

# Prefabricatie: de niet te missen bouwtechniek voor de toekomst

## DEEL II: Oplossingen in prefab beton

# La préfabrication: La technique de construction de l'avenir à ne pas rater

## PARTIE II: Solutions en béton préfabriqué

In de bouw gebeuren veranderingen eerder geleidelijk - men spreekt van evoluties eerder dan revoluties. Ze worden meestal beïnvloed door maatschappelijke veranderingen. Op dit ogenblik tekent zich duidelijk een aantal tendensen af. Ze zullen onmiskenbaar de toekomst van de bouw in min of meer grote mate bepalen. In beton 217 schetste auteur Arnold Van Acker de algemene context waarin de economie en de bouw zich bevindt. In dit tweede deel stelt hij een aantal oplossingen voor in prefabricatie.

*Ir. Arnold Van Acker is expert in prefabconstructies en raadgever terzake voor FEBE. Hij zetelt in tal van commissies en is geweest voorzitter de commissie prefabricatie van fib, de Fédération Internationale du Béton. In het tijdschrift BETON 214, kon u al technisch dossier van zijn hand lezen over voortschrijdende instorting. In deze tekst geeft Arnold Van Acker zijn visie weer op de bouwsector in de toekomst. We publiceren de tekst in twee delen. Dit eerste deel schetst de algemene context. Het tweede deel, in BETON 218, gaat verder op de mogelijkheden van prefabricatie in deze context.*

Dans la construction, les changements se font de manière graduelle - on parle d'ailleurs beaucoup plus d'évolutions que de révolutions. Ces changements sont la plupart du temps influencés par l'évolution de la société. Plusieurs tendances se dessinent actuellement. Elles vont indéniablement influencer de manières plus ou moins importantes l'avenir de la construction. Dans la revue BETON 217, Arnold Van Acker présentait le contexte dans lequel se trouvent l'économie et la construction. Dans cette deuxième partie, il présente un certain nombre de solutions dans la préfabrication.

*Ir. Arnold Van Acker est expert dans les constructions en préfabriqué et est également conseiller en la matière pour la FEBE. Il siège dans de nombreuses commissions et est président sortant de la commission préfabrication de la fib, Fédération Internationale du Béton. Dans la revue BETON 214, vous avez pu lire un dossier technique sur les destructions en chaîne. Dans ce texte, Arnold Van Acker nous présente sa vision du futur pour le secteur. Nous publions ce texte en deux parties. La première partie nous présentait le contexte général. La deuxième partie, dans BETON 218, détaille les possibilités de la préfabrication dans ce contexte.*

Prefab zal ongetwijfeld een belangrijke rol opnemen in de bouwsector van morgen. Nieuwe materialen, zoals hogesterktebeton kunnen voor een rationalisering van de elementen zorgen. Prefab betonproductie heeft nog heel wat marge voor de toekomst dankzij volgende factoren:

- Nieuwe materialen, producten en bouwsystemen
- Rationele productie
- Bouwen in de fabriek en monteren op de werf
- Besparingen op de binnen- en buitenafwerking van gebouwen.

We gaan hier in de volgende hoofdstukken dieper op in.

### Materialen

De huidige evolutie naar hogere betonsterktes zal zich zeker doorzetten. Daarbij denken we niet alleen aan de nu reeds courant gebruikte betonsterkte C80, maar verder aan C120 tot C150. Hierdoor kunnen de huidige bouwcomponenten verder gerationaliseerd worden. Met slankere bouwelementen kan men niet alleen meer efficiënt bouwen, o.a. met kleinere kolomsecties, slankere vloerbalken en vloerdiktes, maar ook besparen op grondstoffen, energie, emissies, enz..

Ultrahoge betonsterkte brengt echter grotere brosheid met zich mee. Het is duidelijk dat hiermee zal moeten rekening gehouden worden, hetzij door de ontwerpmodellen aan te passen, hetzij door aan beton meer ductiliteit te geven, bijvoorbeeld door het gebruik van vezels. Er is reeds heel wat onderzoek gebeurd op dit domein, maar een echt goede economische oplossing, waardoor we bijvoorbeeld voorgespannen elementen zonder beugels zouden kunnen maken, is er nog niet.

### Bouwcomponenten

De evoluties zullen wellicht niet zozeer gericht zijn op nieuwe producten, dan wel op het aanpassen van bestaande producten aan nieuwe productiemethodes en marktvereisten. Een mooi voorbeeld vinden we nu reeds in de voorgespannen holle vloeren.

- De productiemethode van holle vloeren met slipform en extrusie machines op lange voorspanbanen is sterk geautomatiseerd.
- De elementen zijn in voorgespannen beton. Voorspanwapeningen hebben 3,5 x meer trekcapaciteit dan zacht staal, waardoor minder staal gebruikt wordt, dus minder grondstoffen, energie, enz.
- Door de langse kanalen heeft de holle vloer nagenoeg de helft van het gewicht van een volle plaat met vergelijkbare capaciteit. Naast de verminderde belasting brengt dit een aanzienlijke besparing voort aan beton, dus grind, zand en cement.
- De gladde onderkant van de plaat vereist geen pleisterwerk meer.

