

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 10.03.94.

30 Priorité : 01.07.93 FR 9308063.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 03.02.95 Bulletin 95/05.

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) : BOUYGUES (société anonyme) — FR.

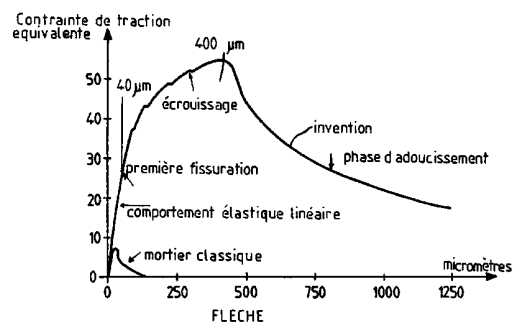
72 Inventeur(s) : Richard Pierre, Cheyrezy Marcel, Hubert et Roux Nicolas.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Cabinet Regimbeau Martin Schrimpf Warcoin Ahner.

54 Composition de béton de fibres métalliques pour mouler un élément en béton, éléments obtenus et procédé de cure thermique.

57 L'invention concerne un béton de fibres métalliques.
Ce béton est préparé à partir d'une composition comprenant des éléments granulaires de grosseur au plus égale à 800 micromètres et, des fibres métalliques de longueur comprise entre 4 et 20 mm, le rapport entre la longueur moyenne des fibres et la grosseur maximale des éléments granulaires étant au moins égal à 10 et le volume des fibres métalliques étant de 1,0 à 4,0 % du volume du béton après la prise. La figure est une courbe de la résistance de la traction du béton comparée à celle d'un mortier classique.
L'invention vise notamment à fabriquer des éléments en béton ne nécessitant pas d'armature métallique classique.



L'invention concerne un béton de fibres métalliques pour mouler des éléments en béton.

5 "Béton de fibres métalliques" signifie ici un corps de matrice cimentaire incluant des fibres métalliques et obtenu par durcissement d'une composition cimentaire mélangée avec de l'eau.

"Élément de béton" signifie ici des poteaux, des poutres, des dalles, des murs, des panneaux, des blindages, des panneaux de plaquage, et tout élément décoratif ou structurel utilisé dans une construction.

10 Les bétons traditionnels ont un squelette granulaire formé des trois phases suivantes :

- le ciment qui constitue la phase liante avec une taille de grains comprise entre 1 micromètre et 100 micromètres ;
- le sable avec une taille de grains comprise entre 1 et 4 mm :
- 15 - les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 20 mm ou entre 5 et 25 mm.

20 Les bétons de fibres métalliques traditionnels comportent des fibres en acier dont la longueur est comprise entre 30 et 60 mm. La longueur maximale des fibres pouvant être utilisées est limitée d'une part par les possibilités de malaxage sans dégradation excessive et d'autre part par les nécessités du coulage du béton (mise en place et vibration).

25 Les fibres métalliques lisses sont ancrées dans le béton par adhérence. Pour assurer un bon comportement de la fibre lisse, il importe que le coefficient de forme égal au quotient de la longueur par le diamètre de la fibre soit compris entre 50 et 100. Ce coefficient de forme optimal peut être réduit lorsque l'ancrage de la fibre est amélioré par une modification de sa géométrie : ondulations, crochets aux extrémités, crénelages, etc...

30 Les dosages de fibres utilisés dans les bétons de fibres traditionnels varient de 30 kg/m³ à 150 kg /m³ ; ils sont généralement compris entre 40 kg/m³ et 80 kg/m³, ce qui correspond à un pourcentage en volume compris entre 0,5 % et 1 %.

35 La longueur L des fibres est généralement comprise entre 30 mm et 60 mm, tandis que le diamètre D des plus gros granulats est

généralement compris entre 20 et 25 mm, en sorte que le rapport $R = L/D$ est compris entre 1,2 et 3,0.

5 Dans le béton traditionnel l'interface entre les granulats et la pâte de ciment durci constitue une zone de faible résistance du fait de sa plus grande porosité (auréole de transition). Cet interface est également le siège de contraintes locales dues à l'anisotropie de comportement entre le granulat et la pâte. Dans le cas d'une traction d'ensemble exercée sur le béton les granulats ne peuvent rester liés les uns aux autres que s'il existe des attaches résistant à la traction et ayant une longueur de développement au moins égale à environ 10 dix fois la taille du plus gros granulat.

Le rapport R étant au maximum de 3,0, les fibres ne peuvent lier efficacement les granulats les uns aux autres.

15 Cela est confirmé par le fait que l'ajout de fibres métalliques dans le béton traditionnel n'améliore que faiblement la résistance à la traction du béton. Cette amélioration est de quelques pour cent pour les dosages en fibres usuels de 0,5 à 1 % en volume.

20 Les fibres métalliques utilisées dans les bétons qui ne comportent pas d'armatures traditionnelles ne permettent pas d'éviter la fissuration du béton, elles permettent seulement de la répartir, c'est-à-dire que l'on a un grand nombre de micro-fissures cousues par les fibres au lieu de fissures moins nombreuses mais plus larges.

25 En conséquence, l'utilisation des bétons de fibres métalliques sans armature passive traditionnelle est limitée.

Des compositions particulières de bétons de fibres métalliques et des procédés particuliers pour réaliser des matrices cimentaires contenant des fibres métalliques sont connus (COMPRESIT, SIFCON et autres) et sont décrits par exemple dans les brevets US 4 979 992 (H.H.BACHE), 4 513 040, 4 559 881, 4 593 627 et 4 668 548 (D.R.LANKARD).

35 La présente invention concerne de nouvelles compositions spécifiques pour fabriquer un béton ductile à ultra-haute résistance permettant la construction d'éléments en béton précontraints ou non, ne comportant aucune armature passive.

Un but de l'invention est d'obtenir des éléments en béton de fibres métalliques sans armature passive traditionnelle ayant une résistance à la traction au moins comprise dans la gamme environ 30 MPa à environ 60 MPa.

5 Un autre but de l'invention est d'obtenir des éléments en béton de fibres métalliques ayant une énergie de fracturation au moins comprise dans la gamme environ 10 000 à environ 40 000 J/m².

Un autre but de l'invention est d'obtenir des éléments de structure ayant un allongement à la rupture qui soit au moins dans
10 la gamme 4000.10⁻⁶ m/m à 9000.10⁻⁶ m/m.

Un but de l'invention est également d'obtenir un béton de fibres métalliques ayant une résistance à la compression au moins comprise dans la gamme environ 150 à environ 250 MPa.

Un but de l'invention est aussi d'obtenir des éléments en béton
15 ayant un facteur d'intensité de contrainte qui soit au moins dans la gamme 6 MPa m^{0,5} à 13 MPa m^{0,5}.

L'invention vise aussi à fournir des éléments en béton présentant des performances comparables à celles de l'élément correspondant en béton traditionnel mais avec une économie de
20 poids de 1 (béton de l'invention) pour au moins 2,5 (béton classique).

L'invention vise aussi à fournir un béton permettant de mouler des formes qui ne pourraient l'être avec un béton classique.

Une composition de béton de fibres métalliques conforme à l'invention est constituée pour l'essentiel de ciment Portland,
25 d'éléments granulaires, d'éléments fins à réaction pouzzolanique, de fibres métalliques, d'un agent dispersant, éventuellement d'autres adjuvants, et d'eau et elle est caractérisée en ce que les éléments granulaires prépondérants ont une grosseur de grain maximale D au plus égale à 800 micromètres, en ce que les fibres métalliques
30 prépondérantes ont une longueur individuelle l comprise dans la gamme 4 mm - 20 mm, en ce que le rapport R entre la longueur moyenne L des fibres et ladite grosseur maximale D des éléments granulaires est au moins égal à 10, et en ce que la quantité des fibres métalliques prépondérantes est telle que le volume de ces fibres est
35 dans la gamme 1,0 % à 4 % du volume du béton après la prise.

Une telle composition après gâchage et durcissement dans un moule produit un corps solide en béton de fibres métalliques.

Par l'expression "éléments granulaires prépondérants", on désigne les éléments granulaires qui représentent au moins 90 %, de préférence au moins 95 %, ou encore mieux au moins 98 %, de la
5 masse totale des éléments granulaires.

Par l'expression "fibres métalliques prépondérantes", on désigne les fibres métalliques qui représentent au moins 90 %, de préférence au moins 95 %, ou encore mieux au moins 98 %, de la
10 masse totale des fibres métalliques.

Idéalement, les éléments granulaires prépondérants constituent la totalité des éléments granulaires et les fibres métalliques prépondérantes constituent la totalité des fibres métalliques.

15 Dans des modes de réalisation particulièrement avantageux :

- D est au plus égal à 600 micromètres, ou mieux à 400 micromètres, (des grosseurs de 800, 600 et 400 micromètres correspondant sensiblement à des équivalents tamis respectifs de 30, 29 et 27 de la série AFNOR NF X 11-501
- 20 - l est compris dans la gamme 8 - 16 mm, ou mieux dans la gamme 10 - 14 mm ;
- les fibres métalliques prépondérantes ont un diamètre compris dans la gamme 80 - 500 micromètres, ou mieux 100 - 200 micromètres
- le pourcentage en volume des fibres métalliques prépondérantes est
25 situé dans la gamme 2,0 % - 3 %, de préférence environ 2,5 %, du volume du béton après la prise ;
- les éléments granulaires sont des éléments du groupe constitué par le sable naturel tamisé, le sable broyé et les autres sables fins.
- le ciment Portland est un ciment du groupe constitué par le CPA
30 PMES, HP, HPR et mieux HTS (haute teneur en silice) :
- les fibres métalliques sont des fibres du groupe constitué par les fibres d'acier, les fibres d'acier inoxydable, et les fibres d'acier ou d'acier inoxydable revêtues d'un métal non ferreux tel que le cuivre, le zinc et autres métaux non ferreux ;
- 35 - les éléments fins à réaction pouzzolanique sont des éléments du

groupe constitué par les silices, les cendres volantes et les laitiers de haut-fournaux ayant une grosseur moyenne inférieure à 0,5 micromètre ;

5 - l'agent dispersant est un superplastifiant du groupe constitué par la naphthalène, la mélamine, le polyacrylate et autres superplastifiants.

