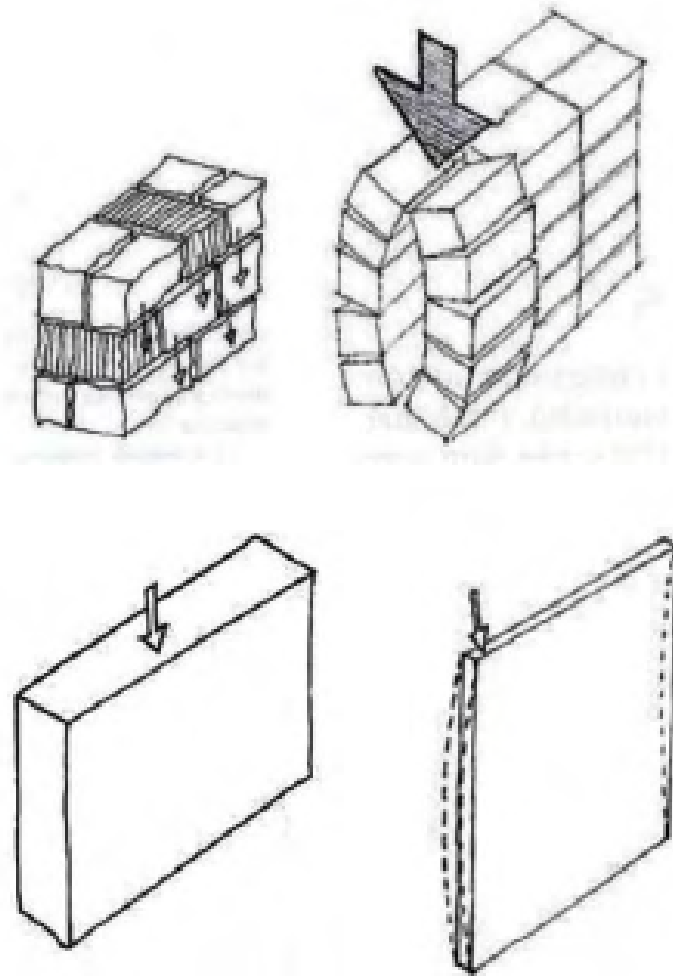


# Les désordres structurels des bâtiments

Rehabimed outil 5

- Diagnostique des pathologies des systèmes structurels les plus fréquents, en faisant le distinguo entre les éléments supportant directement les charges mécaniques dues à l'action de la gravité, du vent ou des mouvements sismiques, à savoir, les murs, les piliers et les fondations, et les planchers, les voûtes et les coupoles en tant qu'éléments structurels de couverture les plus courants.

## Les murs traditionnels



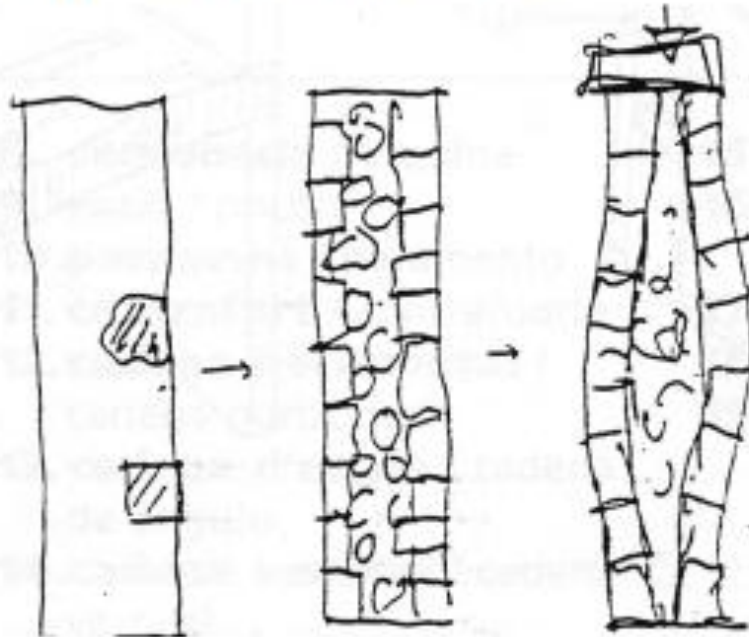
La forme des murs s'organise selon un parallélépipède dont les dimensions longue (longueur) et courte (épaisseur) sont perpendiculaires entre elles et parallèles au sol; la troisième dimension, ou hauteur, est située à la verticale. Cette forme résulte de leur rôle de structuration de l'espace en même temps qu'elle constitue, comme nous le savons tous depuis l'enfance, la meilleure manière d'assurer la stabilité d'un élément vertical face à sa contrainte la plus immédiate, à savoir l'action de la gravité.

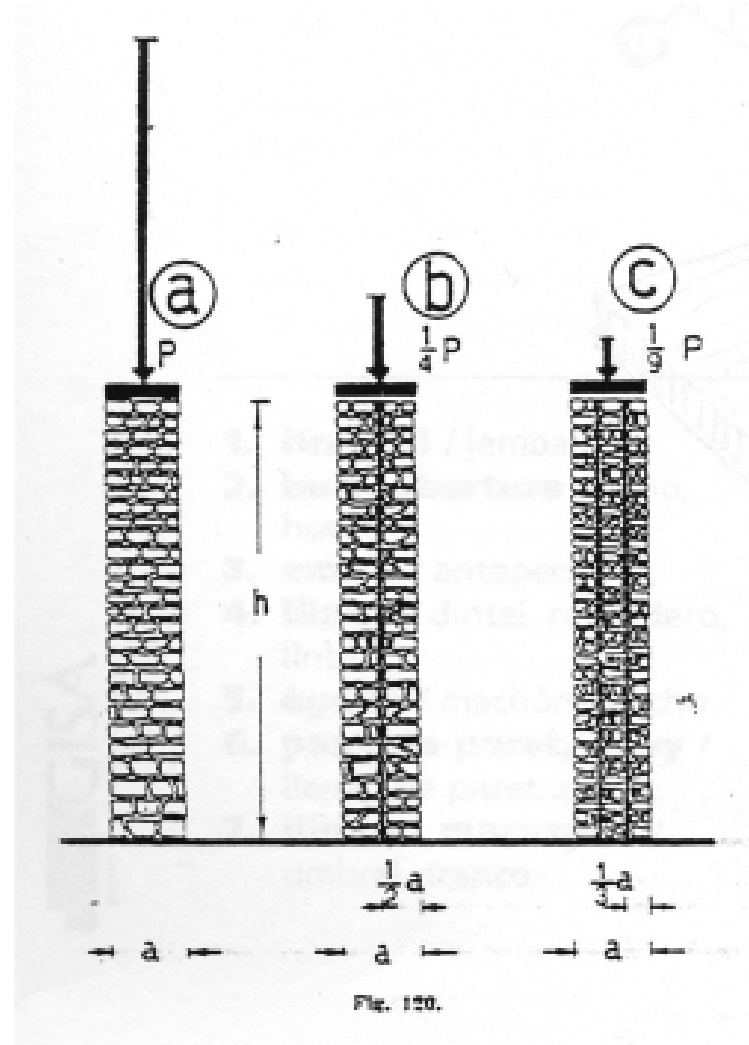
La longueur est déterminée par le plan au sol du bâtiment, la dimension intermédiaire, ou **hauteur**, dépend de la hauteur de l'espace recherchée, et la troisième dimension, l'**épaisseur**, essentielle dans le comportement structurel, est conditionnée par la stabilité comme par le matériau et le procédé constructif employés.



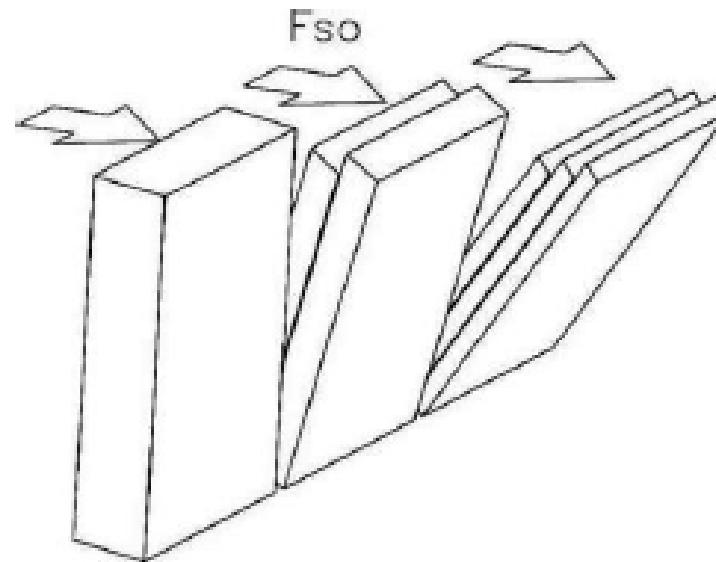
S'il se compose de petits éléments, on aura besoin, en fonction du rapport entre la taille de ces éléments et l'épaisseur totale, **de deux, voire trois couches ou feuilles.**

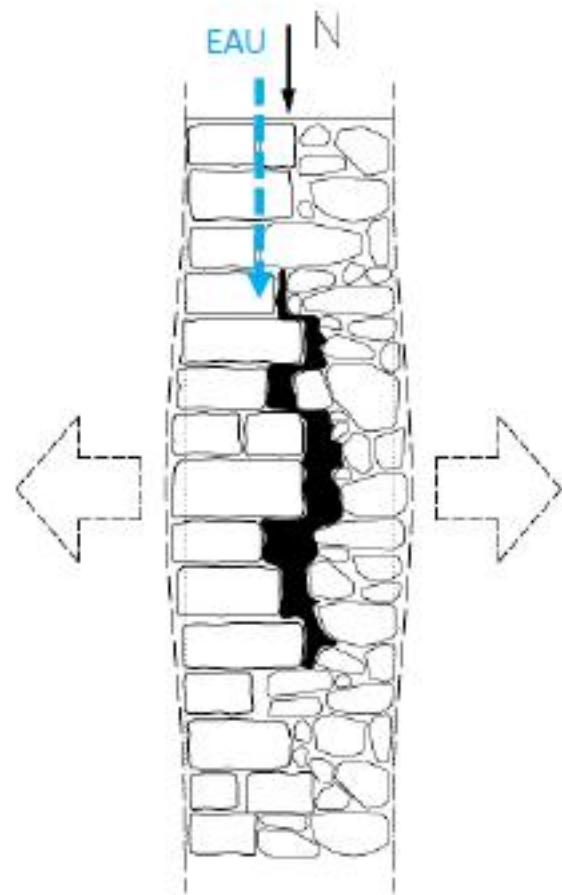
Dans les deux cas, il est indispensable que l'**ensemble** des deux ou trois feuilles soit parfaitement assemblé pour éviter que chacune d'elles agisse indépendamment des autres, ce qui entraînerait un risque élevé de bombement partiel.



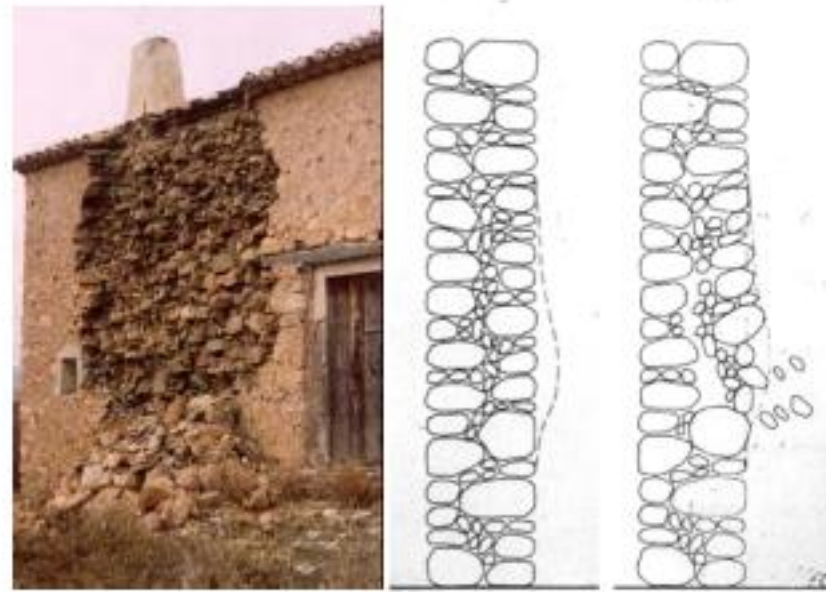


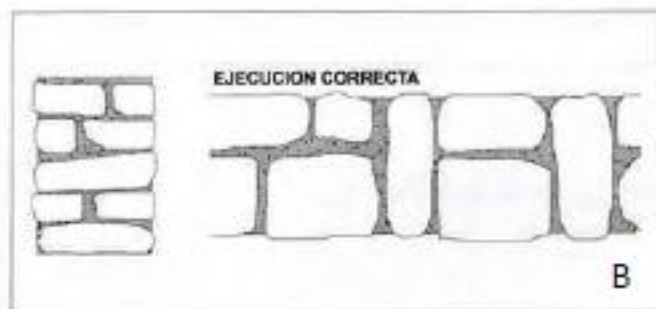
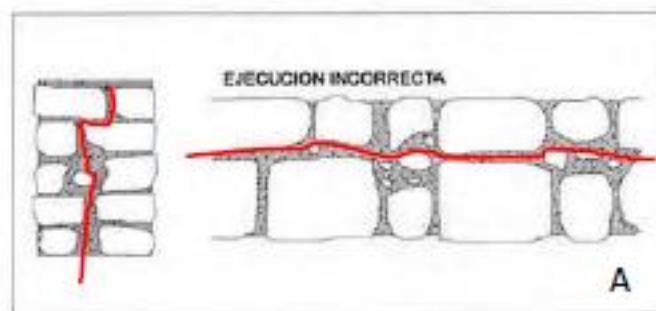
Si les deux feuilles ou parements **ne sont pas parfaitement assemblés**, chacun d'eux peut subir phénomènes de **bombement**, ce qui entraîne qu'il n'y ait plus un mur, mais **deux ou trois murs** beaucoup moins épais. En conséquence, la capacité portante des charges verticales est réduite environ de **1 à 1/9 part**, comme on peut le voir dans la figure, ou la stabilité face aux mouvements horizontales est extraordinairement réduite, comme on peut le voir.





Ces effets peuvent produire cet aspect d'enflure du mur, comme on peut le voir à gauche, ou le détachement et la chute d'une feuille, même s'il n'est pas conséquence d'une charge excessive, mais des filtrations de la couverture, l'effet pourrait être très semblable.

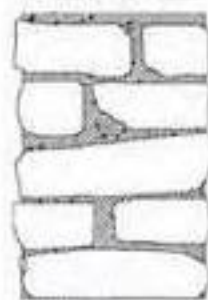




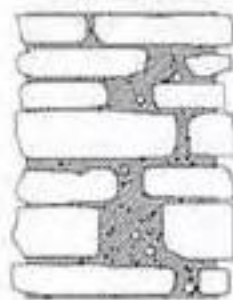
Dans les cas A, on voit une exécution incorrecte, puisqu'il y a un joint vertical continu; et dans le B, l'exécution correcte, qui rompt ce joint.

La clé est de colloquer des parpaings ou, si le mur est tellement large qu'il n'est pas possible de le faire, une solution peut être celle que l'on voit dans la figure, bien qu'elle ne soit pas très fréquente.

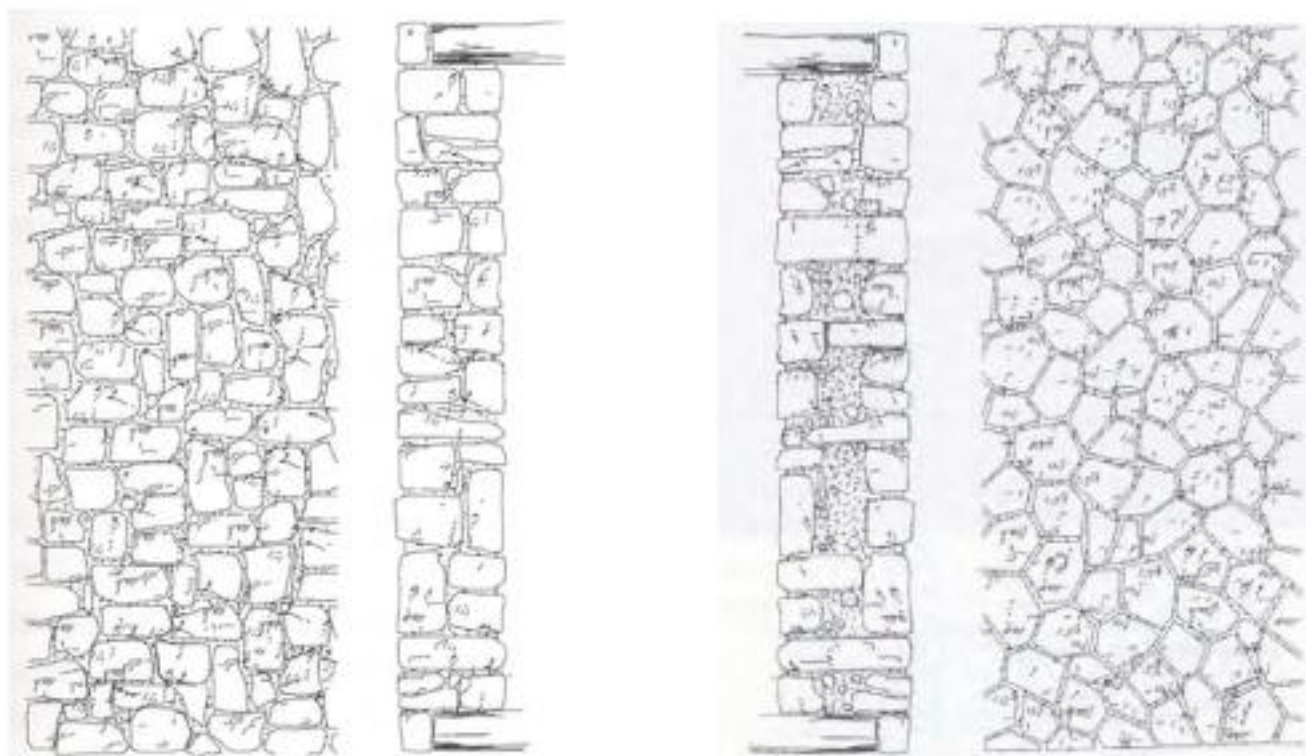
PERPIAÑOS



PASADERAS





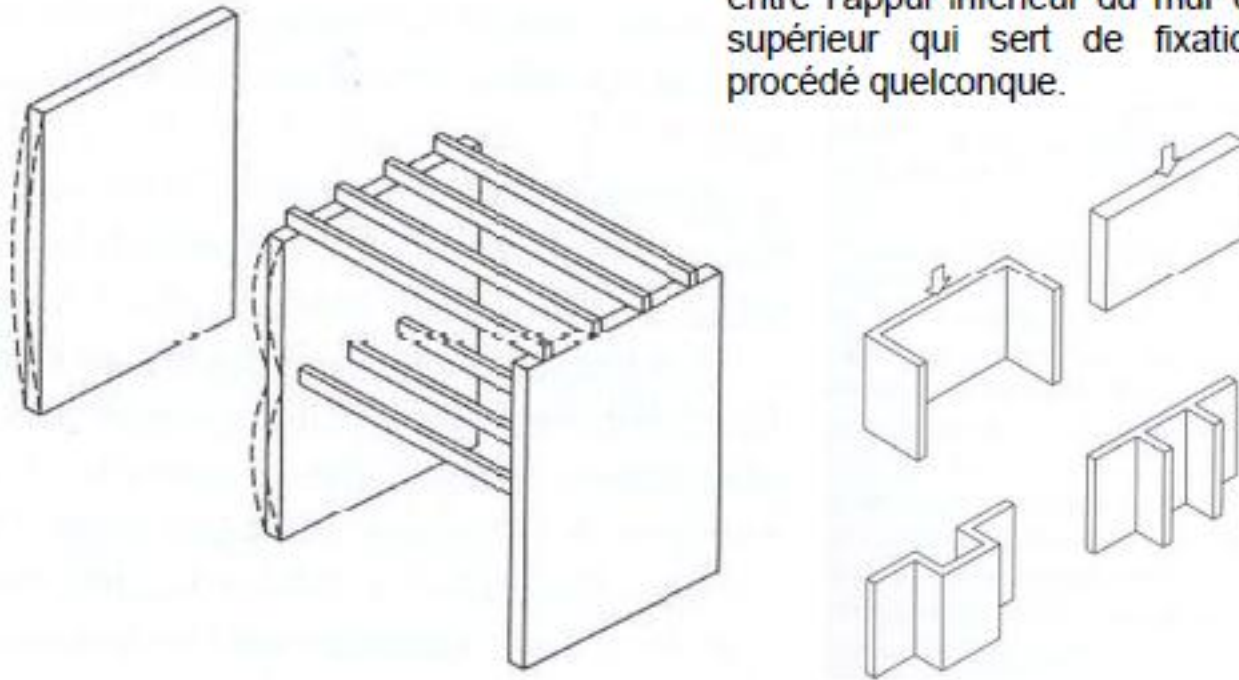


on peut voir des exemples de murs bien construits.



