

Innovatie in projecten:

NAGESPANNEN GEVEL

VOOR NIEUWE ARTESIS CAMPUS NOORD

Begin september 2012 werd de eerste steen gelegd van de nieuwe campus van Artesis Hogeschool aan het Antwerpse Park Spoor Noord. Het project is een ontwerp van de architectenbureaus Poponcini & Lootens en Jaspers-Eyers & Partners.

De bijzondere gevel, volledig in architectonisch beton, neemt een erg prominente plaats in. Fabrikant van de gevelelementen, Verheyen Beton uit Arendonk, droeg met zijn kennis en ervaring heel wat bij tot de praktische uitwerking van dit bouwtechnologische hoogstandje.



De l'innovation dans les projets:

FAÇADE POST-CONTRAÎNTE POUR LE NOUVEAU CAMPUS ARTESIS NOORD

La première pierre du nouveau campus de l'École supérieure Artesis dans le Parc Spoor Noord à Anvers a été posée au début du mois de septembre 2012. Le projet a été développé par les bureaux d'architectes Poponcini & Lootens et Jaspers-Eyers & Partners. La façade, entièrement réalisée en béton architectonique, occupe une place préminente dans le projet. Les éléments de façade ont été réalisés par la société Verheyen Beton à Arendonk qui a largement contribué, grâce à ses connaissances et à son expérience, à l'élaboration pratique de cette prouesse technologique.

De nieuwe campus zal plaats bieden aan 3500 studenten uit de professionele bacheloropleidingen bedrijfskunde, gezondheidszorg, technologie, lerarenopleiding en sociaal werk. Het ontwerp vertrekt vanuit een centrale groene patio met daarrond een nieuwbouw: een trapeziumvormige hoofdbouw aan de Noorderplaats (Italiëlei), een rechthoekige bouw aan de Ellermanstraat en een langgestrekte laagbouw aan de Noorderlaan. De Artesis Hogeschool investeert 64 mio € in dit project.

Niet enkel de architectuur van het gebouw is opmerkelijk, ook de samenwerking met alle partners (aannemer, bouwheer, studiebureel, architect, ...) van bij het ontwerp in de vorm van een bouwteam is eerder uitzonderlijk in België. Hierdoor werd heel wat know-how bij elkaar gebracht. Ook de fabrikant van de prefab betonnen elementen speelt een erg belangrijke rol bij het tot stand komen van de constructieve opbouw. Dit samenwerkingsverband leidde tot een beter ontwerp, economischer uitvoering en een beter product.

EEN BIJZONDERE GEVEL

De gevel van het hoofdgebouw kraagt volledig uit, zonder kolom eronder. De volledige gevel wordt opgehangen aan zware, verdiepingshoge balken in het dak. Aan de gevelementen in architectonisch beton worden consoles gestort die de vloeren opvangen. Het uitzicht van de gevel wordt bepaald door X- en V-vormige elementen, boven en onderaan afgeboord met dekstenen, banden en balken, allemaal in architectonisch beton. De benen van de X- en V-elementen variëren over het verloop van de



Le nouveau campus accueillera 3 500 étudiants qui pourront y suivre des formations de bacheliers professionnalisants dans différents domaines tels que les sciences de gestion, les soins de santé, la technologie, l'enseignement ou encore l'action sociale. Le projet part d'un patio central vert entouré d'une nouvelle construction: un bâtiment principal trapézoïdal le long de la Noorderplaats (Italiëlei), une construction rectangulaire dans l'Ellermanstraat et un bâtiment bas tout en longueur aux abords de la Noorderlaan. L'École supérieure Artesis a investi un montant de 64 millions € dans ce projet.

L'architecture du bâtiment n'est pas le seul aspect remarquable de ce projet, la

collaboration entre tous les partenaires (entrepreneur, maître d'ouvrage, bureau d'étude, architecte...) dès le stade de la conception est elle aussi plutôt exceptionnelle en Belgique. Cette approche a permis de réunir un savoir-faire considérable. Le fabricant des éléments préfabriqués en béton joue lui aussi un rôle particulièrement important dans la réalisation de l'agencement constructif. Cette association de coopération a débouché sur un meilleur concept, une réalisation plus économique et de meilleure qualité.

UNE FAÇADE PARTICULIÈRE

La façade du bâtiment principal se dresse totalement en porte-à-faux, sans être soutenue par la moindre colonne.

