

Nefta 19-20 Décembre 2008

***MECANIQUE des STRUCTURES en MAÇONNERIE
REALITE PHYSIQUE et MODELES STRUCTURELS
L'EXPERIENCE de NEFTA***

Giuseppe FAILLA, Paolo FUSCHI

● *Objectifs des leçons données*

- *Les sujets traités ont été orientés vers la compréhension du comportement physique-mécanique des constructions en maçonnerie, à travers l'identification des organismes structuraux, qui sont reconnaissables dans les constructions mêmes, et l'étude des modèles analytiques aptes à les représenter.*
- *Le cours, en se confrontant à la difficulté de concilier intuition et rigueur analytique, s'est proposé de fournir aux élèves les instruments analytiques nécessaires, en rappelant, quand cela est nécessaire, quelques connaissances de base.*

- *L'itinéraire de formation proposé a impliqué de brefs rappels des concepts théoriques fondamentaux, de "Statique", de "Physique", de "Mécanique Rationnelle", de "Mécanique des Structures", de "Technique de Construction", quand ils se sont rendus nécessaires à la résolution de problèmes réels, lors d'un projet de conservation.*

- *Tous les sujets ont été présentés en s'inspirant de problèmes réels sélectionnés, en général, dans le monde des constructions en maçonnerie et, en particulier, dans les typologies de construction locales.*
- *Les exemples réels ont été choisis soit dans le but d'illustrer l'application de la théorie, soit d'étudier et d'approfondir des concepts théoriques fondamentaux.*

Les exemples ont eu aussi pour but de fournir aux élèves une méthodologie générale pour la résolution de ce qui, pendant le cours, a été identifié comme problème d'analyse d'un organisme structural en maçonnerie, ce problème étant propre aux constructions caractéristiques de l'habitat historique de Nefta.

● *Contenu didactique*

● *les constructions en maçonnerie*

- *considérations générales ... processus projectuel*
- *les structures de couverture: les systèmes non-poussants et les systèmes poussants*
- *les structures d'élévation: les murs en pierre de taille et en brique*
- *les structures de fondation: superficielles et non, filantes et isolées*
- *les constructions en maçonnerie de pierre ou briques: critères de projet*
- *la conception d'ensemble du bâtiment, analyse des charges agissants*
- *éléments de bordure, systèmes de chaînage, épaisseurs minimales des murs, maçonnerie armée*
- *modalités d'applications des charges, les ouvertures dans les murs*
- *les liaisons plancher-mur, modélisation des liaisons, les appuis*
- *dimensionnement simplifié des murs et des planchers*

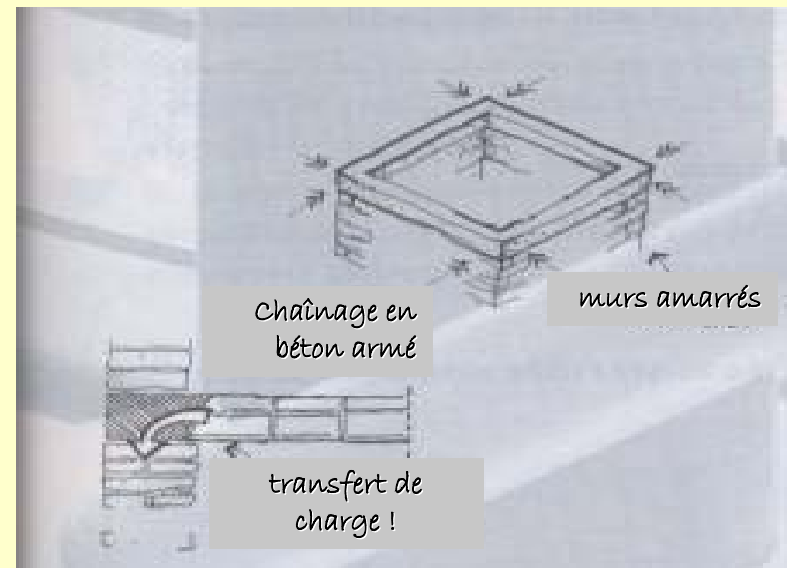
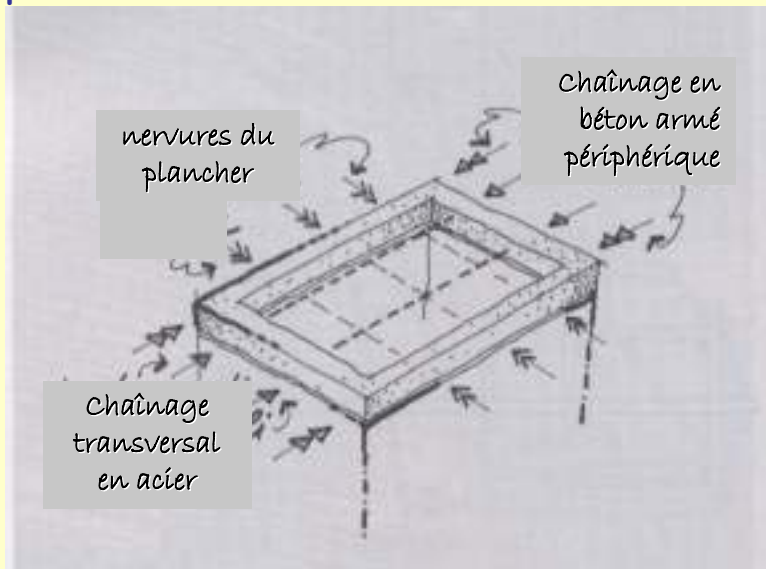
- *techniques d'analyse et de calcul des éléments structuraux*
- *caractéristiques mécaniques de la maçonnerie en pierre ou en brique*
- *les éléments résistants artificiels et naturels, les mortiers*
- *la résistance de la maçonnerie, modalités de construction, la texture de la maçonnerie*
- *hypothèses sur le comportement du matériau*
- *critères de vérification et de projet des sections résistantes*
- *valeurs caractéristiques de la résistance et des contraintes admissibles*
- *méthodes de calcul des murs, états de sollicitation et stabilité des murs*
- *rappels de mécanique des solides: sollicitations simples et composées*
- *la flexion composée dans le cas de matériaux non résistants à la traction*