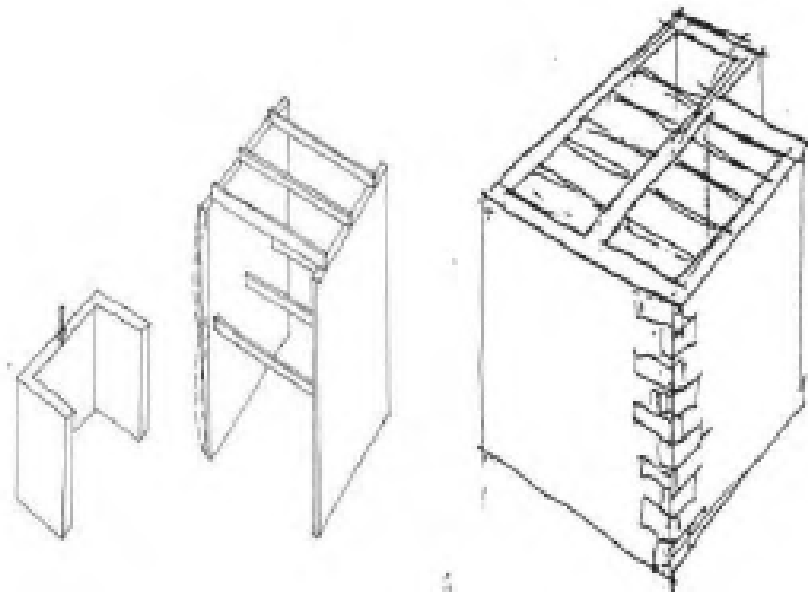
Une fois le matériau fixé, cette épaisseur dépend :

- de la hauteur du bâtiment et des charges des différents niveaux, avec leurs planchers ou leurs voûtes.
- de la sveltesse, ou rapport entre hauteur et épaisseur, de chaque pan de mur, la hauteur étant comprise comme la distance entre l'appui inférieur du mur et l'élément supérieur qui sert de fixation par un procédé quelconque.



## Application au bâtiment dans son ensemble

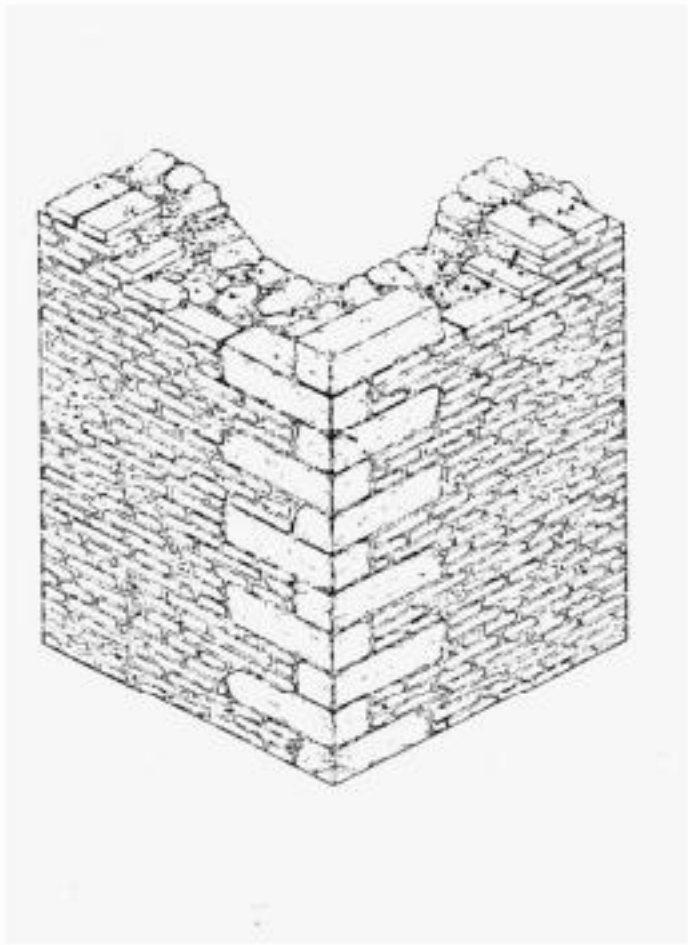
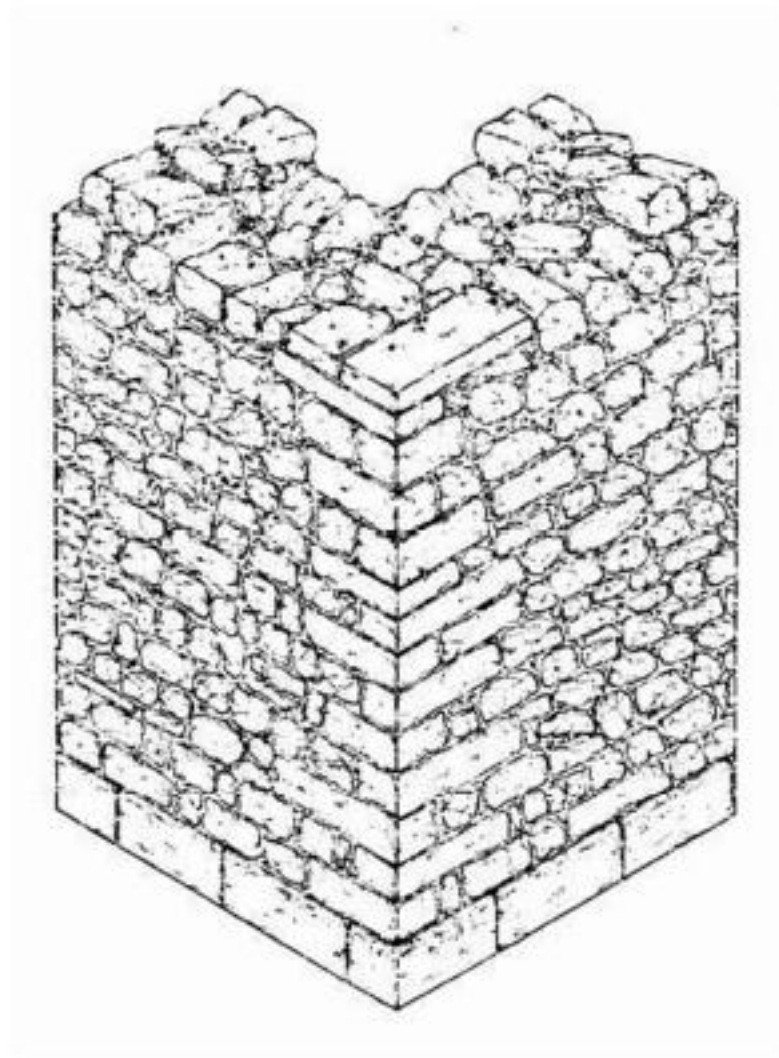
### La relation entre tous les éléments



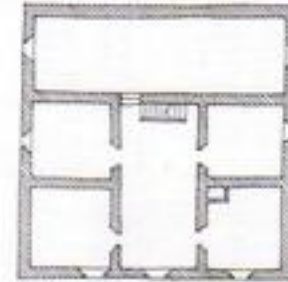
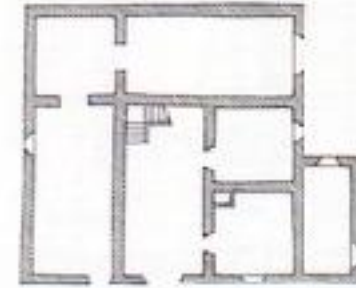
La construction d'un bâtiment implique de la part du constructeur l'intelligence de la relation unissant tous les éléments que nous avons abordés jusqu'ici. Leur explication demande de les analyser un à un, mais le bâtiment est le résultat synergique de l'ensemble, c'est-à-dire, qu'il est plus que la simple disposition de ces éléments les uns à côté des autres. C'est là un point fondamental si l'on veut comprendre son comportement sur le long terme.

Prenons le cas des murs, par exemple : l'union d'un mur à un autre au moyen d'un angle de bonne facture peut lui permettre d'être bien moins épais qu'un mur isolé, et le dotera en outre d'une stabilité très supérieure contre des forces horizontales. D'où l'on déduit que la disposition des murs selon une forme de caisse, formant des angles ou des unions en T, constitue une question-clé dans le comportement des bâtiments à murs.

La stabilité ne peut se comprendre que comme stabilité de l'ensemble des murs réunis.



## La relation entre tous les éléments



## **Pathologies d'origine mécanique sur le système structurel des murs**

- modèles de fracture coplanaire à compression
- modèles de fracture NON coplanaire à compression
- modèles de fracture par tassement différentiel de la fondation
- modèles de fracture par mouvements sismiques

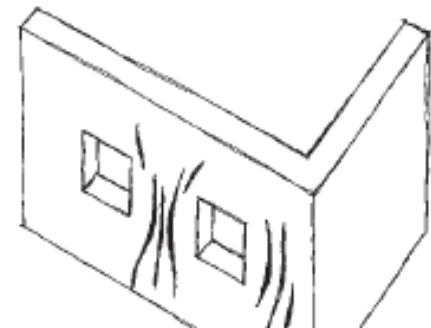
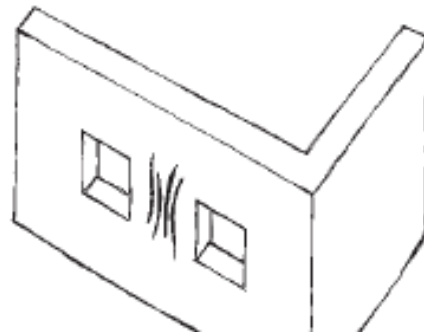
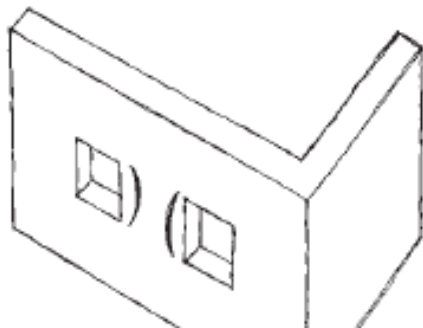
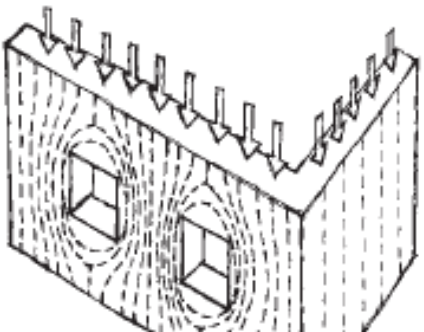
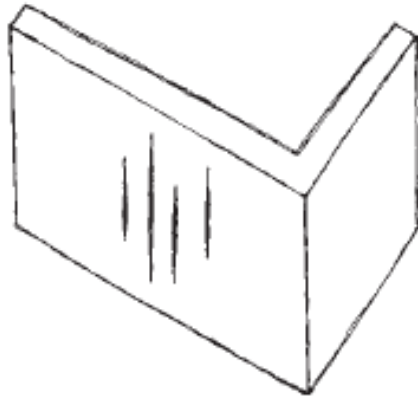
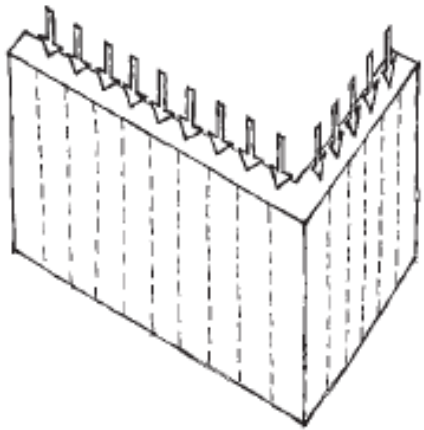
- **1. La pathologie structurelle des bâtiments aux murs épais**
- La structure verticale des bâtiments auxquels nous nous référons se compose généralement de murs construits avec les matériaux présents sur la zone.



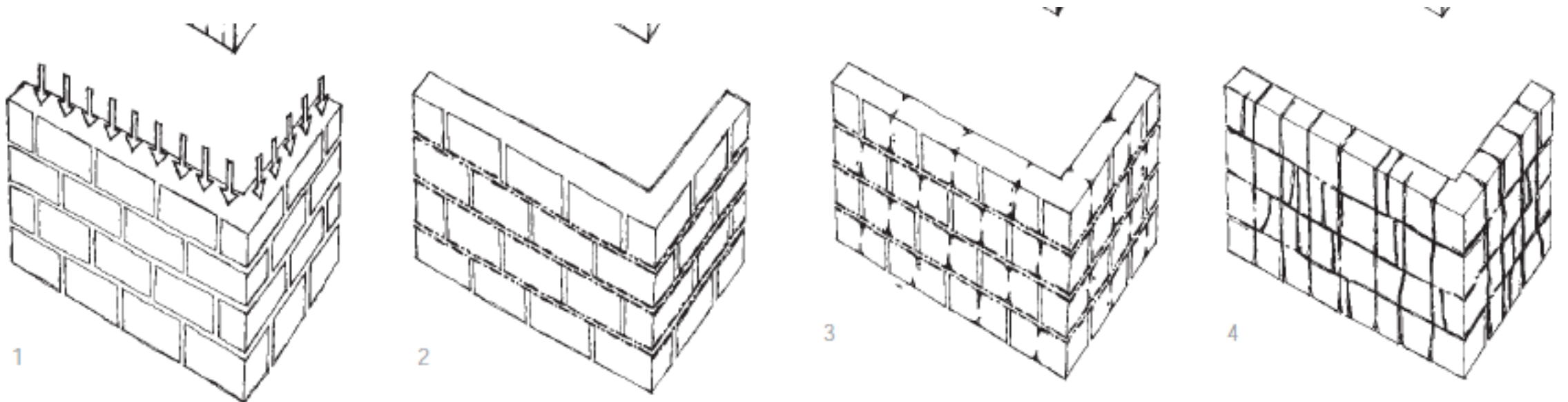
- il convient de distinguer les fractures coplanaires des murs de celles qui se forment dans les parties centrales ou qui résultent des déformations transversales de leurs parements. C'est sur cette base que sont détaillés les différents types de fractures ainsi que leurs principales caractéristiques.

- **1.1/ Pathologie coplanaire des parements du mur**
- Leur principale caractéristique réside dans le fait que les dommages, sous forme de lézardes, de fissures ou de tassements, apparaissent sur les parements superficiels et traversent généralement un élément de part en part. De tels désordres se distinguent donc de celles d'origine non structurelle.

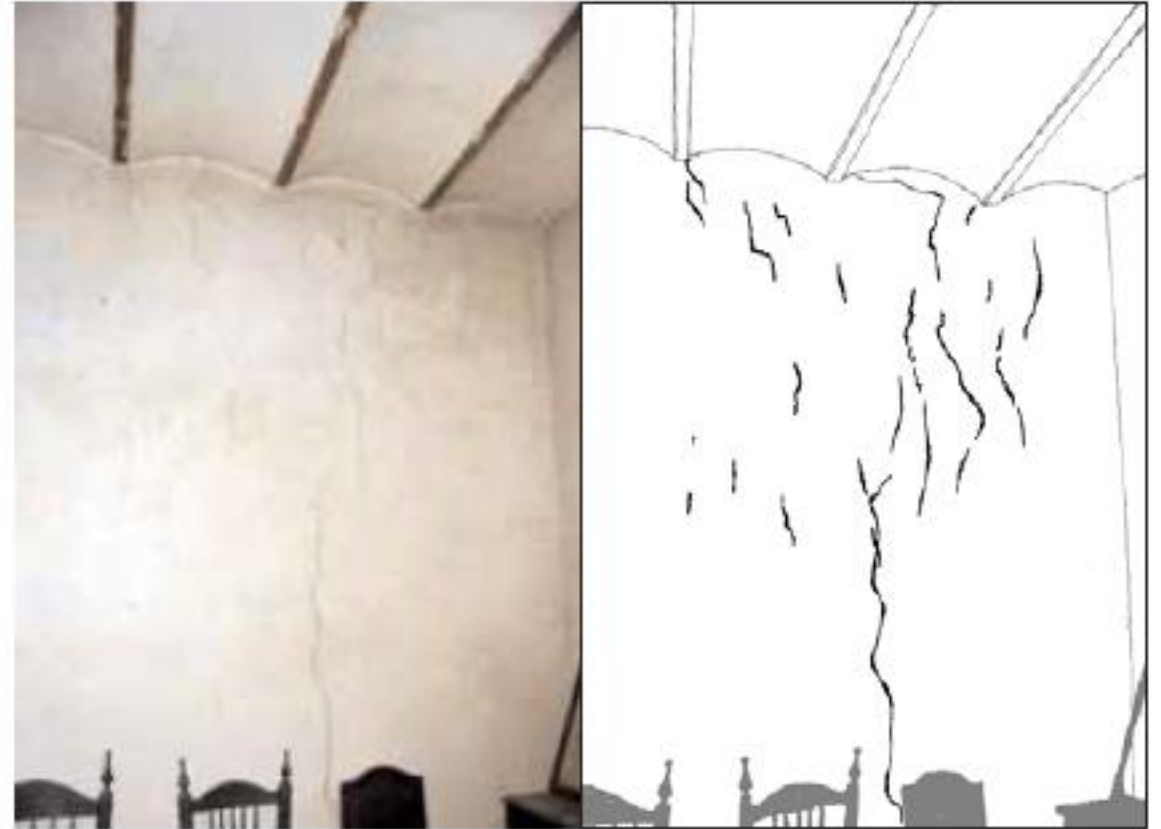
- **1.1.a/ Pathologie due à une trop forte compression sur une large partie du mur**
- Les fractures se forment généralement au niveau des parties supportant la plus forte charge, coïncident avec la partie inférieure du mur et se forment, généralement, au niveau des zones pleines où les poussées de charge entre les ouvertures sont à leur maximum.



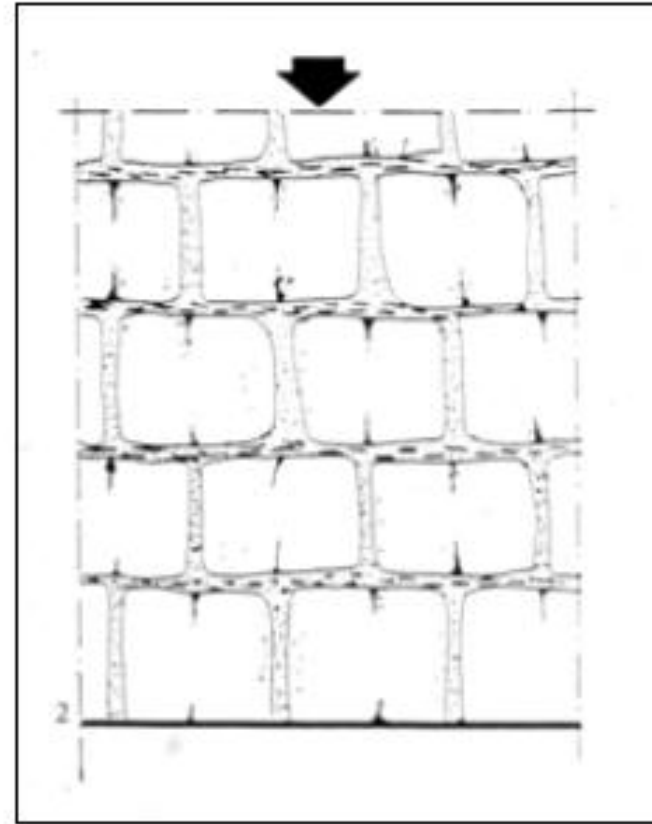
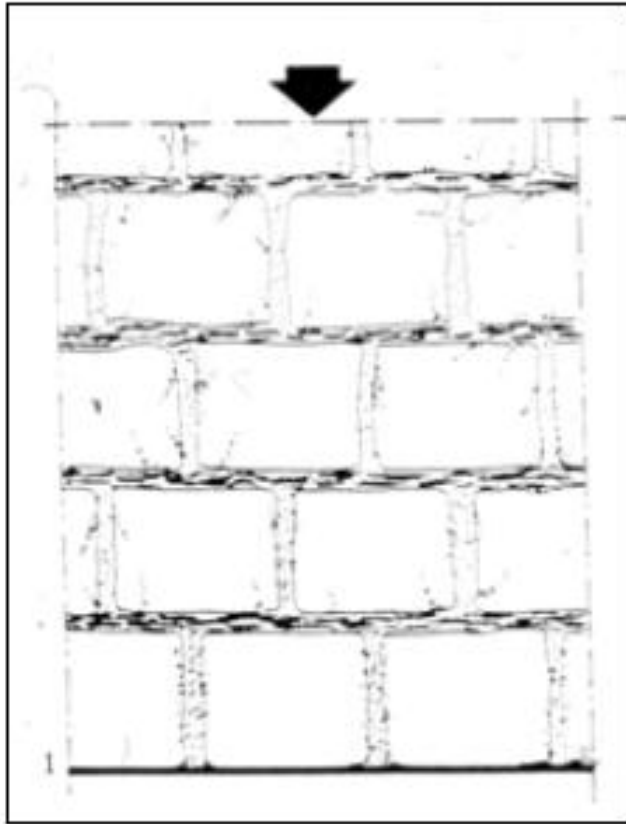
- Dans le cas des maçonneries en pierre taillée blessée, de type orthogonal, les premiers symptômes de la fracture sont l'affaissement ou la détérioration des joints horizontaux lorsque l'élasticité du mortier est beaucoup plus faible que celle des moellons ou des briques, ce qui est souvent le cas des murs anciens. S'ensuit généralement la fracture verticale des moellons du fait des tensions auxquelles sont soumises les portées rasantes horizontales des points de contact mortier-moellon jusqu'à former un faisceau continu de fissures verticales.



