

Derniers développements dans le domaine des bétons de résine

Laatste ontwikkeling op het vlak van harsbeton

Claude MICHAUX *

RESUME

Depuis près de dix ans, la section Polymères de l'INIEX s'est spécialisée dans le domaine des bétons de résine. A l'origine, cette étude devait permettre la valorisation des sous-produits de carrière en les agglomérant au moyen de liants résineux. Très rapidement, en fonction des possibilités et des qualités de ce nouveau matériau, les études initiales se sont diversifiées et ont débouché sur la fabrication de produits finis directement commercialisables ouvrant au béton de résine la porte sur de nouveaux marchés.

Après un rappel de ce que sont les bétons de résine et de leurs caractéristiques, l'accent est mis sur les différents développements et les réalisations existantes dans des domaines aussi variés que le bâtiment, le mobilier d'intérieur et de jardin, les arts et la restauration, les aménagements urbains.

A partir d'exemples précis, sont explicités les travaux de la section Polymères depuis l'élaboration des formulations jusqu'à la conception de la pièce finie et l'expérimentation des prototypes, en passant par la réalisation des moules et les essais en laboratoire sans oublier l'aide technologique aux industriels intéressés par l'exploitation des résultats de l'INIEX.

Pour terminer, quelques précisions sont apportées sur l'orientation actuelle des recherches et sur les

SAMENVATTING

Sedert tien jaar ongeveer heeft de sectie Polymeren van het NIEB zich gespecialiseerd op het vlak van het harsbeton. Deze studie had aanvankelijk tot doel de valorisatie van bijprodukten van groeven mogelijk te maken door agglomeratie met harsachtige bindmiddelen. Volgens de mogelijkheden en de kwaliteit van dit nieuw materiaal werden de oorspronkelijke studies zeer vlug gediversifieerd. Ze hebben geleid tot de vervaardiging van afgewerkte produkten die rechtstreeks op commerciële schaal kunnen gebruikt worden en ze hebben nieuwe afzetmogelijkheden voor het harsbeton mogelijk gemaakt.

Na een verklaring over het harsbeton en zijn eigenschappen wordt de nadruk gelegd op de verschillende ontwikkelingen en bestaande verwezenlijkingen op verschillende gebieden zoals de bouw, het huis- en tuinmeubilair, de kunst- en de restauratiewerken, de stedenbouw.

Uitgaande van nauwkeurige voorbeelden worden de werkzaamheden van de sectie Polymeren uiteengezet vanaf de uitwerking van de formuleringen tot het uitvoeren van het afgewerkt stuk en de proeven op prototypes. De verwezenlijking van de gietvormen en de proeven in het laboratorium worden hierbij ook aangehaald evenals de technologische hulp aan de industriëlen die belangstellen in de resultaten die in het NIEB bekomen worden.

Tot besluit worden enkele nauwkeurige inlichtingen verstrekt over de huidige oriëntering van de onder-

* Ingénieur Civil Chimiste A.I.Lg., Chargé de Recherches Principal à l'INIEX, Section Polymères, rue du Chéra 200, B-4000 Liège.

* Burgerlijk scheikundig ingenieur, Eerstaanwendend geëngageerd onderzoeker bij het NIEB, Sectie Polymeren, rue du Chéra 200, B-4000 Luik.

projets en chantier : continuation dans la mise au point des systèmes de fixation et d'ancrage ; exploitation optimale des caractéristiques existantes ; amélioration des propriétés spécifiques en fonction d'applications particulières ; récupération des déchets solides recyclables, tel le verre provenant de collectes sélectives ; mise en œuvre de panneaux sandwichs composites, structurellement et fonctionnellement conçus pour servir d'éléments de construction portants.

ZUSAMMENFASSUNG

Seit beinahe zehn Jahren hat sich die « Abteilung Polymere » des INIEX auf Harzbetone spezialisiert. Ursprünglich sollte diese Untersuchung dazu dienen, Abfallprodukte der Steinbrüche durch Agglomeration mittels Harzbindemitteln zu verwerten. Die anfänglichen Untersuchungen wurden, entsprechend den Möglichkeiten und Eigenschaften dieses neuen Materials, sehr schnell ausgedehnt und haben schließlich zu der Herstellung von direkt kommerzialisierbaren Fertigprodukten geführt, die dem Harzbeton neue Märkte öffnen.

Nach einem Überblick über die Harzbetone und ihre Eigenschaften wird ausführlich auf die verschiedenen Entwicklungen eingegangen, und es werden die Produkte beschrieben, die auf so verschiedenartigen Gebieten, wie dem Hochbau, dem Mobiliar für Haus und Garten, den Künsten und der Restaurierung, und der Stadtplanung verwirklicht wurden.

Ausgehend von konkreten Beispielen werden die Arbeiten der Abteilung Polymere von der Entwicklung der Rezepturen bis zur Gestaltung des fertigen Teils und der Erprobung der Prototypen ausführlich beschrieben, wobei auf die Herstellung der Formen und die Labortests eingegangen wird, ohne die technologische Unterstützung der Industrieunternehmen zu vergessen, die an der Verwertung der Entwicklungen des INIEX interessiert waren.

Zum Abschluß werden die gegenwärtige Ausrichtung der Forschungen und die Baustellenprojekte genauer umrissen : Weiterführung der Arbeiten zur Entwicklung von Befestigungs- und Verankerungssystemen ; optimale Nutzung der vorhandenen Eigenschaften ; Verbesserung der spezifischen Eigenschaften entsprechend den besonderen Anwendungen ; Zurückgewinnung der wiederverwendbaren festen Abfälle, wie zum Beispiel von Glas, das aus speziellen Altmaterialsammlungen stammt ; Verwirklichung von Sandwichplatten, die strukturell und funktionell so konzipiert sind, daß sie als tragende Konstruktionselemente verwendet werden können.

zoekingen en over de projecten die op stapel staan : verdere ontwikkeling van de bevestigings- en de verankeringsystemen ; optimale exploitatie van de bestaande kenmerken ; verbetering van de specifieke eigenschappen naargelang de bijzondere toepassingen ; terugwinning van vaste afvalstoffen die kunnen gerecycleerd worden, zoals glas dat afkomstig is van selectieve ophalingen ; aanwending van samengestelde sandwichpanelen die qua structuur en functie ontworpen zijn om gebruikt te worden als dragende bouwelementen.

SUMMARY

For over ten years, the Polymer Branch at Inix has specialized in resin concretes. This investigation originated in the idea of making economic use of the by-products of quarrying by binding them with resin binders. The possibilities of use and the qualities obtained with this new material very rapidly brought about diversification of the studies, and in turn led to the manufacture of directly-saleable finished products, offering new markets for resin concrete.

The article first reminds the reader of what resin concretes are, and of their characteristics; a description is then given of the various developments and of achievements to date, in such areas as the building industry, indoor or garden furniture, art, restoration work and town amenities.

Precise examples are used to set out in detail the work of the Polymer Branch from the outset, ranging from the working out of the formulas to the design of the finished items and the experimental testing of prototypes, the preparation of moulds, laboratory tests, and technological aid to manufacturers interested in applying the results of the Inix work.