La préfabrication jouera un rôle important dans le secteur de la construction de l'avenir. De nouveaux matériaux, comme le béton à haute résistance, peuvent aider à la rationalisation des éléments. Le béton préfabriqué possède encore une grande marge d'évolution pour l'avenir, grâce à différents facteurs:

- Des nouveaux matériaux, produits et systèmes de construction
- Une production rationnelle
- Fabrication en usine et assemblage sur chantier
- Economie sur la finition intérieure et extérieure du bâtiment

Nous allons développer ces facteurs de manière plus approfondie dans les chapitres suivants.

### Les matériaux

L'évolution actuelle vers des bétons de haute résistance va certainement se poursuivre. Il ne s'agit pas seulement de résistances de 80 N/mm<sup>2</sup> utilisées déjà couramment, mais de bétons possédant des résistances de 120 à 150 N/mm<sup>2</sup>. Cela permettra de rationaliser davantage les éléments de construction et de concevoir des éléments plus élancés. Grâce à cela, il sera non seulement possible de construire de façon plus efficace, par exemple avec des sections de colonnes plus petites, des sections de poutres et de dalles réduites, mais aussi de réaliser des économies en termes de matériaux, d'énergie, des réductions d'émissions, etc.

Le béton à ultra haute résistance va normalement de pair avec une plus grande fragilité du matériau. Il est tout-à-fait clair que des mesures devront être prises pour y remédier, par exemple en adaptant les modèles de conception, ou en apportant plus de ductilité au béton, par exemple par l'ajout de fibres. Beaucoup de recherches ont déjà été effectuées dans ce domaine, mais une bonne solution économique, qui permettra par exemple de fabriquer des poutre précontraintes sans étriers en acier passif, n'existe pas encore.

### Les éléments de construction

À l'avenir, les évolutions ne seront plus tellement axées sur de nouveaux produits, mais plutôt sur des adaptations de produits existants à de nouveaux procédés de production et aux nouvelles exigences du marché. Les dalles alvéolées en béton précontraint en sont un bon exemple.

- Le procédé de production des dalles alvéolées en béton précontraint avec lisseuses et extrudeuses sur de longs bancs de précontrainte est très automatisée.
- Les éléments sont en béton précontraint. Les armatures de précontrainte possèdent une résistance à la traction d'environ 3,5 fois plus importante que celle de l'acier passif permettant de réaliser moins d'acier, donc des économies de matières premières, d'énergie, etc.
- Les alvéoles à l'intérieur des dalles alvéolées en béton précontraint permettent de réduire le poids de l'élément de moitié environ par rapport à une dalle pleine d'une capacité comparable. En plus d'une moindre charge permanente, il en résulte également une importante économie de béton, donc moins de sable, gravier et ciment.
- La sous-face lisse de la dalle ne nécessite plus de plafonnage.

**Fig. 1: Moderne prefab hal met rationele productie op lange voorspanbanen**  
**Fig. 1: Usine moderne de préfabrication avec fabrication de produits sur de longs bancs de précontrainte**



Ook het ontwerp van de bouwproducten zelf kan nog sterk gerationaliseerd worden, bijvoorbeeld:

- Grote dakbalken voor industriële gebouwen, waar ongeveer 30% beton uitgespaard kon worden, dank zij een geraffineerd ontwerp.
- Zeer slanke dakelementen in allerlei vormen en afmetingen.
- Composietelementen met beton en staalprofielen, bijvoorbeeld voor zeer zwaar belaste kolommen, of voor vloerbalken met grotere overspanningen, om de afmetingen van de doorsnede te beperken.

#### Bouwconcepten

De evolutie gaat duidelijk naar meer efficiënte en duurzame constructies:

- Nieuw bouwconcept gebaseerd op drager en inbouw
- Grotere overspanningen
- Hybride constructies
- Energie efficiënte gebouwen

#### Aanpasbaarheid van gebouwen

Zoals reeds eerder gezegd zullen gebouwen in de toekomst minder afgebroken worden en zal men eerder overgaan op herinrichting. Dit proces kan echter in belangrijke mate geoptimaliseerd worden door het concept van aanpasbare gebouwen. Het blijkt immers dat wanneer bepaalde onderdelen van gebouwen voldoen aan een aantal prestaties (zoals stabiliteit, akoestische isolatie, brandveiligheid, enz.), ze dan automatisch een langere technische

La conception des éléments de construction en elle-même peut, elle aussi, être rationalisée, par exemple:

- De très grandes poutres de toiture pour bâtiments industriels, permettant d'économiser environ 30 % de béton grâce à une conception intelligente.
- Des éléments de toiture très élancés, grâce à un dimensionnement très sophistiqué et des techniques de coffrage spéciales
- Des éléments composites, constitués de béton et de profilés en acier. Ces éléments permettent de réduire les dimensions de la section, notamment pour des colonnes fortement chargées.

#### Les concepts de construction

L'évolution se dirige clairement vers des constructions plus efficaces et plus durables:

- Nouveau concept basé sur le principe de porteur et finition
- Des portées plus larges
- Les constructions hybrides
- Des bâtiments à consommation d'énergie faible

#### Le concept de bâtiment réutilisable

Comme déjà signalé, il y aura moins de démolitions de bâtiments dans l'avenir, on procédera plutôt à des rénovations. Ce processus peut être optimisé en grande mesure par le concept de bâtiments adaptables. Il semble en effet que, quand certains composants de bâtiments répondent à un nombre de prestations (comme stabilité, isolation acoustique,



levensduur hebben. Daardoor is het niet altijd aangewezen dat ze te erg op maat van het eerste bouwprogramma ontworpen worden. Men moet er van bij het eerste ontwerp van uitgaan dat een woongebouw zal omgebouwd worden, dat een kantoor zal heringericht worden. Het innovatieve hierbij ligt in het feit dat in het initiële project reeds geanticipeerd wordt op mogelijke aanpassingen en nieuwe bestemmingen voor het gebouw in een verdere toekomst.

