de sécheresse, c'est la production thermique qui l'emporte.

Sur les tableaux, ci-dessous, sont indiquées les prévisions en dépense de charbon et la production des cendres volantes pour l'Espagne.

10

Besoins de charbon pour
les années 1975, 1978 et 1981 en 10^3 T.

15	Variété	1 9 7 5		1978	1981
	Charbon	Sec	Moyen Humide	Moyen	Moyen
	Houille	4.501	4.501	4.501	8.461 8.256
	Anthracite	2.113	2.113	2.113	2.736 2.736
	Lignite	2.601	2.601	2.601	2.601 3.298
20	TOTAL	9.215	9.215	9.215	13.798 14.290

25

Production estimée
de cendres et de cendres volantes en 1975, 1978 et 1981
(en 10^3 T.)

30

Années	Cendres	Cendres volantes
1975	2.293,7	1.758,7
1978	3.449,5	2.483,6
1981	3.572,5	2.572,2

Production estimée de
cendres et de cendres volantes durant la période :
1959-1969

5	Années	Charbon consomm.	Cendres	Cendres volantes
	1959	668	167	120
	1960	853	213	154
	1961	1.839	460	331
10	1962	2.057	514	370
	1963	1.680	420	300
	1964	2.950	738	530
	1965	4.230	1.057	760
	1966	3.610	902	650
15	1967	5.808	1.452	1.040
	1968	6.204	1.551	1.117

Il n'existe jusqu'à présent que peu de caractéristiques sur les cendres volantes à échelle mondiale, et peu de documentation technique sur le nombre de tonnes produites, employées, etc...

Un groupe d'Experts sur les utilisations des cendres du Sous-Comité de l'Utilisation des Combustibles Solides du Comité du Charbon de la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies a continué à s'occuper des cendres volantes et de leurs emplois, et a recueilli des renseignements et des informations.

Comme preuve de l'état actuel de la production de cendres dans plusieurs pays, sur le tableau suivant, sont portées les données correspondant à la période 1964-1968 :

Production de cendres volantes à l'étranger
(en milliers de tonnes)

	PAYS	1964	1965	1966	1967
5	Allemagne de l'Ouest	11.000	10.400	11.000	11.600
	Autriche	800	---	600	512
	Bulgarie	---	---	3.200	---
	Tchécoslovaquie	5.310	---	10.200	10.500
10	Danemark	---	---	594	501
	Et. Un. d'Amérique	18.000	20.000	25.189	27.900
	Finlande	---	---	277	---
	France	4.500	4.022	3.779	4.114
	Grèce	320	250	375	604
15	Hollande	400	391	366	---
	Hongrie	---	---	3.300	---
	Pologne	4.365	4.990	5.840	5.840
	Royaume Unis	9.150	9.440	9.256	9.514
	Roumanie	---	1.500	1.500	800
20	Turquie	210	---	430	338
	Yougoslavie	---	---	1.000	---

On a réalisé, également, des prévisions pour l'avenir dans quelques uns de ces pays ; on est arrivé aux résultats 25 indiqués sur le tableau suivant :

Production estimée future de cendres
(en milliers de tonnes)

	PAYS	1970	1975
30	Allemagne Ouest	12.500	13.800
	Tchécoslovaquie	12.000	14.000
	France	4.980	4.280
35	Pologne	6.900	8.000
	Roumanie	4.200	8.000

Il convient d'indiquer que tous les chiffres de production tels qu'ils ont été évalués ou prévus, se réfèrent à des cendres provenant des charbons utilisés sans établir de différence entre les variétés de charbon : anthracite, houille, 5 ou lignite.

Les cendres volantes peuvent être utilisés humides, la quantité d'eau variant entre le 10 et le 20 %, ce qui rend extraordinairement facile le transport et le stockage qui peuvent être réalisés.

10 Dans ce genre d'utilisation, la composition de la cendre volante n'a pas une importance décisive car ce qui importe vraiment c'est sa finesse puisque cette propriété augmente la plasticité des bétons et les résistances mécaniques dans les mélanges pauvres de ciment portland et diminue en 15 même temps le poids et la porosité des bétons, évitant également la désagrégation.

On peut dire qu'en général, étant donné la fine grosseur de grain des cendres volantes, on peut les utiliser comme agrégats pour compléter la granulométrie du béton et le 20 rendre ainsi plus continue, ce qui offre l'avantage de diminuer considérablement la perméabilité du béton, surtout à l'état plastique.

