

MURS

L'abbaye "Sainte-Marie de la Pierre-qui-Vire"

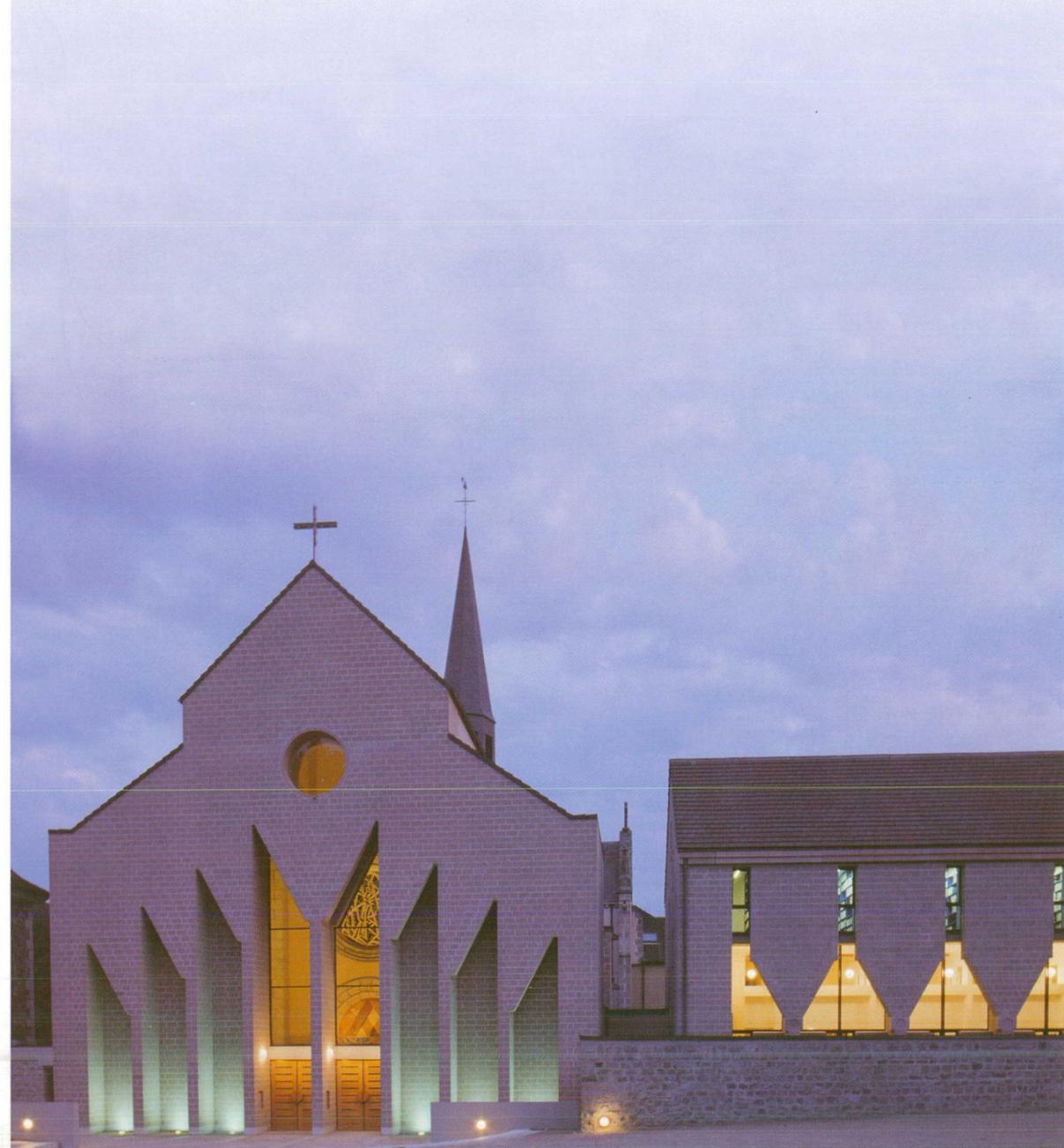
Projet de Jean Cosse. Collaboratrice Brigitte De Groof

L'abbaye "Sainte-Marie de la Pierre-qui-vire" se trouve aux confins du Morvan en France. Elle est une "oasis de pierres" dans un site vert et sauvage.

L'abbaye vient d'être agrandie et rénovée. A l'issue d'un concours d'architecture l'architecte Jean Cosse s'est vu confier la mission du projet. La quintessence de son projet est contenue dans la conception des murs extérieurs ainsi que dans la place et la signification de la croisée et du cloître au sein de l'ensemble.

Le présent article donne une analyse des murs et plus particulièrement de la construction des façades.

Il accorde une attention spéciale au "mur autostable" ainsi qu'aux encorbellements.