Wat een lange levensduur heeft, noemen we 'drager'. Deze omvat alle hoofdfuncties zoals draagsysteem, hoofdcirculatie, hoofdleidingen, gevelpositie. Wat tijdens de levensduur zal aangepast worden noemen we 'inbouw'. Die delen zijn binneninrichting, scheidingswanden, niet dragende geveldelen. Dit concept opent meteen een aantal mogelijkheden voor rationeel bouwen. Er wordt geopteerd voor een meer neutrale drager omdat variatie wordt verschoven naar de inbouw, die in de toekomst toch regelmatig zal veranderen.

Voor woningen en appartementen zal de drager bestaan uit dwarswanden tussen de appartementen met vloeren tot ongeveer 12 m lengte, welke het hele appartement overspannen, plus trappen en verticale technische kokers. De tussenwanden en gevels zijn niet dragend en kunnen altijd vervangen worden.

Voor kantoren geldt het principe van een volledig open binnenruimte met vloeren welke over 16 tot 20 m de hele ruimte overspannen.

résistance au feu, etc.), ils possèdent une durée de vie technique plus longue. Ainsi, il n'est pas toujours indiqué de concevoir les nouveaux bâtiments sur mesure du premier programme de construction. Lors du concept initial, il faut partir du principe qu'un bâtiment de logement sera réaménagé, qu'un bâtiment de bureaux sera réorganisé. L'innovation réside dans le fait que dans le projet initial on anticipe déjà des adaptations possibles et de nouvelles destinations pour le futur du bâtiment.

Les parties de la construction avec une longue durée de vie s'appellent 'porteur'. Celles-ci comprennent toutes les fonctions principales, comme le système porteur, la circulation verticale principale des occupants, les conduites techniques principales ou encore la position de la façade. Tout ce qui sera adapté en cours de vie s'appelle 'finition'. Elles comprennent l'aménagement intérieur, les cloisons, les façades non-porteurs, etc. Ce concept offre plusieurs possibilités pour une construction rationnelle. L'option est prise dès le début pour un 'porteur' plus neutre puisque la variation est reportée vers la 'finition' (qui sera modifié régulièrement dans l'avenir).

Pour des maisons et appartements, la structure porteuse se composera de murs de refend transversaux, avec des planchers d'environ 12m de portée, couvrant la largeur totale du logement, plus les escaliers et le noyau technique vertical. Les autres murs et les façades non porteurs peuvent quant à eux être remplacés ultérieurement.

Pour les bureaux, le principe s'applique avec un espace intérieur complètement ouvert, avec planchers de 16 à 20m, portant sur toute la largeur du bâtiment.

**Fig. 2: Principeschets en toepassingsvoorbeeld van een kantoor met volledig open binnenruimtes**  
Fig. 2: Principe et exemple d'application de bâtiments de bureaux avec espace intérieur complètement ouvert



### Grotere overspanningen

Flexibiliteit en herbruikbaarheid zijn enkel mogelijk als we de overspanningen van de draagconstructie sterk vergroten. Dit geldt niet alleen voor woningen, appartementen en kantoorgebouwen, maar ook voor hallen van grootwarenhuizen, commerciële gebouwen, en nog andere. Het gebeurt nu reeds sporadisch dat voor een gelijkvloerse winkelhal met dakbalken een overspanning van 50 m gevraagd wordt.

### Hybride constructies

Hybride constructies – ook wel gemengde constructies genoemd – omvatten per definitie twee of meer verschillende constructiematerialen in eenzelfde bouwwerk. Prefabbeton speelt hierbij een centrale rol vermits het gemakkelijk kan gecombineerd worden met staalprofielen, hout, ter plaatse gestort beton, vezelversterkte materialen en glas- of beglazingsystemen. Hybride constructies verschillen van composiet-constructies, waar de verschillende materialen gecombineerd worden om op homogene wijze samen te functioneren.

### Les portées plus grandes

Une flexibilité et une éventuelle réutilisation ne sont possibles qu'à condition que la portée de la structure porteuse soit fortement étendue. Cela vaut également pour d'autres types de bâtiments, comme des centres commerciaux, et d'autres. Il y aura dans l'avenir des portées beaucoup plus importantes, pour des planchers allant jusqu'à 22m et jusqu'à 50m pour les toitures.

### Les constructions hybrides

Les constructions hybrides – également appelées constructions mixtes – contiennent par définition deux matériaux de construction ou plus, dans un même projet de construction. Les éléments préfabriqués en béton jouent ici un rôle central étant donné qu'ils peuvent être aisément combinés à l'acier, au bois, au verre, au béton coulé sur place et aux matériaux renforcés de fibres. Les constructions hybrides diffèrent des constructions composites, où les différents matériaux structurels sont combinés de façon à fonctionner ensemble d'une manière homogène.