- Dans le cas de la maçonnerie en pierre brute hourdée, ce phénomène n'apparaît pas de manière aussi évidente car, même s'il existe, les fissures zigzaguent entre les joints de mortier en suivant leur trace.



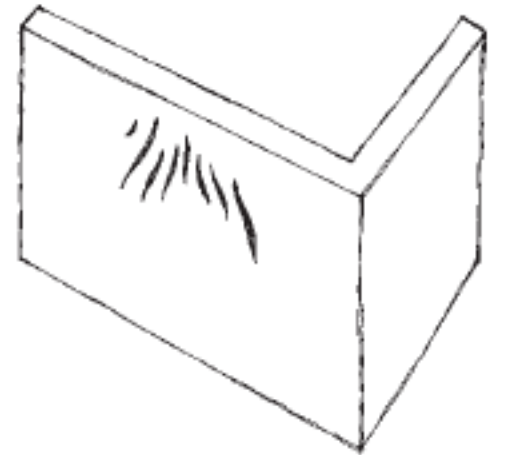
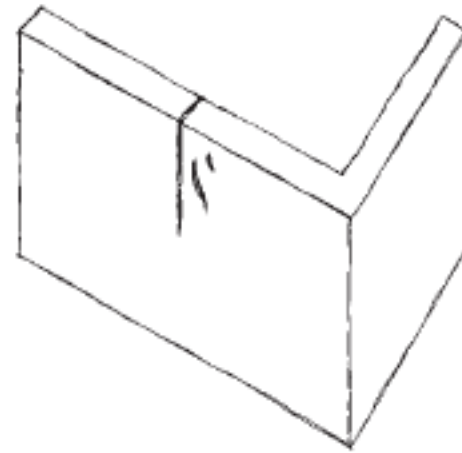
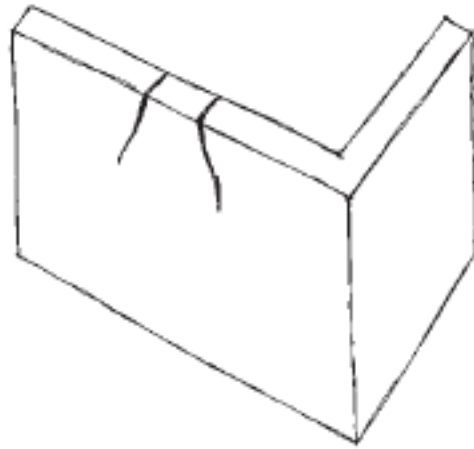
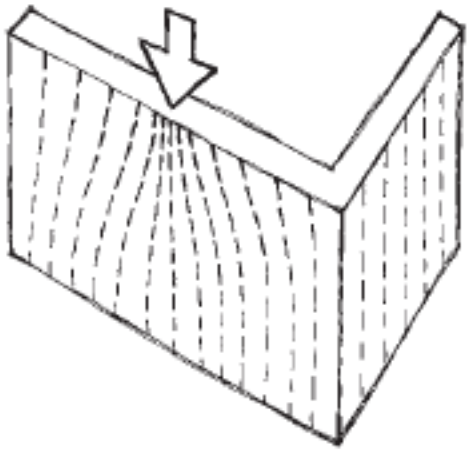
## modèles de fracture coplanaire à compression

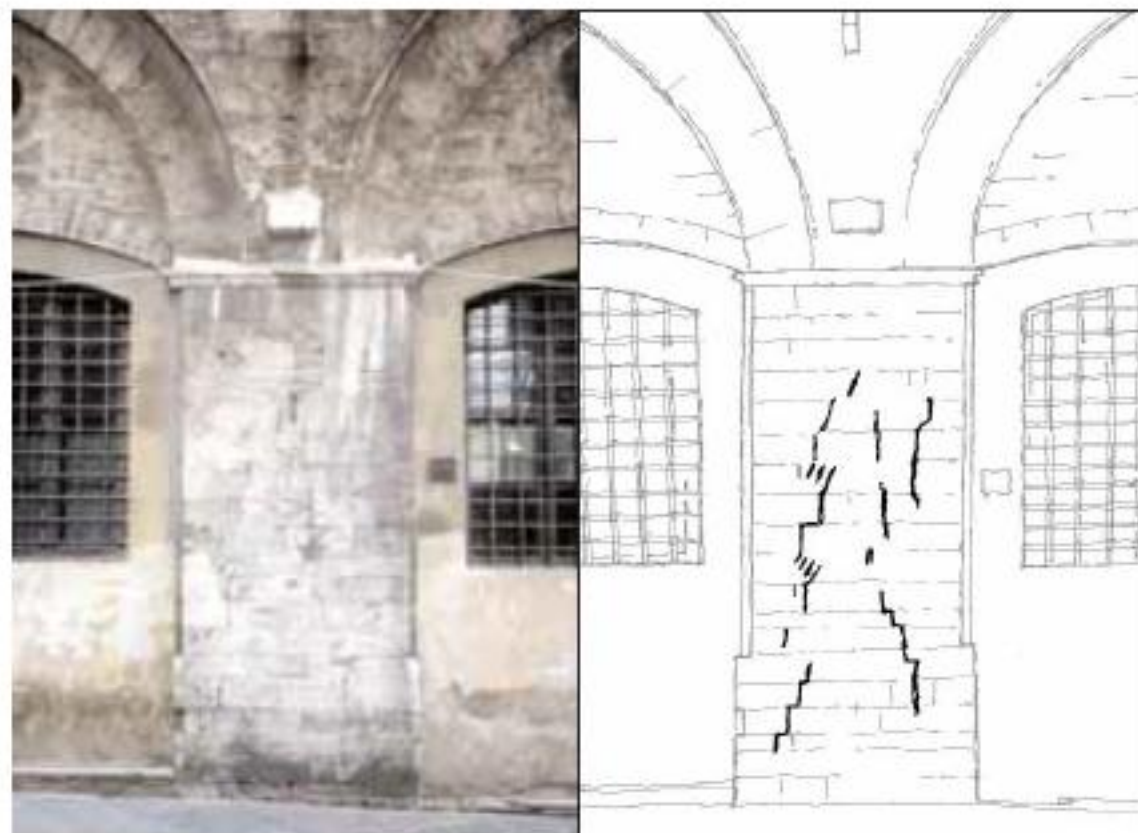
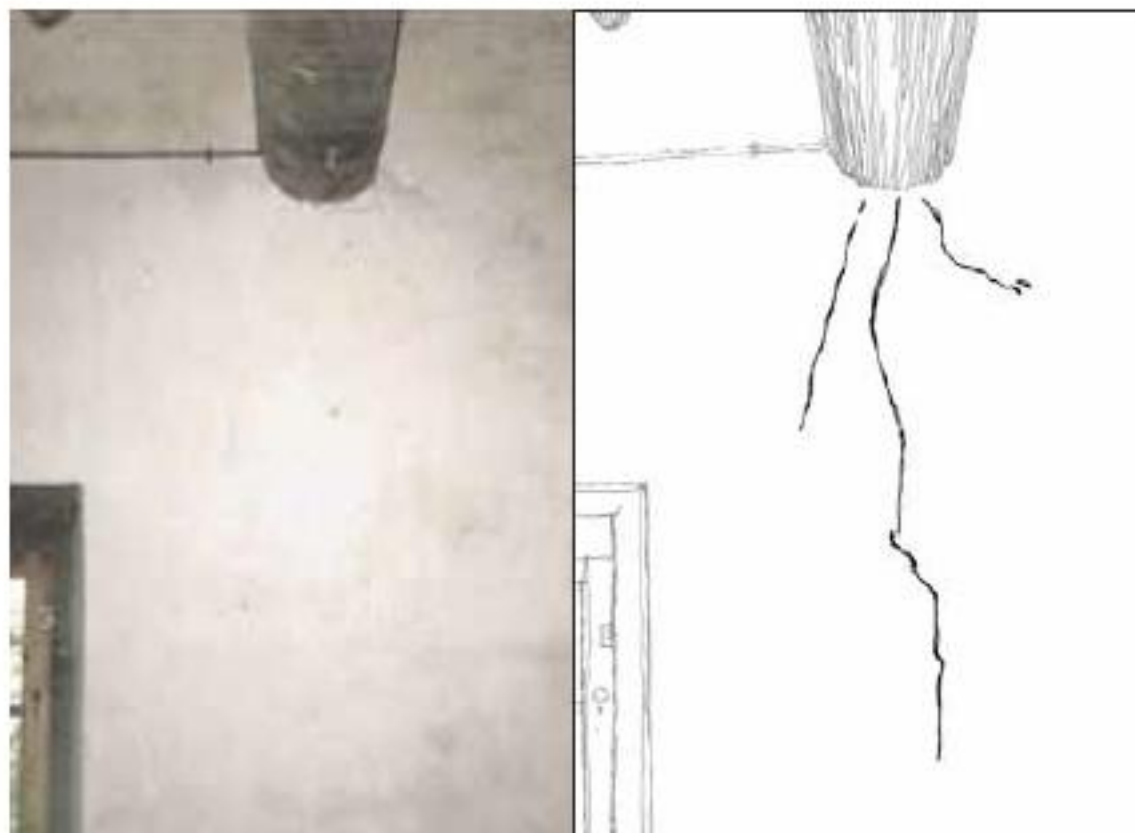




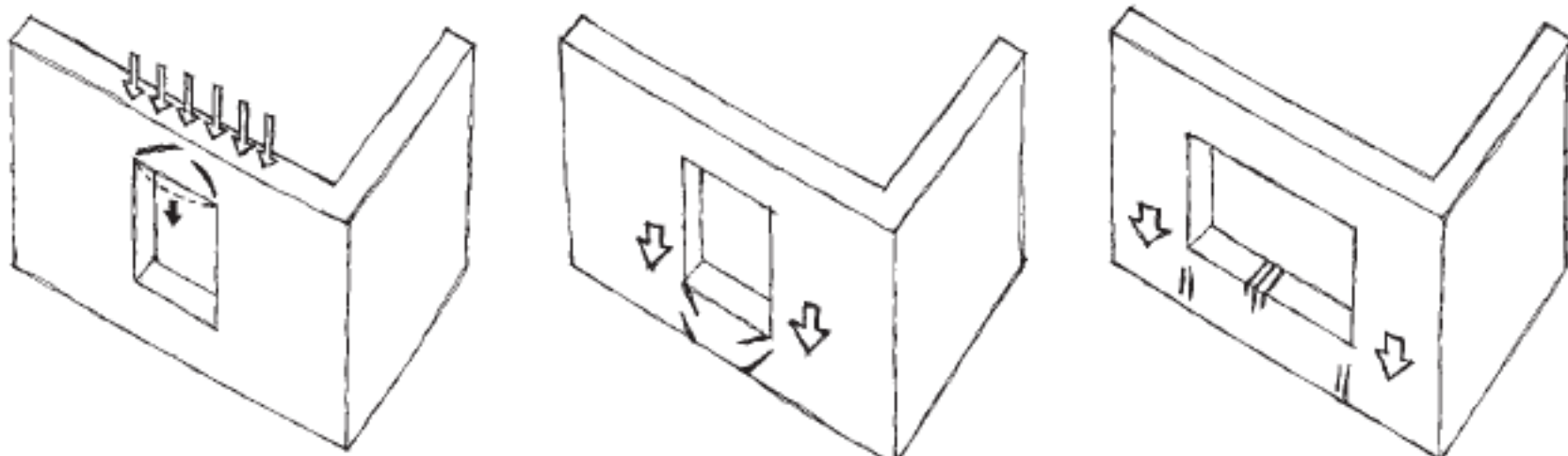
- **1.1.b/ Désordres dues à des charges ponctuelles**

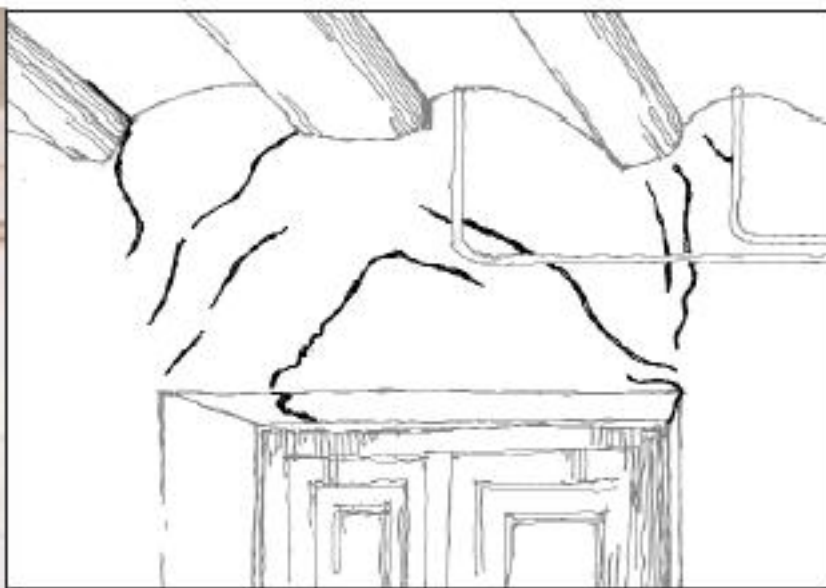
- Les fissures sont inclinées par rapport aux côtés de l'élément à l'origine de la charge –généralement une poutre ou une poutrelle– ou bien elles suivent une ligne verticale sous l'élément en question.



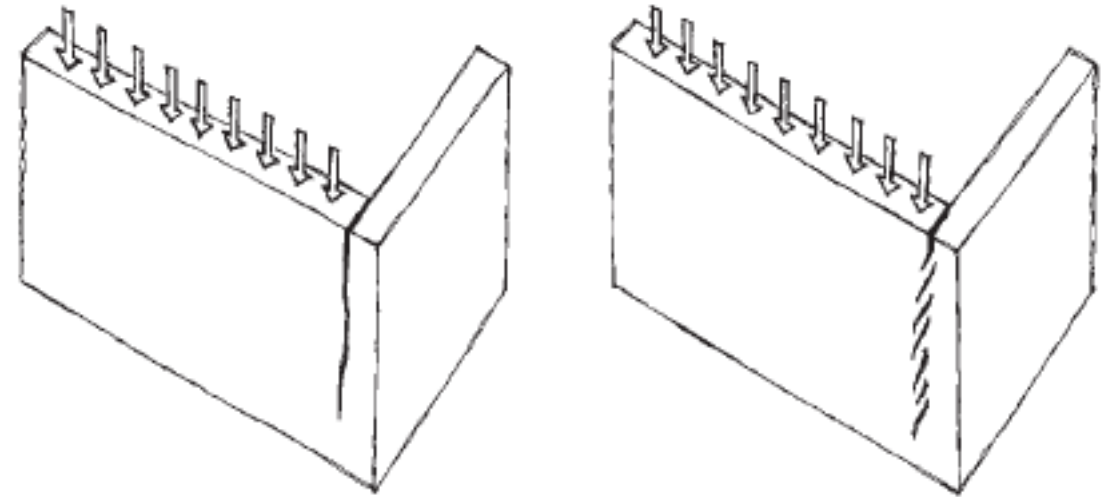
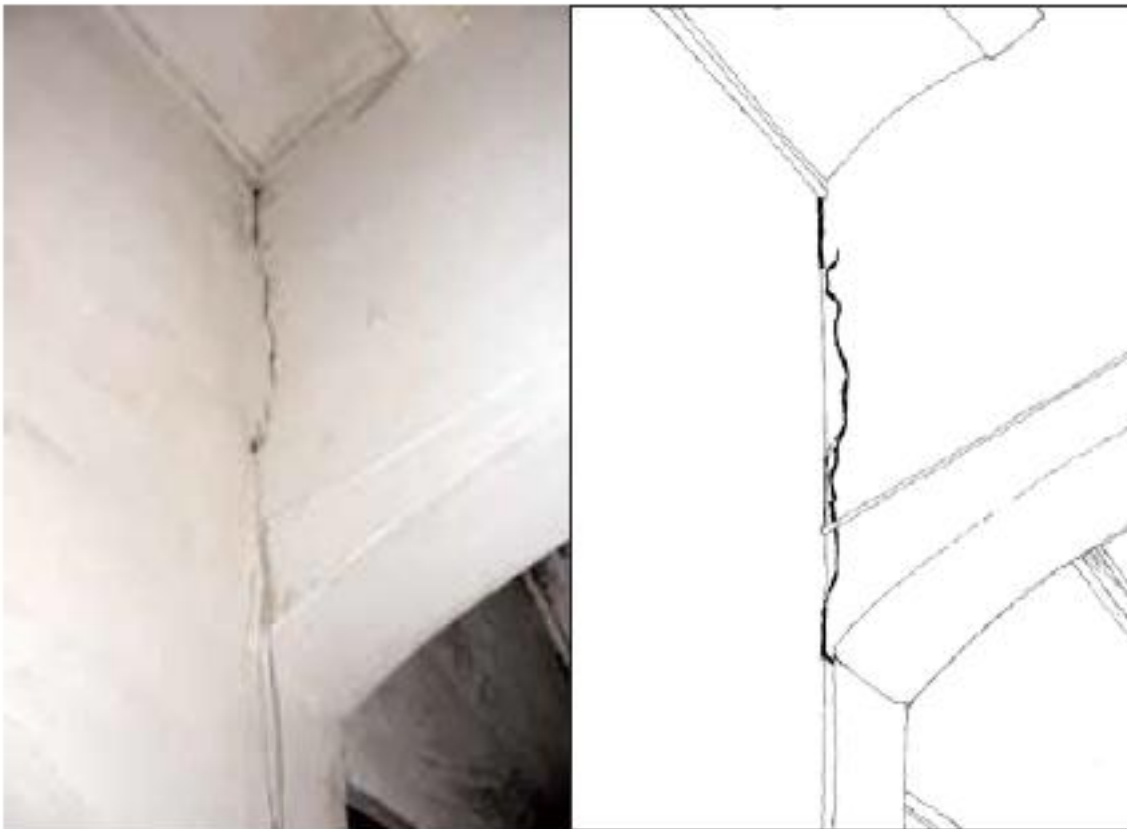


- **1.1.c/ Pathologie due à des manques de rigidité des éléments collaborant**
- Les schémas indiquent les fissures dues, dans un premier cas, à un linteau déformable en bois provoquant la décompression d'une partie du mur et la formation de fissures suivant un arc de décharge, puis l'effet de la charge ponctuelle de la poutrelle ; et, dans un second cas, les fissures de la déformabilité des fondations sous l'effet des poussées de charge du mur de façade entraînant des cas de fracture par cisaillement ou par flexion, en fonction de la taille des baies et de la souplesse des matériaux du mur