La quantité de particules inférieure à 0,3mm. est faible dans les sables naturels provenant des lits des rivières, objet de cette étude. Le rôle de ces particules dans 25 les propriétés des mortiers et des bétons frais et endurcis est d'une grande importance.

On sait qu'il est préférable d'utiliser des granulés fins dans des mortiers et des bétons frais, de manière à 30 réduire l'exsudation pour un même étalement sur une table secoueuse.

Egalement, des particules fines dans les mortiers et les bétons durcis sont souhaitables, car en augmentant la compacité, elles améliorent la durée.

35 Les cendres volantes utilisées proviennent de la Centrale Thermique Compostilla II. Leur granulométrie originale est exposée sur le tableau suivant. Le ciment utilisé est un P-350.

Granulométrie des cendres volantes

5	Mailles/cm ²	900	2.500	4.900	10.000	16.900	27.225
	Résidu % sur le tamis	0,1	1,5	3,2	10,1	19,0	32,0

On a utilisé, au cours de la première expérimentation, deux sables silicieux de la rivière Miño, dont les granulométries sont données sur le tableau suivant :

10

Granulométrie de sables de la rivière Miño.

	Ouverture de maille en mm						
15	Echantillon	4,86	2,35	1,16	0,61	0,30	0,15
	Sable retenu	0,0	11,0	24,0	47,5	90,0	98,5
	Sable	0,0	13,0	25,5	54,5	93,0	99,5

20

On a étudié l'influence qu'exercent les cendres volantes lorsqu'elles substituent une partie du sable dans les mortiers frais et les mortiers durcis, respectivement.

a) Effet sur les propriétés des mortiers frais :

Tous les mortiers ont été préparés sous le rapport ciment/sable = 1/3.

Dans tous les essais, on a toujours employé les cendres volantes pour substituer une partie du sable.

Dans chaque cas, on a réglé le rapport eau/ciment afin d'obtenir avec chaque mélange deux étalements sur une table secoueuse, l'un du 70% et l'autre du 100%.

L'essai d'exsudation a été réalisé en utilisant des cylindres de 20 cm de hauteur et 5 cm de diamètre. Ceux-ci ont été remplis par trois couches de mortier dont la hauteur totale atteignait le 90% de celle du cylindre, en laissant le reste pour recueillir l'eau d'exsudation. Ils ont été bouchés hermétiquement et ils ont été conservés à 20° C $\pm$ 1° C pendant deux heures, au bout desquelles on a prélevé avec

une pipette le liquide qui surnageait, en exprimant le résultat en grammes recueillis dans chaque cylindre.

Les sables dénommés "Caldélas" et "Teanes" ont été compensés, à cause de leurs granulométries différentes, par une fois 5% et une seconde fois 8% de cendres volantes, respectivement. On donne sur le tableau suivant les résultats obtenus, desquels on déduit que : l'addition de ces cendres volantes permet de réduire le rapport eau/ciment et d'obtenir cependant le même étalement sur la table et améliorer la "travaillabilité" du mortier, c'est-à-dire que, pour un même étalement, l'exsudation diminue.

Effet sur le mortier frais de la substitution
d'une partie du sable par des cendres volantes.

15	Echantillons	Sable				Sable			
	Etalement	70%	70%	100%	100%	70%	70%	100%	100%
	Eau/ciment	0,56	0,52	0,58	0,55	0,54	0,51	0,57	0,53
	Cend. volant.	0	5	0	5	0	8	0	8
20	Exsudation	0,4	0,4	0,9	0,8	0,4	0,3	1,0	0,9

b) Effet sur les propriétés des mortiers endurcis.

Les résistances à la compression et à la flexo-traction des éprouvettes traitées ont permis de déduire que, à égalité d'étalement, le remplacement du sable par des cendres volantes augmente, dans tous les cas, les résistances et que le rapport eau/ciment est également diminué. Les valeurs qui figurent sont les mesures arithmétiques correspondantes de deux essais analysés pour chaque mélange et âge.

Le béton pourrait être le marché qui utilise la plus grosse quantité de cendres volantes.

Si on fait une répartition proportionnelle à l'importance indiquée pour chaque utilisation et en tenant compte des raisons exposées ci-dessus, on peut arriver à un tableau comme celui qui suit, qui reflète la répartition possible de la quantité probable de cendres volantes que l'on consommerait en Espagne en un an et demi.