- *vérification et projet de murs en pierre ou en brique, la maçonnerie de blocage, l'instabilité*
- *le calcul des éléments horizontaux en bois, caractéristiques du matériau*
- *critères de vérification, contrainte admissible, modalités d'application des charges*
- *linteaux en bois, planchers à structure porteuse en bois*
- *le calcul des éléments horizontaux en acier, caractéristiques du matériau*
- *critères de vérification, contraintes admissibles, modalités d'application des charges*
- *charpente en acier, linteaux en acier, planchers à poutres porteuses en acier*
- *linteaux en maçonnerie, câble et arc, éléments de statique graphique*
- *polygone des forces, polygone funiculaire, courbe des pressions*
- *projet et vérification d'arcs et voûtes en maçonnerie, escaliers en acier et en bois*

- *investigations, diagnostics, techniques de renforcement des structures*
- *analyses des pathologies mécanique et de la dégradation, fissures dues à la traction et à la compression*
- *pathologies mécaniques de parois, arcs, voûtes, éléments structuraux en bois et en acier*
- *investigations, niveaux de connaissance, étançonnements, vérifications*
- *essais, prélèvement d'échantillons, tests in situ et en laboratoire, méthodologies d'épreuve*
- *évaluation, diagnostic, matériaux pour le renforcement, technologies opératives*
- *interventions sur les fissures dans les murs et dans les poteaux, application de tirants et chaînages*
- *interventions sur arcs et voûtes, insertion de chaînages au niveau des planchers*
- *interventions sur planchers à structure porteuse en bois, en acier, à voûte*
- *interventions sur les fondations et renforcement du sol*

... quelques moments du Cours...
...raconté par images !!!

- murs et planchers doivent être opportunément reliés entre eux; en particulier, tous les murs doivent être reliés au niveau des planchers à travers un chaînage périphérique en béton armé (noyé dans l'épaisseur des murs) et doivent être amarrés mutuellement le long les intersections verticales; en outre, il faut adjoindre des chaînes en acier au niveau des planchers;



à Nefta ... *vieilles constructions:*



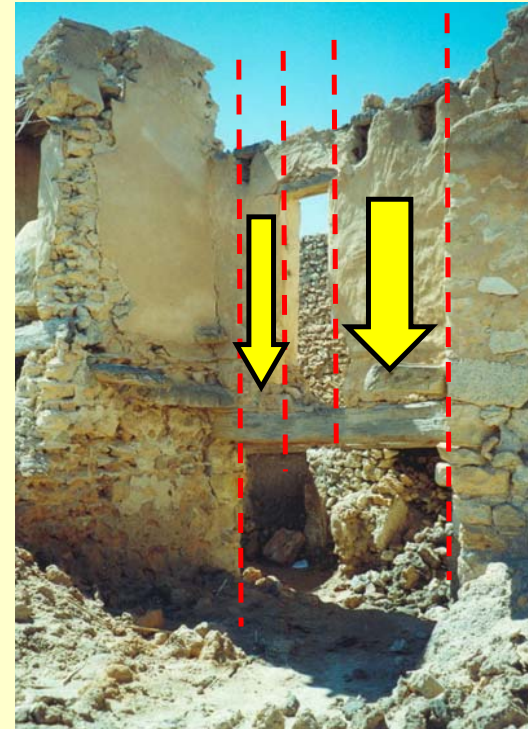
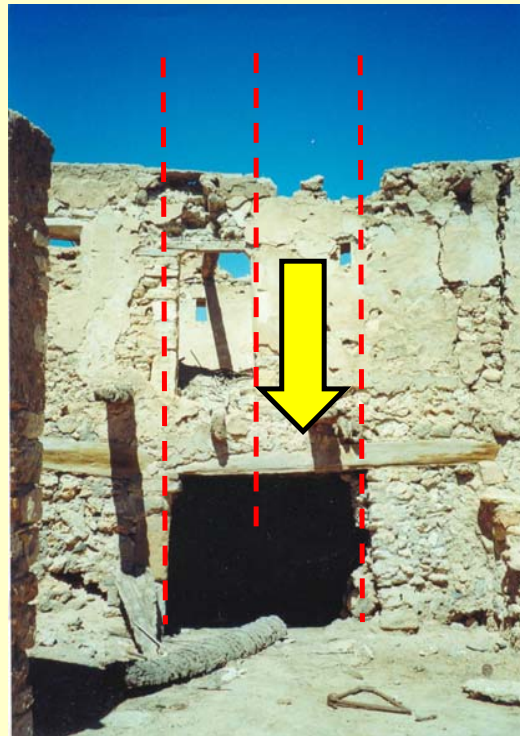
celui-ci n'est pas un élément de chaînage mais il a pourtant une fonction de liaison (par frottement) et surement de répartition des charges sur la maçonnerie au-dessous !