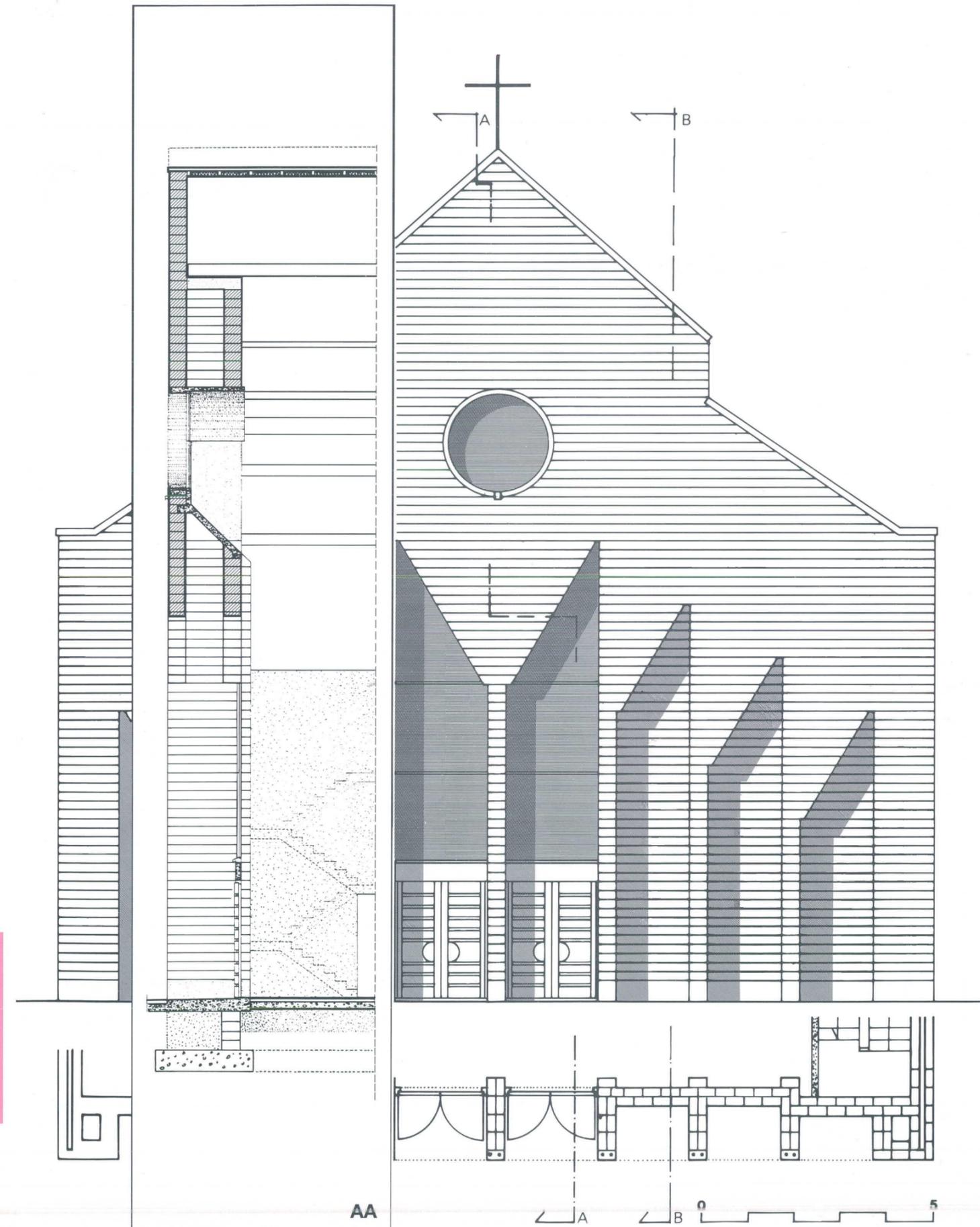
DOSSIER CIMENT

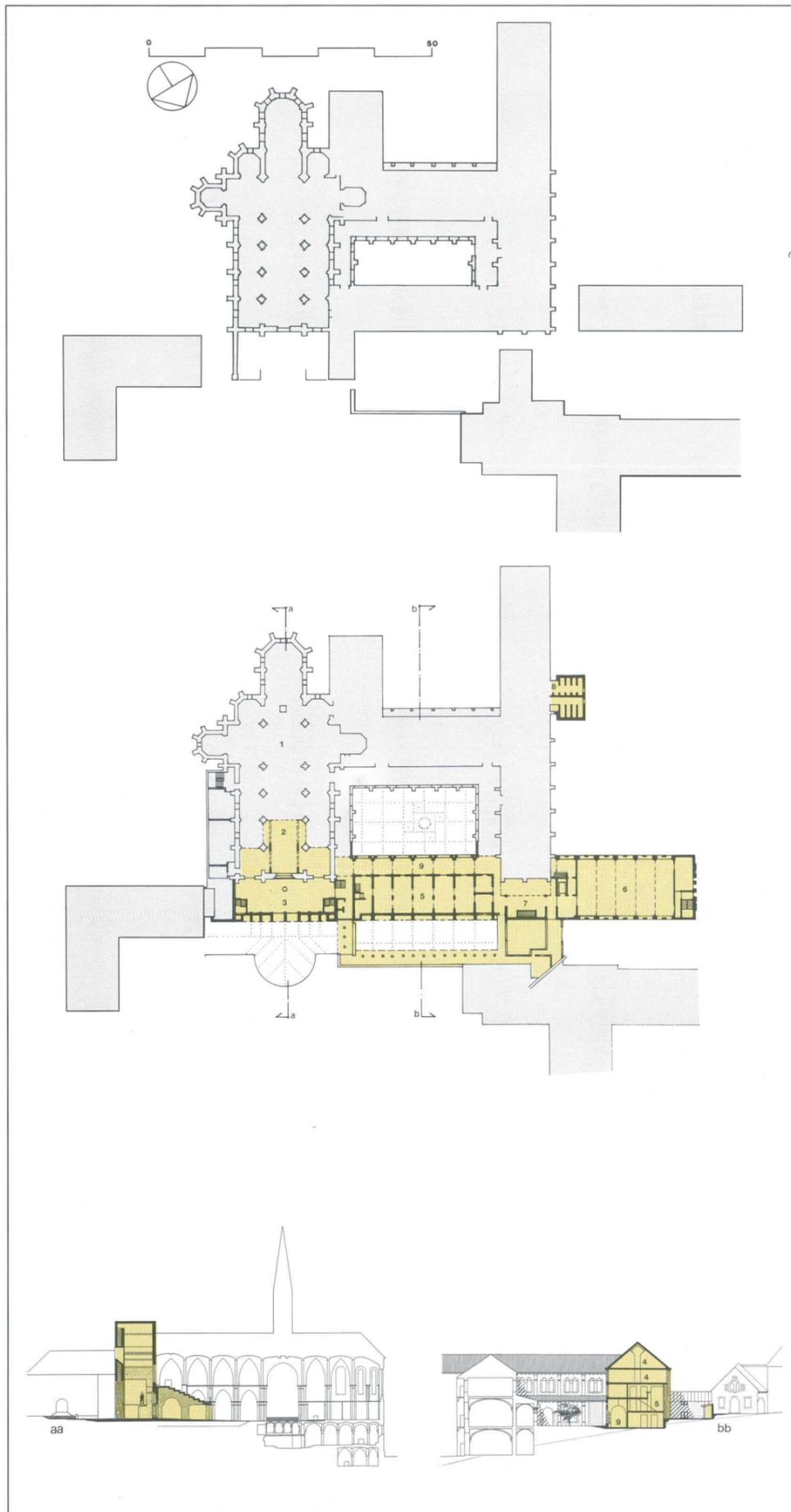
3
novembre 1994

Cosse
abbaye
façade
bloc de béton
maçonnerie

66 (21) F12

BB/S16





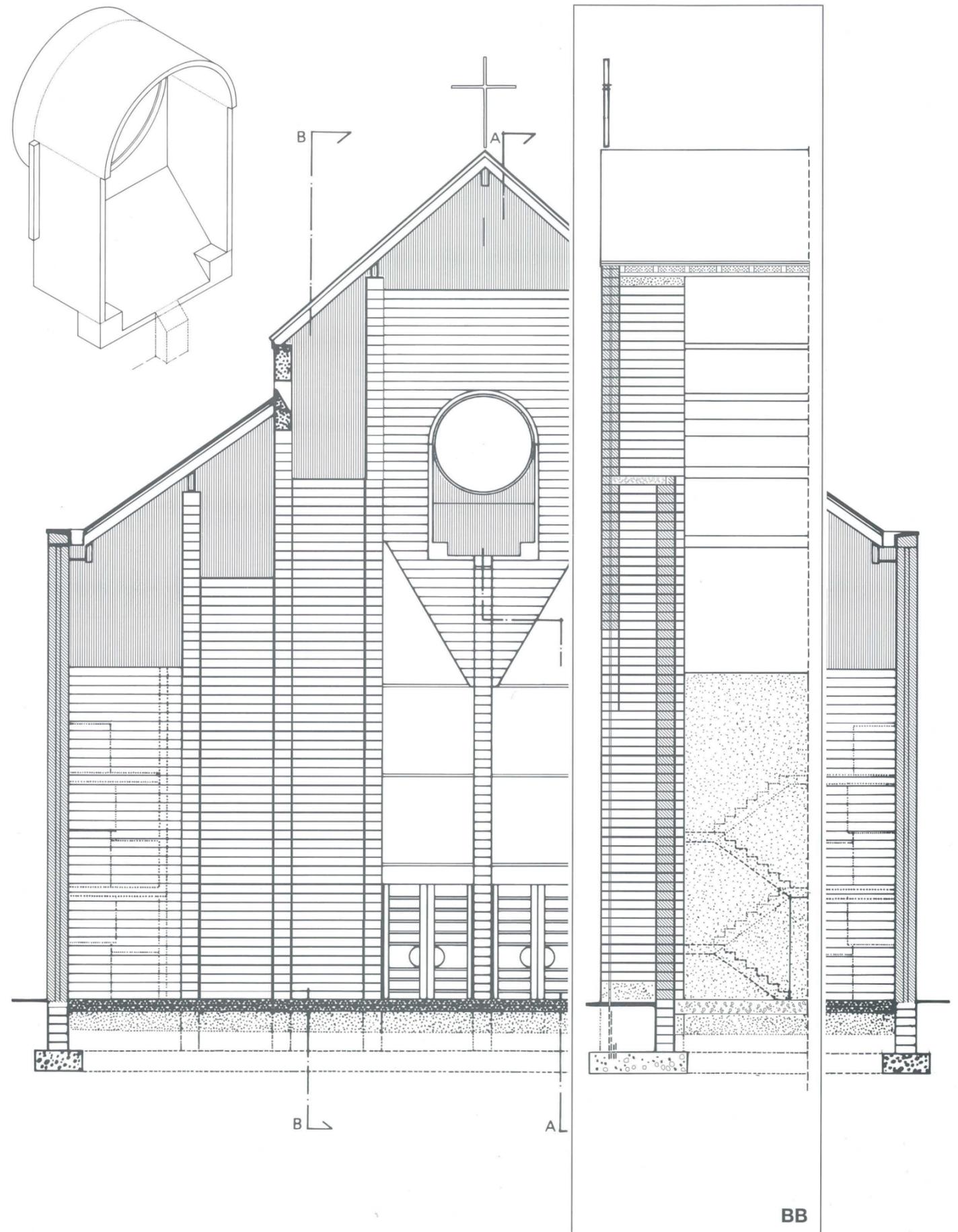
L'espace de l'église a été réorganisé autour de la croisée (1) - ce lieu central où la nef et le transept se fondent - puis complété par une tribune (2) et un narthex (3). Une aile vétuste située à côté de l'église a fait place à une nouvelle construction comportant d'une part la bibliothèque (4) et le scriptorium (5), et d'autre part une salle de communauté (6) et les cellules des moines. Les deux parties de cette nouvelle construction sont reliées par une cage d'escalier, située face à l'ancien pignon de l'aile transversale (7). Un bloc sanitaire (8) a été greffé sur cette même aile. Enfin, le cloître s'est achevé par une quatrième galerie (9).

