



## De principes van seismisch bouwen

Aardbevingsbestendig of seismisch bouwen associëren we doorgaans met zuidere en aardbevingsgevoelige gebieden. Toch is de praktijk ook in sommige Belgische regio's relevant. Omwille van de grotere bewustwording en de actuele normen, zal seismisch bouwen steeds meer ingang vinden. De belangrijkste principes van aardbevingsbestendig worden in dit artikel op een bevattelijk manier uitgelegd door Dror Zeiger. Hij deed onder meer ook berekeningen voor het gebouw van AGC in Louvain-la-Neuve. Zeiger deed ervaring rond seismisch bouwen op in Israël. De minst gevoelige zone valt er qua normering samen met de bij ons meest kritieke regio, tussen Luik en Charleroi. ►

## Les principes de la construction parasismique

Nous associons toujours la construction parasismique aux régions méditerranéennes et celles sujettes aux tremblements de terre.

Pourtant, la pratique est également pertinente dans certaines régions de Belgique. Étant donné la prise de conscience toujours plus forte et les normes actuelles, la construction parasismique va gagner en importance. Les premiers principes de construction parasismique sont expliqués clairement dans le présent article par Dror Zeiger. Il a notamment effectué les calculs pour le bâtiment d'AGC à Louvain-la-Neuve. Zeiger a acquis de l'expérience dans la construction parasismique en Israël. La zone la moins sensible correspond en matière de normalisation avec la région la plus critique chez nous, entre Liège et Charleroi.

### LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE EN BELGIQUE EST-ELLE NÉCESSAIRE ?

Lorsque l'on parle de séismes dans le contexte belge, il convient de remettre les choses en perspective. En comparaison du reste de l'Europe et du monde, la Belgique est un pays à faible risque. Notre pays est divisé en 4 zones sismiques. Seules quelques régions se trouvent en zone sismique 4, une zone dans laquelle les forces sismiques ne sont plus négligeables pour certains bâtiments et où les règles spécifiques de l'Eurocode 8 doivent être respectées. ►

## ► IS AARDBEVINGSBESTENDIG BOUWEN IN BELGIË NOODZAKELIJK ?

Wanneer we over aardbevingen spreken in Belgische context, is het belangrijk de zaken in proportie te zien. Vergeleken met de rest van Europa en de wereld, is België een laag-risicoland. Ons land is ingedeeld in 4 seismische zones. Slechts een aantal gebieden ligt in seismische zone 4, een zone waarin voor bepaalde gebouwen de aardbevingskrachten niet meer verwaarloosbaar zijn en de specifieke regels van Eurocode 8 gevolgd moeten worden. In seismische zone 2 kan doorgaans het ontwerp gebaseerd worden op Eurocode 2, eventueel aangevuld met enkele eenvoudige regels met betrekking tot aardbevingen.

**België wordt volgens Eurocode 8 ingedeeld in vier seismische zone**

Selon l'Eurocode 8, la Belgique est divisée en quatre zones sismiques

► Dans la zone sismique 2, la conception peut toujours être basée sur l'Eurocode 2, éventuellement complété par quelques règles simples relatives aux séismes.

Avec l'arrivée de l'Eurocode 8, la conscience autour de la construction parasismique s'est développée et ce mode de construction est appliqué de plus en plus. Il est notamment important pour les constructions dangereuses et essentielles, des bâtiments qui à des moments cruciaux peuvent jouer un très grand rôle. On pense aux installations nucléaires, aux hôtels de police et aux casernes de pompiers ainsi qu'aux hôpitaux. Le niveau de sismicité ne dépend donc pas seulement de la localisation, mais aussi de l'importance du bâtiment. La construction parasismique ne doit d'ailleurs pas forcément être plus.