à Nefta ... *nouvelles constructions:*
À gauche, il n'y a pas de chaînage !
à droite si!



- en outre, il est opportun que les **fenêtres, portes et autres ouvertures** soient alignées **verticalement**; de cette façon, la transmission des efforts **verticaux** le long les murs porteurs est directe et sans interruption causée par les ouvertures.

*à Nefta ...
vieilles
constructions:*



... dans les nouvelles constructions en maçonnerie à Nefta, souvent les critères décrits au-dessus ne sont pas appliqués !!

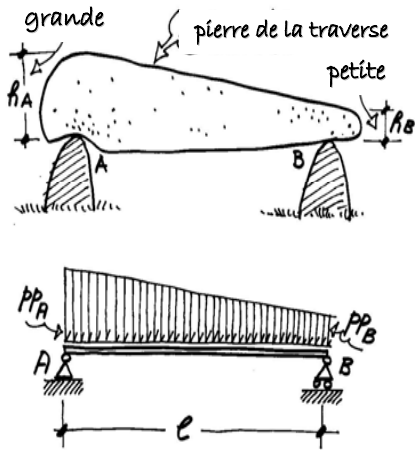


absence de chaînage !!...

liaison avec la structure préexistante ??

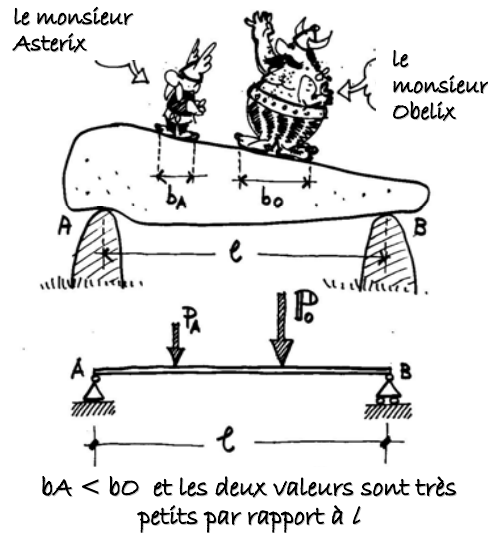
- Les charges décrites jusqu'à maintenant ont, chacune, une caractéristique particulière:

Fig. 2.3 La géométrie réelle de la pierre qui constitue la traverse fournit la loi de distribution du poids propre de l'élément



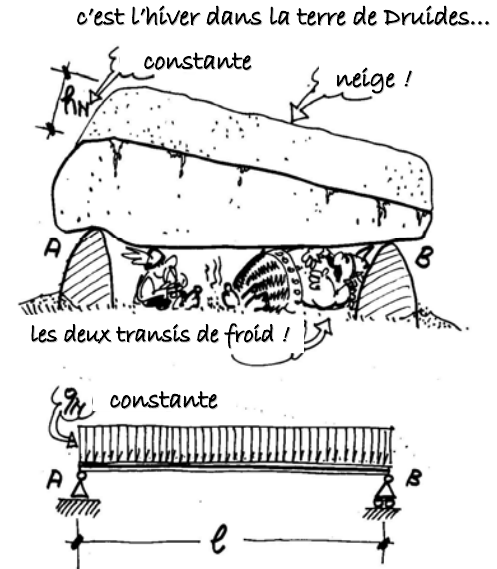
... la charge pp (poids propre) est **permanente**, il a toujours le même valeur et il est toujours là !!

Fig. 2.2 Les deux personnages sur le schéma statique de la traverse constituent deux types de charge réels. Le plus petit pèse P_A et le plus gros pèse P_O ; on considère que les empreintes b_A et b_B sont très petites par rapport à la longueur l , donc les deux poids peuvent être considérés concentrés



... les charges P_A et P_O sont présentes quand les deux hommes montent sur la traverse, ils s'appellent d'**exploitation** !!