L'ensemble de la façade est suspendu à de lourdes solives dans le toit. Au niveau des éléments de façade en béton architectonique, des consoles qui supportent les planchers ont été coulées. L'aspect de la façade est déterminé par des éléments en X et en V, bordés au sommet et à la base de dalles de couverture, de bandeaux et de solives, le tout en béton architectonique. Les jambes de ces éléments en X et en V varient le long du tracé de la façade. Les jambes s'ouvrent du côté de la saillie. Les éléments changent tous les 20 m, soit un total de 8 différents types d'éléments en X. À cela viennent s'ajouter des éléments spécifiques permettant de réaliser la transition entre les 8 types principaux. Les angles sont également formés par

gevel. Naar de overkraging toe openen de benen zich. De elementen veranderen om de 20 m, zodat er in totaal 8 verschillende types X-elementen nodig zijn. Daarbovenop komen nog specifieke elementen om de overgang te vormen tussen de 8 verschillende hoofdtypes. Ook de hoeken worden gevormd door complexe 3D-gevormde elementen (zie ook het artikel: Artesis-Campus: Het ontwerp door POLO Architects). Het ontwerp door POLO Architects.

De bovenste verdiepingen van het hoofdgebouw bestaan uit een structuur van betonnen wanden die één geheel vormen met een 80 cm dikke, zware dakplaat. Dit geheel vormt de draagconstructie waaraan de gevel en vloeren opgehangen worden. Naar beneden toe lopen de krachten in één rechte lijn

over de verschillende benen van de X-elementen. Elke lijn moet zo een trekkracht van 500 kN opvangen, en dat met een sectie van 20 x 50 cm. Beton neemt echter beter drukkrachten op.

TECHNISCH: 1^{STE} VOORSTEL

In een eerste voorstel van het studiebureau stabiliteit staat een zware en volledig ingebetonnerde staalstructuur in voor het opvangen van de trekkrachten. De elementen worden aan elkaar gekoppeld met scharnieren in inox. Aan deze structuur worden consoles gelast, met daarop profielen om de vloeren op te vangen. Stabiliteitstechnisch een aanvaardbare oplossing, maar met de kans op scheuren in het beton, wat vanuit esthetisch oogpunt uiteraard totaal onaanvaardbaar is.

In een eerste voorstel van het studiebureau stabiliteit staat een zware en volledig ingebetonnerde staalstructuur in voor het opvangen van de trekkrachten.

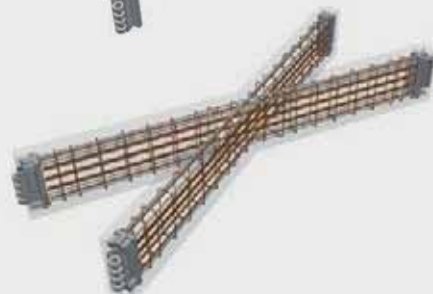
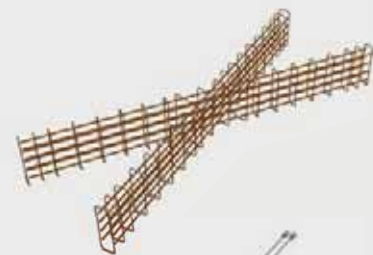
Dans le cadre d'une première proposition du bureau d'étude « stabilité », une lourde structure en acier entièrement coulée dans le béton est appelée à compenser les forces de traction.

des éléments complexes en 3D (voir aussi l'article : Campus Artesis : Le projet de POLO Architects).

Les étages supérieurs du bâtiment principal se composent d'une structure de parois en béton qui forment un seul ensemble avec une dalle de toiture noire d'une épaisseur de 80 cm. Cet ensemble constitue la structure portante à laquelle sont suspendus la façade et les planchers. Vers le bas, les forces circulent en une seule ligne droite en empruntant les différentes jambes des éléments en X. Chaque ligne doit ainsi absorber une force de traction de 500 kN, ceci avec une section de 20 x 50 cm. Le béton absorbe en effet mieux les forces de compression.