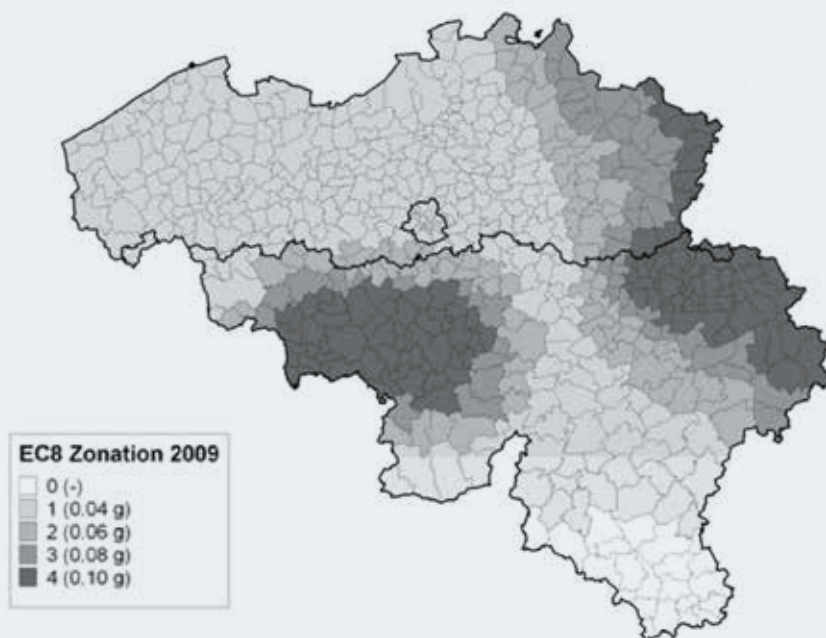
Door de komst van Eurocode 8 groeide het bewustzijn rond aardbevingsbestendig bouwen en wordt deze constructiewijze alsmaar meer toegepast. Ze is onder meer van belang bij gevaarlijke en belangrijke constructies, of gebouwen die op cruciale momenten een zeer grote rol kunnen spelen. Denk maar aan nucleaire installaties, politie- en brandweerkazernes en ziekenhuizen. De constructieve maatregelen die genomen moeten worden om aardbevingsbestendig te bouwen zijn dus niet alleen afhankelijk van de ligging, maar ook van het belang van het

gebouw. Seismisch bouwen hoeft trouwens niet per se duurder te zijn.

## WELKE KRACHTEN WERKEN TIJDENS EEN AARDBEVING IN OP EEN GEBOUW?

Om de noodzakelijke afmetingen van de structurelementen te bepalen, berekent men de krachten die worden veroorzaakt door de wind én door een mogelijke aardbeving. Een aardbeving is een accidentele situatie waarin andere veiligheidscoëfficiënten gelden dan bij windkracht. Ofwel één ofwel beide situaties kunnen bepalend zijn

PGA Belgique, EN 1998-1ANB 2011 ANB



## QUELLES SONT LES FORCES EXERCÉES SUR UN BÂTIMENT PENDANT UN SÉISME ?

Pour déterminer les dimensions nécessaires des éléments structurels, on calcule les forces qui sont générées par le vent ainsi que par un séisme potentiel. Un séisme est une situation accidentelle dans laquelle des coefficients de sécurité différents de la poussée du vent s'appliquent. Soit une seule soit les deux situations peuvent être déterminantes lors du calcul du bâtiment. Un exemple : l'hôtel

de police de Charleroi bénéficie d'une construction parasismique, comme le bâtiment d'AGC à Louvain-la-Neuve (cf. p35). Lors de la conception de l'hôtel de police, un séisme potentiel a été plus déterminant que pour le bâtiment d'AGC. L'hôtel de police est plus haut, mais sa forme s'avère très efficace contre le vent : la tour rétrécit à mesure qu'elle s'élève et est donc moins soumise à la poussée du vent. De ce fait, l'impact sismique est plus fort et donc plus déterminant pour le bâtiment. Il en va tout autrement par exemple pour un

bij de berekening van het gebouw. Een voorbeeld: de politiekazerne van Charleroi werd seismisch gebouwd, net als het gebouw AGC in Louvain-la-Neuve (zie p35). In het ontwerp van de politiekazerne was een mogelijke aardbeving meer bepalend dan voor AGC. De politiekazerne is hoger, maar de vorm ervan is heel efficiënt opgevat tegen de wind: de toren versmalt namelijk naar boven toe en zal dus minder vatbaar zijn voor de wind. Hierdoor weegt de seismische impact zwaarder door, waardoor ze dus meer bepalend zal zijn voor het gebouw. Dat ligt helemaal anders bij

bijvoorbeeld een (willekeurig) ellipsvormig gebouw. In de langse richting kan de windbelasting determinerend zijn, terwijl in de smalle richting de seismische belasting bepalend is.