Pour un aperçu complet du projet voir l'article "Murs et espaces vides. L'abbaye Sainte-Marie de la Pierre-qui-Vire" - publié dans le n° 124/93 de la revue A+ Architecture.

Quelques données techniques générales

Les blocs de béton ocre rosé, de dimensions 390 x 190 x 190 mm, sont de fabrication belge. L'analyse des façades de l'église et de la bibliothèque se réfère entre autres à une vérification par calcul de la stabilité. Dans ces calculs - rétrospectifs et approximatifs - les blocs de béton ont été considérés comme appartenant à la classe $\rho 1,9$ (masse volumique sèche apparente inférieure à 1900 kg/m³) et à la classe f8 (résistance caractéristique $f_{tk} > 8$ N/mm²). L'Eurocode 6 a servi de référence et il a été tenu compte des remarques de la France au sujet du calcul de la résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie (f_k) et du rapport entre la résistance à la compression mesurée perpendiculairement et parallèlement aux joints d'assise (f_{km}). f_k est égal à 3,3 N/mm² et est fonction de la résistance caractéristique à la compression des blocs et du mortier ainsi que de différents facteurs de correction. De f_k ont été déduits $f_{km} (= 2$ N/mm²) et la résistance caractéristique au cisaillement $f_{kv} (= 0,4$ N/mm²).

Divers éléments en béton sont préfabriqués tels que l'oculus de la façade de l'église, les chapiteaux et les corniches de la façade de la bibliothèque, les faisceaux de trois colonnes et les arcs en plein cintre du cloître, ...



LA FAÇADE DE L'ÉGLISE (NARTHEX)

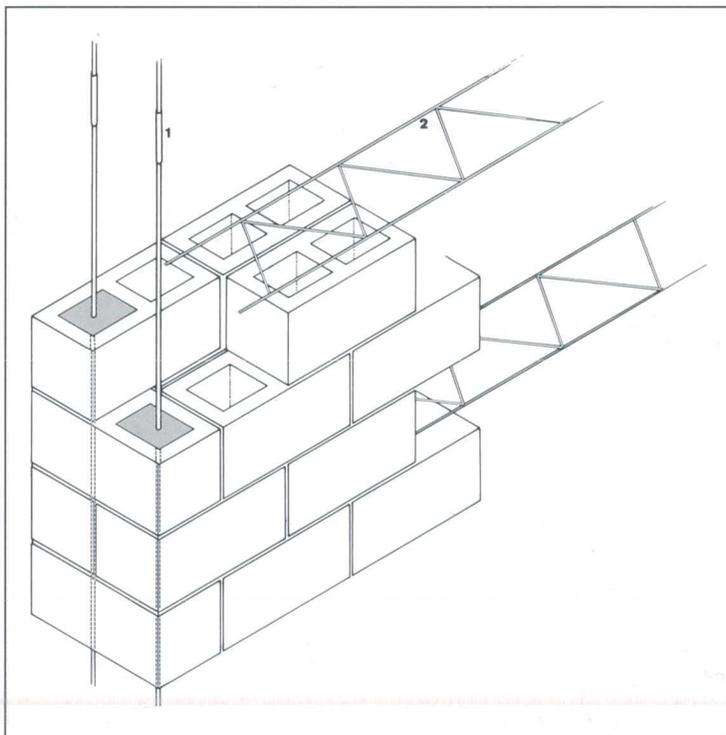
Généralités

"La façade de l'église" comme le dit Jean Cosse "est un mur autostable. Nous avons développé ce concept structurel dans différents projets. Le mur se compose d'un "conglomérat" de maçonneries disposées et reliées entre elles de façon telle que l'ensemble possède sa propre stabilité au vent. Ses avantages techniques sont nombreux, par exemple l'absence de contreforts. Il peut aussi revêtir des formes très diverses."

La façade de l'église est constituée de neuf épis placés perpendiculairement et reliés à chacune de leurs extrémités à un mur. L'omission de la partie inférieure du mur extérieur met en évidence la composition structurelle. Elle fait naître huit niches étroites de hauteur variable parachevées en tête par des blocs de béton posés lits par lits en encorbellement. Le mur intérieur est façonné tout à fait autrement avec une partie basse massive dominante et une partie haute inexistante. Renforcé par rapport aux parois transversales, il en fait ressortir la construction par travées et souligne la verticalité.

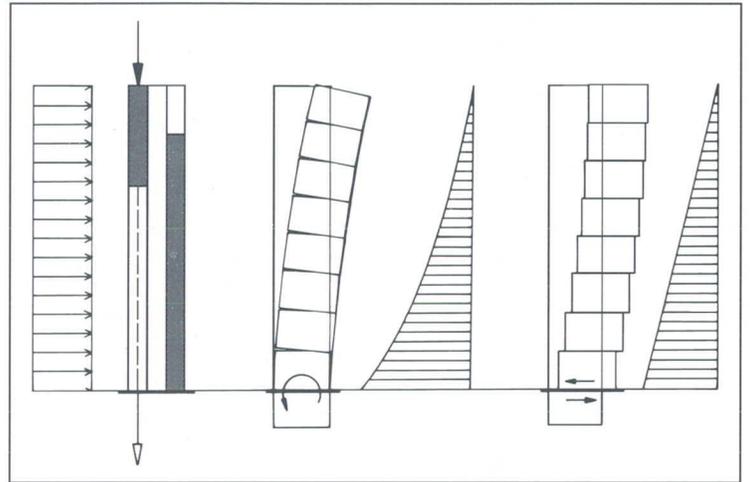
Le narthex domine l'église ancienne. C'est le résultat d'une minutieuse adaptation des proportions entre la partie inférieure et la partie supérieure du mur extérieur. Si la partie supérieure massive se réduit, les verticales divergent. Par contre, si elle augmente, la dynamique de la façade et son mouvement ascensionnel se réduisent à néant. Dans l'une et l'autre hypothèse, la façade perdrait sa force.

