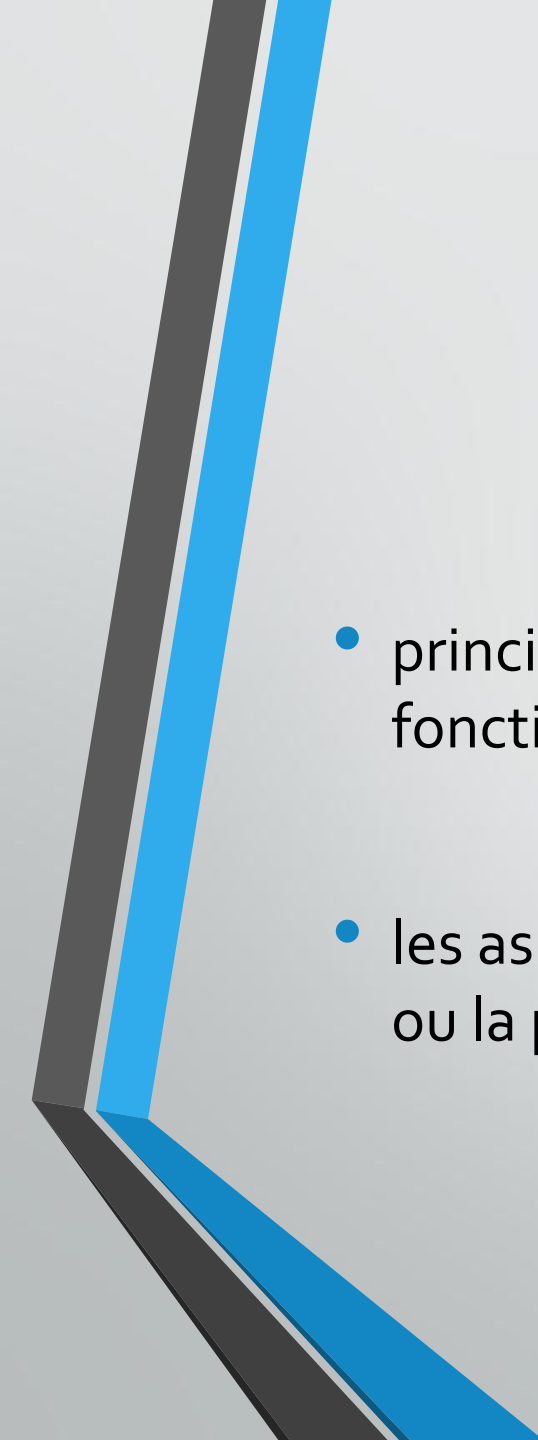




Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures

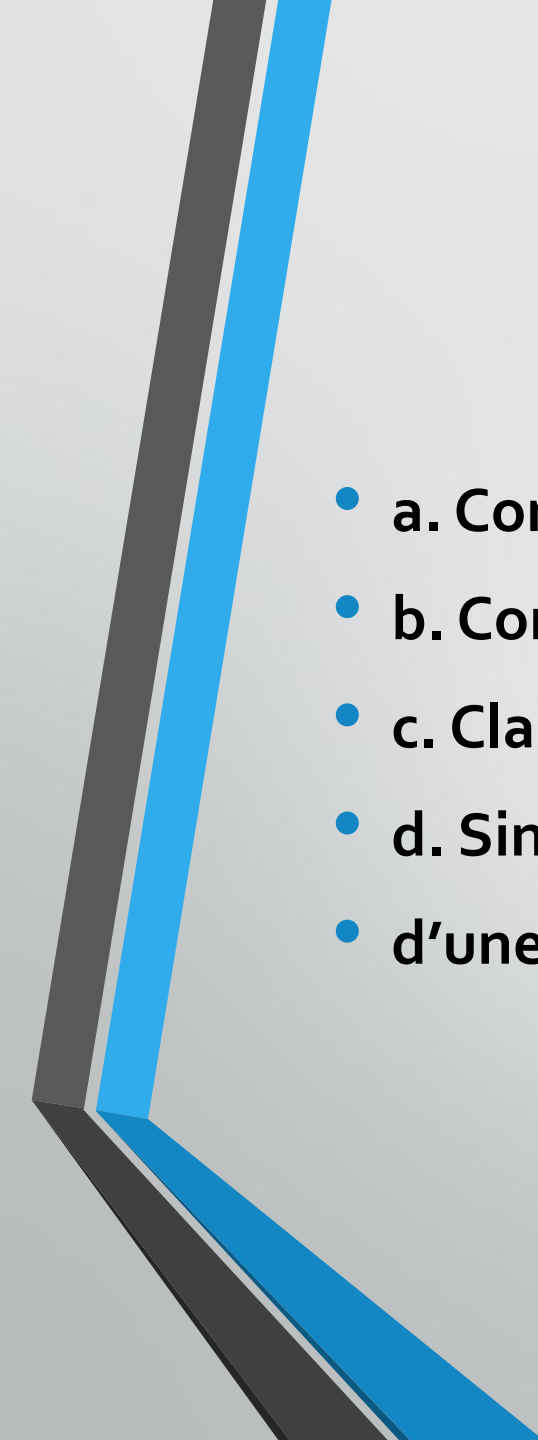
(outil de la méthode Rehabimed)

Master RMC



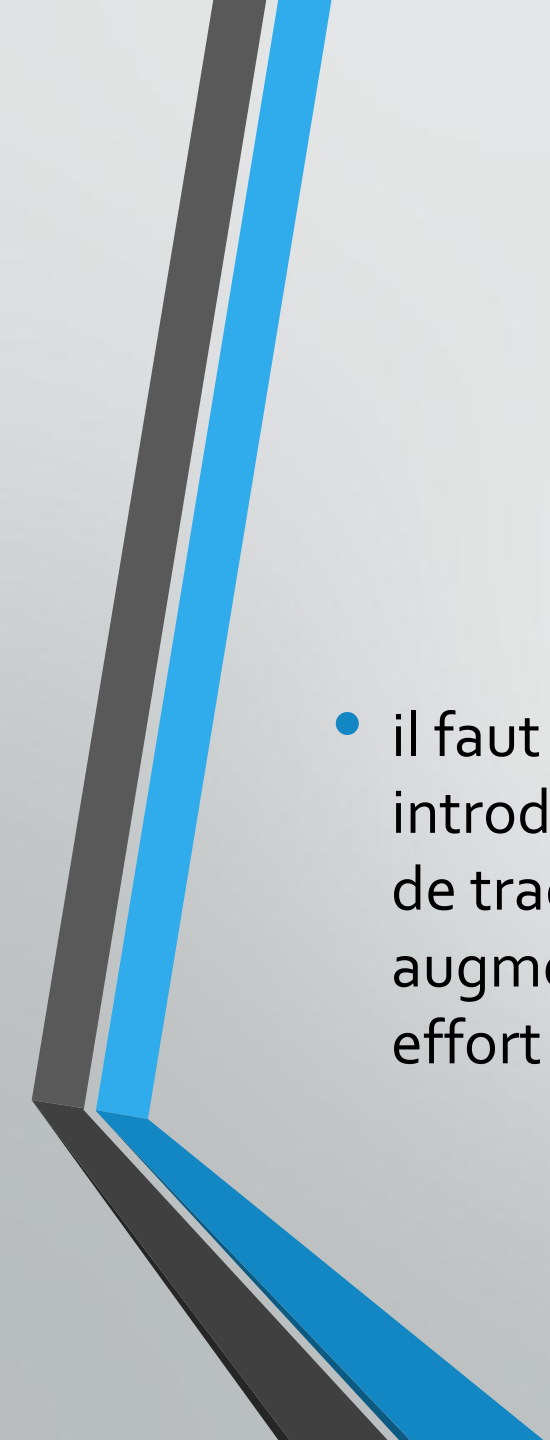
1- La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne

- principes généraux qui guideront le choix de la technique appropriée en fonction de la situation qui se présentera.
- les aspects déterminants de toute intervention, quel que soit l'objectif ciblé ou la problématique à résoudre.

- 
- a. Connaissance et adaptation au contexte technologique du lieu
 - b. Considération globale des répercussions de l'intervention
 - c. Clarté de l'approche mécanique et structurelle
 - d. Singularité des interventions portant sur des bâtiments
 - d'une valeur patrimoniale particulière

2. Interventions sur les murs et les piliers

- Les matériaux et les appareillages des murs épais d'autrefois, en pierre et en terre, sont peu résistants aux tensions de traction et de cisaillement. Précisons aussi que l'eau les fragilise considérablement du fait de la forte perméabilité de la terre et de la plupart des mortiers employés.

- 
- il faut prendre soin de distribuer de manière homogène les sollicitations introduites, afin d'éviter dans la mesure du possible des efforts additionnels de traction ou de cisaillement dans le mur. De même, il y a lieu de ne pas augmenter les efforts de compression, vu la difficulté à caractériser cet effort par des essais dans la plupart des vieux murs.