### **HOE REAGEERT EEN GEBOUW OP SEISMISCHE KRACHTEN?**

Het vermogen van een gebouw om een aardshok op te vangen wordt bepaald door het 'dissipatievermogen', ofwel het vermogen om energie te verdelen en te absorberen. Men kan dit principe het best illustreren aan de hand van de ophanging van een wagen. Een

auto heeft een vering, maar daarnaast ook schokdempers. Wordt de auto naar beneden gedrukt – bijvoorbeeld bij het rijden over een berm – dan zal de auto slechts éénmaal terug veren. Hij zal niet blijven schommelen, dankzij de schokdempers. Die zorgen ervoor dat de energie vrijkomt en wordt omgezet in warmte.

Hetzelfde principe van dissipatie speelt ook in een gebouw tijdens een aardbeving. Veronderstel een gebouw van drie verdiepingen. De stijve kern geeft horizontale stijfheid aan het gebouw.



© VK ENGINEERING

bâtiment en forme d'ellipse (arbitraire). Longitudinalement, la poussée du vent peut être déterminante, tandis que dans le plan étroit, la charge sismique est déterminante.

### **COMMENT UN BÂTIMENT RÉAGIT-IL AUX FORCES SISMIQUES ?**

La capacité d'un bâtiment à résister à un séisme dépend de la puissance de «dissipation», à savoir la capacité de répartir et absorber l'énergie. On peut idéalement illustrer ce principe au moyen de la suspension d'une

voiture. Une voiture est équipée d'une suspension, mais aussi d'amortisseurs. Lorsque la voiture est poussée vers le bas – par exemple en roulant sur un accotement – l'amortissement ne sera compensé qu'une seule fois. Elle ne va pas continuer de rebondir, grâce aux amortisseurs. Ceux-ci veillent à ce que l'énergie soit libérée et transformée en chaleur.

Le principe de dissipation intervient aussi dans un bâtiment pendant un séisme. Supposons un immeuble

de trois niveaux. Le noyau rigide assure la rigidité horizontale du bâtiment. La masse du bâtiment est concentrée dans les planchers. Lors d'un séisme, le noyau et les planchers vont se mettre à trembler. À présent, la capacité de dissipation dépend de plusieurs facteurs. Lorsque des forces sont libérées sur une structure « nue », par exemple la Tour Eiffel, celle-ci va se mettre à vibrer et cela va durer un certain temps, jusqu'à ce que les forces aient été exercées.

► De massa van het gebouw is geconcentreerd in de vloeren. Tijdens een aardbeving zullen de kern en de vloeren aan het beven gaan. Het vermogen tot dissipatie nu, hangt van verschillende factoren af. Wanneer men op een 'naakte' staalstructuur – bijvoorbeeld de Eiffeltoren – krachten loslaat, zal die aan het trillen gaan en dat zal zo een tijdlang doorgaan, tot de krachten zijn uitgewerkt. Een andere, wél ingerichte staalstructuur – een gebouw voorzien van binnenmuren bijvoorbeeld – zal veel minder lang natrillen. De binnenmuren doen namelijk dienst als schokdempers. Ze zullen energie opnemen door de wrijving, waardoor de trilling sneller zal ophouden.

Een betonnen gebouw nu, beschikt over een hoger dissipatievermogen dan een stalen gebouw. Anderzijds zal de hogere massa van het beton tot hogere

laterale krachten leiden. De krachten die op een gebouw inwerken tijdens een aardbeving staan, los van de grondversnelling, in verhouding tot de massa en de stijfheid van het gebouw. Hoe stijver het gebouw, hoe groter de krachten die er op inwerken. Op die manier kan men spelen met het principe van dissipatie.