Dans un exemple typique, les granulats du mélange pour béton ont un diamètre au plus égal à 400 micromètres et les fibres métalliques ont une longueur supérieure à 12 mm, ce qui donne un rapport $R = 30$.

10 Le comportement de la fibre de longueur 12 mm dans la matrice en béton de poudre réactive est analogue au comportement d'une armature lisse traditionnelle d'une longueur de $L = R \times D$, c'est-à-dire $30 \times 20 = 600$ mm.

15 Le fonctionnement mécanique du béton de l'invention est donc identique, à un effet d'échelle près, au fonctionnement mécanique du béton armé traditionnel comportant des armatures traditionnelles de longueur 600 mm.

20 Alors que les bétons de fibres traditionnels sans armatures ne peuvent pas être utilisés comme bétons de structure, c'est-à-dire pour la fabrication de poutres, de poteaux et de dalles, le béton de l'invention "micro-armé" constitue au contraire un nouveau matériau utilisable pour de telles applications.

25 Dans une réalisation préférée, le mélange pour béton comprend pour 100 parties en poids de ciment, 60 à 150 (ou mieux 80 à 130) parties en poids de sable fin ayant une grosseur de grains moyenne de 150 à 400 micromètres, 10 à 40 (ou mieux 20 à 30) parties en poids de silice amorphe ayant une grosseur de grains inférieure à 0,5 micromètres, 10 à 80 (ou mieux 15 à 40) parties en poids de fibres

30 métalliques ayant une longueur moyenne comprise entre 10 et 14 mm, au moins 0,5 partie en poids (extrait sec) d'un agent dispersant, des adjuvants éventuels, et 10 à 30, de préférence 10 à 24, et encore mieux 12 à 20, parties en poids d'eau.

35 L'invention n'est pas limitée à l'utilisation d'un super plastifiant particulier mais on donne la préférence au super

plastifiant de type polyacrylate sur les superplastifiants de types mélamine et naphthalène. On utilise de préférence au moins 0,5, ou mieux au moins 1,2, encore mieux environ 1,8 parties en poids de superplastifiant (extrait sec).

5 La silice utilisée est de préférence une fumée de silice, notamment une fumée de silice provenant de l'industrie du zirconium plutôt qu'une fumée de silice provenant de l'industrie du silicium.

10 Dans des réalisations, la silice peut être totalement ou partiellement remplacée par d'autres matières à réaction pouzzolaniques comme les cendres volantes et les laitiers de haut-fourneaux, par exemple.

On prépare le béton de l'invention en mélangeant les constituants solides et de l'eau, de façon en soi connue.

15 De préférence, le béton obtenu est soumis à une cure à une température comprise entre l'ambiante et 100° C, notamment une cure entre 60 et 100° C, de préférence à une température de l'ordre de 90° C.

20 La durée de la cure est de préférence comprise entre six heures et quatre jours avec une durée optimale de l'ordre de deux jours, la cure commençant après la fin de la prise du mélange.

25 La cure est réalisée en ambiance sèche ou humide ou suivant des cycles faisant alterner les deux ambiances, par exemple vingt quatre heures de cure en ambiance humide, suivi de vingt quatre heures de cure en ambiance sèche.

On met en oeuvre cette cure sur des bétons ayant terminé leur prise, de préférence âgés d'au moins un jour, et encore mieux âgés d'au moins sept jours environ.

Dans des réalisations particulières :

- 30 - le béton est étuvé à 60°C - 100°C pendant six heures à quatre jours à compter de la fin de la prise,
- le béton est étuvé à 60 - 100°C pendant douze heures à vingt quatre heures à compter de la fin de la prise ;
- le béton est étuvé à 60 - 100° C pendant six heures à quatre jours,
35 au moins un jour après le début de la prise ;

- le béton est étuvé à 70° - 90° C pendant six heures à quatre jours après la fin de la prise.

L'addition de poudre de quartz broyé est particulièrement utile lorsque le béton est curé à haute température, comme le montre le tableau ci-après :

	RESISTANCE EN COMPRESSION	RESISTANCE EN TRACTION PAR FLEXION
Sans addition	230 MPa	52 MPa
Avc addition	250 MPa	60 MPa

Le tableau ci-après donne des exemples comparatifs des caractéristiques du béton de l'invention et d'autres bétons.

	RESISTANCE A LA TRACTION (FLEXION 3 POINTS) (MPa)	ENERGIE DE FRACTURATION (J/M ²)	RESISTANCE A LA COMPRESSION (MPa)	FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES K _{1C} MPa m ^{0,5}
Bétons traditionnels B25 à B40	2 à 3	90 à 120	25 à 40	1,8 à 2,5
Bétons à hautes et très hautes performances	4 à 5	120 à 150	50 à 100	2,2 à 2,9
Bétons selon l'invention	30 à 60	10000 à 40000 ⁽³⁾	150 ⁽¹⁾ à 250 ⁽²⁾	6 à 13

(1) Après 28 jours de cure à température ambiante ;

(2) Après 2 jours de précure à température ambiante puis cure à 80 - 90°C ;

5 (3) Selon le type de cure thermique appliquée et la quantité de fibres métalliques (de 1 % à 4 % en volume).

L'invention sera encore expliquée en détails ci-après en référence aux figures du dessin joint sur lequel :

10 - la fig. 1 est un schéma de la microstructure d'un béton selon l'invention ;

- la fig. 2 est une courbe de la résistance à la traction du béton en fonction du taux en volume des fibres métalliques ;

- la fig. 3 est une courbe de l'énergie de fracturation du béton en fonction du taux en volume des fibres métalliques ;

15 - la fig. 4 est une courbe de l'énergie de fracturation du béton en fonction de la longueur des fibres ;

- la fig. 5 est une courbe de la résistance à la compression du béton en fonction du rapport eau / ciment ;

20 - la fig. 6 est une courbe de l'ouvrabilité et de la résistance à la compression du béton en fonction du rapport superplastifiant / ciment ;

- la fig. 7 est une courbe de la résistance à la compression du béton en fonction de la température de post-cure ;

25 - la fig. 8 est une courbe de la résistance à la traction du béton comparée à celle d'un mortier classique ;

- la fig. 9 est une courbe de l'énergie de fracturation du béton comparées à celles d'un mortier classique ;

- la fig. 10 est une demi-élévation d'une poutre en béton selon l'invention ;

30 - la fig. 11 est une section droite de la poutre en travée (fig. 11A) et sur appuis (fig. 11B) ;

- la fig. 12 est un schéma de la répartition des vérins hydrauliques utilisés pour charger la poutre ;

35 - la fig. 13 est une courbe de la flèche en travée en fonction du moment de flexion ;

- la fig. 14 est un diagramme des contraintes à l'apparition des fissurations de la poutre ;
- la fig. 15 est la section droite du tablier d'un pont en béton selon l'invention ;
- 5 - la fig. 16 est la section droite du tablier correspondant d'un pont en béton classique, et
- la fig. 17 est une courbe de l'allongement ultime en traction d'un béton selon l'invention.

La figure 1 schématise le mode de fonctionnement des fibres
 10 métalliques dans le béton de l'invention, comparé à celui des armatures passives traditionnelles : - la fig. 1A est un schéma d'une fibre de longueur $L = 60$ mm entourée de granulats de diamètre maximal $D = 25$ mm, le rapport $R = L/D_{\max} = 2,4$ et la fig. 1 B est un schéma (à échelle différente) d'une fibre métallique entourée de
 15 granulats dans un béton selon l'invention avec $L = 12$ mm et $D_{\max} = 0,4$ mm.

Les figs. 2 à 7 sont des courbes montrant la variation de certaines propriétés d'un béton selon l'invention, en fonction de différents paramètres (taux des fibres, longueur des fibres, rapport
 20 eau/ciment, rapport superplastifiant/ciment, température de post-cure).

Il est clair que :

- le meilleur pourcentage de fibres pour ce qui concerne la résistance à la flexion est environ 3,5 (en volume),
- 25 - le meilleur pourcentage de fibres pour ce qui concerne l'énergie de fracturation est environ 2,0 environ 2,5,
- le meilleur rapport eau/ciment est environ 0,16 à environ 0,18,
- le meilleur rapport plastifiant (extrait sec)/ciment est environ 1,8% dans le cas d'un polyacrylate,
- 30 - la meilleure température de cure est environ 80°C à environ 90°C.

L'invention sera encore illustrée ci-après par quelques exemples :

EXEMPLE I

35 Une composition typique pour préparer un béton selon

l'invention est donnée dans le Tableau 1 ci-après :

TABLEAU I		
5	Ciment CPA.PMES	955 kg / m ³
	Sable fin de quartz (150-300 micromètres)	1 051 kg/ m ³
10	Silice	239 kg/ m ³
	Superplastifiant (polyacrylate)	13 kg/ m ³
15	Fibres d'acier calibrées (L=12,5 mm, Ø = 0,18mm)	191 kg/m ³
	Eau totale	153 l/m ³

20

La silice est principalement de la fumée de silice (18 m²/g).

Les fibres d'acier sont droites et lisses.

Les composants peuvent être mélangés, coulés et vibrés comme ceux des bétons classiques, en dépit du faible pourcentage d'eau par rapport au ciment.

25

Le pourcentage de fibres conditionne la résistance à la flexion et l'énergie de fracturation. La fig. 8 montre le comportement d'un tel béton comparé à celui d'un mortier classique, dans un essai de flexion 3-points sur éprouvettes entaillées. Le béton de l'invention manifeste une large phase d'écrouissage suivi d'un l'adoucissement graduel. La contrainte de traction maximale est deux fois la contrainte de traction à la première fissuration (respectivement 50MPa et 25 MPa). La flèche la contrainte maximale est environ 10 fois plus grande que la flèche à l'ouverture de la première micro-fissuration.

35

La fig. 9 montre les résultats obtenus durant des essais de flexion points sur des éprouvettes de 4 cm x 4 cm x 16 cm entaillées. L'énergie de fracturation, proportionnelle à la surface située sous la courbe est typiquement de 30.000 j/m² pour un béton selon l'invention alors qu'elle est inférieure à 100 J/m² pour un mortier classique.

Le béton de l'invention peut être utilisé dans des éléments de structure sans armatures passives.