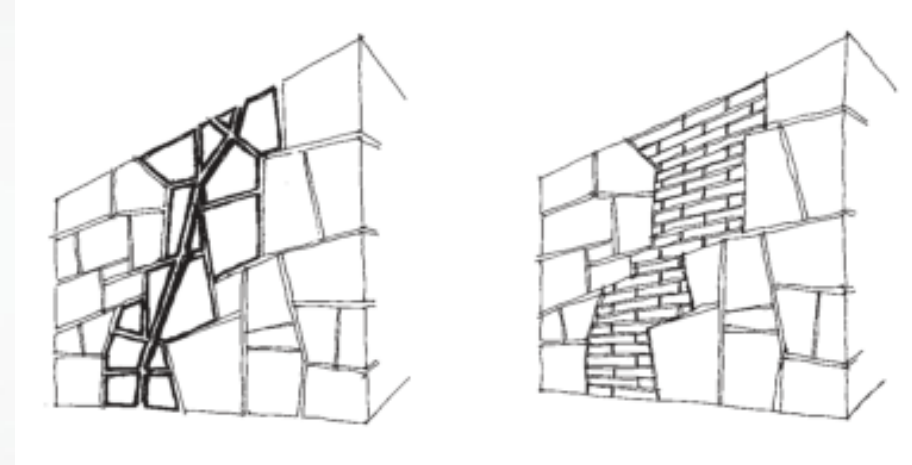
a. Remplacement physique de la partie endommagée

- Il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée, bombée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance et la déformabilité seront similaires. Dans les murs ou les piliers en pierre ou en brique, l'usage veut que l'on reprenne le même matériau, tandis que dans les murs en terre, on pourra employer la brique. Dans tous les cas, l'objectif de l'intervention ne peut que prétendre restaurer la capacité portante initiale de l'élément endommagé.

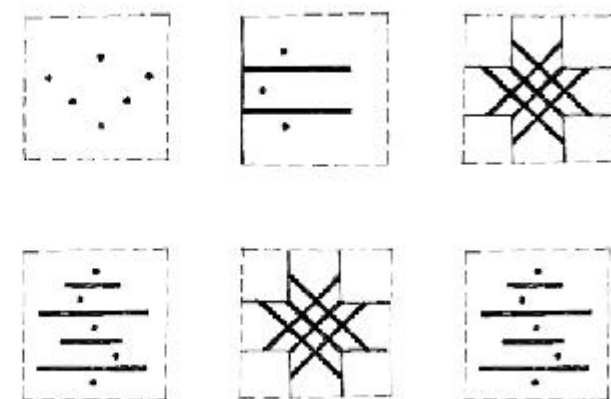
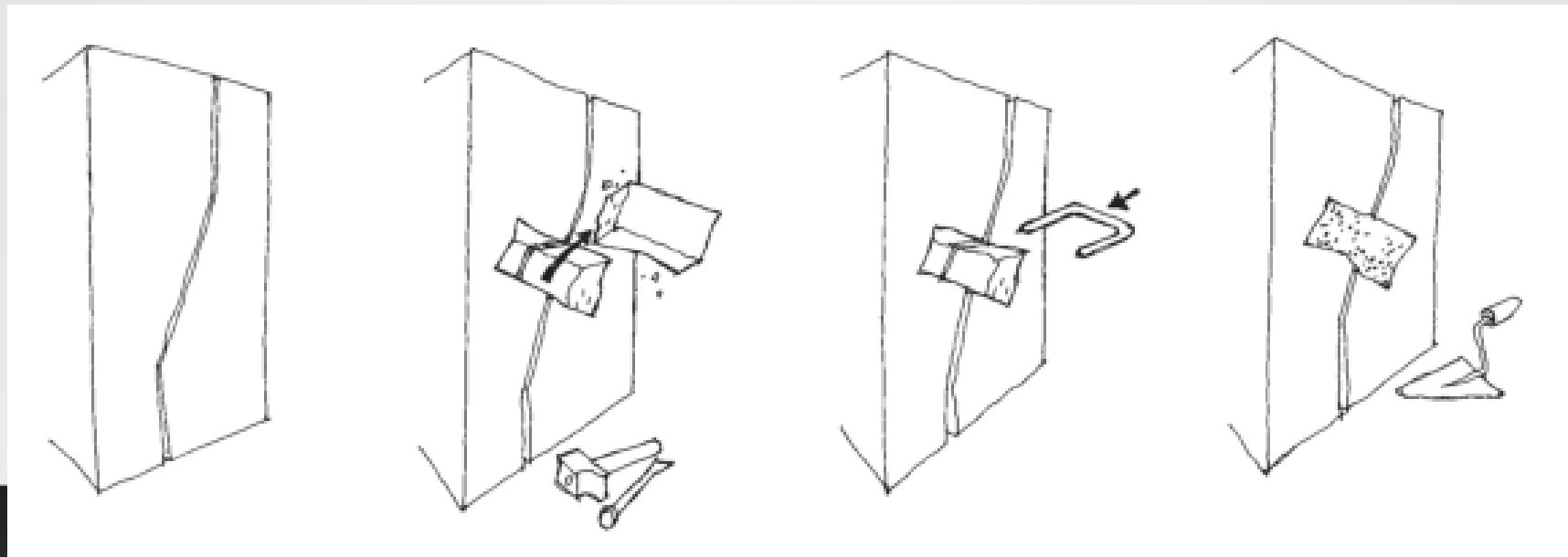


b. Reprise de fissures

- La méthode consiste à intercaler entre les lèvres de la fissure du mur des éléments plus résistants et plus rigides en guise de sutures, tels que des agrafes métalliques, des morceaux de brique, etc. Il s'agit de retrouver la continuité perdue du mur endommagé, de sorte que les tensions puissent être de nouveau transmises et distribuées de manière homogène dans la partie lésardée.



- Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la fissure soit passive comme nous venons de l'expliquer, c'est-à-dire que la cause de son apparition n'agisse plus sur la partie à réparer.

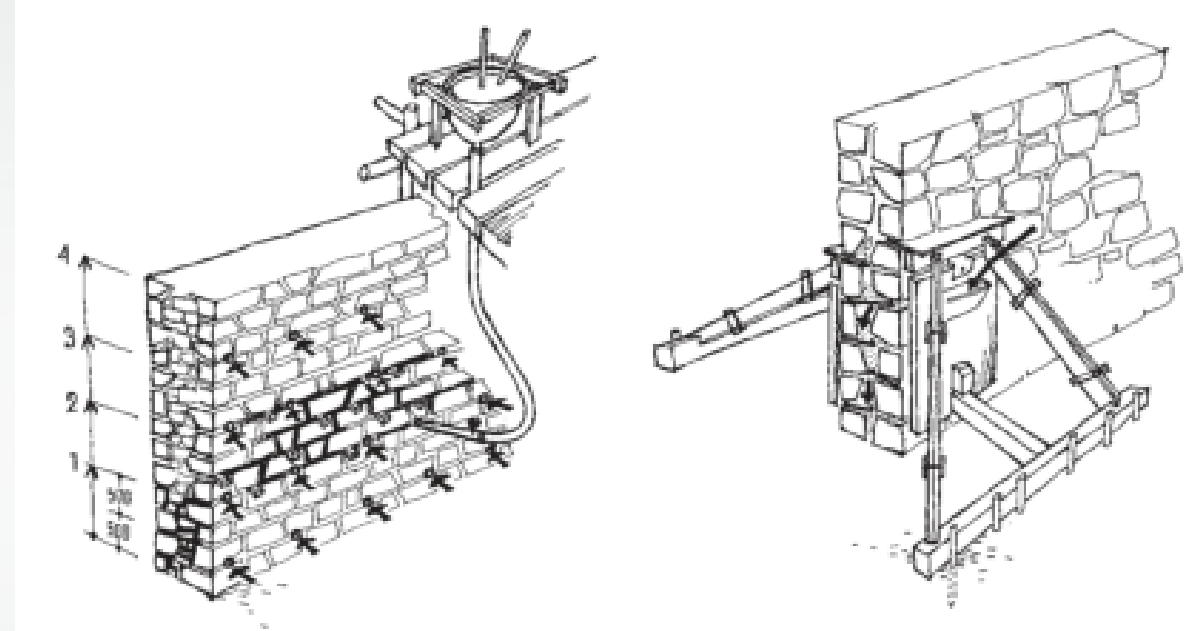


c. Injections

- Il s'agit d'un autre système de réparation de fissures et de brèches passives, applicable à des murs en maçonnerie appareillée ou en brique, qui consiste à introduire un liquide sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure. En durcissant et en adhérant au support, ce liquide restitue à l'élément endommagé sa continuité d'origine. Les caractéristiques du liquide –généralement à base de composants époxydiques– et la pression d'injection varient en fonction des matériaux du mur et de la taille du trou à reboucher.
- Le scellement superficiel, préalable à l'injection dans la fissure ou la brèche, doit être capable de supporter la pression du liquide avant son durcissement.