Evidemment, aussi bien les quantités exprimées que leur répartition, dépendent d'une grande quantité de variables que l'on ne peut pas évaluer exactement dans cette demande, ce qui fait que tout ce qui est mentionné, ci-dessus, l'est uniquement à titre d'information.

Répartition probable de la quantité produite.

	Utilisation	Cend. Vol. en Tonnes	% du total
10	Ciment	20.000	2,0
	Béton	130.000	13,0
	Béton manufacturé.	50.000	5,0
	Routes	100.000	10,0
15	TOTAL	300.000	30,0

De tout ce qui a été exposé, on peut déduire que l'utilisation des cendres volantes se fait dans l'un des groupes suivants :

20 a) Fabrications traditionnelles :

dans lesquelles l'addition de petites quantités de cendres volantes se fait pour améliorer les conditions techniques et économiques du matériau résultant.

25 b) Nouvelles techniques dans la fabrication de matériaux :

dans lesquelles on peut employer de grosses quantités de cendres volantes comme par exemple :

- béton cellulaire
- briques silicieuses-calcaires
- 30 - agrégats légers par frittage
- manufactures de béton, etc...

L'examen d'ensemble des utilisations révèle que la grande majorité du tonnage consommé correspond à l'exploitation de résidus de la pouzzolane. Dans la construction, par exemple, la technique évolue rapidement et il est fort possible que les cendres volantes aient encore d'autres applications dans la mise au point d'autres procédés.

Il faut souligner que certaines difficultés peuvent entraîner une baisse de la consommation des cendres volantes, notamment :

- les frais de transport qui surchargent considérablement le prix et qui, dans certains cas, à partir de certaines distances, les rendent prohibitives,
- le manque d'homogénéité du matériau,
- la demande de nombreux clients aux centrales productrices de participer financièrement aux installations à monter, ce qui, dans de nombreux cas, peut ne pas les intéresser parce que cela écarte de leurs fins principales les entreprises productrices de cendres volantes.

Dans l'étude complète pour une utilisation déterminée des cendres volantes, il faut tenir compte de :

- leurs propriétés,
- du développement de l'industrie capable de les utiliser dans les alentours du centre de production,
- des conditions économiques :
 - . Prix des matériaux susceptibles de concurrencer
 - . Prix des transports
 - . Prix de la main d'oeuvre
 - . Rente du capital à employer
- les occasions favorables d'offres momentanées

comme, par exemple :

- . une augmentation brusque de la demande de matériau
- . un important programme de construction de routes.

On peut constater sur les tableaux se rapportant à la composition des cendres dans différentes centrales de divers pays, qu'il existe une grande variation dans les composants basiquement en chaux.

Ainsi donc, on peut apprécier que, selon que l'on prenne des charbons polonais du bassin de Turoszow ou du bassin de Vonin, la teneur en CaO va depuis un 2,5% à 38/52%.

Les cendres américaines varient leur composition en CaO entre 1 et 10%.

En France, et dépendant de la variété de charbon utilisé, le pourcentage en CaO varie entre 1,3 (houille) et 46/48% (lignite de Provence).

En Angleterre, la composition en CaO varie entre des valeurs plus petites, entre 1,7 et 7,7%.

En Espagne, la variation est large, depuis un 3 à 4% à un 43% (Centrale Thermique d'Alcudia).

5 Cela comporte la possibilité de substituer une partie du sable par des cendres, si celles-ci sont d'une composition basse en CaO.

L'invention est basée sur le mélange en proportions variables, selon la composition de leurs matières intégrantes
10 de cendres volantes basiquement avec du plâtre ou du gypse, et du sable.

La quantité de chaux vive que peut apporter le plâtre ou le gypse, devra être réglée par les conditions des cendres.

15 Par conséquent, les cendres que l'on obtient comme sous-produit de déchet de la combustion de n'importe quelle sorte de charbon, soit des anthracites, soit des lignites, peuvent provenir de deux points différents de la centrale thermique : sous forme de cendres volantes qui sont recueillies dans les précipitateurs (1) principalement où la sortie
20 de la chaudière (2) accompagnant les scories.

L'évacuation des cendres d'une centrale peut être effectuée principalement par deux systèmes : celui de la voie sèche ou celui de la voie humide. Dans celui de la voie sèche,
25 che, les cendres sont portées dans des silos (3) moyennant des soufflantes ou des rubans transporteurs. Là, elles sont stockées et préparées pour leur transport en camions ou par le chemin de fer.