Lastly, some details are given concerning the current lines of research and the projects under way : continued improvement of fixing and anchoring techniques ; maximum utilization of existing characteristics ; improvement of specific characteristics for special applications ; recovery of recyclable solid wastes, e.g. glass from selective collection ; the use of sandwich panels designed structurally and functionally to serve as load-bearing members in buildings.

O. INTRODUCTION

Depuis près de dix ans, la section Polymères de l'INIEX s'est spécialisée dans le domaine des bétons de résine. Les précédentes Journées des Carriers de 1972, 1974 et 1977 ont permis d'illustrer l'état d'avancement des recherches effectuées à l'INIEX dans ce domaine. Dans un premier temps, il s'agissait d'étudier les possibilités éventuelles de valoriser les produits et sous-produits de carrière. Très rapidement, l'étude des bétons de résine s'est élargie et a débouché sur la mise au point de nombreuses formulations nouvelles et sur la mise en œuvre de produits finis très élaborés ouvrant de larges débouchés à ces nouveaux matériaux. Nos laboratoires ne se sont pas limités à l'élaboration de la formule et à la conception de la pièce finie, mais ont été jusqu'à la réalisation et l'expérimentation de prototypes. Une aide technologique a été également assurée aux industriels intéressés par nos travaux et désireux de s'appuyer sur l'expérience et le potentiel scientifique de l'INIEX, par exemple en ce qui concerne la détermination des caractéristiques, le contrôle de la qualité sur éprouvettes et sur éléments en vraie grandeur, l'étude des composites où le béton de résine intervient, la conception des moules, les modes de fixation à une structure existante, la réalisation de petites séries expérimentales, etc.

La présente communication sera divisée en quatre parties :

1. La première rappellera ce que nous entendons à l'INIEX par bétons de résine et quelles en sont les principales caractéristiques.
2. La deuxième reprendra un bref historique des recherches de nos laboratoires en s'appuyant sur certaines réalisations citées pour rappel.
3. La troisième présentera de nouveaux développements entrepris depuis la dernière Journée des Carriers.
4. La quatrième passera en revue quelques considérations sur les travaux en cours et les projets à plus long terme.

1. BETONS DE RESINE : DEFINITION ET PROPRIETES

Les bétons de résine tels que nous les définissons à l'INIEX sont des matériaux principalement composés de résine polyester, époxyde ou acrylique, à raison de 5 à 20 %, et de charges minérales de granulométries diverses, à raison de 95 à 80 %.

O. INLEIDING

Sedert tien jaar ongeveer heeft de Sectie Polymeren van het NIEB zich gespecialiseerd op het vlak van harsbeton. De vorige Dagen voor de Groeve-uitbaters in 1972, 1974 en 1977 hebben de gelegenheid geboden de vorderingen bekend te maken van de onderzoeken die op dat vlak worden uitgevoerd in het NIEB. Aanvankelijk betrof het de studie van de eventuele mogelijkheden om de produkten en bijprodukten van groeven te valoriseren. De studie van het harsbeton heeft zich vlug uitgebreid en heeft geleid tot de uitwerking van talrijke nieuwe formuleringen en tot de aanwending van zeer degelijke afgewerkte produkten die talrijke afzetmogelijkheden boden voor deze nieuwe materialen. Onze laboratoria hebben zich niet beperkt tot de uitwerking van de formule en tot het ontwerp van het afgewerkte stuk maar zij hebben eveneens de prototypes verwezenlijkt en beproefd.

Er werd tevens technologische hulp verleend aan de industriëlen die belangstellen in onze werkzaamheden en die een beroep wensen te doen op de ondervinding en het wetenschappelijk potentieel van het NIEB, bijvoorbeeld betreffende de bepaling van de eigenschappen, de controle van de kwaliteit van monsters en van elementen van werkelijke grootte, de studie van de samenstellingen waarbij harsbeton gebruikt wordt, het ontwerpen van gietvormen, de wijze van bevestiging aan een bestaande structuur, de verwezenlijking van kleine proefreeksen, enz...

De volgende mededeling zal in 4 delen worden ingedeeld :

1. In het eerste deel zal worden aangehaald wat wij in het NIEB bedoelen met harsbeton en welke de voornaamste eigenschappen ervan zijn.
2. In het tweede deel zal een korte historische schets worden gemaakt van de onderzoeken in onze laboratoria : hiervoor wordt uitgegaan van bepaalde verwezenlijkingen die ter herinnering worden aangehaald.
3. In het derde deel zullen nieuwe ontwikkelingen voorgesteld worden die ondernomen werden sinds de laatste Dag voor de Groeve-uitbaters.
4. In het vierde deel zal een overzicht worden gegeven van enkele beschouwingen over de werkzaamheden die momenteel worden uitgevoerd en de projecten op langere termijn.

1. HARSBETON BEPALING EN EIGENSCHAPPEN

Het harsbeton, zoals wij het in het NIEB bepalen, is een materiaal dat hoofdzakelijk is samengesteld uit polyester-, epoxy- of acrylhars naar rata van 5 tot 20 %, en uit minerale vulstoffen met verschillende korrelgrootten naar rata van 95 tot 80 %.

Indépendamment des agents de durcissement toujours nécessaires à la réticulation du polymère, des additifs en faible pourcentage comme les pigments et de produits ignifugeants sont utilisés dans certains cas. Certaines charges organiques comme la farine de bois sont parfois envisagées.

Le tableau I donne les principales caractéristiques moyennes à 23°C de formulations classiques obtenues avec des résines de type rigide.

TABEAU I
*Principales caractéristiques
des bétons de résine à 23°C*

Caractéristiques	Valeurs moyennes
<i>Traction</i>	
— tension de rupture	170 kg/cm ² (16,67 MPa)
— allongement à la rupture (%)	0,5
— module d'élasticité à l'origine	50.000 kg/cm ² (4.904 MPa)
<i>Flexion</i>	
— tension de rupture	300 kg/cm ² (29,42 MPa)
— flèche à la rupture (mm)	0,5
— module d'élasticité à l'origine	150.000 kg/cm ² (14.711 MPa)
<i>Compression</i>	
— tension de rupture	1.000 kg/cm ² (98,07 MPa)
— module d'élasticité	40.000 kg/cm ² (3.923 MPa)
<i>Résilience Charpy</i> (sans entaille)	1,75 kg/cm ² (1,72 KJ/m ²)
<i>Coefficient de dilatation</i> (mm/mm × °C)	25 - 30 · 10 ⁻⁶
<i>Absorption d'eau (%)</i>	0,5
<i>Usure Amsler (mm)</i> après un parcours de :	
— 1.000 m	1,8
— 2.000 m	3,5
— 3.000 m	5,2

Parmi les autres propriétés intéressantes que possèdent les bétons de résine, il faut rappeler :

- la facilité de moulage sous des formes et des aspects divers ;
- l'aspect de surface remarquable, l'entretien facile et le nettoyage aisé de tous graffiti ;
- l'excellente résistance aux agents chimiques, aux eaux usées et au vieillissement ;
- la bonne tenue à l'ensoleillement, au gel et au rayonnement U.V. ;

Buiten de verhardingsmiddelen die altijd nodig zijn voor de reticulatie van de polymeren wordt in bepaalde gevallen een gering percentage additieven gebruikt zoals pigmenten en brandwerende producten. Soms worden bepaalde organische vulstoffen zoals houtmeel toegevoegd.

