

ArcelorMittal Europe - Long Products  
Sections and Merchant Bars



ArcelorMittal

L'acier dans  
la rénovation





L'utilisation combinée de matériaux récents et anciens encourage la diversité architecturale

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction                                      | 2  |
| 2. Structure en acier et niveaux de consolidation    | 10 |
| 3. Rénovation de structures en maçonnerie et en bois | 26 |
| 4. Rénovation de structures en béton armé (BA)       | 38 |
| 5. Rénovation de structures en fer/acier             | 44 |
| 6. Amélioration de la résistance sismique            | 54 |
| 7. Agrandissements                                   | 68 |
| Assistance technique & parachèvement                 | 78 |
| Vos partenaires                                      | 79 |





## 1. INTRODUCTION

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Généralités                              | 4 |
| 1.2 Aspects pratiques                        | 5 |
| 1.3 Avantages de l'acier dans la rénovation  | 6 |
| 1.4 Conditions préalables de la restauration | 7 |
| 1.5 Domaines d'application                   | 8 |



La rénovation de bâtiments et de ponts est une activité en plein essor. Depuis les années 70, on observe que le secteur de la construction s'oriente de plus en plus vers les activités de consolidation, réhabilitation et modernisation de bâtiments anciens.

Les bâtiments anciens en maçonnerie souffrent souvent du temps et de l'usure et requièrent par conséquent une consolidation structurelle et une réhabilitation fonctionnelle. Par ailleurs, en fonction de leur état de conservation, les bâtiments plus modernes en béton armé exigent de régulières opérations de rénovation.

Depuis plusieurs décennies, de nombreux systèmes de consolidation et de restauration ont été développés afin de préserver et de protéger les constructions existentes. Par ses qualités, l'acier y joue un rôle important.

Les processus de restauration et de consolidation exigent une sélection très prudente des nouveaux matériaux de construction, particulièrement en ce qui concerne la restauration délicate des monuments historiques. Ils doivent être choisis en fonction des caractéristiques des matériaux à consolider.



|                        |            | NOUVEAUX MATERIAUX MIXTES - Matériaux de consolidation |       |            |      |     |
|------------------------|------------|--|-------|------------|------|-----|
|                        |            | ACIER  | BETON | MACONNERIE | BOIS | FRP |
| STRUCTURES ENDOMMAGEES | ACIER      | ++   |       |            |      | +   |
|                        | BETON      | ++   | +     |            |      | +   |
|                        | MACONNERIE | ++   | +     | +          | +    | +   |
|                        | BOIS       | ++   |       |            | +    | +   |

On peut faire une distinction entre les nouveaux matériaux qui représentent le « remède » et les anciens matériaux qui représentent le « malade ». Comme « remède », nous pouvons utiliser à la fois des matériaux traditionnels – par exemple du ciment, du mortier, du béton armé et de l’acier – et des matériaux novateurs : mortiers spéciaux, polymères renforcés de fibres de verre (FRP), métaux spéciaux (aciers à haute résistance, acier inoxydable, etc.) ainsi que certains dispositifs récents de protection sismique basés sur des technologies de contrôle passif.

Le problème du choix des matériaux peut être analysé avec une matrice où sont énumérés tous les matériaux curatifs (matériaux de consolidation) et les matériaux à consolider, et dont les combinaisons engendrent de nouveaux matériaux mixtes.

L’objectif de la consolidation structurelle consiste à sélectionner la combinaison la plus appropriée parmi toutes celles présentées dans la matrice. Il est à noter que l’acier est

compatible avec tous les autres matériaux. Un aperçu général des systèmes de consolidation possibles permet de reconnaître que :

- Le ciment et le béton sont fréquemment utilisés comme matériaux de consolidation, particulièrement pour les travaux d’amélioration de la résistance sismique. Ils se présentent sous la forme d’injections et/ou d’éléments en béton armé (BA), mais leur compatibilité avec la maçonnerie d’anciennes constructions architectoniques est contestable. De plus, ces opérations ne sont pas réversibles.
- Les systèmes de consolidation utilisant des matériaux polymères et mixtes sont très récents ; il n’y a actuellement pas de preuves suffisantes de leur durabilité ; leur réversibilité est également contestable ;

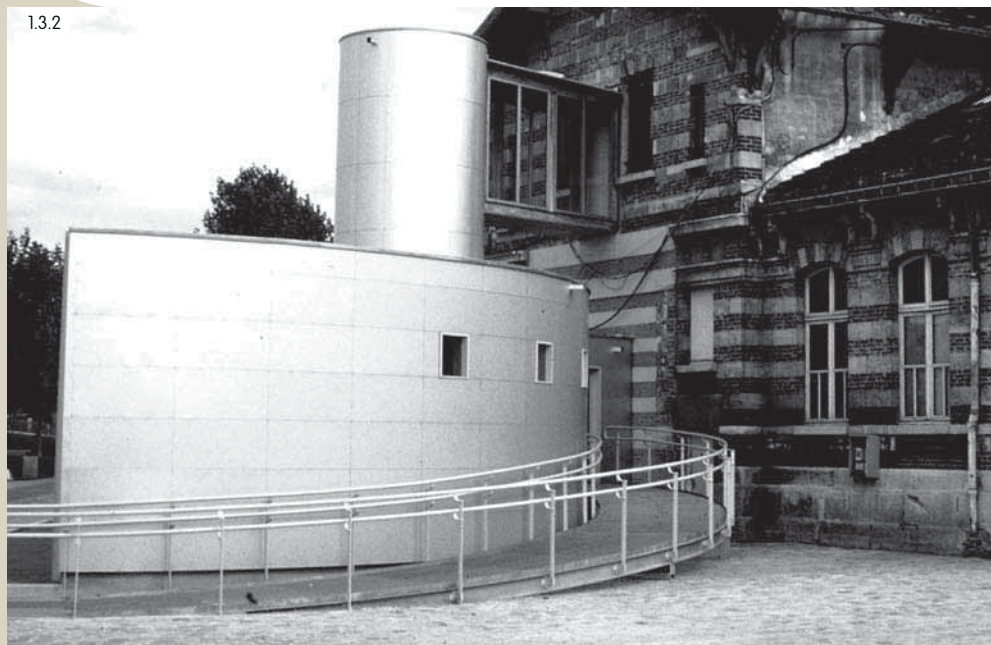
- L’utilisation d’acier pour la consolidation est très répandue et rencontre un succès certain, à la fois pour les monuments et pour les bâtiments standards en maçonnerie ou béton armé ;
- Les dispositifs de contrôle passif en sont encore à leurs débuts mais sont promis à un bel avenir.

L’analyse d’exemples pratiques recueillis dans le monde entier démontre que l’utilisation de structures métalliques permet de répondre aux exigences complexes inhérentes aux différentes étapes du processus de consolidation de la structure. De plus, dans le cas des monuments historiques, les structures en acier remplissent les conditions strictes imposées par les principes de restauration.



# 1.3 Avantages de l'acier dans la rénovation

1.3.2



L'utilisation d'acier pour des opérations de consolidation et de restauration structurelle tire avantage des particularités suivantes :

- *La préfabrication* en atelier permet de réaliser les éléments principaux par soudage. Ils sont personnalisés en fonction du transport et des besoins opérationnels sur le chantier de construction, où ils peuvent facilement être assemblés par boulonnage ;
- *La réversibilité* est une des propriétés fondamentales de l'acier, grâce à l'emploi d'assemblages boulonnés. C'est applicable non seulement pour les constructions provisoires mais aussi pour les permanentes (illustration 1.3.1) ;
- *La légèreté* des éléments structurels, due au rapport élevé résistance/poids, simplifie le transport et les phases d'érection. Il minimise aussi les risques liés à l'augmentation des charges sur les structures existantes ;
- *Les dimensions réduites* des éléments de structure sont une conséquence naturelle de la grande efficacité structurelle de l'acier. La substitution et/ou l'intégration de nouveaux éléments de renforcement dans les ouvrages existants sont simplifiées ;
- *L'aspect esthétique* des éléments en acier est essentiel. Le contraste créé par l'association des éléments anciens de la structure et des éléments récents en acier permet d'accroître la valeur architecturale des bâtiments (illustration 1.3.2) ;
- *La vitesse de construction* est idéale dans tous les cas, mais particulièrement si l'intervention de réhabilitation est urgente. L'aggravation des dégradations est évitée et la sauvegarde immédiate est garantie ;
- *Le large éventail* de produits disponibles sur le marché est important dans la mesure où il permet de satisfaire tous les besoins de conception et de construction tout en assurant une grande marge de flexibilité. Dans le cas de l'acier, la gamme de produits est vaste : de l'acier profilé laminé à chaud sous la forme de tôles, doubles T, profilés en U, cornières aux éléments préfabriqués tels que poutres cellulaires, planchers de type « Slim Floor », coffrage trapézoïdal, etc.

Toutes les caractéristiques susmentionnées confirment que l'acier est le matériel idéal pour consolider de tous les éléments structurels en maçonnerie, béton armé, bois et, bien sûr, acier.

1.3.1





# 1.4 Requis préalable à la restauration

Lorsque le bâtiment à consolider revêt un intérêt historique, sa restauration est un processus très délicat. Les critères sur lesquels doit être fondé le travail de restauration sont axés sur la conservation de bâtiments préexistants. L'intégration de nouveaux éléments doit leur réinstaurer la fonctionnalité. Ces nouveaux ouvrages doivent avoir une apparence résolument moderne ; ils doivent être reconnaissables et réversibles, grâce à l'emploi de technologies et matériaux qui peuvent être enlevés sans endommager la structure existante.

Les différentes « chartes » internationales de la restauration, en fait, établissent l'incongruité d'une reconstruction avec les méthodes du passé, qui ne peuvent plus être reproduites pour maintes raisons, surtout technologiques. D'autres raisons sont liées aux nouvelles exigences fonctionnelles et au manque de disponibilité d'anciens matériaux. Dans le même temps, ces chartes signalent la nécessité de recourir d'une manière clairement moderne à des technologies et des matériaux bien adaptés, tout particulièrement dans le cas où la tâche de restauration implique une restructuration avec reconstruction partielle.

En particulier, la Charte de Venise (1964) établit que les travaux d'intégration doivent correspondre aux « caractéristiques de notre époque » et que, *« lorsque les techniques traditionnelles ne sont pas efficaces, la consolidation d'un monument doit être assurée en utilisant les outils les plus modernes pour la structure et la conservation, dont l'efficacité est démontrée par des données scientifiques et garantie par l'expérience »*.

Une application logique de ces principes montre que l'acier, en tant que matériau et technologie, est tout particulièrement adapté à la consolidation de bâtiments. Il présente en effet l'avantage d'être un matériau moderne aux caractéristiques « réversibles », qui s'harmonise particulièrement bien avec des matériaux du passé pour former des systèmes structurels intégrés. De plus, ses excellentes performances mécaniques et la flexibilité des systèmes de construction qui l'utilisent confortent le choix de son utilisation.

Les systèmes de construction basés sur d'autres matériaux (ciment, mortier, béton, polymère, composite) ne respectent pas l'importante condition préalable de réversibilité susmentionnée.

En conclusion, l'utilisation de l'acier pour la réhabilitation structurelle de monuments anciens respecte parfaitement les recommandations des théories modernes de restauration.

De fait, l'acier est largement utilisé pour les travaux de restauration dans tous types d'anciens monuments et bâtiments historiques, et également sous la forme de dispositifs spécifiques de protection sismique.

# 1.5 Domaines d'application

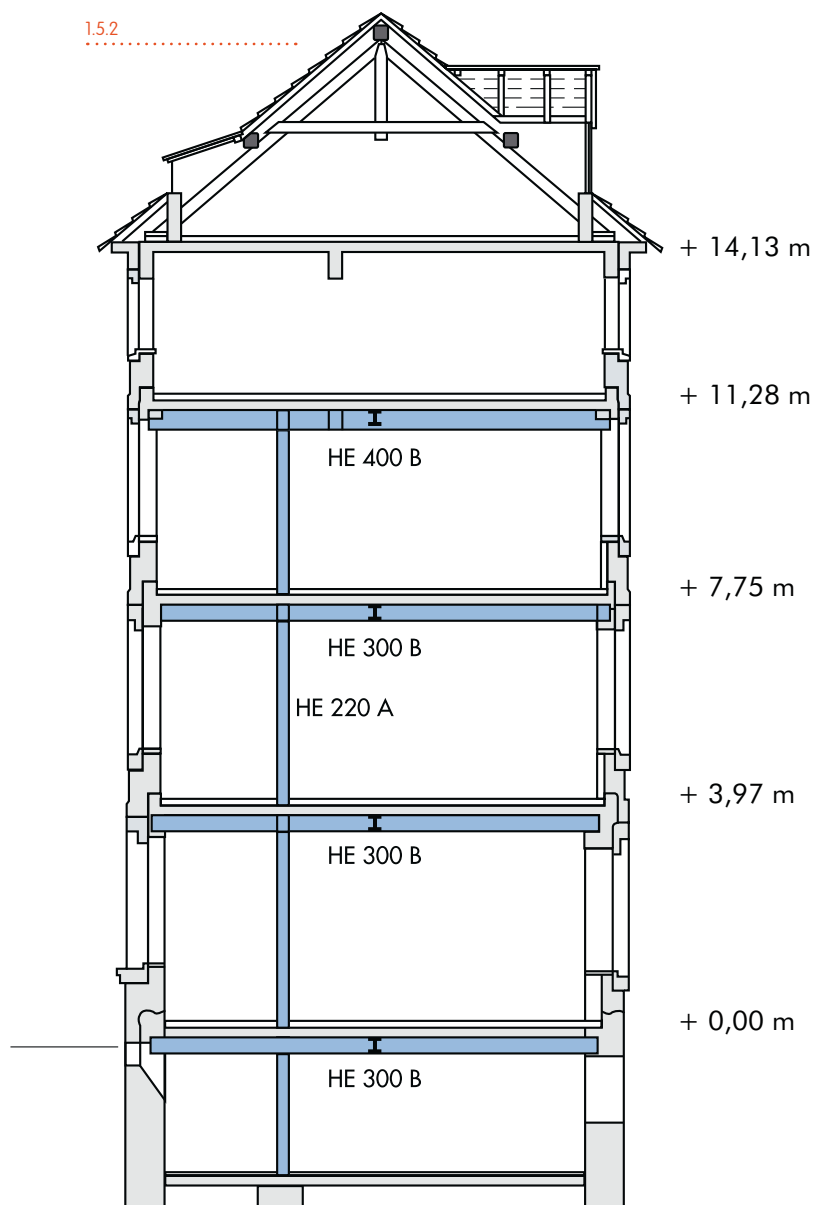
On trouve partout dans le monde des exemples de rénovation, réhabilitation et extension ayant recours à l'acier.

- *Des bâtiments industriels* ont été reconvertis en appartements ou bureaux (illustration 1.5.1).
- *Des bâtiments historiques* ont été entièrement vidés : leurs façades d'origine ont été conservées et l'intérieur a été remplacé par une nouvelle ossature (illustration 1.5.2).

Des structures autoportantes ont été insérées dans des monuments historiques et permettent une intégration adéquate dotée de valeurs stylistiques modernes. Ce type d'application devient de plus en plus courant pour des musées et des salles d'exposition.

1.5.1





- De nombreuses toitures d'églises anciennes ont été remplacées par des systèmes en acier, composés d'armatures en acier et de tôles trapézoïdales (illustration 1.5.3). D'autres bâtiments importants ont été restructurés en utilisant des extensions verticales et horizontales qui forment un ensemble structurel esthétique et harmonieux avec les éléments préexistants.
- Des quartiers entiers de villes italiennes ont été restaurés après avoir été endommagés par des tremblements de terre ; des éléments en acier ont été utilisés pour augmenter la résistance sismique de bâtiments anciens en maçonnerie.
- Des structures en béton armé ont été réparées à l'aide d'éléments en acier après avoir été endommagées ou lorsque les charges de service augmentent. Elles ont également été transformées en changeant la structure d'origine, en diminuant ou augmentant la hauteur des niveaux, ou en ajoutant des contreventements en acier pour une plus grande protection sismique.





## 2. STRUCTURE EN ACIER ET NIVEAUX DE CONSOLIDATION

|                     |    |
|---------------------|----|
| 2.1 Généralités     | 12 |
| 2.2 Préservation    | 12 |
| 2.3 Réparation      | 16 |
| 2.4 Renforcement    | 18 |
| 2.5 Restructuration | 20 |



## 2.1 Généralités

On distingue plusieurs niveaux dans la consolidation structurelle d'un bâtiment. Cette distinction peut être basée sur l'ampleur et la qualité des opérations mais, parfois aussi sur l'ordre chronologique dans lequel ces opérations sont exécutées. La classification proposée prend quatre niveaux en considération : préservation, réparation, renforcement et restructuration.

## 2.2 Préservation

La *préservation* est le premier niveau de consolidation des bâtiments. Elle consiste en un ensemble de mesures provisoires à même de garantir une sécurité adéquate, à la fois pour le public et pour le site, pendant la phase transitoire qui précède toute tâche de consolidation définitive (illustration 2.2.1). Cette mesure est prise à la fois pour protéger le site et pour éviter un effondrement partiel ou total lorsque des bâtiments en requièrent des mesures urgentes pour en assurer la sécurité.

2.2.1



Les systèmes de préservation doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- vitesse d'exécution
- flexibilité des systèmes constructifs
- adaptabilité à des espaces étroits et à des zones de travail d'accès difficile
- réversibilité du travail de restauration.

2.2.2



Les principaux domaines d'application sont :

- support temporaire de façades pendant la reconstruction d'un nouveau bâtiment entre deux bâtiments existants, à l'aide de structures spatiales réticulées
- structure en acier supportant la façade pendant la démolition de la partie intérieure du bâtiment la fonction de support peut être provisoire ou faire partie de la structure finale (par exemple, armatures verticales pour raidir la façade)
- support temporaire de façades de bâtiments immédiatement après un tremblement de terre, en utilisant des échafaudages en acier, ce qui évite de devoir bloquer l'accès à une rue
- toit provisoire pour offrir une protection adéquate du site contre les intempéries pendant la restauration (illustration 2.2.2).