Le procédé d'évacuation par voie humide a besoin d'un
30 apport d'eau (4) et le liquide ou pâte résultante est portée à des cuves de décantation (5) où on leur extrait une grande partie de leur eau.

On peut transporter ces cendres, humides ou sèches, par les moyens pertinents à l'endroit où il sera procédé à
35 la fabrication par le système objet de ce brevet.

Les scories provenant de la chaudière sont mélangées avec une grosse partie des cendres. Ces scories sales peuvent être lavées (6) avec un apport d'eau (7) et le liquide résultant avec entraînement de cendres, peut être décanté et la

pâte de cendres prête pour son transport à la fabrique du produit pour crépissage. On rejette, cela va sans dire, les scories propres (8).

Selon leur provenance, on a trois formes de matières 5 premières. Mais deux d'entre elles, évacuation liquide et sous-produit du lavage des scories, sont déjà de la cendre pâteuse et éteinte, ou partiellement éteinte.

Les cendres provenant d'une extraction par voie sèche, doivent être éteintes totalement ou partiellement avec 10 de l'eau (9) en arrivant à la fabrique. Elles subissent une augmentation considérable de volume, au maximum 2 à 3 fois leur valeur initiale, en raison de leur hydratation (10) totale ou partielle.

Les avantages du système choisi sont différents. Les 15 cendres déjà éteintes ou partiellement éteintes, occupent davantage de volume, mais on évite l'opération d'hydratation.

Quelle que soit la provenance des cendres, celles-ci devront être séchées (11) pour éliminer tout excès d'eau (12) affectant le degré d'hydratation choisi.

20 Le produit, une fois sec, peut passer selon les besoins, par un criblage (13). Le matériau qui n'a pas passé au crible, peut être broyé (14) et passé de nouveau par le crible, si nécessaire.

On peut réaliser une sélection postérieure par un 25 criblage (15) qui éliminerait les restes de matières non brûlées et les sulfures (16).

Le produit ainsi obtenu est prêt à être mélangé à d'autres matières premières.

D'une part et dans les propriétés les plus conven- 30 bles sur la base du type de cendre utilisée (sa composition chimique) et sur la base du produit fini à obtenir, on additionne un agglomérant ou liant (17) qui peut être de différentes sortes. On peut employer le plâtre ou le gypse, mais aussi d'autres sortes de matériaux analogues, comme le ci- 35 ment, la chaux, la magnésie, etc..., voire plus d'un composant.

En même temps, ou par des opérations successives, sans affecter l'ordre du mélange, on peut ajouter une quantité variable (18) de sable de rivière, de mer, de gravillon,

etc..., ce qui fournira la composition complémentaire au mélange à obtenir, le genre de sable étant variable en fonction du genre de cendre ou des qualités que l'on souhaite obtenir du produit fini. En complément, on peut ajouter des accélérateurs ou des retardateurs de prise, tels que le chlorure de sodium, la soude caustique, etc...

Ce mélange bien homogénéisé peut être ensaché (20) ou transporté en vrac à l'endroit de son utilisation.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit et qui a été représenté aux dessins annexés. On pourra y apporter de nombreuses modifications de détails sans sortir, pour cela, du cadre de la présente invention.

R E V E N D I C A T I O N S

1° - Nouveau matériau de construction caractérisé en ce qu'il est constitué d'un liant tel que du ciment, du plâtre ou de la chaux et auquel sont ajoutées des cendres provenant de la combustion du charbon.

5 2° - Nouveau matériau de construction, selon la revendication 1, caractérisé en ce que les cendres sont éteintes par hydratation.

10 3° - Nouveau matériau de construction, selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les cendres sont broyées.

4° - Nouveau matériau de construction, selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte une charge telle que du sable ou du gravier.

15 5° - Nouveau matériau de construction, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un produit apte à modifier sa coloration.

6° - Nouveau matériau de construction, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un produit apte à modifier le temps de prise.

20 7° - Nouveau matériau de construction, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un produit plastifiant.

25 8° - Procédé de fabrication d'un matériau de construction, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à éteindre, par hydratation, les cendres volantes provenant de la combustion du charbon, à sécher lesdites cendres volantes, à les broyer, à les cribler pour obtenir la granulométrie désirée, et à les mélanger à un liant tel que du ciment, de la chaux, de la magnésie.