APPROCHE TECHNIQUE : 1^{ÈRE} PROPOSITION

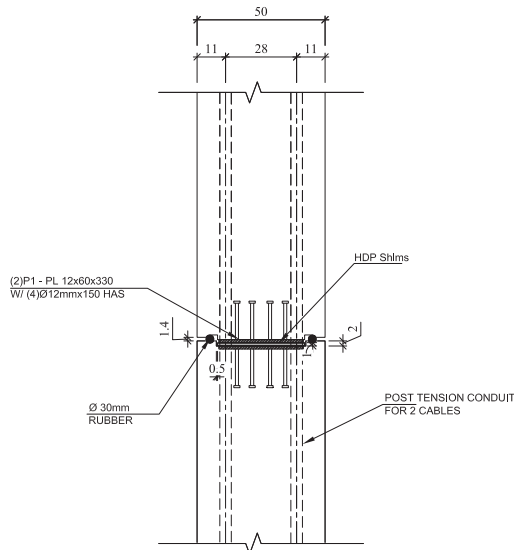
La première proposition du bureau d'étude « Stabilité », consiste en une lourde structure en acier, totalement coulée dans le béton, qui absorbe les forces de traction. Les éléments sont couplés les uns aux autres au moyen de charnières en acier inoxydable. Des consoles équipées de profils destinés à supporter sont soudées sur les planchers. Il s'agit d'une solution acceptable en termes de stabilité, mais elle présente un risque de fissuration du béton, ce qui est évidemment totalement inacceptable d'un point de vue esthétique.



TECHNISCH: TEGENVOORSTEL

Daarom doet Verheyen Beton in de aanbestedingsfase een tegenvoorstel om elk element afzonderlijk na te spannen in de fabriek. In dit voorstel wordt de scharnier om de elementen aan elkaar te koppelen behouden. Het gaat om twee metalen delen die in elkaar passen en waarin na de montage een pin geplaatst wordt om de elementen samen te houden. Ter afwerking wordt het geheel opgespoten met een epoxy. De voetplaat van de scharnier vormt in dit voorstel van naspanning tegelijkertijd de nodige steun voor de kabels van de naspanning.

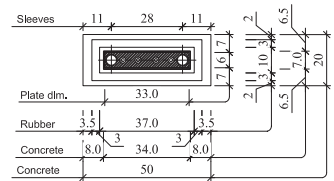
Deze oplossing is beter dan het oorspronkelijke voorstel: De naspanning van 750 kN kan ervoor zorgen dat zelfs het zwaarst onder trek belaste element nog steeds onder druk staat en



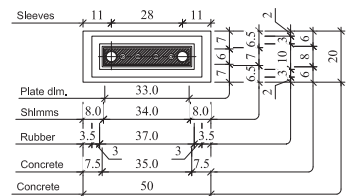
TYPICAL PANEL TO PANEL CONNECTION
TENSION X-PANEL LEFT LEG

■ *Typische console van een X-element onder spanning*
Console type d'un élément en X sous tension

