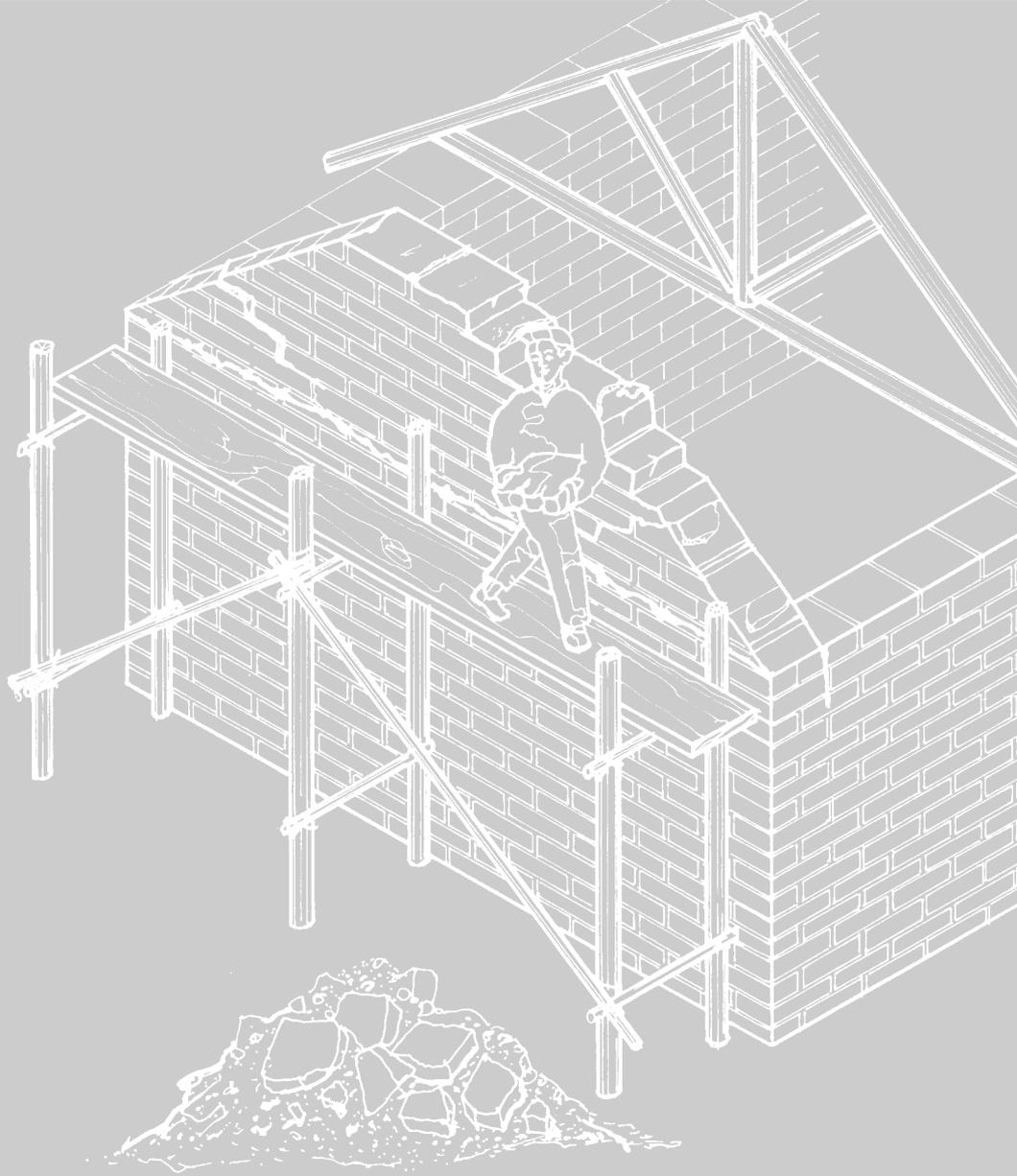
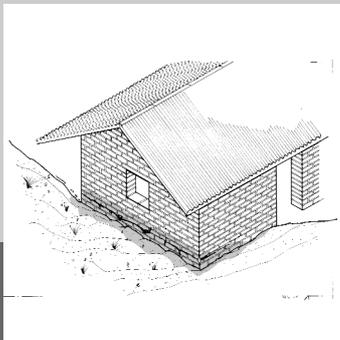
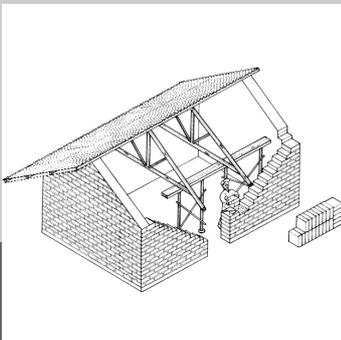
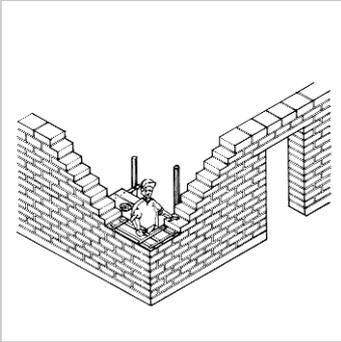
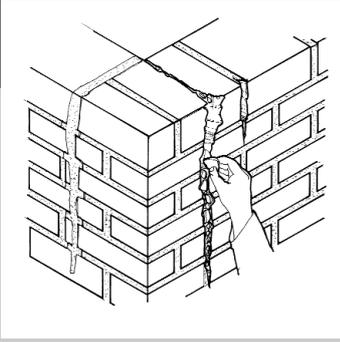


# REHABILITATION



## Guide de construction parasismique

Arch. Wilfredo Carazas Aedo



MISEREOR



## AVANT-PROPOS

Les séismes peuvent considérablement affecter les maisons réalisées en terre (adobe) si la réalisation de ces maisons est affectée par des défauts de construction ou une mauvaise implantation sur des terrains non adaptés, ou tout simplement si elles sont trop anciennes ou n'ont pas été régulièrement entretenues par leurs occupants.

L'eau est l'un des autres ennemis de la construction en terre, souvent le séisme ne fait que ressortir la dégradation réalisée par l'eau (pluies, humidité, infiltrations, etc.).

C'est la raison pour laquelle il est important de réaliser périodiquement des vérifications et opérations d'entretien de la maison afin d'éviter sa dégradation progressive et ainsi de la protéger et d'être préparé à un séisme.

Après un séisme, de nombreuses maisons résistent bien ou subissent quelques dommages qui peuvent être réparés sans nécessiter la mise à bas de l'ensemble de l'édifice. L'objectif du présent guide est de servir d'aide aux techniciens et à la population en général pour la réparation appropriée des maisons.

Ce guide comprend trois parties :

- 1 - Les séismes : leur origine, comment ils agissent sur une maison, les dommages qu'ils provoquent.
- 2 - La méthode : les étapes à suivre pour réparer une habitation.
- 3 - La réparation : les parties les plus vulnérables de l'habitation face à un séisme, avec différentes solutions de réparation.

### "REHABILITATION : GUIDE DE CONSTRUCTION PARASISMIQUE"

Auteurs : Wilfredo Carazas Aedo - Alba Rivero Olmos, architectes

Coordination scientifique : Equipe CRATerre - EAG.