Tabel I geeft de gemiddelde waarden op 23°C van de voornaamste eigenschappen van klassieke formuleringen die bekomen werden met een stijf hars.

TABEL I
*Voornaamste kenmerken
van het harsbeton op 23°C*

Kenmerken	Gemiddelde waarden
<i>Trekproef</i>	
— breekspanning	170 kg/cm ² (16,67 MPa)
— rek bij breuk (%)	0,5
— oorspronkelijke elasticiteitsmodulus	50.000 kg/cm ² (4.904 MPa)
<i>Buigproef</i>	
— breekspanning	300 kg/cm ² (29,42 MPa)
— doorbuiging bij breken (mm)	0,5
— oorspronkelijke elasticiteitsmodulus	150.000 kg/cm ² (14.711 MPa)
<i>Samendrukkingsproef</i>	
— breekspanning	1.000 kg/cm ² (98,07 MPa)
— elasticiteitsmodulus	40.000 kg/cm ² (3.923 MPa)
<i>Kerfslagsterkte Charpy</i> (zonder inkeping)	1,75 kg/cm ² (1,72 KJ/m ²)
<i>Uitzettingscoëfficiënt</i> (mm/mm × °C)	25 - 30 · 10 ⁻⁶
<i>Wateropneming (%)</i>	0,5
<i>Slijtage Amsler (mm)</i> na een afstand van :	
— 1.000 m	1,8
— 2.000 m	3,5
— 3.000 m	5,2

Ook volgende interessante eigenschappen van het harsbeton zijn het vermelden waard :

- het kan gemakkelijk gegoten worden in diverse vormen en met verschillende uitzichten ;
- het merkwaardig uitzicht van het oppervlak, het gemakkelijk onderhoud en verwijderen van krassen ;
- de uitstekende bestandheid tegen de inwerking van chemische factoren, afvalwater en tegen veroudering ;
- het goed gedrag bij het blootstellen aan de zon, de vorst en U.V.-stralen ;

- le bon comportement au feu ;
- la possibilité de renforcements et l'utilisation de formulations spéciales pour adapter les caractéristiques du produit fini dans le cas d'applications spécifiques.

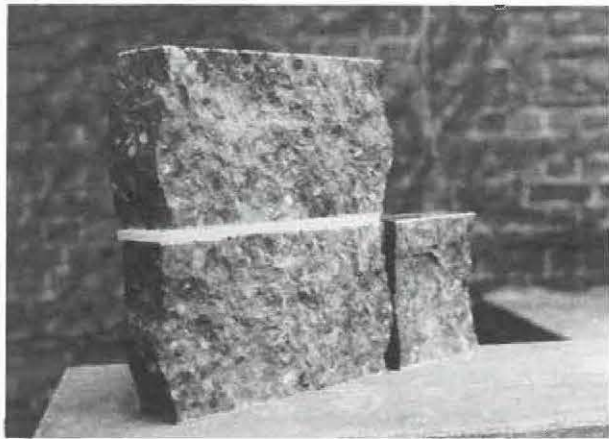
2. HISTORIQUE DES RECHERCHES

La première recherche entreprise dans les laboratoires de l'INIEX a envisagé la production d'un marbre reconstitué, obtenu en agglomérant au moyen d'un liant résineux des fines et des concassés de granulométries variables pouvant atteindre 150 mm.

Deux techniques ont été mises au point :

- soit la coulée de blocs de grandes dimensions ensuite sciés et travaillés tels que le sont les produits naturels en carrière (1) ;
- soit le laminage en couche mince (quelques mm d'épaisseur) sur des supports divers pour obtenir directement un matériau décoratif semi-fini (un polissage de surface pouvant s'avérer parfois nécessaire) (1).

En ce qui concerne les chutes éventuelles résultant du sciage des blocs, une opération de clivage permet d'en obtenir des éléments non gélifs dont la résistance et l'aspect les rendent largement concurrentiels sur le marché actuel (fig. 1).



- het goed gedrag t.o.v. vuur ;
- de mogelijkheid om het materiaal te versterken en het gebruik van speciale formuleringen om de kenmerken van het afgewerkt produkt aan te passen in het geval van bijzondere toepassingen.

2. HISTORISCHE SCHETS VAN DE ONDERZOEKINGEN

Het eerste onderzoek dat in de laboratoria van het NIEB werd uitgevoerd had tot doel een hersamen-gesteld marmer te produceren ; dit marmer werd bekomen door fijne en gemalen vulstoffen met verschillende korrelgrootten, die 150 mm konden bedragen te agglomereren met een harsachtig bindmiddel. Er werden twee technieken uitgewerkt, nl. :

- het gieten van grote blokken die vervolgens worden gezaagd en bewerkt zoals de natuurlijke produkten in groeven (1),
- het walsen in dunne lagen (enkele mm dik) op diverse onderlagen om rechtstreeks een half afgewerkt decoratief materiaal te bekomen (soms dient het oppervlak gepolijst te worden) (1).

Door het splijten van de eventuele afvalbrokken afkomstig van het zagen van blokken, kunnen elementen bekomen worden die door hun weerstand en uitzicht kunnen concurreren met wat er momenteel op de markt is (fig. 1).

Fig. 1 — Blocs clivés en béton de résine; les charges minérales sont des concassés provenant de carrières de la région Ourthe-Amblève

Gekloofde blokken in harsbeton; de minerale vulstoffen zijn brokken afkomstig uit groeven in de streek van de Ourthe-Amblève

(1) Quelques aspects de l'utilisation des polymères dans l'industrie du marbre et du petit granit, Jean Bricteux (Journée des Carriers organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 12 décembre 1972).

Quelques exemples d'utilisation des polymères en relation avec l'industrie des carrières, C. Michaux (Journée des Carriers organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 10 décembre 1974).