**Fig. 3: Voorbeeld van een tijdelijke demonteerbare parking in Gent met stalen balken en kolommen en voorgespannen ribbenvloeren**

Fig. 3: Exemple d'un parking temporaire démontable à Gand, avec poutres et colonnes en acier et planchers en éléments nervurés précontraints

**Les véritables spécialistes  
utilisent de l'huile de  
décoffrage biodégradable.**



**Respectez l'environnement en utilisant de l'huile  
de décoffrage biodégradable.**

Grâce à leur composition spécifique, les « lubrifiants biodégradables » sont plus facilement décomposés par les micro-organismes présents dans la nature. Il est recommandé de les utiliser pour les applications à huile perdue et pour celles présentant un risque accru pour l'écosystème. Lors de l'utilisation, l'huile de décoffrage peut se retrouver dans l'environnement et, en conséquence, nuire à la faune et à la flore. En optant pour une huile de décoffrage biodégradable, vous pouvez limiter l'impact environnemental et préserver la nature.

Un message de

**VALORLUB**  
[www.valorlub.be](http://www.valorlub.be)

Valorlub est une initiative du secteur privé  
avec le soutien des trois autorités régionales.

Het gehele concept van hybride constructies is niet alleen bedoeld om van elk materiaal de meest gunstige eigenschappen te benutten, bijvoorbeeld beton = massa en druksterkte, staal en hout = licht gewicht en buigsterkte, metselwerk = geometrische flexibiliteit, maar moet ook efficiënt en kostenbesparend werken.

Le concept des constructions hybrides n'a pas pour seul objectif d'exploiter les caractéristiques les plus avantageuses de chaque matériau, par exemple béton = masse et résistance, acier et bois = faible poids et haute résistance, maçonnerie = flexibilité géométrique, mais il doit être également efficace et économique.

### Energie-efficiënte gebouwen

- Dubbelwandige gevels zijn een ideale oplossing voor het isoleren van gebouwen. De laatste jaren is de isolatiedikte sterk toegenomen. Betonnen sandwichgevels hebben een ideale thermische isolatieprestatie omwille van de combinatie van isolatiemateriaal en massa. De isolatielaag zorgt voor de beperking van het verlies aan calorische doorheen de wand, terwijl de massa zorgt voor de demping van de optredende buitentemperatuur.

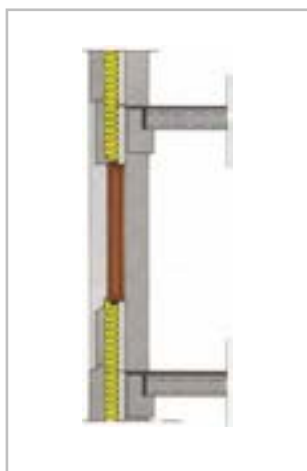


Fig. 4: Principe van een sandwich gevelement

### L'efficacité énergétique

- Les façades sandwich sont des solutions idéales pour l'isolation des bâtiments. Au cours des dernières années, l'épaisseur de la couche d'isolation a fortement augmenté. Les façades sandwich en béton possèdent une capacité d'isolation thermique idéale grâce à la combinaison de matière d'isolation et de masse. La couche isolante permet de réduire la perte de calories à travers la paroi, tandis que la masse assure l'affaiblissement de la température extérieure.

Fig. 4: Principe d'un élément de façade sandwich

- Een variante uitvoeringsmethode voor klassieke sandwichelementen is de 'gesplitste' gevel. Het is een sandwichconstructie waarbij de twee panelen afzonderlijk in de fabriek geprefabriceerd en op de bouwplaats gemonteerd worden. Het dragend paneel bestaat uit eenvoudige kaderelementen welke met de gladde zijde aan de binnenkant van het gebouw geplaatst worden. Hierop steunen de geprefabriceerde vloeren. Nadien worden de voegen luchtdicht afgesloten en een isolatie aangebracht op de buitenkant van deze panelen. Tenslotte worden de niet-dragende buitenpanelen in architectonisch beton gemonteerd. De buitenbekleding kan trouwens ook in andere materialen uitgevoerd worden. Soms lopen de ramen door over meerdere verdiepingen.

- La façade 'double' constitue une alternative pour les éléments sandwich classiques. Il s'agit d'une construction sandwich, dans laquelle le panneau extérieur et l'intérieur sont préfabriqués en usine et montés sur chantier séparément. Le panneau intérieur porteur comprend des éléments cadres très simples qui sont montés avec la face lisse vers l'intérieur du bâtiment. Les planchers préfabriqués reposent là-dessus. Ensuite, les joints en façade sont fermés à l'air et une couche d'isolation est appliquée sur la face extérieure de ces panneaux intérieurs. Finalement des panneaux non-porteur en béton architectonique sont montés. Par ailleurs, la façade extérieure peut aussi être exécutée en d'autres matériaux. Les vitrages s'étendent parfois sur plusieurs niveaux.

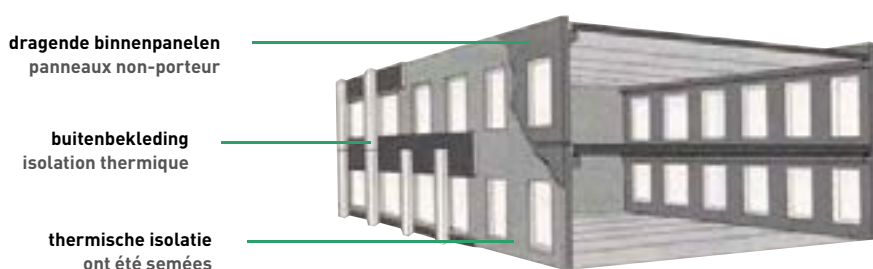


Fig. 5: Principe van een gesplitste sandwichgevel

Fig. 5: Principe de la façade double

De oplossing biedt verschillende voordelen ten opzichte van de klassieke sandwichelementen:

La solution de façade double offre différents avantages par rapport aux éléments sandwich classiques:

- Grote flexibiliteit bij het ontwerp van de buitenbekleding. Volledige vrijheid op gebied van afmetingen, vorm en gebruikte materialen.
- De geprefabriceerde gevelementen zijn eenvoudig. De binnenpanelen bestaan uit eenvoudige rechthoekige verdiepingshoge elementen met de gladde bekistingszijde aan de binnenkant. Geen verdere bepleistering meer nodig. De buitenbekleding bestaat uit vlakke elementen. De verbindingen zijn zeer eenvoudig.
- De thermische isolatie loopt door over de volledige gevel,

- Une grande flexibilité en termes de conception des façades. Une quasi totale liberté en termes de dimensions, de formes et des matériaux utilisables.
- Les éléments de façade préfabriqués sont très simples. Les panneaux intérieurs sont rectangulaires, de hauteur d'étage, avec face intérieure parfaitement lisse. Pas besoin donc de plafonnage. Les éléments extérieurs se composent souvent d'éléments plats. Les assemblages sont très simples à réaliser.
- L'isolation thermique est continue sur l'ensemble de la façade,



zonder koudebruggen, zelfs niet ter plaatse van de voegen. De gevel heeft een verluchte spouw tussen de isolatie en de buitenbekleding.

- Het uitzicht van de gevel laat een grote architecturale vrijheid toe en kan volledig verschillend zijn van het ene gebouw ten opzichte van het andere, zonder dat er belangrijke verschillen bestaan in de binnenstructuur en de gebruikte elementen. De voegen tussen de buitenpanelen vallen niet op.

Een klein nadeel hiervan is dat er meer individuele geprefabriceerde elementen nodig zijn met als gevolg meer manipulaties, nood aan een grotere stockeerruimte, iets meer transport, enz. Deze nadelen worden echter ruimschoots goedge maakt door de eenvoudige productie van de individuele elementen. Bovendien laat de oplossing toe om in een later stadium de gevel te vernieuwen zonder dat het gebouw moet afgebroken worden.

#### • Thermische capaciteit

Het vermogen van beton om tijdens een dagcyclus overtollige warmte op te slaan en tijdens de nacht terug af te geven wordt reeds regelmatig toegepast in kantoorgebouwen. In prefabricatie bestaan er enkele oplossingen, o.a. met circulatie van ventilatielucht doorheen de langse kanalen van holle vloeren, waardoor er een grote uitwisselingsoppervlakte kan gebruikt worden.

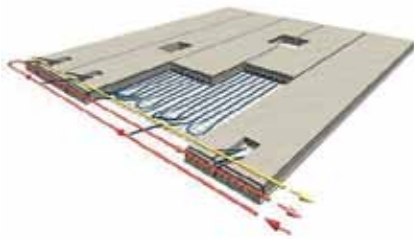


Fig. 6: Holle vloeren met ingebetonneerde waterleidingen voor verwarming en koeling  
Fig. 6: Plancher alvéolé comprenant des conduites d'eau pour chauffage et refroidissement.

In de woningbouw wordt momenteel veel vloerverwarming toegepast omwille van het comfort en de zuinige verwarmingskosten. Er bestaat een prefaboplossing waarbij de leidingen voor de vloerverwarming tijdens de fabricatie in de holle vloeren ingestort worden. De verwarming van de lokalen is gebaseerd op radiatie. Het systeem kan ook voor koeling gebruikt worden.

#### Geluidsisolatie

Betonelementen hebben goede geluidsisolerende eigenschappen. Zij kunnen geluidsoverdracht via de lucht zowel van buiten als van binnen het gebouw goed dempen. De isolatie van contactgeluiden bij vloeren stelt strengere eisen. Een goede oplossing hiervoor omvat constructiesystemen zoals verhoogde vloeren en zwevende vloeren. Het verhoogde vloersysteem wordt in woongebouwen echter zelden gebruikt.

In het recente verleden werd echter

y compris au droit des joints entre panneaux préfabriqués, sans pont thermique. Il existe un vide ventilé entre l'isolation et la façade extérieure.

- L'aspect de la façade permet une grande liberté de conception architecturale et peut différer complètement d'un bâtiment à l'autre sans qu'il n'y ait de différences importantes dans la structure intérieure et les éléments utilisés. Les joints entre les éléments extérieurs sont discrets.

Le petit inconvénient est qu'il y a un plus grand nombre d'éléments préfabriqués, donc plus de manipulations et d'aire de stockage, plus de transport, etc. Ces inconvénients sont cependant largement compensés par la fabrication simple des éléments individuels. De plus, la solution permet de renouveler le revêtement de façade dans un stade ultérieur, sans démolition du bâtiment entier.

#### • Capacité thermique

La capacité du béton à stocker de la chaleur le jour et à restituer celle-ci la nuit est déjà aujourd'hui fréquemment utilisée pour les bâtiments de bureaux. Il existe des solutions préfabriquées, par exemple avec circulation d'air de ventilation à travers les alvéoles des planchers creux, permettant d'utiliser une surface d'échange plus importante.

Dans les logements on utilise déjà couramment des systèmes de planchers chauffants, pour des raisons de confort et d'économie de chauffage. Il existe une solution préfabriquée, dans laquelle des conduites d'eau sont noyées lors de la fabrication dans les dalles alvéolées. Le système de chauffage fonctionne par radiation. Il peut également être utilisé pour le refroidissement.