Dans le béton traditionnel il est nécessaire de disposer des armatures traditionnelles au voisinage de toutes les surfaces latérales à une distance -appelée enrobage- généralement comprise entre 1 et 5 cm et jamais supérieure à 10 cm. Cette nécessité conduit à ce que les surfaces latérales des pièces en béton sont généralement planes et régulières ou plus rarement à simple courbure, et presque jamais à double courbure.

Le béton selon l'invention pouvant être utilisé sans armatures traditionnelles, il est possible de réaliser des pièces plus minces avec une grande liberté de forme. En effet la nécessité de prévoir des armatures dans les bétons traditionnels, dans chaque direction, ainsi que leur enrobage minimum sur les deux faces, conduit à une épaisseur minimale de 7 cm pour les pièces coulées horizontalement, et de 12 cm pour les pièces coulées verticalement comme le sont les murs et les voiles. Avec le béton de l'invention l'épaisseur minimale des pièces coulées horizontalement est de 8 mm, et l'épaisseur minimale des pièces coulées verticalement est de 20 mm. Cet avantage permet de réaliser d'importantes économies de matière.

La liberté de forme obtenue avec le béton de l'invention permet de réaliser des pièces de forme complexe ayant un meilleur aspect architectural. Cette liberté de forme permet également de mieux répartir la matière là où elle est strictement nécessaire pour la résistance. Cela représente une économie de matière très importante.

Les économies de matière permises par l'invention sont encore accrues pour les pièces dans lesquelles le poids propre représente une part importante des charges totales.

Le béton de l'invention peut également être utilisé dans des

éléments précontraints sans armature passive.

Pour une poutre précontrainte l'utilisation du béton suivant l'invention conduit à un gain de matière dans un rapport qui est au minimum de 2,5.

5 L'utilisation du béton précontraint conventionnel nécessite l'emploi d'armatures traditionnelles le long des parements des pièces, ainsi que des renforts d'armatures dans les zones d'ancrage des éléments - fils, torons ou câbles - de précontrainte. Cela est valable qu'il s'agisse du béton précontraint par post-tension (barres sous
10 gaine monotorons gainés graissés ; câble sous gaine, le câble étant constitué d'un assemblage de fils ou de torons) ou du béton précontraint par prétension (fil adhérent ; toron adhérent).

L'utilisation du béton de l'invention est particulièrement intéressante dans le cas de pièces précontraintes puisqu'il permet
15 l'économie de toutes les armatures traditionnelles y compris celles qui sont rendues nécessaires par la présence des éléments de précontraintes. En effet les efforts dits de diffusion de la précontrainte aux abouts génèrent des contraintes de traction et de cisaillement qui dépassent largement les capacités de résistance du
20 béton traditionnel, et qui doivent donc être repris par des armatures. Par contre la résistance et la ductilité du béton selon l'invention sont suffisantes pour reprendre les efforts sans armatures traditionnelles.

25 EXEMPLE II

On coule une poutre en T avec une composition de béton ayant la composition suivante (taux de fibres : 2,6 % en volume)

30

35

TABLEAU 2		
5	Ciment CPA.PMES	879 kg/m ³
	Sable fin (150 - 400 micromètres)	966 kg/m ³
	Fumée de silice (150 - 400 micromètres)	219 kg/m ³
	Fluidifiant (extrait sec)	13 kg/m ³
10	Eau totale	193 l/m ³
	Fibre d'acier calibrées (L = 12 mm, Ø = 0, 18 mm)	198 kg/m ³

15 La poutre d'essai a une section transversale en T, une longueur totale de 10 m et une hauteur de 0,34 m (Fig. 10) La membrure supérieure a une largeur de 0,15 et l'âme à une épaisseur de 0,06 m (Fig. 11).

20 La précontrainte est réalisée par deux torons T15 de 139 mm² de section. La limite élastique de l'acier est de 1 525 MPa et la contrainte de rupture garantie est de 1 730 MPa. La poutre ne comporte aucune armature passive.

25 Les torons ont été tendus à 90 % de leur limite élastique avant le bétonnage de la poutre. La détention et le recape ont été effectués 4 jours après le bétonnage. La rentrée des torons a été en moyenne de 1,6 mm, ce qui correspond à une longueur d'ancrage d'environ 0,70 m.

30 A l'âge de sept jours, une cure à la vapeur d'eau a permis de maintenir une température dans le béton de 80°C pendant cinq jours. Au moment du transfert de précontrainte, la résistance en traction par flexion du béton était de 22 MPa. La poutre a été chargée à 21 jours. A cet âge la résistance en compression mesurée sur cylindre était de 170 MPa, la résistance en traction par flexion était de 42 MPa et le module d'Young était de 50 GPa.

35 Des charges verticales ont été appliquées par l'intermédiaire de

huit vérins répartis uniformément (Fig. 12). Une face de la poutre a été peinte pour faciliter la détection visuelle de la fissuration. Les charges ont été appliquées par paliers avec relevé des flèches à mi-portée et sur appuis à titre de contrôle.

5 La poutre a été chargée jusqu'à 82 kNm, puis entièrement déchargée. Aucune flèche résiduelle n'a été observée. Au cours du second chargement, la fissuration est apparue pour un moment fléchissant de 122 kNm (Fig. 13). Les fissures de faible ouverture (0,1 - 0,2 mm) étaient réparties assez uniformément tous les 0,30 m dans le tiers central de la poutre.

10 Dans cet état de sollicitation, la contrainte théorique de traction sur la fibre inférieure calculée en section non fissurée est de 39 MPa (Fig. 14) et la contrainte de compression sur la fibre supérieure est de 49 MPa.

15 Le chargement a été poursuivi jusqu'au voisinage de l'état limite ultime. Lorsque le moment a atteint 147 kNm trois larges fissures se sont développées dans la partie centrale. La rupture de la poutre a été obtenue par rupture des torons sous une sollicitation de 157 kNm.

20 Aucune fissure d'effort tranchant n'a été observée sous la contrainte maximale de cisaillement de 3,5 MPa. Il en a été de même dans les zones de diffusion d'effort au voisinage des appuis.

 Le béton de l'invention a confirmé sa capacité à reprendre les efforts de traction secondaires sans fissurer.

25 La fissuration de flexion principale a été observée à un niveau de contrainte de traction extrêmement élevé. Le comportement de la poutre après fissuration se caractérise par un accroissement de résistance de 32 % et par le développement d'une importante flèche post-élastique.

30 L'absence d'armatures passives permet en outre, de retenir des formes de coffrage mieux adaptées à la reprise des efforts dans les différentes sections. Cela conduit à des améliorations supplémentaires de l'efficacité du matériau de l'invention.

35 EXEMPLE III

La fig. 15 montre la section droite du tablier d'un pont en béton tel que défini dans le Tableau 2 et la fig. 16 montre la section droite du tablier correspondant en béton classique, les deux tabliers ayant les mêmes performances.

5 La largeur du tablier est 15,50 m en haut, 5,24 m à la base et la hauteur est de 5 m.

Le volume de béton en m³ par mètre carré de tablier est 0,23 dans le premier cas et 0,67 dans le deuxième cas.

10 EXEMPLE IV

On utilise le procédé défini ci-après pour couler une poutre en treillis constituée de membranes cylindrique longues de cinq mètres et ayant un diamètre de 0,4 mètres. Le volume de l'élément (sans les armatures) est 0,63 m³. La poutre est précontrainte par post-tension après assemblage.

15

TABLEAU 3		
20	Ciment Portland à haute teneur en silice Fumée de silice Poudre de Quartz broyé (grosseur moyenne : 10 micromètres)	920 kg / m ³ 212 kg / m ³ 359 kg / m ³
25	Sable (max 0,5 mm) Fibres d'acier calibrées (L = 12,5 mm, Ø = 0,180 mm)	662 kg / m ³ 184 kg / m ³
30	Superplastifiant Polyacrylate (extrait sec) Eau	17 kg / m ³ 175 kg / m ³

Les propriétés mécaniques du béton obtenu sont les suivantes:

35

	Résistance à la compression	190 MPa
5	Résistance à la flexion	50 MPa
	Module E	54 GPa

10 Ce béton peut être obtenu avec les malaxeurs habituels suivant une technique qui est de préférence la suivante :

1) Introduction des composants secs (sauf les fibres) dans le malaxeur.

15 On introduit d'abord le sable, puis les éléments les plus fins et enfin le ciment. On mélange pendant 30 à 90 secondes.

2) Introduction de l'eau et du superplastifiant dans le malaxeur.

20 On mélange le superplastifiant et l'eau et on disperse ce mélange dans le malaxeur. On mélange pendant quatre à sept minutes, suivant l'efficacité du malaxeur.

3) Introduction des fibres dans le malaxeur.

25 On introduit les fibres dans le malaxeur en une minute et on vibre le béton pour démêler les fibres.

L'opération de malaxage est terminée deux à trois minutes après la fin de l'introduction des fibres.

Le temps total de malaxage varie de sept à douze minutes.

30 Ainsi le béton selon l'invention peut être malaxé suivant la même méthode et les mêmes équipements que le béton traditionnel, mais le temps de malaxage est multiplié par cinq environ.

La poutre est moulée verticalement, avec vibration externe, de façon classique.

35 Le démoulage a lieu dix huit heures après la prise et la poutre est conservée dans une chambre climatique à une humidité relative de

90 % à une température de 20° durant sept jours. Une cure thermique à 90°C est appliquée durant vingt quatre heures au moyen de jets de vapeur. La poutre est alors prête pour sa prise en place et les opérations de précontrainte.

5

EXEMPLE V - Caractérisation de la déformation ultime en traction du matériau

L'essai est réalisé sur une éprouvette prismatique d'une longueur de 60 cm possédant une section de 4 sur 5 cm qui est soumise à un essai de flexion 4 points.

La formulation utilisée pour la fabrication des éprouvettes est la suivante (en parties en poids) :

15	Ciment Portland Type HPR.....	1
	Microsilice de l'industrie du zirconium (blanche).....	0,25
	Sable (diamètre min. 0,15 mm, max 0,5mm).....	1,03
	Fibres métalliques (longueur 12,7 mm, diamètre 0,15mm).....	0,2
	Superplastifiant mélamine (extrait sec).....	0,014
20	Eau.....	0,19

L'éprouvette prismatique est vibrée à la table dans un moule étanche en bois et surfacée à la truelle. Le démoulage a lieu seize heures après le gâchage. Le béton selon l'invention subit alors une cure thermique à 90°C avant d'être exposé à l'ambiante jusqu'au jour de l'essai.

