

ENTRE MURS

HABITATION EN BÉTON APPARENT AUTO-COMPACTANT

ARCHITECTURE | JANVIER 2009

82	(2-)	Ef2	(V6)
----	------	-----	------

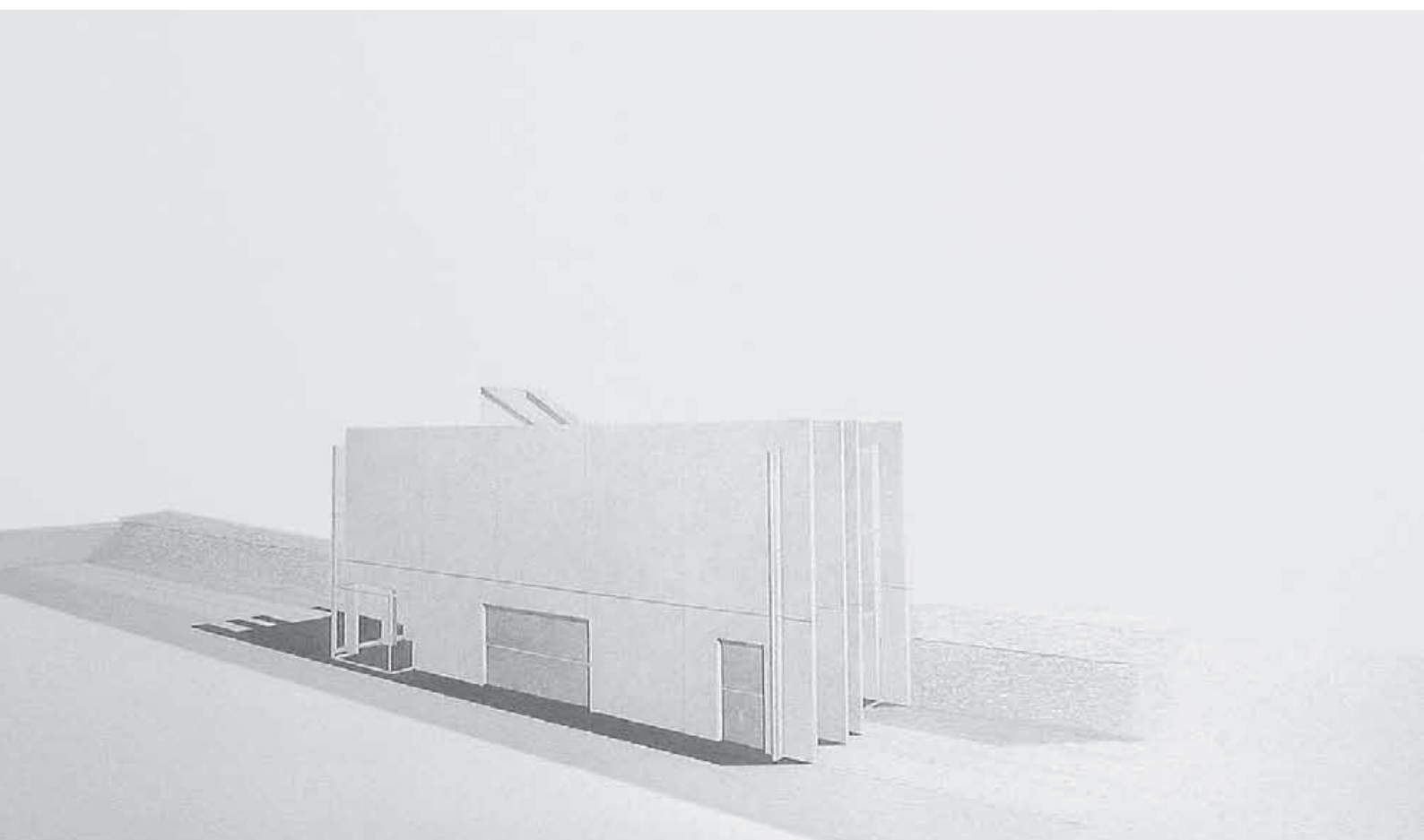
BB/SfB

- ARCHITECTURE
- CONCEPT STRUCTURAL
- LE CHOIX DU BÉTON AUTO-COMPACTANT
- ASPECTS PROPRES AU BÉTON









Le long d'une route de campagne, à la lisière d'un lotissement ordinaire et à proximité d'un paysage de polders plat, se dresse une maison qui, en raison de sa structure simple et de l'utilisation du béton, attire le regard. Le visiteur de passage ne se doutera pas que l'érection de cette maison a été précédée d'un long processus de construction, doublé d'une étude approfondie, et que de divers défis techniques ont été relevés.

Dès le départ, le béton apparent s'est imposé comme le matériau approprié pour concrétiser ce projet. Toutefois, une exécution en béton classique, coulé sur place, impliquait de nombreux risques. Le maître d'ouvrage, l'architecte et l'ingénieur ont dès lors décidé en 2001 d'opter pour un nouveau type de béton, très prometteur : le béton auto-compactant. Une collaboration passionnante et unique a ensuite débuté. L'expérience acquise par les partenaires avec du béton auto-compactant était réduite. Malgré cela, le défi fut relevé avec beaucoup d'enthousiasme et de ténacité.

1
Esquisse au crayon.

2
L'entrée de la maison se fait latéralement.

3
Vue frontale. Quatre murs parallèles semblent avoir été « coulissés » dans la parcelle.



2



3



4



5



6

Approchant de l'âge de la retraite, les donneurs d'ordre avaient décidé de faire bâtir une nouvelle maison. Au terme d'une riche carrière, ils souhaitaient ériger un havre de paix, dans lequel leur collection d'art – accumulée au fil des années – pourrait trouver sa place. Ils chargèrent donc l'architecte de compacter les fonctions de logement utilitaires et d'axer essentiellement le projet et l'espace disponible sur les lieux de vie. Pour le reste, les maîtres d'ouvrage ne posèrent aucun autre a priori et donnèrent carte blanche à l'architecte pour l'élaboration du projet.

Les propositions de conception ont été examinées de manière critique, mais avec un esprit ouvert. Grâce à des illustrations de référence et à la visite d'immeubles de référence, le projet et sa mise en œuvre furent rapidement avalisés.

La parcelle de terrain rectangulaire et plate est implantée dans un lotissement. D'un côté, cette parcelle borde un paysage de polders avec, dans le lointain, des éoliennes et, à l'horizon, l'autoroute Ostende-Furnes.

Le projet retenu pour cette maison se compose essentiellement de quatre murs parallèles, entre lesquels sont agencés les différents espaces. Via des éléments linéaires en béton, qui sont aménagés comme des voies ferrées dans le jardin de gravier, les murs semblent avoir été « coulissés » dans la parcelle.