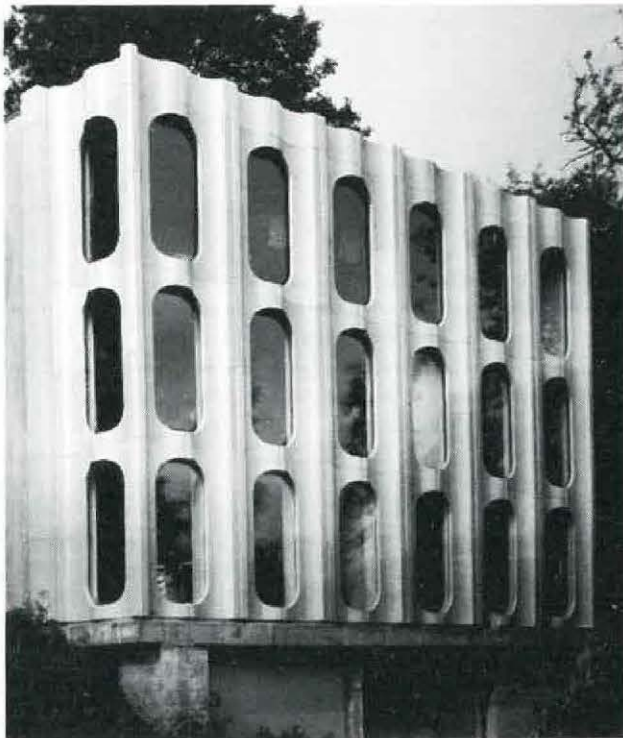
(1) Enige aspecten van het gebruik van polymeren in de marmer- en hardsteennijverheid, Jean Bricteux (Dag van de Groeve-uitbaters, georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik op 12 december 1972).

Enkele voorbeelden van het gebruik van polymeren in verband met de groeve-industrie, C. Michaux (Dag van de Groeve-uitbaters, georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik op 10 december 1974).

Indépendamment de l'intérêt présenté par les caractéristiques supérieures du matériau aggloméré par rapport au produit naturel, la possibilité d'utiliser au maximum le matériau coulé constitue une valorisation optimale des sous-produits de carrière et rend possible la remise en exploitation par abattage à l'explosif de certaines carrières abandonnées.

Les excellentes qualités de résistance alliées aux propriétés de moulabilité ont également été exploitées lors de la réalisation de panneaux de couverture reproduisant par exemple l'aspect de l'ardoise ; dans ce cas particulier, la simulation de faux joints permet d'avoir un revêtement de toiture et de mur de faible épaisseur et d'entretien aisé.

Le béton de résine est un nouveau matériau et il doit être considéré comme tel ; il n'est pas question d'en faire un produit de remplacement, car l'utilisation rationnelle de ses qualités propres le désigne comme complémentaire aux potentialités du marché actuel. C'est dans cette optique que l'INIEX a poursuivi ses travaux vers des débouchés nouveaux, d'abord en mettant en œuvre, puis en apportant l'aide technologique pour la mise au point industrielle de produits coulés qui sont démoulés sous leur forme définitive et directement commercialisables : en particulier le mobilier urbain et de jardin et surtout le bâtiment. Dans ce dernier domaine, il est bon de rappeler les éléments placés depuis près de 5 ans et constituant la façade d'un bâtiment situé Avenue de l'Observatoire à Liège (fig. 2). L'excellent état dans lequel est restée cette façade prouve qu'en pratique les qualités de résistance en extérieur, de nettoyage aisé et d'aspect remarquable se conservent parfaitement dans le temps.



Buiten het belang van de uitstekende eigenschappen van het geagglomereerd materiaal t.o.v. het natuurlijk produkt, biedt de mogelijkheid om het gegoten materiaal zoveel mogelijk te gebruiken een optimale valorisatie van de bijprodukten van groeven en de verlaten groeven kunnen opnieuw worden ontgonnen door ze te doen springen door ontploffing.

Het uitstekend weerstandsvermogen samen met de eigenschappen voor het vormgieten, werden eveneens benut voor de verwezenlijking van dekpanelen die bijvoorbeeld het uitzicht van leistenen hebben ; in dit bijzonder geval maakt de simulatie van valse voegen het mogelijk een dak- en muurbekleding te bekomen met een geringe dikte en die gemakkelijk onderhouden kan worden.

Het harsbeton is een nieuw materiaal en het moet als zodanig beschouwd worden ; dit materiaal is geen vervangingsprodukt want de rationele aanwending van zijn eigen kwaliteiten bestemt dit produkt als een aanvulling voor wat reeds op de huidige markt bestaat. In dat opzicht heeft het NIEB zijn onderzoekingen voortgezet naar nieuwe mogelijkheden : eerst door de aanwending ervan en daarna door technologische hulp te bieden voor de industriële oppuntstelling van gegoten produkten die in hun definitieve vorm uit hun vorm worden genomen en rechtstreeks in de handel kunnen gebracht worden, in het bijzonder voor het stads- en tuinmeubilair en vooral voor de bouwnijverheid. Op dit laatste gebied is het interessant de elementen aan te halen die 5 jaar geleden werden geplaatst om de gevel te vormen van een gebouw in de Avenue de l'Observatoire te Luik (fig. 2). De uitstekende staat waarin deze gevel behouden bleef bewijst dat de bestandheid in de buitenlucht, het gemakkelijk onderhoud en het merkwaardig uitzicht in de praktijk volkomen behouden blijven na verloop van tijd.

Fig. 2 — Façade en béton de résine d'un bâtiment situé Avenue de l'Observatoire à Liège

Gevel in harsbeton van een gebouw dat zich bevindt in de Avenue de l'Observatoire te Luik

3. DERNIERS DEVELOPPEMENTS

Après ce rappel, on passe en revue quelques-unes des principales réalisations pour lesquelles l'INIEX a élaboré les formulations de base, a étudié la conception des moules et a mis en œuvre les prototypes. Dans le cas d'un nombre limité de pièces, les laboratoires de l'Institut ont coulé eux-mêmes les exemplaires souhaités : cette façon de faire est notamment adoptée lorsque sont programmés des essais de laboratoire ou in situ en grandeur réelle.

Les marchés abordés étant très variés, les exemples donnés sont groupés suivant leurs domaines d'application :

3.1. Bâtiment

La façade de la Cité Administrative de l'Etat, rue Paradis à Liège, est actuellement en construction ; les éléments en béton de résine décoratif sont placés au moyen d'un système de fixation étudié à l'INIEX (fig. 3). Sur la figure 4 apparaît une des façades, tandis que la figure 5 reprend une partie montrant les éléments plans de 2 cm d'épaisseur en béton de résine alternant avec les éléments du même type possédant un relief.

La finition d'un building dans un quartier résidentiel de la périphérie liégeoise (fig. 6) est un autre exemple pratique démontrant que le béton de résine est un matériau nouveau, complémentaire et possédant son propre champ d'application. Les éléments de balcons constitués de colonnettes aux formes arrondies, reliées par des pièces en U de près de 3 m, sont fabriqués en béton de résine. Il s'est avéré que cette solution était la plus économique ; d'une part, une pierre naturelle travaillée est plus coûteuse à l'achat et, d'autre part, le béton traditionnel, moins cher au point de vue matières premières, nécessite un travail de pose onéreux compensant largement la différence de prix au niveau des composants.

De plus, les problèmes de teinte, d'aspect et d'entretien dans le temps, bien connus avec le béton traditionnel, n'existent pas avec les bétons de résine.

3.2. Mobilier d'intérieur et de jardin

Sur la figure 7 est rassemblée une série de tables, tabourets, bancs, jardinières en béton de résine. Sur la figure 8, on remarque notamment une table plus grande à aspect décoratif. A ce propos, rappelons que formes, dimensions et aspects peuvent varier en fonction de l'effet recherché et du but poursuivi.