### **HOE FUNCTIONEERT DE DISSIPATIE BIJ BETONCONSTRUCTIES?**

Beton heeft een groot dissipatievermogen dankzij de scheuren die tijdens de schokken ontstaan. Een betonnen balk die belast wordt bijvoorbeeld, zal een zekere buiging vertonen. Wordt de last weggenomen, dan keert de balk terug naar zijn oorspronkelijke vorm.

Als men de belasting verder opvoert, zal het beton op een bepaald moment scheuren. De trekspanningen worden vanaf dat moment opgenomen door het staal in de balk. Pas als ook de treksterkte van het staal bereikt wordt, zal de balk bezwijken.

Een betonnen gebouw kan met andere woorden behoorlijk grote vervormingen aan tijdens een aardbeving. Het beton zal scheuren waardoor de energie van de aardbeving geabsorbeerd wordt door het gebouw. Dankzij deze dissipatie zal een betonnen gebouw bijna nooit instorten. Zelfs na zeer zware aardbevingen ziet men betonnen gebouwen met zéér verregaande vervormingen, die weliswaar afgebroken moeten worden, maar tijdens de beving bieden ze voldoende weerstand om de bewoners te beschermen.

### **COMMENT OPÈRE LA DISSIPATION POUR LES CONSTRUCTIONS EN BÉTON ?**

► Une autre structure en acier, aménagée quant à elle, un immeuble doté de murs intérieurs, par exemple, vibrera moins longtemps. Les murs intérieurs font notamment office d'amortisseurs. Ils vont absorber l'énergie par le frottement, de sorte que la vibration cessera plus rapidement.

Un immeuble en béton quant à lui dispose d'une capacité de dissipation supérieure à un bâtiment en acier. D'autre part, la masse supérieure du béton engendrera des forces latérales plus importantes. Les forces agissant sur un bâtiment pendant un séisme sont, indépendamment de l'accélération du sol, en rapport avec la masse et la rigidité du bâtiment. Plus le bâtiment est rigide, plus les forces exercées dessus sont grandes. Il est ainsi possible de jouer avec le principe de dissipation.

Le béton possède une grande capacité de dissipation grâce aux fissures engendrées durant les chocs. Une poutre en béton soumise à une force par exemple présentera un certain fléchissement. Lorsque la charge est retirée, la poutre reprend sa forme d'origine. Si l'on continue d'augmenter la charge, le béton va à un moment donné se fissurer. Les contraintes de traction sont alors prises en charge par l'acier dans la poutre. Ce n'est que lorsque la résistance maximale à la traction de l'acier est atteinte que la poutre s'affaîssera.

Autrement dit, un immeuble en béton peut subir des déformations considérables durant un séisme. Le béton se fissurera de sorte que l'énergie du séisme sera absorbée par le bâtiment. Grâce à cette dissipation, un immeuble en béton ne s'effondrera pratiquement jamais. Même après un

séisme, on voit ainsi des immeubles en béton présentant des déformations très importantes qui devront être démolis, certes, mais qui pendant le séisme auront offert une résistance suffisante à la protection des occupants.

Un point important est que les nœuds constructifs doivent être suffisamment robustes, de manière à absorber suffisamment d'énergie.

### **COMMENT CALCULE-T-ON UN BÂTIMENT PARASISMIQUE ?**

Contrairement au vent, un séisme n'est pas une force constante, mais une masse qui se met à vibrer. De ce fait, on devrait pouvoir effectuer un calcul dynamique, qui est nettement plus complexe qu'un calcul statique. L'Eurocode 8 fournit toutefois une solution permettant d'opérer simplement. L'Eurocode fournit une

Een belangrijk punt daarbij is, dat de bouwknoepen dermate versterkt moeten zijn, dat ook zij voldoende energie kunnen opnemen.

### HOE BEREKENT MEN EEN AARDBEVINGSBESTENDIG GEBOUW?

In tegenstelling tot de wind is een aardbeving geen constante kracht, maar een massa die begint te trillen. Hierdoor zou men in principe een dynamische berekening moeten uitvoeren, hetgeen een stuk gecompliceerder is dan een statische berekening. Eurocode 8 geeft echter een oplossing om hier eenvoudig mee om te gaan. De Eurocode biedt een methode aan om een aardbeving uit te drukken als een horizontale

kracht. Via de gedragsfactor kan het responspectrum bepaald worden. Voor België volstaat deze oplossing. In Japan daarentegen zal men voor belangrijke gebouwen wel een simulatie maken en dus een echte dynamische berekening uitvoeren.

