



Beton in de Belgische Architectuur (4): André Paduart

# Baanbrekende schaalconstructies

*In het eerste artikel in deze reeks over betontoepassingen in de Belgische architectuur werd het (niet-gerealiseerde) ontwerp van constructeur Gustave Magnel en architect Léon Stynen voor de Toren der Televerbindingen op Expo 58 toegelicht. De moeilijke verhouding tussen constructeur en architect bracht Stynen er uiteindelijk toe om begin 1955 een tegenvoorstel in te dienen in samenwerking met constructeur André Paduart (1914-1985). Dit ontwerp van Stynen en “un jeune ingénieur peu expérimenté” was volgens Magnel echter niet acceptabel [1]. Toch had Paduart op dat moment al een beloftevolle carrière uitgebouwd als baanbrekend constructeur.*

Paduart behaalde zijn diploma als burgerlijk ingenieur bouwkunde aan de Université Libre de Bruxelles (ULB) in 1936 [2,3]. Op aanraden van Louis Baes, zijn mentor en professor aan de ULB, solliciteerde hij in 1937 bij het bureau SECO. Opgericht in 1934 op initiatief van Gustave Magnel en Eugène François, verifieerde dit ‘Contrôle Bureau voor de Veiligheid van het Bouwwezen’ de veiligheid van de uitvoering, het ontwerp en de berekening van ongewone, vernieuwende of omvangrijke constructies [4]. Paduart was bij SECO onder meer betrokken bij proefnemingen op de eerste constructies in voorgespannen beton in België, bijvoorbeeld Magnels spoorwegbrug over de Spiegelstraat in Brussel. Paduart werkte gedurende zeven jaar bij SECO.

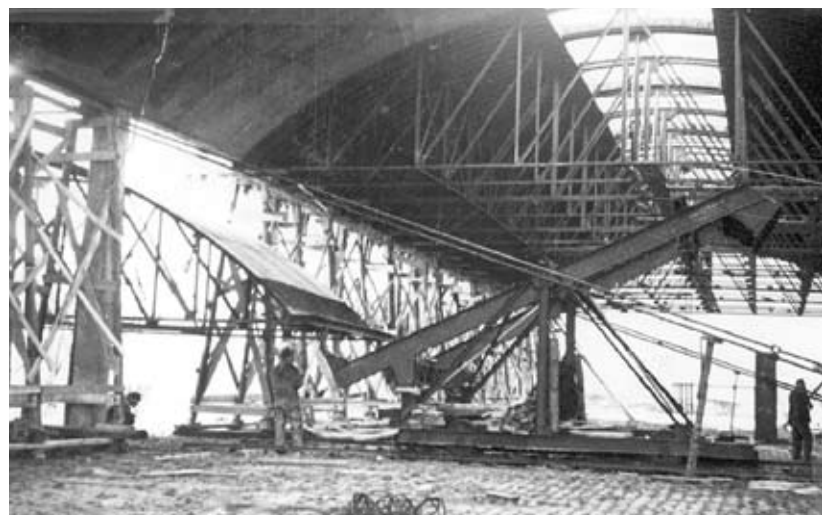
Deze introductie op nieuwe, baanbrekende constructiemethodes bleek van doorslaggevend belang voor het verdere verloop van zijn carrière. Als raadgevend en ontwerpend ingenieur, maar ook als professor ontwikkelde hij een voorliefde voor gedurfde, uitdagende constructies, in het bijzonder dunne schaalconstructies in beton. Dit nieuwe constructietype maakte opgang in de naoorlogse periode, niet alleen door de groeiende



2

waardering voor nieuwe vormen en constructies in beton, maar ook door de economische eigenschappen van schaalconstructies. Paduart legde zich zowel toe op de theoretische aspecten als op het ontwerp en uitvoering van schaalconstructies. Hij verwierf internationale erkenning als dé Belgische autoriteit op gebied van dunne schaalconstructies in beton [2,3].

<sup>1)</sup> Deze tekst sluit aan bij een lopend doctoraatsonderzoek 'Innoverende en Experimentele Betonconstructies in de Belgische Architectuur (1890-2000)' door Stephanie Van de Voorde. Het onderzoek wordt uitgevoerd aan de Vakgroep Architectuur & Stedenbouw, Universiteit Gent. Dit artikel is het laatste in een serie van vier. Het eerste artikel, over Gustave Magnel, verscheen in *Cement* 2008, nr. 5, het tweede, over Abraham Lipski, in *Cement* 2008 nr. 6 en het derde, over architectonisch beton, in *Cement* 2008 nr. 7.