7

4 et 5
(pages précédentes)
Façade avant et arrière.

6 et 7
Les mêmes
ouvertures pratiquées
systématiquement
dans les murs
parallèles créent des
espaces transversaux,
perpendiculaires
à la principale
direction. L'espace
d'entrée débouche
sur l'espace de vie.



8

Deux parois vitrées découpent les murs sur les pignons avant et arrière. Le paysage et l'espace de vie se confondent.

A l'intérieur, la vie s'organise entre des murs parallèles. Par le biais d'ouvertures répétitives et uniformes pratiquées dans les différents murs, des espaces transversaux sont également créés.

L'espace de vie est entièrement aménagé entre deux murs. D'une longueur de 23 m, d'une hauteur de 7,20 m et d'une largeur de 5 m, ce bâtiment affiche des dimensions muséales. Dans cet espace à deux niveaux sont accrochés deux planchers, sur lesquels sont agencées la bibliothèque et la chambre à coucher. Un élément sculptural, sous la forme d'une lame en béton d'une longueur de treize mètres, suspendue en porte-à-faux quelques centimètres au-dessus du plancher de la bibliothèque, est aménagé au centre de cet espace à deux niveaux. La lumière zénithale éclaire le mur. Le jeu entre les surfaces de béton, la pénétration de la lumière du jour et les relations spatiales génère la création d'un espace kaléidoscopique qui relie la bibliothèque, la chambre à coucher et l'espace de vie par le biais de percées diagonales et offre à l'occupant une superbe perspective sur le paysage omniprésent. Du côté ouest du bâtiment, les fonctions utilitaires du rez-de-chaussée et de l'étage sont regroupées pour former un bloc utilitaire unique.



9

8 et 9

La bibliothèque est « suspendue » dans l'espace de vie à deux niveaux et est également orientée sur le paysage. Un mur suspendu flotte au-dessus du plancher de la bibliothèque, sans le toucher.



10



11

Le choix des différents matériaux – verre, acier et béton – découle du projet proprement dit ; les murs solides et monolithiques, dessinés comme des traits dans le paysage, exigent un matériau susceptible de concrétiser ce caractère. Les seuls matériaux susceptibles d'entrer en ligne de compte sont la pierre naturelle massive, insérée dans de grands éléments de construction, ou le béton apparent coulé sur place.

C'est cette dernière solution qui a été préférée. En effet, en cas de mise en œuvre appropriée, ce matériau permet aux ouvrages d'art de donner la pleine mesure de leurs propriétés. La couleur grise du béton sans joints n'entre pas en conflit avec les couleurs et les textures des ouvrages d'art. Le béton et le subtil tracé du coffrage en métal sont relégués au second plan.

Afin de renforcer la relation entre l'intérieur et l'extérieur de la maison, la finition intérieure et les murs extérieurs ont été réalisés en béton.

D'aucuns pourraient penser que l'association entre la structure simple et rigide et la matérialisation sobre, caractérisée par de nombreuses touches grises (béton, menuiserie en acier gris foncé, verre, jardin en gravier,...) est froide. Toutefois, le puits de lumière, le jeu des espaces, les perspectives et le béton gris clair créent un cadre apaisant. Les abords calmes et l'aménagement bigarré du maître d'ouvrage font en outre de cette habitation un agréable lieu de séjour.

10 et 11

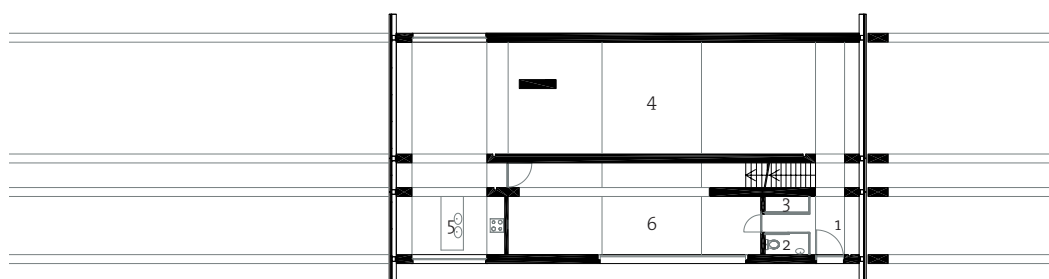
Perspective depuis l'espace de vie sur la grande chambre à coucher à l'arrière. Des vues en diagonale au départ de l'espace de vie relient les locaux entre eux.

12 et 13

Plans. Quatre murs parallèles sont conçus comme autant de traits dans le paysage.

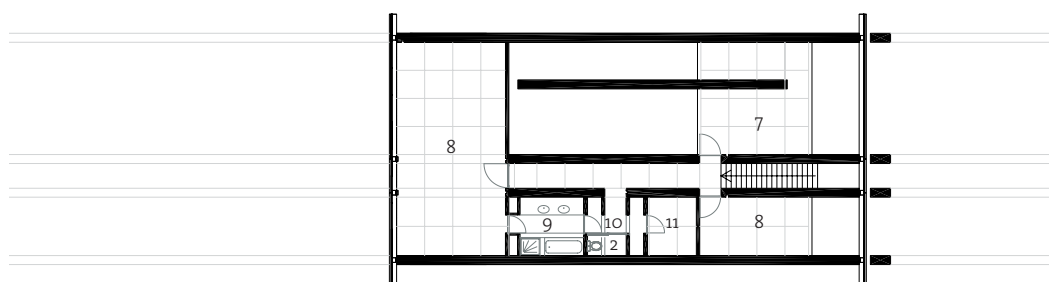
14

Perspective depuis l'espace de vie sur la cuisine. Un espace de biais est créé en prévoyant, au travers des murs, les mêmes ouvertures au même endroit.



- 1 entrée
- 2 wc
- 3 vestiaire
- 4 espace de vie
- 5 cuisine
- 6 garage
- 7 bibliothèque
- 8 chambre
- 9 salle de bain
- 10 sas
- 11 remise

12



13



14

CONCEPT STRUCTURAL

Les premières esquisses ont été rapidement suivies par l'élaboration d'un modèle structural définitif, composé de quatre murs parallèles de 23 mètres de longueur et de 40 cm d'épaisseur. Un cinquième mur libre « flotte » entre les quatre précédents.

et de l'étage qui les liaisonnent aux deux murs intérieurs. Quelques parois transversales, de plus petites dimensions, sont aménagées dans la zone utilitaire (garage, salle de bain, remise). Pour des raisons de coût, plusieurs d'entre elles ont été réalisées en maçonnerie.