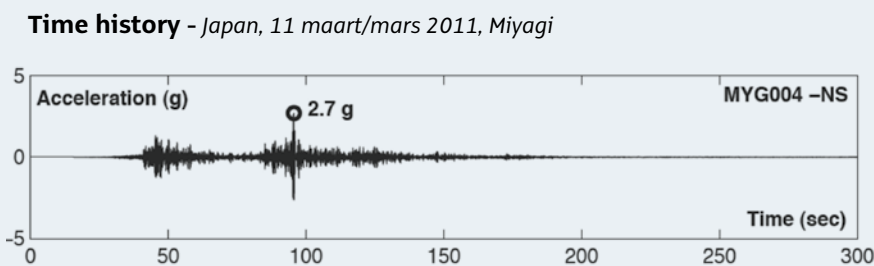
Voor een kolom in staal kan het volstaan om een klein I-profiel te plaatsen. In beton zal in dezelfde omstandigheden een veel massievere kolom nodig zijn. Enerzijds is dat negatief tijdens aardbevingen, omwille van het grotere gewicht. Anderzijds zal een betonnen structuur tijdens een aardbeving scheuren, waardoor de energie wordt geabsorbeerd en gedissipeerd. De scheuren die optreden

zullen veel groter zijn dan in normale belastingsgevallen.

Een belangrijk aspect bij aardbevingsbestendige betonconstructies is de overlapping van de wapening in de stabiliserende elementen. De stijve kernen in een gebouw zullen samen met de verdiepingsvloeren zorgen voor de horizontale stabiliteit. In de stijve kernen bijvoorbeeld zullen er wapeningsstaven overlopen van de ene verdieping naar de andere. De overlapping van deze wapeningsstaven moet voldoende zijn om de grote krachten over te dragen, zelfs in de volledig gescheurde toestand, wanneer de staven buiten hun elastisch gebied moeten werken.

Dat geldt niet voor de kolommen. Zij dragen namelijk meestal niet bij tot de horizontale stabiliteit. Hier is het belangrijk dat de wapeningsstaven niet kunnen uitknikken, zodat de kolommen niet zijdelings kunnen bezwijken. Zij moeten namelijk de verticale stabiliteit blijven garanderen (KDA, BHE).

*Deze basisprincipes werden toegepast in het gebouw van AGC Glass Europe, zie p 35.*



*In tegenstelling tot de wind is een aardbeving een dynamische kracht.*

*Contrairement au vent, un séisme est une force dynamique.*

méthode pour exprimer un séisme sous forme de force horizontale. Le spectre de réponse peut être calculé sur la base du coefficient de comportement. Pour la Belgique, cette solution suffit. Au Japon par contre, il faudra toutefois pour les bâtiments importants effectuer une simulation et donc exécuter un véritable calcul dynamique.

Pour une colonne en acier, l'installation d'un petit profil en I peut suffire. En béton, une colonne beaucoup plus massive sera nécessaire dans les mêmes circonstances, parce qu'une structure en béton est plus rigide et plus lourde. D'une part, cela influe négativement durant les séismes, d'autre part une

structure en béton durant un séisme va se fissurer, de sorte que l'énergie sera absorbée et dissipée. Les fissures qui surviennent seront beaucoup plus grandes qu'en cas de contraintes normales.

Un aspect important des constructions en béton parasismique est le chevauchement de l'armature dans les éléments de stabilisation. Les noyaux rigides d'un bâtiment assureront la stabilité horizontale avec les planchers des différents niveaux. Dans les noyaux rigides par exemple, les tiges d'armature se chevaucheront d'un étage à l'autre. Le chevauchement de ces tiges d'armature doit être suffisant pour transmettre

les grandes forces, même en état de fissuration complète, lorsque les tiges doivent opérer en dehors de leur domaine élastique.

Cela ne vaut pas pour les colonnes. Elles ne contribuent notamment pas à la stabilité horizontale. Il est important ici que les tiges d'armatures ne puissent pas se gauchir, de sorte que les colonnes ne puissent pas s'affaisser latéralement. Elles doivent notamment continuer de garantir la stabilité verticale (KDA, BHE).