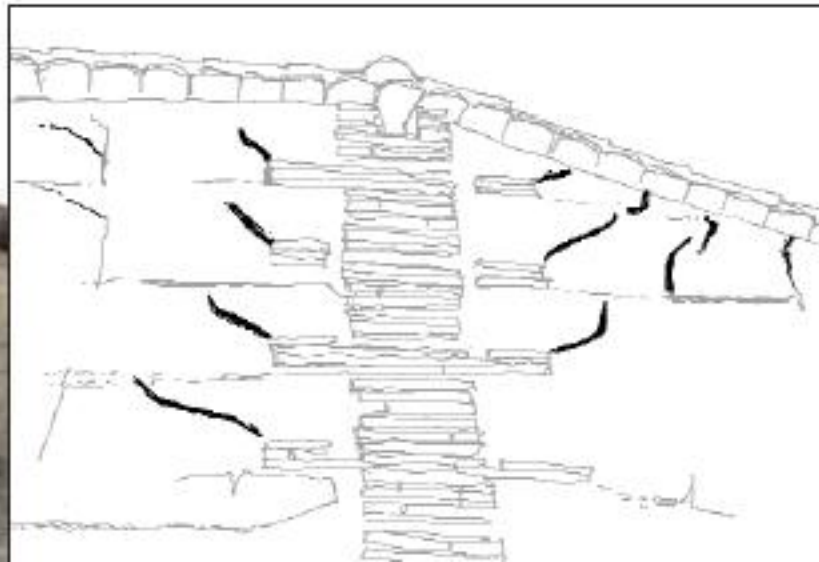




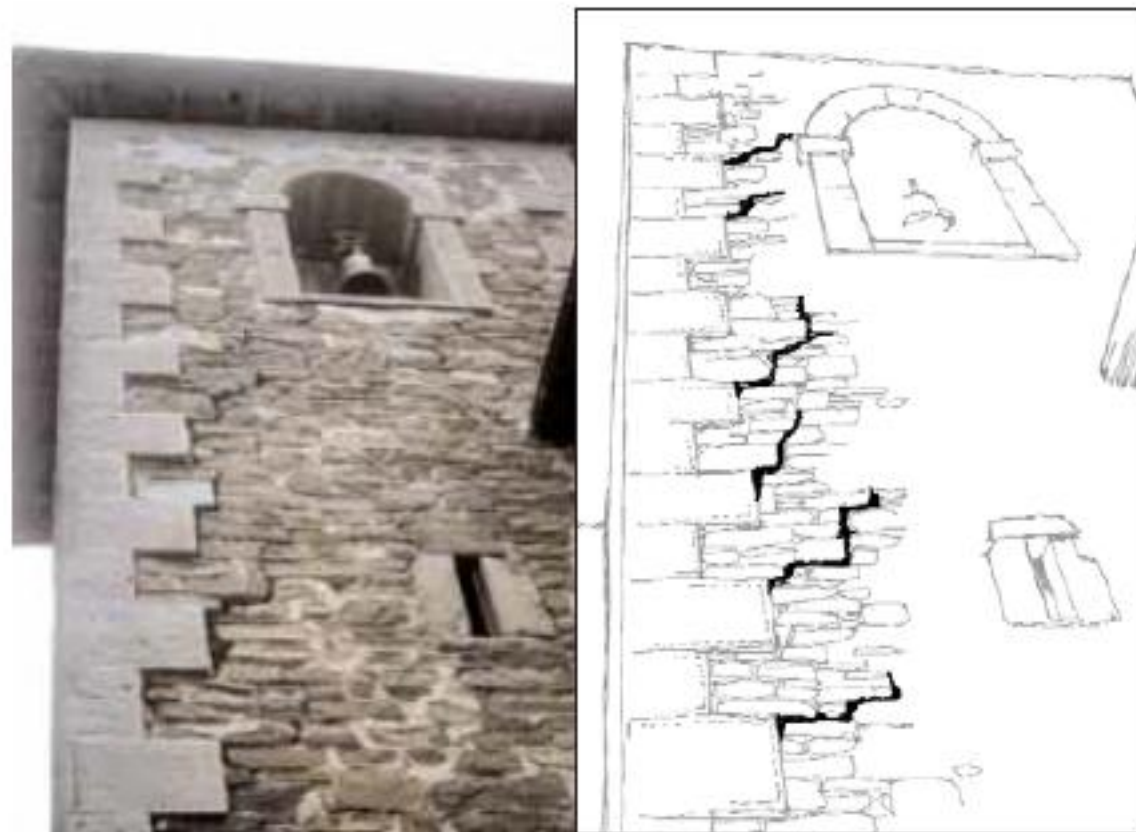
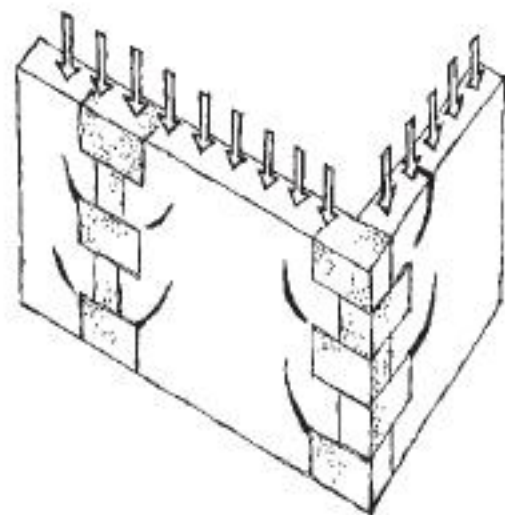
- **1.1.d/ Pathologie due à des différences de charges entre les murs transversaux**
- La formation d'une fracture verticale dans l'angle formé par le mur supportant la charge des planchers et le mur transversal est un phénomène fréquent. La perte de continuité des murs entraîne une baisse de leur rigidité.



- **1.1.e/ Pathologie due à des différences de rigidité entre les matériaux composant les murs mixtes**
- Dans le cas des murs à double parement ou associant des matériaux coplanaires de différentes rigidités, l'un d'eux –le plus rigide– formant des piliers apparents et l'autre formant le mur proprement dit, il est possible d'observer la formation de lézardes dues aux efforts de cisaillement qui se produisent au niveau des parties où toute déformation du matériau ou de l'ouvrage de plus faible rigidité est empêchée par celui de plus grande rigidité (les piliers). Ces fractures ont peu d'incidence sur l'équilibre des murs épais, elles sont cependant fréquentes dans le cas des murs associant les briques et le pisé ou dans le cas des maçonneries de pierre brute hourdée.

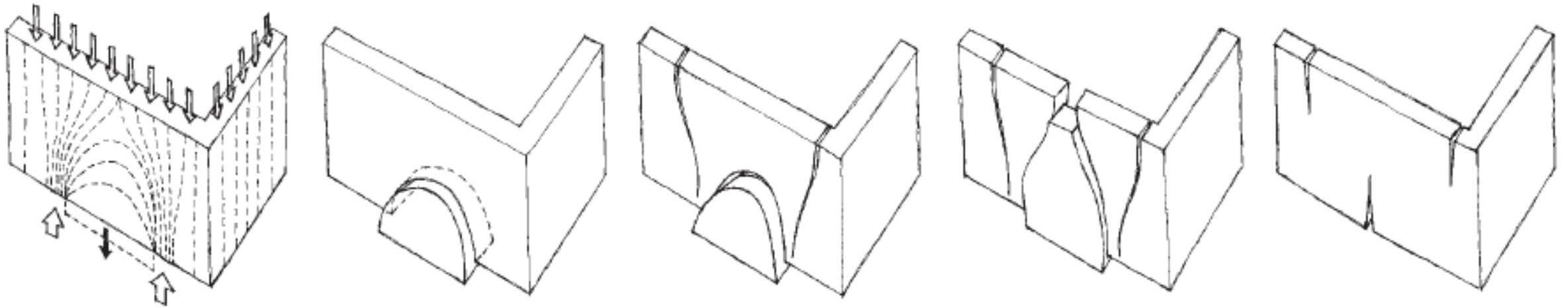


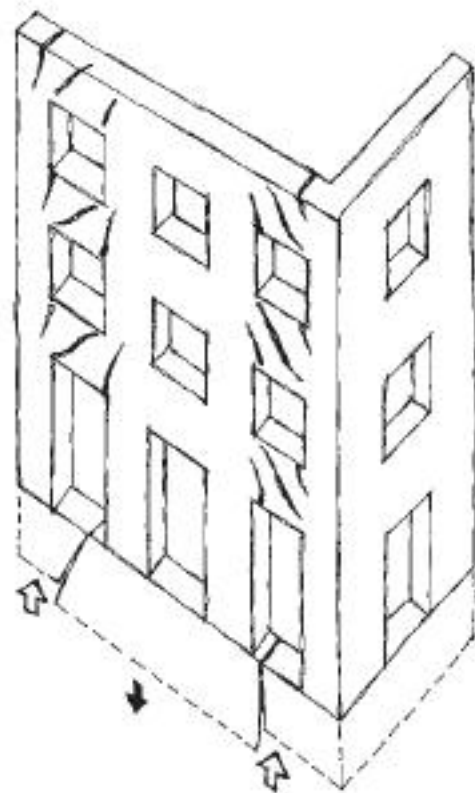


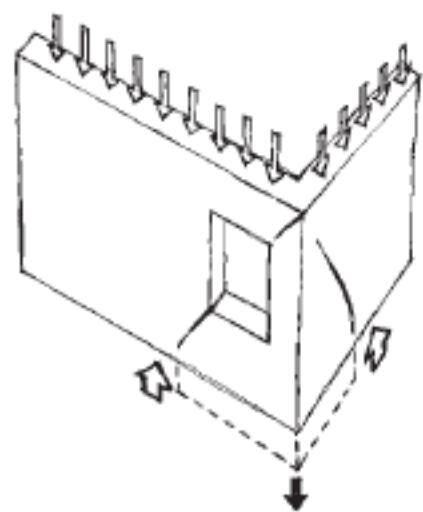
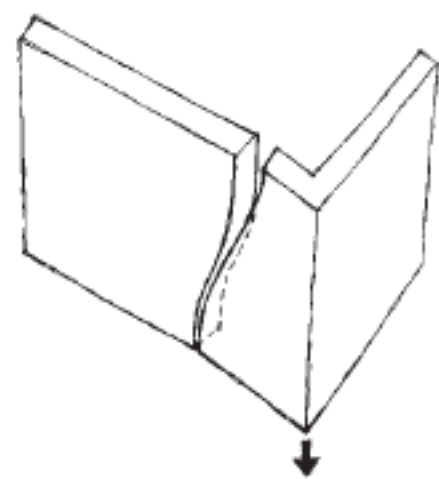
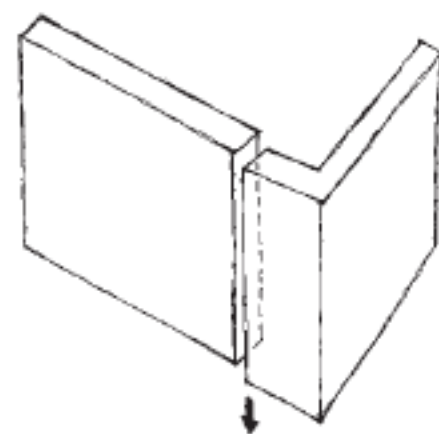
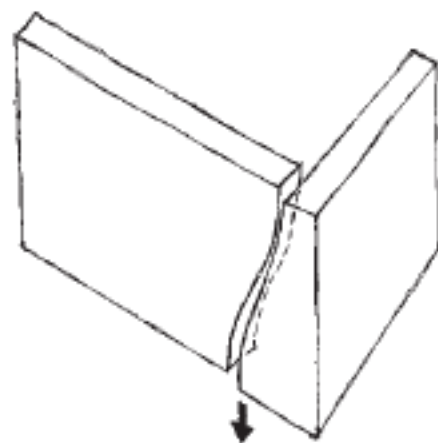
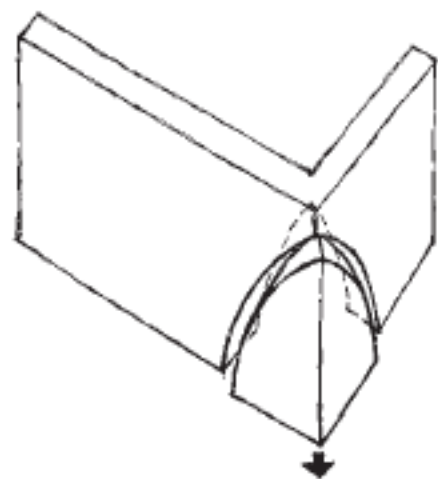
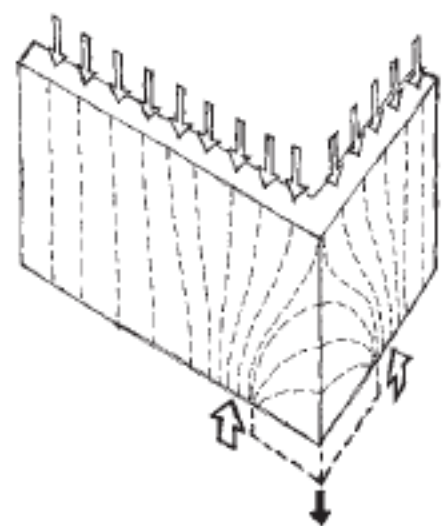


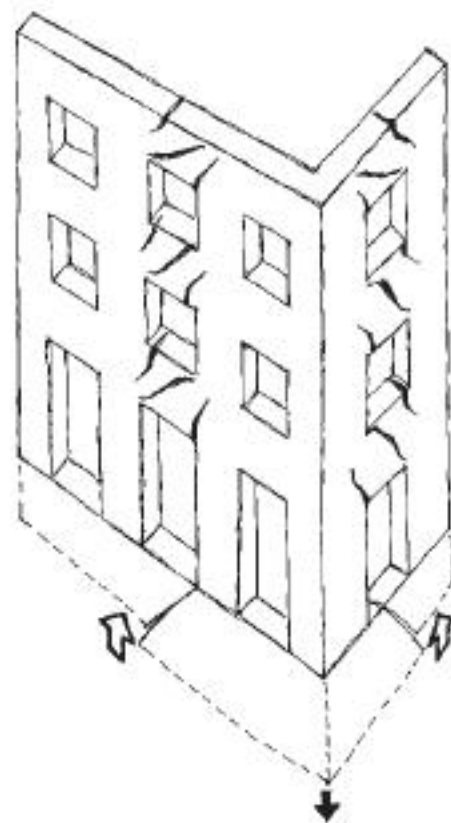
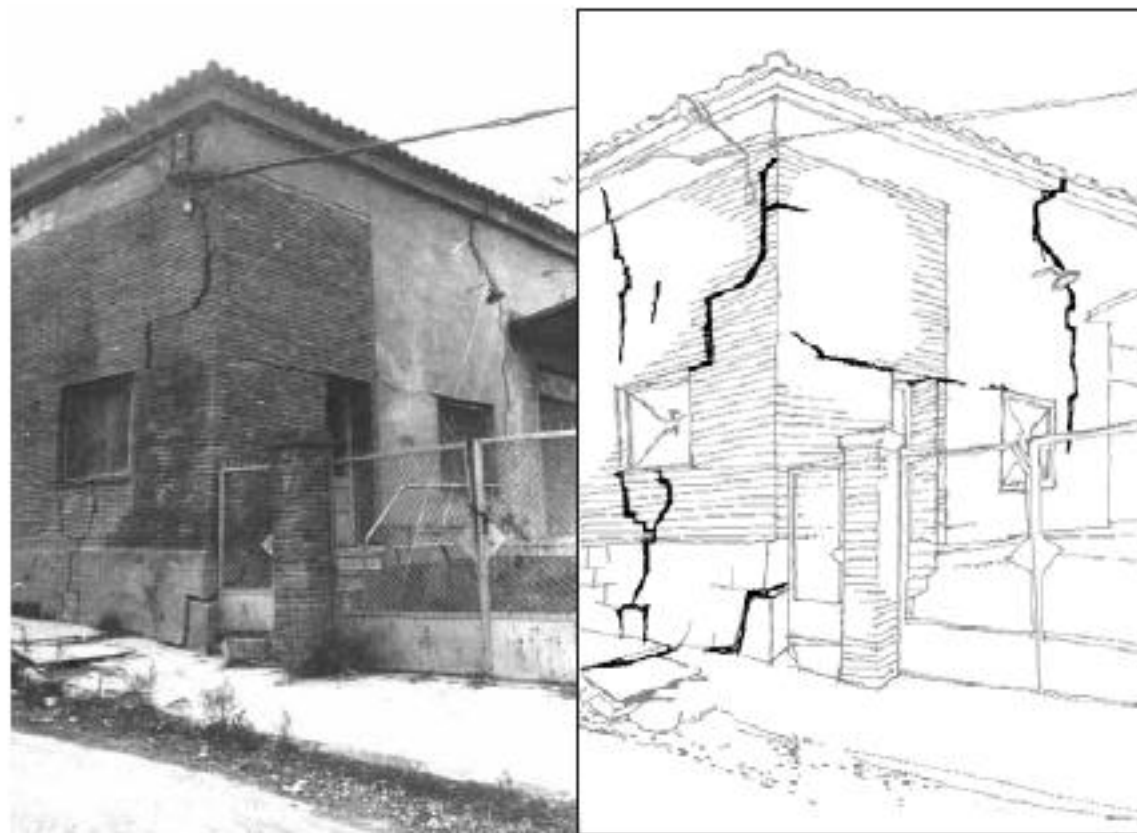
- **1.1.f/ Pathologie due aux mouvements différentiels des fondations**
- Les mouvements de terrain constituent une des causes les plus fréquentes des fissures et des lézardes des murs traditionnels. De tels mouvements peuvent avoir de multiples causes, certaines sont intrinsèques au terrain (humidification des sols cohésifs, versants instables, etc.), d'autres sont en lien direct avec les caractéristiques des fondations existantes dans la construction du bâtiment en question ou avec l'action des constructions proches.

La reconnaissance visuelle des mouvements est possible à l'aide des tableaux des fissures en fonction des différents types de mouvement (descente ou glissement), de la zone du bâtiment concernée (angle ou partie centrale) ainsi que des caractéristiques particulières du bâtiment (mur avec ou sans fenêtres) :

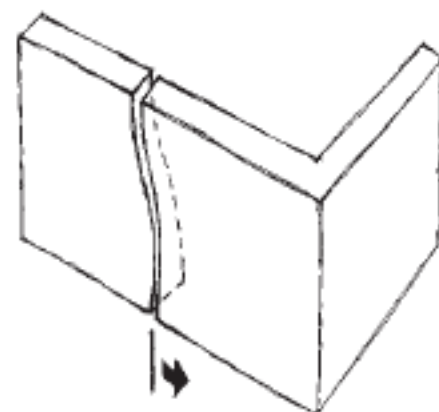
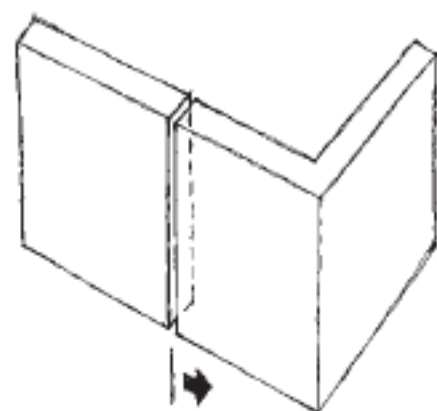
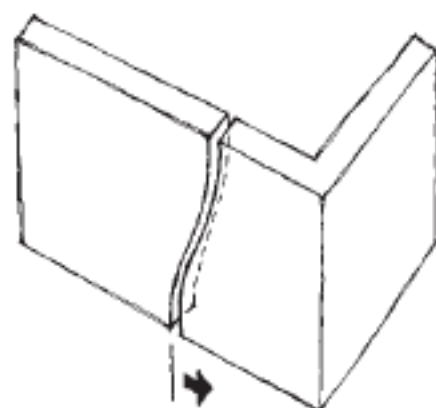
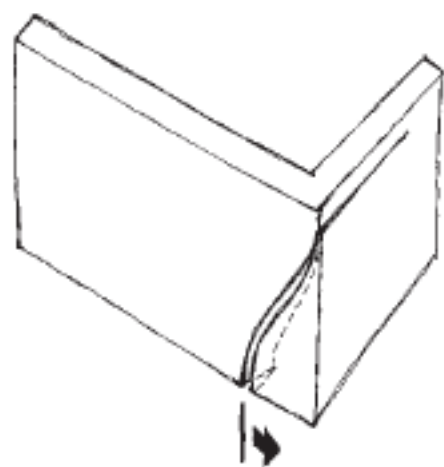
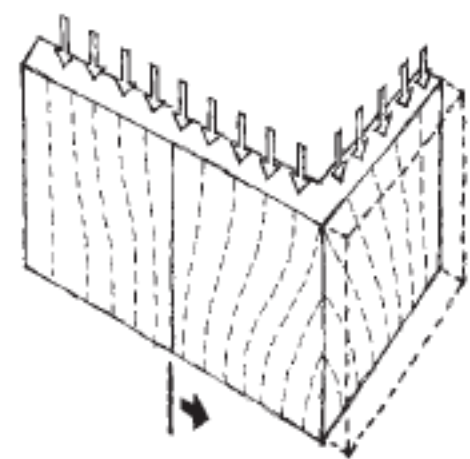






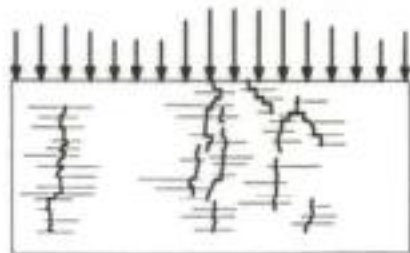
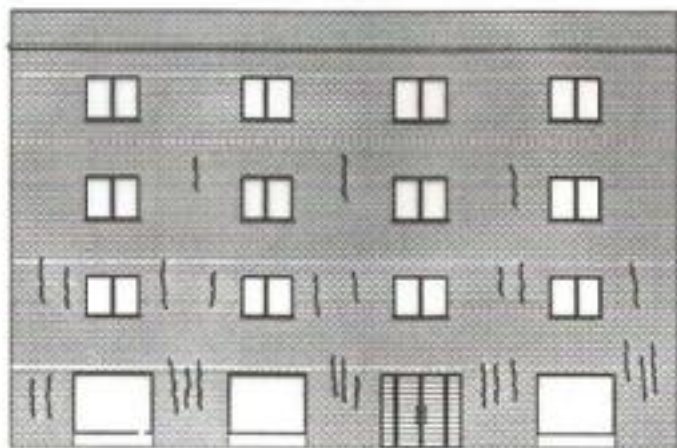