3

### “Un exemple intéressant”

In 1944, wanneer de wederopbouw zich aandiende, verliet Paduart SECO en werd hij technisch directeur in het ingenieursbureau SETRA (Société d'Études et de Travaux). Dit bureau, onder leiding van Carlos Wets, specialiseerde zich in nieuwe constructies en originele uitvoeringsprincipes zoals voorgespannen beton en schaalconstructies. Eén van de eerste constructies die het technisch vernuft en de creativiteit van Paduart toonden, is een havenloods in Antwerpen (1948-1949, foto 2). Paduart en Wets beantwoordden de aanbesteding met twee eerdere conventionele ontwerpen voor een loods met skeletstructuur, maar ze voegden hier een derde, atypisch ontwerp aan toe, dat het uiteindelijk haalde van alle andere inzendingen. Ze stelden een

opeenvolging van 31 zelfdragende cilindrische schalen in gewapend beton voor, elk met een overspanning van 15 m en 60 m lang, met een maximale dikte van 120 mm.

Het repetitieve karakter, het beperkte aantal kolommen en de lage materiaal- en onderhoudskosten droegen sterk bij aan het economische karakter van het ontwerp. Dankzij een uitgekiend uitvoeringsontwerp slaagden Paduart en Wets er bovendien in om één van de belangrijkste nadelen van schaalconstructies, met name de hoge kostprijs van de gekromde bekistingselementen, om te zetten tot één van de troeven van hun ontwerp. Ze ontwierpen een systeem van mobiele bekistingselementen die per schaal werden hergebruikt.

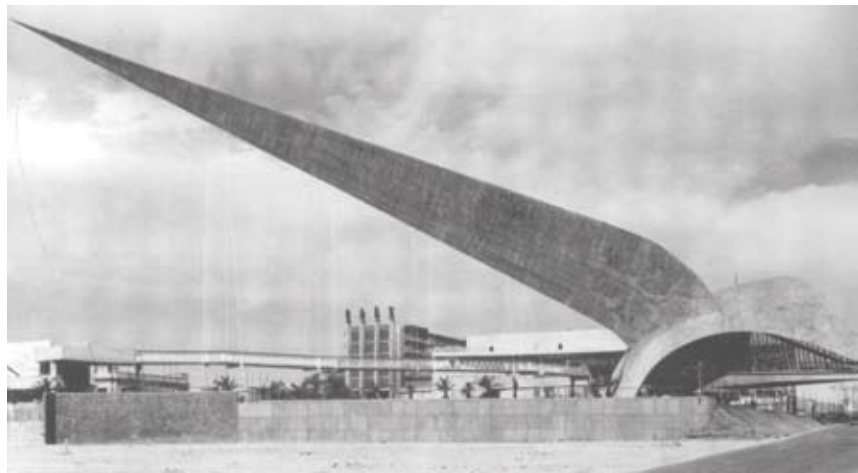
Door het progressieve karakter van het constructiesysteem moesten echter maatregelen worden getroffen om de stabiliteit van het geheel te verzekeren tijdens de constructie. Hiertoe ontwierp Paduart een systeem van tijdelijke, schuine trekstangen die het 'vrije uiteinde' van de schaal in opbouw ondersteunden.

4 De Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde [2]

6 Hippodroom in Groenendaal [2]

5 St.Ritakerk in Harelbeke

bron: coll. S. Van de Voorde



4

De constructie van één schaal, met inbegrip van het plaatsen en wegnemen van de bekisting (foto 3), nam gemiddeld één week in beslag. De economische voordelen werden nog benadrukt doordat dezelfde bekistingselementen nadien werden hergebruikt voor twee loodsen aan het Leopolddok (1950), elk opgebouwd met 17 identieke cilindrische betonschalen.