Fig. 2.4 Le poids de la neige peut être modélisé comme une charge distribuée uniformément



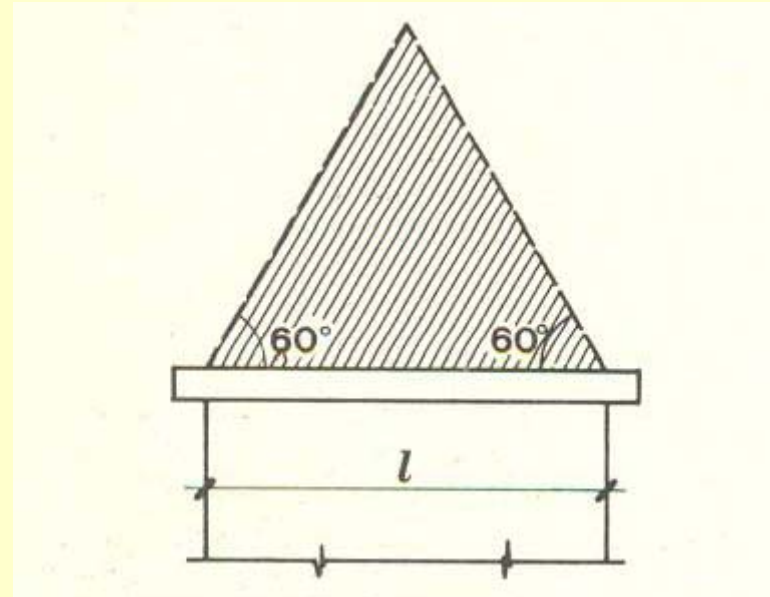
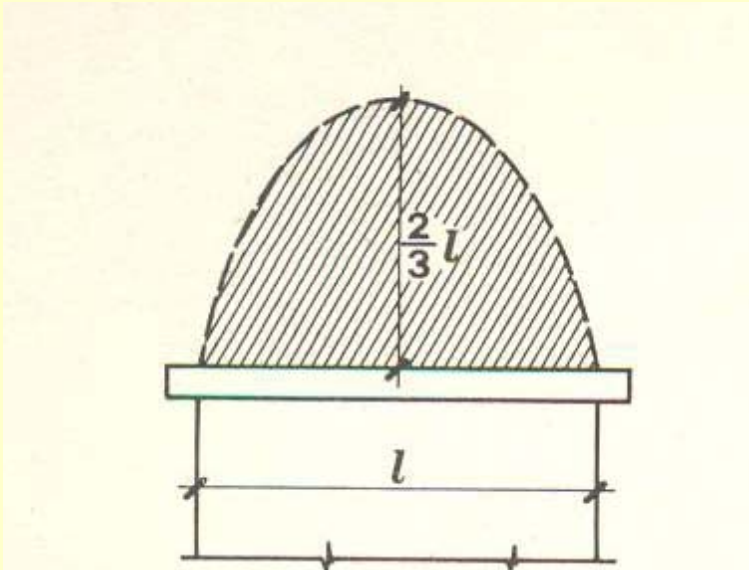
... la charge q_N est présente avec une certaine fréquence (annuelle ou 0 décennale) et a intensité **variable** !!