3. LAATSTE ONTWIKKELINGEN

Na deze historische schets overlopen we enkele van de voornaamste verwezenlijkingen waarvoor het NIEB de basisformuleringen heeft uitgewerkt, de gietvormen heeft ontworpen en de prototypes heeft aangewend. In het geval van een beperkt aantal stukken hebben de laboratoria van het NIEB zelf de gewenste exemplaren gegoten : deze werkwijze wordt onder meer aangenomen wanneer de proeven in het laboratorium of in situ op werkelijke grootte worden geprogrammeerd.

Aangezien er een zeer gevarieerde markt bestaat voor deze producten worden de gegeven voorbeelden gegroepeerd volgens hun toepassingsgebied :

3.1. Gebouwen

De gevel van het Rijksadministratief Centrum, rue Paradis te Luik wordt momenteel opgetrokken ; de elementen in decoratief harsbeton worden geplaatst door middel van een bevestigingssysteem dat door het NIEB bestudeerd werd (fig. 3). Op figuur 4 is een van de gevels afgebeeld terwijl we op figuur 5 een gedeelte zien dat de vlakke elementen toont van 2 cm dik in harsbeton afwisselend met elementen van hetzelfde type maar met een reliëf.

De afwerking van een building in een buitenwijk van Luik (fig. 6) is een ander praktisch voorbeeld dat aantoont dat het harsbeton een nieuw aanvullend materiaal is dat zijn eigen toepassingsgebied heeft. De balkonelementen, gevormd door kleine afgeronde zuiltjes die met elkaar verbonden zijn door U-vormige stukken van 3 m, zijn vervaardigd in harsbeton. Dit bleek de voordeligste oplossing te zijn ; enerzijds is een bewerkte natuursteen duurder bij de aankoop en anderzijds is het plaatsen van gewoon beton, waarvan de grondstoffen goedkoper zijn, duurder. Dit compenseert ruimschoots het prijsverschil van de bestanddelen.

Bovendien zijn er met het harsbeton geen problemen van kleur, uitzicht en onderhoud die na verloop van tijd onvermijdelijk opduiken voor het gewoon beton.

3.2. Huis- en tuinmeubilair

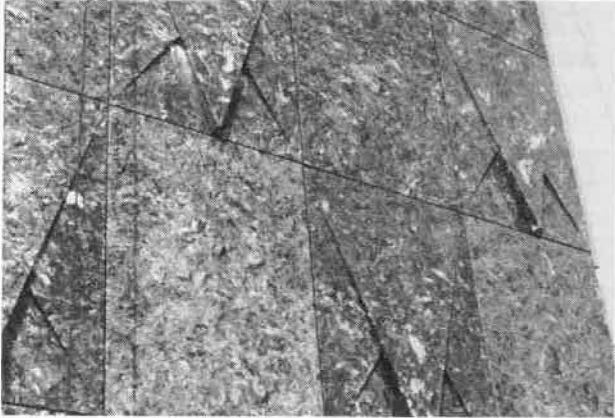
Op figuur 7 wordt een reeks tafels, krukjes, banken en bloemenbakken in harsbeton voorgesteld. Op figuur 8 zien we onder meer een grotere tafel met een decoratief aspect. In verband hiermee herinneren we eraan dat de afmetingen en het uitzicht kunnen variëren naargelang het nagestreefde doel.



3



4



5



6

3 Système de fixation étudié à l'INIEX et utilisé pour la façade en béton de résine de la Cité Administrative de l'Etat
Bevestigingssysteem bestudeerd in het NIEB en aangewend voor de gevel in harsbeton van het Rijksadministratief Centrum

4 Pignon en béton de résine décoratif (Cité Administrative de l'Etat à Liège)
Zijgevel in decoratief harsbeton (Rijksadministratief Centrum te Luik)

5 Vue en gros plan du pignon de la Cité Administrative de l'Etat
Dichtbij-opname van de zijgevel van het Rijksadministratief Centrum

6 Eléments de balcon en béton de résine de teinte blanche
Balkonelementen in harsbeton met een witte kleur



Fig. 7 — Mobilier de jardin
Tuinmeubilair

3.3. Art et restauration

De nombreux artistes viennent à l'INIEX en vue d'obtenir une aide et/ou des conseils lors de la réalisation d'œuvres d'art et sculptures diverses. Les figures 9 et 10 sont des exemples de pièces en béton de résine, coulées à partir de moules en caoutchouc de silicone ; les modèles initiaux étaient en plâtre.

Plusieurs travaux de restauration ont été effectués à l'INIEX, notamment dans le cadre de la rénovation de bâtiments publics à l'occasion du Millénaire de la Principauté de Liège. A cet effet, une technique spéciale, celle du moule à peau, a été étudiée et appliquée (fig. 11 à 13).

3.4. Aménagements urbains

Des réalisations en béton de résine, comme les bancs publics, les bacs à papier, les boîtes aux lettres, sont envisageables à partir de formulations avec des charges minérales calcaires et siliceuses. Les exemples qui précèdent l'ont déjà prouvé. Mais d'autres possibilités de récupération de déchets solides sont également offertes en utilisant les liants résineux. C'est ainsi que le verre recyclé, provenant des collectes sélectives organisées dans les villes lors du ramassage des immondices, est actuellement incorporé sous forme de poudres et morceaux broyés dans des bétons de résine mis au point à l'INIEX. Deux applications à partir de ces formulations existent

3.3. Kunst en restauratie

Talrijke kunstenaars komen naar het NIEB om hulp en/of raad te vragen voor de verwezenlijking van diverse kunstwerken en beeldhouwwerken. Figuur 9 en 10 zijn voorbeelden van stukken in harsbeton die gegoten werden in vormen van siliconenrubber ; de oorspronkelijke modellen waren van gips.

Het NIEB voerde verscheidene herstellingswerken uit, onder meer in het raam van de renovatie van openbare gebouwen ter gelegenheid van het Millennium van het Prinsbisdom Luik. Hiervoor werd een speciale techniek met vormen van huid bestudeerd en toegepast (fig. 11 tot 13).