#### Isolation acoustique

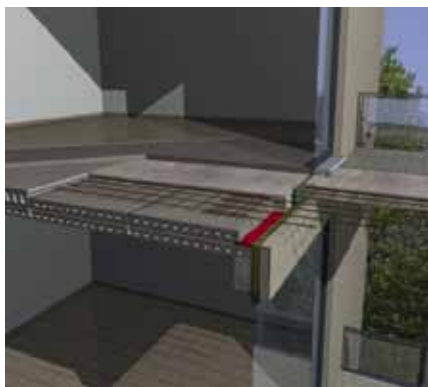
Les éléments en béton possèdent de bonnes caractéristiques d'isolation acoustique. Ils sont capables d'atténuer efficacement les bruits venant de l'intérieur et de l'extérieur du bâtiment. L'isolation des bruits de contact des planchers pose des exigences plus sévères. Une bonne solution ici est fournie par les systèmes de construction comme le plancher flottant, ou le plancher surélevé. Ce dernier est toutefois encore peu utilisé pour les logements.

Dans un passé récent, un système complètement nouveau et révolutionnaire a été développé par un important fabricant Belge. Le système est basé



een volledig nieuw en revolutionair concept uitgewerkt voor het isoleren van contactgeluiden bij vloeren door een van de belangrijke Belgische prefabrikanten. Het berust op het principe "massa-veer-massa". De vloer bestaat uit een dragend voorgespannen vloerelement boven een zelfdragend element, met tussengelegen geluiddempende kussenblokken. Het systeem is een totaalconcept. De geprefabriceerde dubbele vloer wordt op de bouwplaats bouwklaar geleverd. De voordelen zijn niet alleen de uitstekende geluiddempende eigenschappen en absorptie van flankgeluiden, maar ook de snelle uitvoering zonder gevaar voor fouten in de uitvoering, en tegen een concurrentiële prijs. Het minimaal isolerend vermogen is  $D_{nT,w} > 58$  dB voor luchtgeluiden en  $L'_{nT,w} < 50$  dB voor contactgeluiden.

sur le principe «masse-amortisseur-masse». Il consiste en une dalle de plancher alvéolée en béton précontraint mise en place sur une autre dalle autoportée avec interposition d'un support amortisseur. Le système constitue un concept global. Le plancher double préfabriqué est livré prêt à poser départ usine. Les avantages de ce système ne résident pas simplement dans ses excellentes caractéristiques d'isolation acoustique, qu'il s'agisse d'une transmission directe ou indirecte des bruits, mais aussi dans sa pose rapide et facile. La capacité d'isolation minimale s'élève à  $D_{nT,w} > 58$  dB pour les bruits aériens et  $L'_{nT,w} < 50$  dB pour les bruits de contact.



**Fig. 7: Principe van de dubbele vloer voor een perfecte isolatie tegen lucht- en contactgeluiden**

**Fig. 7: Principe du double plancher pour une isolation parfaite contre les bruits aériens et les bruits de contact**

### Rationele productie

Het bouwproces is ondanks vele pogingen tot standaardisatie nog steeds erg arbeidsintensief en ver weg van een industrieel model. Industrialisatie is voorheen in een verkeerde richting gezocht, namelijk door grote serieproductie, terwijl nu steeds meer diversiteit wordt gewenst. Er zal dus in de toekomst een duidelijke verschuiving van de bouwactiviteit optreden van de werf naar de fabriek. De arbeidsomstandigheden zijn veel gunstiger, het productieproces kan sterk gerationaliseerd worden, er is een betere controle op de uitvoering, en nog andere pluspunten. Daarnaast moet het bouwproces veel milieuvriendelijker worden. Ook hier is de fabriek beter geschikt.

Vermits de architecturale vrijheid van ontwerpen steeds belangrijker wordt, ligt de uitdaging van de prefabindustrie in het ontwikkelen van industriële productieprocessen, waarbij massaproductie wordt gecombineerd met een grote soepelheid qua producten. Een grotere automatisering, te samen met productie- en materiaalvernieuwing, kan dit mogelijk maken. Of we echter tot een soort meccanosysteem zullen komen, zoals we bijvoorbeeld soms in Japan zien, valt te betwijfelen.

### Flexibele productie

Soepelheid in productie vereist een andere opvatting van de fabrieksuitrusting dan grote serieproductie. Mallen moeten ontworpen worden om, naast standaardproducten, ook aanpassingen mogelijk te maken op een vlugge en rationele manier. Tijdens de productie moet er ook vlug van producttype kunnen gewisseld worden. Ook hier zal een aanpassing van de mallentechniek noodzakelijk zijn.

### Une fabrication rationnelle

Malgré de nombreuses tentatives de standardisation, le processus de construction classique requiert encore un travail très intensif et est encore très loin d'un modèle industriel. L'industrialisation dans le domaine de la construction a suivi, par le passé, une mauvaise direction, à savoir la production en grandes séries de produits uniformes, alors que la tendance s'oriente de plus en plus vers une diversité. À l'avenir, les activités de construction vont être déplacées du chantier vers l'usine de préfabrication. Les conditions de travail dans les usines de préfabrication sont bien plus favorables, le processus de fabrication peut être grandement rationalisé, un meilleur contrôle de la qualité peut être assuré et encore bien d'autres avantages. Le processus de construction doit en outre devenir beaucoup plus écologique et, là aussi, l'usine de préfabrication est mieux adaptée.