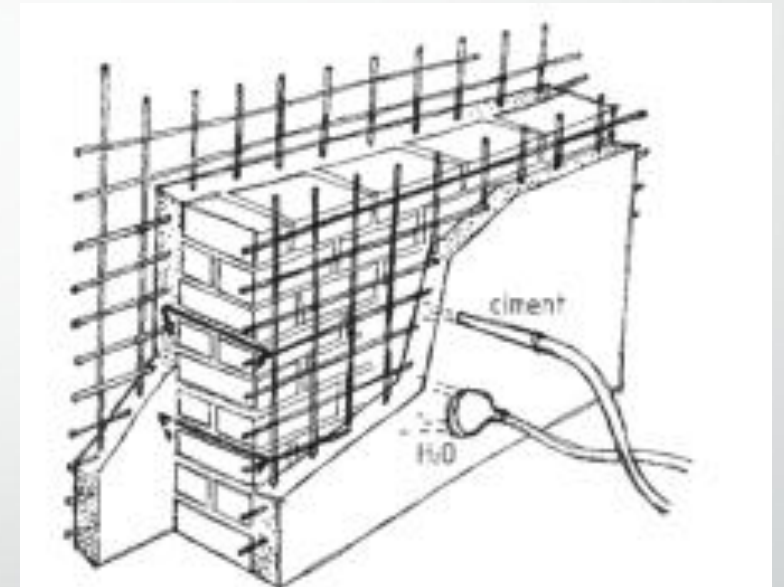
d. Rejointoiements



- C'est une procédure de restitution de la résistance initiale applicable aux murs en pierre ou en brique qui consiste à rejointoyer au mortier les parties détériorées par l'érosion ou par les racines de plantes qui ont poussé entre les pierres. Des produits de densité ou de viscosité variables sont introduits par gravité ou par infusion, en fonction de la technique d'exécution employée.

e. Enduit de renfort à base de mortier ou de béton armé

- Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseur de matériau –mortier ou béton– après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur.

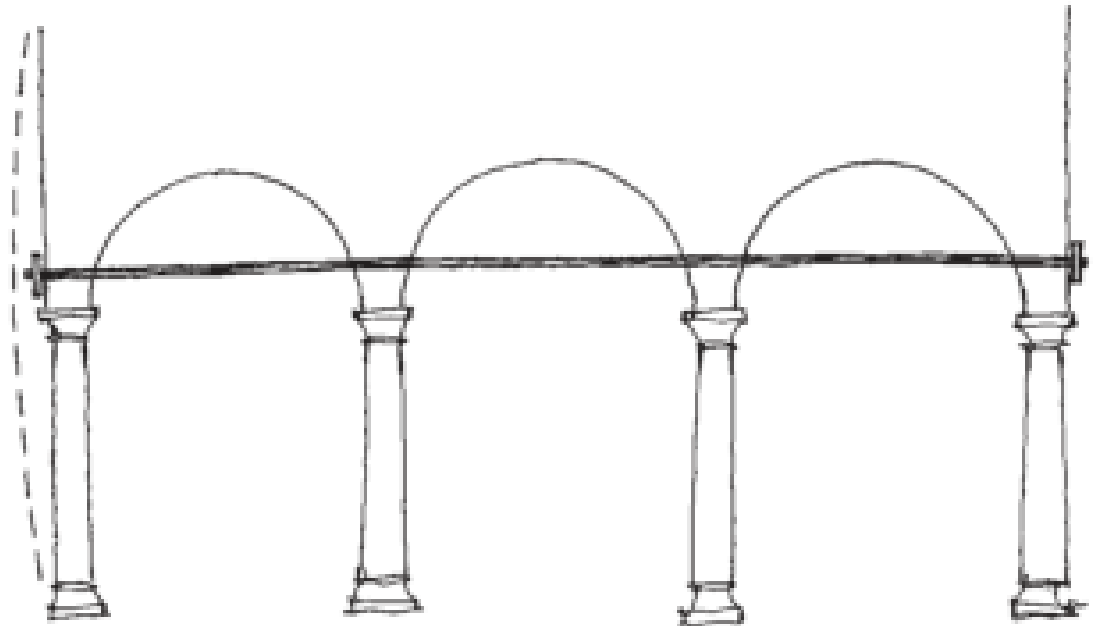


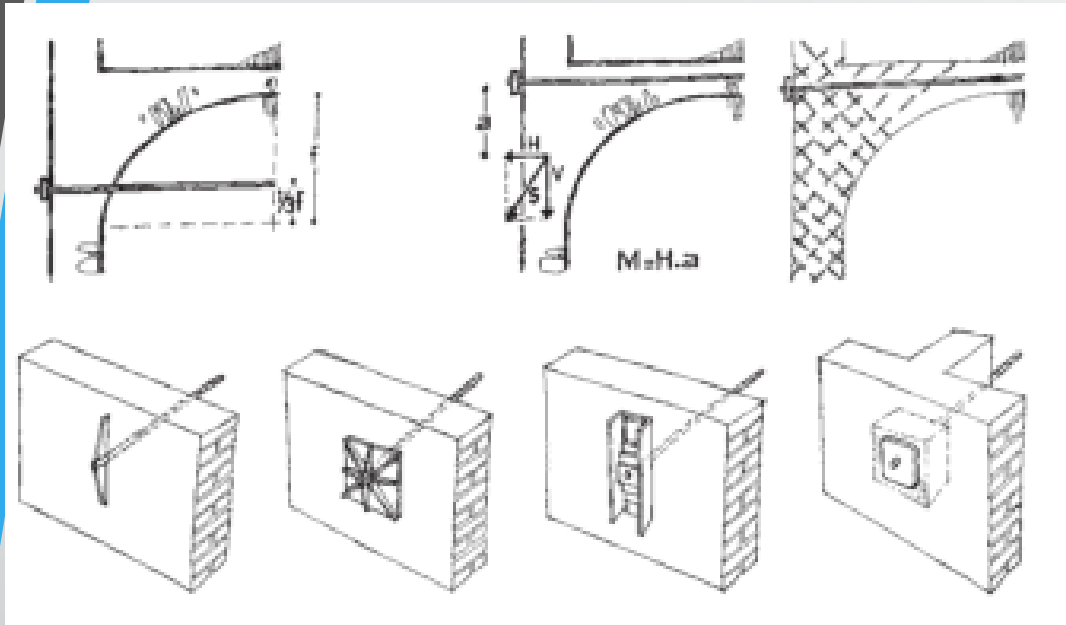
- La mise en œuvre du matériau de renfort peut se faire en disposant des coffrages parallèles aux parements et en y coulant ensuite la préparation, ou bien par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage en choisissant la procédure selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort. Cette solution est très polyvalente en ce qu'elle s'adapte à des structures de murs



f. Pose de tirants

- La pose de tirants dans les structures murales vise généralement à freiner l'effondrement des murs ou leurs déformations progressives transversalement à leur plan. Cette méthode consiste à disposer des éléments linéaires qui vont exercer des tractions.