linteaux à Nefta

Linteaux

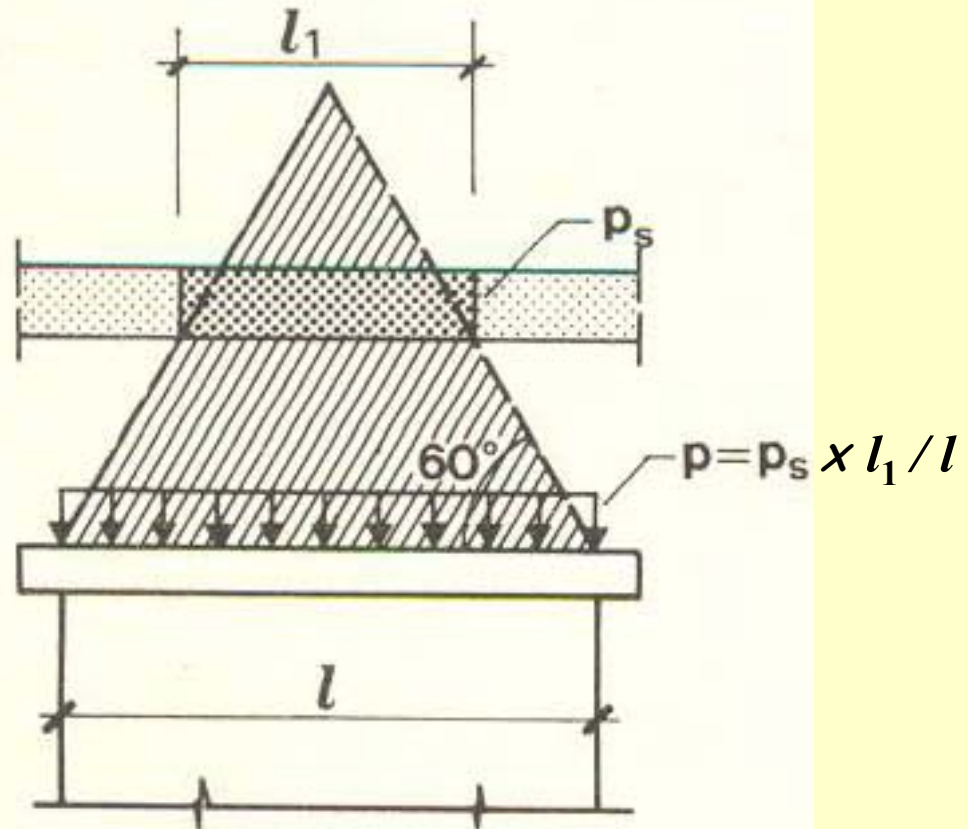


- *La charge reposante sur le linteau peut être calculé en considérant une tronçon de mur limité par une parabole de flèche égale à $\frac{2}{3}l$ de la largeur de l'ouverture ou un triangle équilatère situé au-dessus de l'ouverture:*

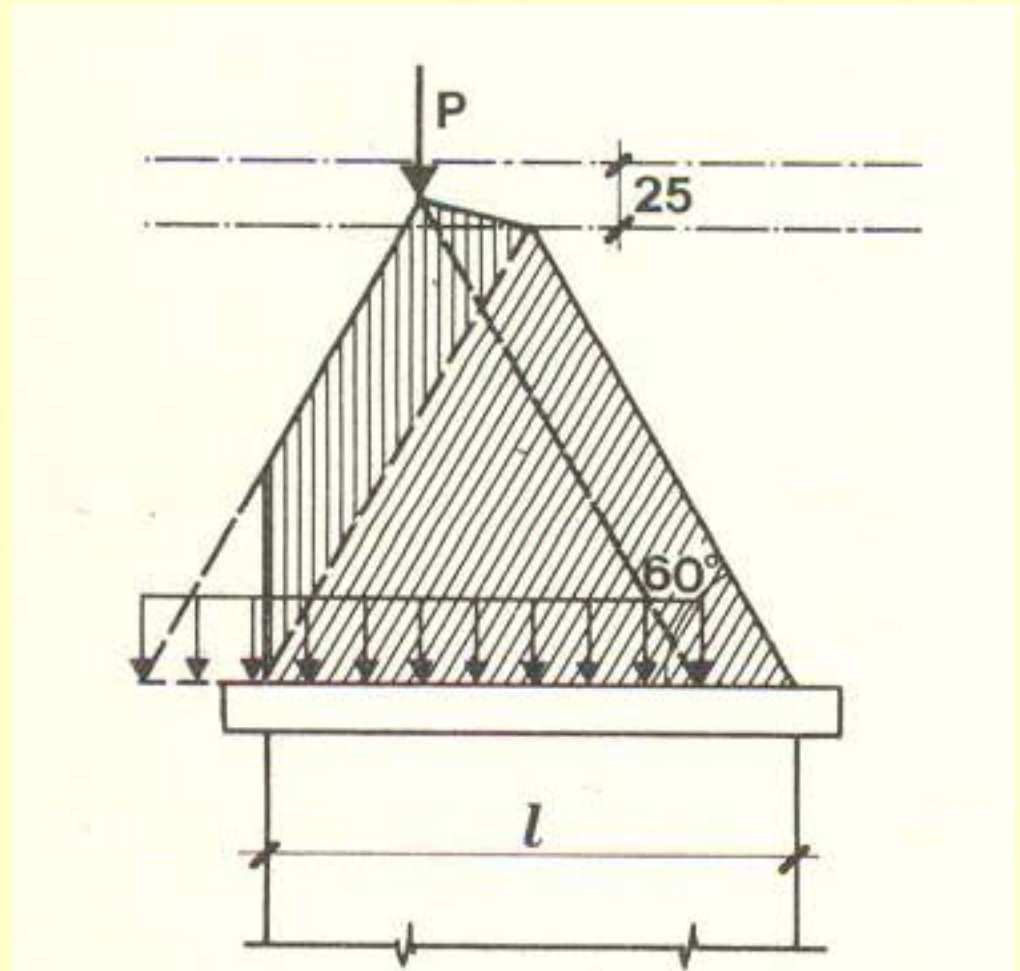


- *La schématisation à triangle è utile aussi pour tenir compte d'un éventuel plancher situé au-dessus, ou d'une charge concentrée ...*