L'essai de flexion quatre points est réalisé sur l'éprouvette mise en appuis sur deux cylindres distants de 50 cm. La charge est appliquée à l'aide de deux cylindres excentrés de 10 cm. L'ensemble est rotulé pour supprimer tout effort parasite. La contrainte de flexion est supposée constante sur 20 cm au centre de l'éprouvette.

La mise en charge est progressive et la déformation est mesurée sur la fibre supérieure (compression) et inférieure (traction) de l'éprouvette à l'aide de jauges de déformation. Le comportement du béton selon l'invention est illustré en figure 17. Le résultat mesuré

35

est comparé à celui d'un béton traditionnel dans le tableau suivant :

Béton	Déformation ultime en traction
Béton traditionnel	100 à 150 $\mu\text{m}/\text{m}$
Béton selon l'invention	4000 à 9000 $\mu\text{m}/\text{m}$

L'invention n'est pas limitée aux réalisations qui ont été décrites.

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

- 5 **1.** Composition de béton de fibres métalliques pour mouler un
élément en béton, essentiellement constituée de ciment Portland, d'
éléments granulaires, d'éléments fins à réaction pouzzolanique, de
fibres métalliques, d'un agent dispersant, d' adjuvants éventuels, et
d'eau, caractérisé en ce que les éléments granulaires prépondérants
10 ont une grosseur de grain maximale D au plus égale à 800
micromètres, en ce que les fibres métalliques prépondérantes ont une
longueur individuelle l comprise dans la gamme 4 mm - 20 mm, en ce
que le rapport R entre la longueur moyenne L des fibres et ladite
grosseur maximale D des éléments granulaires est au moins égal
15 à 10 et en ce que la quantité des fibres métalliques prépondérantes
est telle que le volume de ces fibres est de 1,0 % à 4,0 % du volume
du béton après la prise.
- 2.** Composition selon la revendication 1, caractérisée en ce que le
volume des fibres métalliques prépondérantes est 2 % à 3 % du
20 volume du béton après la prise.
- 3.** Composition selon la revendication 1, caractérisée en ce que le
volume des fibres métalliques prépondérantes est environ 2,5 % du
volume du béton après la prise.
- 4.** Composition selon la revendication 1, caractérisée en ce que
25 ladite grosseur maximale D est au plus égale à 600 micromètres
- 5.** Composition selon la revendication 4, caractérisée en ce que
ladite grosseur maximale D est au plus égale à 400 micromètres.
- 6.** Composition selon l'une des revendications précédentes
caractérisée en ce que ladite longueur individuelle est comprise dans
30 la gamme 8 - 16 mm.
- 7.** Composition selon la revendication précédente caractérisée en
ce que l est compris dans la gamme 10 - 14 mm.
- 8.** Composition selon l'une des revendications précédentes
caractérisée en ce que les fibres métalliques prépondérantes ont un
35 diamètre compris entre 80 et 500 micromètres.

- 9.** Composition selon la revendication précédente caractérisé en ce que les fibres métalliques ont un diamètre moyen compris entre 100 et 200 micromètres.
- 5 **10.** Composition selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la grosseur maximale des éléments granulaires prépondérants est au plus égale à 500 micromètres et en ce que les fibres métalliques prépondérantes ont une longueur supérieure à 10 mm.
- 10 **11.** Composition selon l'une des revendications précédentes caractérisée en ce que ledit rapport R est au moins égal à 20.
- 12.** Composition selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le pourcentage (en poids) d'agent dispersant (extrait sec) par rapport au poids de ciment est d'au moins 0,5, de préférence d'au moins 1,2.
- 15 **13.** Composition selon la revendication 12, caractérisée en ce que le pourcentage (en poids) d'agent dispersant (extrait sec) par rapport au poids de ciment est d'environ 1,8.
- 14.** Composition selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce que le ciment Portland est un ciment CPA PMES, HP, HPR ou
- 20 HTS.
- 15.** Composition selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisée en ce que les fibres métalliques sont des fibres du groupe constitué par les fibres d'acier, les fibres d'acier inoxydable, et les fibres d'acier ou d'acier inoxydable revêtus d'un métal non ferreux tel que le
- 25 cuivre, le zinc et autres métaux non ferreux.
- 16.** Composition selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisée en ce que les éléments fins ont une grosseur de grain moyenne inférieure à 0,5 micromètre.
- 17.** Composition selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisée
- 30 en ce que les éléments fins comprennent des éléments du groupe constitué par la silice, les cendres volantes et les laitiers de haut fourneaux.
- 18.** Composition selon la revendication 17, caractérisée en ce que les éléments fins comprennent de la fumée de silice.
- 35 **19.** Composition selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisée

en ce que le pourcentage en poids eau/ciment est de 10 à 30.

20. Composition selon la revendication 19, caractérisée en ce que le pourcentage en poids eau/ciment est de 12 à 20.

21. Composition selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'il
5 comprend, pour 100 parties en poids de ciment Portland, 60 à 150, de
préférence 80 à 130 parties en poids de sable fin ayant une grosseur
de grain moyenne compris entre 150 et 400 micromètres, 10 à 40, de
préférence 20 à 30 parties du poids de silice amorphe ayant une
grosseur de grain moyenne inférieure à 0,5 micromètre, 10 à 80, de
10 préférence 15 à 40 parties en poids de fibres métalliques ayant une
longueur moyenne comprise entre 10 et 14 mm, au moins 0,5 parties
en poids (extrait sec) d'un agent dispersant, des adjuvants éventuels,
et 10 à 30 parties en poids d'eau.

22. Composition selon la revendication 21, caractérisée en ce qu'il
15 est malaxé avec 13 à 20 parties en poids d'eau.

23. Composition selon la revendication 21 ou 22, caractérisée en
ce qu'elle comporte environ au moins 1,2 partie en poids de
superplastifiant.

24. Composition selon l'une des revendications 21 à 23,
20 caractérisée en ce que les fibres métalliques sont des fibres du groupe
constitué par les fibres d'acier, les fibres d'acier inoxydable,
éventuellement revêtues d'un métal non ferreux tel que le cuivre, le
zinc et autres métaux non ferreux.

25. Composition selon l'une des revendications 21 à 24,
25 caractérisée en ce qu'elle comprend de la poudre de quartz broyé.

26. Élément en béton obtenu par durcissement d'une composition
selon l'une des revendications 1 à 25.

27. Procédé de cure du béton d'un élément selon la revendication
26, dans lequel le béton est étuvé à une température de la gamme
30 60° - 100 ° C, à partir de la fin de la prise, pendant une période de
six heures à quatre jours.

28. Procédé selon la revendication 27, caractérisée en ce que le
béton est étuvé pendant une période de douze à vingt quatre heures.

29. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que le
35 béton est curé à une température de 70°C à 90°C.

- 30.** Procédé de cure du béton d'un élément en béton selon la revendication 26 dans lequel le béton est curé à une température de la gamme 60° C - 100 ° C pendant une période de six heures à quatre jours, partant d'au moins un jour après le début de la prise.
- 5 **31.** Élément en béton selon la revendication 26 et ayant subi une cure selon l'une des revendications 27 à 30.
- 32.** Element en béton selon la revendication 26 ou 31 précontraint en prétension par fil adhérent.
- 10 **33.** Élément en béton selon la revendication 26 ou 31 précontraint en prétension par toron adhérent.
- 34.** Élément en béton selon la revendication 26 ou 31 précontraint en post-tension par monotorons gainés graissés.
- 15 **35.** Élément en béton selon la revendication 26 ou 31 précontraint en post-tension par câble ou barre sous gaine, le câble étant constitué d'un assemblage de fils.
- 36.** Élément en béton selon la revendication 26 ou 31, précontraint en post-tension par câble sous gaine, le câble étant constitué de torons.