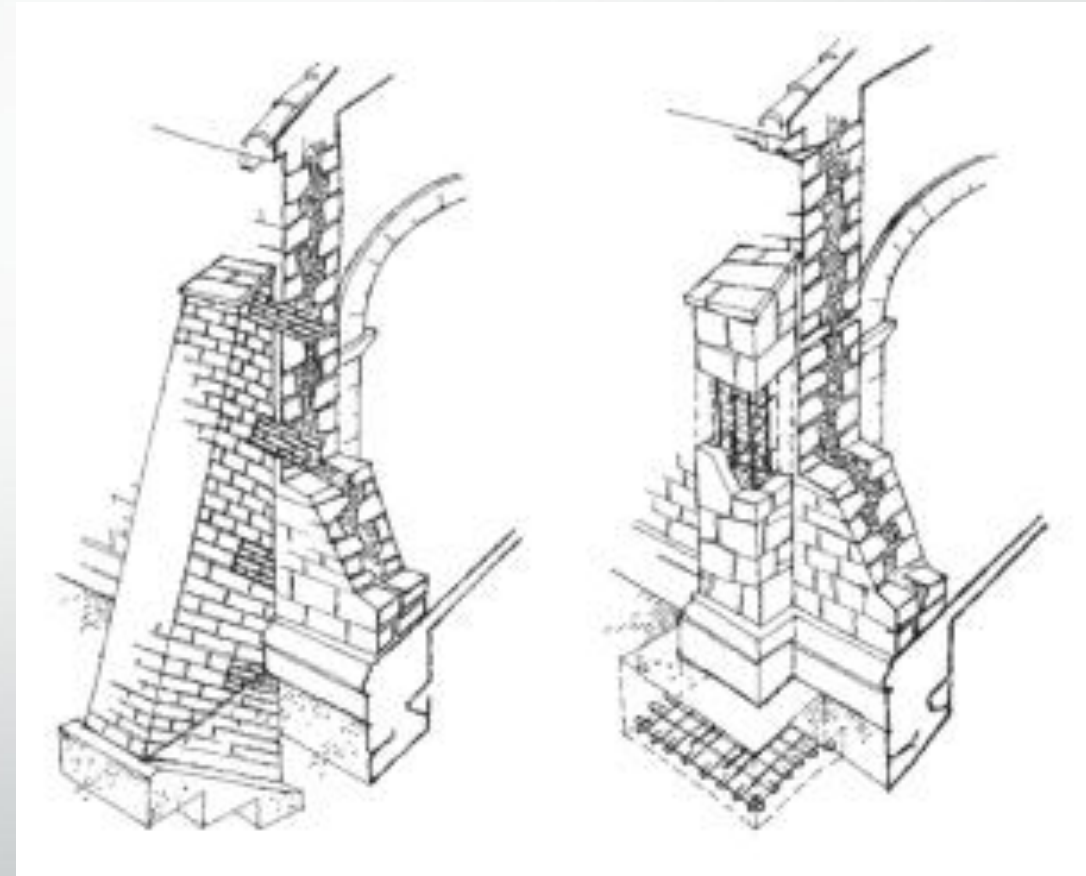


- Appelés tirants, ces éléments sont constitués en principe d'un câble d'acier et fixés à deux murs opposés par des pièces spécifiques d'ancrage qui évitent l'évolution de leur écartement et la perte subséquente de leur capacité résistante. Il convient de prévoir que l'un des deux éléments d'ancrage, au moins, admettra le réglage périodique de la tension pour compenser les effets de l'allongement éventuel du tirant.



g. Contreforts

- Leur fonction équivaut à celle des tirants et il est pratiquement obligatoire de les appliquer lorsque le bâtiment ne dispose pas d'éléments suffisamment rigides, capables d'absorber les tensions ponctuelles créées aux points d'ancrage des tirants.

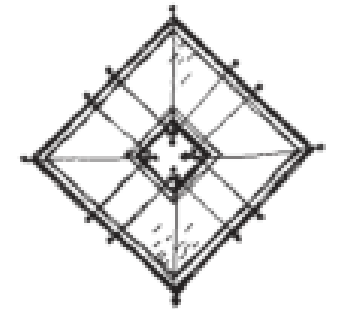
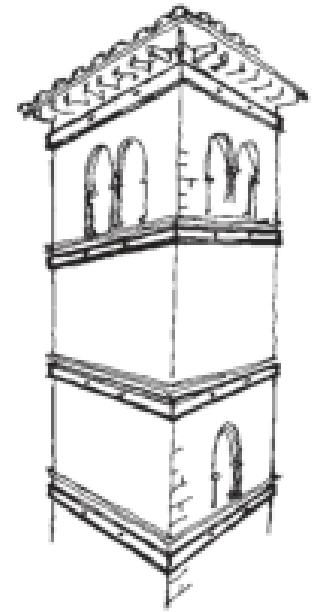
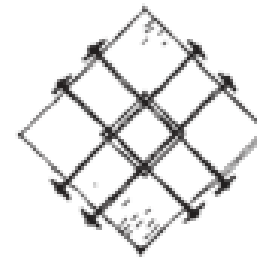
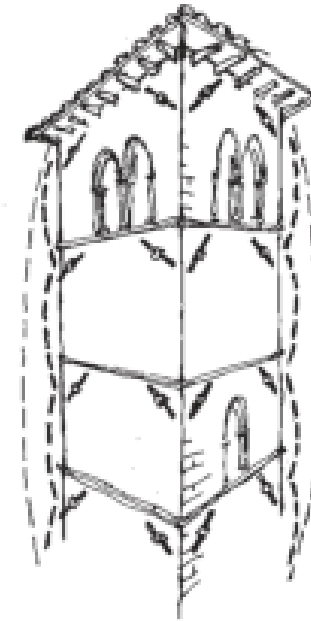




- Dans ces cas, l'absorption des poussées des voûtes, des arcs ou de tout autre élément qui introduirait des sollicitations inclinées dans les murs, peut être confiée aux contreforts, car ils sont capables de transmettre ces actions au terrain à travers leur section. Dans la conception et le calcul du contrefort, il faut tenir compte de la forte limitation de l'assise requise par le nouveau contrefort pour fonctionner correctement.

h. Chaînage

- La disposition de ceintures ou de courroies sur le pourtour de murs structurants fermés, montés avec un appareillage en brique, d'un bâtiment ou sur ses piliers en pierre ou en brique, pour les rendre plus robustes et augmenter leur résistance, est un système ancien que l'on retrouve dans de nombreux édifices historiques bien connus, tels que le Colisée romain ou les clochers italiens du Moyen Âge.

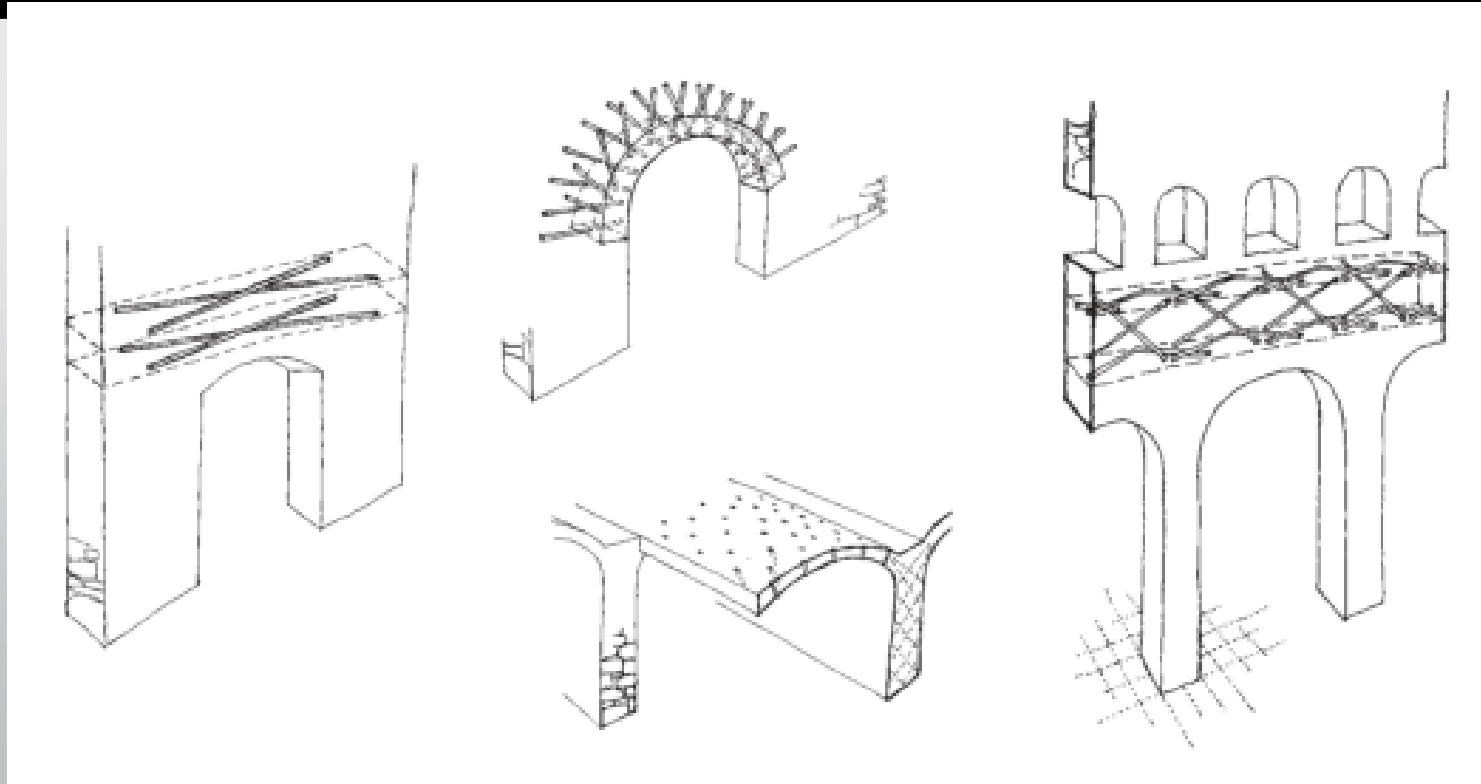




- Le fer et l'acier sont les matériaux employés depuis longtemps pour fabriquer ces éléments. Plus récemment, les bandes en fibre de carbone remplissent la même fonction dans certaines situations. Néanmoins, il est nécessaire de considérer les effets du matériau qui adhérerà à l'élément renforcé.

i. Taxidermies avec des barres d'acier

- C'est un système de renfort intégral, applicable aux murs en pierre ou en brique, qui consiste à mettre en œuvre des armatures en acier à l'intérieur du mur, embouties dans des perforations atteignant parfois quelques mètres de longueur, de sorte à créer de véritables structures secondaires de barres à l'intérieur des murs, pour augmenter leur capacité de résistance globale ou créer des zones plus rigides, capables de distribuer de manière homogène les sollicitations descendantes.