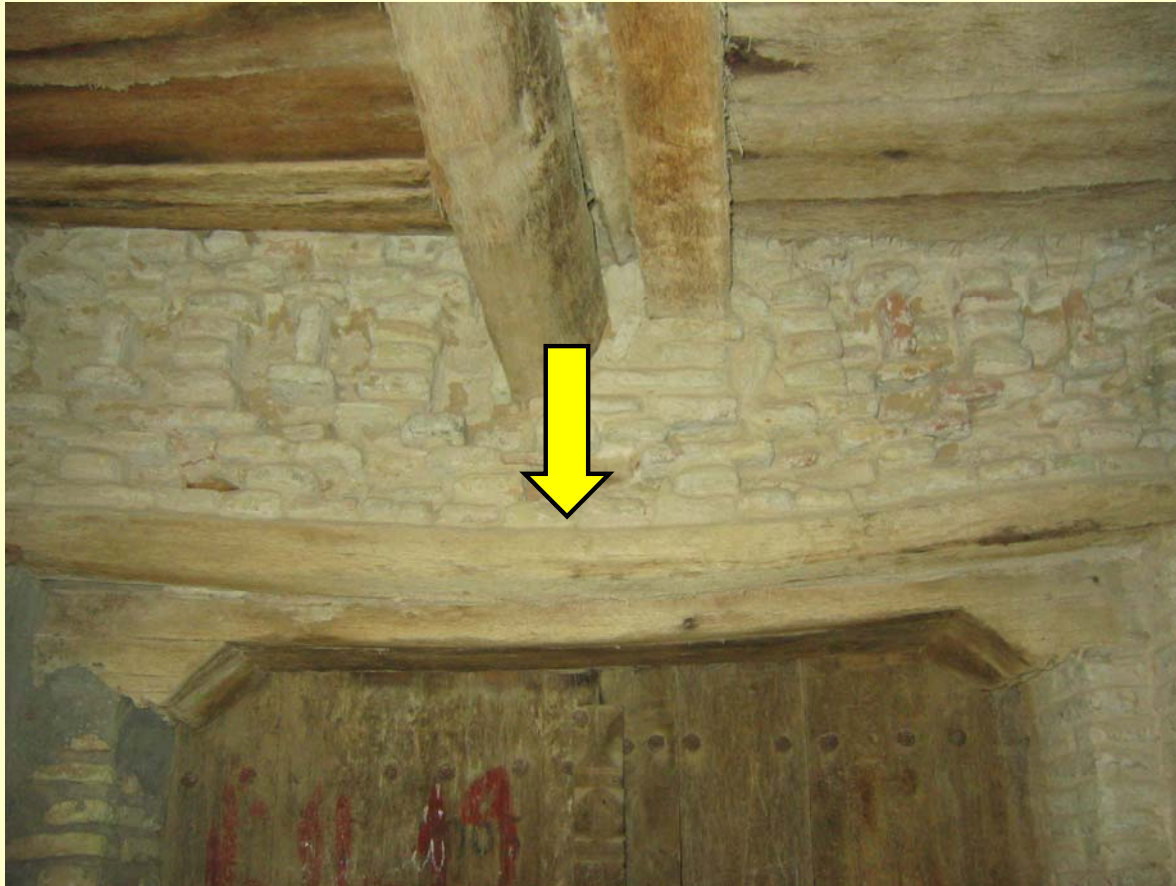
- ... dans le cas d'un plancher on suppose que la quote-part de la charge du plancher reposante sur le linteau est égale à la partie de la charge contenue à l'intérieur du triangle, p_s . La charge sur le linteau est donc calculée en répartissant p_s sur la largeur du linteau (c'est-à-dire, la base du triangle).



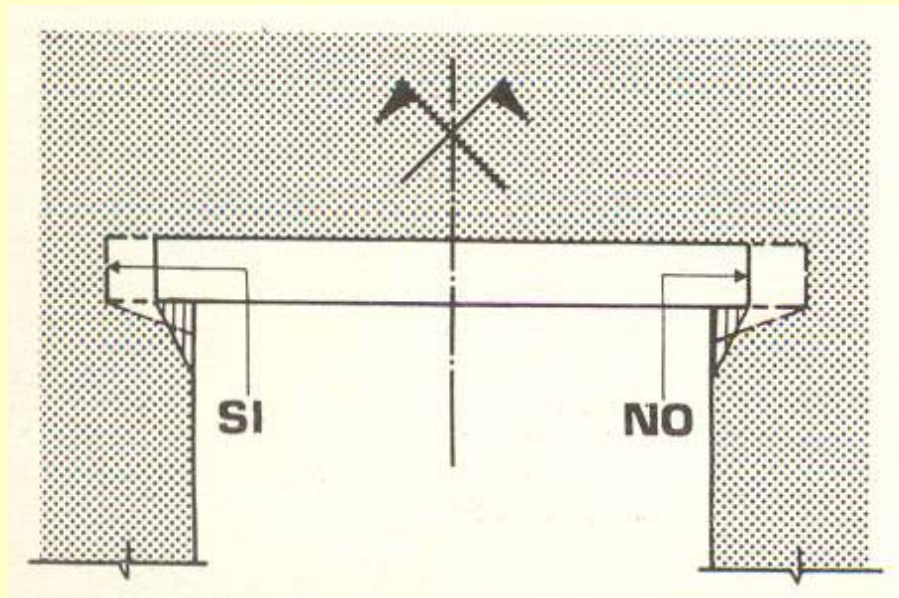
- ... dans le cas d'une charge concentrée on suppose que cette-dernière se répartit suivant des directions à 60° ; on tiens compte seulement des charges concentrées appliquées à l'intérieur de l'ouverture et à distance du sommet du triangle non supérieure à 25cm; la charge sur le linteau est calculée en considérant la quote-part correspondante à la surface marquée par l'hachure verticale montrée dans la Figure.