A long, modern architectural atrium with a central green wall and glass railings. The space is characterized by its clean lines and use of materials like concrete, glass, and metal. The central green wall is a prominent feature, adding a touch of nature to the urban environment. The glass railings provide a clear view of the surrounding architecture and the sky. The overall atmosphere is bright and open, reflecting a contemporary design approach.

Chambre de Commerce, Luxembourg

Pendant l'exécution des travaux de préservation, l'acier est principalement utilisé comme suit :

- des éléments de structure en acier, sous la forme de « systèmes » d'échafaudage (illustration 2.2.3)
- des structures lourdes en acier (profilés soudés ou boulonnés) et légères (sections creuses avec joints boulonnés) qui sont adoptées pour préserver des mesures actives et passives (illustrations 2.2.4 et 2.2.5).

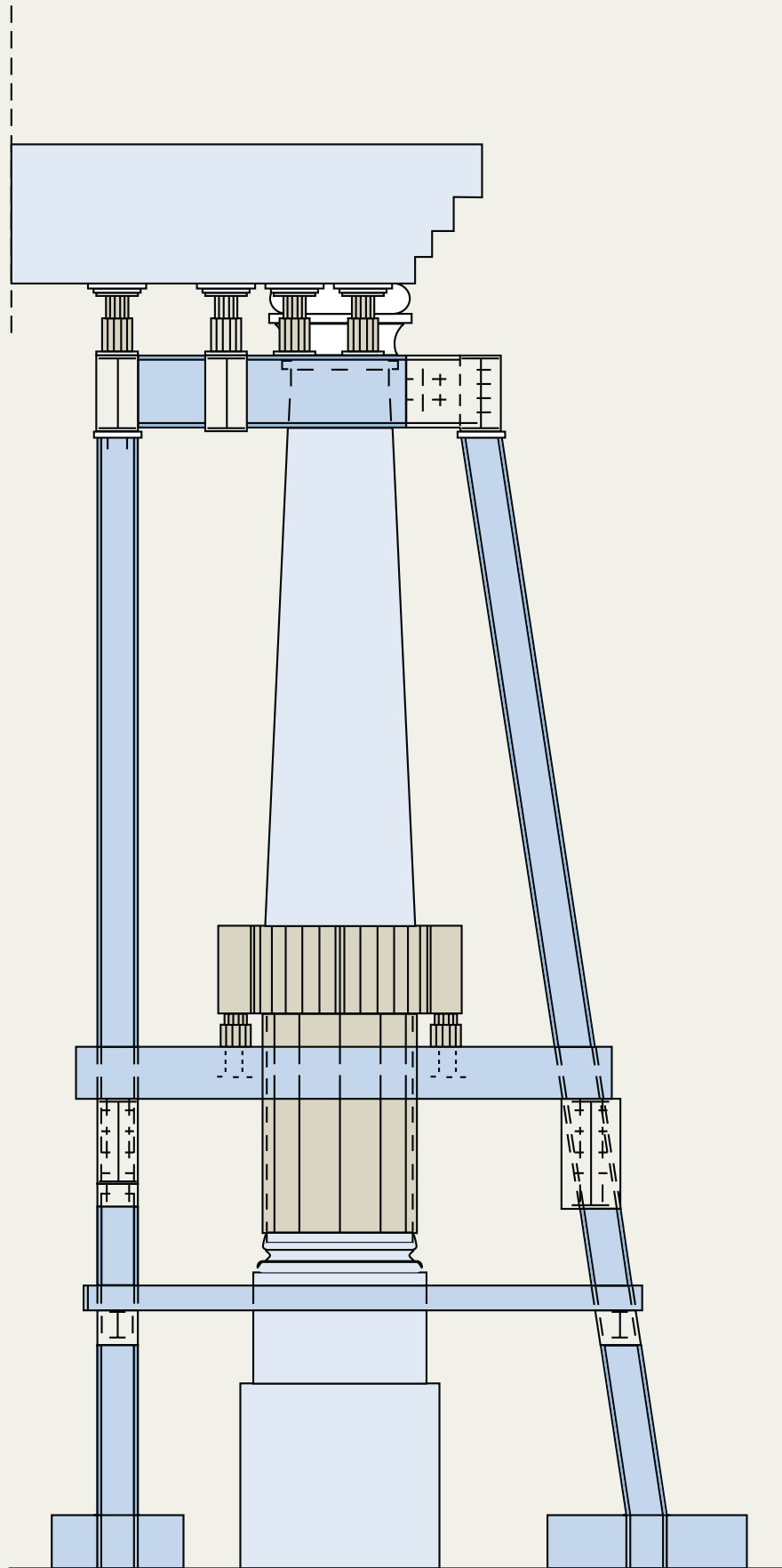


Ces systèmes structurels en acier offrent les avantages suivants :

- légèreté
- degré élevé de préfabrication
- facilité de transport et de montage
- économique, compte tenu de la possibilité de réutilisation.



2.2.5



2.2.5 Support temporaire des colonnes à l'entrée du Palazzo Corigliano à Turin (Italie)

## 2.3 Réparation

### 2. Structure en acier et niveaux de consolidation

La réparation est le second niveau de consolidation de bâtiments. Elle comprend une série d'opérations exécutées sur le bâtiment pour restaurer l'efficacité structurelle qu'il avait avant de subir des dégâts. La réparation, à l'inverse de la préservation, représente une opération définitive utilisée là où les dégâts ne requièrent pas d'intervention urgente. Elle permet une restauration directe des performances structurelles, qui rencontrent des exigences de sécurité minimales, sans introduire de renforcement supplémentaire dans les structures du bâtiment endommagé.

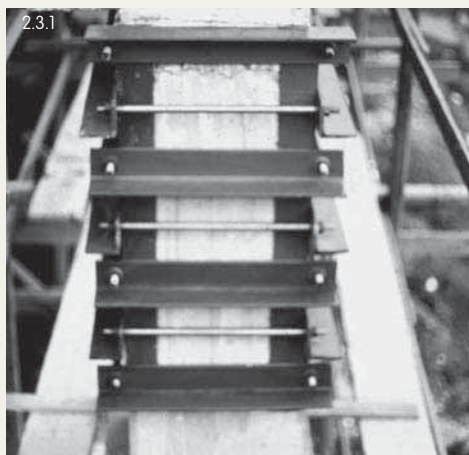
Au stade de la réparation, il existe de nombreux systèmes de consolidation basés sur l'utilisation d'acier qui améliorent le comportement des structures en maçonnerie, en béton armé et en bois.

Les éléments structurels en acier offrent, par le biais de diverses technologies « préfabriquées », des solutions ad hoc conçues pour atteindre des résultats optimaux et adaptées à des exigences spécifiques.

Les atouts des composants en acier sont :

- leur faible poids qui offre une facilité de transport et de montage et qui est un facteur essentiel dans les zones à espace limité comme les centres historiques des vieilles villes
- la réversibilité, grâce à l'utilisation de joints boulonnés qui permettent la réutilisation de la structure en cas de démantèlement (illustration 2.3.1)

- la vitesse de construction, utile lorsqu'il faut effectuer des réparations d'urgence parce que les dégâts risquent de se propager rapidement (illustration 2.3.2)
- l'économie, grâce au potentiel de réutilisation (illustration 2.3.3).



**2.3.1** Cornières et entretoises en acier pour réparer un poteau BA

**2.3.2** Portiques en acier pour réparer des architraves en pierre (Berlin, Allemagne)

**2.3.3** Eglise d'exposition à Hanovre : structure en acier modulaire en vue du démantèlement futur et de la reconstruction en un autre lieu

Dames de France, Perpignan



## 2.4 Renforcement

### 2. Structure en acier et niveaux de consolidation

*Le renforcement* implique l'amélioration des performances structurelles du bâtiment afin qu'il soit conforme à de nouvelles exigences fonctionnelles ou environnementales. Ce niveau de consolidation n'affecte pas de façon significative le schéma structurel. Des éléments nouveaux sont intégrés aux éléments existants sans altérer la distribution de rigidité et de masse du bâtiment.

Contrairement à une simple réparation, le renforcement peut être exécuté à différents niveaux selon les augmentations de résistance requises, et le cas échéant, selon l'étendue des dégâts existants.

D'un point de vue sismique, on peut distinguer deux niveaux d'opérations de renforcement : simple amélioration et renforcement. Un renforcement permet d'assurer un degré

accru de sécurité. Dans ce cas, le travail de renforcement agit sur une partie ou la totalité du bâtiment, mais sans en modifier excessivement le schéma statique ni, par conséquent, son comportement global. Le travail d'amélioration peut également être exécuté sur divers éléments structurels lorsqu'ils sont affectés par des erreurs de dimensionnement ou des défauts d'exécution.

*Le travail d'amélioration de la résistance sismique* consiste en un ensemble de mesures visant à garantir que la structure soit à même de résister aux charges théoriques d'un nouveau tremblement de terre. Il peut aussi requérir la révision extensive de la structure, avec modification complète des performances sismiques. Dans ce cas, cette intervention doit être classifiée dans les opérations de restructuration.



2.4.1



2.4.2

Un travail de renforcement est exigé lorsque :

- les bâtiments sont soumis à des contraintes plus fortes, suite à un changement d'affectation qui requiert une augmentation des charges
- les constructions existantes sont situées dans une zone récemment classée en zone sismique et sont dès lors sujettes à des contraintes plus sévères en raison des risques de séismes.

Les réglementations nationales font généralement une distinction claire entre la simple amélioration et les travaux d'amélioration liés à la résistance sismique.

Les travaux d'amélioration doivent être adaptés dans les cas suivants :

- lorsque l'utilisation prévue change
- lorsqu'il faut éliminer des défauts de conception ou d'exécution
- lorsque les opérations de consolidation sont appliquées à des monuments classés inadaptés à des travaux de grande envergure.



2.4.3

L'amélioration de la résistance sismique est obligatoire dans les cas suivants :

- surélévation ou extension de la construction, avec augmentation du volume et des espaces
- augmentation des charges suite à la modification de l'utilisation prévue
- modification substantielle du système structurel à la suite d'une rénovation ou, en général, lorsque le comportement global du bâtiment est affecté pendant la restructuration.

Les différents niveaux de renforcement, de la simple amélioration à l'amélioration de la résistance sismique, peuvent être réalisés à l'aide des mêmes systèmes de consolidation technologiques que ceux utilisés pour la réparation. L'acier est communément utilisé pour améliorer le comportement statique des bâtiments en maçonnerie et en béton armé. Des systèmes de contreventement sont souvent utilisés pour augmenter la résistance sismique des structures en briques et en béton armé. Des systèmes de contreventement novateurs reposent sur l'utilisation de profilés à joints excentriques en acier (EB) (illustration 2.4.1), de contreventements travaillant uniquement en traction (BRB) (illustration 2.4.2) et de panneaux renforcés en acier à basse limite élastique (illustration 2.4.3).

## 2.5 Restructuration

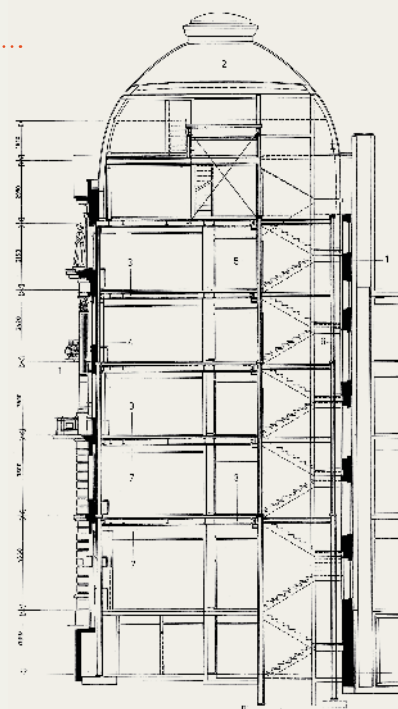
### 2. Structure en acier et niveaux de consolidation



La *restructuration* représente, dans l'ordre architectural, le niveau de consolidation le plus élevé. Il s'agit de la modification partielle ou totale de la distribution fonctionnelle, de la configuration et des dimensions volumétriques. Cette modification est accompagnée du changement des caractéristiques originales du bâtiment, y compris une modification extensive de la structure. Il existe quatre types de travaux de restructuration : énucléation, insertion, addition et allègement.

- L'*énucléation* est le remplacement total ou partiel de la partie intérieure du bâtiment par une nouvelle structure. On l'effectue lorsque des raisons architecturales et/ou urbanistiques exigent la conservation complète des façades du bâtiment tandis que la configuration intérieure est modifiée pour des raisons fonctionnelles (illustrations 2.5.1 a,b).

2.5.1b

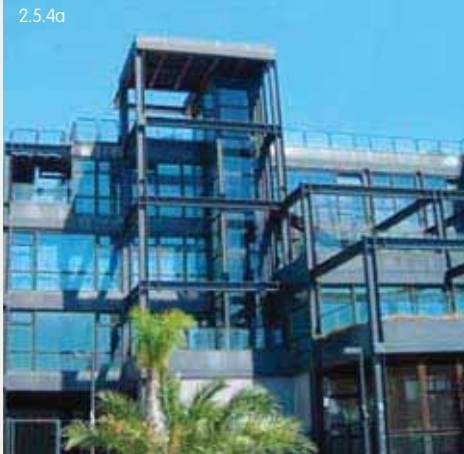


- 2.5.1** L'ancien « Roemerhof » à Zurich est maintenant une banque moderne : a) la façade ;  
b) les nouveaux bureaux du « Roemerhof » sont placés dans une structure d'acier à l'intérieur de la façade existante
- 2.5.2** Exemples d'insertion dans un bâtiment en maçonnerie : a) nouvelle mezzanine en acier ; b) nouvelle cage d'escalier en acier
- 2.5.3** Plancher en acier dans un immeuble de bureaux à Luxembourg

- *L'insertion* est l'introduction de nouvelles structures ou de nouveaux éléments structurels dans les dimensions volumétriques existantes. Des planchers intermédiaires ou mezzanines supplémentaires sont créés pour augmenter la surface utile dans les limites d'un volume donné (illustrations 2.5.2 a, b). Exemple de travail d'insertion : l'addition de cadres autoportants insérés en grandes quantités pour abriter des présentoirs d'exposition spéciaux visibles de plusieurs étages ainsi que des cages d'escalier et d'ascenseur (illustration 2.5.3).



## 2. Structure en acier et niveaux de consolidation



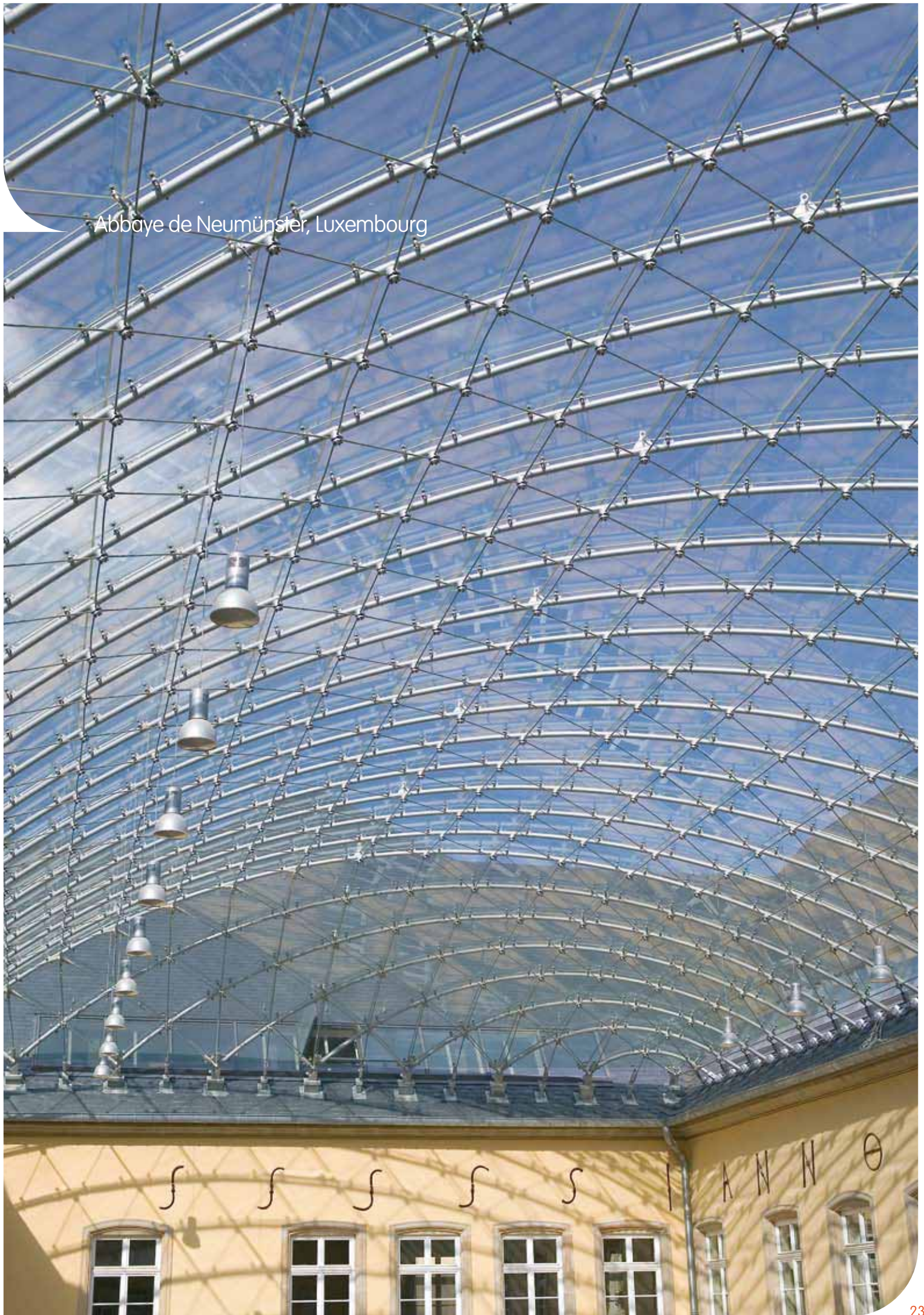
- *L'addition* provient de nouvelles exigences fonctionnelles, et correspond à l'augmentation à l'horizontale ou à la verticale du volume original du bâtiment.
  - L'addition horizontale correspond à l'introduction de nouveaux volumes latéraux le long de la structure d'origine. Dans ce cas, les aspects esthétiques plutôt que structurels jouent un rôle plus important compte tenu de la nécessité d'harmoniser différents styles architecturaux (illustrations 2.5.4 et 2.5.5).