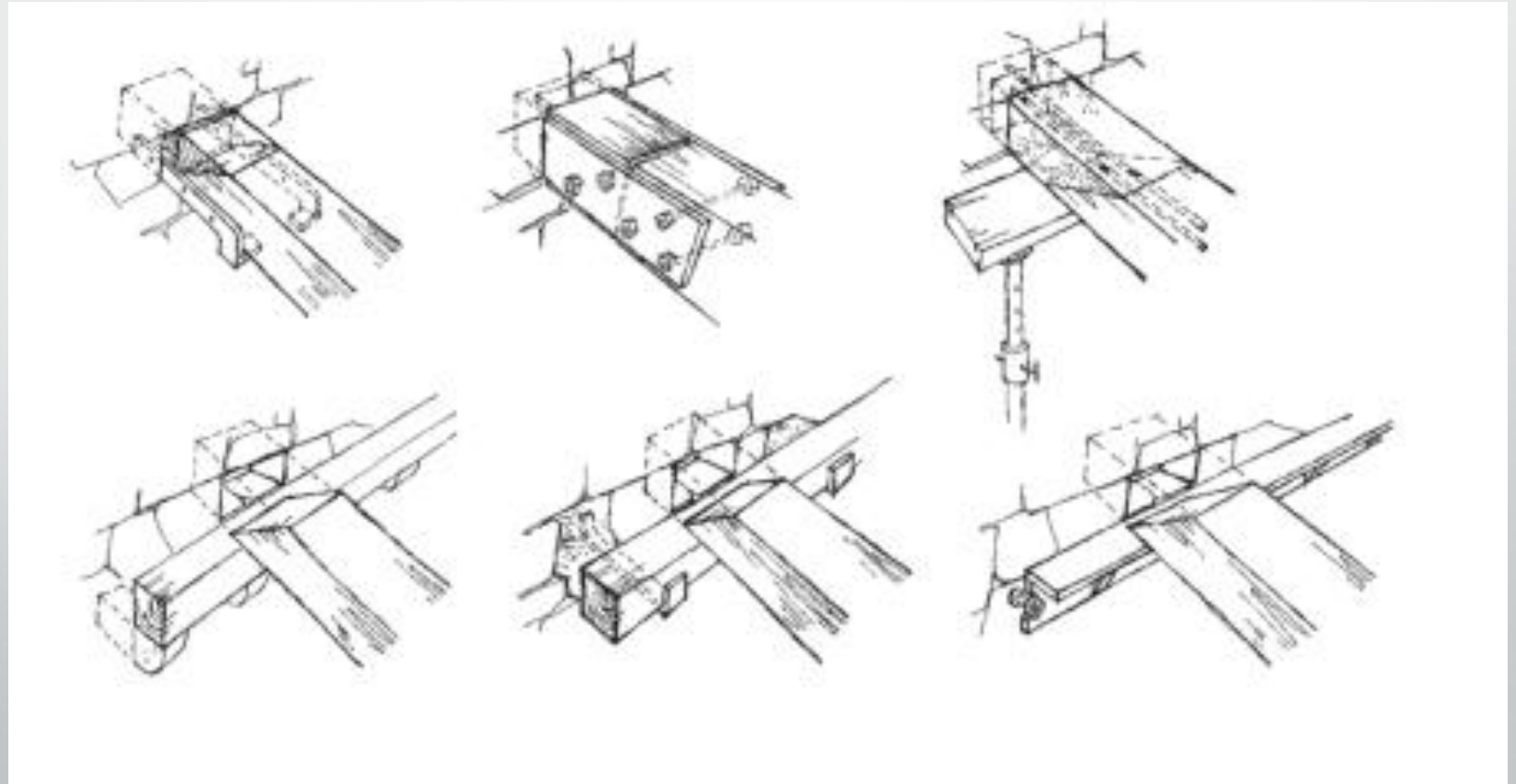
- Le contact entre les barres d'acier et le matériau dont le mur est constitué se fera au moyen d'un produit adhérent, généralement à base époxydique.

3. Interventions sur les planchers et les couvertures

- Les interventions sur les planchers de poutres et poutrelles en bois doivent partir d'un diagnostic préalable des causes des dysfonctionnements, dus à l'attaque d'agents biotiques, au fluage du bois ou à des déficiences dans le dimensionnement du plancher par rapport aux sollicitations mécaniques qu'il reçoit. Le choix de l'intervention requiert la connaissance des conditions d'utilisation futures et de la nécessité de conservation non seulement des éléments sur lesquels on intervient mais aussi de ceux sur lesquels l'action prévue peut avoir une influence, tels que les faux plafonds ou les sols de grande valeur artisanale et picturale.

a. Remplacement fonctionnel des appuis sur les poutres et poutrelles

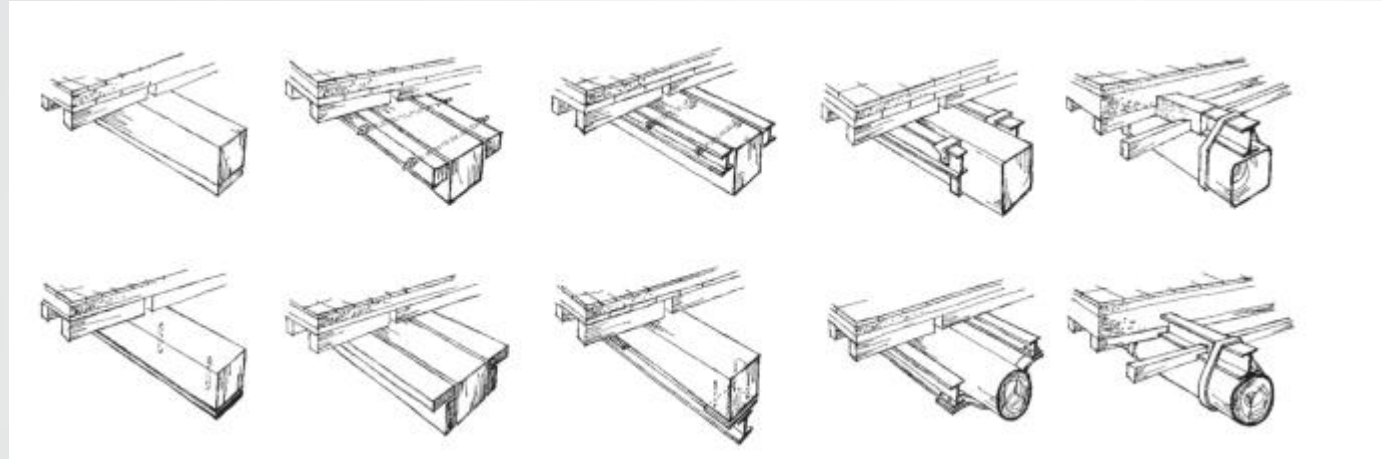
- Les attaques de champignons et de termites se concentrent souvent sur les appuis des poutres et des poutrelles en bois, notamment du côté des murs extérieurs, à cause des conditions spéciales d'humidité et d'obscurité qui les caractérisent.



- Dans ces cas, il faut généralement procéder au remplacement fonctionnel ou au renfort des appuis endommagés par la décomposition du bois, à l'aide de l'un des nombreux procédés existants que l'on choisira en fonction de plusieurs paramètres: problème concernant quelques poutrelles désolidarisées ou une ligne d'appuis contigus, caractéristiques du mur sur lequel elles reposent, techniques disponibles et apparence formelle de la solution retenue.