15 et 16

Vue sur la barre de précontrainte placée dans le coffrage du mur suspendu.

17

Vue sur la toiture où est intégrée la barre.

18

L'extrémité du mur flottera au-dessus du plancher de la bibliothèque.

La structure porteuse verticale est de conception simple. Deux murs extérieurs dédoublés et deux murs intérieurs supportent les planchers. Le cinquième mur libre, qui n'a pas de fonction portante, transperce la toiture. Quelques ouvertures destinées aux fenêtres, aux portes et à la porte du garage sont pratiquées dans les deux murs extérieurs. Il s'agit pour l'essentiel de parois fermées.

L'équilibre horizontal et transversal des quatre murs principaux est obtenu en encastrant les deux parois centrales dans la dalle du sol et la dalle de la cave. La stabilité des parois extérieures est assurée par les dalles de toiture

Après une série de calculs, un mur de séparation entre la grande chambre à coucher et l'espace de vie, qui assurait initialement la stabilité transversale du bâtiment, a été remplacée par une paroi vitrée. Le coffrage de cette paroi en béton aurait en effet été très malaisé, en raison de la présence d'un vide sur un côté. La suppression du mur en béton a en outre généré une plus-value spatiale : en effet, une perspective supplémentaire sur le paysage s'ouvre depuis la chambre à coucher et une vue en diagonale sur l'espace de vie a de ce fait été créée.

L'imposant mur flottant dans l'espace de vie est une paroi reposant, à une extrémité, sur une colonne relativement élancée et planant à l'autre au-dessus du sol de la bibliothèque. En réalité, cette paroi de treize mètres est ancrée à l'aide d'une barre de précontrainte dans la toiture, en s'inspirant d'une technique utilisée dans la construction de ponts. Cette barre est ancrée dans la partie supérieure du mur et suspend l'ensemble à la toiture. La seule trace visible de cette technique est un caisson entre le mur suspendu et la toiture. Pour des questions de sécurité incendie, la barre a dû être enrobée de matériau isolant et d'un caisson et enduite de peinture intumescente. Deux fines barres en acier inoxydable dans la partie supérieure du mur empêchent les oscillations latérales.



15



16



17



18



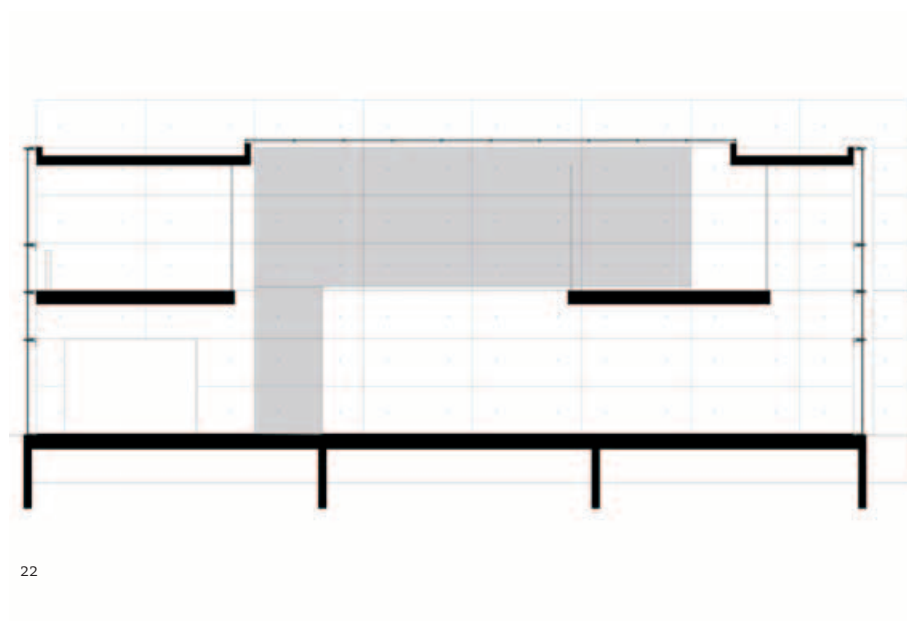
19



20



21



22

19

Le mur suspendu est décoffré.
Les planchers et la toiture
doivent encore être coulés.

20

Le coffrage des planchers est placé.
La barre de précontrainte fait saillie dans
la partie supérieure du mur suspendu et
sera ultérieurement reliée à la toiture.

21

Le mur suspendu parachevé flotte
quelques centimètres au-dessus
du plancher de l'espace réservé à la
bibliothèque. La lumière zénithale
éclaire ce mur et pénètre dans l'espace
de vie et dans la bibliothèque.

22

Coupe entre deux murs avec vue
sur le mur suspendu (gris). Le mur
repose d'une part sur une lourde
colonne et fait d'autre part saillie
sur une distance de treize mètres.



23



24



25



26

23

La structure en acier de la façade avant en construction.

24 et 25

Des supports en acier ancrent la structure métallique aux murs de béton.

26

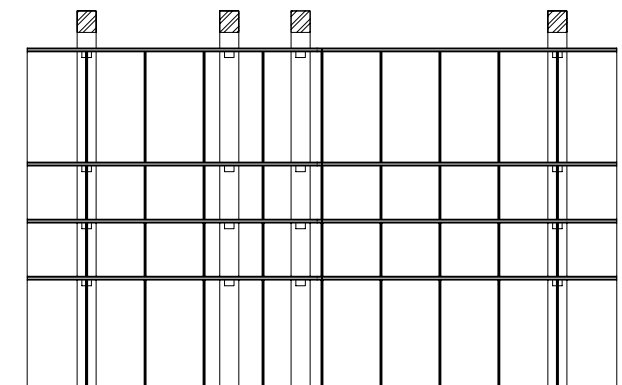
Les baies vitrées achevées.

27 et 28

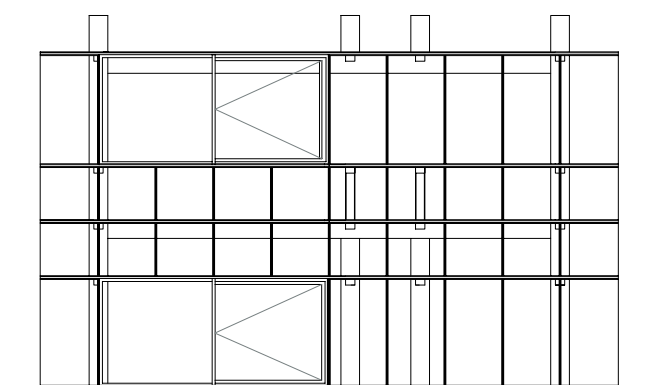
La façade avant et la façade arrière.