La liberté de conception devenant de plus en plus importante, le défi pour l'industrie du béton préfabriqué consiste à développer des processus de fabrication industriels qui permettent de combiner une production en masse avec une grande flexibilité. Une automatisation accrue, combinée avec de nouveaux systèmes de fabrication et de nouveaux matériaux pourra permettre d'atteindre ce but. Il est peu probable que l'on arrive au système de maisons mécano, comme on voit parfois au Japon.

### Une fabrication plus flexible

Une fabrication flexible demande un équipement d'usine et une philosophie de fabrication différents de ceux utilisés pour la fabrication de produits de grande série. En plus des produits standards, les coffrages doivent être conçus de manière à ce qu'ils puissent servir également à des produits hors-standard moyennant quelques adaptations. Il est également important de pouvoir rapidement changer de type de produit pendant la fabrication. Ici aussi, une adaptation des techniques de coffrage s'imposera.



**Fig. 8: Een goed voorbeeld van architecturale vrijheid en soepelheid van productie voor de ingang van het hoofdkantoor van Decomo in geprefabriceerd architectonisch beton te Moeskroen**

Fig. 8: Bon exemple de liberté architecturale en béton préfabriqué architectonique pour l'entrée du siège social de la société Decomo à Mouscron

Zelfverdichtend beton en meer gesofistikeerde betonsoorten zullen steeds meer gebruikt worden. Het storten van beton zal veel vlugger gebeuren dan nu het geval is. Om te lange wachttijden tijdens het betonneren te vermijden, zal het transport van vers beton vanuit de centrale naar de mallen vlugger moeten gebeuren. Misschien bestaat de toekomstige oplossing erin meerdere kleine betonmengers te installeren op goed gekozen plaatsen in de fabriek, eerder dan een grote centrale mengtoeren.

Vermits we duidelijk evolueren naar grotere en zwaardere elementen – brugbalken van meer dan 200 ton en 60 m lang worden nu reeds geproduceerd in de fabriek – zal de hefcapaciteit van de rolbruggen moeten vergroten.

#### **Automatisatie**

Zoals reeds eerder vermeld, zal automatisatie in de toekomst een sterkere rol gaan spelen in de productie van bouwcomponenten. Er bestaan nu reeds een beperkt aantal toepassingen zoals holle vloeren, filigranwanden en andere kleinere producten. Voor producten zoals balken, kolommen, TT-elementen enz., staat de automatisatie echter nog voor grote uitdagingen. De voornaamste handicaps zijn het aanbrengen van beugels en de soms complexe vorm van de elementen, zoals eindblokken, I-vormige liggers, consoles enzomeer, waardoor automatisatie zeker niet vergemakkelijkt wordt. Wij geloven dan ook dat, net zoals bij holle vloerplaten, de producten zelf wijzigingen zullen moeten ondergaan vooraleer we de volgende stap in het industrialisatieproces zullen kunnen zetten. Mogelijke scenario's voor industrialisatie zijn dan automatische mallen, voorspanwapeningen in combinatie met beton dat een bepaalde treksterkte kan opnemen, en automatische betonner- en transportsystemen, alles natuurlijk computergestuurd.

Op het gebied van de deelprocessen bestaan er trouwens nu reeds interessante voorbeelden van gedeeltelijke automatisatie, of zijn belangrijke ontwikkelingen te verwachten. Voorbeelden hiervan zijn de fabricage van mallen, het vervaardigen van de wapeningskorven, het storten van beton, het afwerken van de zichtvlakken door wassen, zandstralen, polijsten enz. Al deze

Le béton auto-compactant et d'autres types de béton plus sophistiqués seront de plus en plus utilisés. Le bétonnage lui-même se passera beaucoup plus vite que maintenant. Pour éviter de longues périodes d'attente pendant le bétonnage des éléments, le transport du béton frais de la centrale devra s'opérer plus vite. Peut-être que la solution d'avenir s'orientera vers plusieurs petits malaxeurs à des endroits de l'usine bien choisis, plutôt qu'une grande centrale au bout de l'usine.

Etant donné l'évolution rapide vers des éléments plus longs et plus lourds – des poutres de pont de plus de 200 tonnes et d'une longueur de 60m sont déjà maintenant fabriquées en usine – la capacité portante des ponts roulants devra augmenter.

#### **L'automatisation**

Comme cela a déjà été évoqué précédemment, l'automatisation jouera à l'avenir un rôle plus important dans la fabrication des éléments de construction. Il existe déjà quelques exemples comme les planchers alvéolés, les prémurs et d'autres produits plus petits.

Cependant, pour d'autres produits comme les poutres, les colonnes, les éléments en double T, etc., l'automatisation n'en est encore qu'à ses débuts. Les principaux défis concernent le placement des étriers et des géométries complexes comme les blocs d'about, les poutres en I, les consoles, etc. Nous sommes convaincus que, tout comme pour les dalles alvéolées, les produits eux-mêmes devront encore subir des transformations, avant que l'étape suivante vers l'industrialisation et l'automatisation ne soit possible. Dans ce contexte, on peut imaginer des coffrages automatiques, des armatures de précontrainte combinées avec un béton capable de reprendre avec sécurité suffisante une certaine capacité en traction, des procédés de bétonnage et de transport automatique des éléments. Le tout étant bien entendu géré par ordinateur.