*Ces principes de base ont été appliqués au bâtiment d'AGC Glass Europe, voir p.35*

# LTB

## LITHOBETON

Think Concrete!

We think concrete!  
[www.lithobeton.be](http://www.lithobeton.be)

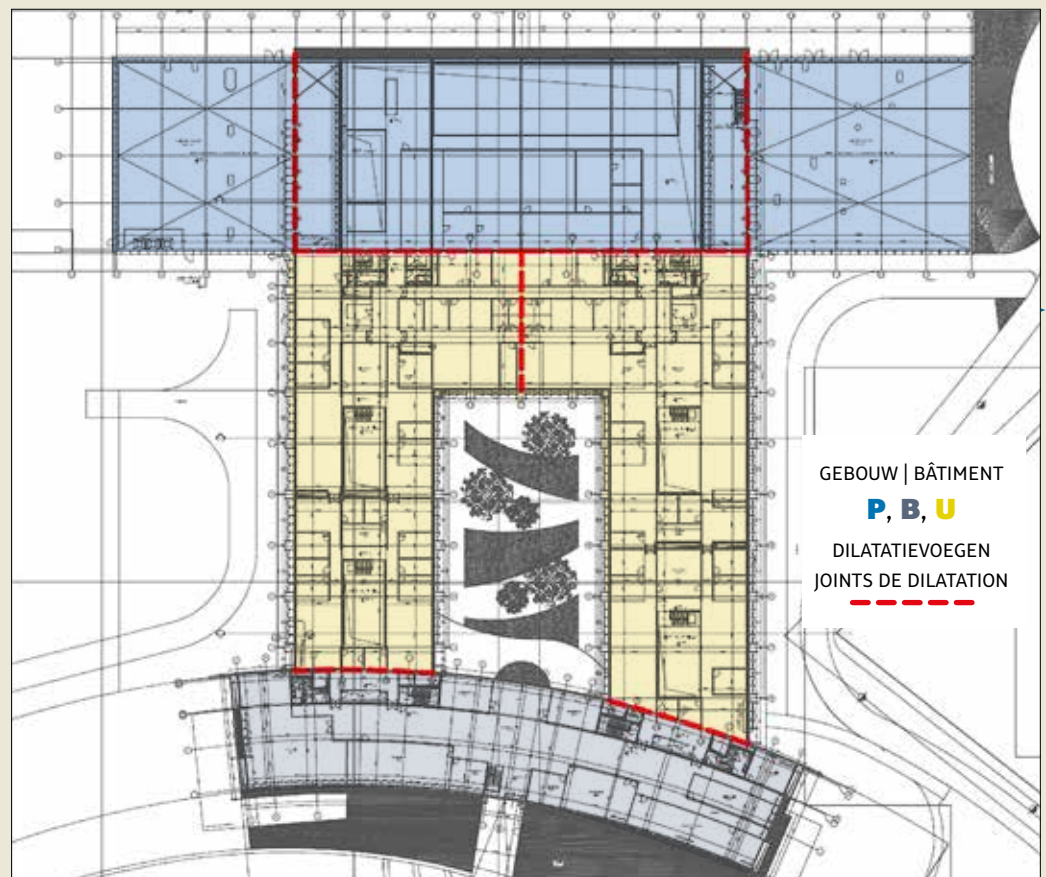


Meer informatie: [info@lithobeton.be](mailto:info@lithobeton.be) of +32 (0)59 27 60 60

## CASE: Anti-seismisch bouwen bij AGC Glass Europe (Louvain-la-Neuve)

Assar Architecten bouwden in 2014 het 'New Technovation Center' van AGC Glass Europe in Gosselies. Architecturaal is het ontwerp opgevat als één geheel. Bouwkundig werd het ingedeeld in verschillende eenheden, die van elkaar gescheiden zijn door dilatatievoegen. Elk gebouw is op zich bestand tegen windkracht en aardbevingen. Voor de verschillende eenheden werden uiteenlopende oplossingen gebruikt. Een klein overzicht. ►