- 1 - Barres reprenant la traction, \varnothing 20 mm, filetées à leur deux extrémités et assemblées par manches tubulaires.
- 2 - Murfor toutes les 3 assises.



Stabilité du mur autostable

Le vent est la sollicitation la plus importante que le mur autostable doit reprendre et crée dans chaque section horizontale un moment fléchissant ainsi qu'un effort tranchant. Ces derniers sont les plus grands au niveau du sol.



Une vérification approchée et limitée par calcul sur base de l'Eurocode 6 a été effectuée pour la paroi transversale de 16 m de haut jouxtant la porte d'entrée. Comme charge due au vent, un effort horizontal de 600 N/mm² (900 N/mm² avec un coefficient de sécurité de 1,5) fut pris en considération. En première approximation, la section était considérée comme rectangulaire et il n'a pas été tenu compte des liaisons en forme de L ou T avec le mur intérieur.

La section est soumise à flexion composée. Des calculs, il apparaît que les contraintes dans la zone tendue sont largement reprises par les deux armatures verticales (20 mm de diamètre) placées dans les premiers creux des blocs de béton. Aux extrémités des parois transversales, la somme des contraintes de compression par flexion et de compression simple est plus élevée que la valeur maximale autorisée, à savoir 0,95 N/mm² ($= \phi \times f_{tk} / \gamma_m = 0,72 \times 3,3 / 2,5$ avec ϕ facteur de réduction dû à l'élanement et γ_m facteur de sécurité dans le cas d'ouvrage en maçonnerie).

La liaison en forme de L ou de T avec le mur intérieur se révèle être par conséquent absolument nécessaire afin de répartir les contraintes sur une plus grande section. Les contraintes de cisaillement maximales sont environ égales à $1/3 f_{kv}$.

Pour les calculs, l'hypothèse d'un encastrement à la base a été retenue. Dans la réalité, une partie située à hauteur du toit, sert de liaison avec l'ancienne façade de l'église. Les moments y sont réduits et les contraintes de traction par flexion se trouvent pour une large part compensées par les contraintes de compression.

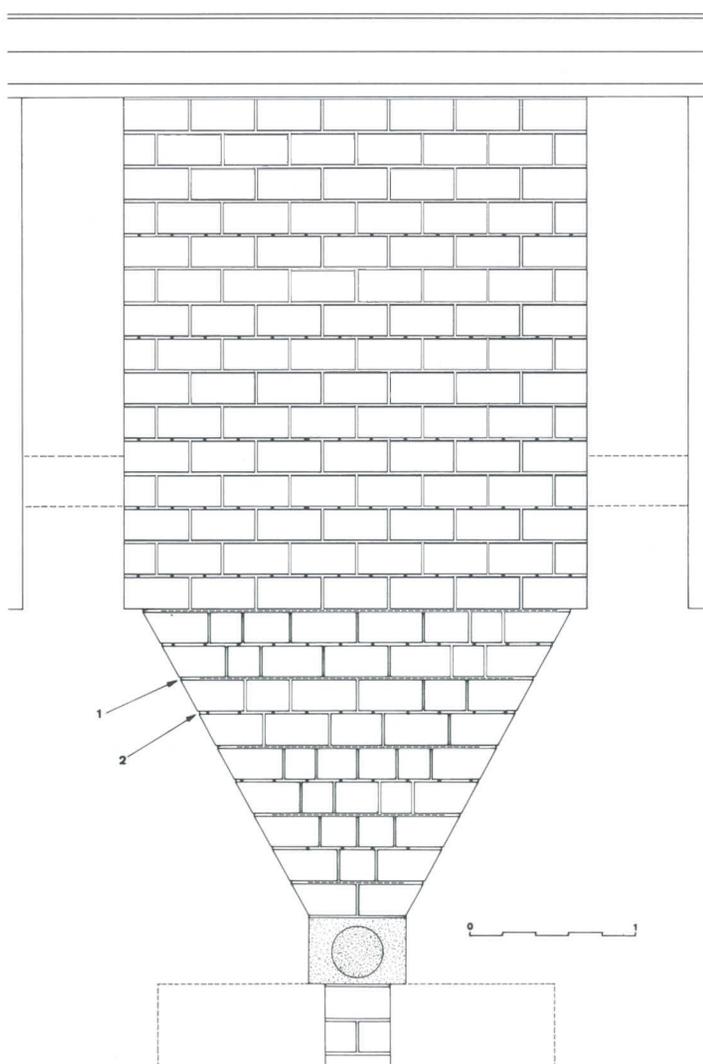
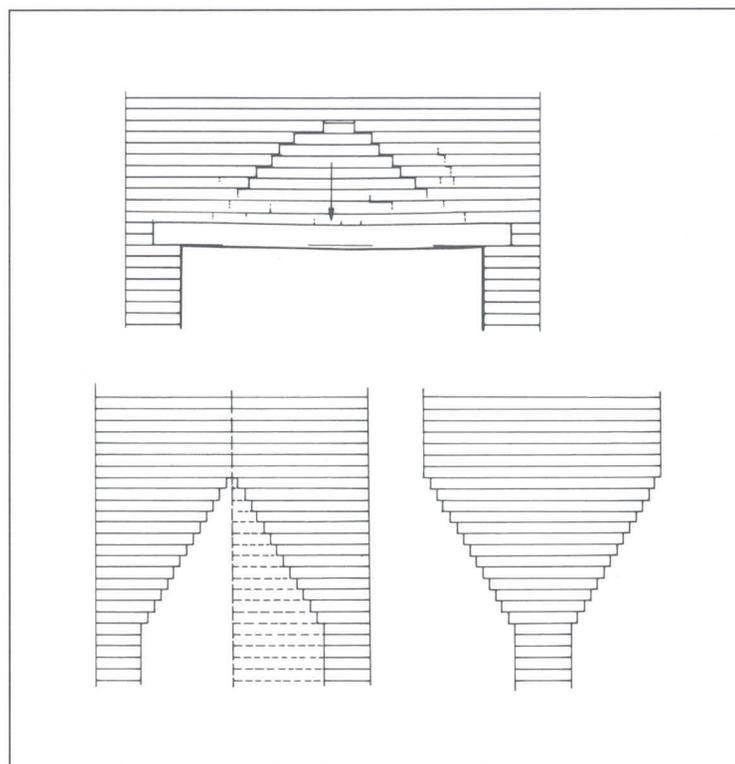
Des armatures Murfor furent placées toutes les trois assises de mortier, afin de rendre la maçonnerie homogène. Au-dessus des encorbellements, des armatures placées dans la couche de mortier permettent de reprendre les contraintes de traction par flexion (voir ci-après la description de la façade de la bibliothèque).

LA FAÇADE DE LA BIBLIOTHEQUE

Le rythme des "épis" du mur autostable génère celui du nouveau bâtiment adjacent qui s'inspire du module régulier de l'ancien bâtiment. La structure de cette nouvelle aile se compose d'une grille de murs et planchers perpendiculaires entre eux en béton coulé sur place. La présence des murs de refend est exprimée dans la façade de la bibliothèque et ordonne la découpe du mur extérieur. Derrière la façade se trouvent cinq niveaux: mi-enterrée la sacristie, ensuite réparti sur deux niveaux le scriptorium, au-dessus la bibliothèque hébergée sur deux étages dont un niveau sous toiture.

Jean Cosse crée souvent des ouvertures par des murs maçonnés en denticules et déclare: "Nous nous intéressons à l'encorbellement parce que la construction en est simple et intimement associée au principe même de la maçonnerie. Une autre raison est la force qui émane de la forme triangulaire résultante. Le triangle, première figure de notre géométrie, exprime par là les origines, le fondamental, ce qui l'associe à la création et par conséquent ... au divin."