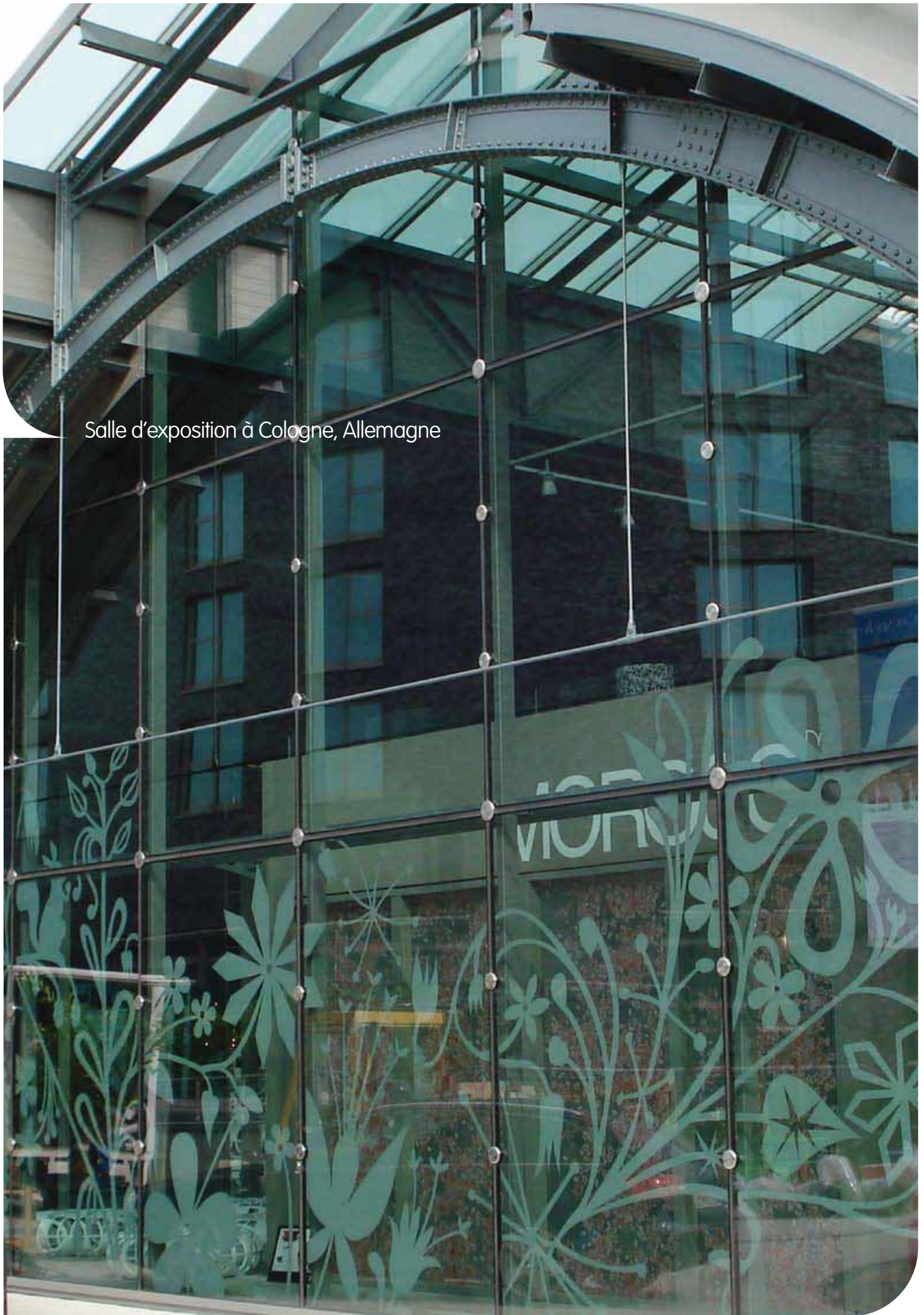
- 2.5.4** Nouveau bâtiment en acier dans la zone archéologique industrielle de Catania (Italie), appelée « Le Ciminere », où les bâtiments anciens en maçonnerie ont été restaurés à l'aide d'acier
- 2.5.5** Nouveau bâtiment en acier à l'intérieur de monuments historiques au centre d'Udine (Italie)



Abbaye de Neumünster, Luxembourg



Salle d'exposition à Cologne, Allemagne



2.5.6a



2.5.6b



- *L'addition verticale* est l'extension du bâtiment en hauteur, d'un ou de plusieurs niveaux au-dessus de la structure existante. En fonction du poids supplémentaire, il peut être nécessaire de vérifier la résistance de la structure d'origine. D'éventuelles interventions de consolidation sont éventuellement à prévoir préalablement à l'élévation. Ce problème revêt une importance particulière dans les zones d'activité sismique, où le comportement global du bâtiment est fortement influencé par l'addition de nouvelles masses, surtout aux niveaux supérieurs. La nécessité de minimiser le poids structurel supplémentaire fait de l'acier le matériau le plus approprié, grâce à son excellent rapport résistance / poids (illustrations 2.5.6 a, b).

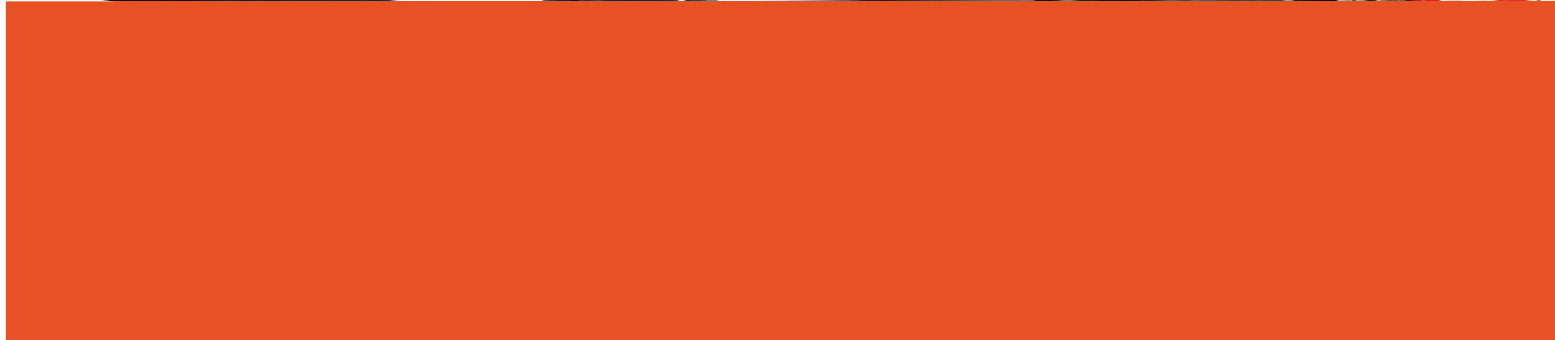
- *L'allègement*, par opposition à l'addition verticale, est la suppression d'un ou de plusieurs niveaux supérieurs par nécessité de réduire les charges pesant sur la structure. On peut y parvenir par le biais de mesures telles que le remplacement des planchers et/ou d'autres éléments structurels par des matériaux neufs plus légers. Le remplacement de planchers lourds en bois par des poutrelles en acier I et des bacs collaborants est très fréquent, tout comme le remplacement des toits anciens par des charpentes métalliques.

La restructuration est appropriée lorsque la modification de la configuration fonctionnelle du bâtiment requiert l'introduction de nouveaux volumes et zones ou lorsque les nouveaux règlements nécessitent la modification de la structure porteuse. C'est également

nécessaire dans le cas de bâtiments fortement endommagés dans lesquels la structure doit être complètement modifiée et améliorée.

La conservation de bâtiments existants et l'intégration d'un nouvel ouvrage clairement distinguable et réversible représentent une opération de restructuration classique, qui doit être fondée sur la théorie moderne de restauration.

Une application logique des principes de restauration montre incontestablement que l'acier et sa technologie offrent les conditions préalables requises d'un matériau moderne aux caractéristiques « réversibles ». Ils se combinent parfaitement à des matériaux traditionnels pour former un système structurel intégré.





### 3. RENOVATION DE STRUCTURES EN MACONNERIE ET EN BOIS

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Consolidation de structures en maçonnerie                     | 28 |
| 3.2 Consolidation d'un bâtiment en maçonnerie                     | 30 |
| 3.3 Enucléation d'un bâtiment en maçonnerie à Paris (France)      | 31 |
| 3.4 Consolidation de structures en bois avec de l'acier           | 32 |
| 3.5 Remplacement des armatures en bois par des armatures en acier | 34 |
| 3.6 Toitures en verre et acier                                    | 37 |



# 3.1 Consolidation de structures en maçonnerie

« La capacité portante d'éléments en maçonnerie doit être améliorée si ces derniers sont fissurés suite aux dégâts causés par des charges inattendues comme un tremblement de terre ou si la structure est amenée à devoir résister à des charges plus élevées comme dans le cas d'une réaffectation du bâtiment. »

La solution classique pour améliorer la capacité portante d'éléments en maçonnerie consiste à injecter du mortier ou du ciment sous pression, avec ou sans barres d'ancrage en acier. Si c'est le cas, l'utilisation d'acier inoxydable est recommandé afin d'éviter les dégâts ultérieurs causés par la corrosion. Cependant, ce système n'est pas réversible et est par conséquent contraire aux principes fondamentaux de la restauration.

Si l'on observe certains bâtiments maçonnés anciens, il apparaît clairement, lors de leur démolition, qu'une ossature métallique a été utilisée à l'origine pour en renforcer la maçonnerie (illustration 3.1.1). Cela signifie que l'acier représente le système le plus approprié de consolidation pour ce type de structures.

internes intégrés à des traverses, à l'aide de fers U reliés par des tirants externes ou à l'aide d'anneaux horizontaux (illustration 3.1.2).

Lorsqu'il faut transférer à une nouvelle structure en acier une proportion significative de la charge verticale totale reliée à un pan de maçonnerie, les nouveaux poteaux en acier peuvent être insérés dans des entailles appropriées ou simplement reliées à la maçonnerie (illustration 3.1.3).

Dans le cas d'ouvertures, la résistance de la partie manquante de maçonnerie peut être rattrapée à l'aide de poutres en acier sur la partie supérieure ou au moyen de cadres en acier autour de l'ouverture (illustration 3.1.4). Des voûtes de maçonnerie peuvent aussi être renforcées à l'aide de structures en acier (illustration 3.1.5).



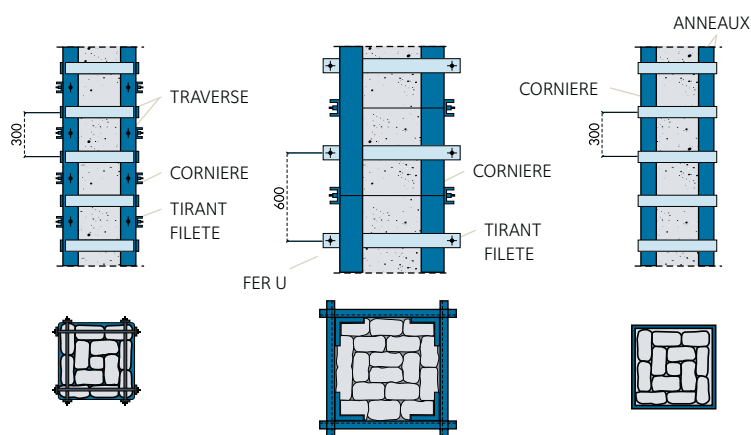
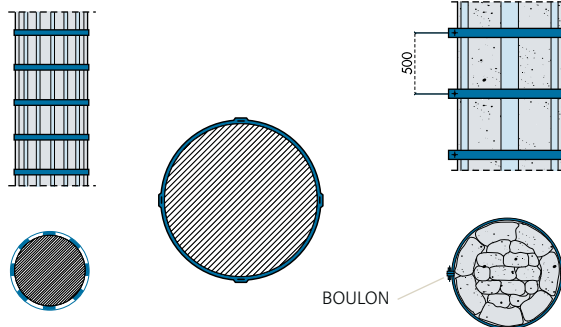
Les poteaux de maçonnerie endommagés sont généralement réparés à l'aide de cerclages métalliques. Le maintien latéral du matériau produit une augmentation notable de la capacité portante verticale (illustration 3.1.2).

Dans le cas de poteaux circulaires, les cerclages peuvent être faits de tôles verticales de section transversale rectangulaire, qui sont renforcées par des anneaux horizontaux en acier. Dans le passé, l'opération de précontrainte était faite par chauffe puis contraction des anneaux. De nos jours, deux demi-anneaux peuvent être précontraints à l'aide de boulons (illustration 3.1.2).

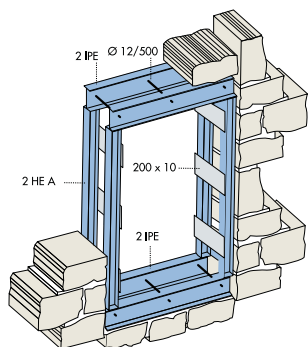
Dans le cas d'une section transversale carrée ou rectangulaire, des cornières peuvent être utilisés comme éléments verticaux dans les coins. Ils peuvent être raccordés de différentes manières : à l'aide de tirants



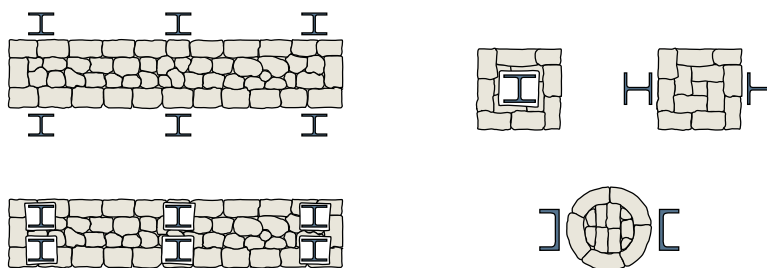
3.1.2



3.1.4



3.1.3



- 3.1.1** Ossature métallique à l'intérieur des murs maçonnés lors de travaux de démolition à Manchester (Royaume-Uni)
- 3.1.2** Consolidation de poteaux maçonnés à l'aide d'acier
- 3.1.3** Consolidation de murs maçonnés à l'aide d'acier
- 3.1.4** Détails d'une structure en acier autour d'une nouvelle fenêtre
- 3.1.5** Consolidation de voûtes maçonnées à l'aide d'acier

## 3.2 Consolidation d'un bâtiment en briques : réutilisation d'un complexe de bâtiments à Bologne (Italie)

Un grand complexe de bâtiments à Bologne a été complètement transformé et abrite désormais hôtels, appartements et magasins. Une ossature en acier a été choisie pour des raisons structurelles et architecturales.

Les bâtiments maçonnés de 5 ou 6 étages autour du périmètre ont été consolidés en conservant leurs caractéristiques originales. Certains bâtiments du centre, sérieusement endommagés, ont été démolis et remplacés par trois nouveaux bâtiments à 2 ou 3 étages. Des ossatures résistantes en acier ont été insérées verticalement et horizontalement.

L'insertion de deux niveaux d'ossatures en acier à fondations indépendantes dans la maçonnerie existante a permis la création d'escaliers et de passages couverts dans les deux niveaux inférieurs et autour de la cour intérieure. Ces nouvelles structures sont composées de sections HE. Le processus d'érection, l'insertion des éléments en acier ainsi que la démolition subséquente de la maçonnerie ont été effectués sans utiliser de dispositifs de protection.

La cour intérieure est caractérisée par un certain nombre d'escaliers en acier (illustration 3.2.1) la reliant au premier étage.





## 3.3 Enucléation d'un bâtiment en briques et insertion d'une structure en acier (Paris, France)

Certains bâtiments historiques de Paris ont récemment été remis en état en les énucléant complètement, c'est-à-dire en ne conservant que la façade. Dans deux bâtiments du Boulevard Haussman, les numéros 6-8 et 54, les volumes ont été complètement vidés et une nouvelle structure en acier a été fixée sur les façades existantes (illustration 3.3.1).

L'immeuble AGF à l'Îlot Lafayette a été rénové en utilisant une grande quantité de poutres alvéolaires en acier. Un autre bâtiment au n° 7 Place d'Iéna a été énucléé et une nouvelle structure d'acier de 8 niveaux fixée à l'intérieur.

Un groupe de bâtiments construits entre le début du XX<sup>e</sup> siècle et les années 50 a été rénové et transformé en un unique immeuble de bureaux modernes – appelé « Le Centorial » – avec un nouveau parking en sous-sol. Pour la majorité des cas précités, les poutrelles principales et secondaires des structures de plancher sont alvéolaires pour faciliter l'installation d'équipements techniques (câbles, canalisations, etc).



## 3.4 Consolidation de structures en bois avec de l'acier

Aux bâtiments maçonnés sont généralement intégrés des planchers en bois qu'il faut très souvent renforcer (poutrelles et hourdis) en raison d'un mauvais état de conservation à cause de champignons, de parasites et de l'humidité.