Des lattes d'acier horizontales supportent le vitrage structurel. Deux fenêtres coulissantes en acier sont prévues dans la façade arrière.

Les deux murs pignons sont entièrement vitrés. Le verre est directement monté sur des poutres en acier, qui sont composées de trois plats métalliques massifs. Elles sont ancrées par le biais de consoles métalliques aux extrémités des murs en béton. Aux endroits où les murs n'arrivent pas jusqu'à la paroi vitrée, les consoles métalliques sont « prolongées » jusqu'au sol (grande chambre à coucher / façade arrière). Les panneaux vitrés d'une largeur de 120 cm et d'une hauteur de 120/240 cm sont placés côte à côte sur les poutres d'acier et munis de joints structuraux. Deux fenêtres coulissantes en acier sont prévues dans la façade arrière.



27



28

LE CHOIX DU BÉTON AUTO-COMPACTANT

Comme il a déjà été précisé ci-dessus, le béton a été choisi par les partenaires de ce projet. La force créatrice d'espace émanant des surfaces droites et monolithiques, justifie ce choix parfaitement.

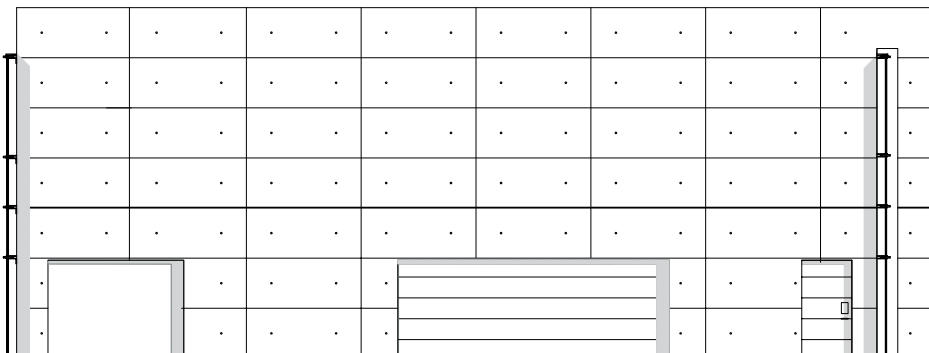
Cependant la qualité escomptée du béton était à ce point élevée que la mise en œuvre du béton vibré ordinaire était assortie de très nombreux risques. Bien que la forme du coffrage fût très simple, la réalisation des murs était cependant très complexe. Il importe, en effet, de garantir la continuité du matériau des murs extérieurs vers l'intérieur, afin que chaque mur apparaisse comme un ensemble architectural massif. Des contraintes thermiques imposent en outre le dédoublement des murs extérieurs. Avec une épaisseur de 17 cm seulement, le coulage d'un béton classique serait extrêmement risqué, de par le danger d'erreurs éventuelles de vibration (nids de gravier, bulles d'air,...). En outre, les murs de 8,40 m de haut de ce projet devraient être coulés en 2 phases, ce qui induirait des différences de teinte.

L'idée a dès lors germé d'employer une nouvelle technique de béton provenant du Japon – le béton auto-compactant. L'entérinement du choix du béton auto-compactant a donné le coup d'envoi d'un long processus fait

d'innombrables réunions entre l'architecte et l'ingénieur, souvent en présence de différents spécialistes. Le coffrage, les huiles de décoffrage, les reprises de bétonnage, les compositions du béton,... ont ensuite fait l'objet d'une intense concertation. La volonté exprimée par un entrepreneur de se spécialiser dans ce matériau a été un élément décisif dans le choix définitif du béton auto-compactant. Au cours de la période de préparation, plusieurs murs d'essai ont été coulés, dont un en grandeur nature (8,40 m).

Outre les modalités techniques, d'importantes propriétés visuelles ont bien évidemment été prises en compte. L'aspect extérieur du béton auto-compactant est de toute évidence différent de celui du béton vibré. Etant donné que le coffrage se dessine de manière nettement plus marquée sur la peau du béton, l'habituelle texture de ce matériau sera quelque peu perdue. C'est ainsi que l'aspect du béton auto-compactant est nettement plus plan et plus égal en cas de coffrage lisse que celui du béton coulé en place de façon classique. Les imperfections se manifestent cependant de manière plus prononcée avec le béton auto-compactant. En définitive, les intervenants ont décidé que la texture et la « matérialité » du béton auto-compactant étaient souhaitables.

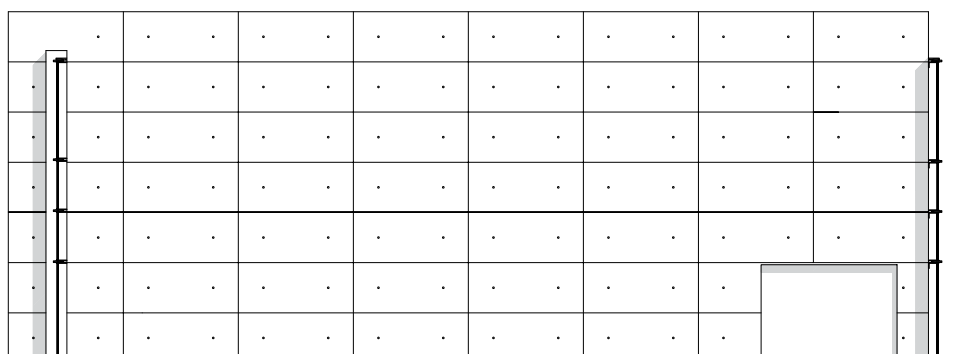
29



29 et 30

Façades latérales.

30





31



32



33



34



35

ASPECTS PROPRES AU BÉTON

COFFRAGE

Après le choix du béton auto-compactant, l'utilisation d'un coffrage en acier s'est imposée d'elle-même. L'emploi de panneaux de coffrage métallique permet en effet d'obtenir un parement de béton extrêmement lisse, avec des joints minces et parfaitement réalisés, ainsi que des bords et des arêtes droits et nets. La longévité de ce coffrage solide est élevée et son usure faible. Les panneaux peuvent souvent être réutilisés sans porter atteinte à la qualité de la surface du béton. En cas d'utilisation d'un tel béton liquide, le coffrage doit être étanche. Les raccords entre les coffrages intérieurs en bétonplex destinés, par exemple, aux percements et aux autres réservations dans le béton et le coffrage métallique doivent être étanchéifiés (au moyen de silicones).