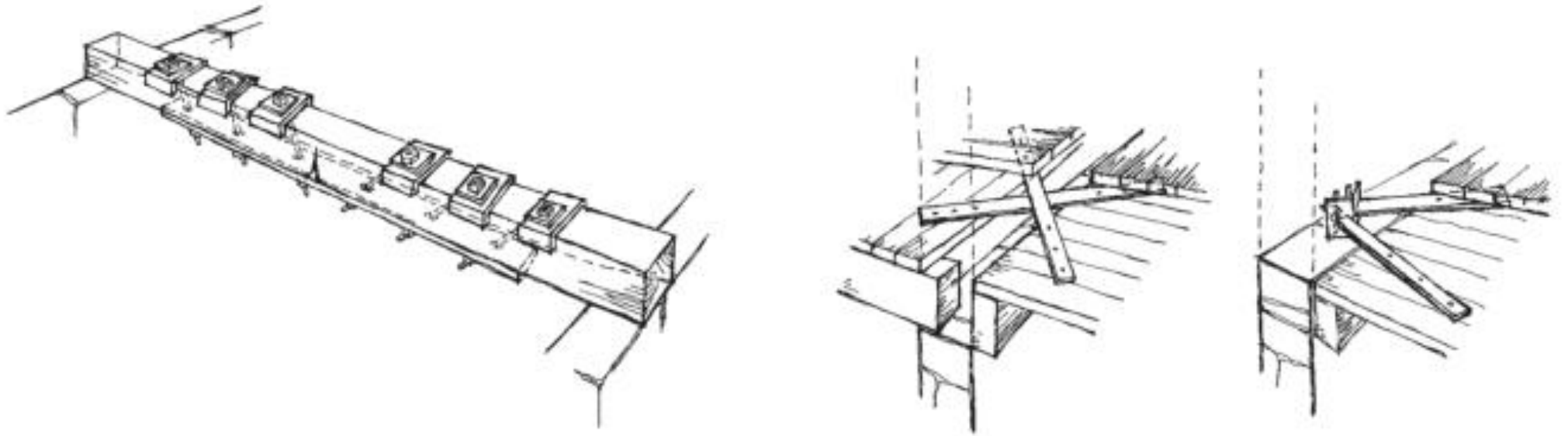


b. Suppléments de résistance pour les poutres et les poutrelles

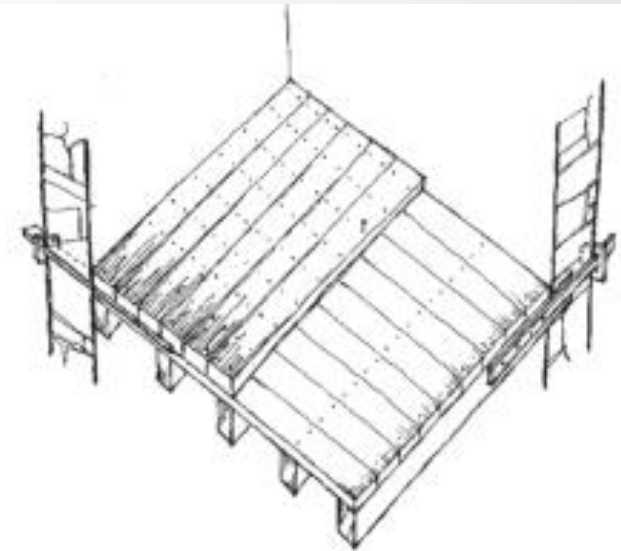
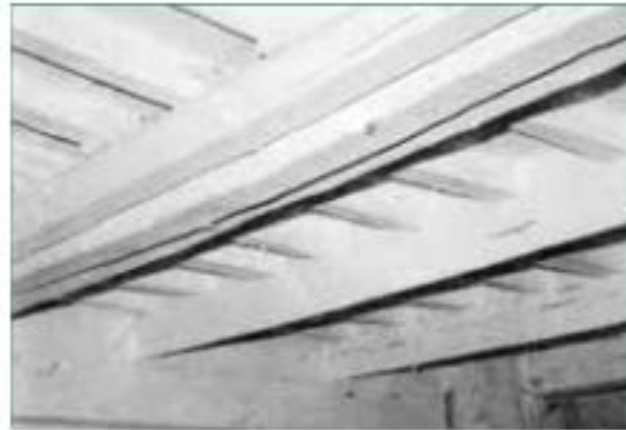


Cette technique consiste à ajouter de nouveaux éléments qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur la poutre ou les poutrelles, lorsque le dimensionnement est jugé insuffisant ou lorsque les effets du fluage du bois ont créé des déformations excessives.

Les matériaux de renfort utilisés sont généralement en bois ou constitués de profilés en acier, leur position étant latérale, inférieure ou supérieure par rapport à l'élément à renforcer. On choisit la position supérieure dans tous les cas où il y a lieu de conserver l'apparence du plancher d'origine, en présence de peintures ou de faux plafonds de valeur.



Les hypothèses pour le calcul des renforts sont diverses, selon la possibilité de collaboration résistante des éléments sous-dimensionnés ou endommagés et les déformations préalables (contre-flèches) à envisager pour obtenir leur entrée en charge conjointe avec le renfort.



c. Montants intermédiaires

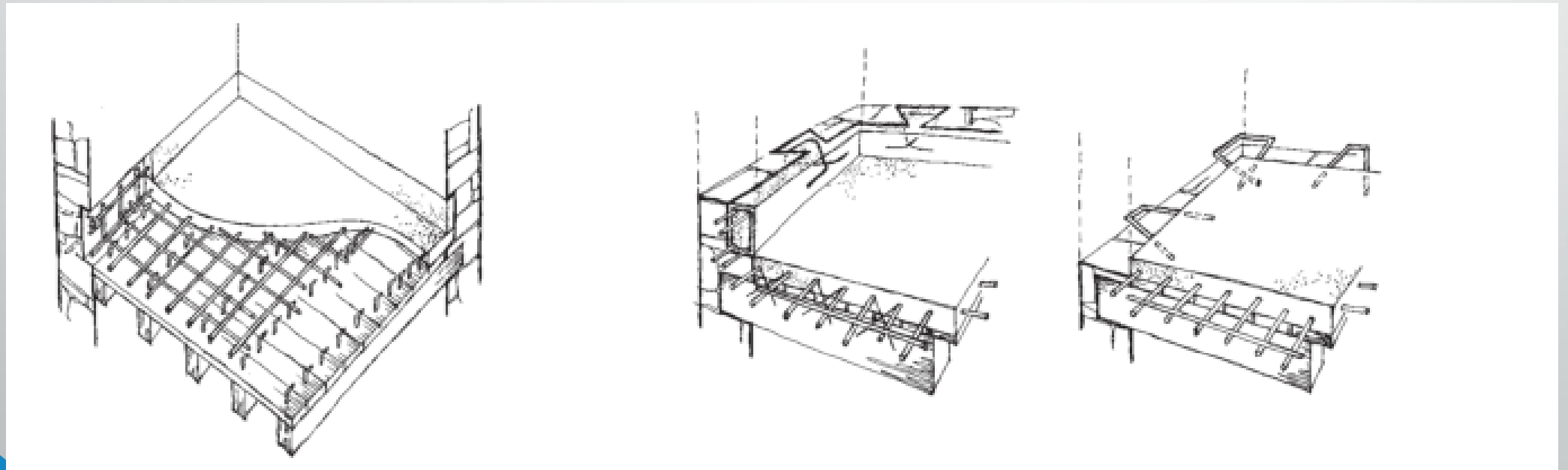
Les montants intermédiaires constituent une solution simple et efficace pour réduire les tensions de flexion introduites par les surcharges et les déformations dues au fluage du bois. On emploie des poutres en bois ou en acier, disposées en travers de la poutre à renforcer et divisant sa portée en deux ou en trois.



- La possibilité d'obtenir de bonnes conditions d'appui pour le montant ainsi constitué est généralement décisive dans le choix de la solution. Il faut en effet monter des murs perpendiculairement aux murs porteurs dont la résistance a faibli ou, à défaut, des piliers spécifiques avec une bonne assise sur le terrain pour pouvoir lui transférer les charges correctement.

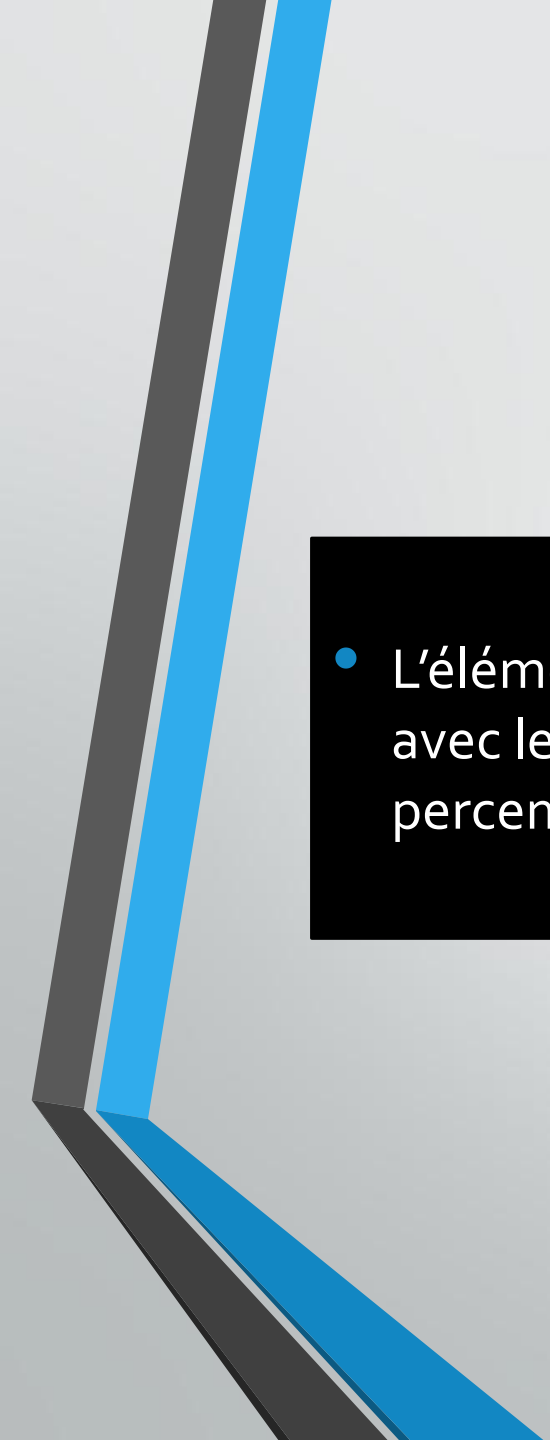
d. Pose additionnelle de dalles en béton armé

La pose additionnelle de dalles en béton armé, raccordées aux poutrelles en bois des planchers, est l'une des solutions les plus courantes aujourd'hui dans les interventions de réhabilitation de bâtiments.