Le bloc de béton comme tout matériau pierreux se comporte bien en compression. Au cours des siècles on a essayé de profiter de manière optimale de cette propriété pour créer des ouvertures dans les murs et enjambrer des espaces. Le résultat était la



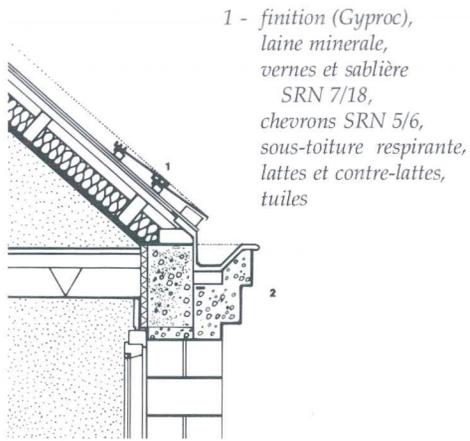
1 - Armatures 2Ø8 mm, noyées dans les joints de mortier, reprenant les efforts de traction.

2 - Armature destinée à assurer l'homogénéité de la maçonnerie (Murfor).

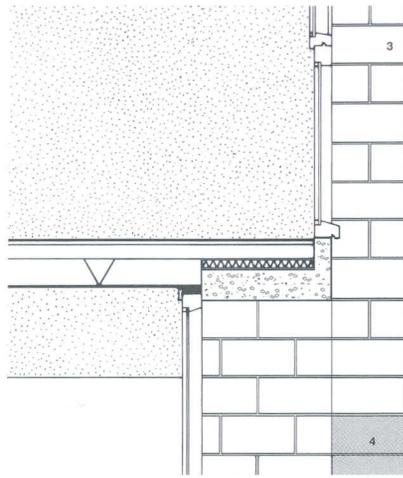
construction de l'arc qui ne présente cependant pas que des avantages. La ligne de charge - cette ligne imaginaire par laquelle les efforts de compression se transmettent dans l'arc pierre par pierre - doit rester à l'intérieur du noyau de l'arc pour ne pas engendrer des efforts de traction nuisibles. Des contreforts sont nécessaires pour reprendre à la naissance de l'arc l'effort horizontal qui en résulte. La liaison des assises horizontales des maçonneries avec l'arc est toujours difficile à résoudre.

Dans l'encorbellement, ce problème ne se pose pas car aucun effort horizontal n'est créé. Le crénelage se réalise sans difficultés aussi longtemps que la résultante verticale passant par le centre de gravité de la partie du mur en encorbellement coupe le plan de l'assise à l'intérieur du noyau central et que la cohésion de la maçonnerie est suffisamment grande. Les contraintes de cisaillement créées qui sont proportionnelles à la masse volumique de la maçonnerie, à la longueur de l'encorbellement ainsi qu'aux charges verticales éventuelles appliquées au-dessus doivent rester inférieures aux valeurs autorisées. Dès que l'encorbellement du mur devient trop important, il se créera un moment fléchissant. Une vérification approchée et simplifiée par calcul d'un élément en encorbellement de la façade de la bibliothèque conduit à un moment fléchissant maximum de 35 kNm et à un effort de cisaillement de maximum 50 kN. Dans ce calcul, il a été tenu compte d'une charge appliquée de 15 kN/m et l'hypothèse de l'encastrement complet au droit de la surface d'appui a été retenue. Deux armatures de 6 mm de diamètre placées dans la couche de mortier au-dessus du "triangle" en encorbellement sont apparues suffisantes pour reprendre les contraintes de traction par flexion. Des armatures *Murfor* dans les trois couches supérieures de mortier de l'encorbellement auraient aussi été suffisantes. Les contraintes de compression et de cisaillement créées sont respectivement égales à environ $1/5 f_{km}$ et $1/4 f_{kv}$.

Jean Cosse a choisi la solution de sécurité. Dans les couches de mortier des éléments de murs en forme de triangle furent alternativement mises en oeuvre deux armatures de 8 mm de diamètre et une armature de répartition.



2 - finition intérieure,
isolation,
béton armé coulé,
corniche en béton
préfabriqué
étanchéité en butyl,
bouffet en cuivre

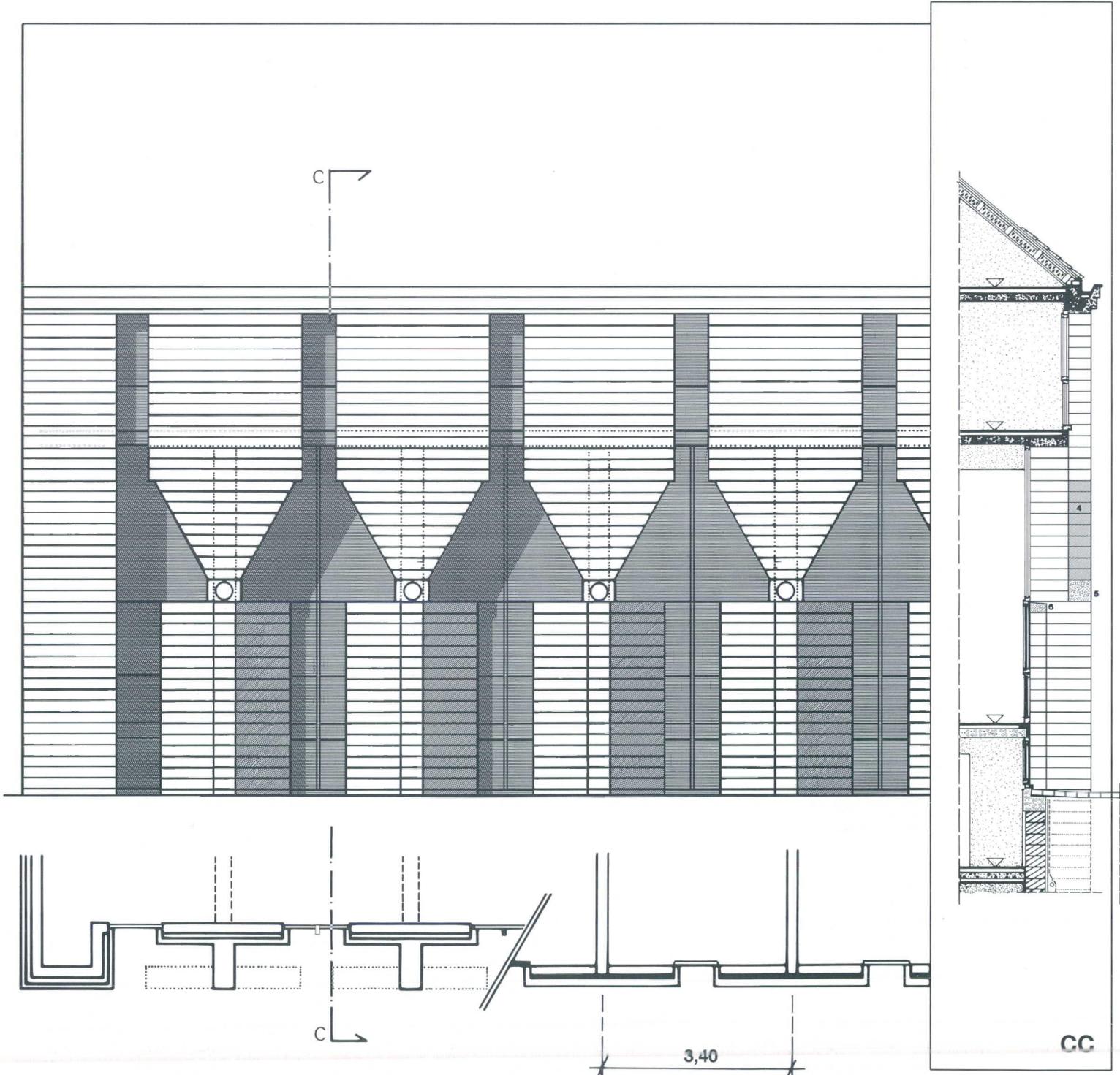
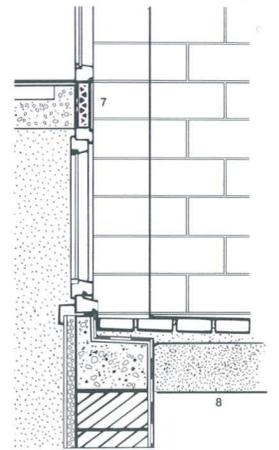