De nombreux systèmes ont été proposés en vue d'améliorer la capacité portante des poutres. Il existe deux principales méthodes pour y parvenir, soit en insérant les nouveaux éléments en acier au-dessous des poutres soit en les mettant au-dessus (illustrations 3.4.1 a, b).

Dans le premier cas, lorsque les renforts en acier peuvent être insérés par-dessous, ils peuvent prendre différentes formes : de simples tôles à des poutres en H ou en U laminées à chaud. Ils peuvent être adaptés au cas par cas en fonction des caractéristiques de la structure à consolider.

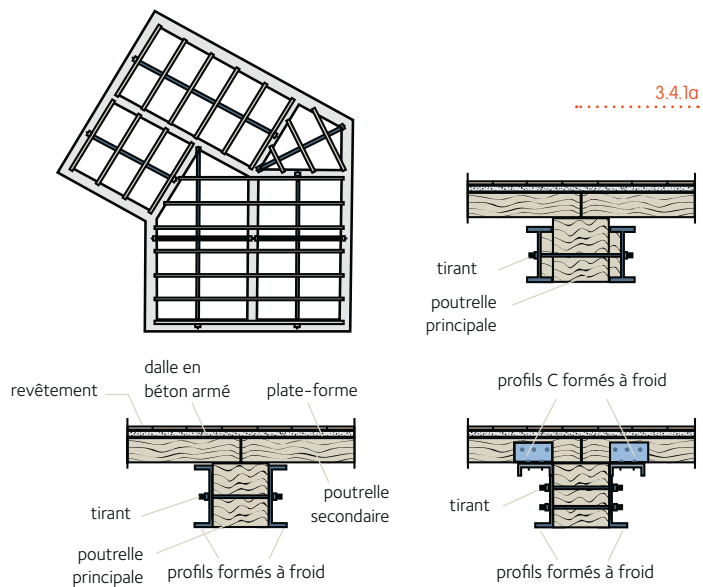
Lorsque la forme d'origine de la poutrelle doit être préservée parce qu'elle est d'un intérêt historique particulier, il faut recourir à la seconde méthode en travaillant au-dessus de la poutrelle.

Le résultat final est un système mixte bois/acier, qui accroît considérablement la solidité et la rigidité de la structure d'origine. Dans tous les cas, une telle interaction entre l'ancien matériau et le nouveau doit être garantie en utilisant des systèmes d'assemblage appropriés, depuis les simples tirants jusqu'aux différents types de goujons (illustration 3.4.2).

Nombre d'anciens ponts en bois sont des exemples de constructions historiques qui ont été préservées grâce à l'utilisation d'acier. Deux exemples significatifs : la passerelle pour piétons « Academia » à Venise et le pont « Buchfahrt » près de Weimar en Allemagne, dont la restauration protège la structure des lourdes charges qui le traversent quotidiennement (illustrations 3.4.3 a, b).

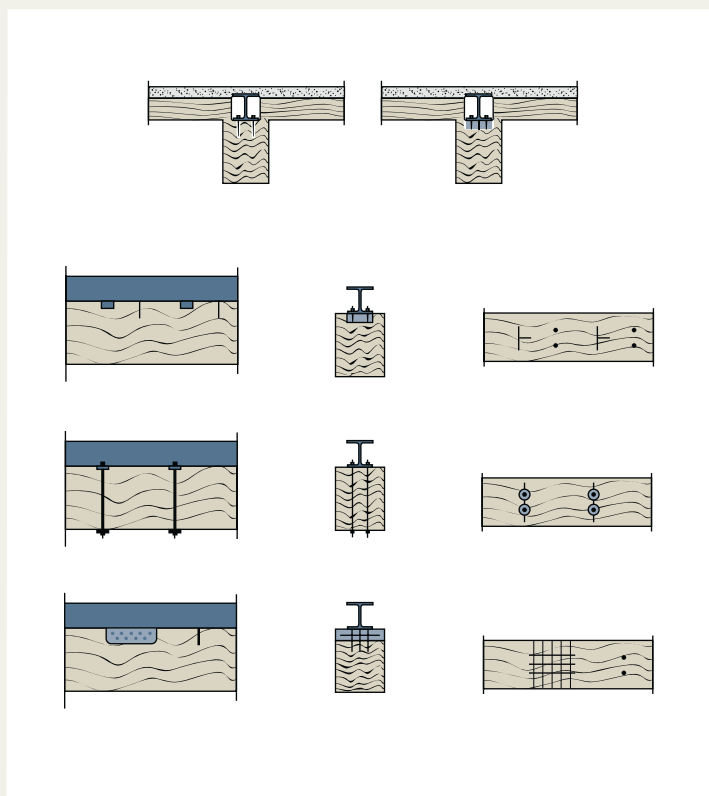


### 3. Rénovation de structures en maçonnerie et en bois

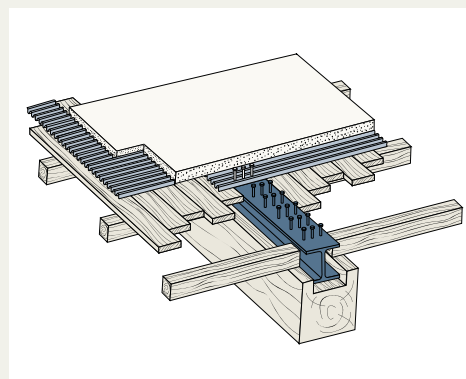


3.4.1a

3.4.1b



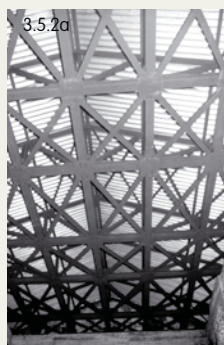
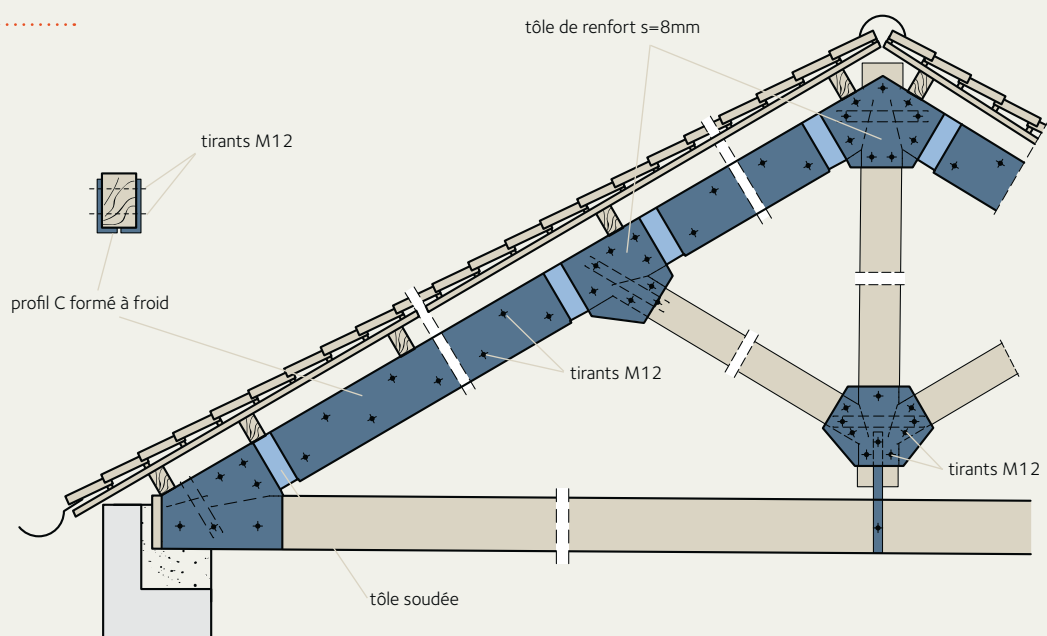
3.4.2



- 3.4.1** Systèmes de consolidation pour poutrelles en bois à l'aide d'éléments en acier :
- a) en partant du bas vers le haut ;
  - b) en partant du haut vers le bas, ce qui engendre une structure mixte acier/bois
- 3.4.2** Solution multi-mixte pour consolider un ancien sol en bois
- 3.4.3** Pont « Buchfahrt » près de Weimar (Allemagne)

# 3.5 Remplacement des charpentes en bois par des charpentes métalliques

3.5.1



**3.5.1** Éléments en acier pour la consolidation d'une charpente en bois

**3.5.2** a) Nouveau toit fait en charpente métallique à laquelle est intégré un treillis inférieur en acier afin de créer un « effet de diaphragme » ;  
b) acier pour recouvrir « l'abside » d'une ancienne église en maçonnerie

Les charpentes en bois subissent très souvent les ravages du temps. Dans certains cas, elles peuvent être réparées en insérant des tôles d'acier sur les joints ou le long des éléments (illustration 3.5.1) mais la meilleure solution consiste généralement à remplacer l'intégralité de la charpente en bois par un nouveau toit en acier.

Des exemples de ce type de travail sur des bâtiments historiques – palais et églises – sont nombreux dans les pays européens. En particulier, de nombreuses églises et monuments historiques ont été remis en état en remplaçant le toit en bois par une charpente métallique, et la couverture par des tôles trapézoïdales.

Si l'église est située dans une zone sismique, un treillis horizontal doit être intégré aux

nouvelles charpentes métalliques afin d'obtenir une connexion rigide avec le sommet des murs maçonnés et, par conséquent, créer un « effet de diaphragme » (illustrations 3.5.2 a, b).

Un exemple significatif d'un nouveau toit en acier est la Cathédrale de Naples (illustration 3.5.3). L'intégralité du nouveau toit du Palais Ducal de Gênes est faite de profils en acier (illustration 3.5.4). De nombreux bâtiments anciens des Ferrières Royales de Mongiana en Calabre ont été rénovés à l'aide de nouveaux toits en acier.

Une opération d'inversion de toiture a été effectuée à Gevelsberg (Allemagne) sur un bâtiment précédemment utilisé comme atelier et qui désormais sert de garage et d'entrepôt (illustration 3.5.5).

3.5.4



3.5.3



3.5.5



- 3.5.3 La façade principale de la Cathédrale de Naples (Italie)
- 3.5.4 Le nouveau toit en acier du Palais Ducal de Gênes (Italie)
- 3.5.5 Rénovation du toit à Gevelsberg à l'aide de poutres en acier et de tôles trapézoïdales

Reichstag à Berlin, Allemagne



## 3.6 Toitures en verre et acier

Le fait de couvrir les cours intérieures de bâtiments historiques est une pratique relativement récente, très souvent utilisée pour augmenter la fonctionnalité du bâtiment. Voici deux exemples significatifs de toitures en verre : la cour intérieure du Musée de l'histoire de Hambourg (illustration 3.6.1) et l'extension du K21, musée des arts de Düsseldorf, ouvert en 2002 (illustration 3.6.2).









## 4. RENOVATION DE STRUCTURES EN BETON ARME (BA)

- |  |    |
|--|----|
| 4.1 Consolidation  | 40 |
| 4.2 Changement de schéma structurel : gymnase à Cantù (Italie) | 43 |



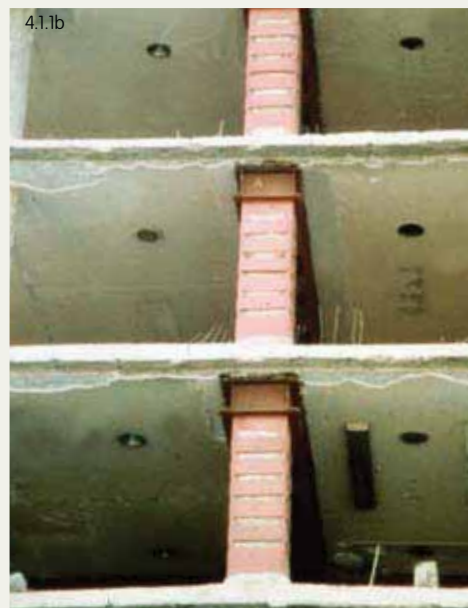
# 4.1 Consolidation

## 4. Rénovation de structures en béton armé (BA)

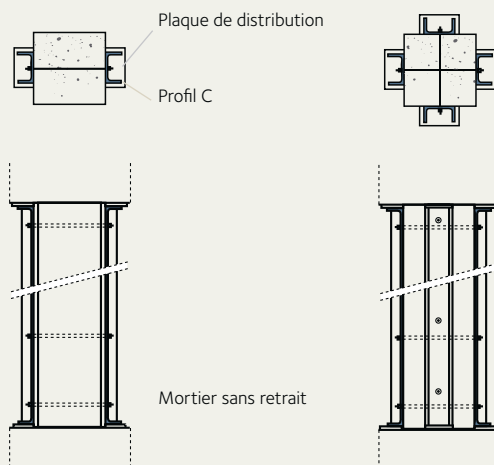
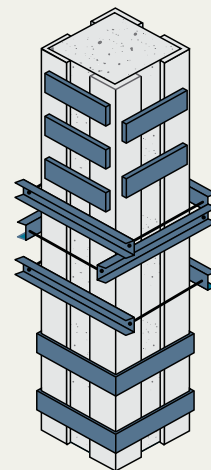
L'augmentation de la capacité portante de poteaux en BA peut être obtenue en ajoutant dans un ou deux sens une paire de poutrelles en acier laminé à chaud, fixées l'une à l'autre à l'aide de tirants appropriés. L'utilisation de fers U, cornières et panneaux permet d'obtenir un périmètre résistant continu, où l'effet de précontrainte est réalisé par des boulons (illustrations 4.1.1 a, b).

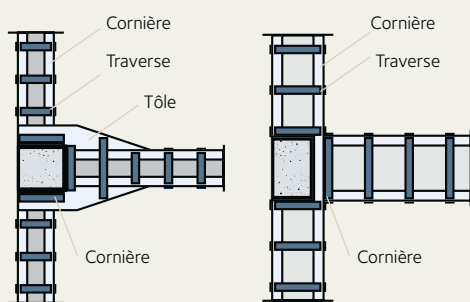
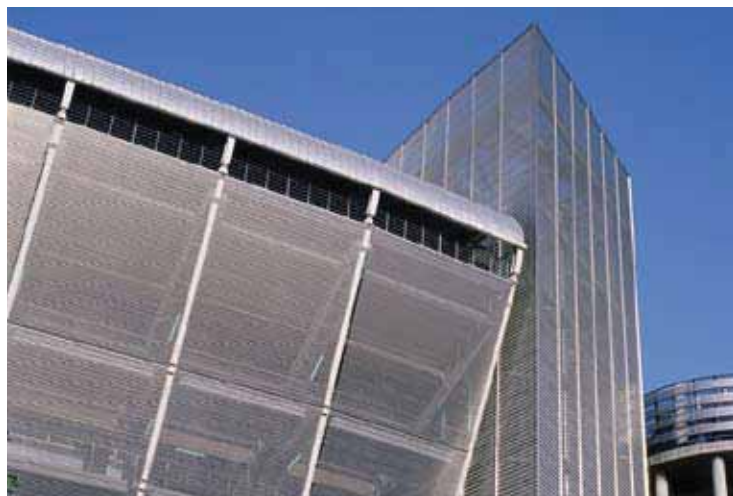
Le renforcement ainsi que la réparation des joints BA poutre/poteau sont généralement effectués en utilisant des cornières et des traverses, autour des éléments en BA (illustration 4.1.2).

L'acier est soudé et parfois collé à la surface de béton. La taille des éléments additionnels dépend de l'augmentation de la résistance à la flexion et au cisaillement requise.

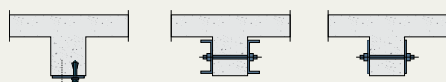


4.1.1a

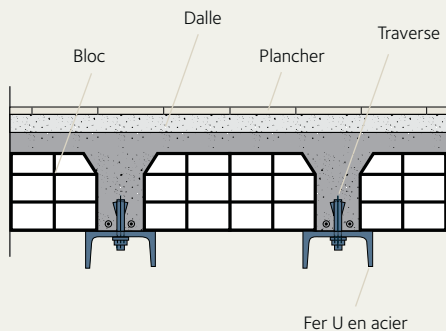




4.1.2



4.1.3



4.1.4

L'augmentation de l'inertie des poutrelles en BA peut être obtenue en raccordant la poutrelle en BA à des tôles ou des profilés en acier, à l'aide de boulons, de tirants et de colle (illustration 4.1.3). On peut appliquer le même système pour renforcer des structures de plancher faites de BA et de blocs d'argile. Des planchers associant béton et briques peuvent être renforcés comme suit (illustration 4.1.4) :

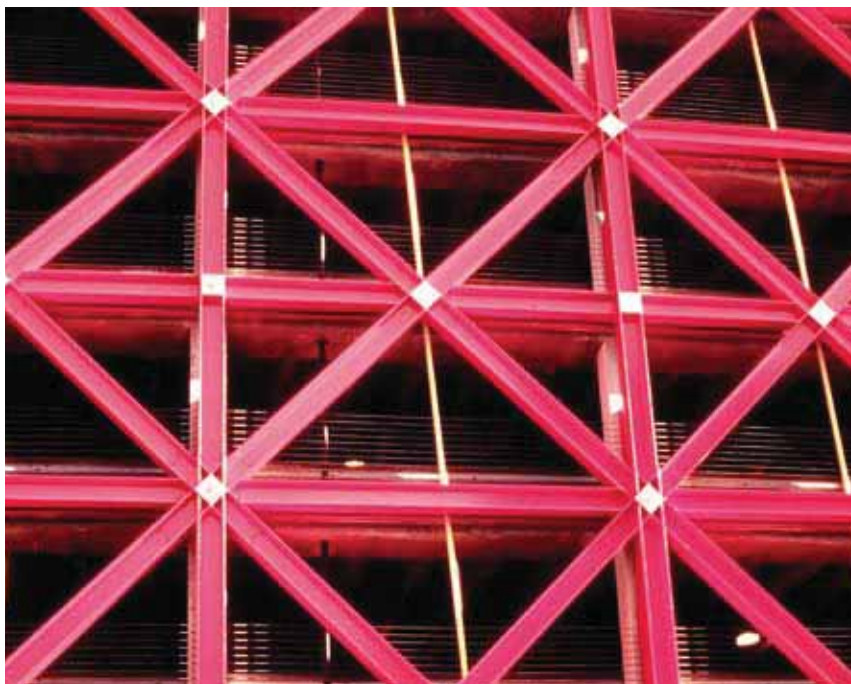
- recouvrement du bas des différentes poutres en béton à l'aide de panneaux en acier, sans briser les carreaux ;
- renforcement des différentes poutrelles en béton à l'aide de poutrelles en acier ;
- insertion de profilés en H entre les poutrelles en béton dans des ouvertures appropriées ;
- renforcement à l'aide de fers U connectés sous chaque poutrelle en béton.