Les dimensions des panneaux de coffrage utilisés sont de 2,40 m sur 2,40 m et se composent d'un châssis de tubes métalliques et de deux tôles d'acier de 1,20 m sur 2,40 m, d'une épaisseur de 5 mm. Tous les panneaux sont munis de 4 trous de tirants qui, en combinaison avec les autres panneaux, sont toujours placés à équidistance l'un par rapport à l'autre. Les dimensions des murs sont adaptées au module des panneaux – et non l'inverse. Seuls des panneaux complets sont utilisés. Les joints de coffrage ont été repris sur faces transversales des murs.

Dans le cadre de ce projet et grâce à l'utilisation du béton auto-compactant, la hauteur de chute maximale habituelle – de l'ordre de 5 m en cas de béton classique coulé sur place – a été portée à 8,40 m, soit la hauteur totale du mur. Le coulage du béton en une seule phase a permis d'éviter de nombreux risques inhérents aux différences de ton et aux raccords de reprise. En outre, pour l'entrepreneur, cette option s'est également avérée plus économique. Les résultats des calculs ont fait apparaître que, dans la rangée inférieure des panneaux, deux tirants supplémentaires par panneau (tiges d'un diamètre de 28 mm) étaient nécessaires pour absorber la pression hydrostatique. Le diamètre des autres tirants était de 20 mm. L'essai de la solution préconisée a été effectué en coulant un mur test d'une hauteur totale de 8,40 m.

Un autre problème non négligeable était l'apparition de la corrosion sur les panneaux métalliques non traités. Les panneaux doivent être traités avec une huile appropriée pour éviter la formation de rouille. Ils doivent en outre être empilés et conservés avec soin.

En principe, deux types d'huiles doivent être utilisés. Outre l'indispensable huile de décoffrage, il est nécessaire de traiter les panneaux après le décoffrage au moyen d'une huile antirouille. Le processus d'enduisage et d'enlèvement ultérieur de cette huile nécessite cependant beaucoup de main-d'œuvre. C'est pourquoi, dans le cadre de ce projet, il a été décidé de n'utiliser qu'une seule huile, adaptée à ces deux fonctions. De nombreuses huiles ont été essayées sur des « murs test ». Chaque panneau a été minutieusement nettoyé et huilé entre chaque phase de coulage. L'huile de décoffrage a été pulvérisée et l'excédent, enlevé au moyen de tissus propres. Après avoir été nettoyés, huilés et mis en place, les panneaux ont été entièrement protégés contre toute salissure jusqu'au coulage. L'utilisation de panneaux de coffrage en inox pourrait être une solution à la problématique de la rouille. Le fabricant consulté a cependant précisé que le prix de revient élevé de l'acier inoxydable entravait la mise en œuvre pratique de cette solution.

Les profilés de reprise, les joints de reprise et les réservations ont été dessinés au préalable et prévus dans le coffrage. Dans la surface de contact entre les planchers et les murs, des profilés de reprise en plastique avec queue d'aronde ont été placées pour obtenir des raccords plus nets entre les différentes phases

de coulage. Bien que les murs principaux d'une hauteur de 8,40 m aient été réalisés en une seule phase, des profilés de reprise ont cependant été prévus afin de conférer une notion d'échelle aux murs. Les réservations pour les techniques et l'éclairage ont été pratiquées dans le coffrage. Il en a été de même en ce qui concerne l'embrasure pour le placement du vitrage intérieur.

Les angles des murs et les évidements n'ont pas été « cassés » par la présence d'un chanfrein. Les angles devaient en effet être nets et exempts de différences de ton. A cet effet, tous les raccords d'angle devaient être enduits de silicone. Cette opération, à très forte intensité de main-d'œuvre, devait se faire avec tout le soin requis.

Un coffrage en acier est une option relativement onéreuse, tant en ce qui concerne sa location, son placement que son traitement. Son utilisation garantit cependant un bon résultat final.



36



37

31 et 32

Avant de couler les murs d'une longueur de 23 mètres, un mur d'essai grandeur nature a été coulé.

33

Le coffrage en acier est sujet à corrosion.

34 et 35

Le coffrage est enduit d'huile de décoffrage. L'huile est pulvérisée et l'excédent est enlevé au moyen de tissus propres.

36

Avant tout utilisation, le coffrage est minutieusement nettoyé.

37

Le coffrage est toujours recouvert de manière étanche pour éviter les salissures.

38 et 39

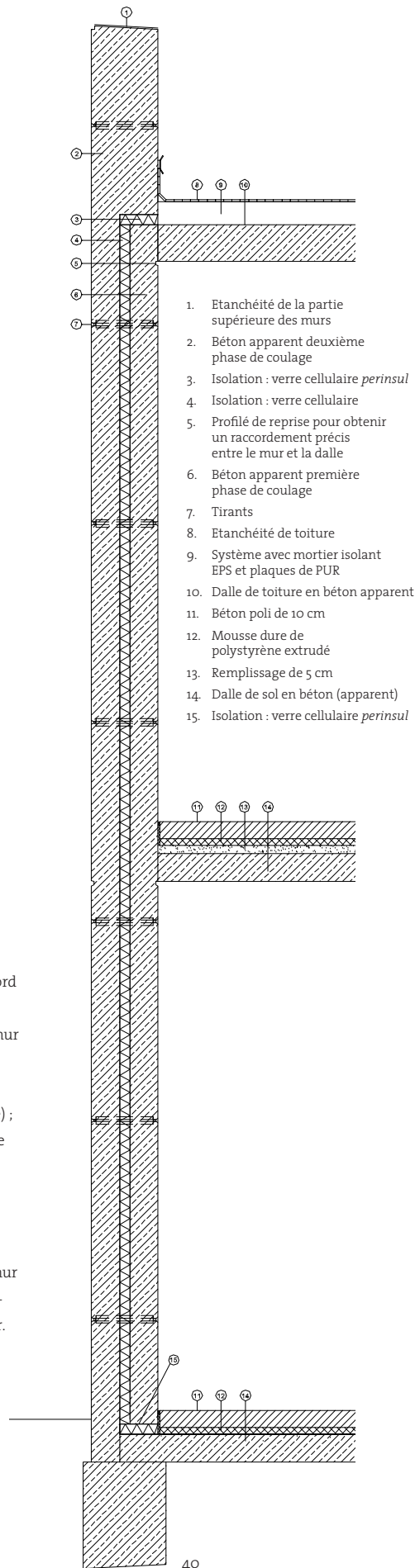
L'ensemble du coffrage d'un côté du mur.



38



39



40
 Coupe montrant le principe du mur dédoublé : le mur intérieur est tout d'abord coffré, armé et coulé. La face extérieure du mur intérieur est décoffrée (le coffrage de la face intérieure est conservé) ; l'isolation et l'armature du mur extérieur sont posés. Le coffrage extérieur du mur extérieur est placé à la distance voulue et le mur extérieur est coulé par-dessus le mur intérieur.