Document financé par MISEREOR

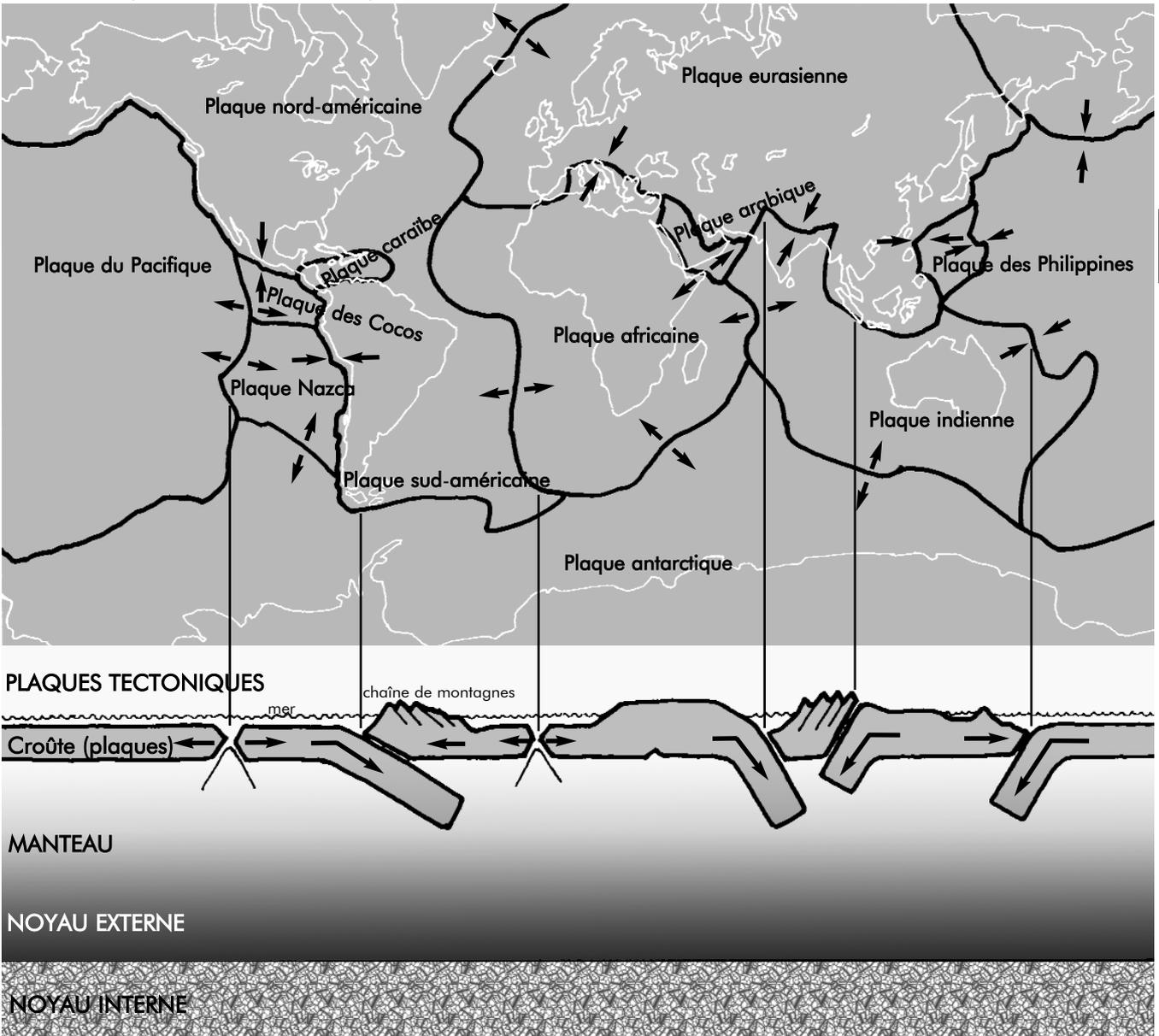
Editions CRATerre

Maison Levrat, Parc Fallavier, BP53

F-38092 Villefontaine Cedex, France

# ORIGINES DES SEISMES

Les origines de la terre remontent à environ 4,5 millions d'années, et depuis toujours la terre est en mouvement constant dans sa masse interne, ce mouvement provoquant des transformations des continents. La sphère terrestre a un rayon de 6.400 km et est composée de différentes couches successives. Une coupe transversale permet d'observer le noyau, le manteau et la croûte terrestre.



Dans la croûte terrestre existent différentes plaques qui se différencient par la manière dont elles agissent : certaines se séparent, d'autres s'opposent, d'autres se déplacent simplement l'une sur l'autre. Ces plaques se déplacent de façon lente et à une vitesse moyenne de 1 cm à 15 cm par an. Ces mouvements produisent des déformations qui génèrent des forces qui dépassent la résistance des matériaux et finissent par libérer les énergies accumulées, c'est ce qui produit les SEISMES. .

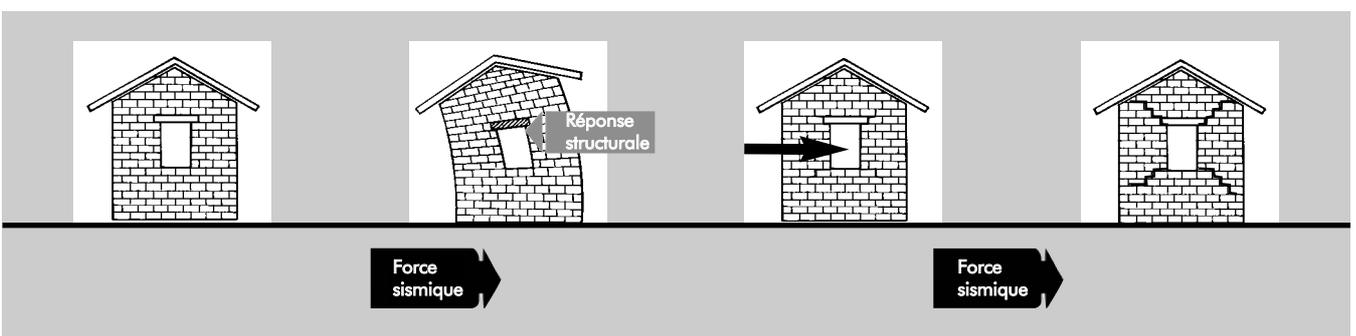
## PRINCIPES SISMIQUES :

Position initiale

Action du séisme

Retour à la position initiale

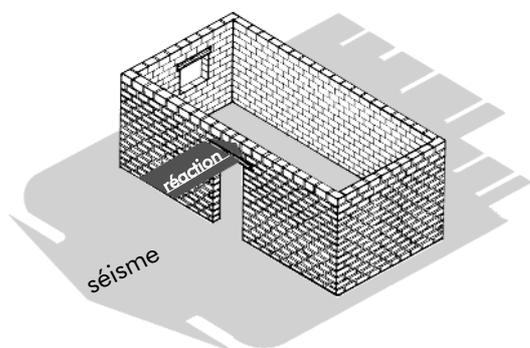
Position finale



## FORCES SISMIQUES

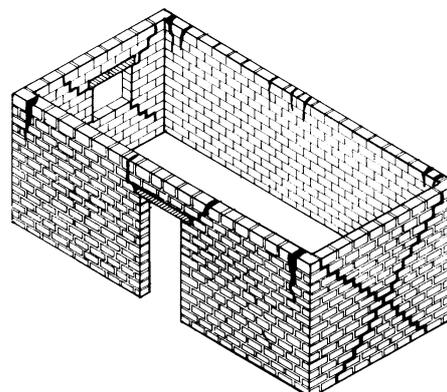
Quand un séisme se produit, une habitation est secouée simultanément par des mouvements d'oscillation verticale, des forces horizontales et de torsion, et elle réagit au séisme en fonction de ses caractéristiques : forme et type de matériau. Pour mieux comprendre ce phénomène, nous allons séparer les trois mouvements.

### ACTION

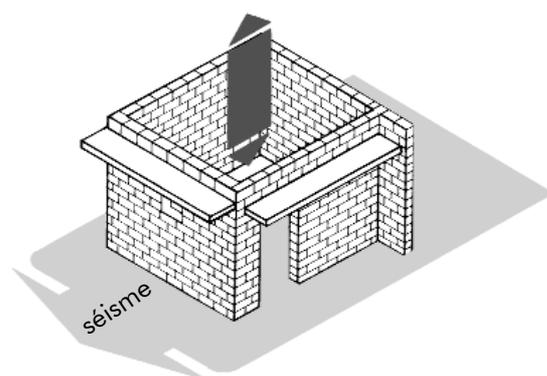


### EFFETS

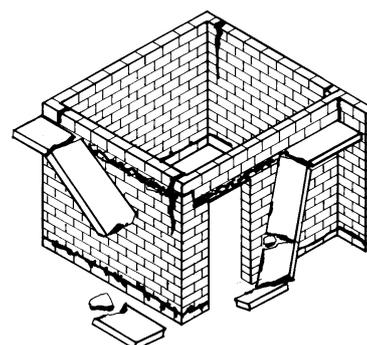
#### Forces horizontales



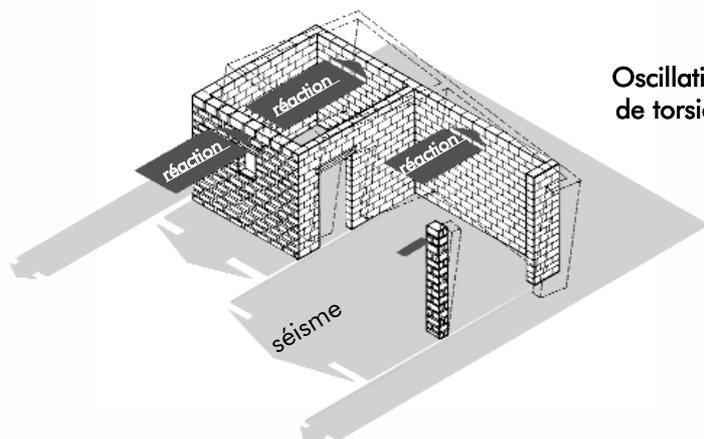
Forces horizontales : le passage des ondes sismiques provoque des vibrations du sol générant dans la construction des forces horizontales qui la secouent, la balancent, la déforment et la démolissent. La flexion et le cisaillement des murs provoquent des éboulements et glissements par rapport aux fondations.