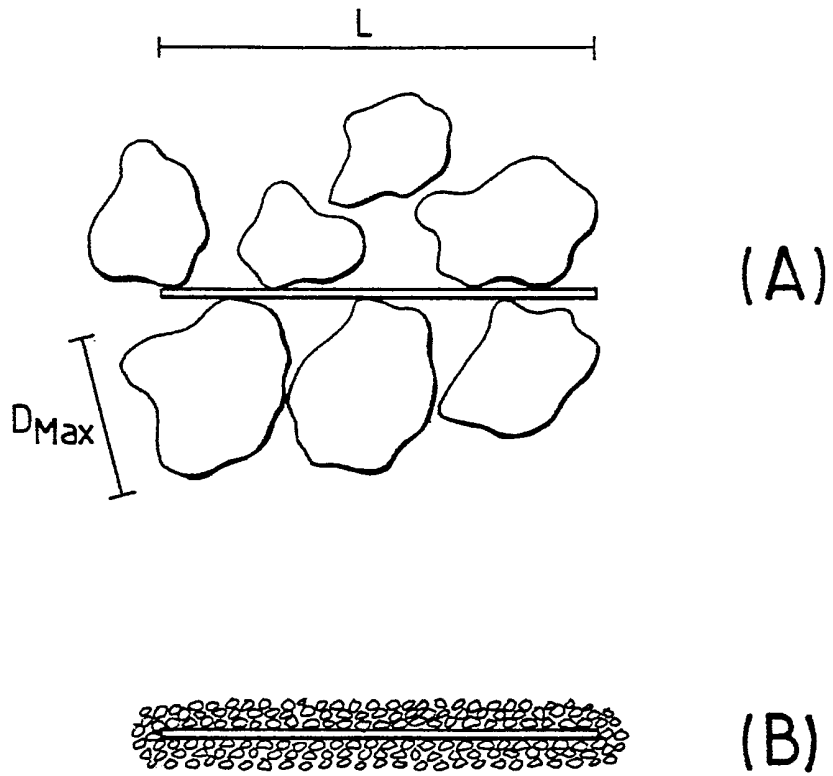
20

25

30

35

1 / 10

FIG. 1

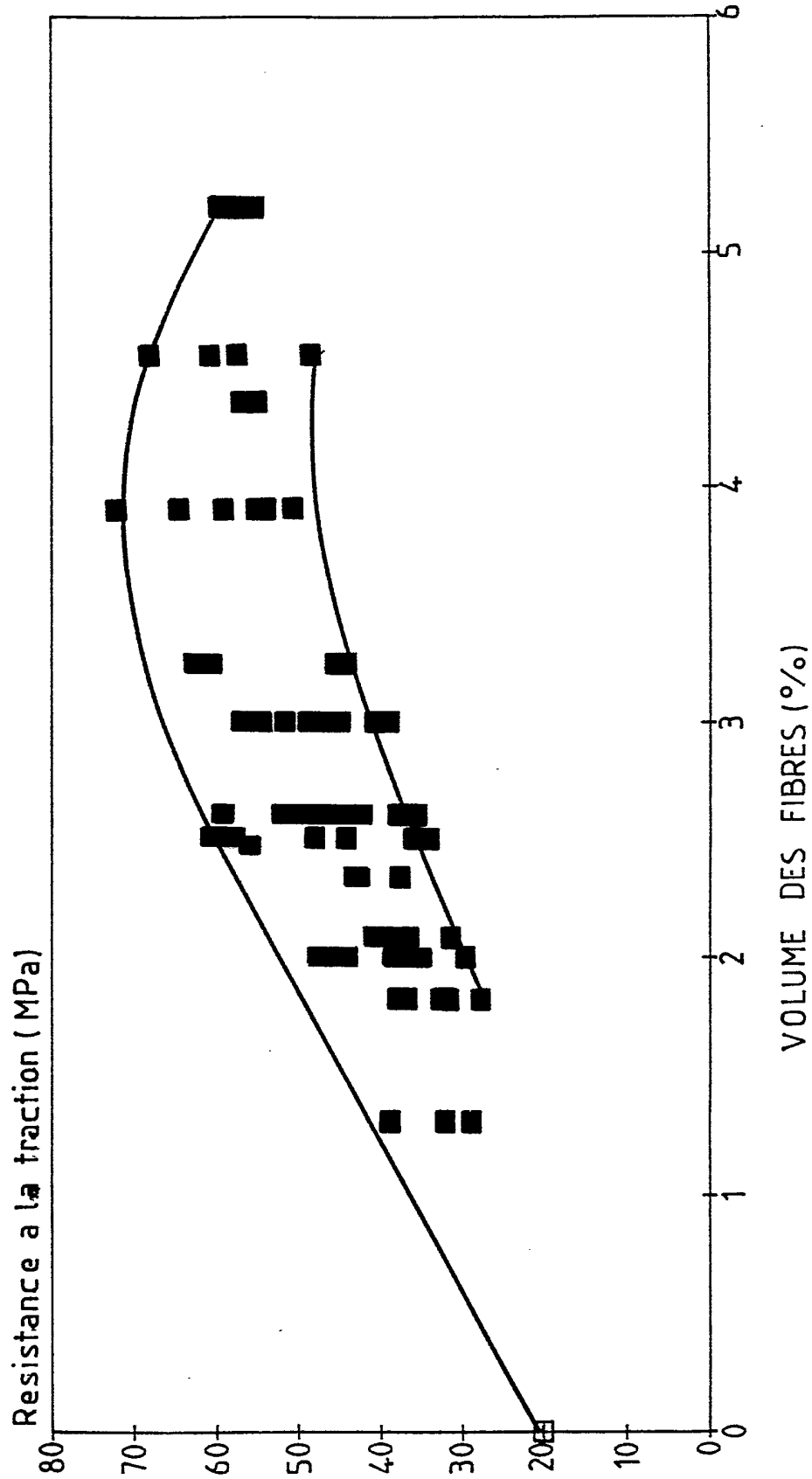


FIG.2

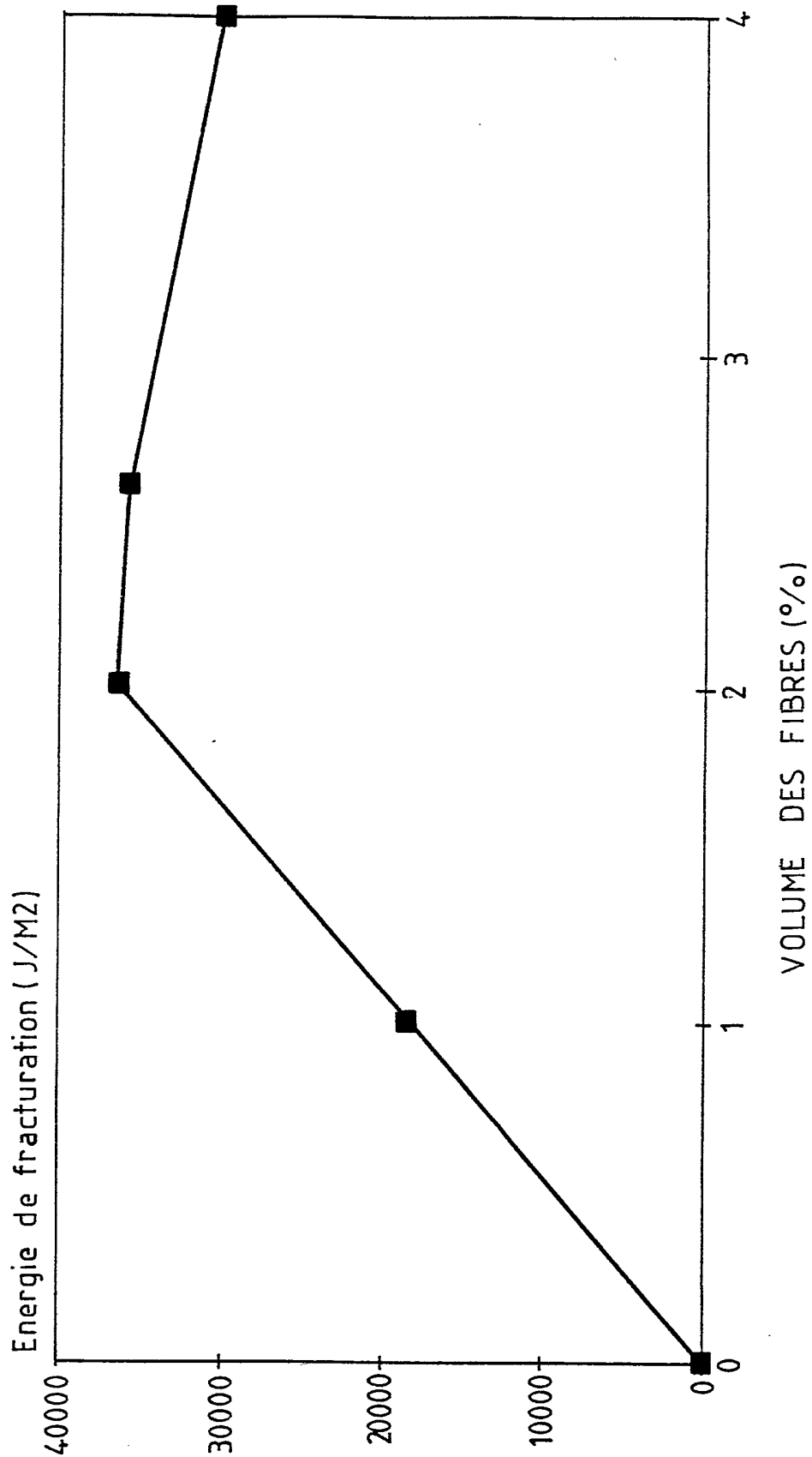
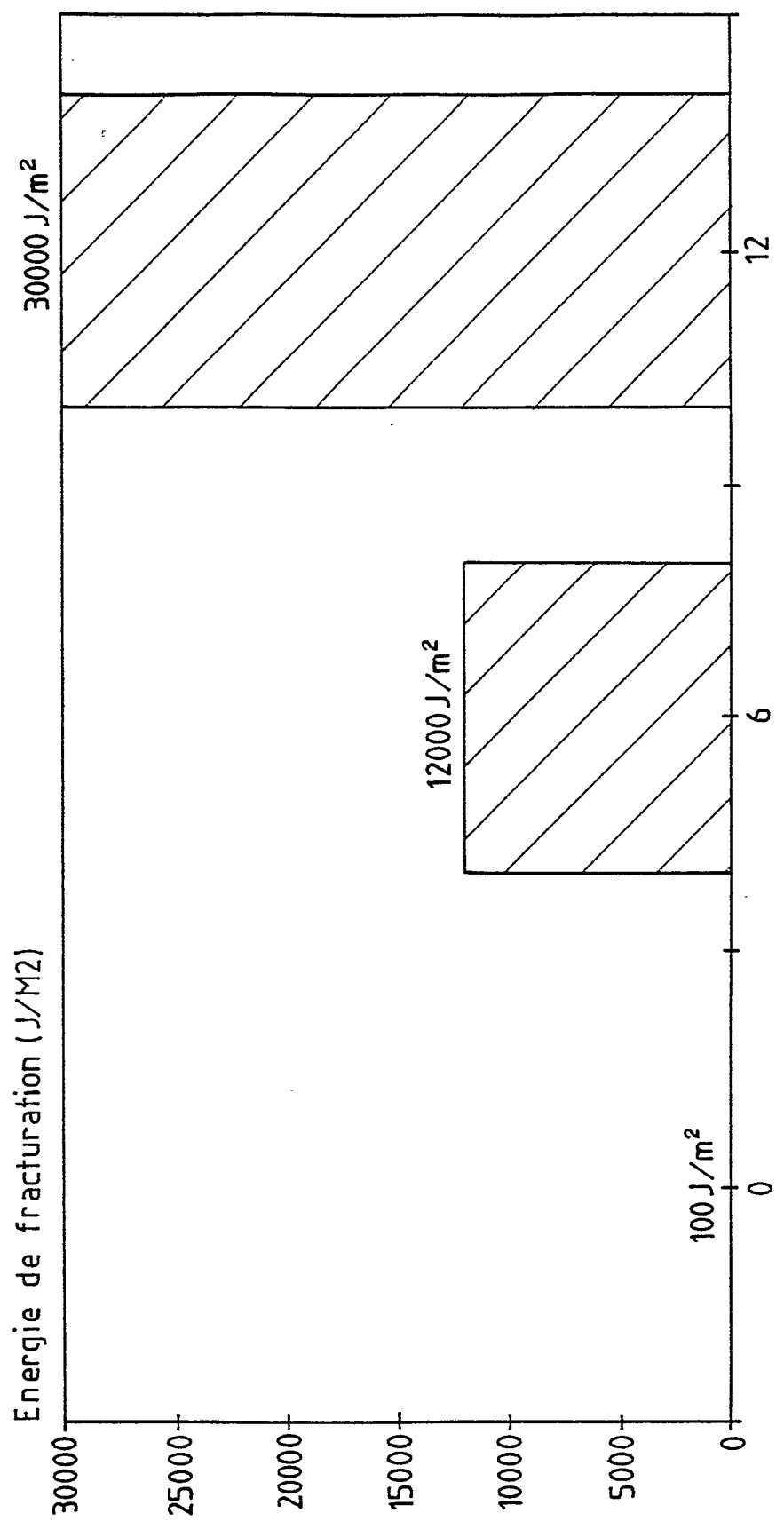