*Overzicht van het gebouw  
en de verdeling via  
dilatatievoegen.  
Aperçu du bâtiment et de  
la répartition par par les  
joints de dilatation.*



## **cas: Construction parasismique chez AGC Glass Europe (Louvain-la-Neuve)**

En 2014, Assar Architects a construit le nouveau « Technovation Center » d'AGC Glass Europe à Gosselies. Sur le plan architectural, le projet est conçu comme un tout. D'un point de vue architectonique, il est divisé en plusieurs unités, séparées les unes des autres par des joints de dilatation. Chaque bâtiment est en soi résistant à la force du vent et aux tremblements de terre. Pour les différentes entités, des solutions diverses ont été utilisées. En voici un bref aperçu. ►

## GEBOUW B

### Oplossing via stijve kernen

In gebouw B fungeren de 4 lift- en trapschachten als stijve kernen. Ze werden uitgevoerd in dubbele wanden die verankerd zijn in de fundering. De diafragmawerking wordt verzekerd door de vloeren, opgebouwd uit holle vloerelementen. Ze zijn voorzien van een gewapende druklaag, die is verankerd in de stijve kernen. Zo worden de horizontale krachten opgenomen door de kernen. De kolommen werden zelf verankerd in de vloeren om de verticale stabiliteit tijdens een aardbeving te garanderen. Om torsieproblemen te vermijden koos men voor meerdere stijve kernen, die vrij ver uit elkaar staan.

## GEBOUW U

### Oplossing via schoring

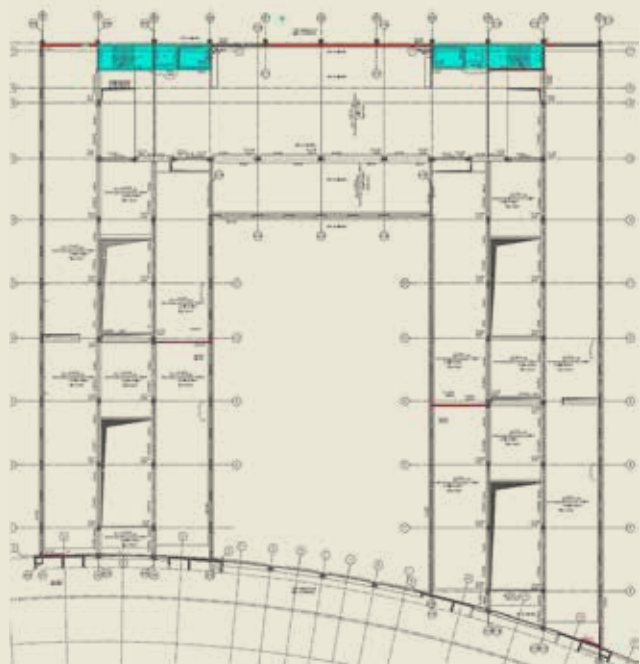
In gebouw U zijn de twee lift- en trapschachten niet voldoende om de horizontale stabiliteit te garanderen. Daarom werden op verschillende plaatsen ook stabiliserende betonwanden voorzien, verankerd in de fundering. Opvallend is dat deze wanden slechts in één richting voorzien werden. In de andere richting zijn extra stabiliserende elementen overbodig omdat de dilatatievoegen tussen gebouw U en B werden voorzien van glijdeuvels. Dit zijn constructieve verbindingsmiddelen die een beweging in één richting toelaten. Op die manier kunnen de dilatatievoegen 'sluiten' waardoor de horizontale krachten dwars op de stabiliserende betonwanden overgedragen worden naar de 4 stijve kernen van gebouw B.