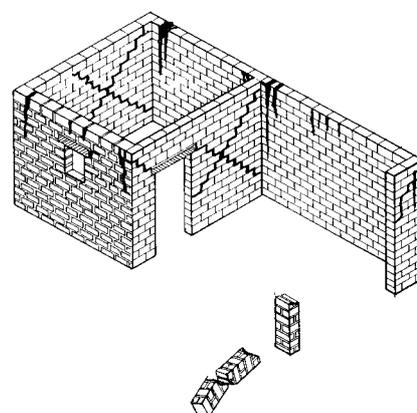
#### Oscillation verticale



C'est l'autre type d'oscillation qui se produit sur le chemin d'un séisme, les effets qu'il produit sont minimes, seuls seront affectés les éléments de poids considérable comme peuvent l'être les arches, colonnes, structures de toiture, ainsi que les éléments suspendus tels que balcons, auvents, etc.



#### Oscillation de torsion

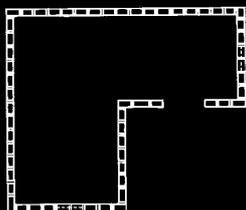


Enfin, l'oscillation de torsion est produite par le déplacement horizontal du sol, associé à des forces latérales. Les effets de la torsion sont plus ou moins importants selon la forme de construction, par exemple une habitation de forme irrégulière dont le centre de gravité ne coïncide pas avec le centre de rigidité est plus exposée à des dommages.

## EFFETS DES SEISMES SUR UNE MAISON

Pour résister à un séisme, une maison doit réunir certaines conditions minimales en termes de techniques de construction, de bon usage des matériaux et de conception adaptée. Voici quelques exemples des effets à éviter : maisons de forme irrégulière dans leurs dimensions ou leur hauteur.

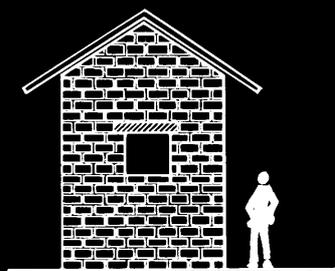
### Type de mur



Construction en "L"

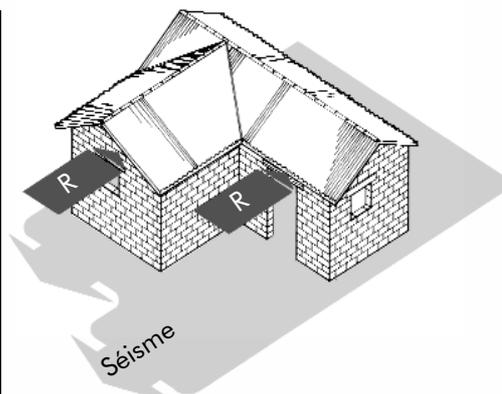


Construction rectangulaire

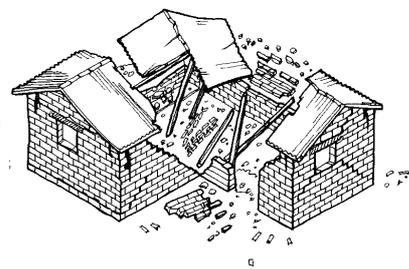


Construction en hauteur

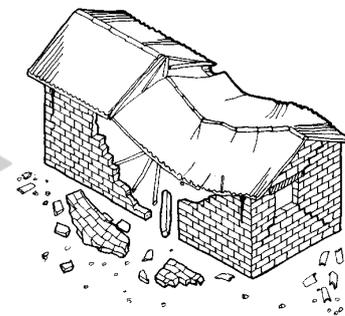
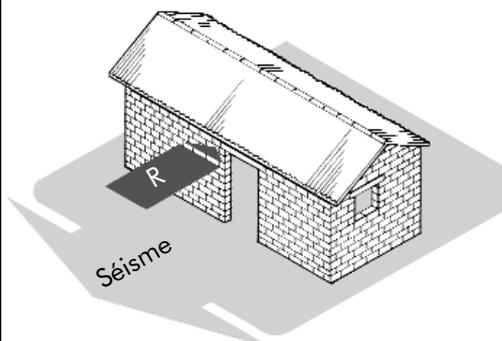
### Mouvement



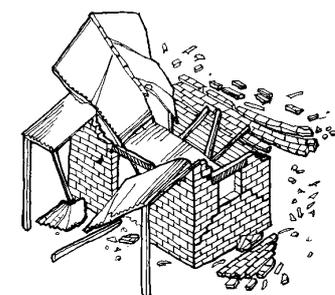
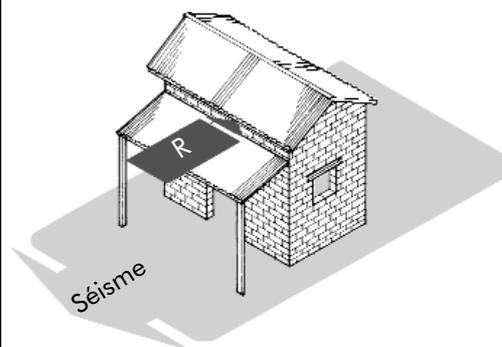
### Effet



Cette habitation présente des murs de différentes dimensions qui, face à un séisme, n'auront pas des comportements satisfaisants, ce qui conduit rapidement à l'écroulement de la maison.



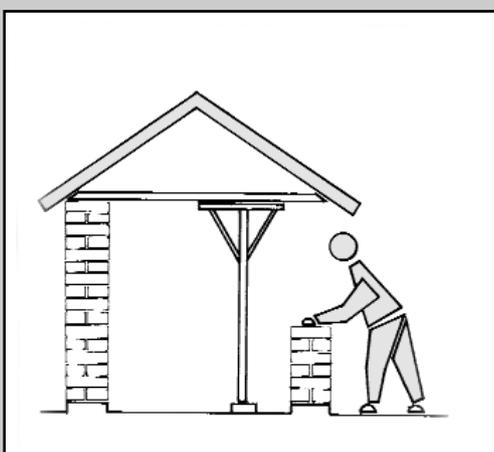
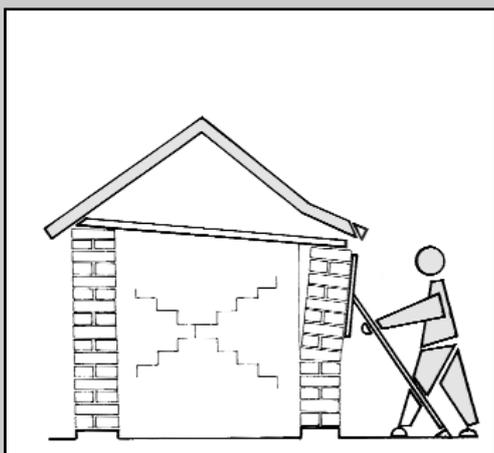
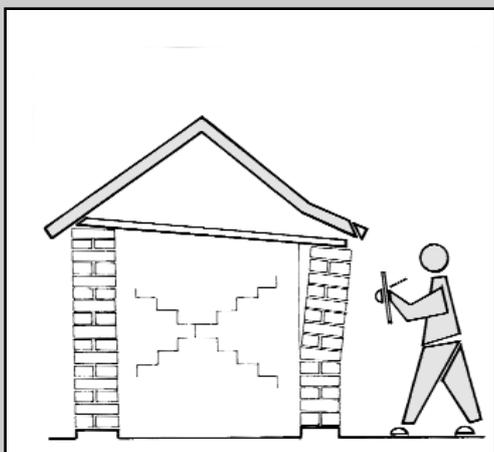
Les parois de grandes dimensions sans murs de soutien intermédiaires et sans contreforts résistent moins bien et s'écroulent rapidement.



Des maisons aux murs hauts et minces, présentent de moindres résistance et stabilité au séisme.

On peut également signaler d'autres exemple à éviter :

- Formes de construction en "T" ou en "C".
- Construction d'habitations à deux niveaux.
- Poutres de faux-plafond placées directement au-dessus du mur.
- Utilisation de murs intérieurs pour servir d'appui au toit.
- Constructions réalisées sur terrains en pente.
- Grands espaces entre les murs.
- Colonnes, arches, coupôles et voûtes.



## OBSERVER

Après un séisme, si la maison est restée en place, la première chose à faire est de réaliser une évaluation détaillée de l'état physique de la maison :

- vérifier les dommages et les causes (erreurs de construction et d'implantation).
- déterminer si l'habitation peut être réparée ou si elle doit être démolie.
- si on décide de démolir l'habitation, cela doit être fait immédiatement.
- si on décide de la réparer, il convient d'évaluer l'habitation de façon globale, avec les types de dommages, les priorités et les étapes.

## POSE D'ETAIS

Une fois l'évaluation effectuée, on procède à la stabilisation des parties endommagées de l'habitation au moyen d'étais qui doivent les assurer jusqu'à ce que la réparation intervienne.