5 - chapiteau en béton
préfabriqué

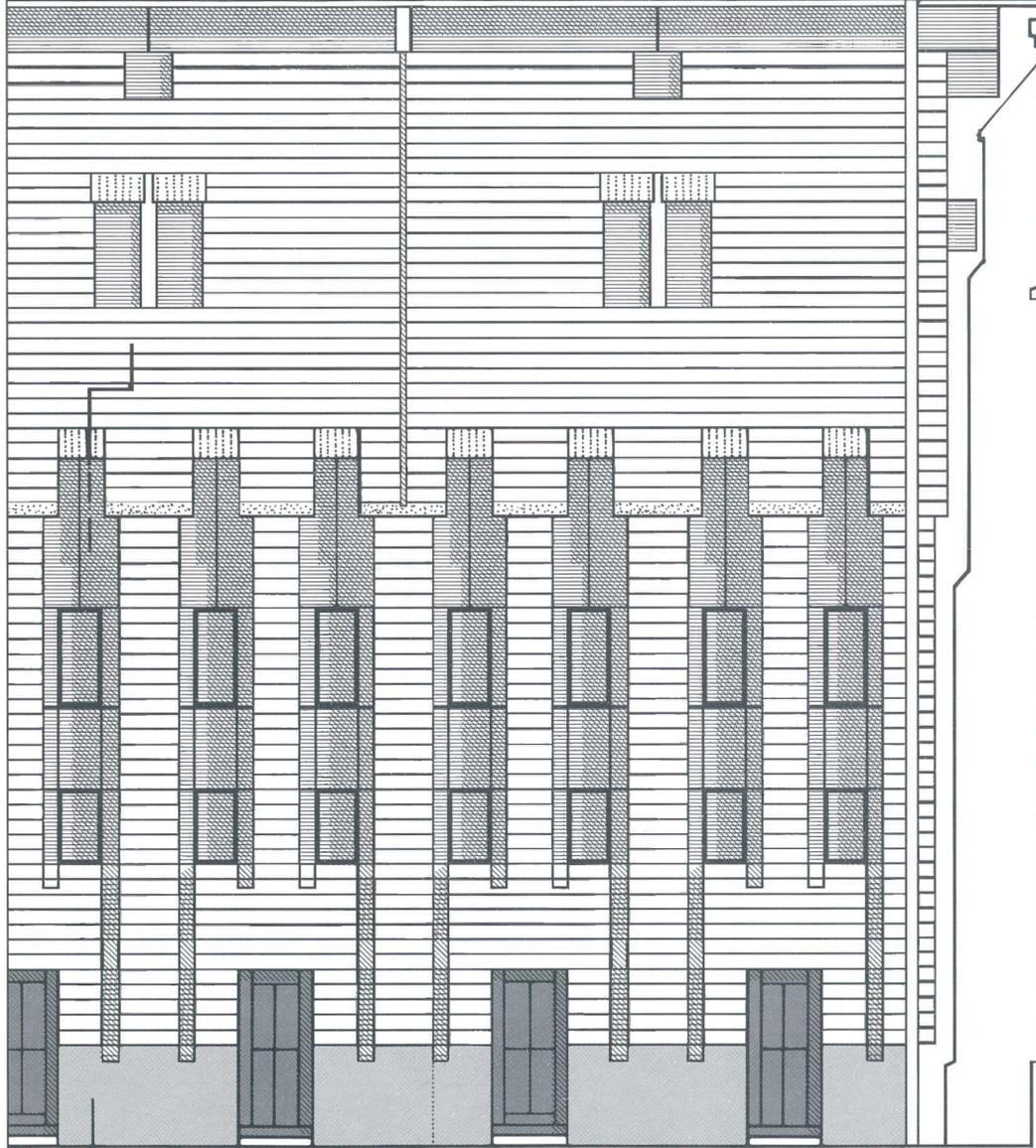
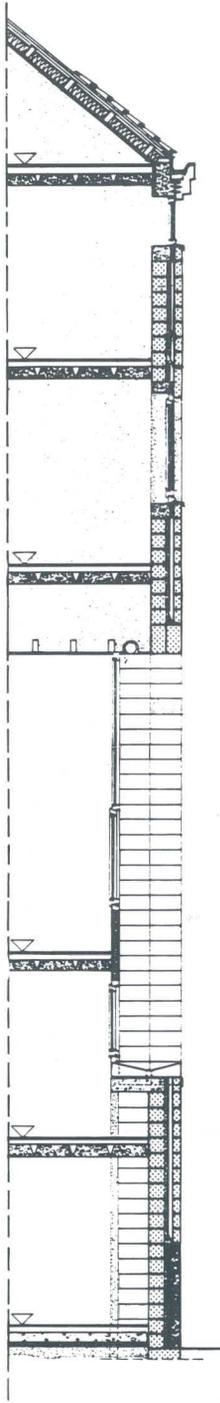
6 - seuil en béton préfabriqué

7 - isolation,
panneau en verre gris

8 - étanchéité et membrane
drainante,
terrain rocheux,
sable stabilisé,
pavés de béton

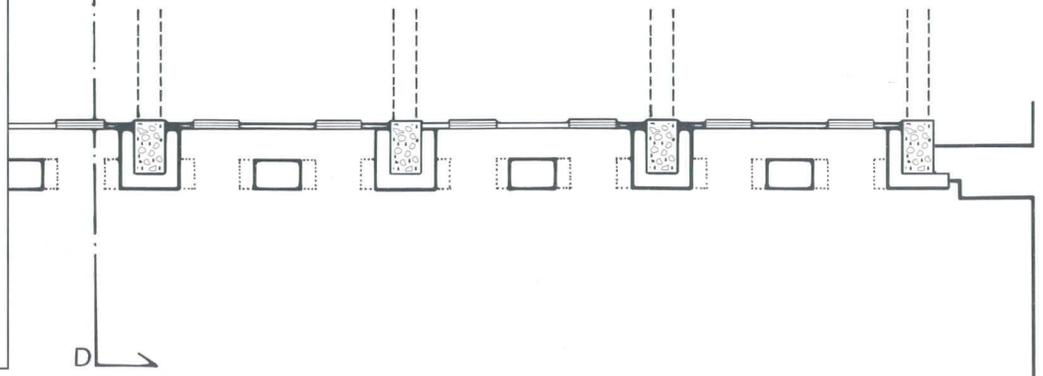


D



DD

D





- 1 (voir couverture), 3 : parvis, église et bibliothèque
- 2 : l'abbaye dans son site, vue de l'ouest
- 4 : détail du narthex
- 5 : narthex vu de l'intérieur
- 6 : détail façade de la bibliothèque
- 7 : façade de la bibliothèque
- 8 : salle de communauté et ancienne aile
- 9 : salle de communauté, détail de la façade nord-est
- 10, 11 (voir dernière page) : cloître, nouvelle galerie



LA FAÇADE DE LA SALLE DE COMMUNAUTÉ

Cette façade abrite la salle de communauté qui occupe deux niveaux au-dessus desquels se trouvent les cellules des moines. Son ordonnance fait apparaître aussi bien la structure sous-jacente que l'esthétique de l'ancienne façade voisine. Ce qui frappe le plus quand on découvre la façade arrière, c'est l'équilibre qui s'installe entre les articulations romanes, rythmées par les puissants contreforts de la plus belle des parties anciennes de l'abbaye, et la partie nouvelle. Au mur de granit rose répond un mur de blocs de béton de même nuance. A la force massive des contreforts répond un rythme vertical incisif, précis. Le détail de la maçonnerie dans la partie basse du mur où, au moyen d'éléments de couverture préfabriqués, la pluie battante est évacuée, attire également l'attention.