- 4.1.1** a) Consolidation de poteaux en BA à l'aide d'éléments en acier ;  
 b) détails du système de « traverses et cornières »
- 4.1.2** Consolidation d'un joint BA poutre/poteau à l'aide de traverses et de cornières
- 4.1.3** Consolidation de poutrelles en BA à l'aide d'éléments en acier
- 4.1.4** Consolidation d'une structure de plancher en BA à l'aide d'éléments en acier

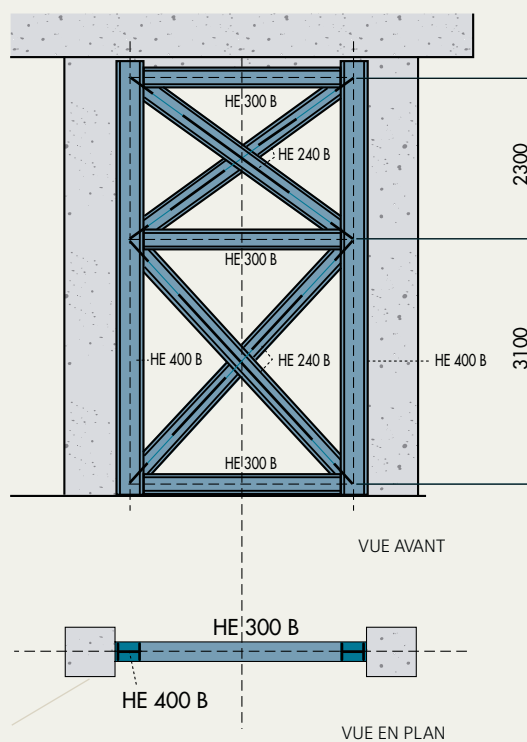
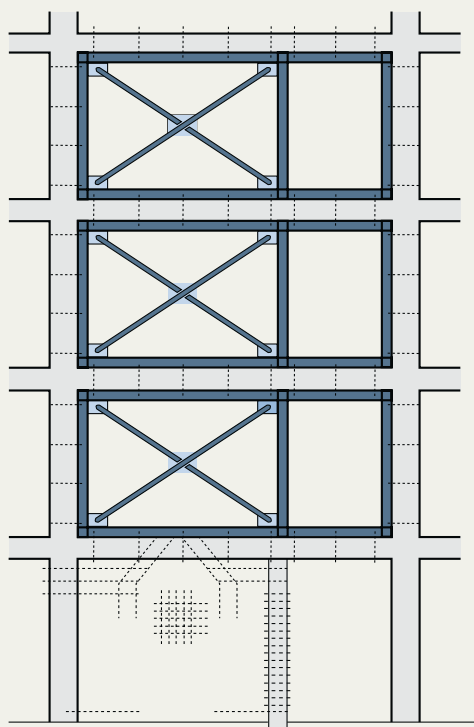
La résistance de la structure à une charge horizontale peut être améliorée en insérant des étréssillons dans le treillis en BA. Un mur d'étréssillonement réticulaire est obtenu comme une structure composite, où des étréssillons croisés faits de profilés en acier s'intègrent au cadre en BA.

Chaque étréssillon en acier est inséré dans le treillis du cadre en BA et la connexion entre les deux matériaux doit être garantie à l'aide de boulons ou de tirants le long du périmètre des diagonales en acier (illustration 4.1.5).

En plus de la simplicité de construction, ce système permet l'installation ultérieure d'ouvertures pour des portes ou des fenêtres, en utilisant – si nécessaire – des formes appropriées pour les diagonales ou en introduisant seulement une diagonale par treillis.



### 4.1.5



## 4.2 Changement de schéma structurel : gymnase de Cantù (Italie)



Un bâtiment industriel de Cantù dans la province de Côme (Italie) a été transformé en gymnase avec des éléments en acier afin d'obtenir un changement de configuration dans la structure d'origine en béton armé (illustration 4.2.1).

La configuration d'origine était composée d'un cadre en béton armé à deux niveaux et avec poteaux intermédiaires (illustration 4.2.1 a).

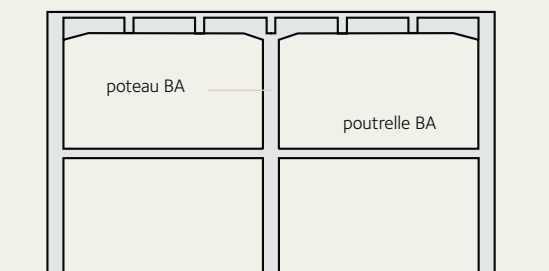
La transformation en gymnase exigeait de déblayer complètement l'intérieur du bâtiment et d'éliminer les poteaux centraux et le plancher intermédiaire.

La structure de toit existante est à présent supportée par de nouvelles ossatures en acier installées par paires de chaque côté des poteaux existants et insérées dans les murs externes (illustration 4.2.1 b).

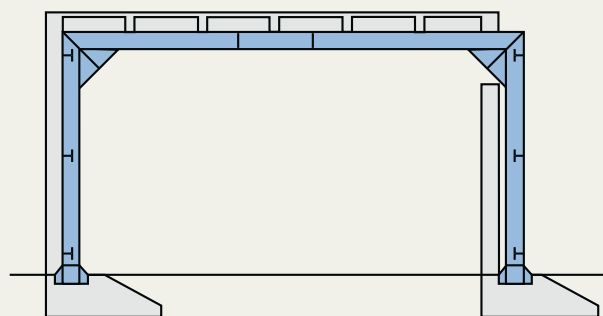
Sur la façade avant, les ossatures percent les murs périphériques de manière à créer un motif architectural intéressant qui allège la monotonie de la façade (illustration 4.2.2).

A l'intérieur, les chevrons du nouveau cadre supportent directement la charpente du toit en béton armé existante.

4.2.1a



4.2.1b



**4.1.5** Contreventements en acier pour amélioration de la résistance sismique de cadres en BA

**4.2.1** Un bâtiment industriel existant en BA à Cantù (Italie) a été transformé en gymnase, en modifiant totalement le schéma structurel

**4.2.2** Les structures couplées en acier sont visibles sur la façade





## 5. RENOVATION DE STRUCTURES EN FER / ACIER

- |  |    |
|--|----|
| 5.1 Consolidation de structures en fer et acier                        | 46 |
| 5.2 Changement d'affectation : Immeuble rue de l'Ourcq, Paris (France) | 51 |



# 5.1 Consolidation de structures en fer et acier

Les résistances du fer et de l'acier dans la construction ont progressivement augmenté au fur et à mesure des améliorations apportées à leur fabrication et leur production. Au 19<sup>e</sup> siècle, les contraintes admissibles se situaient aux alentours de 20 MPa pour la fonte et de 100 MPa pour le fer forgé. Les contraintes admissibles actuelles pour l'acier, mentionnées dans les dernières normes pour les structures métalliques, sont beaucoup plus élevées. La résistance de structures existantes en fer et acier doit bien sûr être considérée par rapport aux normes en vigueur au moment de la construction, bien que des essais complets permettraient de justifier une légère augmentation des contraintes admissibles spécifiées à cette époque.

Différentes techniques peuvent être utilisées pour renforcer des poutrelles existantes en acier :

- des tôles ou des profils peuvent être soudés à des semelles supérieures et inférieures ;
- des fers U ou des profilés en H peuvent être soudés sur des semelles ;
- des tôles peuvent être soudées entre des semelles inférieures et supérieures pour former un caisson ;
- en travaillant par-dessus, il est possible de couler une dalle en béton armé et de la relier aux poutres à l'aide de connecteurs appropriés (cornières, fers tés, barres,

goujons, etc.) soudés à la semelle supérieure afin de générer une action composite (on parle alors de section mixte).

Dans tous les cas, l'utilisation combinée de matériaux neufs et existants doit être soigneusement étudiée. Si un boulonnage est nécessaire, il faut prendre en compte l'affaiblissement de la résistance initiale de la membrure pendant le forage, d'autant plus que cet état transitoire peut être le cas de charge le plus défavorable. Si au contraire on recourt au soudage, la technique de soudage spécifiée doit être compatible avec le matériau existant.

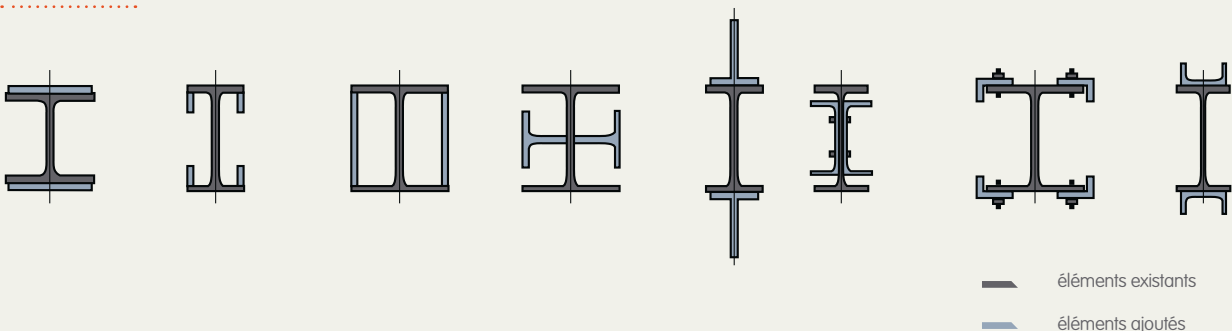
La soudabilité du matériau joue un rôle déterminant pour la rénovation de structures

existantes en fer/acier. Si la documentation historique manque ou est inadéquate il est toutefois bien connu que les métaux du 19<sup>e</sup> siècle n'étaient généralement pas soudables.

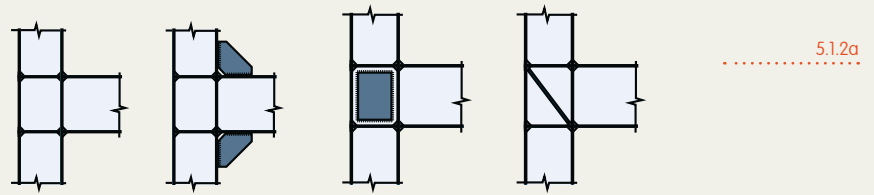
Voici quelques règles fondamentales à retenir :

- la fonte ne peut pas être soudée ;
- le fer forgé peut être soudé, pour autant que l'on respecte les recommandations appropriées ;
- les aciers doux peuvent être soudés dans des conditions appropriées en utilisant des électrodes compatibles (généralement électrodes à enrobage basique).

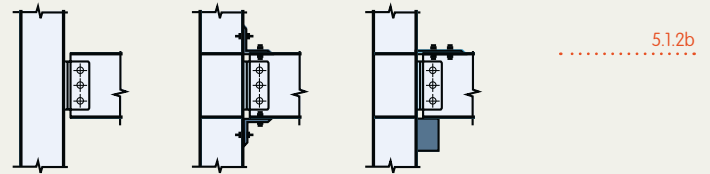
5.1.1







5.1.2a



5.1.2b

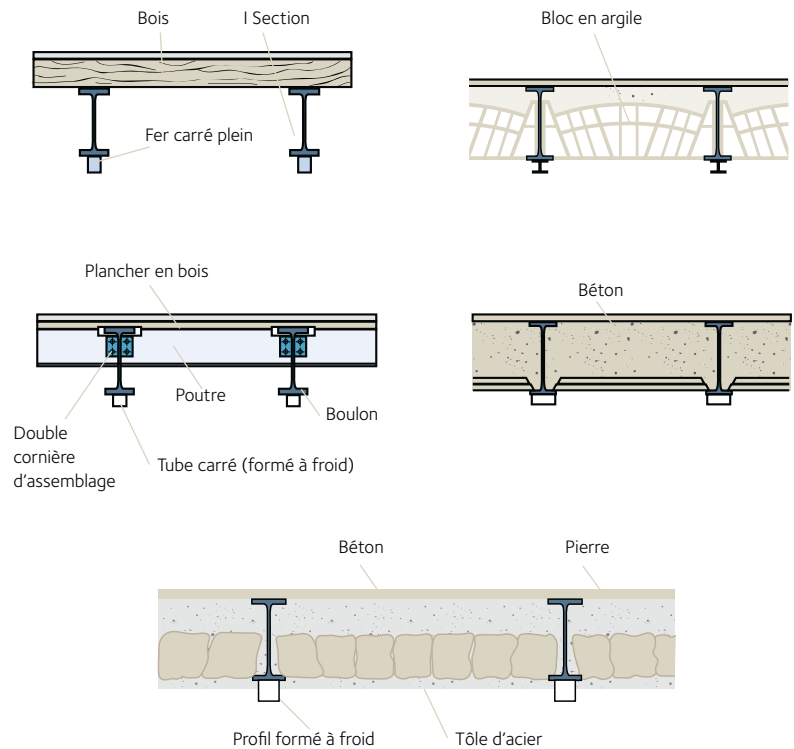
L'utilisation d'acier pour le renforcement de structures métalliques modernes est le cas le plus simple. En fait, il est très simple d'ajouter des éléments à une structure existante en utilisant des techniques d'assemblage identiques à celles déjà mises en œuvre.

Le module de résistance de poteaux ou poutres en H peut être augmenté de différentes manières en soudant ou en boulonnant des tôles et/ou profilés d'acier, qui adaptent la section d'origine à la nouvelle capacité portante exigée (illustration 5.1.1).

Il est également très facile d'améliorer un assemblage poteau-poutre et de transformer une articulation libre ou semi-rigide en un encastrement (illustration 5.1.2).

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, les poutres en bois utilisées pour les planchers ont peu à peu été remplacées par les anciennes sections en I. Les poutres en acier ont d'abord été intégrées aux planchers en bois puis, plus tard, à des blocs en argile, à du béton ou à des pierres. Dans tous ces cas, l'accroissement du module de résistance peut être facilement obtenu en ajoutant à la semelle inférieure des profilés appropriés en acier (illustration 5.1.3).

5.1.3



- 5.1.1** Renforcement de sections en acier par soudage ou boulonnage d'éléments en acier
- 5.1.2** Transformation d'un assemblage poteau-poutre, de semi-rigide à rigide (a) ou de goupillé à rigide (b)
- 5.1.3** Renforcement de poutrelles en acier par l'ajout d'éléments en acier à la semelle inférieure

5.1.5



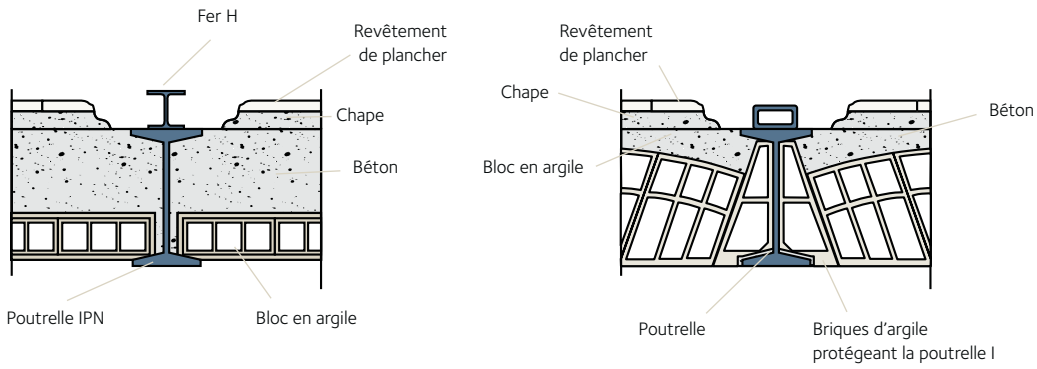
S'il n'est pas possible de travailler par le bas, l'élément supplémentaire en acier peut être raccordé à la semelle supérieure (illustration 5.1.4).

Il faut faire particulièrement attention à l'état de préservation lorsqu'on relie de l'acier ancien à du nouveau. Dans de nombreux cas, le soudage n'est pas autorisé à cause de la composition chimique de l'ancien matériau ; il est alors conseillé de boulonner.

De nombreuses constructions fer/acier (bâtiments et ponts) du 19<sup>e</sup> siècle font partie du patrimoine culturel et comptent parmi les monuments historiques (illustration 5.1.5). La réutilisation d'anciens bâtiments industriels est une activité en plein essor aujourd'hui et participe à un mouvement que l'on appelle « l'archéologie industrielle ». Ainsi le Centre de culture et d'exposition « Century Hall » à Bochum est la halle d'une ancienne fonderie, remise à neuf en 1993 (illustration 5.1.6).

Le Parc des Expositions de Cologne a récemment été refait et installé dans une ancienne construction en acier dont la couverture est supportée par de grandes arches (illustrations 5.1.7 a, b).