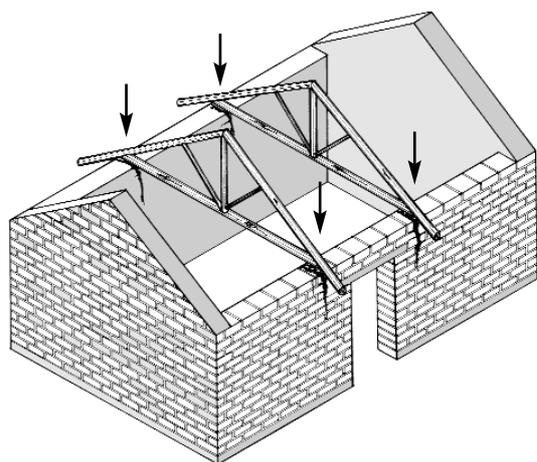
- si nécessaire, il convient de limiter l'accès à l'habitation pendant cette période, afin d'éviter les accidents.

## REPARATION

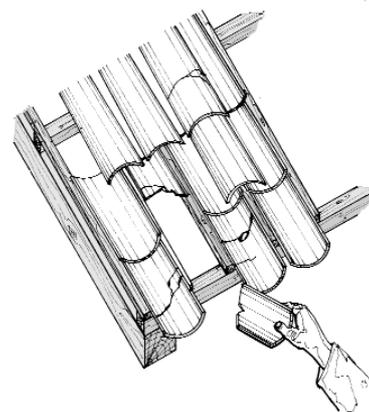
Avec les données obtenues à l'étape d'évaluation, on passe à la définition des priorités pour la phase de réhabilitation de l'habitation, en commençant par les zones fortement détériorées.

- démontage et reconstruction des parties endommagées.

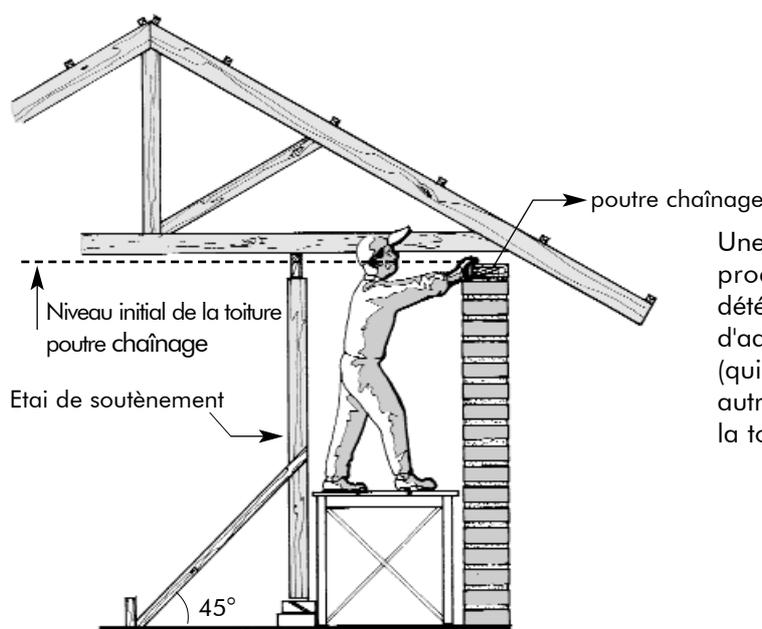
## TOITURES



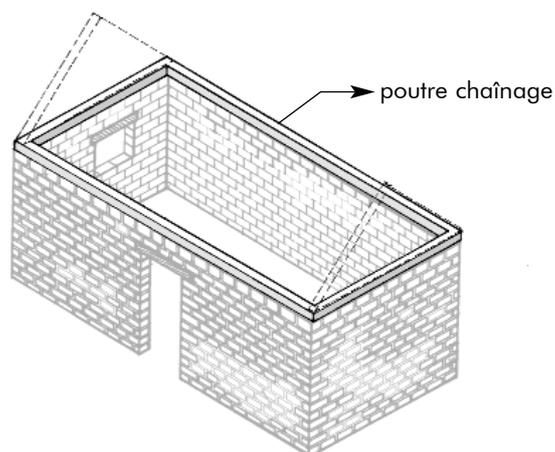
Une maison après un séisme présente des fissures dans la partie qui supporte la structure du toit. Cette situation intervient surtout lorsque la poutre chaînage est absente, cette poutre servant à répartir horizontalement la charge.



La première action sera de déposer les tuiles du toit afin d'éviter qu'elles ne continuent à tomber et libérer la structure pour une meilleure travail de d'étayage de la toiture soutient de la toiture. Ceci en particulier s'il s'agit de tuiles demi-rondes de type colonial dont le poids est considérable et dont la chute peut entraîner des accidents.



Une fois l'étayage de la toiture mis en place, on procède au démontage des briques d'adobe détériorées ainsi qu'à la dépose de la dernière assise d'adobe pour la remplacer par une poutre chaînage (qui peut être en bois, en mortier, en bambou ou autre). Après cela, on peut redescendre la structure de la toiture dans sa position initiale.

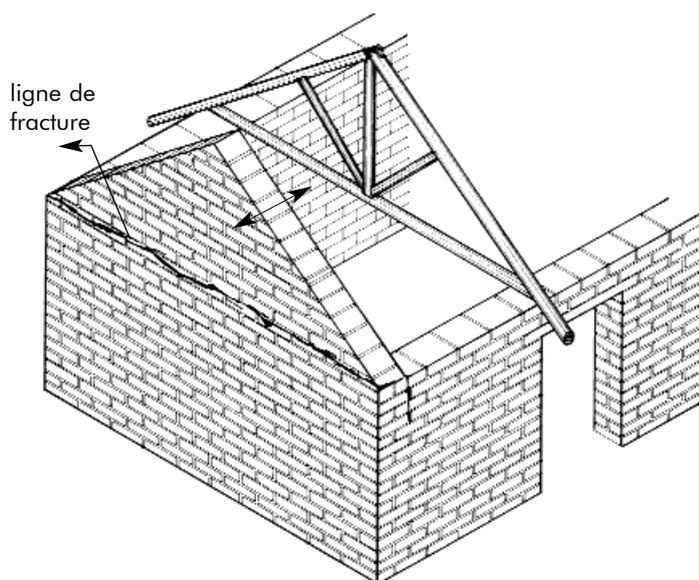


L'installation d'une chaînage peut se faire de deux façons différentes :

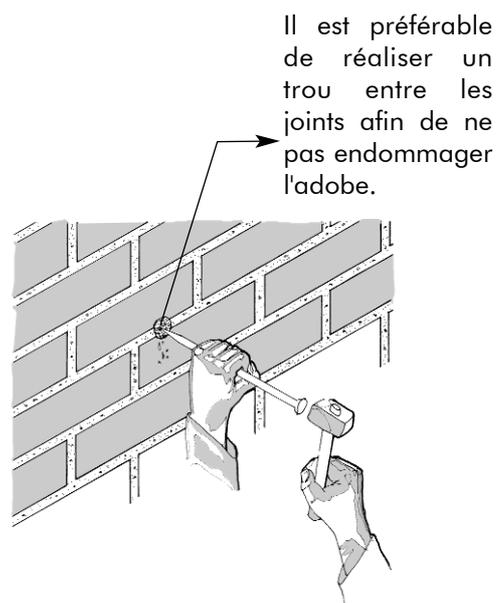
- 1 - Construction d'une poutre chaînage sur tout le périmètre du mur, s'il n'y a pas de pignon.
- 2 - Installation d'une poutre seulement sur les parties qui reçoivent la toiture, en terminant les extrémités avec une clé incrustée dans le mur pignon.

# MUR PIGNON

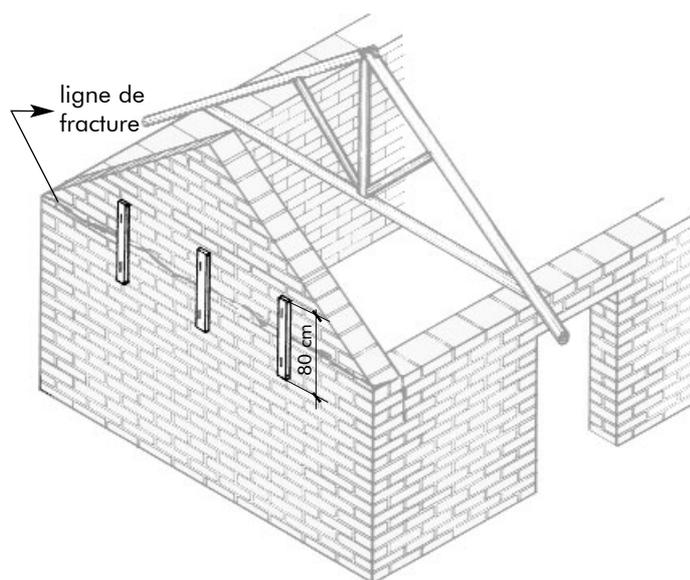
## Solution 1. Réparation du pignon



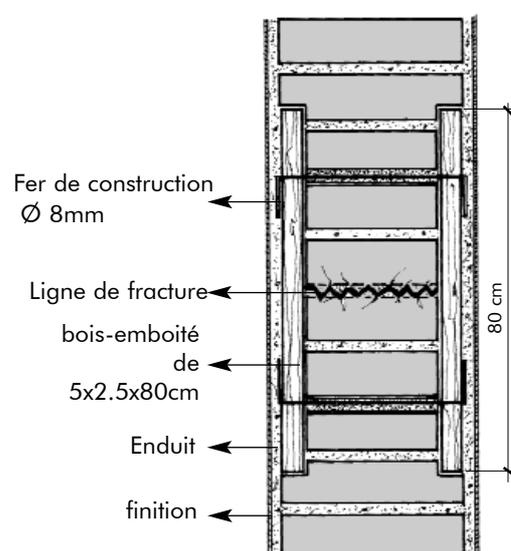
Après un séisme, il est fréquent de constater la rupture du mur pignon, dans la mesure où ce dernier est en général libre .