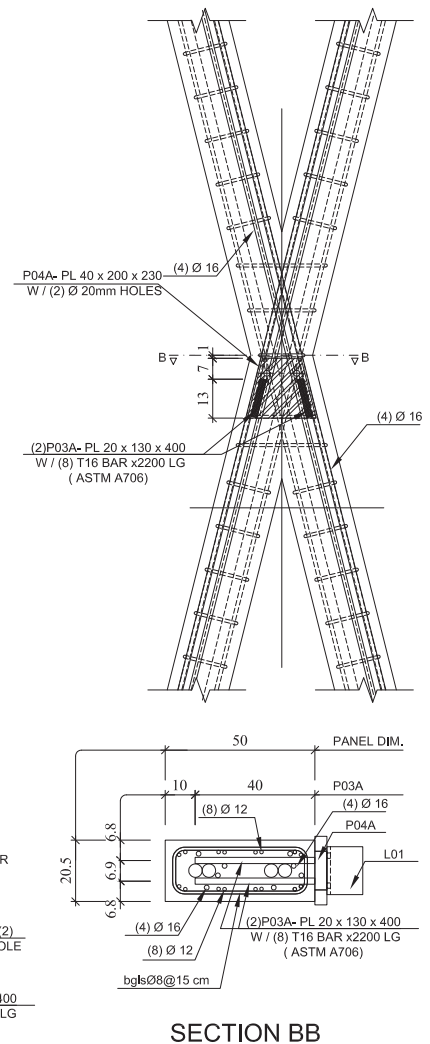
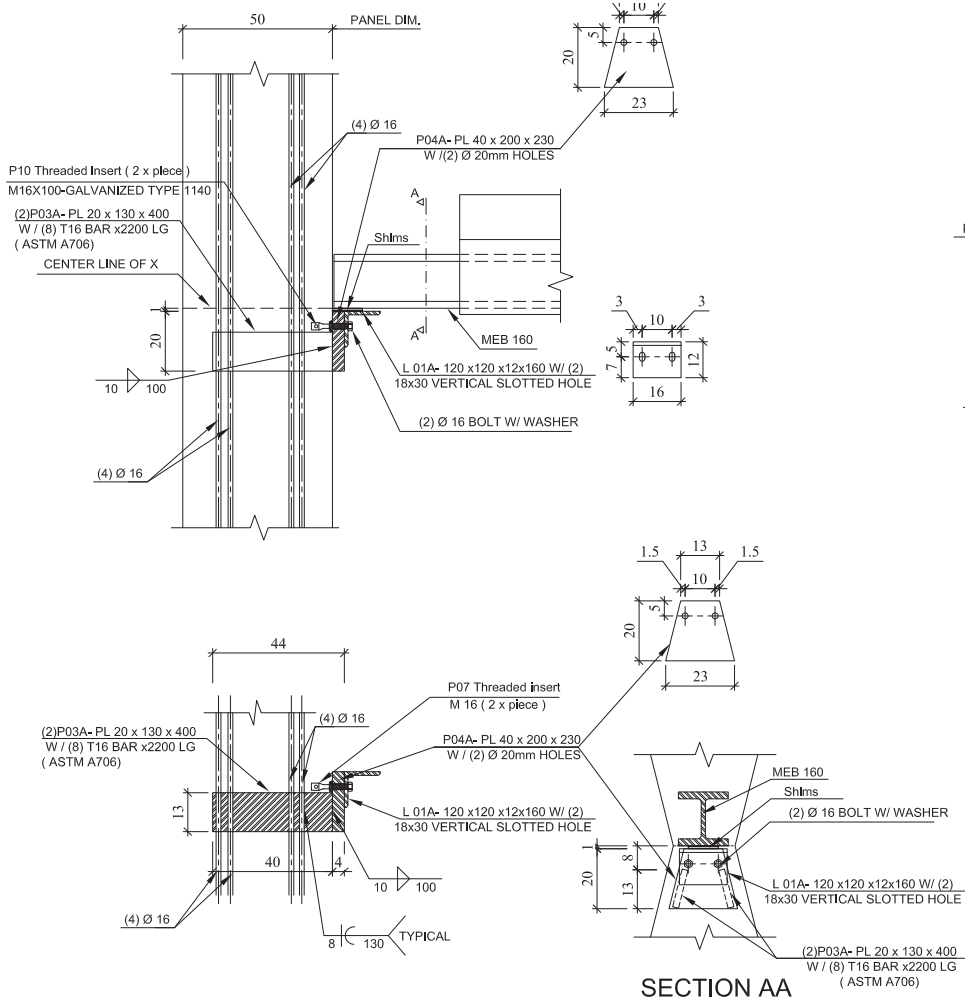
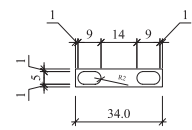
Bottom view top piece



Top view bottom piece



HDP Shim size



■ *Verbinding van X-elementen onder spanning, met stalen drukplaat en dichtingsring.*
Raccord d'éléments en X sous tension, avec plaque d'appui en acier et joint d'étanchéité

geen scheurtjes vertoont. Voor de aannemer en ingenieur is dit een volkomen aanvaardbare oplossing. Toch blijft de scharnier een ingewikkelde en moeilijk te realiseren element, vooral omdat de toleranties erg beperkt zijn. Verheyen Beton blijft zoeken naar een betere oplossing en komt uiteindelijk met een erg innovatief, tweede tegenvoorstel op de proppen.

Michel Catteau van Verheyen Beton stelt voor om de volledige gevel op de werf na te spannen. In eerste instantie wordt erg sceptisch gereageerd, maar omdat zo de dure scharnieren komen te vervallen, krijgt het idee toch groen licht. De opeenvolgende benen van de X-elementen vormen een doorlopende lijn, weliswaar met een lichte knik omdat de opening van de elementen varieert. Dit kan technisch opgevangen worden. Op de hoeken zijn er elementen die

niet opgevangen worden in deze rechte lijnen. Die worden er eenvoudigweg tussen gemonteerd, zonder naspanning.