charge concentrée sur un linteau à Nefta



- *Le linteau franchissant une ouverture peut être réalisés de diverses façons: en pierre, en bois, en acier, en béton armé. Il est naturellement nécessaire de garantir un ancrage approprié du linteau dans le mur:
... un ancrage de longueur limitée engendre des contraintes élevés dans la maçonnerie
... pour effectuer les vérifications, pourtant, quelques règlements permettent de augmenter la contrainte maximale admissible du 30%*



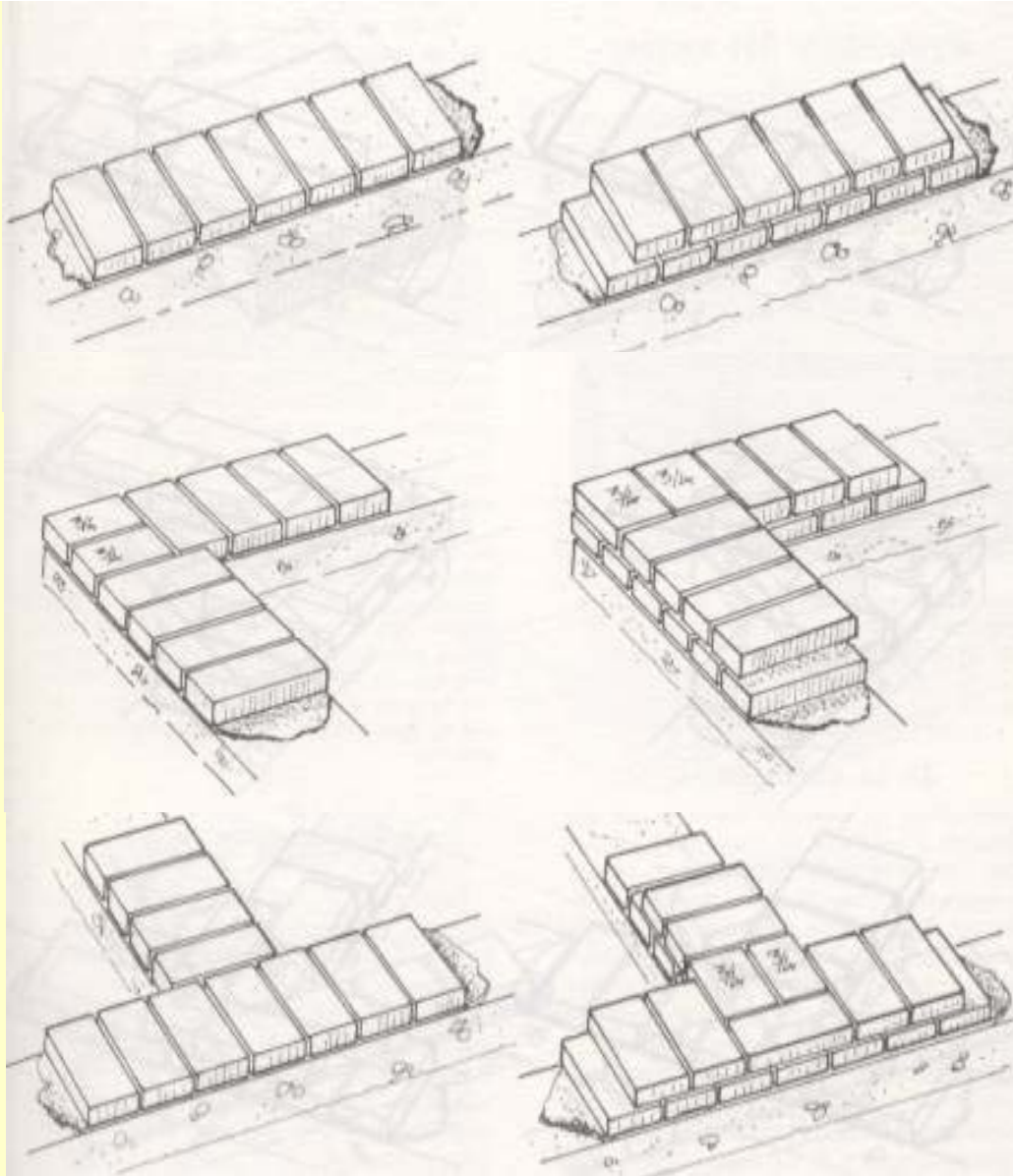
- *Modalités de construction, agencement des briques ou des pierres (appareil)*

L'appareil d'une ouvrage en maçonnerie dépend de l'agencement et de la disposition des briques ou des pierres.