FIG. 3



LONGUEUR DES FIBRES (MM)
(VOLUME DES FIBRES : 4 %)

FIG.4

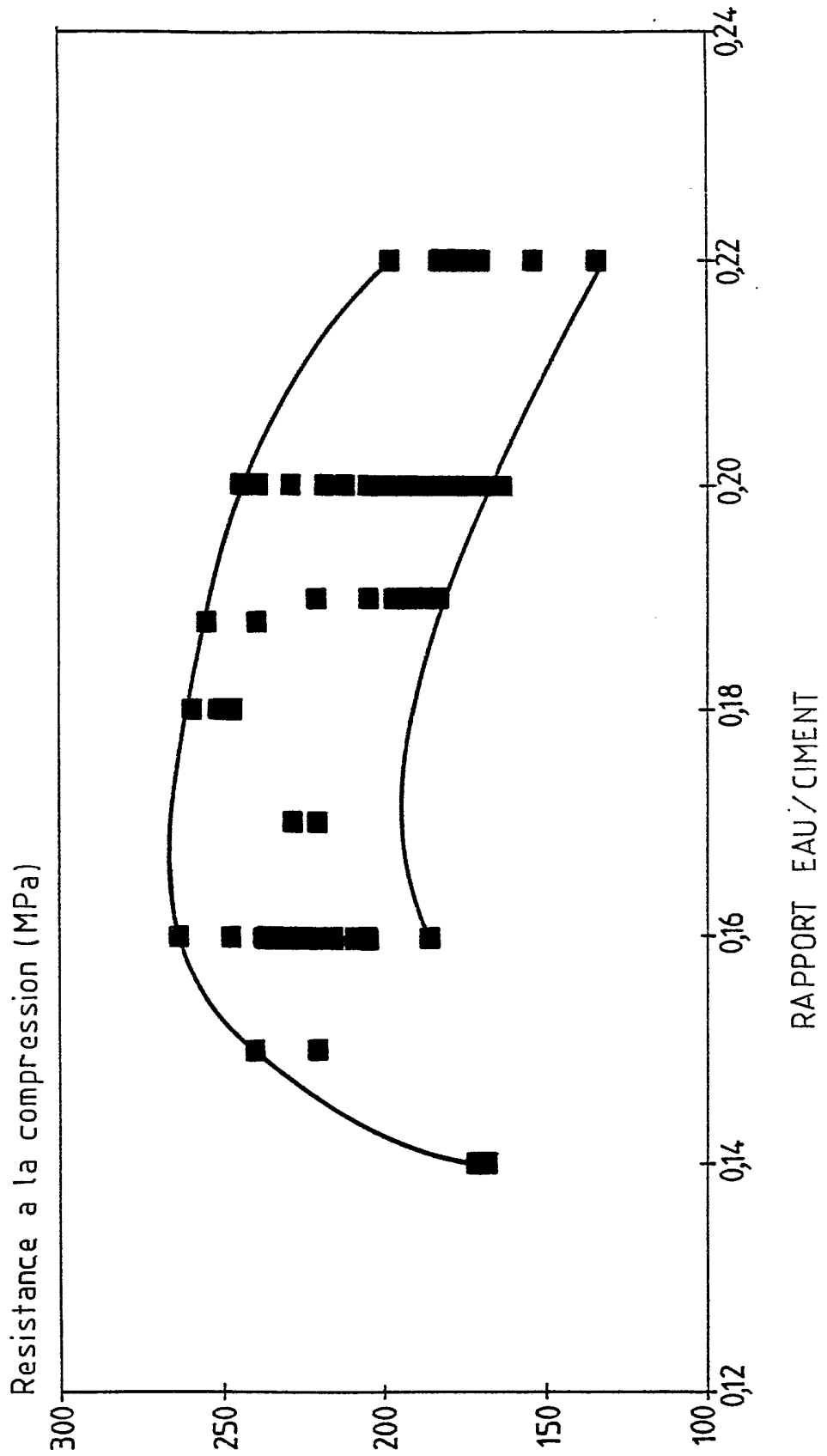


FIG.5

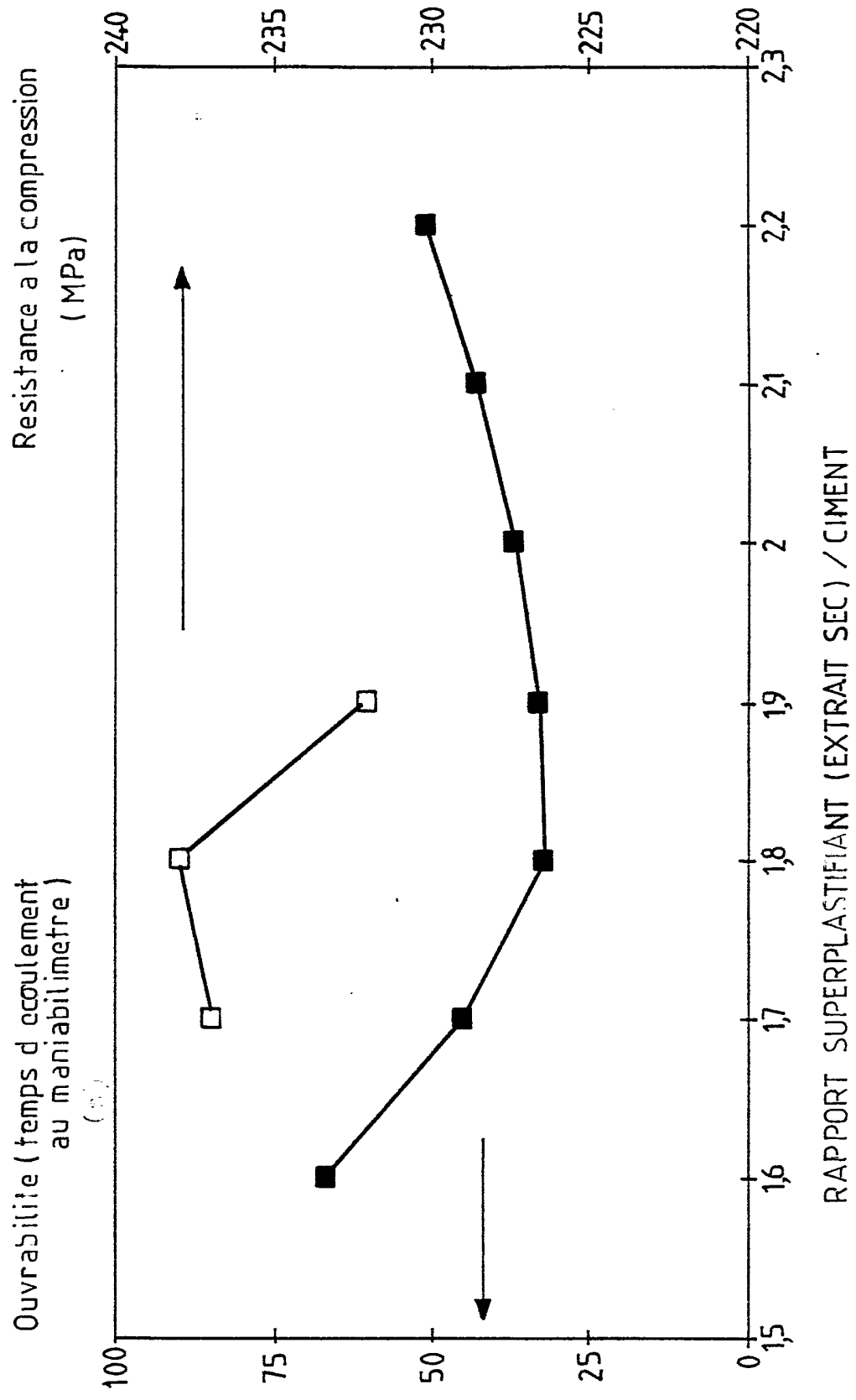


FIG.6

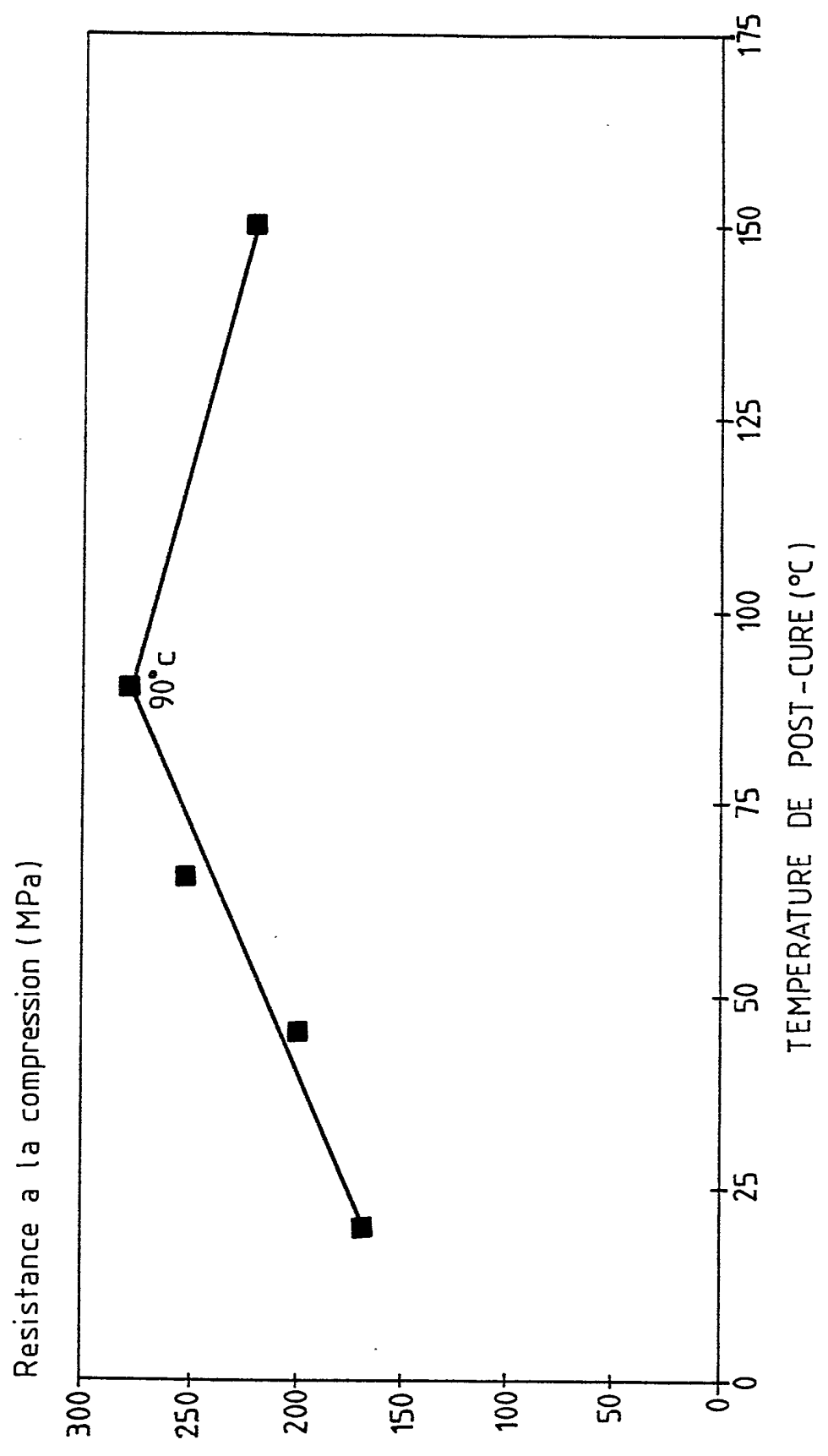


FIG.7

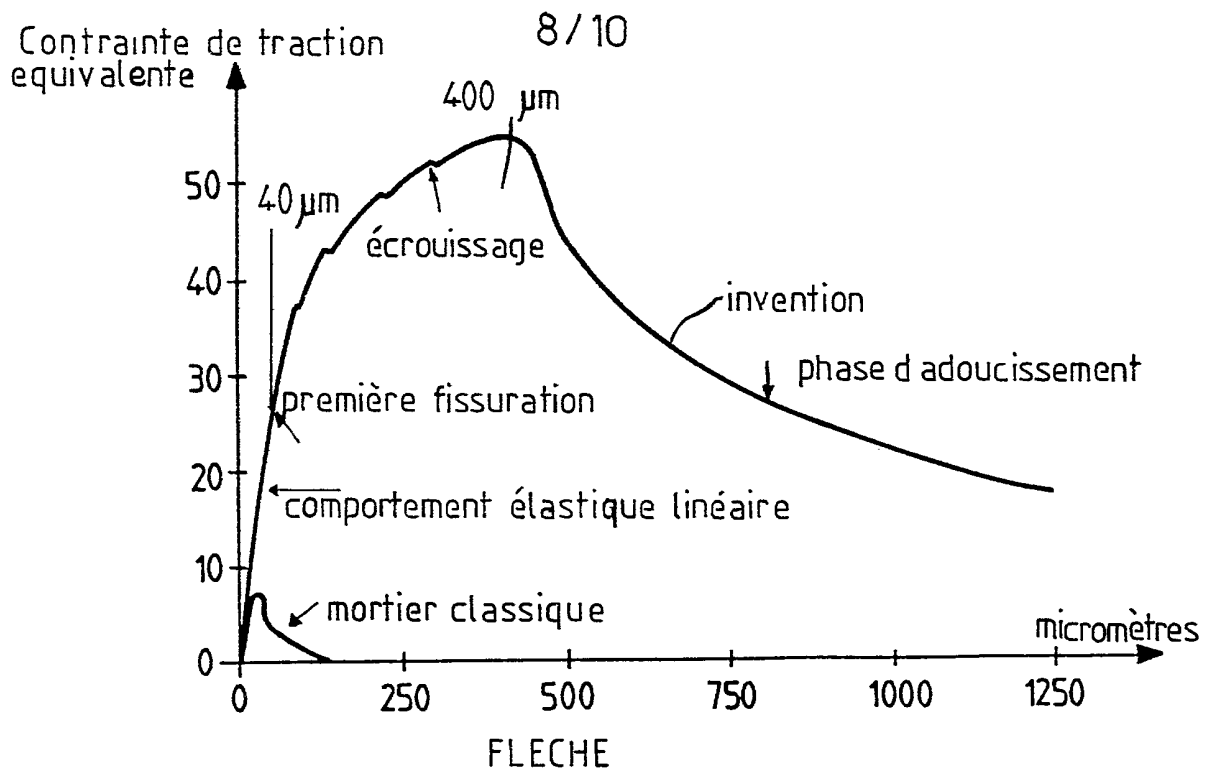


FIG. 8

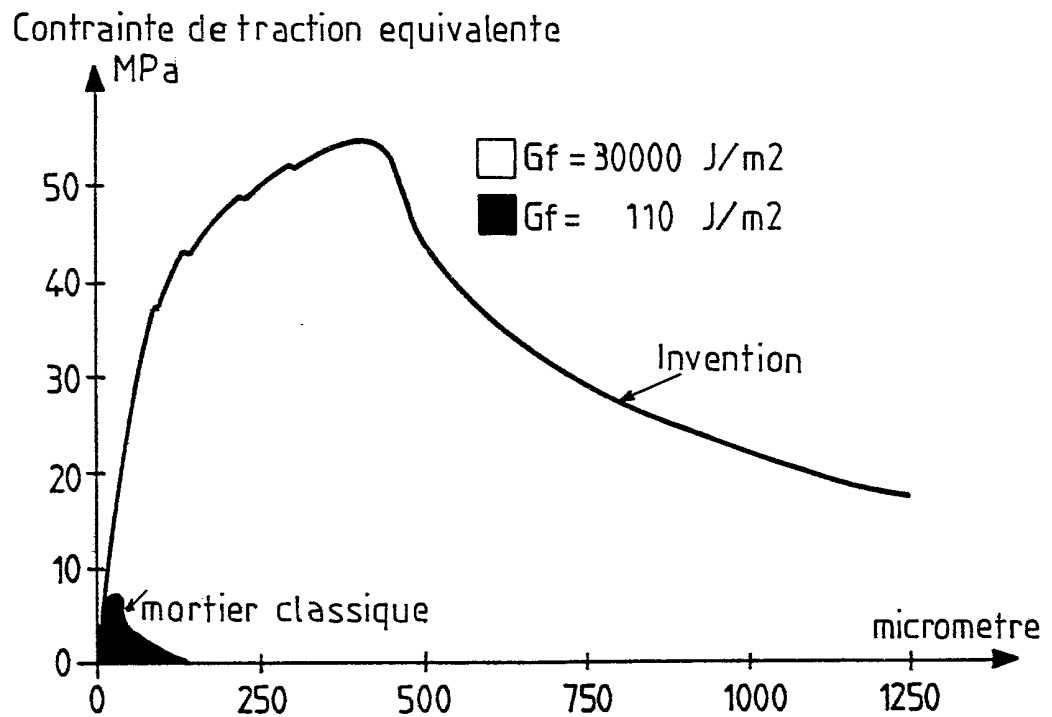


FIG. 9

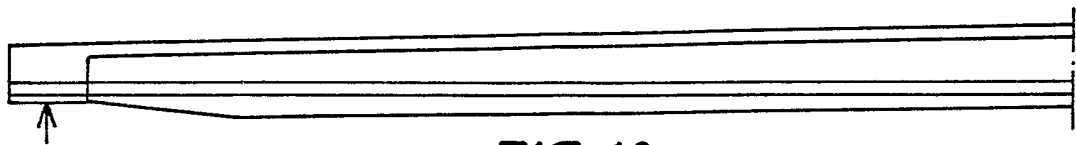


FIG. 10

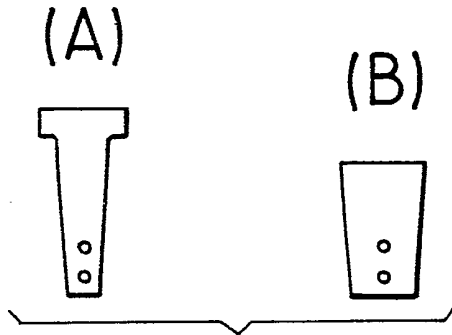


FIG. 11

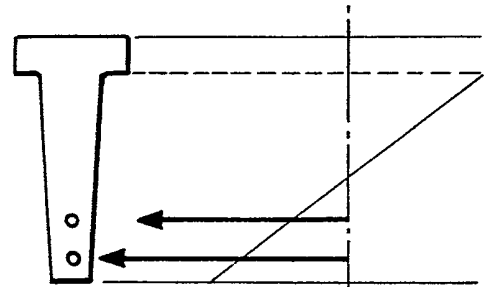


FIG. 14

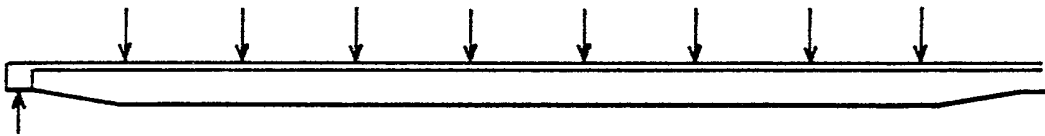


FIG. 12

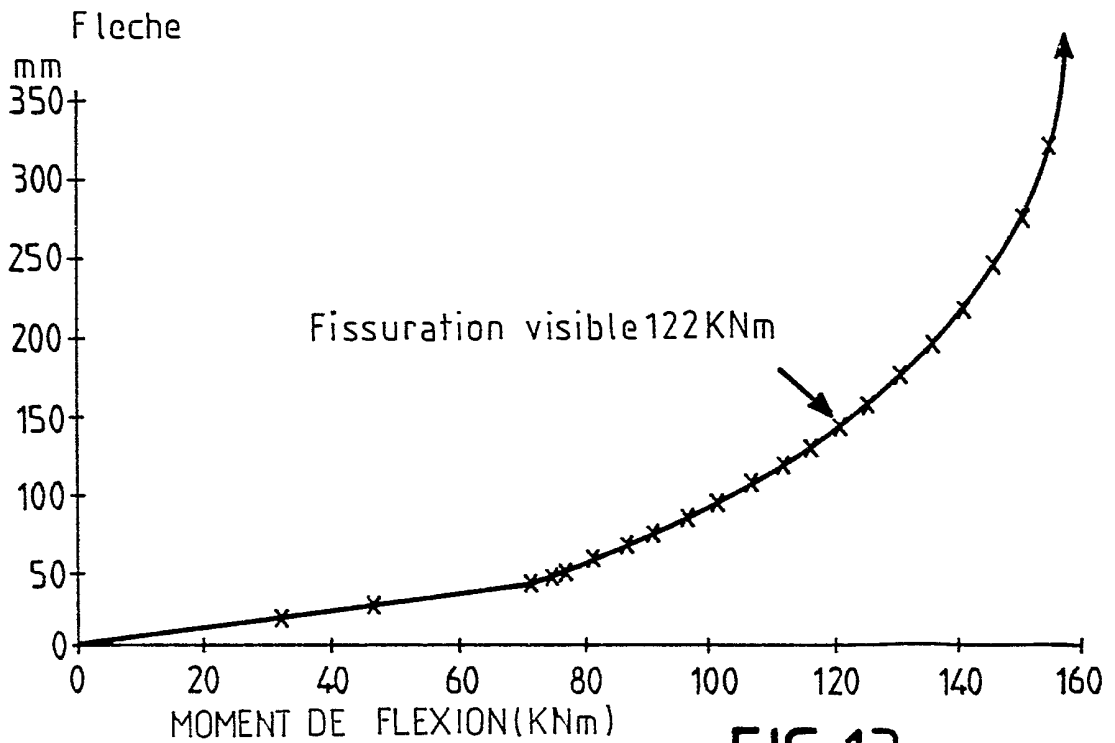
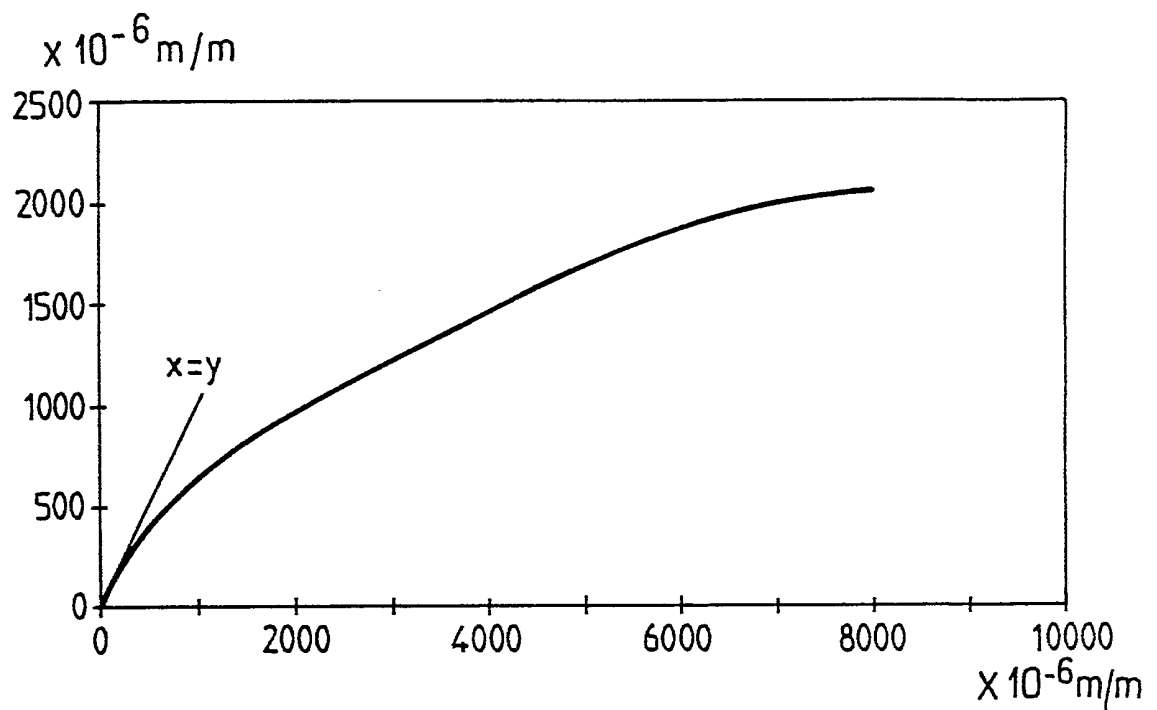
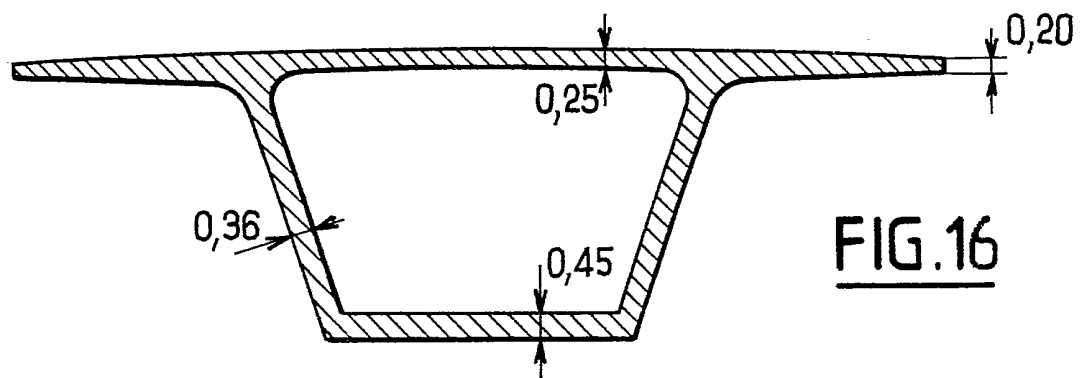
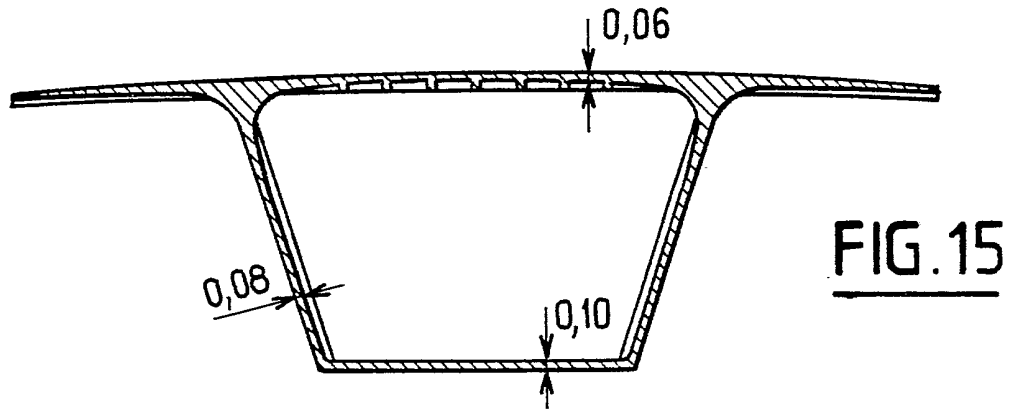


FIG. 13

10/10

FIG. 17

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	FR-A-2 640 962 (SOGEA) * abrégé; revendications 1,3-5,9 * * page 1, ligne 1 - page 2, ligne 33 * * page 4, ligne 1 - ligne 30 *	1,4,5,8, 9,14-17, 19, 23-28, 30,31
Y	---	2,3,6,7, 12,13, 18,21, 32,33,35