5.14



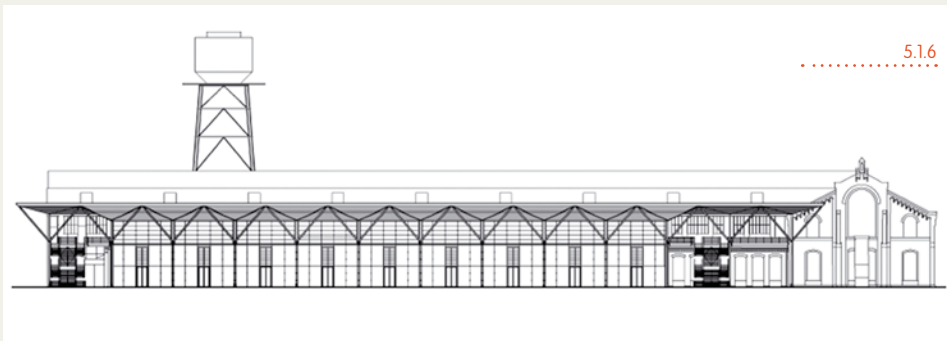
5.1.7a



5.1.7b



5.1.6



- 5.1.4 Renforcement de poutrelles de plancher en acier par l'ajout d'une section en acier à la semelle supérieure
- 5.1.5 Rénovation de l'ancienne « Gare d'Orsay » à Paris, maintenant réutilisée comme musée
- 5.1.6 Nouveau Centre de culture et d'exposition « Century Hall » de Bochum (Allemagne), né de la transformation d'un ancien bâtiment industriel
- 5.1.7 Le nouveau Parc des Expositions de Cologne (Allemagne) après la restauration de la structure en acier existante

L'ancienne salle des machines de la mine de charbon « Zeche Zollern » (1904) à Essen a été rénovée et transformée en musée.

Pour l'archéologie industrielle, les gazomètres présentent des structures très symboliques, qui sont réutilisées pour différents usages. Le gazomètre d'Oberhausen (Allemagne) a été agrandi et sert de hall d'exposition (illustration 5.1.8). Deux gazomètres à Athènes ont été réutilisés et transformés, l'un en immeuble de bureaux, et l'autre pour en faire l'auditorium du nouveau musée Maria Callas (illustration 5.1.9).



## 5.2 Changement d'affectation : Bâtiment rue de l'Ourcq, Paris (France)

Ce bâtiment industriel situé 135 à 145 rue de l'Ourcq et 24 à 36 rue Labois-Rouillon à Paris fut utilisé à l'origine comme usine d'emballage et dépôt pour vieux papiers et tissus, puis comme entrepôt de meubles. La propriété devait être adaptée en immeuble d'habitation tout en conservant les caractéristiques de son architecture industrielle de la fin du 19<sup>e</sup> siècle (illustration 5.2.1).

La profondeur du bâtiment ne permettant pas d'utiliser toute la surface au sol pour réaliser des appartements, il s'est avéré nécessaire de créer un volume vide dans la partie centrale du bâtiment.

Les architectes ont exploité cette contrainte en créant un espace intérieur unique en son genre, bien défini mais nettement différencié. Il constitue une sorte d'épine dorsale qui dessert tous les appartements, et leur permet de s'ouvrir à la lumière du jour sur une zone calme de jardins, loin des bruits de la rue. Cette disposition donne aux appartements leur caractère particulier et a en quelque sorte créé une rue intérieure.

De petits ateliers ont été construits de plain-pied, le long de la rue de l'Ourcq et sur la cour. Cet emplacement a été choisi pour son accès facile et l'animation qu'il apporte à la rue. Tous les planchers, poutres et poteaux intérieurs de ce bâtiment construit au début du 20<sup>e</sup> siècle étaient dans un état acceptable, sans dégâts importants ni corrosion excessive. La structure convenait très bien au changement d'usage dans la mesure où ses constituants avaient été à l'origine prévus pour supporter de lourdes charges industrielles.





Les poteaux intérieurs en fonte supportant les planchers sont disposés suivant une trame de 4m x 4m.

Là où les nouveaux aménagements amenaient de faibles charges, les poteaux ont été conservés dans leur état d'origine (illustration 5.2.2).

Pour les zones plus chargées, des poteaux carrés en béton armé ont été coulés autour des colonnes en fonte.

Les poteaux sont recoupés horizontalement à mi-hauteur par les poutres de la mezzanine ou par la façade en béton armé.

Les poutrelles étant trop étroites et certaines d'entre elles étant aussi excentrées, elles ont été le plus souvent appariées par un large plat les réunissant. Occasionnellement, une poutre maîtresse a pu être formée par deux poutrelles de hauteurs différentes assemblées entre elles. La diversité des liaisons n'avait d'égal que celle des poutrelles. Toutes les jointures ont par conséquent été vérifiées et renforcées si nécessaire, tout comme les supports de fixations des poutrelles sur les poteaux.

Les planchers d'origine étaient constitués de traverses supportant des voûtes de briques et de pavés, recouvertes de mortier de ciment armé. A certains endroits, le sol était renforcé par du béton qui couvrait toute la profondeur des traverses. A d'autres endroits, les planchers devaient être démolis ou renforcés.

Tout le bâtiment est recouvert d'une toiture à redans parallèle à la rue.

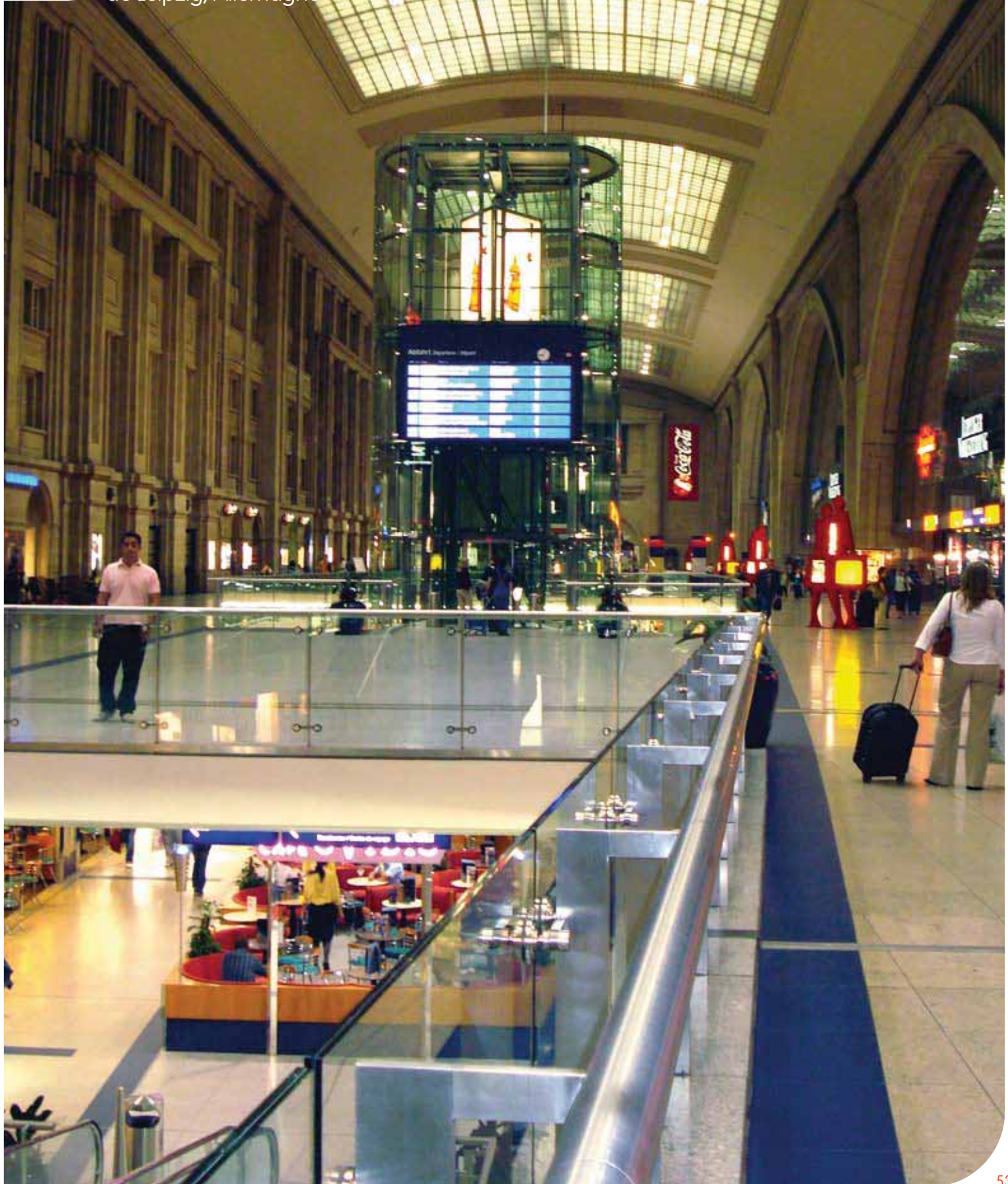
Les pentes au nord étaient vitrées alors que les pentes au sud étaient couvertes de tuiles. La portée des fermes en dents de scie est le double de celle des solives du niveau inférieur. Les poteaux supportant le toit sont généralement des IPN 260.

La transformation de la cour intérieure nécessitait la suppression de plusieurs fenêtres au nord. L'orientation du bâtiment et son toit à redans étaient idéals pour y installer des panneaux solaires capables d'assurer le chauffage de l'eau sanitaire.

Il fallait prévoir une résistance au feu d'une demi-heure pour les sols et la structure de support. La résistance au feu de 30 min. des structures et planchers a été obtenue dans les appartements soit par application d'une peinture intumescente soit par enrobage des poteaux dans environ 70 mm de béton armé, au droit des cloisons séparatives entre les appartements. Dans les communs, un habillage en laine de roche a été utilisé et complété par un revêtement en plâtre. Les structures en acier ont été laissées apparentes dans les appartements (illustration 5.2.3).



La Gare Centrale  
de Leipzig, Allemagne









## 6. AMELIORATION DE LA RESISTANCE AUX SEISMES

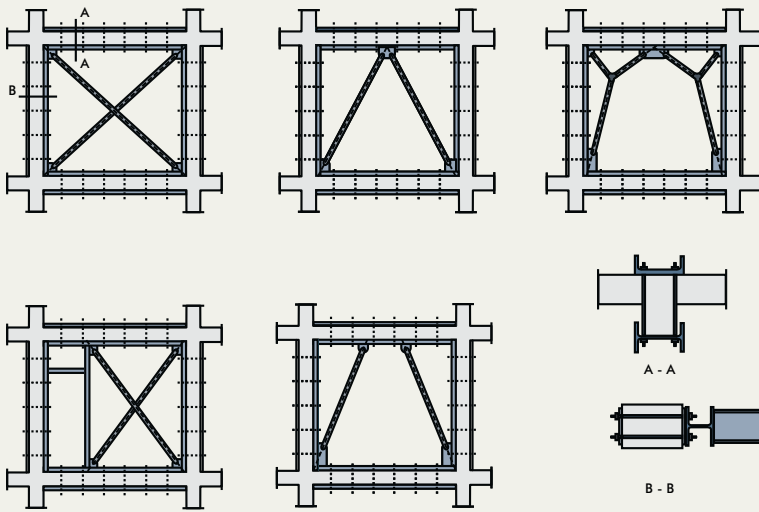
|     |   |    |
|-----|---|----|
| 6.1 | Systèmes de contreventement   | 56 |
| 6.2 | Amélioration de la résistance sismique de bâtiments en maçonnerie : le quartier Capodimonte à Ancône (Italie) | 59 |
| 6.3 | Systèmes de contrôle passif   | 61 |
| 6.4 | Toitures en acier antisismiques   | 62 |
| 6.5 | Amélioration de la résistance sismique par allègement : La Cour de Justice d'Ancône (Italie)                  | 65 |



# 6.1 Systèmes de contreventement

L'utilisation de contreventements en acier est pertinente pour renforcer des structures en béton armé et en maçonnerie vis-à-vis des tremblements de terre. Elle permet l'introduction de systèmes de contreventement avec lattis, qui ont deux objectifs : augmenter considérablement la résistance de la structure aux efforts horizontaux et redistribuer la rigidité interne en respectant le centre de cisaillement, de façon à minimiser les phénomènes de torsion (illustration 6.1.1).

6.1.1



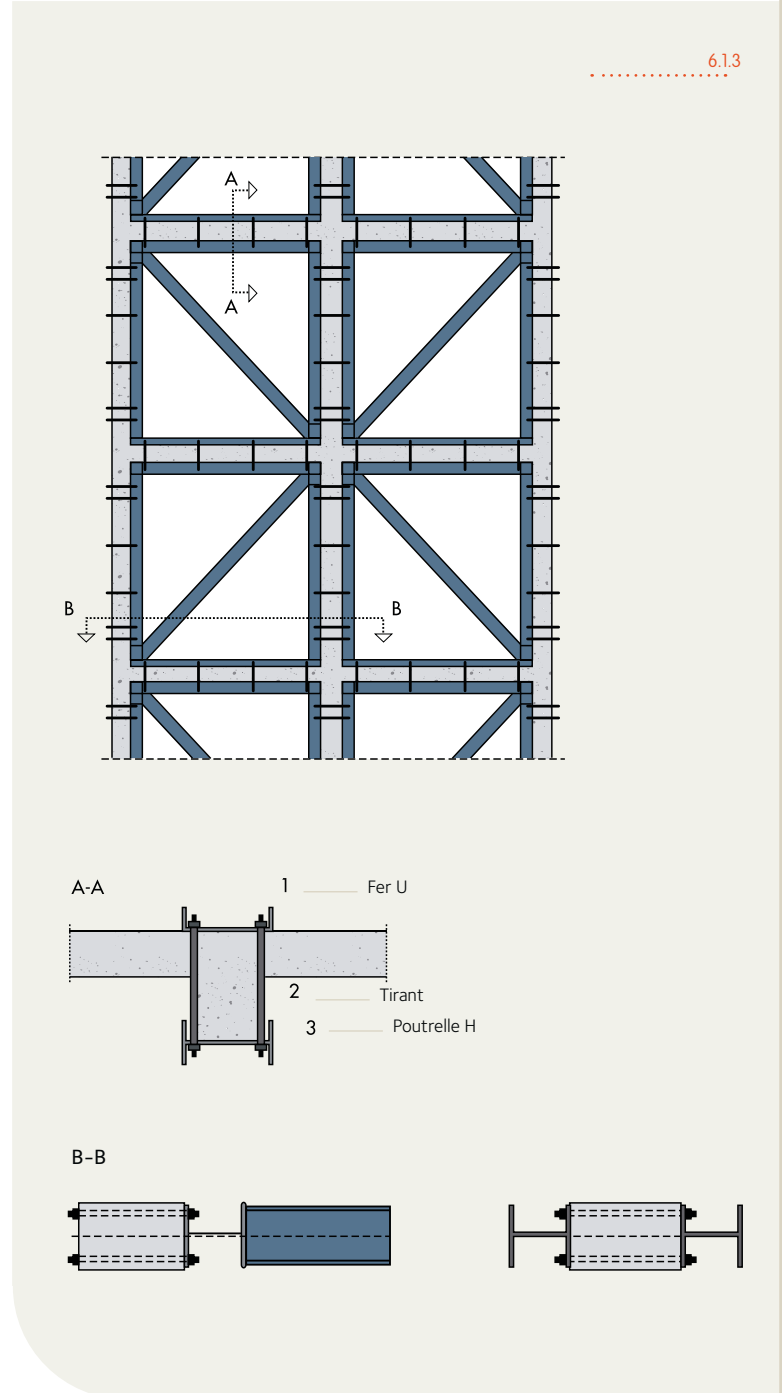
En ce qui concerne les structures en maçonnerie, les contreventements en acier doivent être placés contre le mur maçonné ou à l'intérieur de celui-ci, et doivent être liaisonnés à la structure des planchers hauts et bas (illustration 6.1.2).



6.1.2

En ce qui concerne les structures en BA, les profils en acier sont connectés sur tout le pourtour du cadre en BA, à l'intérieur duquel des diagonales sont disposées en une classique « Croix de Saint-André » ou d'autres combinaisons (en K p. ex.) si elles sont plus appropriées à l'usage du bâtiment.

Si les Croix de Saint-André sont faites sur deux niveaux, la mise en place d'une seule diagonale dans chaque panneau rectangulaire permet de ménager les ouvertures nécessaires pour des portes et fenêtres (illustration 6.1.3).



6.1.3

- 6.1.1 Différents systèmes de contreventements en acier pour l'amélioration de la résistance sismique de structures en maçonnerie et en BA
- 6.1.2 Croisillons acier en façade d'un bâtiment en maçonnerie (Centrale électrique en Hongrie)
- 6.1.3 Etrésillonnement par Croix de Saint-André et chassis métalliques fixés aux cadres en BA

6.1.4



Différentes actions d'amélioration de la résistance sismique ont été réalisées partout dans le monde avec des étrépillons en acier fixés dans des cadres en béton armé (illustration 6.1.4).

Dans le cas de structures en acier à renforcer contre les séismes (cas d'un bâtiment déjà construit dans une zone nouvellement reconnue sismique), la robustesse et la ductilité doivent être améliorées au niveau des assemblages, surtout dans les joints.

Des renforcements appropriés aux deux types d'assemblages classiques (rigides ou articulés) peuvent être réalisés par l'ajout de raidisseurs. Dans le cas d'assemblages rigides, on améliore la capacité de flexion. Dans le cas d'articulations, l'intégration de raidisseurs est conçue pour apporter une capacité déterminée de flexion, quasiment inexistante à l'origine.