3.4. Stedenbouw

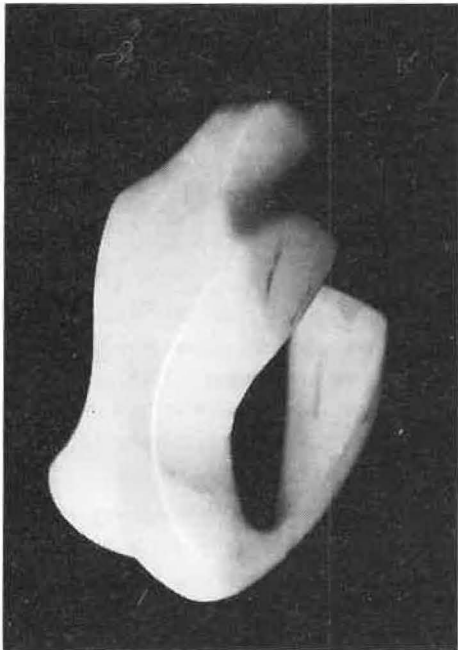
Verwezenlijkingen in harsbeton, zoals zitbanken, papierbakken, brievenbussen, op basis van formuleringen met kalkachtige en kiezelachtige minerale vulstoffen worden toegepast. De aangehaalde voorbeelden hebben dit bewezen. Maar er bestaan ook andere mogelijkheden om vaste afvalstoffen terug te winnen door harsachtige bindmiddelen te gebruiken. Zo wordt gerecycleerd glas dat afkomstig is van selectieve huisvuilophalingen in de steden, momenteel in de vorm van poeders en gemalen brokken ingewerkt in harsbeton dat in het NIEB werd uitgewerkt. Er bestaan momenteel twee toepassingen op basis van deze formuleringen te Luik : een wandelstraat in



8



9



10

8 Mobilier avec notamment une table de grande dimension de forme ovale

Meubilair met onder meer een grote, ovaalvormige tafel

9 Moulage d'une automobile disposée sur un socle (modèle réduit d'un prototype)

Het vormgieten van een auto die op een voetstuk geplaatst werd (verkleind model van een prototype)

10 Sculpture : moulage en béton de résine

Beeldhouwwerk : vormgeving in harsbeton



11



12



13

11 Moules réalisés suivant la technique du moule à peau; le silicone souple est soutenu par une enveloppe rigide (par exemple en plâtre ou en stratifié) facilement démontable

Gietvormen verwezenlijkt volgens de techniek van het vormen met huid; de soepele siliconen worden ondersteund door een stijf omhulsel (bijvoorbeeld in gips of in laminaat) dat gemakkelijk kan gedemonteerd worden.

12 Reproduction d'un pinacle de la Grand-Poste à Liège : en haut, à droite, pinacle d'origine réparé sommairement; au milieu, moule en caoutchouc silicone avec son enveloppe en stratifié; à l'avant, demi-pinacle moulé en béton de résine

Reproductie van een tinne van de Grote Post te Luik; boven rechts : oorspronkelijke tinne die oppervlakkig hersteld werd; in het midden : vorm in siliconenrubber met een omhulsel in laminaat; vooraan : halve tinne die gegoten werd in harsbeton

13 Gros plan sur l'opération de démoulage : le silicone souple est facilement enlevé et laisse apparaître le demi-pinacle en béton de résine

Opname van dichtbij van het uit de vorm nemen : het soepel silicone kan gemakkelijk verwijderd worden en de halve tinne in harsbeton komt vrij

actuellement à Liège : une rue piétonne dans le centre de la ville (fig. 14) et des bacs à papier placés à Liège et dans la périphérie à raison de plusieurs centaines d'exemplaires (fig. 15).

La figure 16 montre un projet au stade expérimental dans le site de l'INIEX : des piquets d'entrave avec blason en relief.

4. CONSIDERATIONS SUR LES TRAVAUX EN COURS ET LES PROJETS A PLUS LONG TERME

Les exemples de réalisations commercialisées ou en voie de l'être qui viennent d'être explicités ne sont pas limitatifs, mais ont permis de circonscrire les créneaux du marché ouvert actuellement au béton de résine.

Les travaux de l'INIEX se poursuivent en vue, d'une part, d'aider les industriels à utiliser rationnellement le matériau et, d'autre part, de mettre au point des formulations permettant d'élargir le champ d'application existant.

Le tableau I prouve que le béton de résine possède une excellente résistance qui, alliée à d'autres caractéristiques comme la recherche de l'esthétique, la facilité d'entretien, la non-gélivité, imposent ce produit nouveau pour des applications allégées où le traditionnel nécessiterait de fortes épaisseurs et des formes massives, lourdes et peu économiques.

Cet allègement au niveau de la pièce finie offre donc de nouvelles perspectives au concepteur de projet et l'INIEX continue ses travaux dans ce sens en exploitant au mieux l'aptitude du béton de résine à enrober de façon étanche d'éventuels inserts, tiges renforçantes ou âmes à faible densité. La figure 17 donne quelques exemples étudiés à l'INIEX.

- à gauche, sont utilisés une âme en bois et des renforcements qui sont ici des fers à béton, mais pourraient être des joncs en stratifié verre-résine ;
- à côté, l'âme est une mousse allégeant au maximum la pièce finie, par exemple une colonne ;
- le troisième échantillon en partant de la gauche montre la coulée autour d'un tuyau ou d'un tube creux, renforcé si nécessaire par un enroulement en stratifié (l'élément central servira dans certains cas de logement pour canalisations, câbles et/ou conduites) ;
- à droite, est mis en évidence le rôle joué par des barres renforçantes lors notamment de la fabri-

het centrum van de stad (fig. 14) en honderden papierbakken die in Luik en omgeving geplaatst werden (fig. 15).

Figuur 16 toont een ontwerp dat beproefd wordt op het terrein van het NIEB : afsluitingspaaltjes met blazon in reliëf.

4. BESCHOUWINGEN OVER DE WERKZAAMHEDEN DIE MOMENTEEL WORDEN UITGEVOERD EN DE ONTWERPEN OP LANGERE TERMIJN

De hiervoor aangehaalde voorbeelden van verwezenlijkingen die op commerciële schaal toegepast werden of zullen toegepast worden, vormen geen beperking maar ze maken het mogelijk een indruk te krijgen van de markt die er op dit ogenblik bestaat voor harsbeton.

De werkzaamheden van het NIEB worden verdergezet, enerzijds om de industriële te helpen met materiaal rationeel te gebruiken en anderzijds om formuleringen uit te werken die het toepassingsgebied kunnen uitbreiden.

Tabel I toont aan dat het harsbeton een uitstekende weerstand heeft die samen met andere kenmerken, zoals de vormgeving, het gemakkelijk onderhoud en de bestandheid tegen vorst, dit nieuw produkt aanwijzen voor lichtere toepassingen waarbij het traditioneel materiaal aanzienlijke dikten en massieve, zware en economisch weinig verantwoorde vormen zou vereisen.