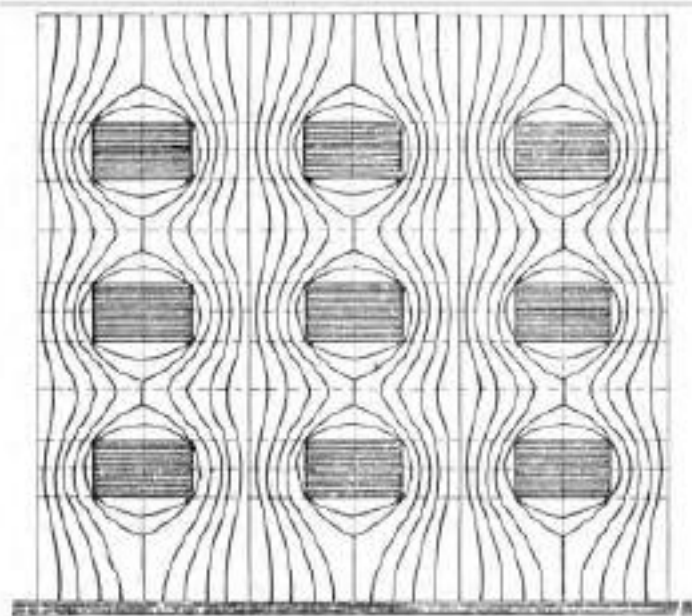




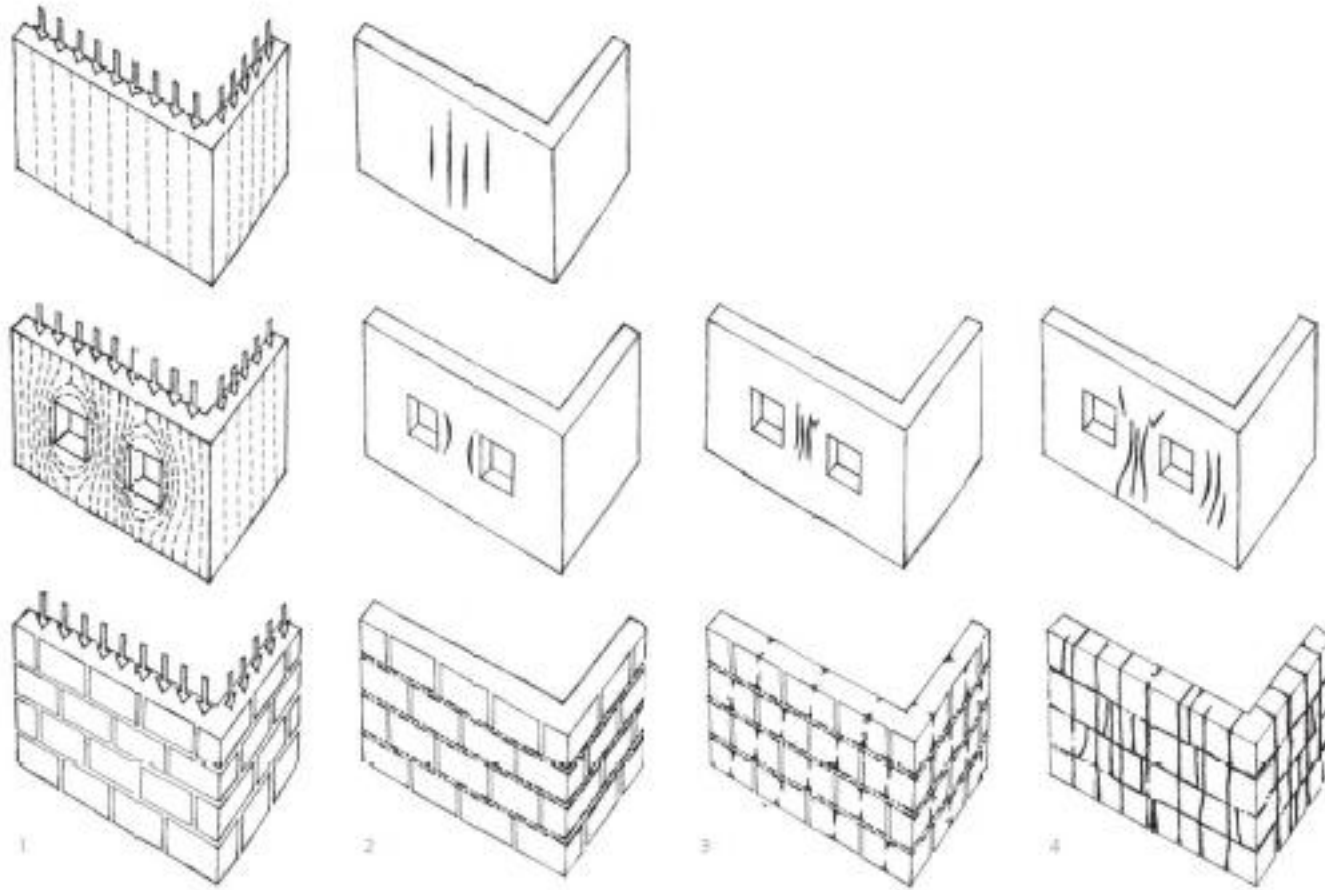
## modèles de fracture coplanaire à compression



**modèles de fracture coplanaire à compression**

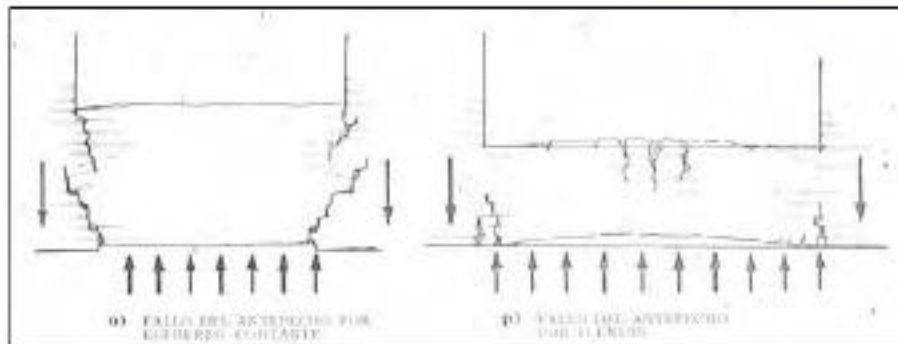
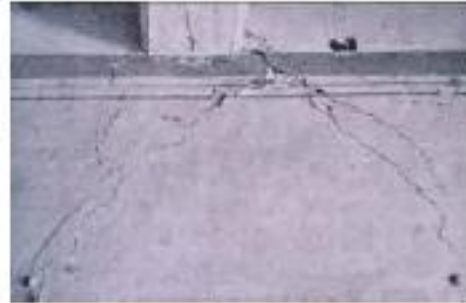
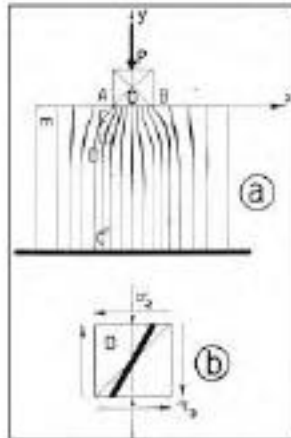


modèles de fracture coplanaire à compression

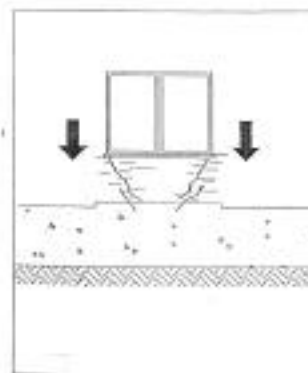
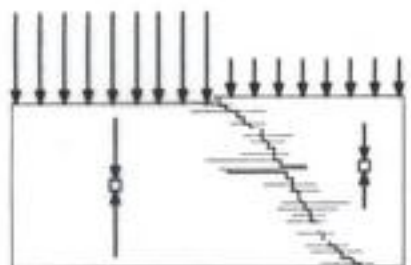
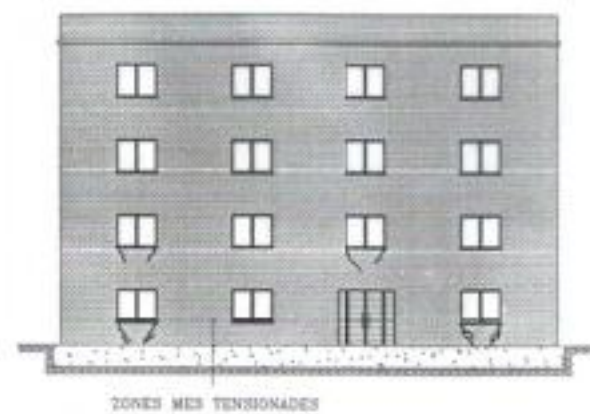
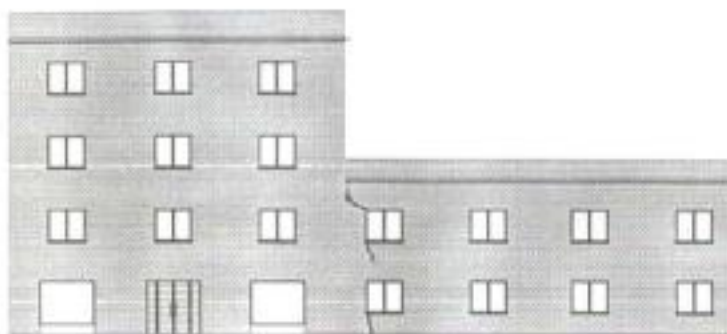




## modèles de fracture coplanaire à compression

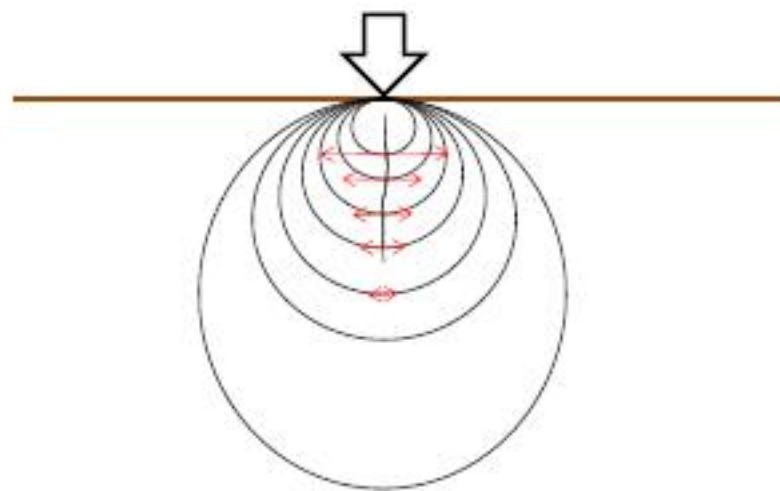
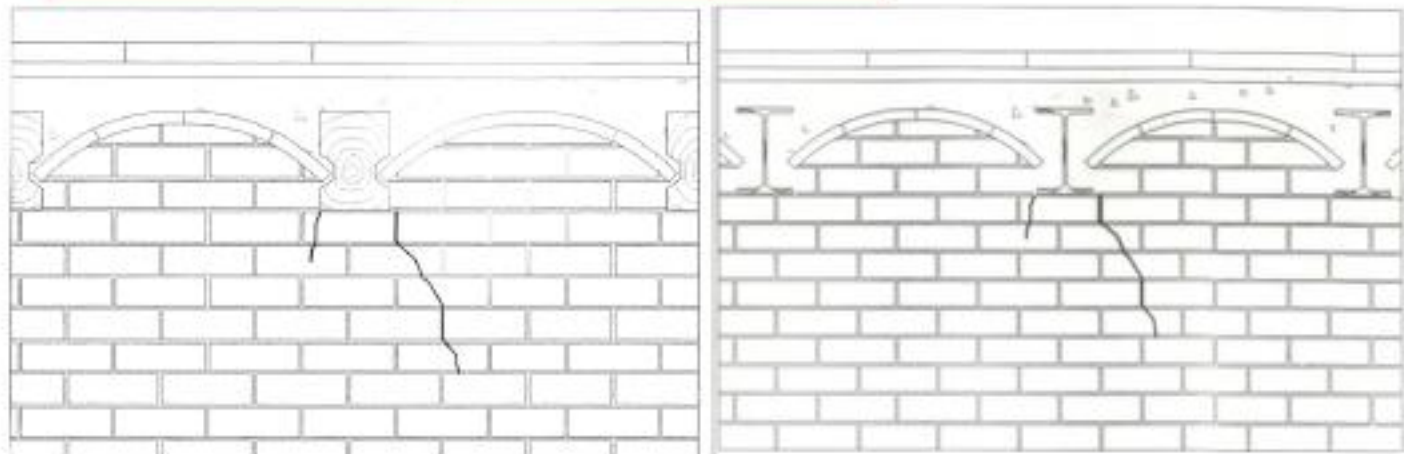


## modèles de fracture coplanaire à compression

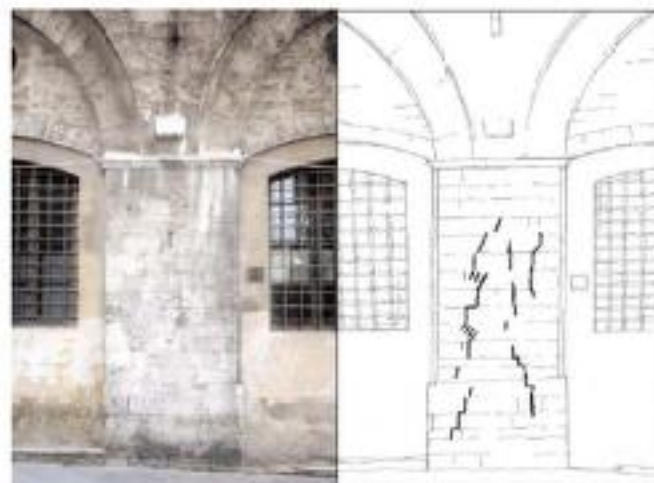
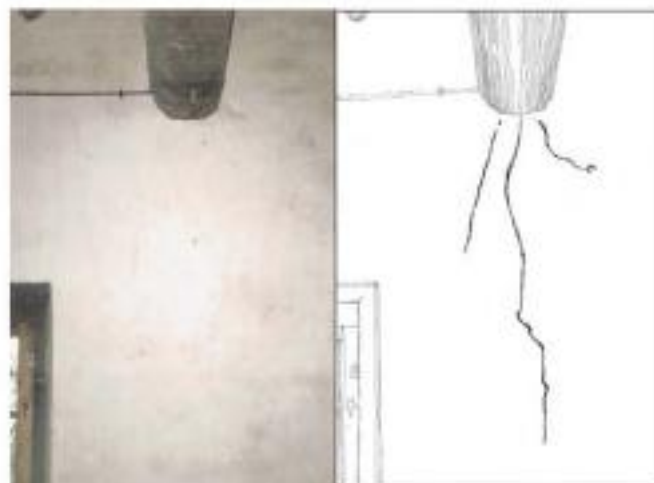
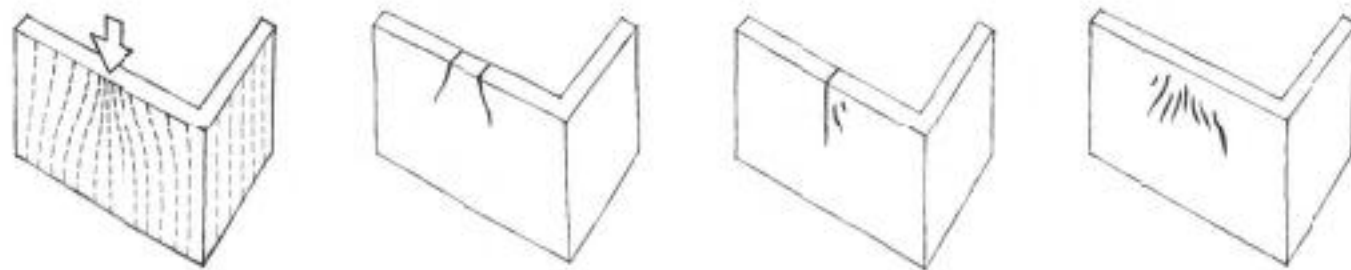




modèles de fracture coplanaire à compression



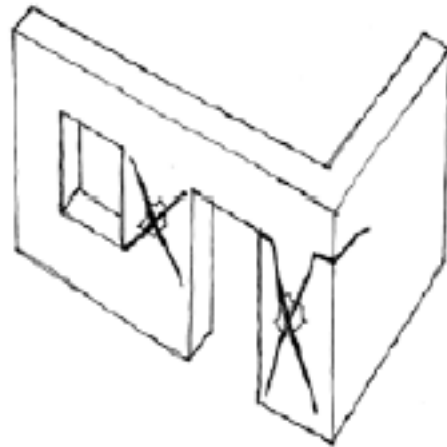
**modèles de fracture coplanaire à compression**





- **1.1.g/ Pathologie due aux mouvements sismiques**
- La construction de l'architecture traditionnelle à base de murs de terre, de pierre ou de brique –les deux premiers matériaux étant les plus fréquents– offre peu de résistance aux mouvements sismiques, compte tenu de sa faible résistance aux tensions de traction, de coupe, et de sa faible flexibilité à apporter une réponse aux sollicitations multidirectionnelles introduites par ces mouvements.

- Le symptôme visuel qui permet le mieux d'identifier cette pathologie est la présence de fissures en croix au niveau des pans situés entre les ouvertures, qui témoignent de la fracture due à un effort par cisaillement sur ces pans de mur du fait de la secousse bidirectionnelle (droite-gauche, horizontale-v verticale) pratiquement simultanée, caractéristique du mouvement sismique.





## modèles de fracture par mouvements sismiques

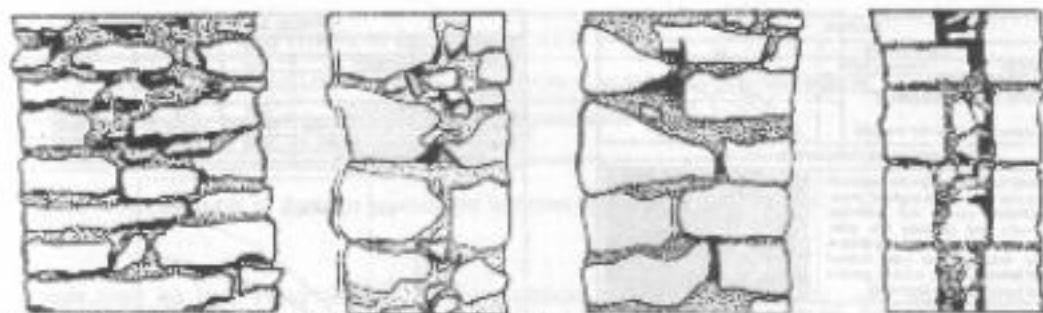


Figure 2. Some examples of stone masonry wall sections.