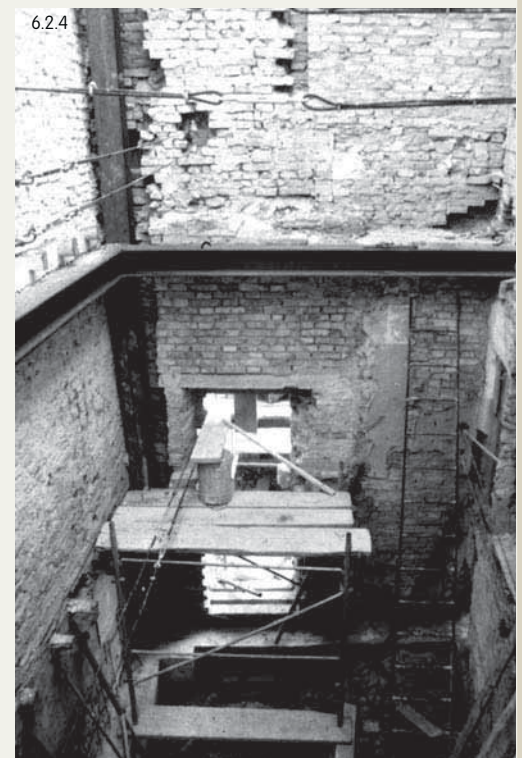
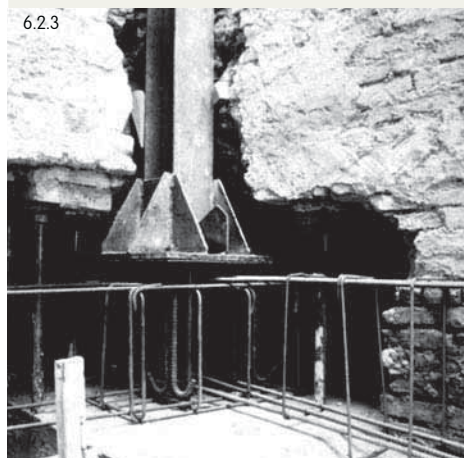
L'amélioration de la résistance vis-à-vis des actions horizontales peut être aisément atteinte en augmentant la section des diagonales dans le cas de structures déjà étrépillonnées ou en introduisant de nouveaux croisillons dans le cas de structures supportant des déplacements.



Etapes de la remise à neuf :

- création d'ouvertures dans le bas des murs pour abriter les nouvelles fondations en béton armé (illustration 6.2.2) ;
- positionnement des tiges d'ancrage et des embases (illustration 6.2.3) ;
- après réalisation de saignées verticales ad hoc dans les murs extérieurs, érection et contreventement provisoire de poteaux sur toute la hauteur (illustration 6.2.4) ;
- construction de toitures avec fermes et pannes, et finition avec la couverture en tuile existante (illustration 6.2.5) ;
- démolition depuis le niveau supérieur des murs intérieurs et planchers correspondants, puis construction des nouveaux planchers mixtes par coulage d'un béton fluide sur un bac acier porté par des poutrelles en acier (illustration 6.2.6) ;
- construction des cages d'escaliers en béton armé avec des marches et paliers coulés sur place ;
- liaisonnement du cadre en acier aux murs existants et aux cages d'escalier en béton puis scellement définitif de la structure par coulage de béton ;
- enfin réalisation des cloisons, plafonds, revêtements de sol et finitions.

Les murs extérieurs, correctement restaurés, conservent leur fonction esthétique d'écran de protection et d'enveloppe, mais ne sont plus porteurs (illustration 6.2.7).



## 6.3 Systèmes de contrôles passifs



6.2.5



6.2.6



6.2.7

La réaction de la structure face aux tremblements de terre peut être contrôlée par divers systèmes tels que la modification des masses, de l'amortissement ainsi que la production de forces contraires passives ou actives. Grâce aux systèmes passifs, qui ne requièrent pas d'apport extérieur d'énergie, les caractéristiques de la structure (période et/ou capacité d'amortissement) ne varient pas au cours du séisme avec le mouvement du sol.

Les dispositifs d'absorption d'énergie filtrent les efforts sismiques, et réduisent ainsi considérablement l'effet du séisme sur la structure protégée. L'utilisation de techniques de contrôles passifs pour la rénovation de bâtiments existants est relativement nouvelle. Le remplacement d'un ancien toit en bois par une nouvelle structure en acier présente les conditions idéales pour appliquer le concept de contrôle passif à un bâtiment en maçonnerie, dont on veut améliorer la résistance au séisme.

Il est bien connu que pour assurer une protection adéquate contre l'activité sismique dans un bâtiment en maçonnerie, il faut garantir qu'un ou plusieurs planchers soient en mesure de se comporter comme des diaphragmes rigides. La transmission efficace des efforts horizontaux vers les murs peut être assurée uniquement si cette condition est remplie. Dans le cas d'un bâtiment en maçonnerie d'un seul étage (la nef d'une église par exemple), les liens rigides créés entre la maçonnerie et les structures de toit pour garantir l'effet de diaphragme peuvent amener certains désordres aux murs en maçonnerie en raison des gradients thermiques dépendant des caractéristiques géométriques et mécaniques du schéma structurel (rapport écartement / hauteur).

Par contre, si un liaisonnement rigide n'est pas assuré, la structure peut respirer normalement sans transmettre d'effort à la maçonnerie. L'effet de diaphragme n'est pas reproduit dans le cas d'un tremblement de terre.

Les amortisseurs dynamiques hydrauliques (également appelés « shockblock transmitter units ») sont en mesure de résoudre ces problèmes contradictoires parce qu'ils offrent deux comportements différents en fonction de la situation. Sous les actions thermiques, où la vitesse d'application des charges est très lente, les amortisseurs dynamiques agissent comme des paliers à glissement : le système structurel du toit est déterminé statiquement et il n'apparaît aucune contrainte supplémentaire due aux variations thermiques.

Pendant un tremblement de terre, par contre, les dispositifs agissent comme des points fixes à cause de la grande vitesse d'application des charges : dans ces conditions, le système structurel devient redondant, d'où une amélioration significative du comportement général. Les dispositifs ont donc un seuil plastique au-delà duquel il y a une forte dissipation d'énergie, réduisant les effets du séisme sur la structure en maçonnerie.

- 6.2.2 Nouvelle fondation et embase de poteau
- 6.2.3 Emplacement du poteau en acier dans la saignée du mur de maçonnerie existant
- 6.2.4 Construction de la structure en acier à l'intérieur de la maçonnerie
- 6.2.5 Nouveau toit en acier
- 6.2.6 Nouvelle structure de sol
- 6.2.7 District de Capodimonte à Ancône : les anciennes façades sont restées telles quelles, elles ne laissent pas voir la structure en acier résistant aux tremblements de terre

## 6.4 Toitures anti-sismiques en acier

- *Eglise San Giovanni Battista (Carife, Italie)*

Le projet de restauration de l'église San Giovanni Battista à Carife près d'Avellino est le premier projet d'application d'amortisseurs hydrauliques dynamiques sur un monument historique. En 1990, une nouvelle toiture en acier composée d'un treillis plan et de fermes triangulaires fut construite pour offrir sous contraintes sismiques un comportement en caisson de la structure en maçonnerie (illustration 6.4.1). En plus, des amortisseurs hydrauliques ont été placés d'un côté du treillis, afin d'obtenir une situation de retenue fixe ou libre à la base des fermes en fonction des conditions de chargement.

Ces dispositifs ont été calibrés pour agir comme des paliers fixes sous l'effet du tremblement de terre type correspondant aux règlements italiens, et entraîner un comportement dissipatif en cas de tremblement de terre plus sévère. L'analyse du comportement de ces dispositifs ont confirmé les hypothèses.

- *La nouvelle bibliothèque de l'Université « Federico II » (Naples, Italie)*

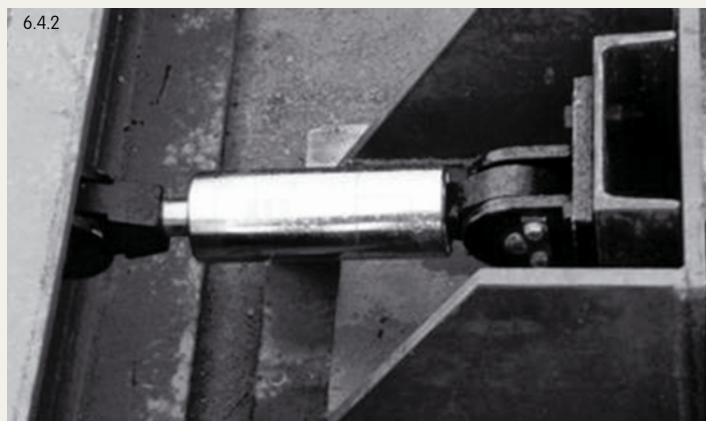
Le concept décrit ci-dessus pour l'église fut appliqué plus tard (en 1996) lors de la restauration structurelle du bâtiment des mathématiques qui allait devenir une bibliothèque.

Ce travail a fait partie d'un projet de grande ampleur visant à restaurer tous les monuments datant de plus de 100 ans et appartenant à la partie originelle de l'Université centrale de Naples.

La structure supérieure du plancher (couvrant une superficie de 16 x 32 m) fut reconstruite pendant les années 50 à l'aide de poutres en BA (16 m de portée), ainsi qu'avec des briques en argile et des éléments coulés en béton armé.

Au vu de la corrosion des armatures en acier et de la dégradation du béton en superficie, il était évident que la structure était en mauvais état.

La décision fut prise de démolir cette structure et d'en construire une nouvelle en acier, en utilisant des poutres alvéolaires avec bac collaborant. Un système de 24 cylindres avec amortissement dynamique et dispositifs d'appui en néoprène a été utilisé pour supporter les nouvelles poutrelles en acier au sommet des murs périphériques en briques, assurant à la fois un bon comportement en service ainsi que lors d'un tremblement de terre (illustration 6.4.2).





Cour de Justice des Communautés  
Européennes, Luxembourg



## 6. Amélioration de la résistance sismique



### • *Le bâtiment industriel de Sarno (Salerno, Italie)*

Des travaux d'amélioration de la résistance sismique ont été effectués sur un bâtiment industriel en briques, à un étage. Etant donné la grande portée du bâtiment et l'absence de murs intermédiaires, l'emploi d'un diaphragme réticulé en acier est apparu comme la meilleure solution en raison de sa légèreté et de sa rigidité en plan (illustration 6.4.3). De plus, des dispositifs de dissipation d'énergie ont été placés aux appuis des fermes du toit pour dissiper suffisamment d'énergie.

Des dispositifs dynamiques hydrauliques et plastiques ont été utilisés conjointement (illustration 6.4.4) pour répondre efficacement aux variations thermiques quotidiennes et saisonnières au niveau du toit, ainsi qu'à des tremblements de terre de toute magnitude.

Une étude complète de la réponse sismique de la structure, effectuée par un calcul dynamique en régime transitoire, montre l'efficacité de la solution adoptée.

- 6.4.3** Nouvelle toiture en acier, faite de fermes en cours de montage (Sarno, Italie)
- 6.4.4** Dispositifs spéciaux de contrôle passif dans les nouvelles structures en acier de Sarno (Italie) : cylindre dynamique
- 6.5.1** Façade historique de la Cour de Justice d'Ancône
- 6.5.2** Structure intérieure en acier pendant la construction

## 6.5 Amélioration sismique par allègement : La Cour de Justice d'Ancône (Italie)



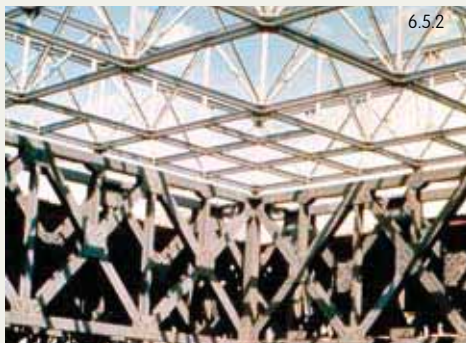
6.5.1

Le bâtiment a été complètement vidé et restructuré pour abriter les nouveaux bureaux de la Cour. La disposition des fenêtres, corniches et toutes les décorations sur les façades en briques, typiques de son style néo-renaissance, ont été préservées (illustration 6.5.1).

La principale structure portante est composée de quatre tours en béton armé mesurant 9 x 9m, abritant escaliers, ascenseurs et étages techniques, et situées aux angles de la cour intérieure couverte. Ces tours forment le support vertical du toit et des cinq planchers suspendus. Elles assurent aussi la stabilité horizontale pour résister aux effets d'un séisme.

Le système de suspension dans le toit est composé de quatre paires de fermes longitudinales supportées sur le côté intérieur des quatre tours, qui marquent donc le périmètre de la cour couverte.

Chaque paire de fermes forme une poutre en caisson mesurant 1,80 m de large, 4 m de haut, avec des diagonales en croix (illustration 6.5.2).

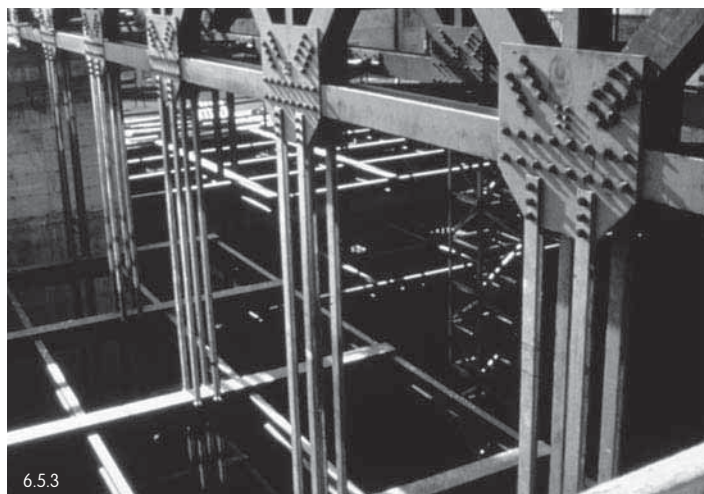


6.5.2

Toutes les barres du treillis (membrures, barres verticales et diagonales) sont assemblées par boulonnage. Le noyau central constitué de quatre paires de poutres de portée de 21,40 m est l'élément clé de l'ossature en acier, auquel sont reliés les autres éléments de structure :

- à l'intérieur du noyau, les poutres supportant les lucarnes en dôme, qui illuminent la cour intérieure, reposent sur les nœuds supérieurs des fermes ;
- à l'extérieur du noyau, les poutres en porte-à-faux qui couvrent la zone en dehors du périmètre défini par les quatre tours sont reliées aux nœuds inférieurs des fermes ;
- les tirants des cinq planchers suspendus sont groupés par quatre et attachés aux nœuds inférieurs des membrures intérieures (illustration 6.5.3).

Les cinq planchers suspendus aux fermes de toit sont attachés aux quatre zones mesurant 9x20 m entre les quatre tours (illustration 6.5.4). Ils sont composés de solives et de poutres en acier supportant des planchers mixtes.



Les poutres principales intérieures sont suspendues au treillis par des tirants. Celles à l'extérieur reposent sur la zone périphérique en BA entre les quatre tours et les façades extérieures du bâtiment.

Elles ont été soudées sur des plaques préscellées dans le béton. Tous les autres composants structurels ont été assemblés sur place par boulonnage. Les dimensions des éléments ont été adaptées à leur transport à l'intérieur du centre historique de la ville ainsi qu'à leur montage dans une zone de très forte densité d'habitation.



L'Atomium de Bruxelles, Belgique





## 7. AGRANDISSEMENTS

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| 7.1 | Extension : immeuble de bureaux Van Leer à Amstelveen (Pays-Bas)   | 70 |
| 7.2 | Surélévation : bâtiment dans Victoria Street, Toronto (Canada)   | 71 |
| 7.3 | Agrandissement de monuments historiques : l'ancienne usine de Briatico et le Centre culturel de Succivo (Italie) | 72 |
| 7.4 | Extension verticale par suspension : l'hôtel Jolly à Caserta (Italie)  | 73 |
| 7.5 | Le Reichstag à Berlin (Allemagne)  | 74 |
| 7.6 | Diverses extensions horizontales et verticales à l'aide d'acier en Allemagne                                     | 75 |



# 7.1 Extension : Immeuble de bureaux Van Leer à Amstelveen (Pays-Bas)

L'immeuble de bureaux a été construit à la fin des années 50 pour accueillir environ 500 personnes mais, vu la décentralisation de l'organisation Van Leer, seulement 300 personnes y ont travaillé ces dernières années (illustration 7.1.1). De plus, comme pour la plupart des bâtiments conçus avant la crise du pétrole, les dépenses énergétiques étaient très élevées.

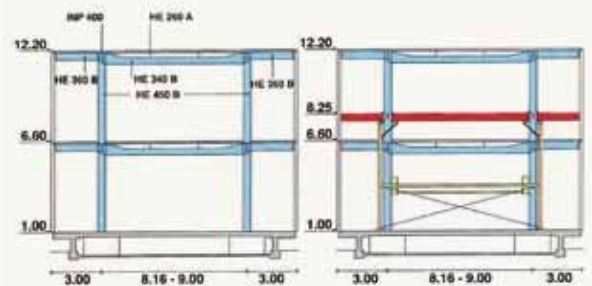
Le bâtiment en forme de V est formé d'un hall central, séparant deux ailes de bureaux construites sur deux niveaux. Chaque niveau de bureaux a une superficie d'environ 1 000 m<sup>2</sup>. Les locaux techniques sont situés dans le bâtiment central et dans des bâtiments annexes distincts. La hauteur d'étage est très élevée : 5,6 m de plancher à plancher (pour 4,30 m sous plafond) dans les ailes de bureaux et 7,20 m dans le hall central.

La structure porteuse est en acier. Il y a 19 poteaux dans chaque aile de 1 000 m<sup>2</sup>. L'écartement entre portiques est de 8 m. La distance entre poteaux varie de 8,15 m à 9 m.

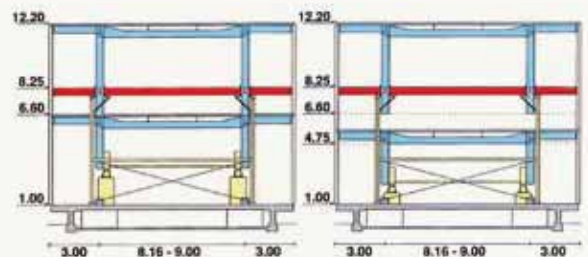
Dès la conception, la possibilité d'ajouter un étage supplémentaire aux ailes avait été prise en compte dans le dimensionnement et la construction.