Pour l'installation des clés, il est conseillé de perforez le mur pour réaliser des trous d'environ 5 cm de diamètre pour y installer des fers de construction noyés dans du mortier de ciment.



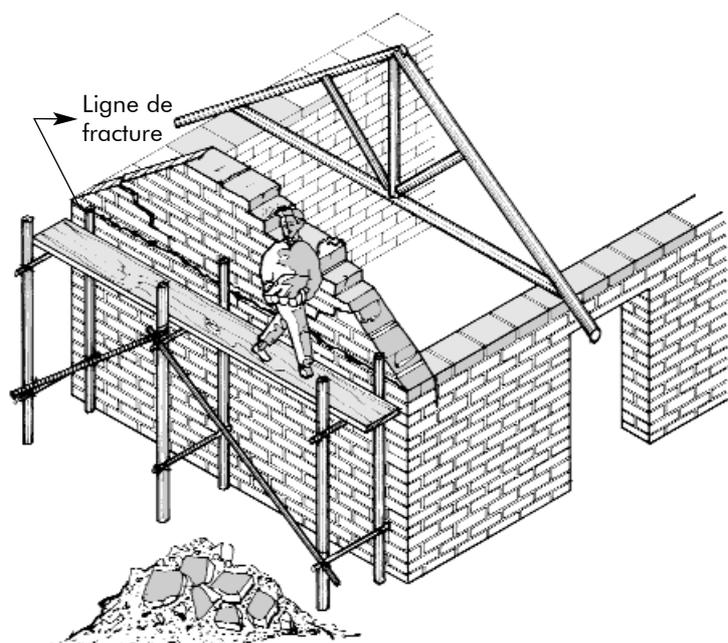
Si lors de l'évaluation, on constate que le pignon présente une rupture mais qu'il est encore stable et d'aplomb, on peut procéder à sa réparation et à son renforcement à l'aide de clés disposées transversalement par rapport à la ligne de rupture.



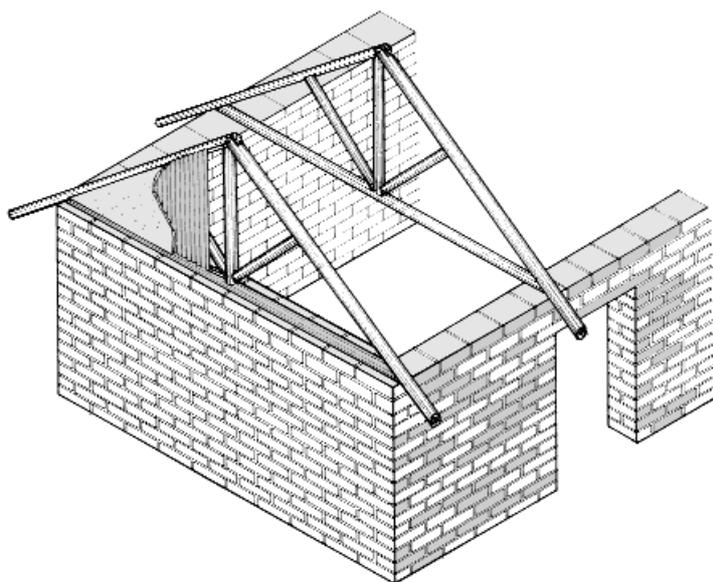
Détails de l'installation d'une clé transversale à la ligne de rupture

# MUR DE PIGNON

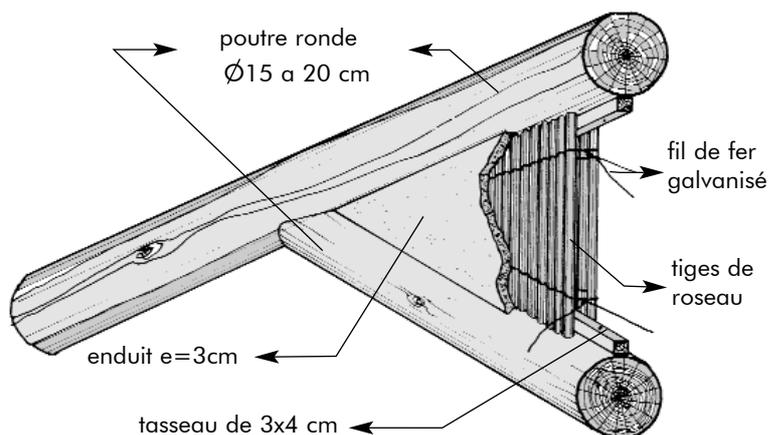
## Solution 2. Pignon allégé



Si le séisme a détérioré le mur pignon et qu'une partie de ce dernier s'est écroulée, il est recommandé de le démonter et de le remplacer par une ferme de toiture ou une structure en bois beaucoup plus légère et résistant mieux à un séisme.



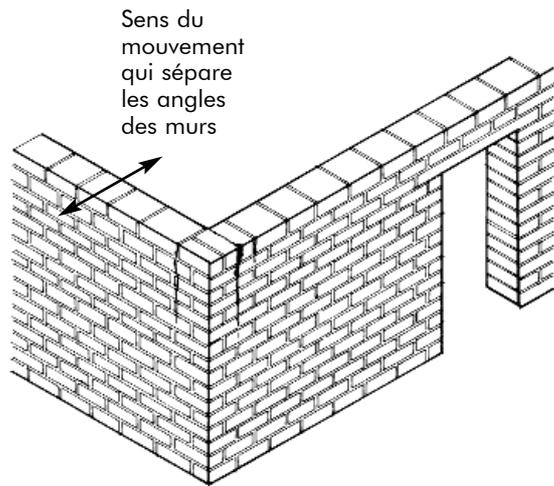
La structure du toit est réalisée selon la technique du torchis, qui consiste à fabriquer un treillis de tiges de canne ou autres, revêtues d'un mortier de terre



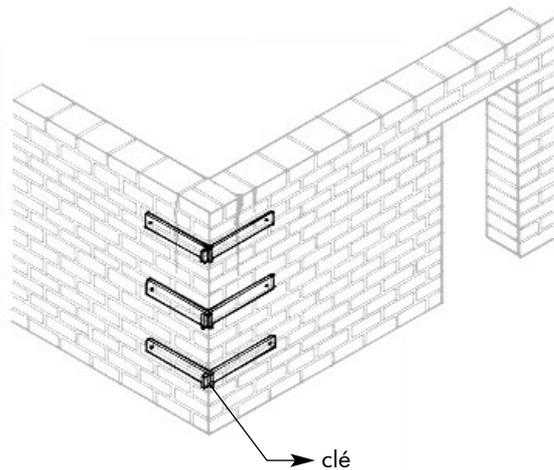
Ce détail de la structure du pignon permet de voir de plus près comment est réalisée la solution des tiges de roseau fixées avec du fil de fer galvanisé et revêtues d'un mortier de terre.

# ANGLES DES MURS

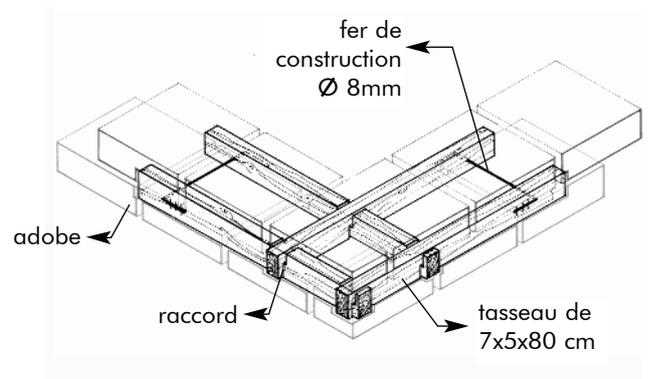
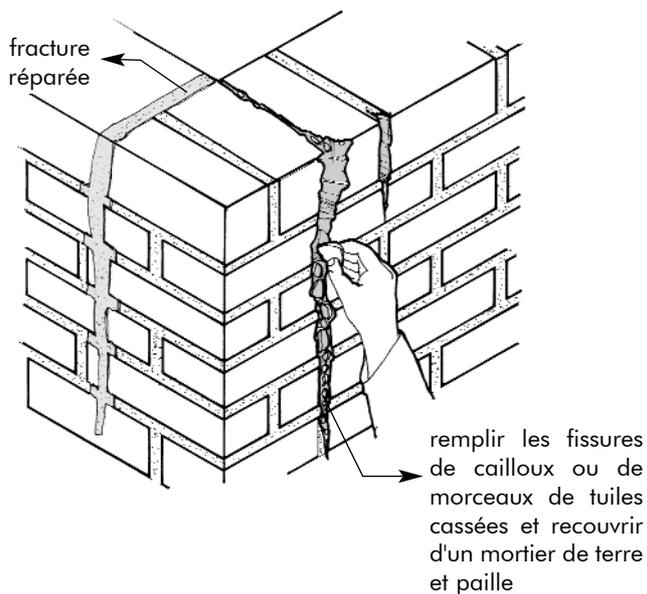
## Solution 1. Renforcement au moyen de clés



L'une des zones fragilisées par un séisme est celle des jonctions au niveau des angles, en particulier quand l'appareillage n'est pas parfaitement réalisé.