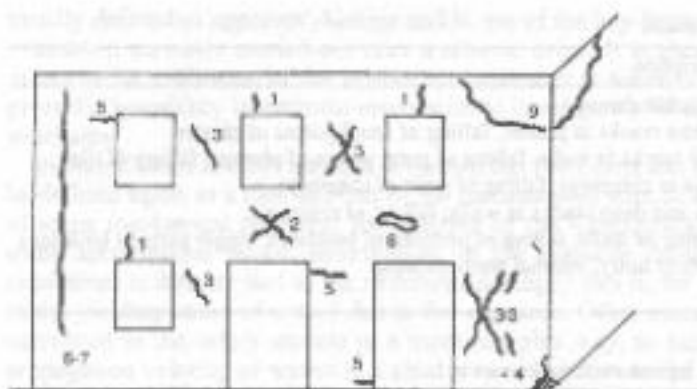
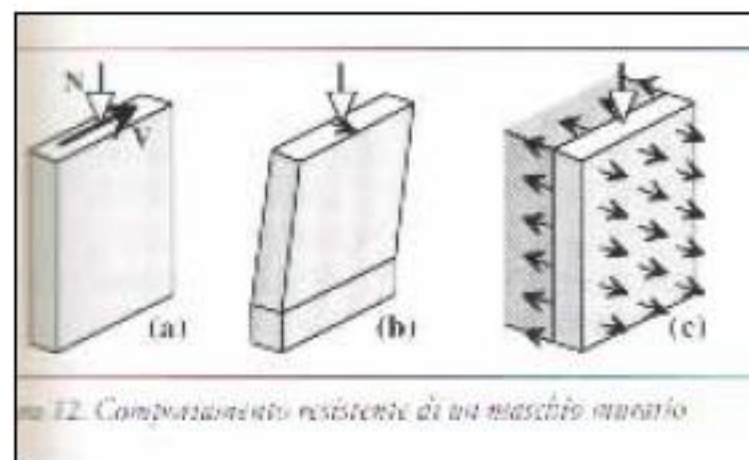
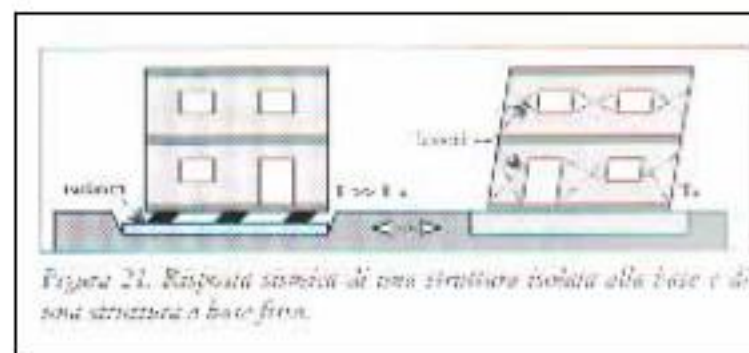
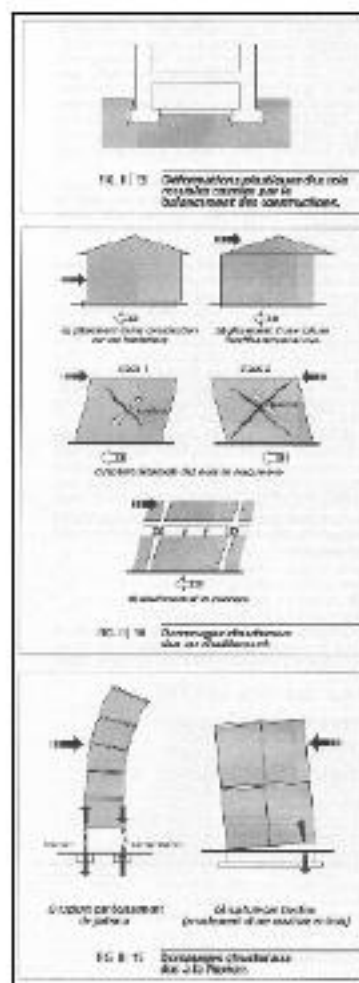
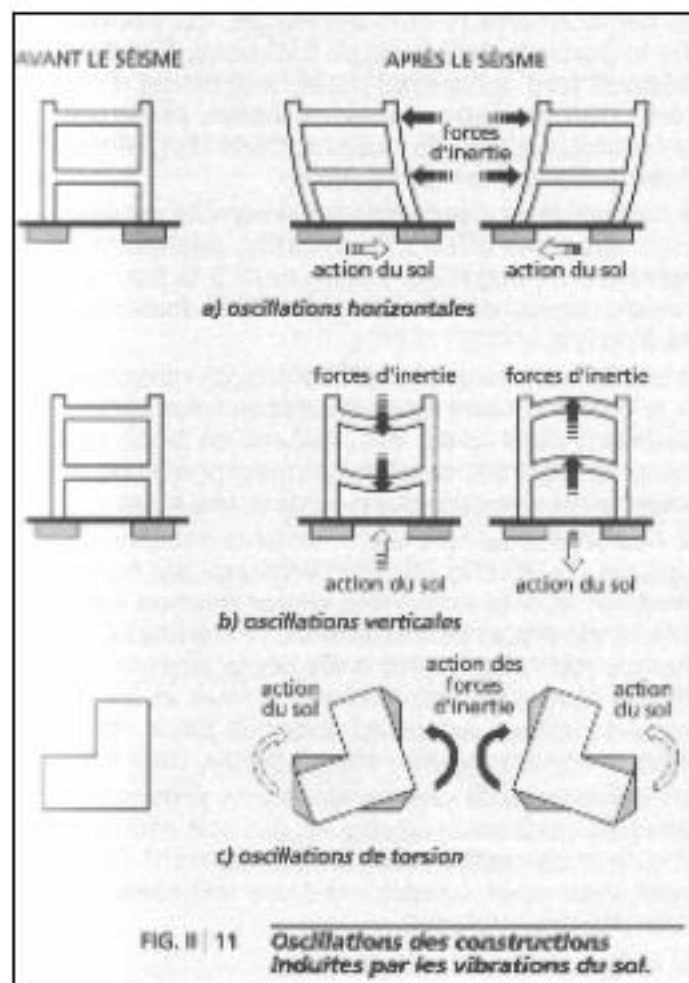


Figure 1: types of cracks in masonry bearing walls:

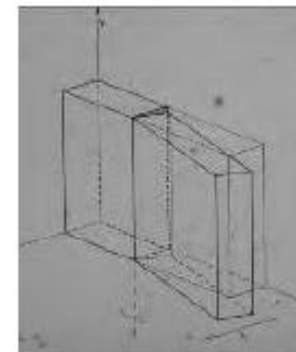
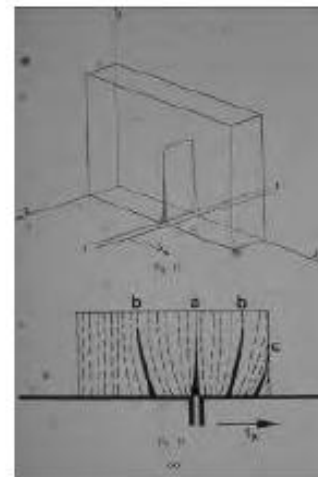
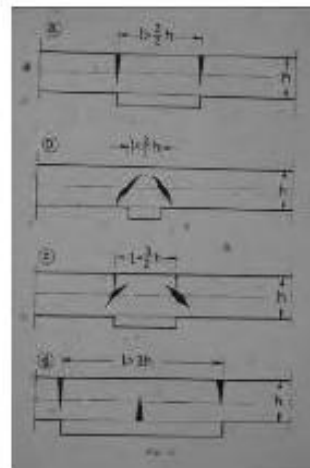
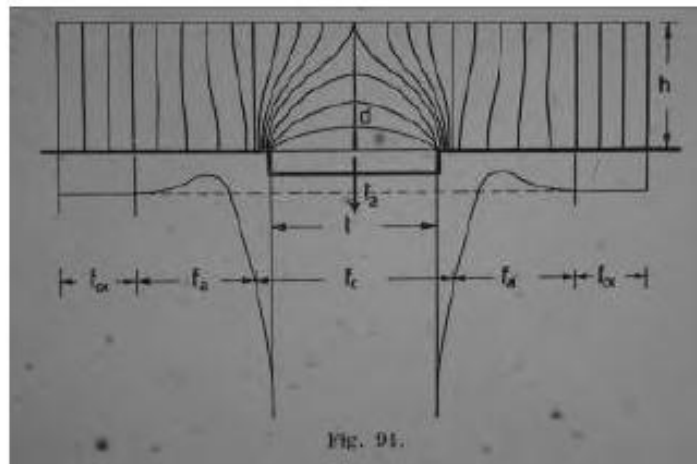
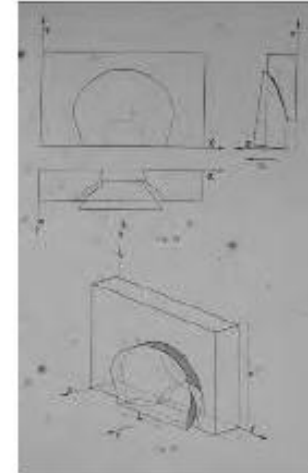
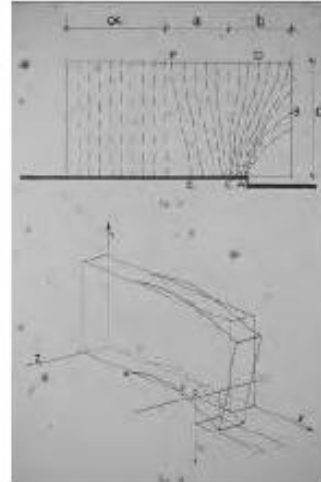
1) vertical cracks on openings; 2) diagonal cracks on parapets and in doors and windows lintels; 3) diagonal cracks on vertical strips of walls between openings; 4) local masonry crushing with or without spalling; 5) horizontal flexural cracks on top or bottom of vertical strips of walls between openings; 6) vertical cracks at wall intersections; 7) passing through vertical cracks at wall intersections; 8) spalling of material at the location of floor beams due to pounding; 9) separation and expulsion of the intersection zone of two corner walls.

## modèles de fracture par mouvements sismiques

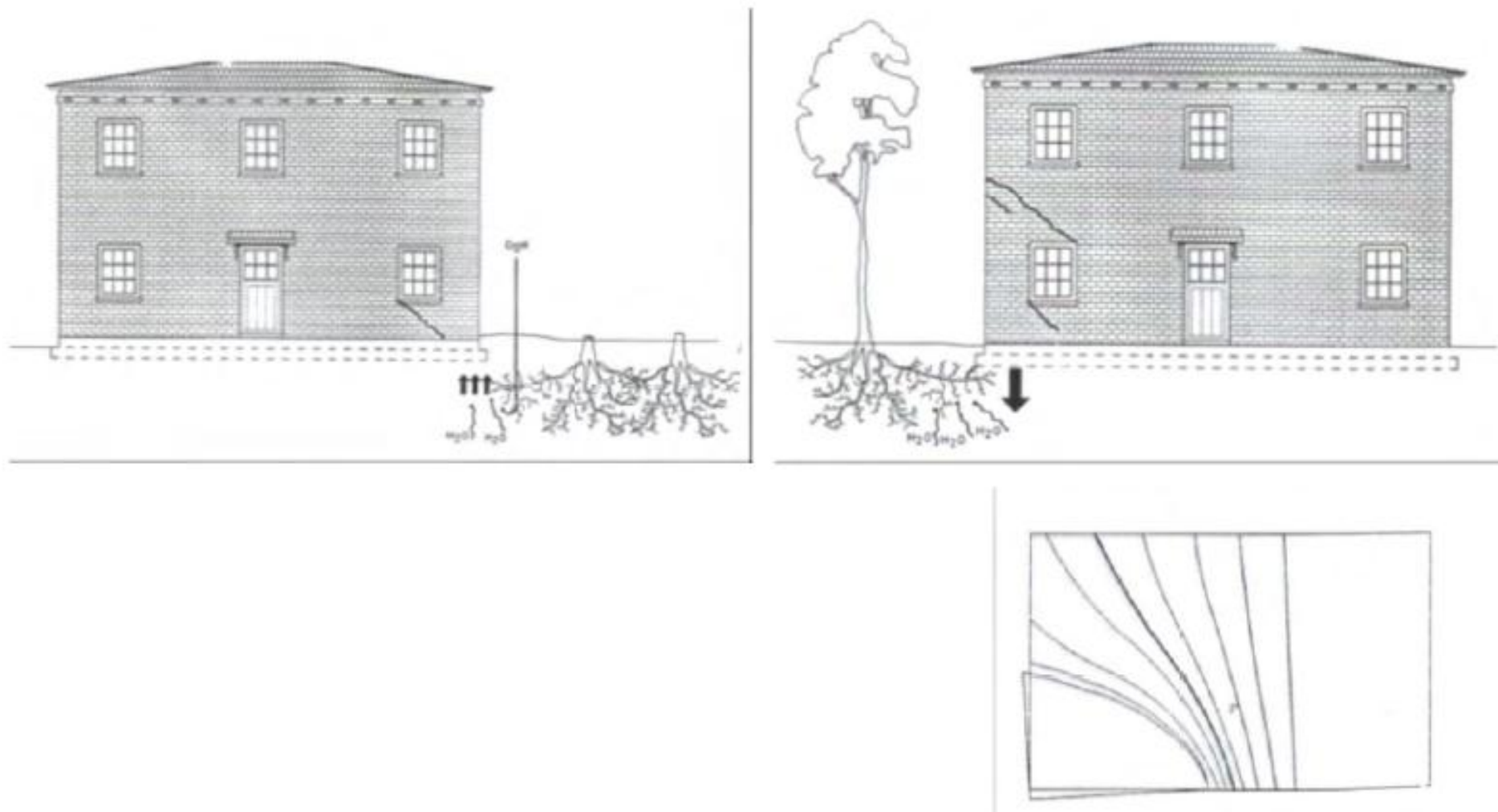




# modèles de fracture par tassement différentiel de la fondation

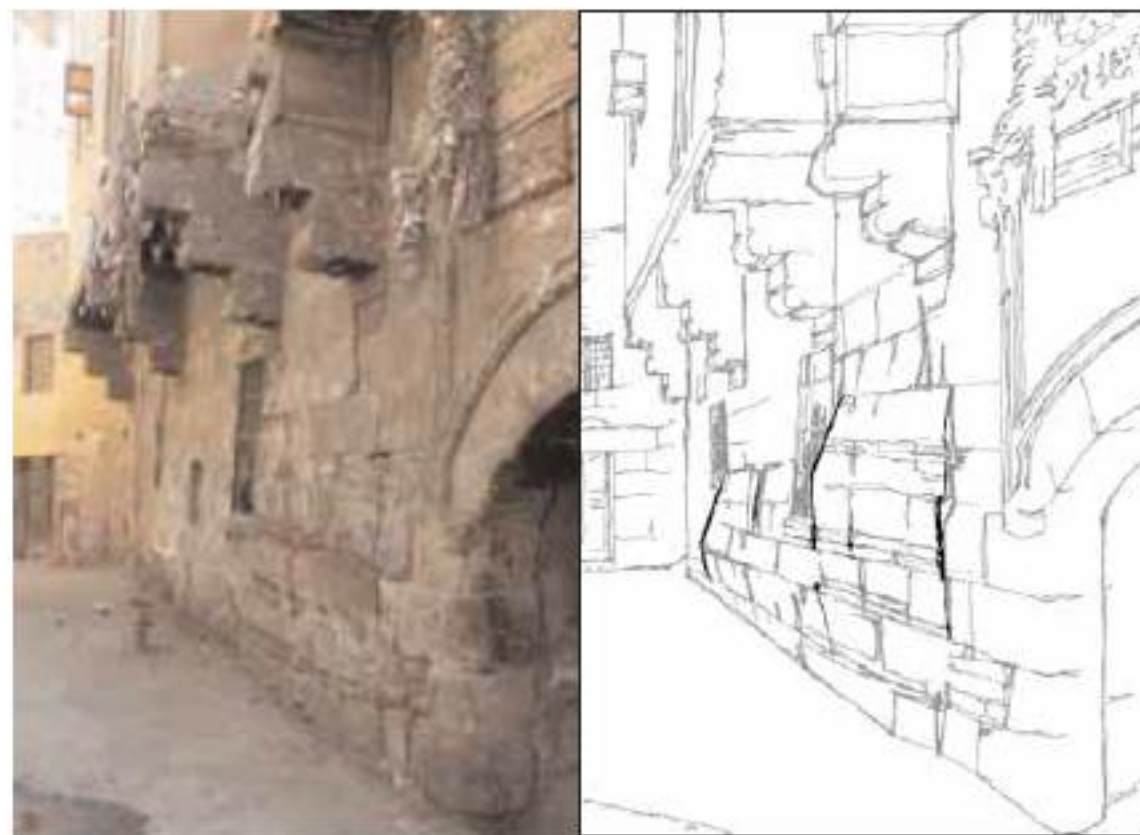
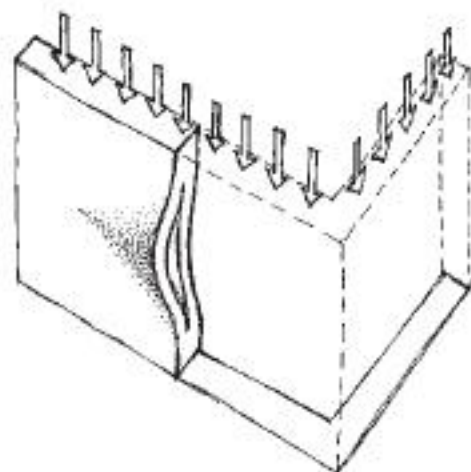
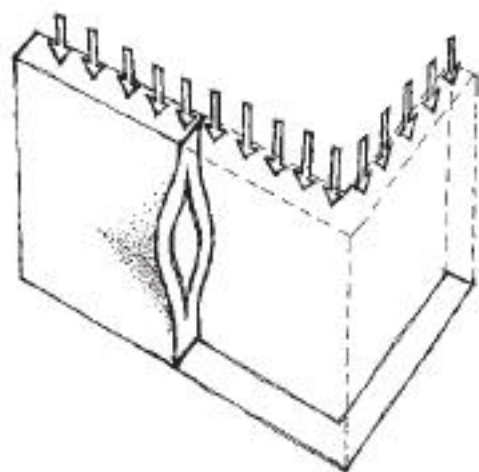


## modèles de fracture par tassement différentiel de la fondation



- **1.2/ Pathologie constatée sur le plan transversal aux parements du mur**
- Ces pathologies se caractérisent par le fait qu'elles sont invisibles au niveau des parements extérieurs du mur et qu'elles apparaissent sous forme de déformations transversales desdits parements.

- **1.2.a/ Fractures verticales au niveau des sections internes des murs**
- Un excès de compression sur un mur épais peut entraîner une fracture verticale interne qui, suivant la ligne de compression passant par le point de dépassement de la tension de rupture du matériau, tend progressivement à partager le mur en deux, en réduisant d'autant son élancement et sa capacité portante. Ce type de fracture est fréquent dans le cas des murs dont l'intérieur n'est pas homogène et dont les sections internes sont faibles en raison de la disposition des moellons ou des pièces céramiques exigée par les références fixes des plans verticaux des parements.

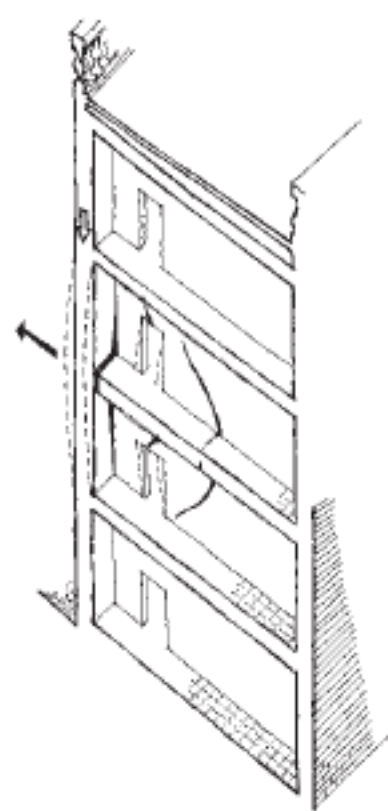
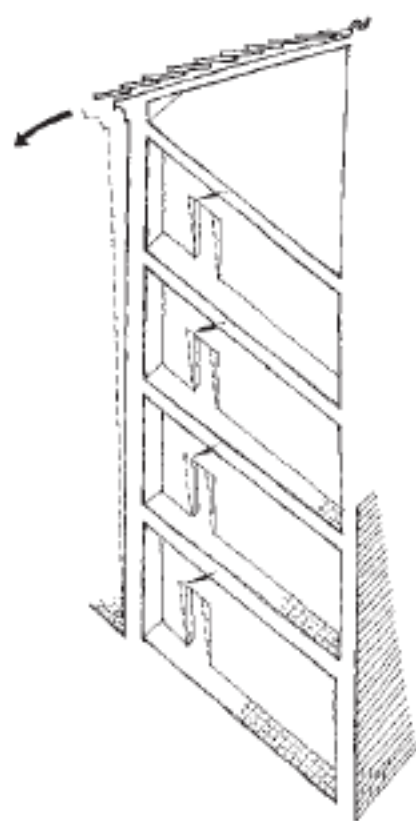
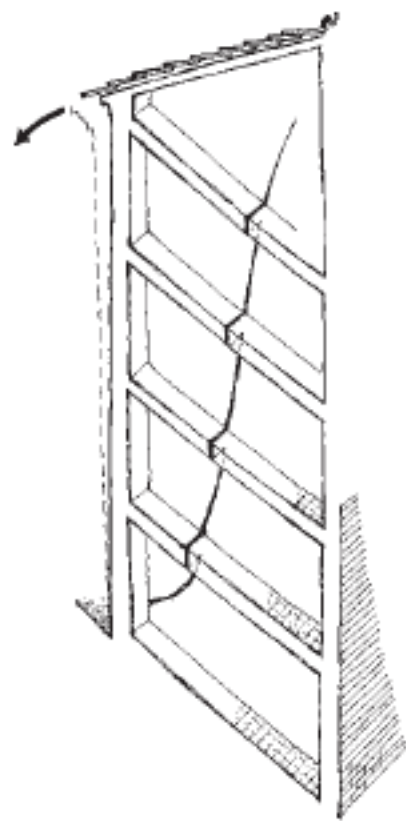