Dans le domaine des processus partiels il existe déjà quelques exemples intéressants d'automatisation partielle et des développements peuvent être attendus. A titre d'exemples, on peut citer la fabrication des coffrages, la fabrication des cages

processen zijn gebaseerd op robotisatie en computerbesturing. Wij zijn er echter van overtuigd dat ook hier vernieuwingen nodig zullen zijn op het gebied van materialen en producten, vooraleer het droombeeld van de industrialisatie werkelijkheid zal worden.

### Minimum werk op de bouwplaats

Er zijn duidelijk nog heel wat mogelijkheden tot rationalisatie op de bouwplaats zelf: verbindingen tussen prefabelementen, druklagen op vloeren, waterdichtheid van dakelementen, pleisterwerk, enz.

Er zijn in het verleden reeds een aantal studies verricht



d'armature, le bétonnage et la finition des surfaces en béton apparent par lavage, sablage ou polissage. Tous ces procédés sont basés sur la robotisation et la gestion par ordinateur. Pour une industrialisation totale, des innovations seront davantage nécessaires en termes de produits et de matériaux, avant que le rêve de l'industrialisation complète ne soit réalisé.

### Un minimum de travail sur le chantier

Sur chantier également, il existe un grand nombre de possibilités d'optimisation et de rationalisation, comme pour l'assemblage des éléments préfabriqués, la dalle de compression, l'étanchéité des éléments de toiture, l'enduit, etc.

**Fig. 9: Montage van de structuur van een kantoorgebouw in prefabbeton**

**Fig. 9: Montage de la structure d'un bâtiment de bureau en béton préfabriqué**

rond het thema demontabel bouwen waarbij men zich vooral concentreerde op de ontwikkeling van droge voegen. Andere studies tonen aan dat druklagen op bijvoorbeeld holle vloeren, niet onmisbaar zijn voor de diafragmawerking, zelfs in aardbevingsgebieden, op voorwaarde dat de langse voegen tussen de elementen zodanig geprofileerd zijn dat ze grote vervormingen kunnen opnemen zonder belangrijk verlies aan krachtswerking. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden met een sinusoidaal vertandingsprofiel in de langse voegen.

Binnenpleisterwerk op wanden en plafonds kan zeker verminderd of misschien wel volledig uitgeschakeld worden als de afwerking van de producten optimaal is: gladde wanden, balken, kolommen, onderkant van vloeren, enz.

Integratie van technische uitrustingen in prefabelementen is een ander ontwikkelingsdomein voor de toekomst. Er zijn reeds een aantal oplossingen voorhanden, zoals bijvoorbeeld elektrische leidingen in wandelementen, verwarmingsleidingen in holle vloeren, waterafvoerbuizen in kolommen. Ook hier zijn verdere ontwikkelingen te verwachten.

### Besluit

Traditie en cultuur spelen sinds lang een belangrijke rol in het bouwgebeuren. Tijdens de laatste decennia is de zorg voor het milieu en de schaarste aan arbeiders een bijkomende uitdaging geworden. Industrialisatie is waarschijnlijk de enige weg om de moderne evoluties te volgen en de bouwkosten binnen aanvaardbare grenzen te houden, op voorwaarde dat de oplossingen beantwoorden aan de verwachtingen van de moderne maatschappij. De prefabricatie van betonconstructies is in de voorbije vijftig jaar geëvolueerd van een nieuwe technologie naar een hoogwaardige en moderne bouwmethode. Omwille van de grote troeven waarover ze beschikt in het kader van de nieuwe uitdagingen, zal prefabricatie een steeds meer leidende rol gaan spelen in de bouwactiviteit van de toekomst.

Un certain nombre de recherches sur le thème des bâtiments préfabriqués démontables ont été menées par le passé. D'autres études démontrent qu'une couche de compression n'est pas obligatoirement nécessaire pour l'action diaphragme des planchers alvéolés, même dans les régions sismiques, à condition que les joints longitudinaux entre les éléments puissent reprendre des déformations importantes sans perte substantielle de leur résistance. Ceci pourrait notamment être réalisé par un profilage sinusoidal du joint longitudinal.

L'application de l'enduit intérieur sur murs et plafonds pourra être certainement minimisée, voire totalement évitée, si les éléments préfabriqués en béton présentent une finition de surfaces optimale: panneaux de mur lisses, poutres, colonnes, sous-face de planchers, etc.

L'intégration d'équipements techniques dans les éléments préfabriqués constitue une autre mesure de rationalisation dans le futur. Il existe déjà quelques solutions de ce type – comme les câbles électriques dans les éléments de mur, les conduites de chauffage dans les dalles alvéolées en béton précontraint ou les conduites d'évacuation d'eau dans les colonnes – mettant en évidence cette tendance. Ici des progrès sont également attendus.

### Conclusion

Tradition et culture jouent depuis longtemps un rôle majeur dans le domaine de la construction. Durant les dernières décennies, la protection de l'environnement et le manque de main d'œuvre sont devenus des défis supplémentaires. L'industrialisation est probablement l'unique moyen de suivre le rythme des développements modernes tout en maintenant le coût de la construction dans des limites acceptables, à condition, bien entendu, que les solutions proposées viennent combler les attentes du marché. Au cours des 50 dernières années, le béton préfabriqué est passé du statut de technologie nouvelle à celui d'une méthode de construction moderne et de haute qualité. Compte-tenu de leurs perspectives d'avenir, les structures préfabriquées en béton vont jouer un rôle prépondérant dans l'activité future de la construction.