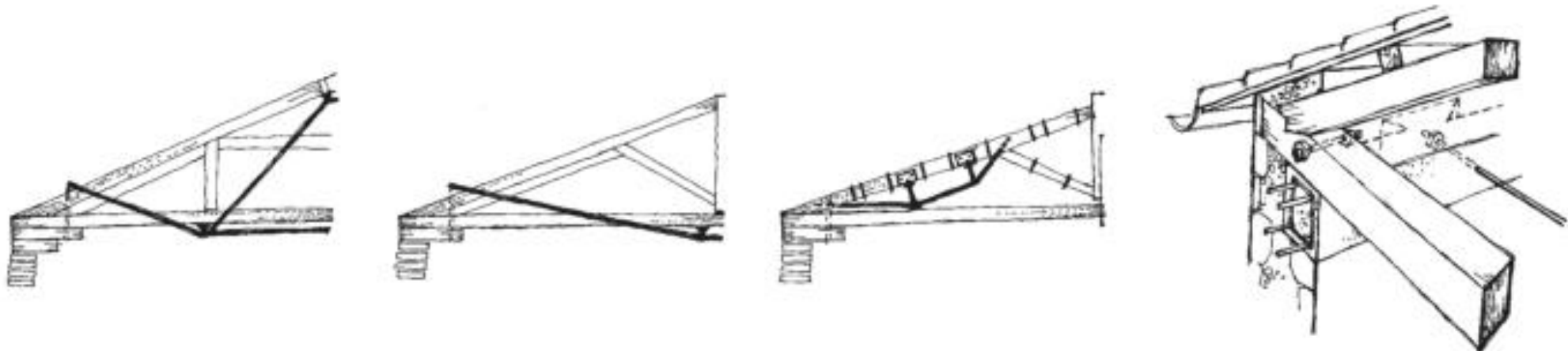


- Le principe réside dans la transformation des poutrelles d'origine en poutres mixtes, bois et béton, et offre la possibilité de distribuer les tensions de la flexion de manière coplanaire dans toutes les directions du plan du plancher en augmentant la rigidité globale de la construction par la liaison de la nouvelle dalle dans l'épaisseur des murs et sur tout le périmètre, ce qui améliore aussi la résistance au séisme. Par ailleurs, le béton ajouté améliore aussi l'isolation acoustique du plancher.

- 
- L'élément le plus critique de cette solution est celui de la liaison de la nouvelle dalle avec le mur, laquelle va dépendre des caractéristiques de rigidité, de cohésion et de percement des murs, ces caractéristiques étant très variables et imprévisibles.

e. Interventions spécifiques sur les ossatures et les fermes des couvertures

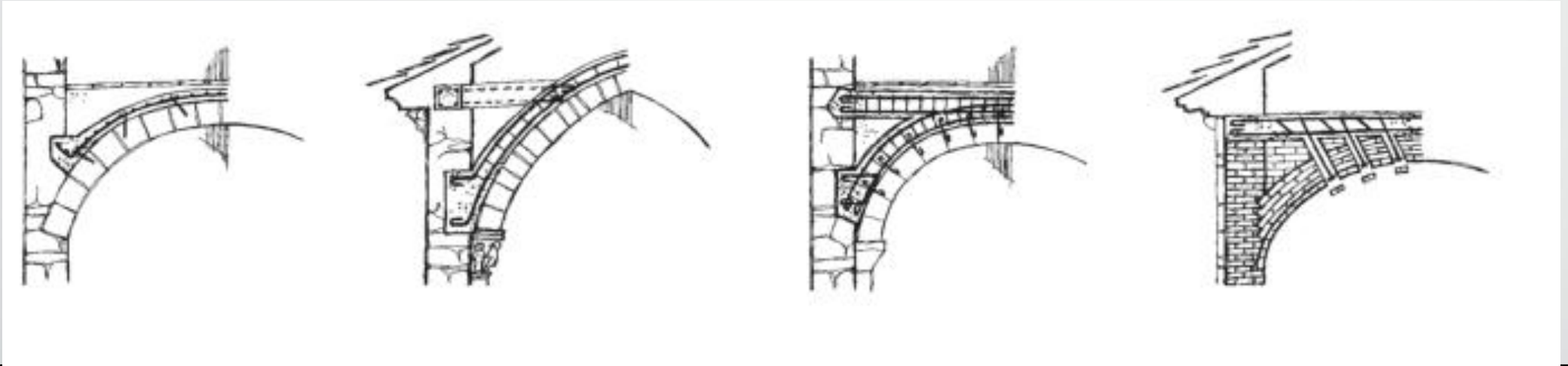
- Alors que, selon l'état de ces éléments, il est généralement conseillé de les remplacer, dans la mesure où ils sont les plus exposés aux effets de l'humidité, il arrive aussi que l'on préfère envisager de les renforcer. C'est le cas lorsque leur état général le permet, selon leur importance ou leur intérêt fonctionnel. Bien entendu, le remplacement fonctionnel des appuis et leur régularisation par une disposition, si possible, sur un linteau de décharge rigide pour distribuer au mieux les charges transmises aux murs sont des opérations souvent nécessaires et recommandables.



- Pour le renfort des paires, tirants et contre-fiches, que l'on ne veut pas masquer, on emploie de plus en plus des armatures post contraintes pour compenser les tractions ou créer de nouveaux équilibres de forces.



f. Interventions spécifiques sur les arcs, les voûtes et les coupoles



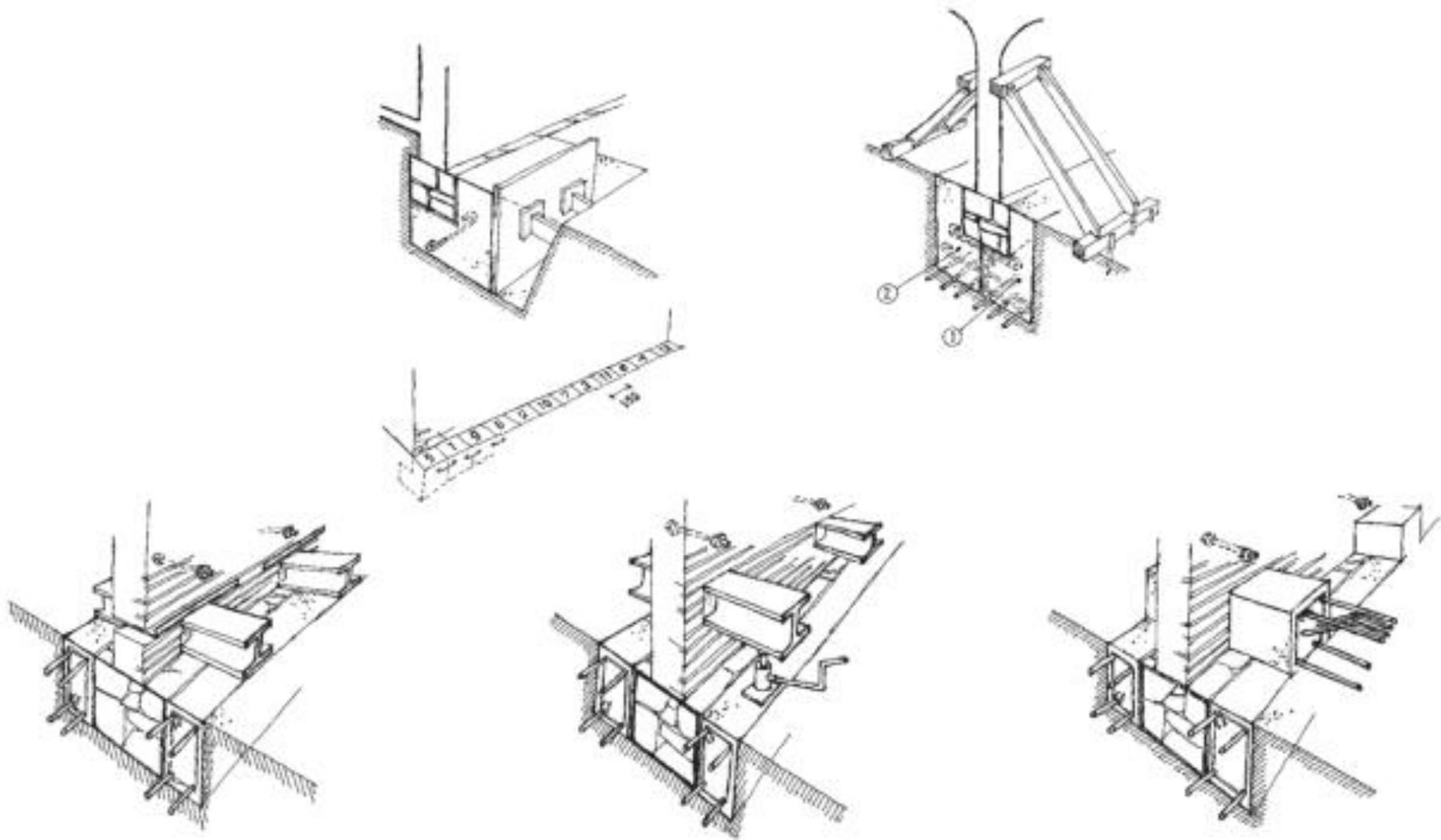
Certaines solutions applicables au renfort des planchers intéressent aussi les arcs, les voûtes et les coupoles. Ainsi les tirants métalliques interviennent-ils très souvent pour étayer les arcs et les voûtes ; on les placera sur les parties tractées de l'extrados. Les arcs peuvent élargir leur chant résistant au moyen de barres d'acier introduites, en guise de taxidermie, à partir de l'intrados.