Deze verlichting van het afgewerkte stuk biedt dus nieuwe vooruitzichten aan de ontwerper en het NIEB zet zijn werkzaamheden in die zin verder ; het NIEB maakt zoveel mogelijk gebruik van het feit dat het harsbeton de verankeringen, versterkende stangen of kernen met een geringe dichtheid kan omgeven zodat het geheel lucht- en waterdicht is. Figuur 17 toont enkele voorbeelden die in het NIEB bestudeerd werden ;

- links wordt een houten kern gebruikt met verstevigingen die in dit geval betonijzers zijn maar die eveneens ringen in gestratificeerd glas-hars zouden kunnen zijn ;
- daarnaast bestaat de kern uit schuimplastiek die het gewicht van het afgewerkte stuk, bijvoorbeeld een zuil, tot een minimum herleidt ;
- het derde model, links, toont het vormgieten rond een buis of een holle buis, die zo nodig versterkt wordt door een gelaagde wikkeling (het centraal element zal in bepaalde gevallen dienen om er leidingen, kabels en/of pijpleidingen in aan te brengen) ;
- rechts wordt de aandacht gevestigd op het belang van de staven die dienen voor de verstevi-



14

14 Rue piétonne
Wandelstraat



15

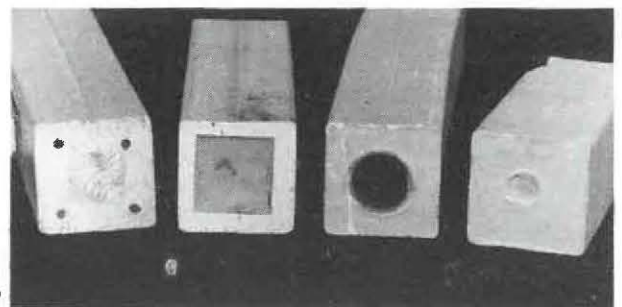
15 Bac à papier avec le blason de la ville de Liège, placé dans la rue piétonne - Applications de béton de résine à base de verre recyclé
Papierbak met het blazoen van de stad Luik, geplaatst in de wandelstraat - Toepassingen van harsbeton op basis van gerecycleerd glas



16

16 Piquets d'entrave : prototypes
Afsluitingspaaltjes : prototypes

17 Exemples d'utilisation de renforcements et d'âmes de types divers
Voorbeelden van het gebruik van verstevigingen en kernen van verschillende types



17

cation d'éléments de construction ;
ces barres serviront entre autres de raidisseurs pour des pièces de portée importante, tout en transmettant les charges aux appuis d'extrémité.

Ces études se prolongent vers la mise en œuvre de panneaux sandwichs composites, structurellement et fonctionnellement conçus pour servir d'éléments portants faisant office de parois modulaires de grandes dimensions dans les bâtiments à un ou plusieurs étages (fig. 18).

Les mâts et les tissus de verre sont également envisagés dans les laboratoires de l'INIEX, soit dans la masse en couches successives distantes de quelques mm, soit en renforçant plus simplement une des faces extérieures du produit fini. Dans ce dernier cas, le plus souvent retenu (fig. 19), le but est double :

- augmenter la résistance à la flexion, le renforcement de verre se situant là où se produiront les contraintes maximales en traction ;
- éviter, lors de fissurations accidentelles en service, que la pièce ne se rompe en de nombreux morceaux rendant impossible toute réparation ultérieure et constituant, dans le cas d'éléments suspendus, un danger pour l'environnement.

Des fibres de verre courtes et des fibres métalliques ont été également incorporées en vue d'étudier leur action sur la résistance aux chocs des bétons de résine.

Celle-ci est suffisante pour bon nombre d'applications non soumises à des chocs importants. Cependant, les autres qualités du béton de résine lui ouvrent le marché pour des réalisations soumises accidentellement ou périodiquement à des sollicitations par impact : dallages, mobilier urbain, bordures, etc. Afin de valoriser au mieux le matériau, l'INIEX a notamment mis au point et testé une série de formulations avec un pourcentage croissant de fibres de verre courtes, de longueurs et de type divers. Les premiers essais ont permis de conclure que l'augmentation de la résilience enregistrée en fonction de la teneur en verre tend vers un maximum. En calculant le pourcentage en fibres par rapport à la quantité de résine et en tenant compte de l'impact économique (calcul du prix de revient), il ressort que 10 % de fibres courtes constituent un optimum qu'il ne serait pas rentable de dépasser.

La figure 20 montre les résultats encourageants obtenus lors des essais de résilience Charpy (recommandation ISO R179).

Comme il a été mentionné plus haut dans le cas particulier de la façade de la Cité Administrative de l'Etat, l'INIEX continue à étudier des systèmes pratiques en vue de fixer des pièces de grandes di-

ging, onder meer voor de vervaardiging van bouwelementen ; deze staven zullen onder meer dienen als verstevigers voor stukken met een aanzienlijk draagvermogen en voor het overbrengen van de lasten naar de steunpunten aan de uiteinden.

Deze studies worden voortgezet voor het aanwenden van samengestelde sandwichpanelen die volgens hun structuur en hun functie werden ontworpen om gebruikt te worden als draagelementen voor modulaire wanden met grote afmetingen in gebouwen met een of meerdere verdiepingen (fig. 18).

De glasvezelmatten en glasweefsels worden bestudeerd in de laboratoria van het NIEB, hetzij in de massa van opeenvolgende lagen die enkele mm van elkaar verwijderd zijn, hetzij om enkel de buitenwanden te verstevigen van het afgewerkt produkt. In dit laatste geval dat het meest in aanmerking komt, wordt een dubbel doel nagestreefd :

- de buigsterkte verhogen aangezien de versteviging d.m.v. glas zich voordoet waar de maximale trekspanning zich voordoet ;
- tijdens toevallige scheurvormingen bij gebruik, vermijden dat het stuk zich breekt in talrijke brokken ; bij verbrokkeling kan het stuk niet meer hersteld worden en de opgehangen elementen die beschadigd worden kunnen een gevaar zijn voor de omgeving.

Korte glas- en metaalvezels werden eveneens ingewerkt om hun invloed op de schokweerstand van harsbeton te bestuderen.

Deze weerstand is voldoende voor een groot aantal toepassingen die niet aan hevige schokken onderworpen zijn. De andere eigenschappen van het harsbeton maken het mogelijk dit harsbeton te gebruiken voor verwezenlijkingen die toevallig of geregeld onderworpen worden aan schokken : bevloering, stadsmeubilair, kantstenen, enz... Om het materiaal optimaal te valoriseren heeft het NIEB onder meer een reeks formuleringen met een toenemende percentage korte glasvezels van verschillende lengten en aard uitgewerkt en beproefd. Uit de eerste proeven kon afgeleid worden dat de toename van de vastgestelde kerfslagsterkte groter wordt naargelang het glasgehalte. Door het percentage van de vezels te berekenen in verhouding met de hoeveelheid hars en rekening houdend met de economische weerslag (berekening van de kostprijs), kunnen we afleiden dat een optimale werking bekomen wordt met 10 % korte vezels. De overschrijding van dit percentage zou niet meer rendabel zijn.

Figuur 20 toont de bemoedigende resultaten die bekomen werden tijdens de proeven op de kerfslagsterkte Charpy (aanbeveling ISO R179).