## BÂTIMENT B

### Solution basée sur des noyaux rigides

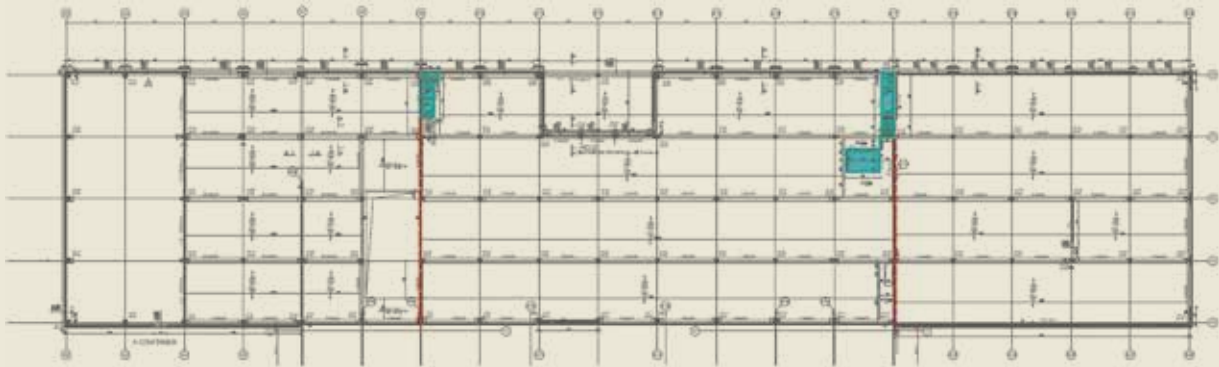
Dans le bâtiment B, les quatre cages d'ascenseurs et d'escaliers font office de noyaux rigides. Elles ont été réalisées dans des doubles parois ancrées dans les fondations. L'effet diaphragme est assuré par les planchers, composés d'éléments de plancher creux. Ceux-ci sont dotés d'une couche de solidarisation armée, fixée dans les noyaux rigides. Les forces horizontales sont ainsi absorbées par les noyaux. Les colonnes ont été elles-mêmes intégrées aux planchers dans le but de garantir la stabilité verticale en cas de tremblement de terre. Afin d'éviter tout problème de torsion, il a été opté pour plusieurs noyaux rigides, assez éloignés les uns des autres.





**GEBOUW P**

Gebouw P bestaat uit twee lage delen en een iets hoger centraal deel met een houten dak, waardoor dit gebouw lichter is. In de lage delen werden alle kolommen ingeklemd in de fundering om de horizontale stabiliteit te garanderen. Dit is dikwijls voldoende voor lage gebouwen. Voor het centrale deel werden stijve kernen en stabiliserende wanden voorzien. De horizontale krachten in de verdiepingvloer worden rechtstreeks afgedragen naar deze stijve kernen en wanden. Het houten dak werd geplaatst op doorlopende kolommen die uitkragen boven de verdiepingvloer. Op die manier worden de horizontale krachten in het dak overgedragen naar de stijve kernen en wanden en is de horizontale stabiliteit verzekerd.

**BÂTIMENT U****Solution basée sur des étauçons**

Dans le bâtiment U, les deux cages d'ascenseurs et d'escaliers ne sont pas suffisantes pour assurer la stabilité horizontale. Dès lors, des parois de stabilisation en béton ont été construites à différents endroits et ancrées dans les fondations. Étonnamment, ces parois ont été prévues dans une seule direction. Dans les autres directions, des éléments de stabilisation supplémentaires sont superflus, car les joints de dilatation entre les bâtiments U et B ont été complétés par des goujons coulissants. Il s'agit de dispositifs structurels de fixation limitant le mouvement à une seule direction. Les joints de dilatation peuvent ainsi « se fermer », de sorte que les forces horizontales qui traversent les parois de stabilisation en béton sont reportées sur les quatre noyaux rigides du bâtiment B.

**BÂTIMENT P**

Le bâtiment P est constitué de deux parties peu élevées et d'une partie centrale plus haute couverte d'un toit en bois, qui éclaire l'édifice. Dans les parties basses, toutes les colonnes sont implantées dans les fondations, afin de garantir la stabilité horizontale. Cette technique suffit souvent pour les bâtiments de faible hauteur. Concernant la partie centrale, elle est composée de noyaux rigides et de parois de stabilisation, vers lesquels les forces horizontales du plancher de l'étage sont directement transférées. Le toit en bois a été placé sur des colonnes continues en porte à faux au-dessus du plancher de l'étage. De cette manière, les forces horizontales exercées dans le toit sont répercutées sur les noyaux rigides et les parois, ce qui assure la stabilité horizontale.