Het originele uitvoeringsprocédé maakte dat de loodsen ook internationaal bekendheid verwierven: de loodsen werden in detail besproken in het tijdschrift *Concrete Quarterly* [5]. De uiteenzetting van Paduart tijdens het ‘First International Symposium on Concrete Shell Roof Construction’ (Londen, 1952) kon op zeer veel waardering rekenen [6]. En in 1959 omschreef de bekende Franse ingenieur Nicolas Esquillan het constructieprocédé als “un exemple intéressant et bien conçu d’échafaudage roulant” [7].

### “Construire, c’est à la fois une science et un art”

De volgende jaren zou Paduart nog verschillende uitdagende constructies ontwerpen, eerst bij SETRA (tot 1954) en later in zijn eigen studie bureau SETESCO. Naast deze praktische carrière als ontwerper en als raadgevend ingenieur bleef hij zich ook toeleggen op de theoretische aspecten van de constructeurswetenschap, vooral met betrekking tot voorgespannen beton, schuifspanningen in gewapend beton en schaalconstructies. Deze drie voornaamste onderzoeksthema’s worden ook weerspiegeld in de actieve rol die hij opnam in de beroepsverenigingen ‘Fédération Internationale de la Précontrainte’ (FIP), ‘Comité Européen du Béton’ (CEB) en ‘International Association for Shell Structures’ (IASS). In deze laatste vereniging, opgericht in 1959 onder impuls van de Spaanse constructeur Eduardo Torroja, zou hij van 1971 tot 1980 de rol van voorzitter op zich nemen. Tot 1981 was Paduart ook actief betrokken bij het onderzoek en onderwijs aan de ULB: in 1946 behaalde hij zijn doctorstitel met een proefschrift over schuifspanningen in gewapend beton, in 1949 werd hij assistent en vijf jaar later hoogleraar, als opvolger van Louis Baes en Richard Deprets. Hij doceerde ondermeer de cursussen ‘Stabilité des Constructions’ en ‘Stabilité des Ponts’ en vanaf 1959 zou hij ook de eerste cursus in België over schaalconstructies in beton doceren. Deze cursus vormde de basis van de publicatie ‘L’introduction au calcul et à l’exécution des voiles minces en béton armé’ [8].

In dit boek, dat al snel een internationaal referentiewerk vormde en in 1966 ook naar het Engels werd vertaald, besteedde Paduart veel aandacht aan de vereenvoudiging van berekeningsmethodes. De destijds vaak complexe, analytische berekeningsmethodes betekenden immers een belangrijke hindernis voor de popularisering van schaalconstructies. Geheel in deze lijn nam Paduart in 1961 ook de organisatie van één van de eerste congressen van de IASS op zich, met als thema ‘Simplified calculation methods of Shell structures’. In zijn inauguratierede aan de ULB benadrukte Paduart dat construeren meer was dan de geschikte berekeningsmethode of het toepassen van de juiste veiligheidscoëfficiënten: economische overwegingen, het weldoordacht gebruik van nieuwe materialen en technieken en esthetische aspecten waren minstens even belangrijk. Paduart hield tijdens zijn lessen, op internationale symposia en in publicaties, vast aan het drievoudige ontwerp-principe ‘Force, Sagesse, Beauté’, en hij hanteerde dit ook in zijn eigen ontwerp-praktijk. Voor Paduart was bouwen niet alleen een wetenschap, maar ook een kunst [9].

### Synergie tussen constructie en architectuur

Vanaf de tweede helft van de jaren ‘50, ongeveer gelijktijdig met de oprichting van het ingenieursbureau SETESCO, besteedde Paduart meer aandacht aan de architectonische aspecten van zijn ontwerpen. In de Antwerpse havenloodsen, en ook nog in de dertien vliegtuighangars die hij in 1950-1952 realiseerde in Chièvres, Bevekom en Koksijde, lag de nadruk op het utilitaire karakter van de constructie. Nadien, met de Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde op Expo 58 als opvallende overgang [10] (foto 4), zou Paduart bijna steeds samenwerken met architecten en kwam de nadruk vaak op het vormelijke aspect te liggen, naast economische en constructieve overwegingen.

De Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde is wellicht één van de meest gedurfde constructies waarvoor Paduart verantwoordelijk was. Samen met architect Jean Van Doosselaere en beeldhouwer Jacques Moeschal had Paduart het ontwerp opgevat als een demonstratie van de “overwinning van de Burgerlijke Bouwkunde op de Natuur” [11]. De constructie bestond uit de Pijl zelf – een uitkragende, spits toelopende, 80 m lange balk in gewapend beton, met een doorsnede in de vorm van een omge-

keerde letter A – en een ‘hangende’ tentoonstellingszaal, die met een dunne koepel in gewapend beton werd overdekt. Het geheel werd in evenwicht gehouden door een centrale driepikkel. Naast de symbolische functie, fungeerde de Pijl als draagconstructie voor een opgehangen passerelle van bijna 60 m lang, die de bezoekers van Expo 58 vanaf 5 m hoogte een vogelperspectief bood op een in reliëf uitgevoerde landkaart, waarop de noemenswaardige projecten van de Burgerlijke Bouwkunde in maquette waren weergegeven. De technische bravoure die de ontwerpers aan de dag legden, vooral met betrekking tot de uitvoering van deze spraakmakende constructie, werd in 1962 door het American Concrete Institute bekroond met de Construction Practice Award.

De Pijl, gesloopt in 1970, kan worden beschouwd als een zeer specifieke toepassing van een algemeen ontwerpprincipe met betrekking tot schaalconstructies: gezien de minimale wanddikte (van 40 tot 120 mm), was het vooral de specifieke, geplooided vorm die – samen met enkele verstijvingsribben – de Pijl voldoende stijfheid verleende.



5

In de hippodroom in Groenendaal (i.s.m. CERAU, 1978-1985, foto 6) paste Paduart hetzelfde principe toe: een meervoudig geplooided, uitkragende plaat in gewapend beton vormt het dak van de hippodroom en de overdekte tribune. Ook in de St.Ritakerk in Harelbeke (i.s.m. Léon Stynen, 1962-1966, foto 5) paste Paduart een geplooided schaalconstructie toe, ditmaal om de wanden van de kerk, in de vorm van een afgeknotte piramide met zeshoekig grondplan, te construeren.



6

7 Het stedelijk sportcomplex in Genk, tijdens de renovatiewerken in 2005-2008

bron: coll. S. Van de Voorde

8 Renaultgarage in Anderlecht

bron: coll. J. Schiffmann

9 Luifel van het Instituut de Sociologie in Brussel

bron: coll. M. Beernaert

10 Private woning in Terhulpen

bron: coll. J.-M. Huberty

## Hypar

Een ander constructietype waartoe Paduart meermaals zijn toevlucht nam, is de hyperbolische paraboloid of hypar. De elegante verschijningsvorm, de optimale constructieve eigenschappen en de veelzijdige toepassingsmogelijkheden van de hypar worden geïllustreerd met het stedelijk sportcomplex in Genk (i.s.m. Isia Isgour en Henri Montois, 1964-1977, foto 7), de Renaultgarage in Anderlecht (i.s.m. Albert De Doncker, foto 8), de luifel van het Instituut de Sociologie van de ULB in Brussel (i.s.m. Robert Puttemans, 1966, foto 9) en de eigen woning van Huberty in Terhulpen (i.s.m. Jean-Marie Huberty en Jacques Gillet, 1961-1964, foto 1 en 10). Elk van deze constructies is opgebouwd als een aaneenschakeling van verschillende hypars.

De woning Huberty is het resultaat van een eenmalige samenwerking tussen ir. Huberty (verantwoordelijk voor het algemene ontwerp), Gillet (adviserend architect) en Paduart (verantwoordelijk voor het ontwerp van de experimentele dakconstructie). De woning, waarvan zowel de wanden als het

## Hyparschaal

Een hypar is een kwadratisch oppervlak in de vorm van een zadel, dat ontstaat door de translatie van twee parabolen met tegengestelde kromming. Een hypar is echter ook een dubbel regeloppervlak: het kan worden beschreven met twee reeksen onderling evenwijdige rechten. Deze geometrische eigenschap maakt de hypar bijzonder interessant om toe te passen in de architectuur: de bekisting van een hypar in beton kan immers worden opgebouwd met rechte, houten planken. Ook het spanningsverloop is relatief eenvoudig: de hoofdrichtingen van de druk- en trekspanningen stemmen overeen met de richtingen van de twee genererende parabolen. De spanningen zijn uniform verdeeld over de dikte van de schaal, wat een optimaal materiaalgebruik toelaat.