Zoals hierboven werd aangehaald voor het bijzonder geval van de gevel van het Rijksadministratief

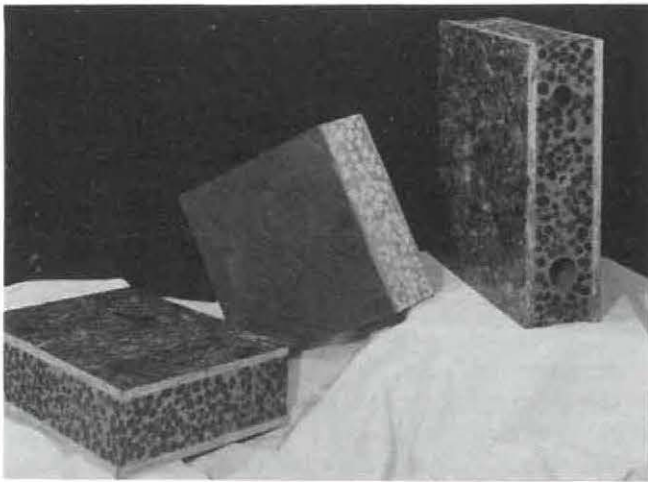


Fig. 18

Prototypes de panneaux sandwichs avec parois en béton de résine
Prototypes van sandwich-panels met wanden in harsbeton



Fig. 19

Tabourets renforcés par mat et tissu de verre
Krukjes verstevigd met glasvezelmatten en glasweefsels

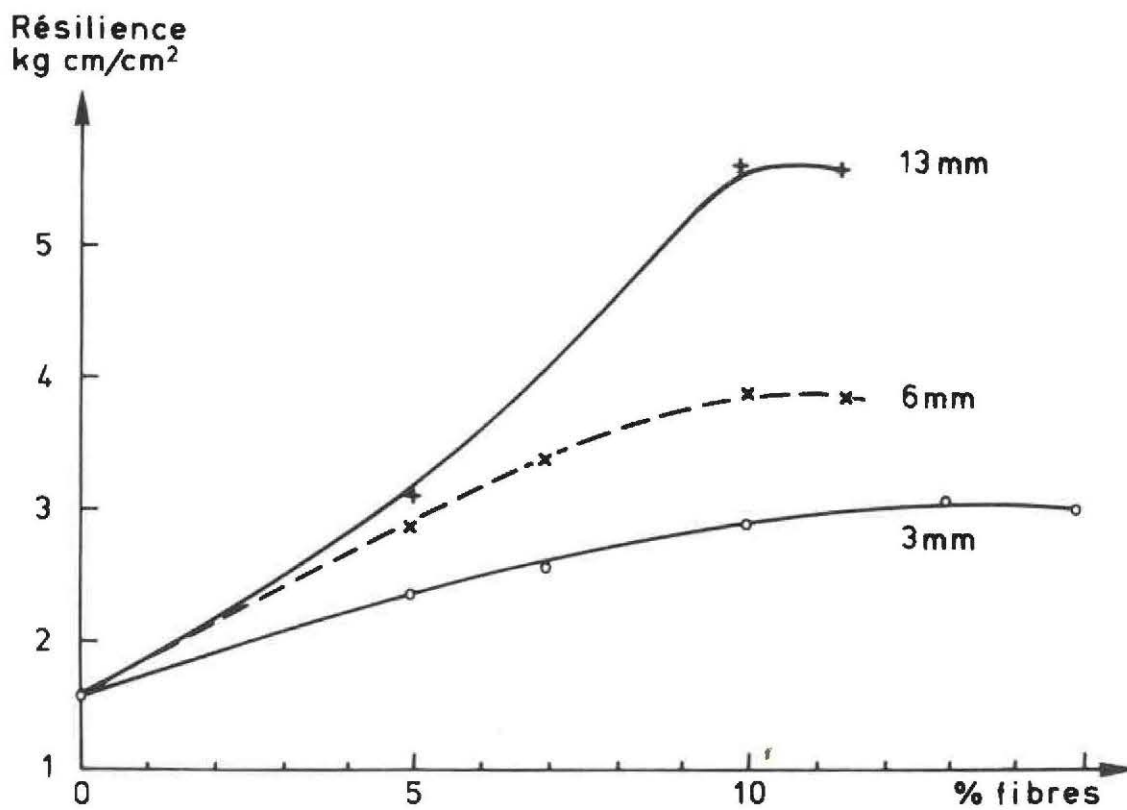


Fig. 20

Ø Résilience Charpy en fonction de la teneur en fibres (en % par rapport à la résine)
Kerfslagsterkte Charpy naargelang het gehalte aan vezels (in % t.o.v. het hars)

mensions à une structure portante ; les dispositifs solidarissant l'élément au bâtiment tiennent compte des dilatations différentielles des matériaux en présence et sont expérimentés lors de tests sévères sur éléments réels. La facilité de noyer des inserts dans le béton de résine a été exploitée au maximum dans toute une série de pièces à emboîter ou à assembler.

Ces quelques exemples représentent un échantillonnage des travaux, à court ou à moyen terme que l'INIEX effectue afin de valoriser le béton de résine, soit en optimisant ses caractéristiques propres, soit en l'envisageant en combinaison avec d'autres matériaux pour présenter des produits finis plus élaborés.

Avant de terminer, il ne faut pas oublier que les différents essais de récupération des sous-produits de carrières se poursuivent en fonction des desiderata de la profession ; c'est ainsi qu'actuellement, une série de recherches spécifiques est en cours à partir de pierres, concassés et fines provenant des carrières de la Province de Luxembourg.

* * *

Nous profitons également de l'occasion pour remercier toute l'équipe technique de la Section Polymères sans la collaboration de laquelle les études sur le béton de résine n'auraient pas abouti à des résultats aussi concluants pour le présent et encourageants pour l'avenir ; nous citerons en particulier Mme Mauri pour les formulations et les essais spéciaux, MM. Blanche et Rouma pour la réalisation des moules et les coulées de pièces finies, MM. Bruwier et Hansen pour les essais de contrôle et de vieillissement.

Centrum, zet het NIEB de studie verder van de praktische systemen om grote elementen te bevestigen aan een dragende structuur ; de toestellen die het element aan het gebouw bevestigen houden rekening met de differentiële uitzetting van de materialen en worden onderworpen aan strenge proeven op reële elementen. De verankeringen kunnen gemakkelijk omgeven worden met harsbeton en dit wordt zoveel mogelijk toegepast voor een reeks stukken die in elkaar geschoven of geassembleerd moeten worden.

Deze enkele voorbeelden geven een overzicht van de werkzaamheden op korte of middellange termijn die in het NIEB worden uitgevoerd om het harsbeton te valoriseren, hetzij door zijn eigen kenmerken te optimaliseren, hetzij door het te gebruiken met andere materialen om beter afgewerkte produkten te bekomen.

Alvorens te eindigen moet men niet vergeten dat de verschillende proeven voor de recuperatie van bijprodukten van groeven worden voortgezet naargelang de desiderata van de ontginners ; zo wordt op dit ogenblik een reeks specifieke onderzoeken uitgevoerd met fijne vulstoffen, gemalen vulstoffen en stenen uit groeven in de Provincie Luxemburg.

Wij nemen eveneens de gelegenheid te baat om de gehele technische ploeg van de Sectie Polymeren te danken. Zonder hun medewerking zouden de studies over het harsbeton niet tot resultaten geleid hebben die op dit ogenblik erg overtuigend zijn en die hoopgevend zijn voor de toekomst ; wij vermelden in het bijzonder Mevrouw Mauri voor de formulering en de speciale proeven, de HH. Blanche en Rouma voor de verwezenlijking van de gietvormen en het gieten van afgewerkte stukken, de HH. Bruwier en Hansen voor de controle- en verouderingsproeven.