Si les fissures sont limitées et qu'il n'y a pas de décollement, on pourra réparer en installant des clés. Il est recommandé de les installer toutes les 5 couches et toujours avec reprise dans les joints. L'insertion dans le mur pour l'installation des pièces de bois qui composent la clé doit être faite avec beaucoup de soin, afin d'endommager le moins possible les briques d'adobe. On recouvre ensuite d'un mortier de terre et paille et on remplit les espaces restants entre la clé et le mur.

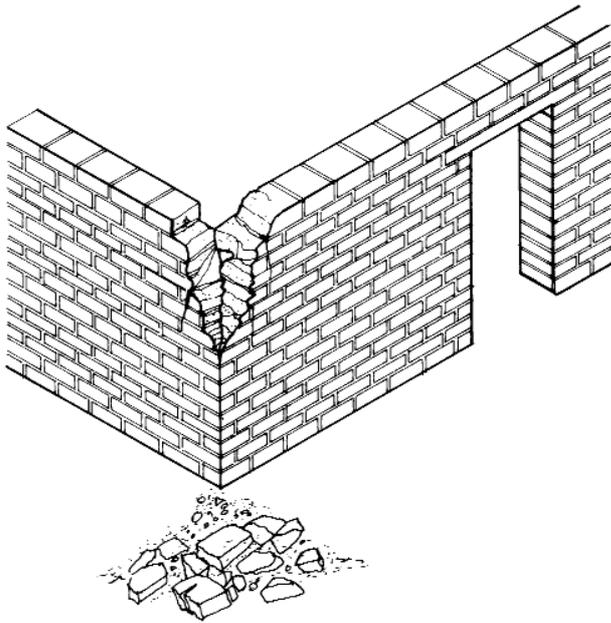


### Détail de la clé

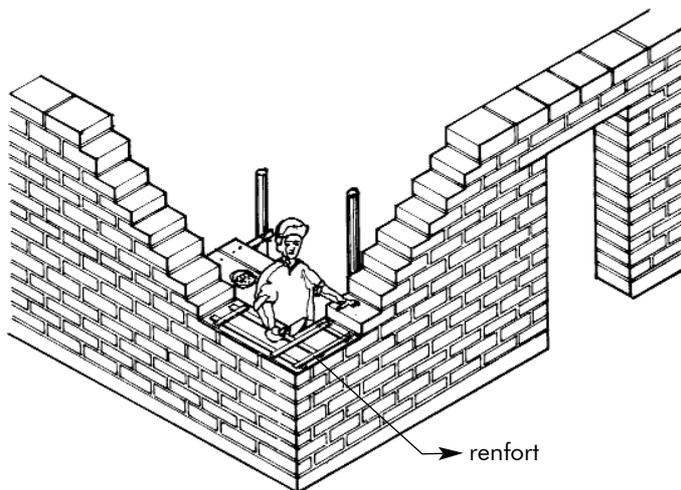
Ce raccord de bois est réalisé par chevillage mâle-femelle

## RACCORDEMENTS DES MURS

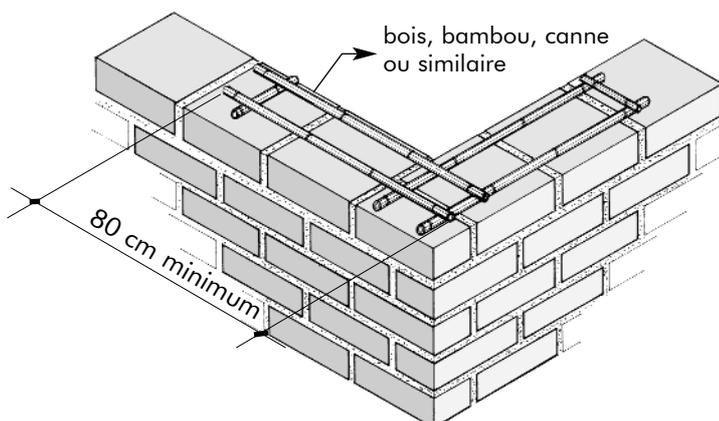
### Solution 2 : Démontage et reconstruction



Lorsque les raccords de murs présentent des dommages importants, par exemple avec écoulement de leurs parties, il convient de procéder à une réparation plus approfondie et délicate.



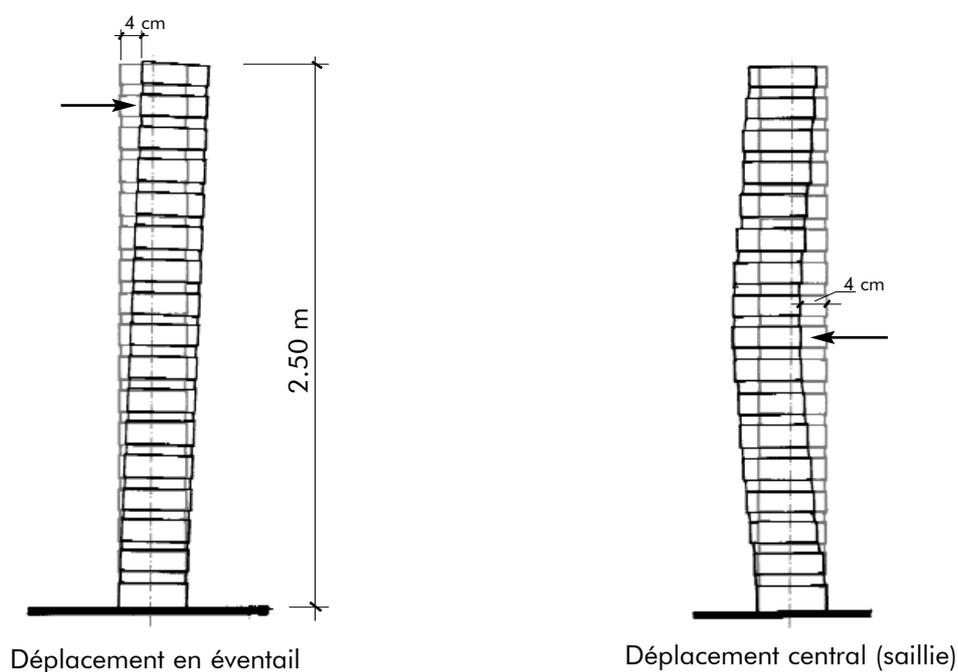
On commence par démonter le mur selon une forme d'escalier des deux côtés, puis on pose de nouvelles briques d'adobe pour lever le mur et pour éviter que ne se reproduisent les détériorations, on installe toutes les 4 couches un renfort (clé) qui restera noyé dans le mur. L'autre solution consiste à reconstruire à l'aide de contreforts ou de chevilles, pour cela il faudra reprendre à partir des fondations.