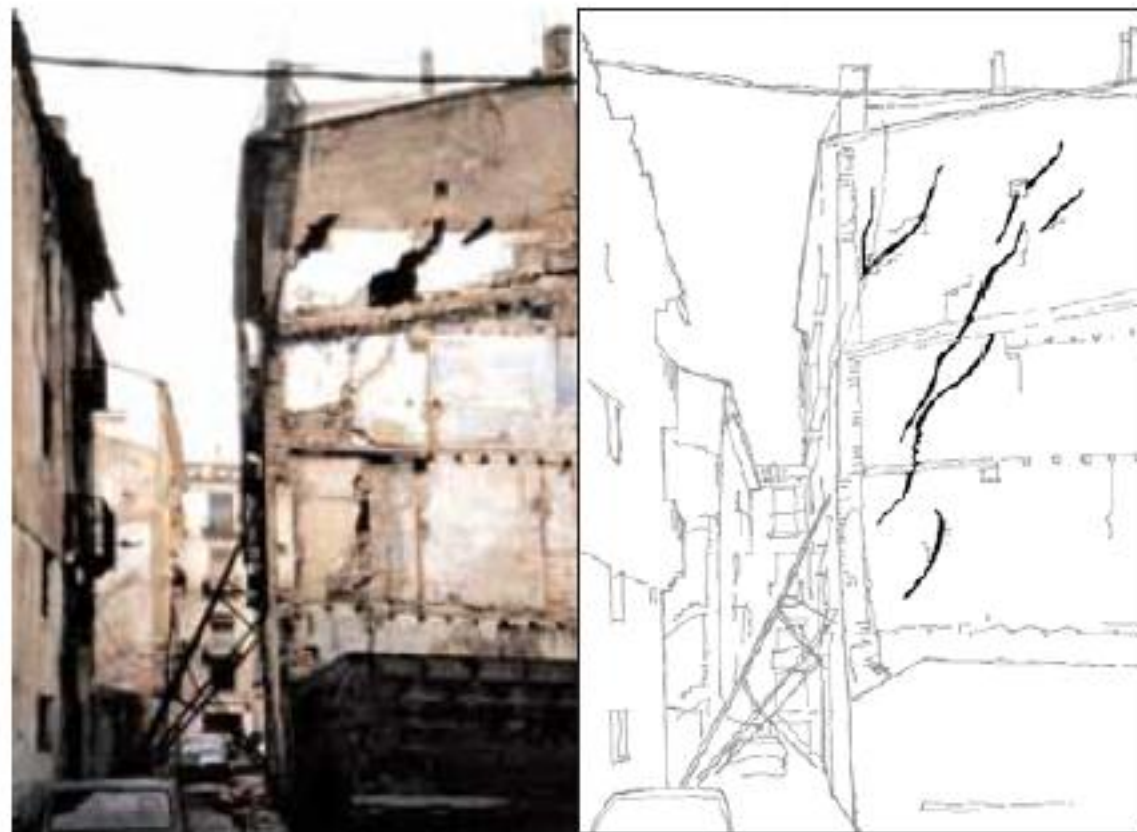
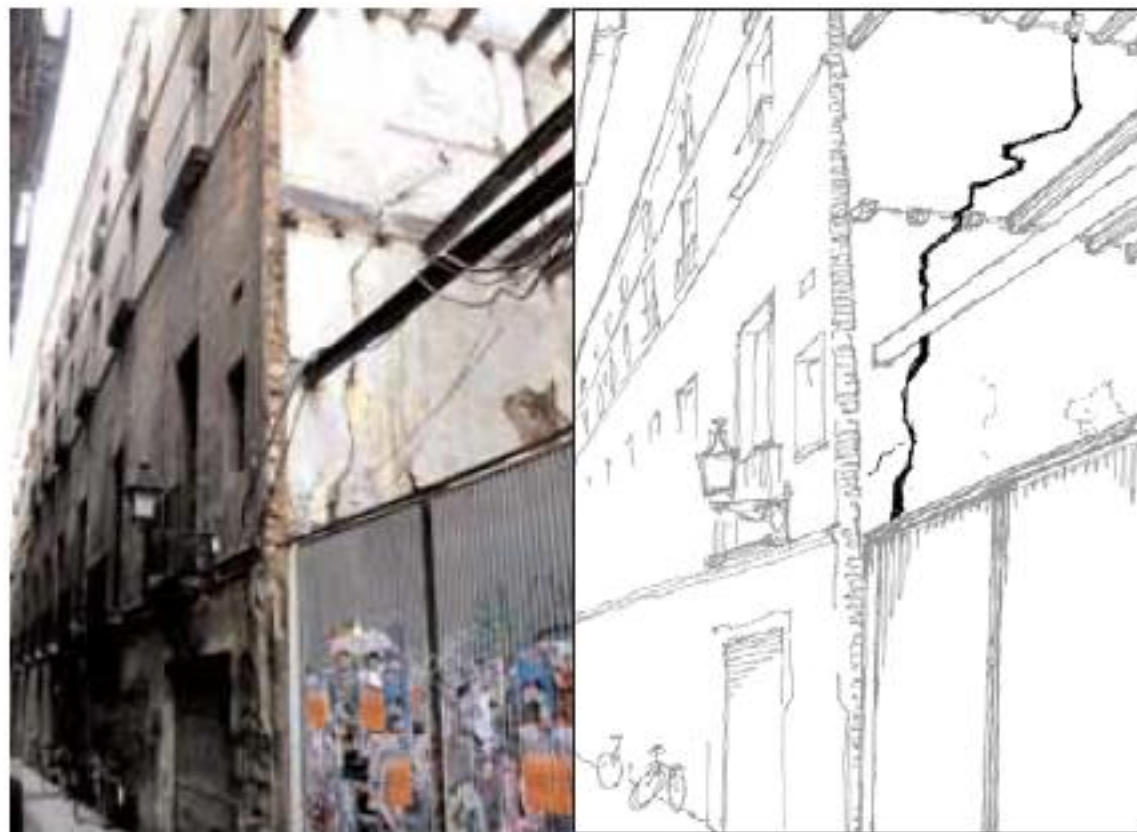
- Cette forme de rupture est celle qui présente le plus de risques parmi toutes celles qui sont répertoriées ici, dans la mesure où elles ne sont généralement pas visibles, qu'elles progressent à l'intérieur des murs anciens jusqu'à provoquer la chute de l'élément, sans qu'à aucun moment la déformation dudit élément n'ait été perceptible.

- **1.2.b/ Écrasements et bombements des façades**

- Ils sont généralement la conséquence de longs processus de déformation dus aux effets prolongés des sollicitations verticales ou horizontales sur les matériaux des murs, qui conduit à des modifications de leurs caractéristiques mécaniques au fil du temps. À ce stade avancé de déformation, il est nécessaire de procéder à des étayages ou de prendre les mesures de conservation nécessaires. Les écrasements dus aux poussées des couvertures, aux déplacements des fondations ou aux effets de l'humidité et de la température sont les plus fréquents

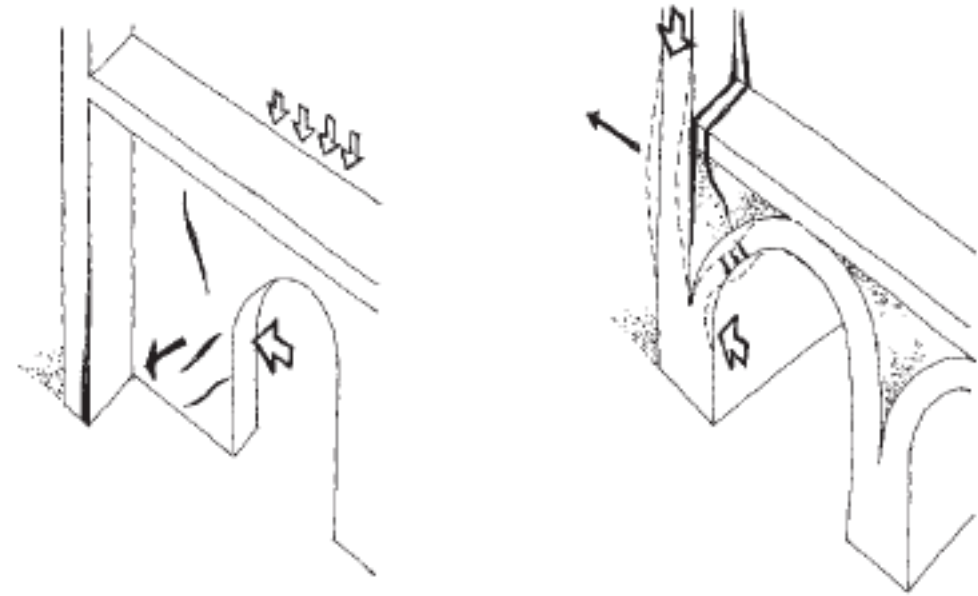




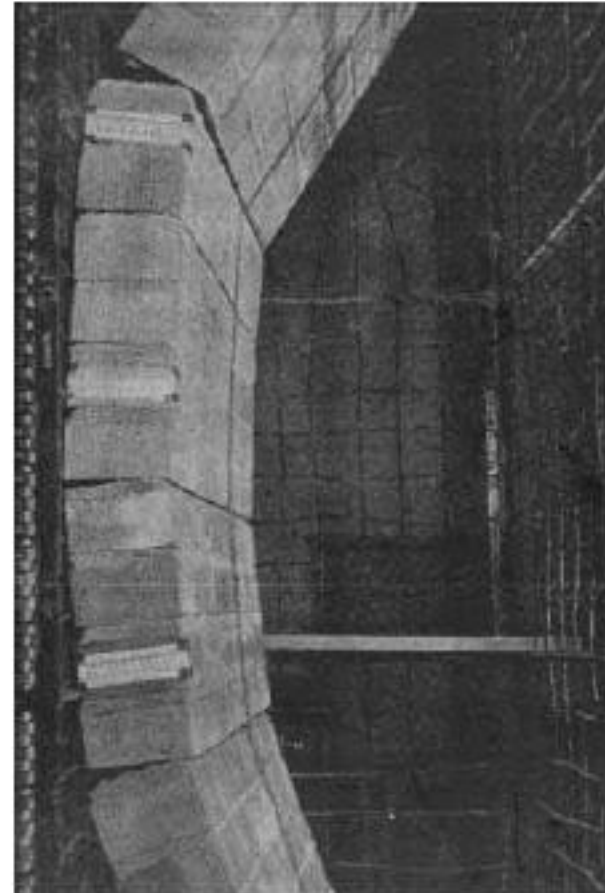
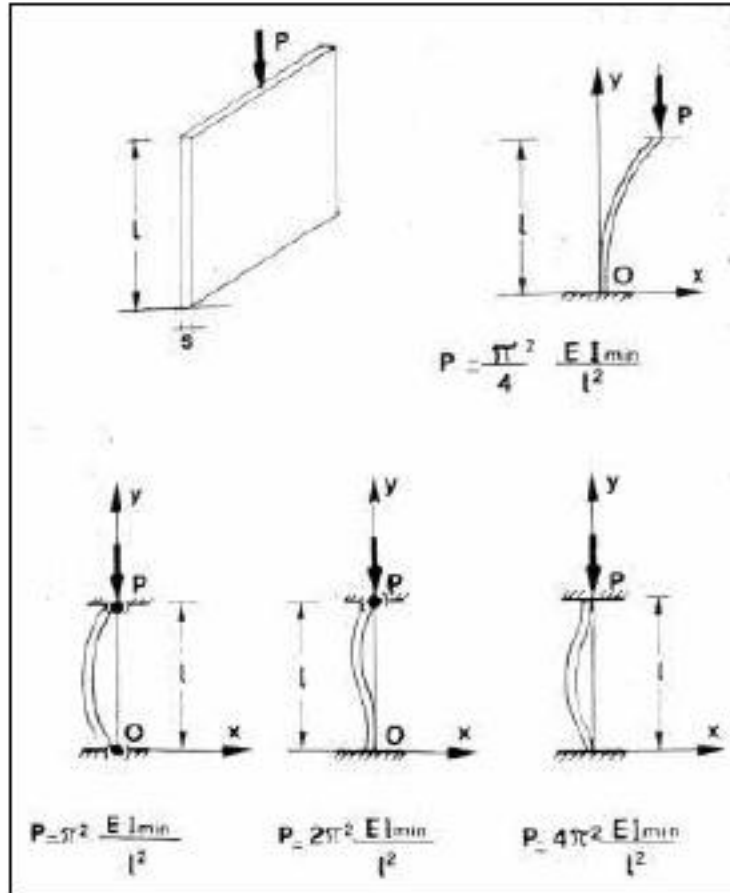


- **1.2.c/ Poussée des voûtes**

- Les éléments voûtés produisent des poussées, au niveau de leurs points de raccord avec les murs du périmètre, qui doivent être compensées par l'épaisseur et par la masse de ces murs, parfois à l'aide de contreforts. L'insuffisance de la compensation des poussées entraîne la formation de fissures et d'autres déformations qui peuvent affecter non seulement les murs mais également la voûte elle-même, soumise à un effet de décompression.

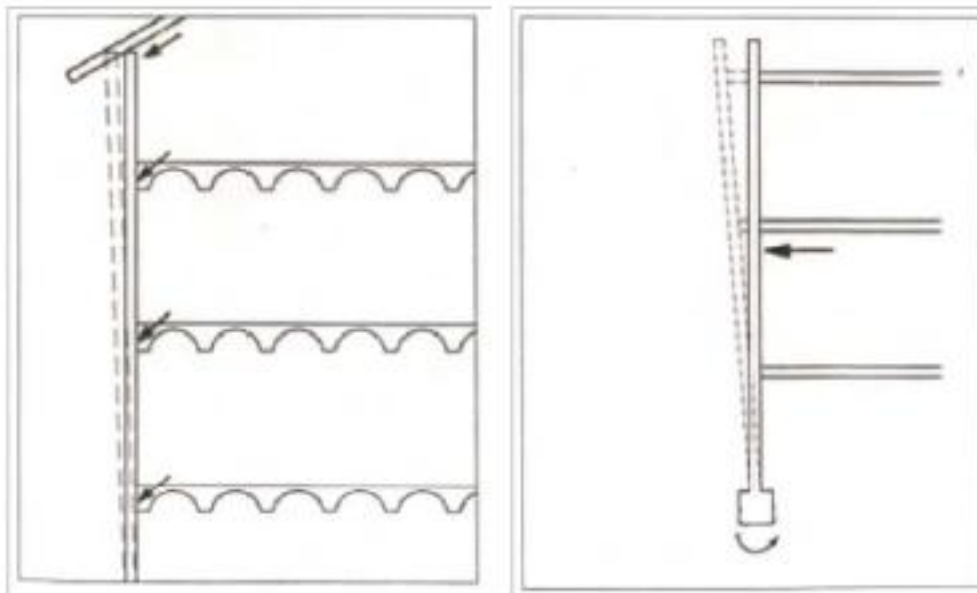
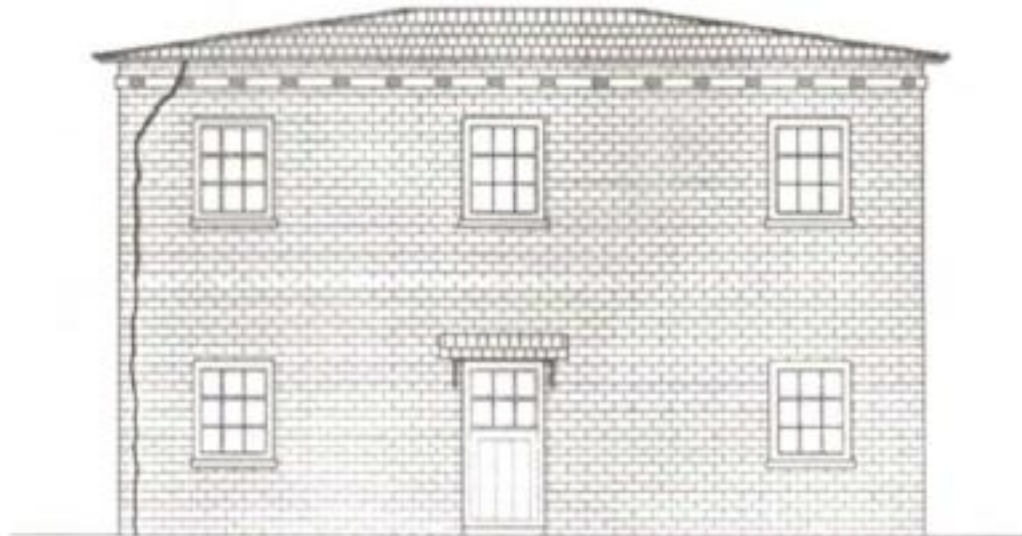


## modèles de fracture NON coplanaire à compression

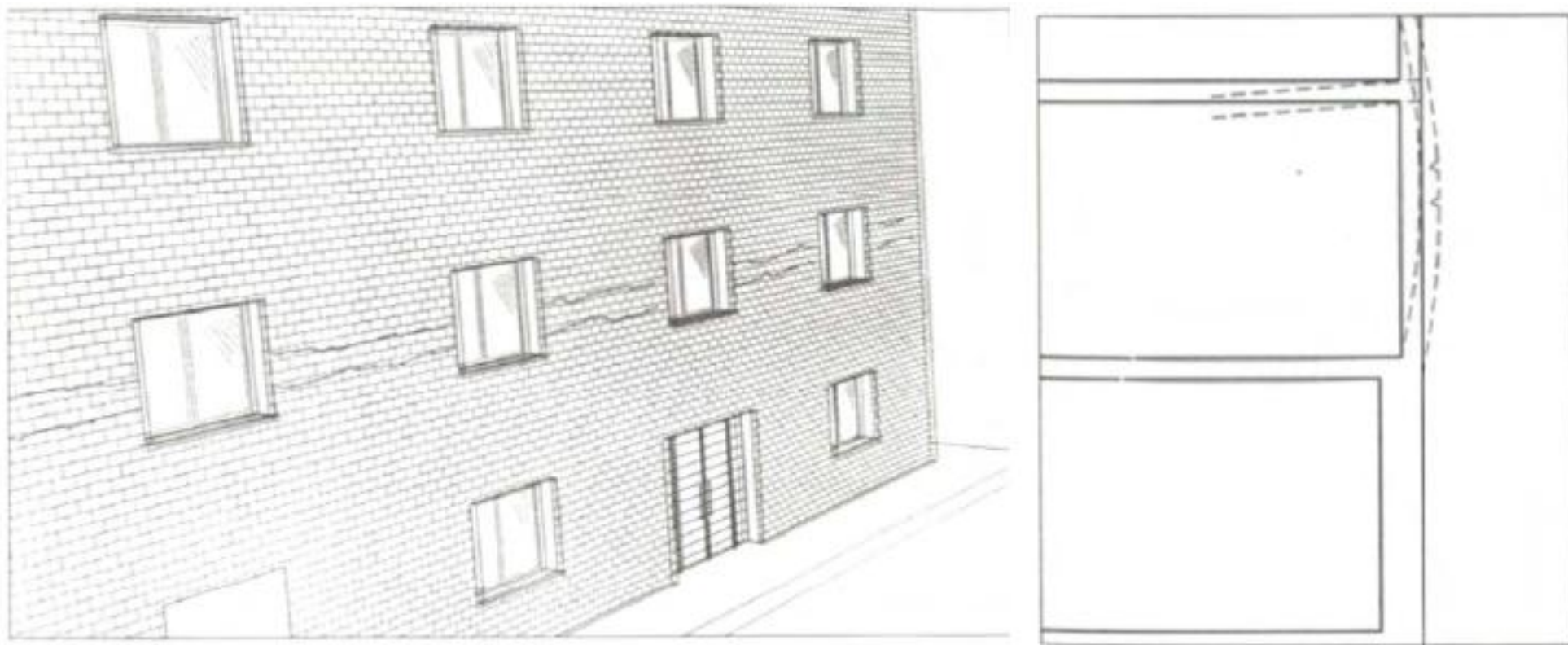




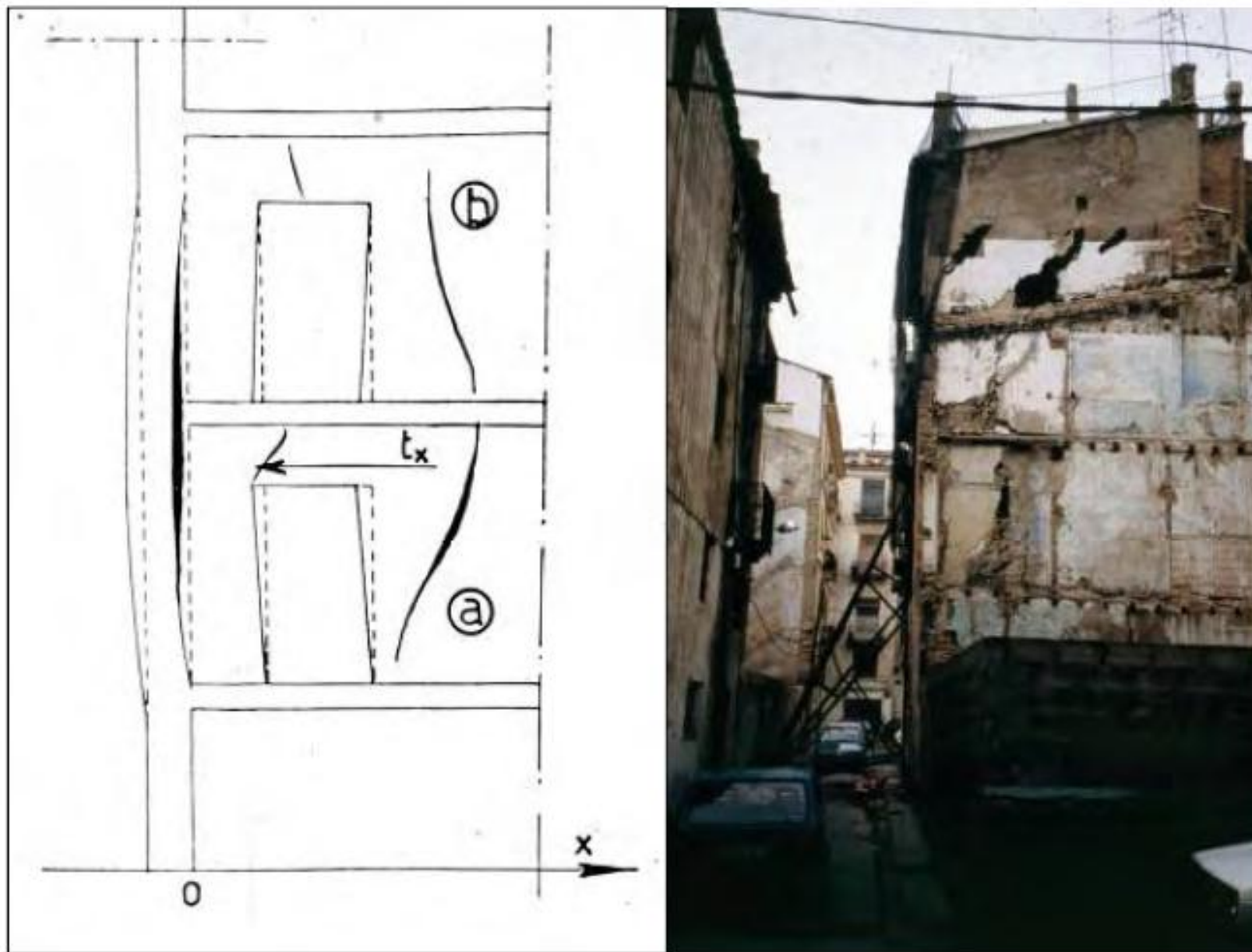
## modèles de fracture NON coplanaire à compression