MURS DÉDOUBLÉS

L'épaisseur des quatre murs parallèles, d'une longueur de 23 mètres, est de 40 cm. Les façades ouest et est sont réalisées sous la forme de murs creux dédoublés et isolés. La structure se compose de deux murs d'une épaisseur de 17 cm, le vide de 6 cm étant comblé par du verre cellulaire. L'enveloppe intérieure et l'enveloppe extérieure ont été coulées séparément. Le verre cellulaire est un matériau d'isolation parfaitement approprié pour résister aux pressions hydrostatiques élevées du béton. Le verre cellulaire permet d'éviter l'écrasement de l'isolation lors du coulage du béton. Ce matériau affiche en outre une résistance élevée à la diffusion de vapeur. Avec du béton vibré, la réalisation de parois aussi minces, parcourues de nombreuses gaines d'électricité, de réservations et d'autres raccordements malaisés, aurait été une entreprise particulièrement hasardeuse.

L'épaisseur des autres murs intérieurs à simple paroi est également de 40 cm. Contrairement aux parois extérieures, l'épaisseur du mur est en l'espèce un choix exclusivement architectural, qui vise à assurer l'uniformité avec les façades avant et arrière.

Le schéma de coulage des murs dédoublés a été le suivant. L'enveloppe intérieure a tout d'abord été coulée. Après l'enlèvement du coffrage extérieur de ce mur intérieur, le verre cellulaire a été collé sur toute la surface. Ensuite, le coffrage extérieur a été replacé à distance appropriée afin de pouvoir couler l'enveloppe extérieure. Le mur extérieur a été coulé par-dessus l'enveloppe intérieure.

Le coulage en deux phases est le procédé le plus évident. Le temps de coffrage de l'enveloppe intérieure diffère cependant du temps de coffrage de l'enveloppe extérieure. Plus le béton demeure longtemps dans le coffrage, plus il s'assombrit. Des nuances de gris différentes pourraient dès lors être observées entre les parois dont la durée de coffrage a varié. L'entrepreneur a donc tenté, dans la mesure du possible, de décoffrer après 72 heures. Le coffrage intérieur de l'enveloppe intérieure, qui a donc été maintenu beaucoup plus longtemps que le coffrage extérieur de l'enveloppe extérieure, a été légèrement desserré au cours de la période entre les deux opérations de coulage.



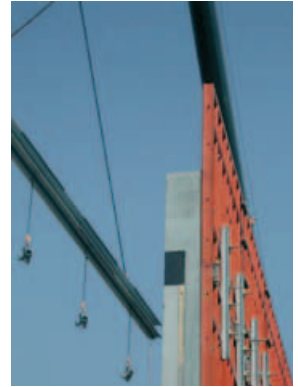
41



46



47



48



42



43



44



45

41
Structure du coffrage
du mur intérieur.

42, 43 et 44
Collage de l'isolation.

45 et 46
Armature du mur extérieur.

47 et 48
Le mur extérieur est coulé
sur le mur intérieur.

L'enveloppe extérieure du mur creux est soumise à des variations de température ; elle se dilate en été et se contracte en hiver. Cela signifie que, pour un mur d'une longueur de 23 mètres, une différence de longueur de 2,8 mm se manifeste par 10°C de différence de température. Il convenait en outre de tenir compte dans les calculs du retrait (au séchage). Pour tenir compte de ces dilatations, la partie inférieure des murs a été munie à leurs extrémités d'un système coulissant autorisant de légers déplacements. L'augmentation du pourcentage d'armature dans le sens longitudinal limite la largeur des fissures dans les parois. Contrairement aux pratiques habituelles, aucun joint de dilatation n'a été prévu. En effet, ces joints épais, comblés avec du matériau élastique, sont incompatibles avec une peau de béton extrêmement lisse, aux joints très fins et aux arêtes vives.

49

Un système coulissant placé aux extrémités des murs doit empêcher l'apparition de fissures de retrait dans les murs d'une longueur de 23 mètres. Les systèmes coulissants constituent des appuis sur plaques prévus sous le mur.



49

50

Une plate-forme de la taille des murs, aménagée sur le champ jouxtant la parcelle à bâtir, a permis de préparer les armatures et de les placer rapidement. Il s'agit ici de l'armature de la façade est.



50

LE COULAGE DU BÉTON

Le béton auto-compactant doit glisser de manière régulière dans le coffrage, avec une hauteur de chute maximale de 0,5 m. En cas de pompage à chute libre, il se pourrait que des phénomènes de ségrégation et de formation de bulles d'air se produisent. C'est la raison pour laquelle il a été décidé de pomper le béton par le pied du coffrage. Dans un premier temps, il a été envisagé d'acheminer le béton liquide sous le niveau du sol, afin que la bouche d'entrée ne soit plus visible par la suite. Cette solution n'a en définitive pas été retenue ; des trous d'injection du béton ont été placés à environ 40 cm au-dessus du niveau du sol sur les deux côtés transversaux du coffrage. Le béton de deux camions-mixers s'est étalé sous l'effet de la gravité sur une longueur de 11,50 m et a rempli le coffrage. Cette technique de pompage permet au béton de remplir lentement le coffrage, en « clapotant » et en « roulant ». L'alimentation du béton a été interrompue en plaçant une lame au niveau des trous d'injection. Les côtés transversaux des murs présentent la trace de cette dernière opération, sous la forme d'une face circulaire parfaitement lisse.

Les ouvertures pour les portes et les fenêtres jusqu'au sol scindent le coffrage en compartiments distincts. Sans autres mesures supplémentaires, le coffrage se remplirait compartiment par compartiment et la hauteur de la fenêtre ou de la porte serait déterminante pour la hauteur de chute du compartiment suivant.

Etant donné que de telles hauteurs de chute libre induisent, dans le cas du béton auto-compactant, un phénomène de ségrégation, un système de vases communicants reliant les différents compartiments a été mis au point. Pour chaque mur, une plinthe souterraine, atteignant la hauteur du niveau du sol, a été au préalable coulée sur toute la longueur du mur. Des tuyaux de PVC y ont été intégrés. Ces tuyaux constituent un système de by-pass souterrain qui permet au béton de gargouiller simultanément dans les différents compartiments sans chute libre.

Un phénomène fréquemment observé avec le béton auto-compactant est la marque de l'armature sur la surface durcie du béton apparent. Ce problème est encore insuffisamment connu et fait toujours à l'heure actuelle l'objet d'une recherche scientifique. Selon toute vraisemblance, il est dû au « ruissellement » du béton liquide le long de l'armature. Les facteurs susceptibles d'influencer le résultat final sont notamment la vitesse ascensionnelle (qui devrait de préférence être aussi faible que possible), la distance entre les barres d'armature (qui devrait de préférence être réduite) et l'enrobage des armatures (qui ne peut pas être trop faible).