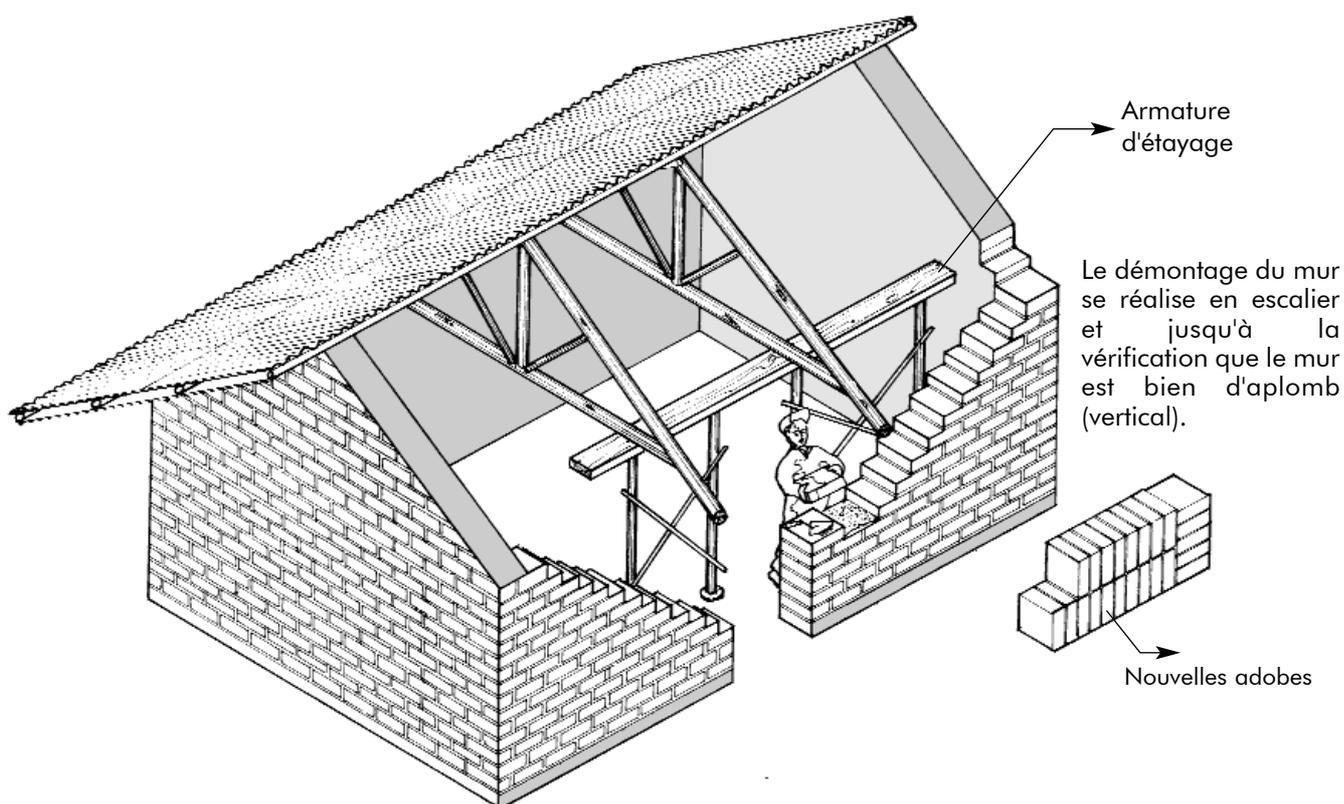
Dans ce détail du renfort, on peut voir une solution de type "clé" réalisable à l'aide de tiges ou de cannes, dont le comportement parasismique est efficace. On peut aussi utiliser d'autres matériaux et techniques, bois, bambou ou treillis avec mortier.

## MURS

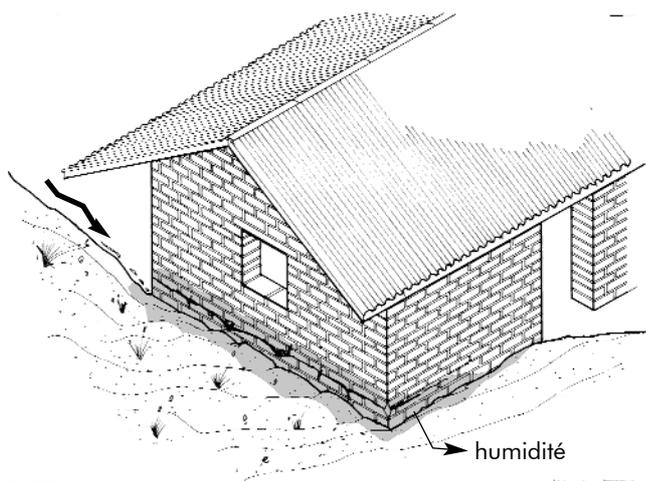
Après un séisme, si un mur subit des déplacements et présente un défaut d'aplomb de 2% par mètre linéaire, il faut le démonter ou le démolir complètement, puisque ce défaut d'aplomb fait que le mur perd sa capacité portante. Pour cela, il convient de démonter le mur en vérifiant auparavant la stabilité de la toiture préalablement étayée.



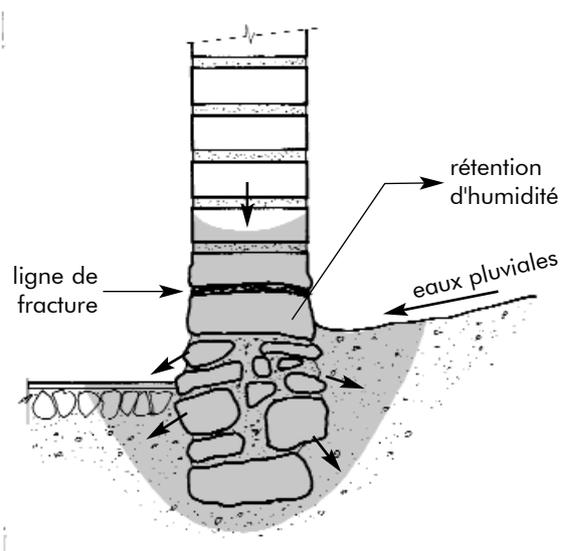
Si le défaut d'aplomb est inférieur à 1% et que les murs ne présentent pas de dommages ou fissures diagonales qui le traversent complètement, on peut procéder à la réparation des parties affectées.



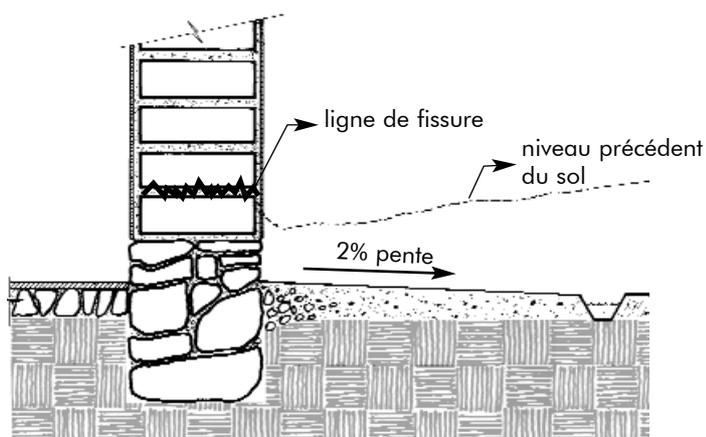
## FONDATEMENTS ET SOUBASSEMENTS



L'une des causes les plus fréquentes de détérioration des murs d'une maison est due au fait que ceux-ci se trouvent en contact direct avec le sol, ce qui en fait un élément vulnérable sur le trajet d'un séisme.

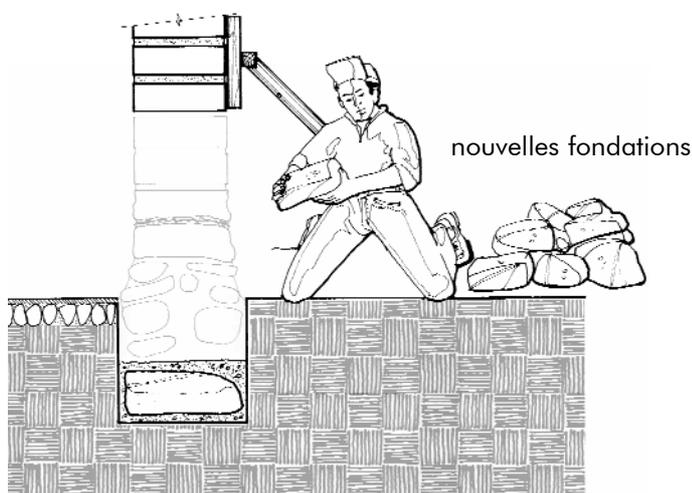


Exemple : murs situés dans un terrain avec pente inclinée vers le mur. Fondations et soubassements de mauvaise qualité et instables, propices aux affaissements du fait de l'humidité et de la mauvaise qualité des sols.



### Solution 1 : nettoyage et mise à niveau

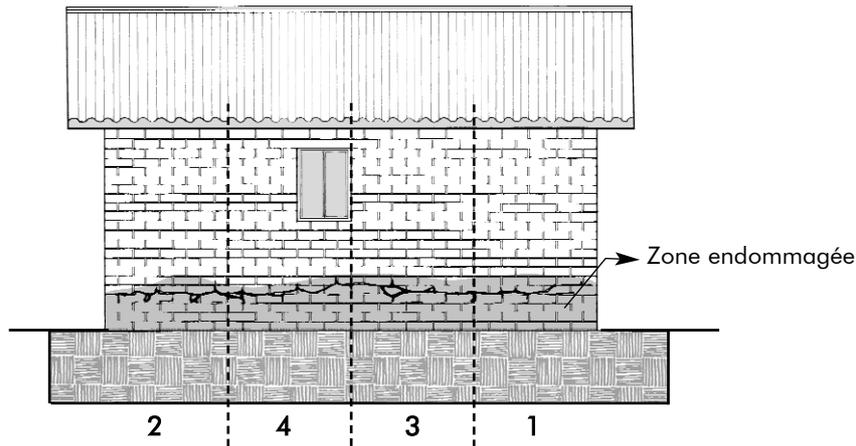
Si après un séisme le mur présente des fissures par tronçons et que les briques d'adobe sont en bon état, on peut éliminer la terre qui recouvre le mur jusqu'à trouver les soubassements et laisser le niveau du sol 10 cm au minimum au-dessous des soubassements.