**modèles de fracture NON coplanaire à compression**

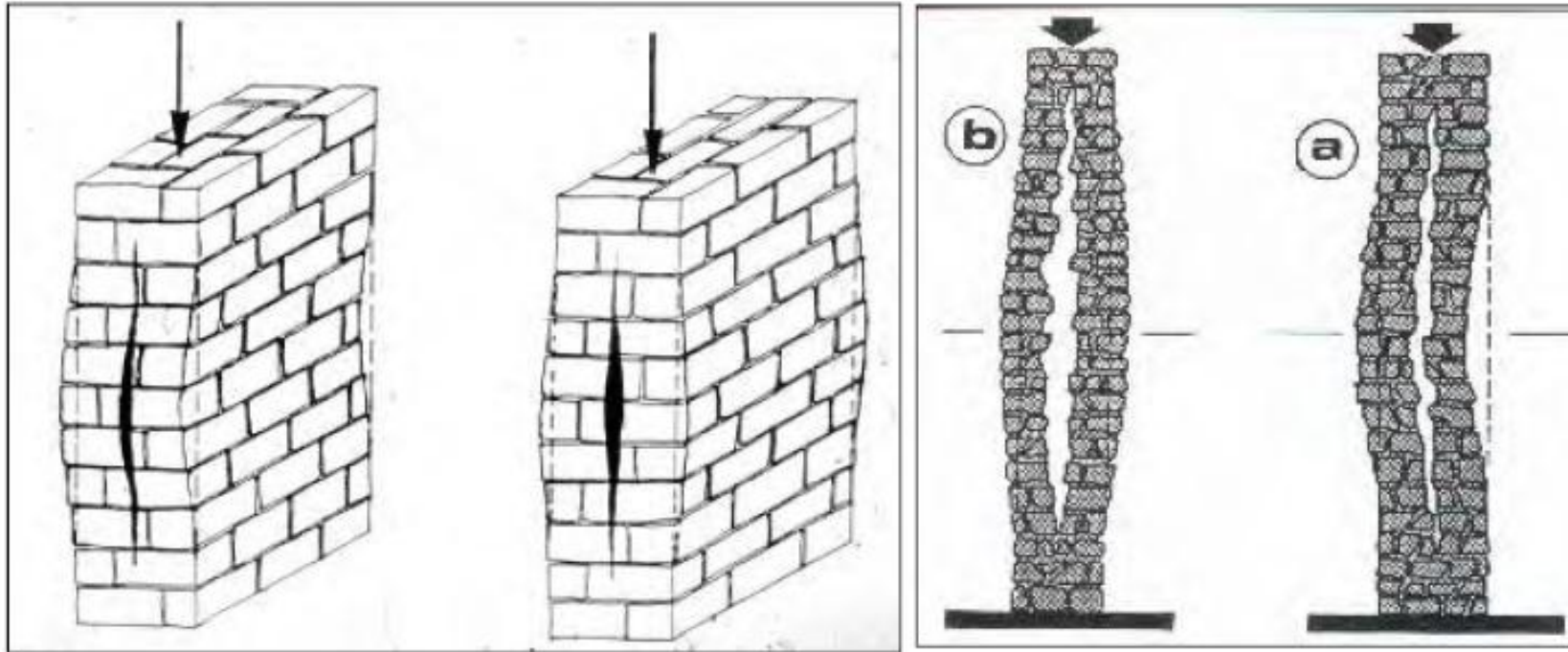


## modèles de fracture NON coplanaire à compression





## modèles de fracture NON coplanaire à compression



- **2. Pathologie structurelle des planchers, des voûtes, des coupoles des bâtiments aux murs épais**

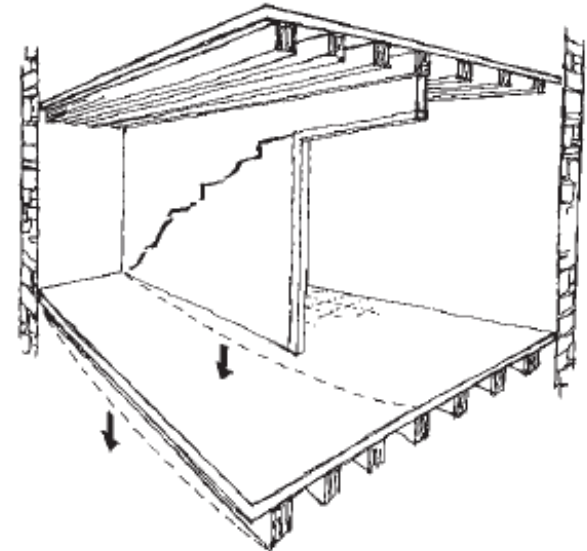
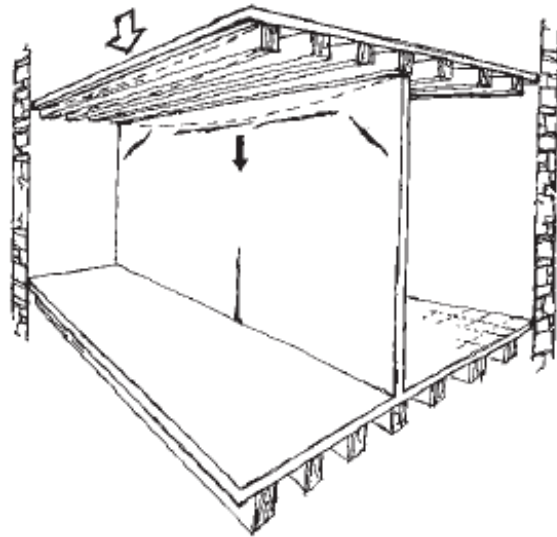
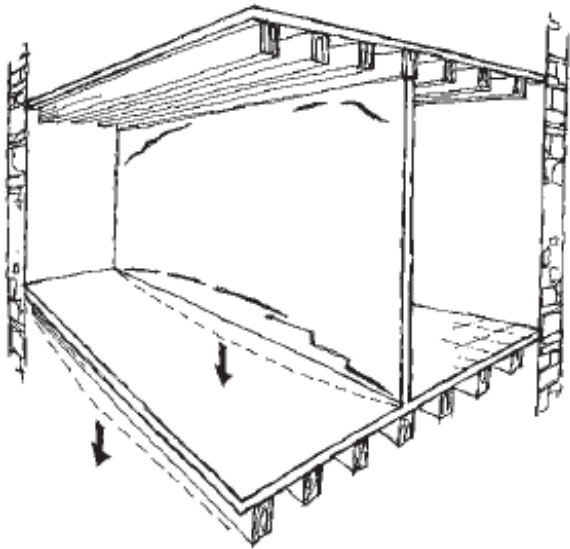
- modèles de fracture des arcs, voûtes et coupoles
- déformation et fracture des appuis des poutres

- L'élément de couverture le plus couramment utilisé dans l'architecture méditerranéenne est le plancher constitué de poutrelles de bois et d'un remplissage de divers matériaux : lattis de roseaux, entablement, radier de carreau céramique, hourdis de ce même matériel ou à base de liants ou d'agréats divers, etc. Les voûtes et les coupoles sont en revanche moins courantes et leur application plus spécifique; elles sont généralement construites avec les mêmes matériaux que les murs et les techniques s'adaptent aux particularités de chaque lieu.

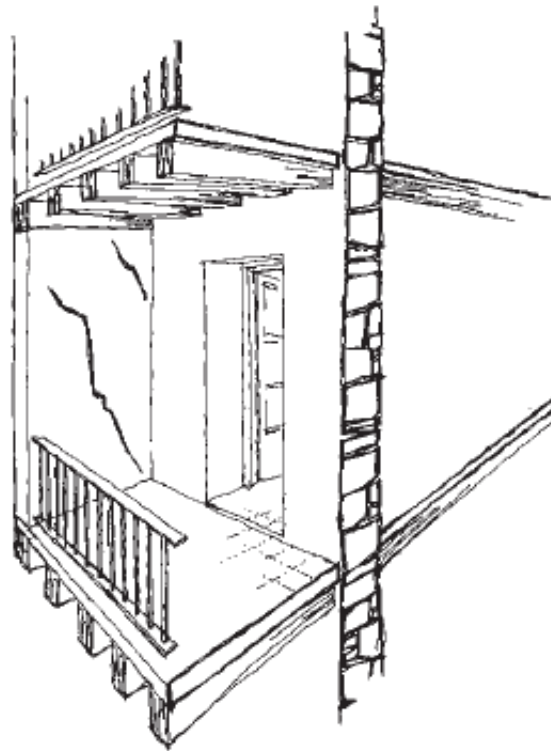
- **2.1/ Pathologie des planchers faits de poutres et de poutrelles**
- Les poutres et les poutrelles de bois qui constituent les éléments structurels porteurs du plancher présentent trois types de pathologies aux caractéristiques distinctes : les déformations, les attaques biotiques et les lézardes, également appelées fentes lorsqu'il s'agit du bois.

- **2.1.a/ Les déformations**

- Il n'est pas rare que les planchers des bâtiments anciens soient fortement gondolés du fait de la forte fluence à laquelle sont soumis les éléments en bois qui les composent. La fluence n'est rien d'autre que la qualité d'un matériau à se déformer progressivement sous l'effet des charges supportées, sans qu'il ne soit nécessaire que ces charges augmentent.



- Ce phénomène est typique du bois qui travaille et qui gondole, ce qui a pour conséquence de diminuer la capacité de résistance de l'élément qui compose le plancher, et cette diminution doit être évaluée au cas par cas en fonction des caractéristiques mécaniques du bois, de la charge supportée par le plancher et de la flèche existante.



- **2.1.b/ La présence de fissures**

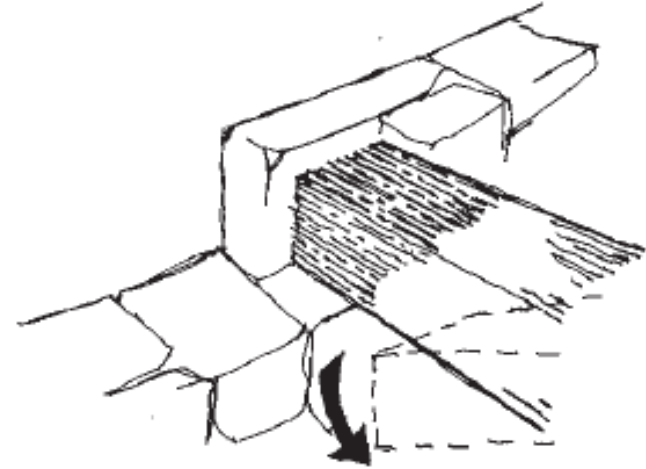
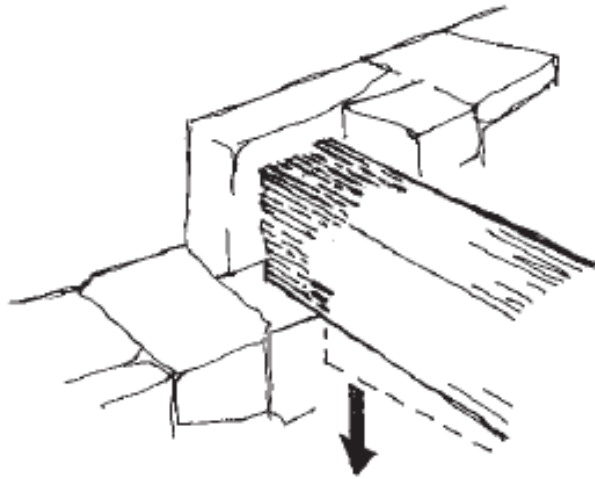
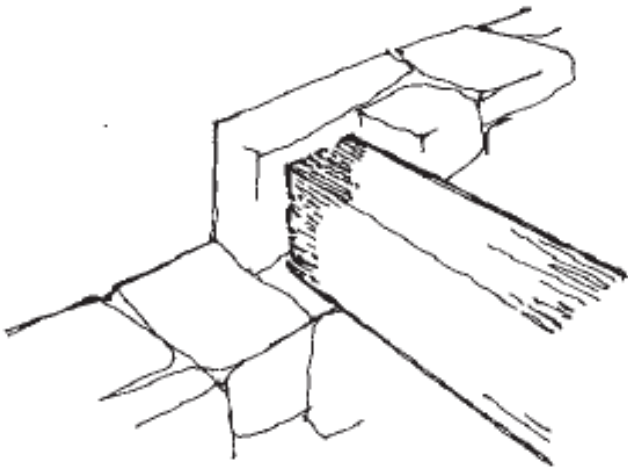
- Bien que la présence de fissures ne soit généralement pas due aux actions mécaniques supportées par le plancher, mais davantage à des causes en rapport avec le processus de séchage du bois ou aux cycles d'humidité ambiante, il convient de vérifier leur origine et d'évaluer leurs répercussions sur l'inertie des éléments affectés, dans la mesure où, si la cause de ces fissures est d'origine mécanique, leur présence peut présager d'une rupture prochaine ou de l'éboulement de l'élément en question.





- **2.1.c/ Les attaques biotiques**

- La putréfaction du bois due à la présence de champignons ou d'insectes xylophages tels que les termites ou les vrillettes entraîne une diminution de la surface utilisable, ce qui implique, comme dans l'exemple précédent, d'évaluer avec soin chaque bâtiment concerné. La détection de zones endommagées et leur intensité sont des éléments indispensables afin d'effectuer un diagnostic intégré de ces éléments.



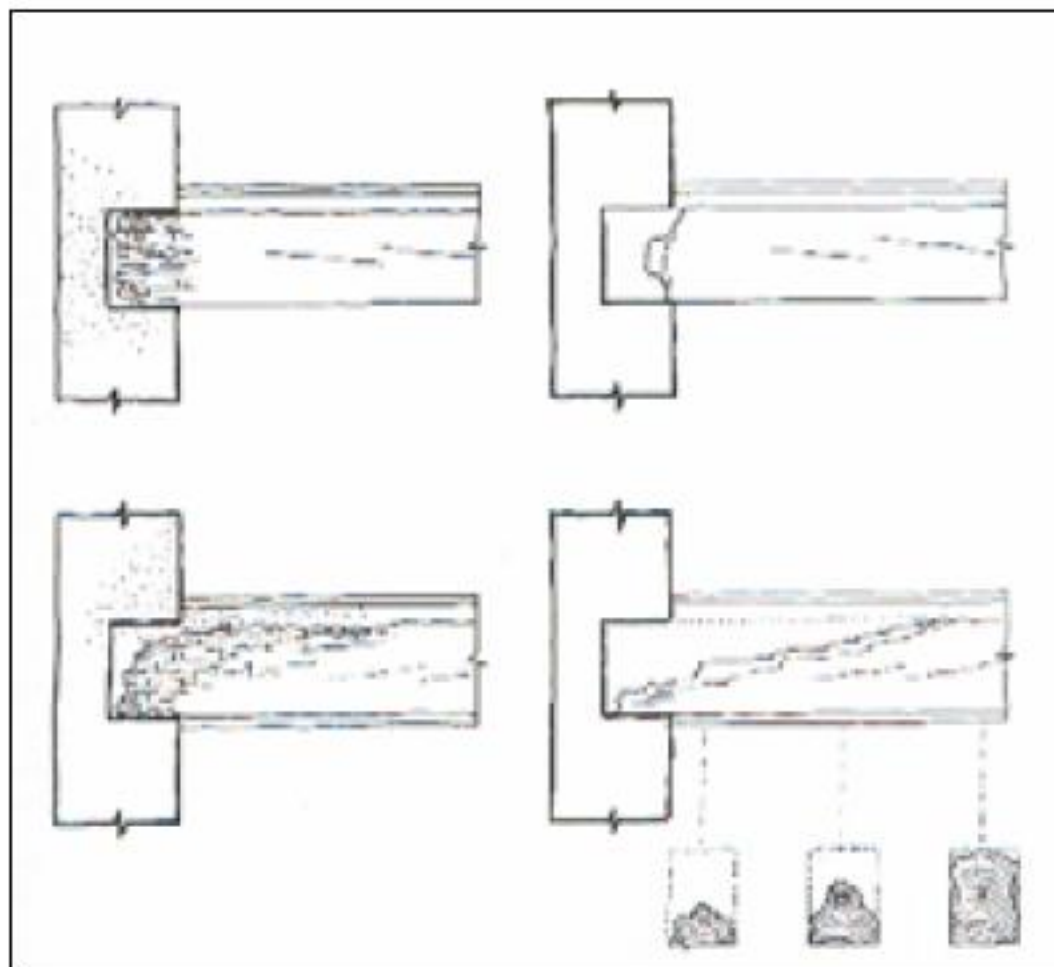


## Altérations dans les matériaux structurels

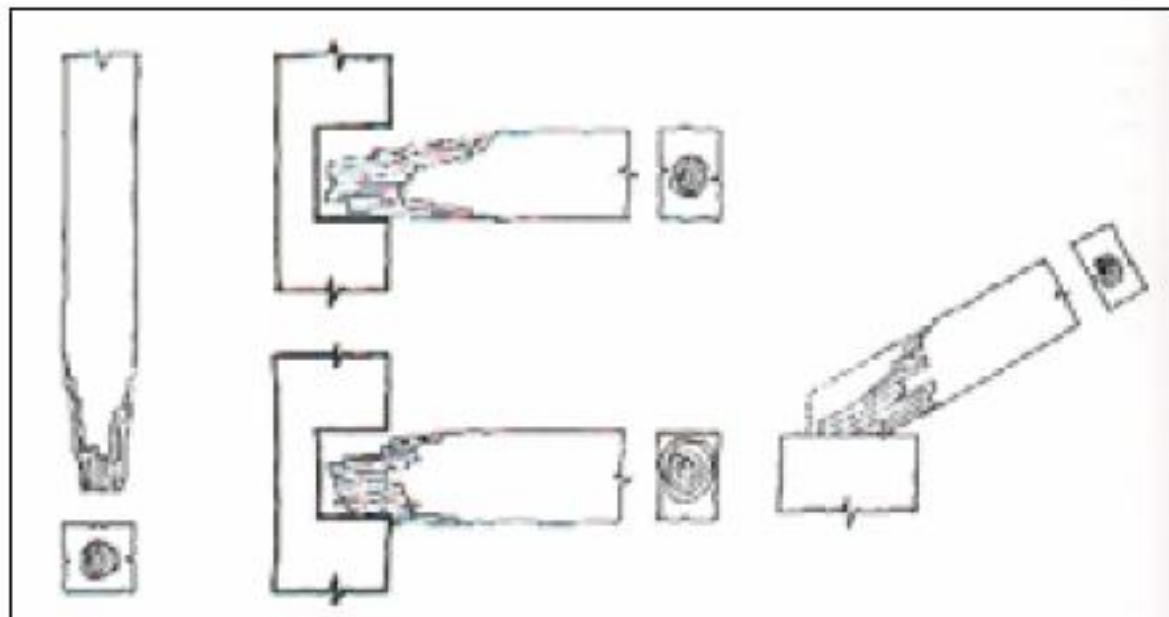
---

- l'eau comme agent de dégradation
- altérations des matériaux céramiques
- altérations des matériaux pierreux
- la putréfaction du bois
- les effets des insectes xylophages sur le bois

## la putréfaction du bois



## les effets des insectes xylophages sur le bois



## 2.2/ Pathologie des voûtes et des coupoles

- Les schémas de fracture des voûtes diffèrent de ceux des coupoles, étant donné que ces dernières sont de véritables structures spatiales dont l'interprétation exige nécessairement une étude tridimensionnelle complexe, qui explique certains des schémas classiques de rupture. Quoi qu'il en soit, pour ces deux éléments, l'origine des dommages est due à la décompression générée par le mouvement des murs, des piliers ou des pilastres qui reçoivent leurs poussées, tant sous l'effet de l'écrasement latéral des murs eux-mêmes que sous l'effet de l'affaissement de l'assise différentielle des fondations, bien que l'excès de charge ou leur propre faiblesse puisse également être la cause directe des pathologies constatées.