8

dak zijn opgebouwd uit beton, is een voorbeeld van de weinige toepassingen van schaalconstructies in private woningbouw. De woning heeft een rechthoekig grondplan (ongeveer 20 x 10 m) en wordt overdekt door twee hypars met ongelijke oppervlakte. Op de snijlijn van beide hypars leidt een balk met veranderlijke doorsnede de belastingen af naar een grote steunbeer in beton, achteraan de woning. In de experimentele dakconstructie, amper 50 mm dik, werden de constructieve en expressieve mogelijkheden van de hypar optimaal benut. Maar dit neemt niet weg dat de woning relatief onbekend is: in publicaties van en over Paduart wordt slechts zelden verwezen naar deze constructie. Onlangs werd, in samenwerking met irs. Robby Caspeele en Pieter Desnerck (Labo Magnel, UGent), een controleberekening van de dakconstructie uitgevoerd met behulp van recente berekeningsmethodes en computersoftware. Het resultaat verschilde slechts in beperkte mate van de vereenvoudigde berekeningen die Paduart in 1961 voorstelde.

### Bloeiperiode

Paduart was zonder meer de sleutelfiguur in de ontwikkeling en popularisering van betonnen schaalconstructies in België. Hij was echter niet de enige die in de loop van de jaren '50 en '60 schaalconstructies realiseerde in België, getuige hiervan de paddestoelvormige vliegtuighangars in Grimbergen (Alfred Hardy), de vliegtuighangars in Melsbroek (H.C. Duyster), het Philipspaviljoen op Expo 58 (Le Corbusier i.s.m. Duyster), Brasserie Codibra in Ghlin (STUP), de IPAN-werkplaatsen in Oostende (Walter Bresseleers), de Volkswagengarage in Brussel (Claude Laurens i.s.m. Duyster), het zwembad Longchamp in Ukkel (Charles De Meuter, Jean Koning i.s.m. René Sarger). Geen andere constructeur of ontwerper realiseerde echter zo'n veelzijdig en omvangrijk oeuvre in België. De carrière van Paduart viel overigens ongeveer samen met de bloeiperiode van schaalconstructies: vanaf het einde van de jaren '70 werden steeds minder schaalconstructies ontworpen, omdat het stijgende arbeidsloon en veranderingen in de markteconomie er toe leidden dat schaalconstructies financieel niet meer concurrerend waren met bijvoorbeeld geprefabriceerd beton. ☒



9



10

### LITERATUUR

- Briefwisseling tussen Gustave Magnel en Léon Stynen, d.d. 8 maart 1955. (Architectuurarchief Provincie Antwerpen, Fonds Léon Stynen, Dossier Heizeltoren.)
- Schiffmann, J. et al., André Paduart: un hommage. 45 ans SETESCO 1957-2002. Brussel, Setesco, 2002.
- Espion, B., P. Halleux & J. Schiffmann, Contributions of André Paduart to the art of thin concrete shell vaulting. In: Proceedings of the First International Congress on Construction History. Madrid, 2004.
- La Grange, G., Prof. Ir. G. Magnel en Seco. In: Honderdste verjaardag van de geboorte van Professor Gustave Magnel. Gent, 1989.
- Shell roofing in Antwerp docks. *Concrete Quarterly*, 1950, jg. 4, nr. 9.
- Paduart, A., Construction of self-supporting concrete vaults in Antwerp. In: Proceedings of a Symposium on Concrete Shell Roof Construction (London, 1952). London, Cement & Concrete Association, 1954.
- Esquillan, N., General report of the Colloquium on Non Traditional Processes of Shell Structures (Madrid, 1959). *Bulletin of the international Association for Shell Structures*, 1960, nr. 1.
- Paduart, A., L'introduction au calcul et à l'exécution des voiles minces en béton armé. Paris, Eyrolles, 1961.
- Paduart, A., Construire, c'est à la fois une science et un art (Leçon inaugurale à l'ULB le 13 octobre 1954). *Revue Générale des Sciences Appliquées*, 1954, nr. 4.
- Nuytten, D., De Pijl op Expo 58. *Monumenten, Landschappen en Archeologie*, 2008, jg. 27, nr. 4.
- Espion, B., R. Devos & M. Provost, Lichtgewichten. Structuurinnovaties op Expo 58. In: *Moderne architectuur op Expo 58*. Brussel, Mercatorfonds, 2006.