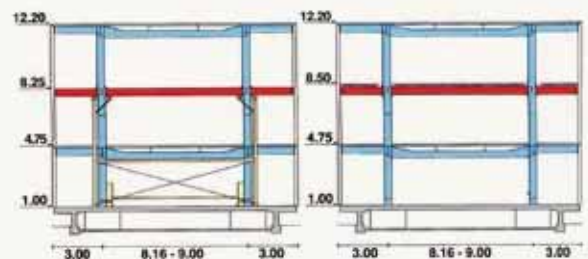
## 7.1.2



- a) Coupe transversale du bâtiment existant :
- toutes les cloisons et murs de façades sont démolis
  - les poteaux sont dégagés (rendus visibles)
  - l'électricité et le système de chauffage sont mis hors service
- b) Installation de deux structures en acier (en jaune sur le dessin) :
- l'une (poteaux fins) pour le nouveau plancher à créer (à la cote +8,50 m) et l'autre (placée au centre), provisoire, pour soutenir le plancher actuel.
  - utilisation du plancher existant (à +6,60 m) pour le montage de la structure du nouveau plancher (en rouge)
  - boulonnage des joints (ou assemblages)
  - étaieage total de cette 1<sup>re</sup> structure supportant le nouveau plancher (à +8,25 m), pour reporter ses charges sur les fondations.



- c) Installation des vérins :
- lorsque les charges du plancher existant sont effectivement reprises par la 2<sup>e</sup> structure temporaire, le raccourcissement à la base des poteaux existant devient possible. Les morceaux coupés sont alors remontés sur le plancher à +6,60 m.
  - installation des vérins élévateurs sur des supports
  - sciage de la base des poteaux à une cote de +4,70 m sous l'arase du plancher existant
  - la structure temporaire supporte pendant une courte période les planchers existants à +6,60 m, +12,20 m ainsi que celui en construction à +8,25 m.
  - Les vérins sont étirés en position la plus haute.
- d) Abaissement du plancher :
- démontage des boulons reliant les poteaux de la 1<sup>re</sup> structure aux poutres du plancher à +6,60 m
  - dénivellée maximale admissible entre vérins : 10 mm
  - vérification des dénivellées et contrôle du biais



- e) Plancher au niveau +4,75 m :
- le plancher est maintenant au niveau +4,75 m
  - les connexions inférieures sont soudées
  - Le morceau de poteau inférieur (retiré au RdC) est intégré au poteau existant et soudé
  - quand le poteau est complètement soudé, les vérins et la structure de support peuvent être ôtés
- f) 2<sup>e</sup> étage à +8,50 m :
- installation des dalles alvéolaires précontraintes
  - coulage d'une chape de béton et du clavetage (joint) entre D.A.P.
  - reconstruction des façades
  - achèvement total du bâtiment



## 7.2 Surélévation : Bâtiment Victoria Street, Toronto (Canada)

Les principales exigences étaient :

- réduire de 5,6 m à 3,75 m la hauteur d'étage dans les ailes bureaux pour que la surface de bureau utilisable puisse passer de 4 000 m<sup>2</sup> à 6 000 m<sup>2</sup> sans changer le volume existant ;
- concevoir une nouvelle façade complètement isolée, tout en conservant les caractéristiques d'origine du bâtiment ;
- créer de nouveaux équipements dans les deux ailes (ascenseurs, escaliers, toilettes) ;
- la solution suivante a été adoptée pour réaliser la première phase (illustration 7.1.2) :
  - installer une ossature métallique pour le nouveau plancher à 8,25 m ;
  - assembler la structure de soutien provisoire en dessous ;
  - raccourcir les poteaux inférieurs de 1,85 m et conserver ces sections ;
  - mettre les vérins en place ;
  - ôter les poteaux de soutien et abaisser le plancher à 1,85 m ;
  - replacer les sections de poteaux enlevées et souder l'ensemble de la structure.

Cet exemple montre le potentiel de l'acier pour améliorer des extensions verticales. A Toronto, il était prévu de surélever un bâtiment existant en béton armé de six niveaux et de lui ajouter quatre niveaux supplémentaires dans le même matériau (illustration 7.2.1).



Contrairement au choix de départ, il a été décidé par la suite d'utiliser de l'acier pour réaliser la structure supplémentaire ce qui a permis d'ajouter huit nouveaux niveaux au lieu de quatre.

Par conséquent, le bâtiment surélevé possède maintenant quatorze étages au lieu de dix, et présente un volume notablement plus grand que celui prévu sur les plans initiaux.

7.1.1 L'immeuble de bureaux Van Leer à Amstelveen (Pays-Bas)

7.1.2 Les différentes phases de la transformation de la structure métallique, de deux à trois niveaux

7.2.1 Le bâtiment initial en béton armé situé sur Victoria Street à Toronto, (Canada)

## 7.3 Agrandissement dans des bâtiments historiques : l'ancienne usine de Briatico et le Centre culturel de Succivo (Italie)

L'ancienne usine de Briatico en Italie a été construite au début du 15<sup>e</sup> siècle. Sa structure résulte d'une évolution au fil des siècles pendant lesquels le bâtiment a été utilisé successivement pour la production de sucre, de laine et de savon.

Lors des travaux de restauration les plus récents, pendant les années 80, le bâtiment a été transformé en un centre sportif, avec l'exigence architecturale de maintenir le mieux possible ses caractéristiques existantes. La structure en acier a été sélectionnée pour créer une surélévation, caractérisée par des encadrements en acier légers et résistants aux séismes, recouverts par des tôles trapézoïdales (illustration 7.3.1).

Le bâtiment, ancien baraquement des « carabiniers », a été consolidé et est devenu le nouveau Centre culturel de Succivo, Caserta (Italie).

Les besoins de trouver de nouvelles surfaces utilisables tout en allégeant la structure maçonnée ainsi que d'améliorer sa résistance sismique ont été entièrement satisfaits grâce à l'acier. L'ancien toit a été transformé en un volume habitable logé dans une nouvelle structure de toiture constituée de poutres « Vierendeel ». Résultat : une petite augmentation du volume au niveau supérieur mais surtout une forte réduction du poids total (illustration 7.3.2). Le montage des fermes préfabriquées a été très simple et rapide (illustration 7.3.3).



## 7.4 Extension verticale par suspension : l'hôtel Jolly à Caserta (Italie)

L'hôtel Jolly à Caserta se composait à l'origine de trois bâtiments : deux bâtiments de six étages en béton armé et, entre les deux, un bâtiment de trois étages en briques.

Une demande a été faite pour élever le bâtiment en briques de trois étages supplémentaires afin de l'amener au même niveau que les deux autres. Comme les murs en briques n'étaient pas en état de supporter ce type d'extension, même en les consolidant une solution alternative en acier a été proposée. Il s'agissait de construire cinq hauts portiques auxquels seraient suspendus les trois nouveaux étages.

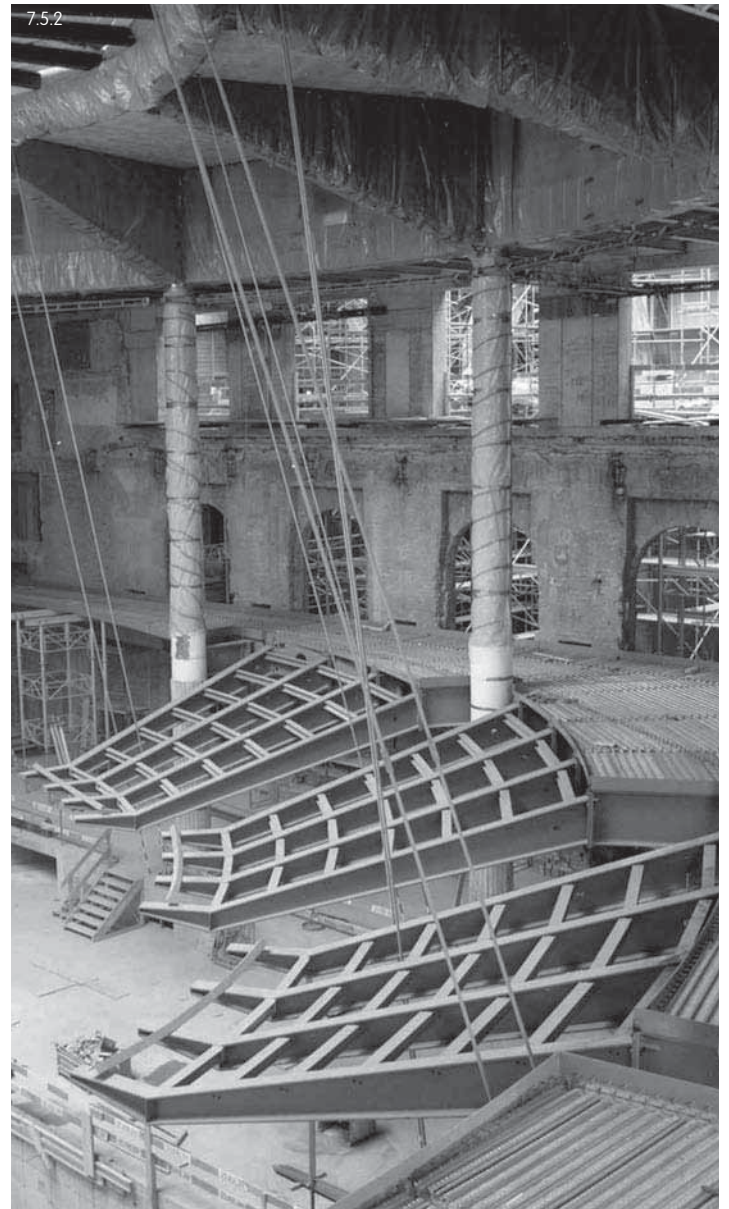
Les cadres métalliques placés à l'extérieur et au milieu de la nouvelle façade ont contribué à améliorer l'esthétique du bâtiment.

# 7.5 Le Reichstag à Berlin (Allemagne)

La restauration du Reichstag à Berlin fut l'objet d'un concours international d'architecture remporté par Sir Norman Foster. La conception de base était le remplacement du dôme originel par un nouvel hémisphère transparent et un cône central amenant la lumière du jour directement et servant également au refroidissement naturel du bâtiment.

Le dôme – de 38 mètres de diamètre et de 23,5 mètres de hauteur – est au centre du bâtiment, à 24 mètres au-dessus du sol. Sa structure est composée de 24 arcs de renfort, montant depuis la poutre en caisson formant l'anneau inférieur, et complétés par 17 anneaux horizontaux. Une rampe spirale périphérique forme la partie intégrante du dôme et agit comme des poutres annulaires très rigides (illustration 7.5.1).

Le Parlement moderne situé sous le dôme est doté des équipements les plus modernes de communication, de bureautique et de travail. Les balcons de la salle ont eux aussi été construits avec une structure en acier (illustration 7.5.2).



## 7.6 Différentes extensions horizontales et verticales en Allemagne

Une extension et une reconstruction de l'ancien bâtiment administratif et du chevalement de la mine de charbon « Nordstern » à Gelsenkirchen, ont permis de reconvertir ces installations en centre d'affaires et de loisirs (illustration 7.6.1).

Une extension verticale a été faite au gymnase de Schwäbisch-Hall, ce qui a permis de maintenir en service les bâtiments existants pendant la durée des travaux de construction de l'extension (illustration 7.6.2).

Le « Stadtlagerhaus » en bord de mer, face au port, près du fameux marché au poisson de Hambourg, est l'exemple réussi de l'intégration d'appartements modernes dans un environnement de travail. (illustration 7.6.3).



- 7.5.1** Le nouveau dôme en acier et verre du Parlement National Allemand, l'ancien « Reichstag », à Berlin
- 7.5.2** La structure en acier des balcons du Parlement du Reichstag à Berlin (Allemagne)
- 7.6.1** La mine de charbon « Nordstern » à Gelsenkirchen (Allemagne) après sa reconversion
- 7.6.2** L'extension verticale du complexe sportif de la Grande Ecole de Schwäbisch-Hall (Allemagne)
- 7.6.3** La « Stadtlagerhaus » dans le port de Hambourg (Allemagne), résultat de la transformation et restauration d'un ancien bâtiment de stockage et d'un silo.



Maison d'accueil pour personnes âgées de la  
Fondation Cognac-Jay, à Rueil Malmaison - France

# Références

## ALLEMAGNE

p. 16  
Christus Pavillon - Hannover  
Architectes: Gerkan, Marg + Partner Architects

## BELGIQUE

p. 67-69  
Atomium - Bruxelles  
Client: ASBL Atomium VZW  
Architecte: Conix Architecten  
Bureaux d'études: Bgroup-  
Arbeitsgemeinschaft, Geocal  
Photographes: Marc Detiffe, asbl Atomium:  
Marie-Françoise Plissart, Luc Turlous

## FRANCE

p. 17  
Dames de France - Perpignan  
Client: Ville de Perpignan  
Architecte: Philippe Pous  
Bureau d'études: Soulas-Etec

p. 76  
Résidence Cognac-Jay  
Rueil-Malmaison  
Client: Fondation Cognac-Jay  
Architecte: Jean Nouvel, Didier Brault  
Bureau d'études: BET  
Photographe: Philippe Ruault

## LUXEMBOURG

p. 23  
Abbaye de Neumünster - Luxembourg  
Client: Ministère des Œuvres Publiques  
Architecte: J. Ewert  
Bureau d'études: Inca  
Photographe: Menn Bodson

## ESPAGNE

p. 2-3, 5, 26-27  
Musée National Centre Artistique  
Reina Sofia - Madrid  
Client: Musée National Centre  
Artistique Reina Sofia  
Architectes: Jean Nouvel et Alberto Medem  
Bureaux d'études: Esteyco, JG  
et associés, Higiní Arau  
Photographes: Joaquim Cortés,  
José Luis Municio, Ana Müll

p. 41  
Stade Santiago Bernabéu - Madrid  
Client: Real Madrid C. F.  
Architecte: Estudio Lamela  
Photographes: Estudio Lamela  
Francisco Pablos Laso

# Assistance technique & parachèvement

## Assistance technique

Nous vous proposons des conseils techniques gratuits pour optimiser l'emploi de nos produits et solutions dans vos projets et pour répondre à vos questions relatives à l'utilisation des profilés et aciers marchands. Ces conseils techniques couvrent la conception d'éléments de structures, les détails constructifs, la protection des surfaces, la protection incendie, la métallurgie et le soudage.

Nos spécialistes sont à votre disposition pour accompagner vos initiatives à travers le monde.

Pour faciliter le dimensionnement de vos projets, nous proposons également un ensemble de logiciels et documentations techniques que vous pouvez consulter ou télécharger sur le site

[sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com)

## Parachèvement

Pour compléter les possibilités techniques de nos partenaires, nous nous sommes dotés d'outils de parachèvement performants et offrons un large éventail de services, tels que :

- forage
- oxycoupage
- découpes en Tés
- crantage
- contrefléchage
- cintrage
- dressage
- mise à longueur exacte par sciage à froid
- soudage de connecteurs
- grenailage
- traitements de surface

## Construction

ArcelorMittal dispose d'une équipe de professionnels multi-produits dédiée au marché de la construction.

Une palette complète de produits et solutions dédiés à la construction sous toutes ses formes : structures, façades, couvertures, etc. est disponible sur le site

[www.constructalia.com](http://www.constructalia.com)



# Vos partenaires

## FRANCE

ArcelorMittal  
Commercial Sections  
5, rue Luigi Cherubini  
F-93212 La Plaine Saint Denis Cedex  
Tél. : +33 (0) 1 71 92 16 30  
Fax : +33 (0) 1 71 92 17 97  
**[sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com)**

OTUA  
Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier  
5, rue Luigi Cherubini  
F-93212 La Plaine Saint Denis Cedex  
Tél. : +33 (0) 1 71 92 17 21  
Fax : +33 (0) 1 71 92 17 89  
**[www.otua.org](http://www.otua.org)**

CTICM  
Centre Technique Industriel de la  
Construction Métallique  
Domaine de Saint-Paul  
F-78471 St-Rémy-lès-Chevreuses Cedex  
Tél. : +33 (0) 1 30 85 25 00  
Fax : +33 (0) 1 30 52 75 38  
**[www.cticm.com](http://www.cticm.com)**

## BELGIQUE

ArcelorMittal  
Commercial Sections  
Benelux B.V.  
Boompjes 40  
NL-3011 XB Rotterdam (Pays-Bas)  
Tél. : +31 1 020 60 555  
Fax. : +31 1 020 60 559  
**[sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com)**

Centre Information Acier  
Chaussée de Zellik 12  
B-1082 Bruxelles (Berchem-Sainte-Agathe)  
Tél. : +32 2 509 15 01  
Fax : +33 2 511 12 81  
**[www.infosteel.be](http://www.infosteel.be)**

## SUISSE

ArcelorMittal  
Commercial Sections  
Innere Margarethenstrasse 7  
CH-4051 Bâle  
Tél. : +41 61 227 77 77  
Fax : +41 61 227 77 66  
**[sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com)**

SZS  
Centre Suisse de la Construction Métallique  
Seefeldstrasse 25  
CH-8034 Zürich  
Tél. : +41 44 261 89 80  
Fax : +41 44 262 09 62  
**[www.szs.ch](http://www.szs.ch)**

# Notes

A series of horizontal dotted lines for writing notes.

Federico M. Mazzolani

Department of Structural Analysis and Design, University of Naples « Federico II », Naples, Italy

ArcelorMittal  
Commercial Sections

66, rue de Luxembourg  
L-4221 Esch-sur-Alzette  
LUXEMBOURG  
Tel. + 352 5313 3010  
Fax + 352 5313 2799

[sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com)

Version 2014-1



**Sources Mixtes**

Groupe de produits issu de forêts bien  
gérées et d'autres sources contrôlées.  
[www.fsc.org](http://www.fsc.org) Cert no. EUR-COC-051203  
© 1996 Forest Stewardship Council