La vue sur la façade de l'église et de la bibliothèque est une image qui reste gravée dans la mémoire. Les deux murs sont présents de façon si intense et rayonnent d'une tension tellement maîtrisée qu'ils captent toute l'attention vers eux.

Cette intensité de l'expression repose sur le caractère massif et l'impénétrabilité qui accentuent la frontière entre l'intérieur et l'extérieur et renforcent la notion d'abri, d'isolement. Ces deux caractéristiques typiquement romanes rappellent d'une façon métaphorique la vie du moine retiré du monde profane.

Différents facteurs contribuent à éveiller cette tension. Un élément important réside dans la découpe du

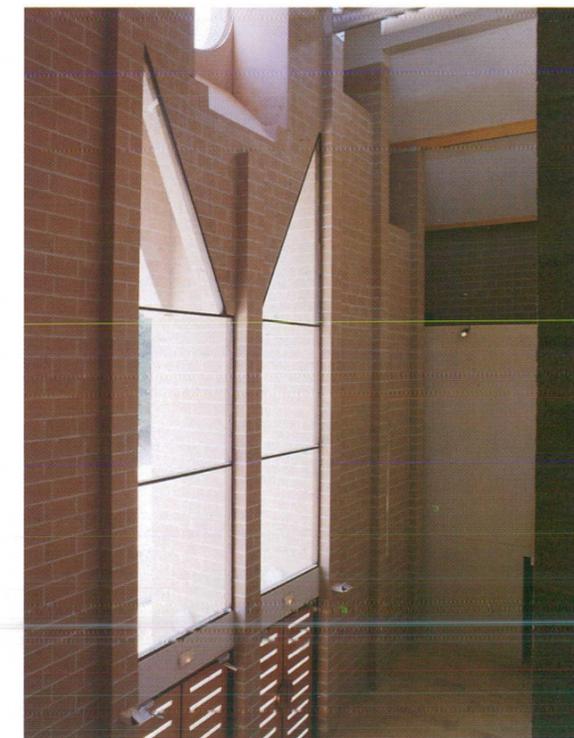
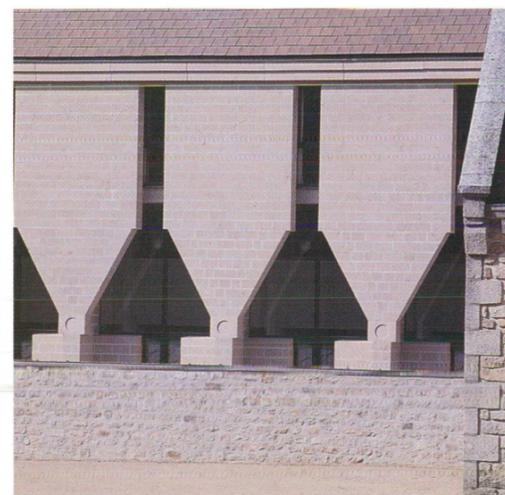
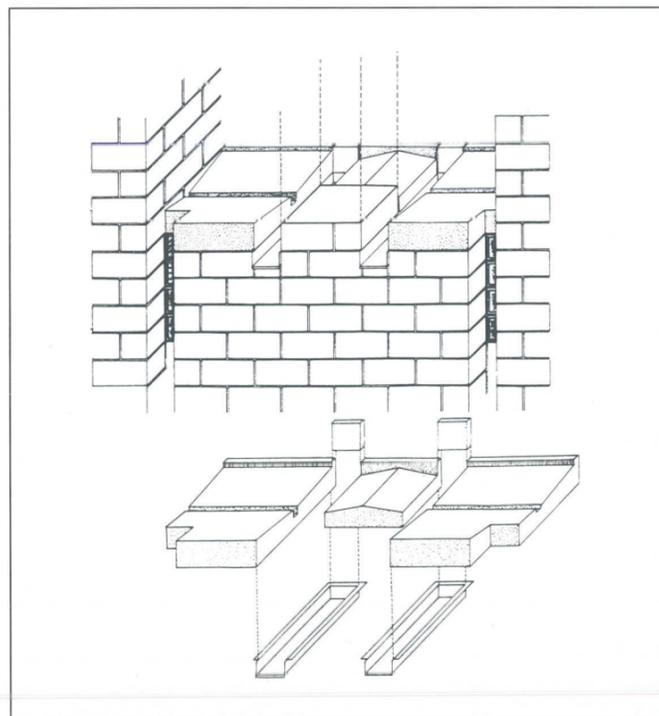
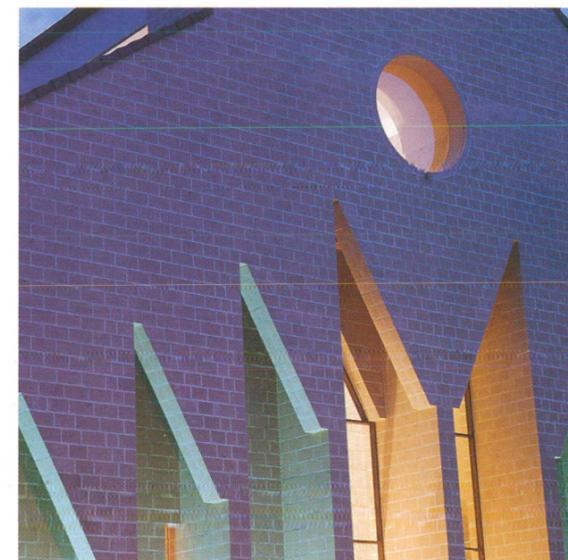
mur suivant un rythme que l'auteur du projet définit comme pure "nécessité".