### Solution 2 : démolition et reconstruction

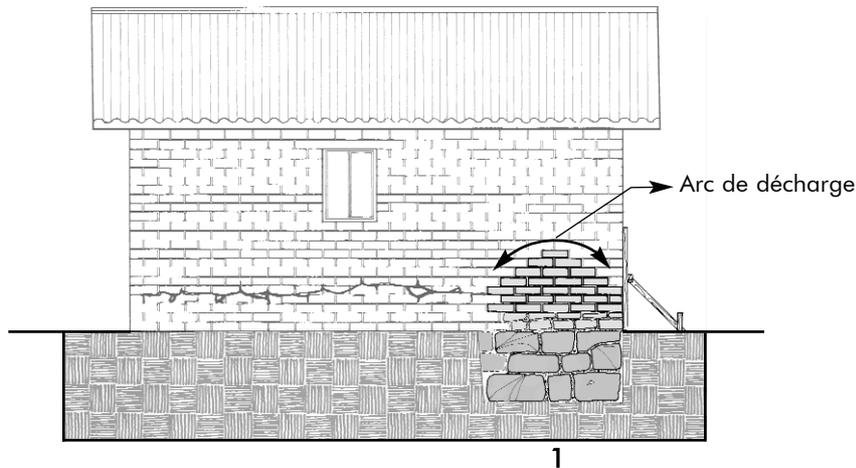
Si après le séisme la base du mur présente des éboulements, des fissures dans l'ensemble du mur et des écroulements qui mettent en danger la stabilité du mur, il convient au préalable de l'étayer et de le démonter, pour reconstruire un nouveau mur après reprise des fondations.

## ETAPES DE REPARATION DES MURS

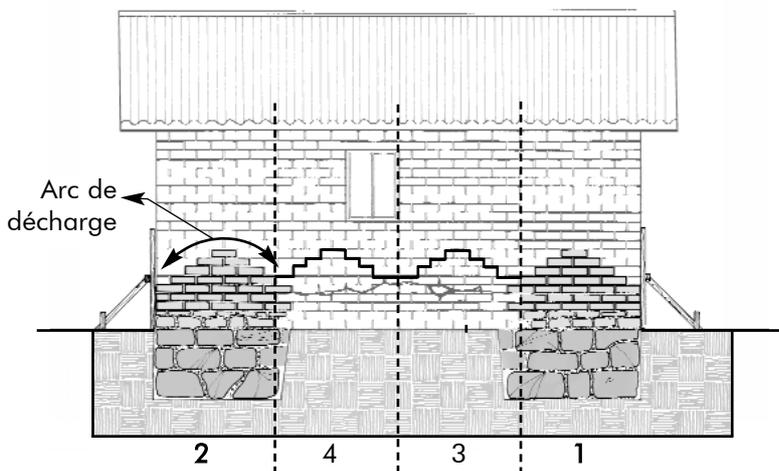


La manière correcte de réparer un mur endommagé dans sa longueur se subdivise en plusieurs étapes :

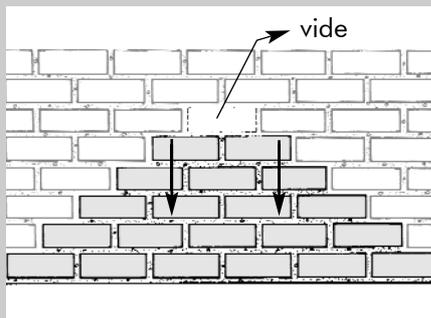
**Premièrement:** - diviser la longueur de la zone endommagée en tronçons de 1,20 m - 1,50 m, en commençant par les extrémités



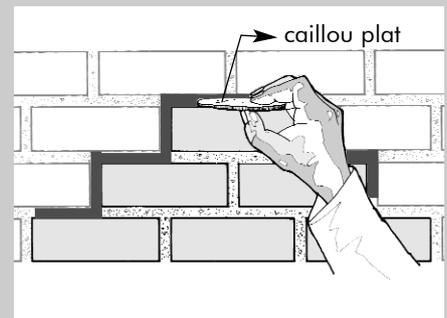
**Deuxièmement:** une fois divisé le mur, on procède à son étayage latéral. On démonte ensuite la première partie choisie en formant ce qu'on appelle un **arc de décharge**. On reconstruit alors les fondations et soubassements (si ceux-ci sont affectés ou inexistantes), puis à la reconstruction du mur



**Troisièmement** changer de position et passer de l'autre côté afin de stabiliser la maison et ainsi de terminer successivement les différentes parties sélectionnées, position 3 et position 4.

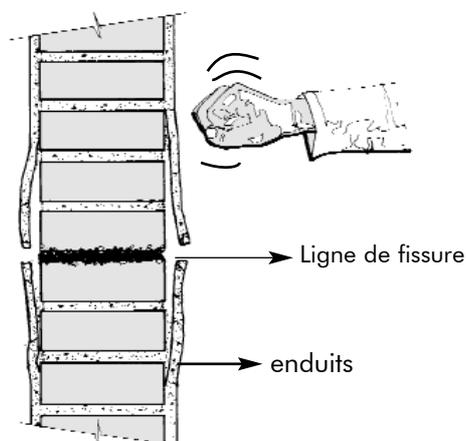


- avant de placer la dernière brique d'adobe, on laisse sécher le mur afin qu'il se tasse et prenne sa position finale (sous l'effet de sa rétraction et de son poids propre);
- une fois placée la dernière brique d'adobe, prendre soin d'insérer au niveau du joint supérieur quelques cailloux plats afin de stabiliser le mur dans son ensemble.



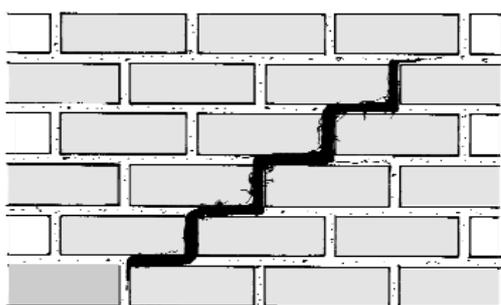
## REPARATION DES ENDUITS

Après un séisme, un mur présente des fissures qui correspondent aux effets types que produit un séisme. Si la maison est réalisée avec des mortiers de recouvrement, ceux-ci subissent aussi fissures et détachements.



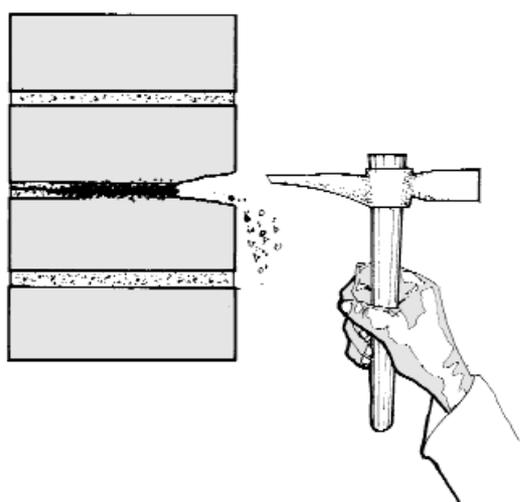
### Vérification des dommages

Vérifier les parties de l'enduit qui sont détachées au moyen de petits coups de manche, s'il y a une sonorité de creux, c'est qu'il y a détérioration, procéder à l'élimination du mortier détérioré.



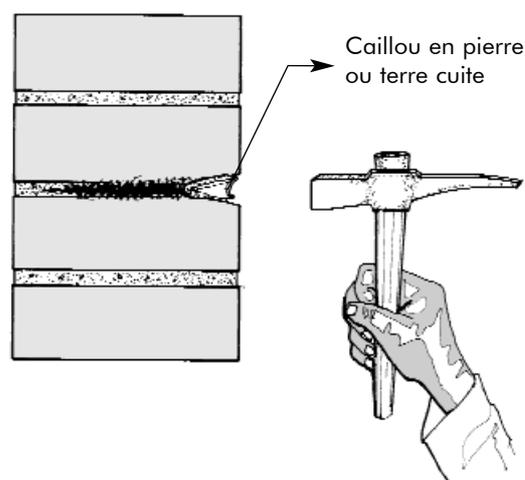
### Elimination du mortier détaché

L'élimination des parties de mortier endommagé permet de vérifier l'importance des fissures que présente le mur et ainsi d'évaluer sa réparation.



### Nettoyage

Avant de réparer un mortier, on commence par réparer la fissure du mur en nettoyant la ligne de la fissure.



### Remplissage

On installe quelques cailloux de pierre ou de terre cuite, enfoncés de force, puis on recouvre de mortier de terre. Après séchage, on réalise le mortier de recouvrement de façon à obtenir un raccordement avec le mortier existant.