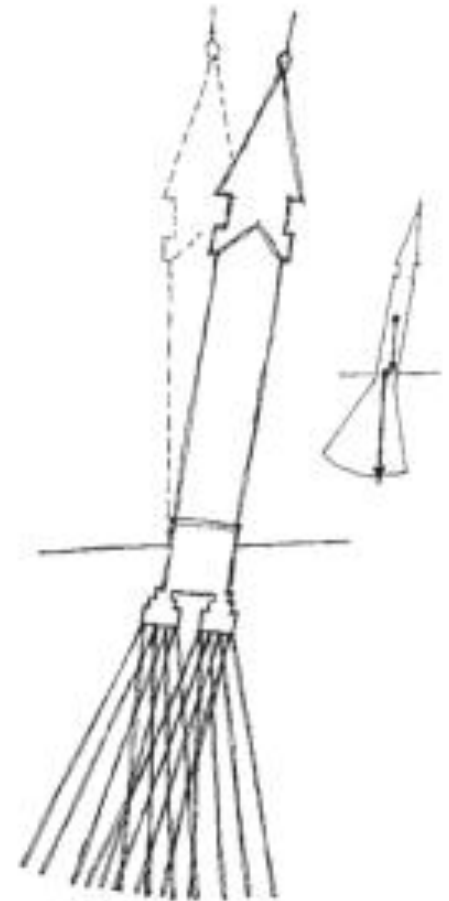
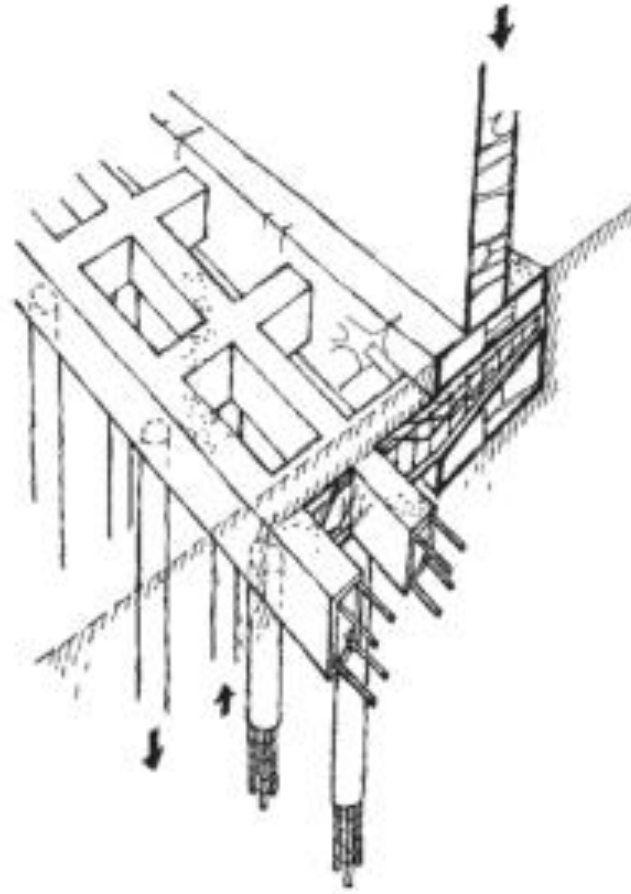
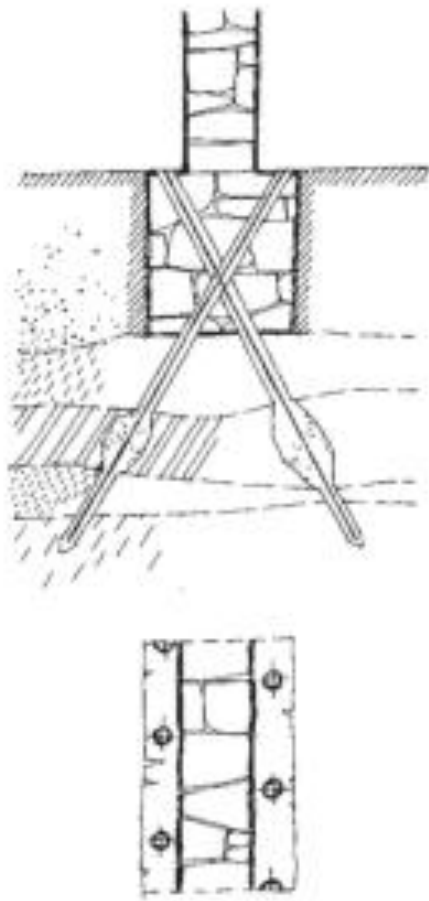


- Sur certaines voûtes surbaissées, les chaînages périphériques en acier ou en béton armé absorbent les poussées créées au niveau du soubassement. Quant aux dalles en béton armé, elles peuvent renforcer les voûtes et les coupôles en les connectant sur l'extrados. Il convient néanmoins de s'interroger dans chaque cas sur l'intérêt de ces solutions, comparées à d'autres qui préservent la méthode constructive d'origine, et d'exiger comme condition sine qua non la réversibilité de l'intervention.

4. Interventions dans les fondations

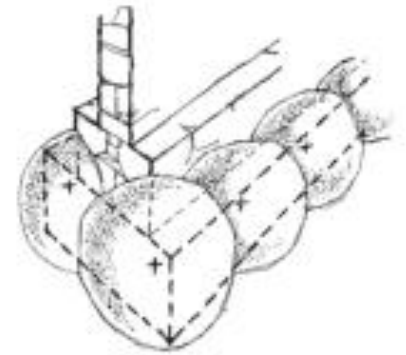
- Lorsque les fondations du bâtiment sont de type superficiel, ce qui constitue le cas le plus fréquent, le système le plus habituel de reprise est celui qui consiste à placer en-dessous un support un peu plus large compacté à la partie solide des fondations préexistantes. Il faut définir dans chaque cas, en fonction des caractéristiques du terrain, la fondation à renforcer, la profondeur et la largeur du nouveau support, ainsi que la longueur des tranchées d'excavation effectuées sous les fondations préexistantes.





- Actuellement, il est de plus en plus fréquent d'utiliser des micro-pieux disposés certains verticalement et d'autres inclinés, qui englobent
- un plus grand volume de terrain afin d'absorber les efforts à la base des fondations, utilisant celles-ci comme un ensemble général.

- Par contre, les systèmes fondés sur l'augmentation de la largeur de la base des fondations sont plus rares, à cause, en particulier, de la difficulté d'absorber les efforts de cisaillement au niveau des interfaces entre les nouvelles et les anciennes fondations.



Référence

- **Outil 8 Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures**
- **La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne**
- **II. La réflexion et le projet**
- **César DÍAZ GÓMEZ**

Docteur architecte

Professeur des universités au Département des Constructions architecturales I de l'Ecole technique supérieure d'Architecture de Barcelone, Université polytechnique de Catalogne, Espagne