Om het effect van de naspanning op de betonnen elementen te kennen, voert men controleberekeningen uit die rekening houden met krimp, kruip en de tijd. Die wijzen uit dat de elementen na verloop van tijd een vervorming zouden vertonen van 3,73 mm. Dit wordt opgelost door de elementen 3 mm groter te maken dan de oorspronkelijk ontworpen afmetingen, een vergroting van 1%.

PROBLEMEN EN HUN OPLOSSING

Uiteindelijk zal elk X-element 4 storkokers voor de plaatsing van de naspankabels meekrijgen, twee in elk been. Na het naspannen worden deze kokers opgespoten met een krimprijke mortel. Om elk risico op luchtholten te vermijden, wordt de mortel onder druk van

onder naar boven gespoten.

Hierdoor ontstaat **probleem 1**: op de voegen tussen de elementen zal een druk van 5 à 6 bar ontstaan, waardoor de mortel kan uitspuiten. Dit wordt opgevangen door het plaatsen van stalen drukplaten in de voegen, die de toleranties van de betonnen elementen grotendeels opvangen. Voor alle zekerheid wordt rondom een rubber profiel geplaatst dat aan de hoge druk kan weerstaan.

Een **tweede probleem** ontstaat in het centrum van de X-en, waar de storkokers elkaar kruisen. Die moeten naast elkaar doorlopen. De oplossing bestaat erin de gaines in het ene been meer naar buiten (op 11 cm van de buitenrand) en in het andere meer naar het midden (op 16 cm) te positioneren. Zo lopen ze mooi naast elkaar door.

APPROCHE TECHNIQUE: CONTRE-PROPOSITION

C'est la raison pour laquelle la société Verheyen Beton a fait, pendant la phase de soumission, une contre-proposition visant la post-contrainte séparée de chaque élément en usine. Cette proposition maintient la charnière destinée à l'accouplement des éléments. Il s'agit de deux parties métalliques qui s'emboîtent l'une dans l'autre et dans lesquelles une broche est enchâssée après le montage pour tenir les éléments ensemble. En guise de finition, un revêtement époxyde est ensuite appliqué au pistolet sur l'ensemble. Dans cette proposition de post-contrainte, la platine de la charnière joue également le rôle de support d'appui pour les câbles de post-contrainte.

Cette solution est meilleure que la proposition initiale: la post-contrainte de

750 kN permet de veiller à ce que même l'élément le plus lourdement soumis à une charge de traction subisse toujours une pression et ne présente aucune fissuration. Il s'agit donc d'une solution totalement acceptable pour l'ingénieur et l'entrepreneur. La charnière reste néanmoins un élément compliqué et difficile à réaliser, surtout parce que les tolérances sont particulièrement limitées. Verheyen Beton poursuit donc ses recherches et finit par soumettre une seconde contre-proposition innovante.

Michel Catteau de Verheyen Beton propose ni plus ni moins que la post-contrainte de l'ensemble de la façade sur chantier. Bien que les réactions initiales soient extrêmement sceptiques, l'idée finit par obtenir le feu vert car elle permet d'éliminer les charnières beaucoup trop onéreuses. Les jambes successives

des éléments en X forment une ligne continue, même si cette ligne présente de légères cassures suite aux variations d'ouverture des éléments. Celles-ci peuvent être compensées par des moyens techniques. Les éléments d'angle ne sont pas inclus dans cette trame de lignes droites. Ils sont simplement montés sur place, sans post-contrainte.

Pour connaître l'effet de la post-contrainte sur les éléments en béton, les ingénieurs ont procédé à des calculs de contrôle tenant compte du retrait, du fluage et du temps. Ceux-ci démontrent que les éléments présenteraient au fil du temps une déformation de 3,73 mm. Ce problème sera solutionné en ajoutant 3 mm aux dimensions initialement prévues des éléments lors de la fabrication, soit un agrandissement de 1 %.

HET VERLOOP VAN DE WERKEN

Hoe zullen de werken uiteindelijk verlopen? Bovenaan worden de V-elementen aangestort aan de zware dakplaat die nodig is om alle krachten op te nemen. Bovenop de V-elementen wordt, na de montage, de vijzel geplaatst voor de naspanning van het geheel.