Y	WO-A-87 07597 (AS AALBORG PORTLAND-CEMENT-FABRIK) * page 35, ligne 25 - page 36, ligne 32 * * page 51, ligne 10 - page 52, ligne 24 * * page 54, ligne 13 - ligne 35 * * page 64, ligne 27 - ligne 37 * * page 66, ligne 18 - page 67, ligne 20 * * page 75, ligne 13 - page 78, ligne 25 * * page 93, ligne 9 - ligne 19; revendications 1,9; figure 16; tableau 2.5 *	2,3,6,7, 12,13, 18,21, 32,33,35
X	EP-A-0 273 181 (CEMCOM CORPORATION) * abrégé; revendications 1,3,15-22 * * page 5, ligne 23 - ligne 31 * * page 6, ligne 45 - page 7, ligne 31 *	1,4-11, 14-19, 23,24,26
A	---	25
	---	-/--
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
10 Juin 1994		Olsson-Norgren, S
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général 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 & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (PMCI1)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	DE-A-29 52 783 (W-H. MATTEY DE L'ETANG) * page 7, ligne 1 - ligne 23; revendications 1-6 * ---	1, 15, 24, 32, 33, 35
A	US-A-3 646 748 (F.A. LANG) * abrégé; revendications 1,3,5,6 * * colonne 1, ligne 1 - ligne 75 * * colonne 2, ligne 64 - ligne 75; exemple 1 * ---	1, 34, 36
A	DE-A-37 39 997 (HOCHAKTIF AG VORM. GEBR. HELFMANN) * abrégé; revendications 1,2,8,10,11 * * colonne 1, ligne 43 - colonne 2, ligne 51 * * colonne 3, ligne 7 - ligne 45 * ---	1, 11, 17, 26
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 101, no. 20, 12 Novembre 1984, Columbus, Ohio, US; abstract no. 176453t, 'Cement articles having ultra-high strenght' * abrégé * & JP-A-59 102 849 (DENKI KAGAKU KOGYO K.K.) 1 Décembre 1982 ---	1-7, 16-20, 24, 26
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 100, no. 18, 30 Avril 1984, Columbus, Ohio, US; abstract no. 144069k, 'Roofing' * abrégé * & JP-A-5 851 904 (TOYOBO CO., LTD.) 18 Novembre 1983 -----	1-3, 15-20, 22, 26
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
10 Juin 1994		Olsson-Norgren, S
<p style="text-align: center;">CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p style="text-align: center;">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 & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)