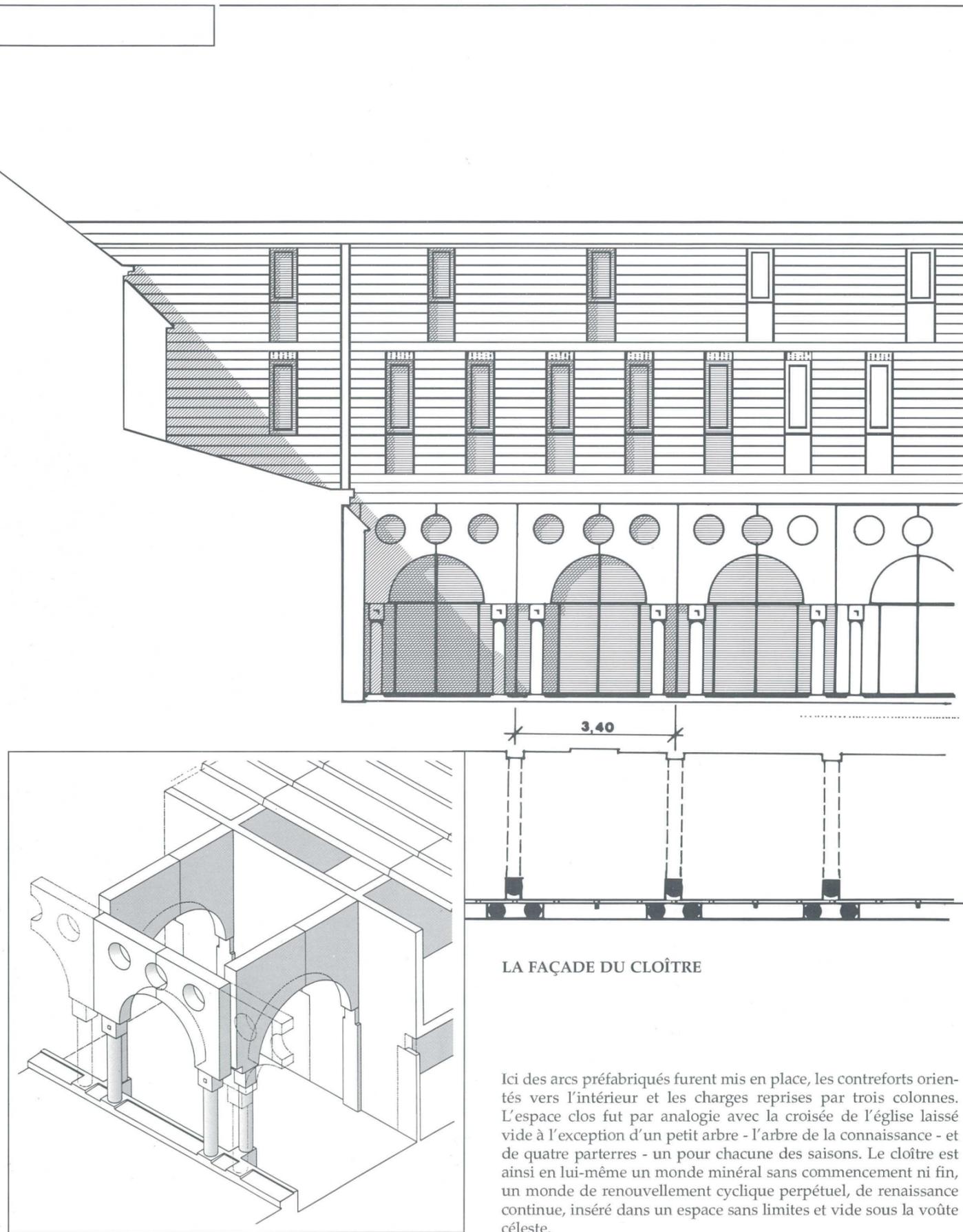
La conception des échappées nécessaires, passages et éclairages est associée à l'apport dosé d'ouverture, de relief, de dynamisme et de symbolisme dans la façade. Un champ de tensions naît de la sorte entre les parties massives et légères, ouvertes et fermées, en plan et en relief. En même temps apparaissent les creux et les parois vitrées qui développent une dynamique ascendante, elle-même tempérée par la masse du couronnement.

Un autre facteur est la tension résultant de l'association de l'ancien et du neuf. Les anciens murs de granit rose utilisent le vocabulaire roman et

INTENSITE ET TENSION

contrastent avec les nouveaux murs érigés en blocs de béton de même nuance que le granit. Dans des murs en pierre de taille, les blocs restent généralement faciles à déceler comme éléments de construction individuels. Le format plus petit des blocs de béton s'estompe grâce à leur régularité. Leur couleur ocre rosé égale constitue une surface homogène puissamment façonnée. Cette force contribue à les accepter comme élément de liaison avec les murs existants et fait de l'ensemble un complexe certes riche de contrastes mais aussi homogène.





LA FAÇADE DU CLOÎTRE

Ici des arcs préfabriqués furent mis en place, les contreforts orientés vers l'intérieur et les charges reprises par trois colonnes. L'espace clos fut par analogie avec la croisée de l'église laissé vide à l'exception d'un petit arbre - l'arbre de la connaissance - et de quatre parterres - un pour chacune des saisons. Le cloître est ainsi en lui-même un monde minéral sans commencement ni fin, un monde de renouvellement cyclique perpétuel, de renaissance continue, inséré dans un espace sans limites et vide sous la voûte céleste.



ce bulletin est publié par:
 FEBELCEM - Fédération de
 l'Industrie Cimentière Belge
 rue César Franck 46
 1050 Bruxelles
 tel. 02 / 645 52 11
 fax 02 / 640 06 70

auteur:
 ir. arch. J. Apers

traduction:
 ir. Y. Collet

dessins:
 J. Cosse
 B. De Groof

photos:
 Paul De Prins
 sauf mention contraire

dépôt légal:
 D/1994/0280/06

BIBLIOGRAPHIE

APERS J.
Murs et espaces vides.
L'abbaye Sainte-Marie de la Pierre-qui-Vire.
Projet de Jean Cosse.
 A+ Architecture n° 124/93
 p. 42-47

COSSE J.
Abbaye Sainte-Marie de la Pierre qui Vire, en Morvan - France
Concours international sur invitation.
 A+ Architecture n 107/90
 p. 34-35

Dans le cadre du Vth Belgian Architectural Awards 1993,
Jean Cosse a reçu le 'grand prix d'architecture de Belgique'.

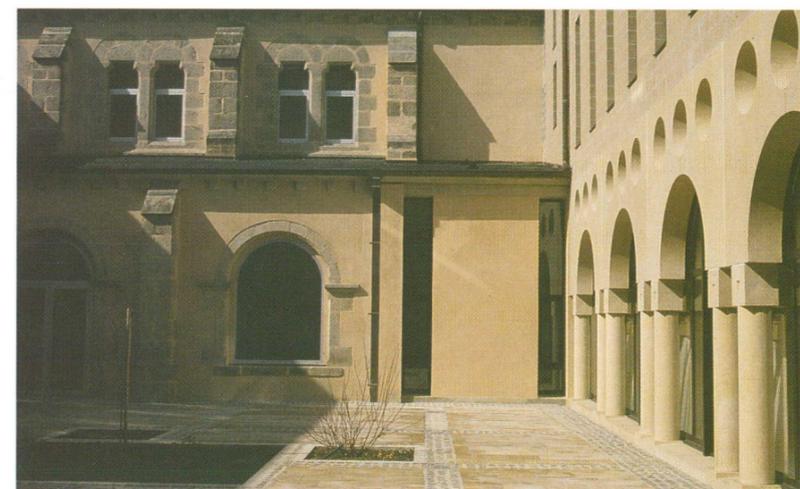
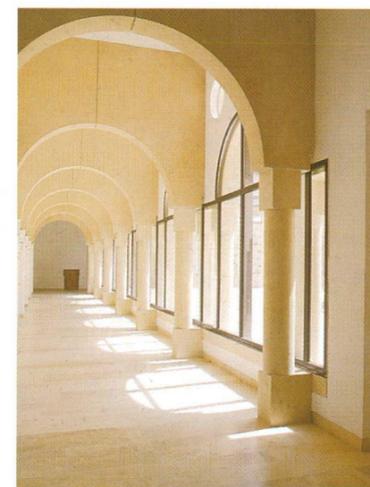


Photo Jean Cosse



Autres intervenants dans la réalisation du projet :
 C.T.B. Ingénierie (bureau d'étude)
 Cabinet H.B.I. (direction des travaux)
 Thierry Delcommune - architecte assistant
 Frère Marc (pour le tympan du narthex et l'étude des couleurs)

Vérification stabilité (à la demande de l'auteur) :
 ir. B. Van Hoorickx
 ir. O. Pfeffermann