Un séchage trop rapide du béton provoque l'apparition de fissures de retrait, ce phénomène se produisant principalement par temps chaud. C'est la raison pour laquelle un « curing compound » (produit de cure) a été placé dans les parties supérieures des murs. Après chaque coulage, le coffrage a été recouvert de bâches afin de garantir la protection contre les intempéries.

Le placement de larmiers en aluminium sur la partie supérieure des murs n'a pas été jugé souhaitable. Afin d'éviter dans pareil cas la formation de mousse et de traces d'eau ruisselante, les parties supérieures des murs ont été abrasées et polies après durcissement, afin que l'eau tombant sur la partie supérieure soit évacuée par le toit. La partie supérieure est munie d'un système d'étanchéité.



51



52



53



54



55



56



57

51

L'arrivée du béton est raccordée sur des manchons d'injection dans la partie inférieure du coffrage.

52

L'afflux de béton est arrêté par le biais d'une lame d'acier qui est glissée dans le manchon.

53

La trace du manchon d'injection au-dessus du niveau du sol.

54 et 55

Un système de by-pass permet au béton extrêmement liquide de s'étaler simultanément dans tout le coffrage, sur une longueur de 23 mètres. Les socles en béton dans la partie inférieure de chaque mur sont munis de tuyaux en PVC.

56 et 57

Les pompes à béton sont raccordées au coffrage ; ensuite, ce dernier se remplit sans aucune autre intervention.

LE BÉTON AUTO-COMPACTANT

Le béton auto-compactant est un béton susceptible d'être mis en œuvre par le seul effet de la gravité et sans vibration, même dans un coffrage avec une armature dense ou à géométrie complexe. Une fluidité très élevée et une résistance suffisante à la ségrégation (stabilité) sont deux exigences essentielles pour pouvoir qualifier un béton d'auto-compactant. L'utilisation d'un superplastifiant permet en règle générale d'obtenir le caractère fluide. La stabilité du mélange est augmentée grâce à l'ajout d'une quantité supplémentaire de ciment et/ou d'additions minérales (filler calcaire, fumées de silice, etc.) et d'un agent de viscosité (dérivés de cellulose, polymères acryliques synthétiques ou gomme naturelle soluble dans l'eau)¹.

La composition du béton est très minutieuse : les différents composants doivent être mélangés dans des proportions très précises et correctes. Chaque béton est contrôlé et testé suivant différentes méthodes d'essai avant son départ de la centrale. Outre les tests habituels tels que l'essai sur cubes et cylindres (résistance à la compression) et l'essai d'étalement (« slump flow test » – valeur d'étalement et laps de temps nécessaire), l'essai de boîte en U permet de vérifier le caractère auto-plaçant du béton frais, alors que l'essai de boîte en L permet de vérifier la capacité de franchir l'armature et d'autres obstacles sans ségrégation ni obstruction. En outre, l'essai au tamis mesure la résistance à la ségrégation et l'essai d'écoulement à l'entonnoir en V (« V Funnel test »), la viscosité ...

Les propriétés rhéologiques² font en sorte de réduire considérablement les risques de formation de nids de gravier et de cavités. En fonction du coffrage et de l'huile de décoffrage utilisée, la quantité de bulles d'air sera également très limitée. Davantage qu'avec le béton classique, la surface du béton est le reflet du coffrage et permet dès lors d'obtenir un résultat extrêmement lisse. Les différences de teinte sont limitées et les éventuels défauts causés par les vibrations sont inexistantes. Ce béton permet donc de combler des formes de coffrage plus complexes et plus élancées, d'augmenter les pourcentages d'armature et de couler en une seule opération des parois d'une hauteur supérieure.

Les principaux inconvénients du béton apparent auto-compactant sont la minutie dont il convient de faire preuve lors de son coulage et les exigences importantes en termes de main-d'œuvre que requièrent le béton et le coffrage. La parfaite étanchéité à l'eau et la pureté du coffrage sont des caractéristiques essentielles pour parvenir à un bon résultat. Le béton est extrêmement sensible aux irrégularités du coffrage, aux traitements que le coffrage a subis (empilement sur des lattes en bois, par exemple), aux impuretés, au type d'huile de décoffrage utilisée, ... Parmi les autres inconvénients, il faut encore citer le nombre restreint d'entrepreneurs disposant à l'heure actuelle de l'expérience nécessaire avec ce matériau, son prix de revient, ainsi que sa mise en œuvre.

¹ Chapitre XII.7 'Le béton auto-compactant' - Cours Technologie du béton - GBB

² Rhéologie, étude des déformations de matières fluides



Un traitement hydrofuge a été ensuite appliqué sur les pans de mur. Cette couche hydrofuge évite l'apparition de salissures et la formation de mousse, sans toutefois modifier l'aspect visuel des murs. Ce traitement doit être répété tous les 7 ans au moins. Les murs intérieurs ont été enduits d'un revêtement anti-poussières, ce qui est à conseiller dans une maison.

Le coffrage horizontal du plancher intermédiaire et de la toiture était composé de panneaux en multiplex revêtus d'un film de résine synthétique. Ces panneaux ont été découpés sur mesure et alignés sur les joints des coffrages métalliques utilisés pour les murs. Les rebords en béton des planchers sont également munis de joints de reprise ininterrompus.

Le plancher intermédiaire et la toiture sont ancrés aux murs au moyen de boîtes d'armature d'attente. Cette armature d'attente avait été positionnée dans le coffrage, avec une grande précision, lors du coulage des parois.

Afin d'éviter la présence de salissures et de particules de rouille dans le coffrage, l'armature en treillis a été préparée dans la mesure du possible en plein air, sur une grande plate-forme en face de la parcelle. Ce faisant, les interventions inutiles sur le coffrage ont été limitées.



59

INTÉGRATION DES TECHNIQUES

L'intégration des techniques n'a pas été aisée. La structure des techniques a dû être entièrement pensée au préalable et a dû être intégralement prévue lors de la phase du gros œuvre. Les adaptations ultérieures sont en effet pratiquement impossibles.

La plupart des prises de courant et le raccordement TV ont été prévus dans le sol dans des boîtes de prises en laiton. Les interrupteurs, le raccordement stéréo, les systèmes d'alarme, le raccordement Internet,... sont placés dans des plaques en inox préparées sur mesure à cet effet, lesquelles recouvrent les réservations pratiquées dans le béton. Un détail d'exécution a été préparé pour chaque plaque. Les ouvertures nécessaires y ont été réalisées au laser.