Onderaan wordt eerst een balk onder het onderste V-element geplaatst. Die wordt mee nagespannen, zodat ze één geheel vormt met de rest van de gevelconstructie. Deze balk vormt een soort console die via een profiel aangestort wordt aan de vloerplaat. Op de hoeken worden twee elementen samengebracht.

De montage van de gevel verloopt dus als volgt:

- 1 Eerst worden de balken onderaan geplaatst
- 2 Daarop komen de onderste V-elementen
- 3 Daarna de X-elementen
- 4 De bovenste V-elementen sluiten de gevel af
- 5 De gevel wordt in zijn geheel nagespannen
- 6 Dan wordt de dakplaat aangestort en nagespannen
- 7 Tenslotte worden de stutten onder de vloeren verwijderd

De gevel van de nieuwe Artesis hogeschool is een opmerkelijk ontwerp, met een uitzonderlijke grote uitkraging. Voor de realisatie werd heel wat kennis bijeengebracht. Door tijdens de aanbestedingsfase de volledige constructie kritisch te bekijken en op zoek te gaan naar een economisch meer rendabele oplossing, realiseerde de prefabrikant een belangrijke besparing.(JM) ●

Bij het ter perse gaan van dit artikel lag nog een extra voorstel op tafel om de uitkraging te realiseren en de gevel op te hangen. Als belangrijkste reden wordt de strakke uitvoerings-termijn opgegeven.

LES PROBLÈMES ET LEUR SOLUTION

Finale, chaque élément en X héritera de 4 gaines de coulée pour la pose des câbles de post-contrainte, deux dans chaque jambe. Après la post-contrainte, un mortier irrétrécissable sera injecté dans ces gaines. Pour éviter tout risque de cavités d'air, le mortier sera injecté sous pression de bas en haut.

Cette approche donne lieu au **problème 1** : une pression de 5 à 6 bars sera exercée sur les jointures entre les éléments, cette pression pouvant engendrer un débordement de mortier. Ce phénomène sera compensé par la pose de plaques d'appui en acier dans les jointures, qui compenseront dans une large mesure les tolérances des éléments en béton. Pour toute sécurité, ces plaques seront enrobées d'un profilé en caoutchouc conçu pour résister aux hautes pressions.

Un **second problème** prend naissance au centre des éléments en X, où se croisent les gaines de coulée. Celles-ci doivent en effet se côtoyer. La solution consiste à positionner les gaines d'une jambe davantage vers l'extérieur (à 11 cm du bord extérieur) et celles de l'autre jambe

plus vers le centre (à 16 cm). Elles suivent ainsi un tracé parfaitement parallèle.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Comment les travaux se dérouleront-ils finalement? En haut, les éléments en V seront coulés sur la lourde dalle de toiture qui est indispensable pour supporter toutes les forces. Après le montage, on installera sur ces éléments en V les vérins qui seront utilisés pour la post-contrainte de l'ensemble.

Dans le bas, on posera d'abord une solive sous l'élément inférieur en V. Celle-ci sera également post-contrainte afin de former un seul ensemble avec le reste de la construction de la façade. Cette solive formera une sorte de console qui sera coulée dans le hourdis par l'intermédiaire d'un profilé. Une jonction de deux éléments est prévue aux angles.

Le montage de la façade se déroule donc comme suit :

- 1 On procède d'abord à la pose des solives à la base
- 2 Sur celles-ci sont posés les éléments inférieurs en V
- 3 Viennent ensuite les éléments en X

- 4 Les éléments supérieurs en V parachèvent la façade
- 5 La façade est post-contrainte dans son ensemble
- 6 La dalle de toiture est ensuite coulée et post-contrainte
- 7 Les étais supportant les planchers sont finalement retirés

La façade de la nouvelle École supérieure Artesis est un projet remarquable, présentant une saillie exceptionnellement grande. Sa réalisation a exigé de rassembler des connaissances et un savoir-faire considérables. En jetant un regard critique sur l'ensemble de la construction dès la phase de soumission et en recherchant des solutions plus rentables, le fabricant des éléments préfabriqués a permis de réaliser une économie considérable. (JM) ●

Une autre proposition de suspension de la façade était mise sur la table au moment de la mise sous presse de cet article. La principale motivation de cette proposition supplémentaire est le délai de réalisation très limité.