L'éclairage des espaces de vie et des chambres à coucher s'effectue au moyen de lampes sur pied fournissant un éclairage indirect à ces espaces. Les autres pièces – telles que la salle de bain, la cuisine, le garage, les WC, la remise et le hall – ont été équipées de points lumineux centraux. Dans les réservations dans le béton, les deux côtés de l'escalier ont été agrémentés d'un éclairage à diodes électroluminescentes recouvert d'un plexi mat. Les conduites d'alimentation et d'évacuation sanitaires sont regroupées dans un conduit central placé dans et au-dessus de l'espace réservé au garage.

Etant donné que le chauffage par le sol est le système le mieux adapté aux pièces hautes et afin d'éviter au maximum le placement d'éléments et de conduites de chauffage peu esthétiques, les concepteurs ont décidé de chauffer toute l'habitation par un système intégré dans le sol.



60

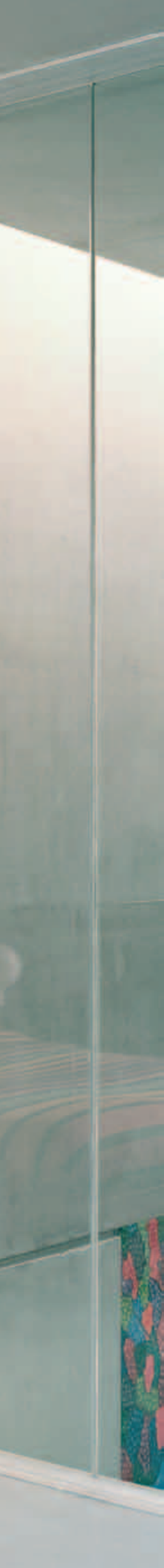
59

Les interrupteurs, les prises de courant, les capteurs,... sont intégrés dans des plaques d'inox réalisées sur mesure. Un détail d'exécution extrêmement précis, réalisé au mm près, est fabriqué au laser.

60

Il convient de prévoir les réservations lors de la phase du gros œuvre, pendant le coulage des murs. Il ne sera en effet plus possible par la suite d'étendre ou de modifier le système.





Le béton apparent, un travail d'équipe

Diverses mesures et un suivi minutieux sont indispensables pour parvenir à un béton d'une telle qualité, lequel est le fruit d'une étroite collaboration entre tous les maillons de la chaîne de la construction et de leur engagement réciproque.

Cette qualité élevée ne peut être obtenue que grâce à la discipline et à la rigueur des ouvriers, à l'expertise et à la volonté de perfection de l'entrepreneur et des prescripteurs, à la connaissance et à la maîtrise du matériau, au processus de recherche des meilleurs produits et techniques, à la réalisation de murs d'essai, à un dessin minutieux des détails,... Rien ne peut donc être laissé au hasard. Il s'agit d'un processus ininterrompu axé sur la maîtrise maximale des différents paramètres : la planification des travaux en fonction des conditions atmosphériques, la mise en œuvre cohérente des mêmes procédures et traitements du béton, le maintien des mêmes durées de coffrage, la prise permanente de toutes les mesures de protection nécessaires.

les principaux intervenants

maître de l'ouvrage personne privée

architecte Annekatrien Verdickt – Bruxelles en collaboration avec son mentor, l'architecte Marc Belderbos – Deinze
Annekatrien Verdickt et Jan Terwecoren dirigent un bureau d'architecture depuis 2004.

Marc Belderbos, conseiller – maître de stage du projet, architecte indépendant à Deinze, professeur d'architecture à la Hogeschool Sint-Lucas Brussel et l'UCL à Louvain-la-Neuve.

bureau de stabilité studieburo Mouton bvba – Gent
gérant Guy Mouton / chef de projet Bart Deridder
Studieburo Mouton est un bureau d'études avec plus de 30 ans d'expérience dans le développement et l'élaboration de concepts structuraux en concertation étroite avec les architectes.
Guy Mouton est également professeur d'architecture à la Hogeschool Sint-Lucas Brussel et Gent.

conseiller technologie du béton Marc Vanthienen
attaché à la Katholieke Hogeschool Brugge-Oostende

entrepreneur principal bvba Furnibo – Furnes
gérant Bernard Joye / chef de projet Steven Maeyaert
Furnibo est une entreprise de construction générale qui, 15 ans après le début de ses activités, emploie 75 collaborateurs. La firme est spécialisée dans le béton coulé en place. Outre les nombreuses réalisations en béton apparent, Furnibo construit également des stations d'épuration d'eau, des parkings souterrains, des immeubles d'appartements et des projets clé sur porte.

sous-traitant menuiserie métallique intérieure et extérieure Rabaey – Furnes
sous-traitant équipement sanitaire et chauffage au sol Goens Johan bvba – Furnes
sous-traitant travaux de toiture ATAB – Gistel
sous-traitant électricité Ceretec nv – Ploegsteert
sous-traitant sols en béton poli Rapidsol bvba – Oeselgem
entrepreneur auxiliaire carrelage Goudolf – Gistel
entrepreneur auxiliaire cuisine en inox Bossuyt nv – Kuurne
entrepreneur auxiliaire menuiserie intérieure Henk Vanderhaeghe – Woesten

centrale à béton Tanghe nv – Ichtegem
Fournisseur du béton apparent auto-compactant.

panneaux de coffrage Cometal
Fournis par Concrete Systems nv – Roulers.





A-1

Ce bulletin est publié par :

FEBELCEM

Fédération de l'Industrie Cimentière Belge

Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles

tél. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70

www.febelcem.be

info@febelcem.be

Auteur :

Annekatrien Verdickt

Remerciements à :

J. Apers, M. Belderbos, G. Mouton

Traduction : En d'Autres Termes sprl

Photos : Kim Zwarts

Photos de chantier : Annekatrien Verdickt

Dépôt légal :

D/2009/0280/05

Ed. resp.: A. Jasienski

infobeton.be

BIBLIOGRAPHIE

« Construire en béton 2006/07 » Revue d'architecture -
Exemples internationaux de l'art de **CONSTRUIRE EN BETON**
Edité par : Cemsuisse, FEBELCEM et Cement&BetonCentrum

Des projets tels que le Pavillon de conférence VITRA de Tadao Ando à
Weil-am-Rhein figuraient parmi les études de cas consultées.

Dossier Ciment 21 - octobre 1999 « Errances dans le béton -
Le pavillon de conférence de Tadao Ando à Weil-am-Rhein »
Edité par : FEBELCEM

Dossier Ciment 36 - août 2005 « Le béton auto-compactant »
Edité par : FEBELCEM

« Technologie du béton »

Manuel de cours

Edité par : GBB - Groupement belge du béton, 2006