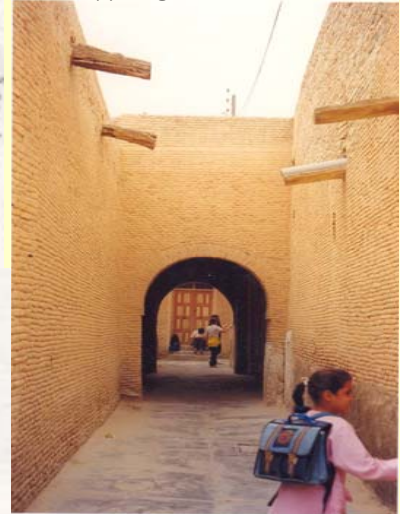
En suivant les règles suggérées par l'évidence expérimentale, on peut construire des maçonnerie qui présentent une résistance globale optimale. Dans ce but, c'est évident que il n'est pas conseillé d'utiliser des mortiers de faible résistance avec des briques de bonne résistance, comme c'est inutile d'utiliser des mortiers de bonne résistance avec des briques peu résistantes.

- *Pour les typologies de maçonnerie les plus fréquentes, l'agencement correct est reporté dans les figures suivantes où on indique aussi des techniques de construction qui garantissent:*
 - *une bonne liaison, ou "engrènement", entre les éléments composants;*
 - *contraintes dans le mortier pas trop élevées (et ça en limitant l'épaisseur de la même à valeurs compris entre 5 et 15mm).*

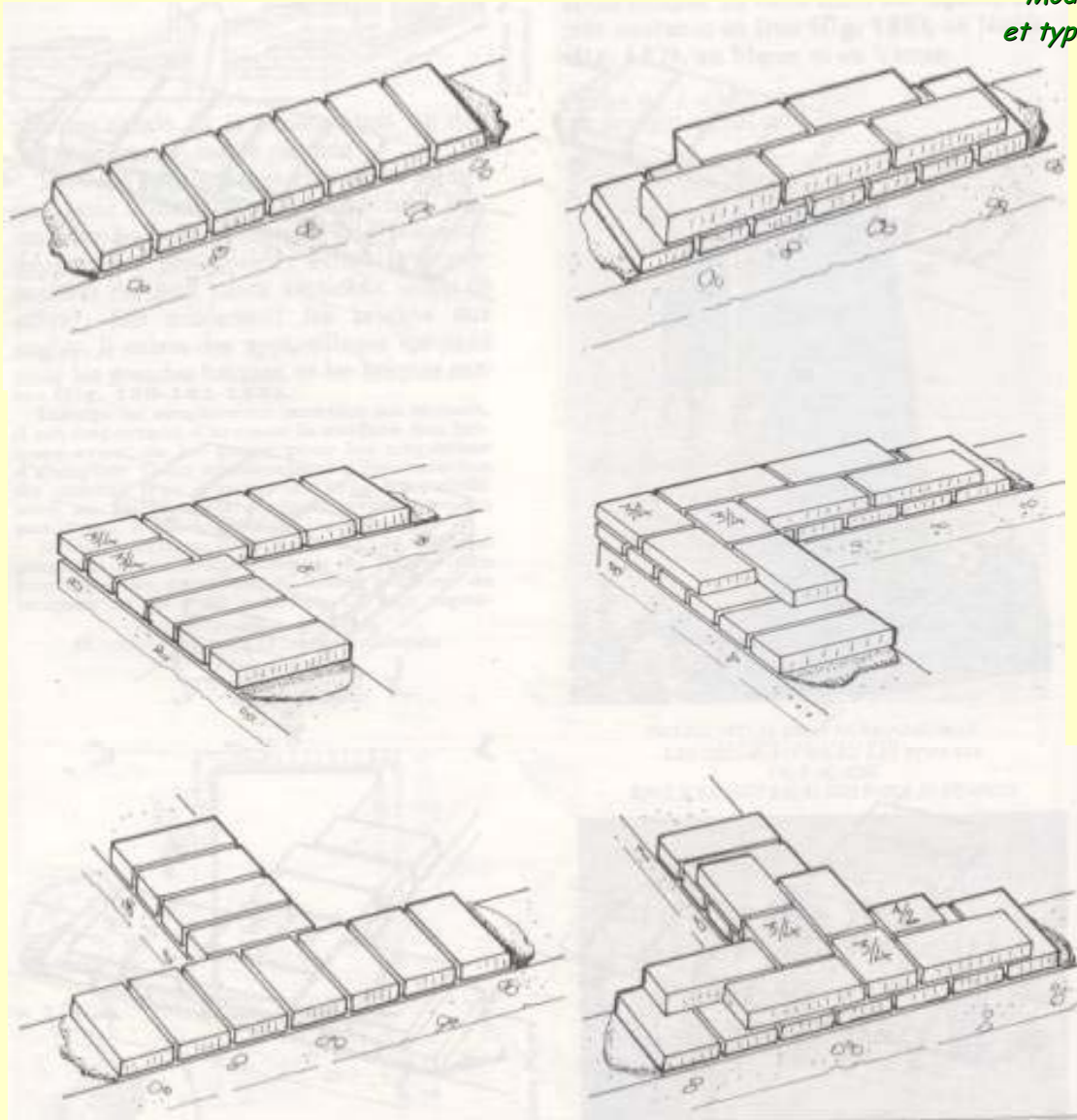
maçonnerie en
briques
pleines
rectangulaires
... produites et
utilisées à
Nefta!!



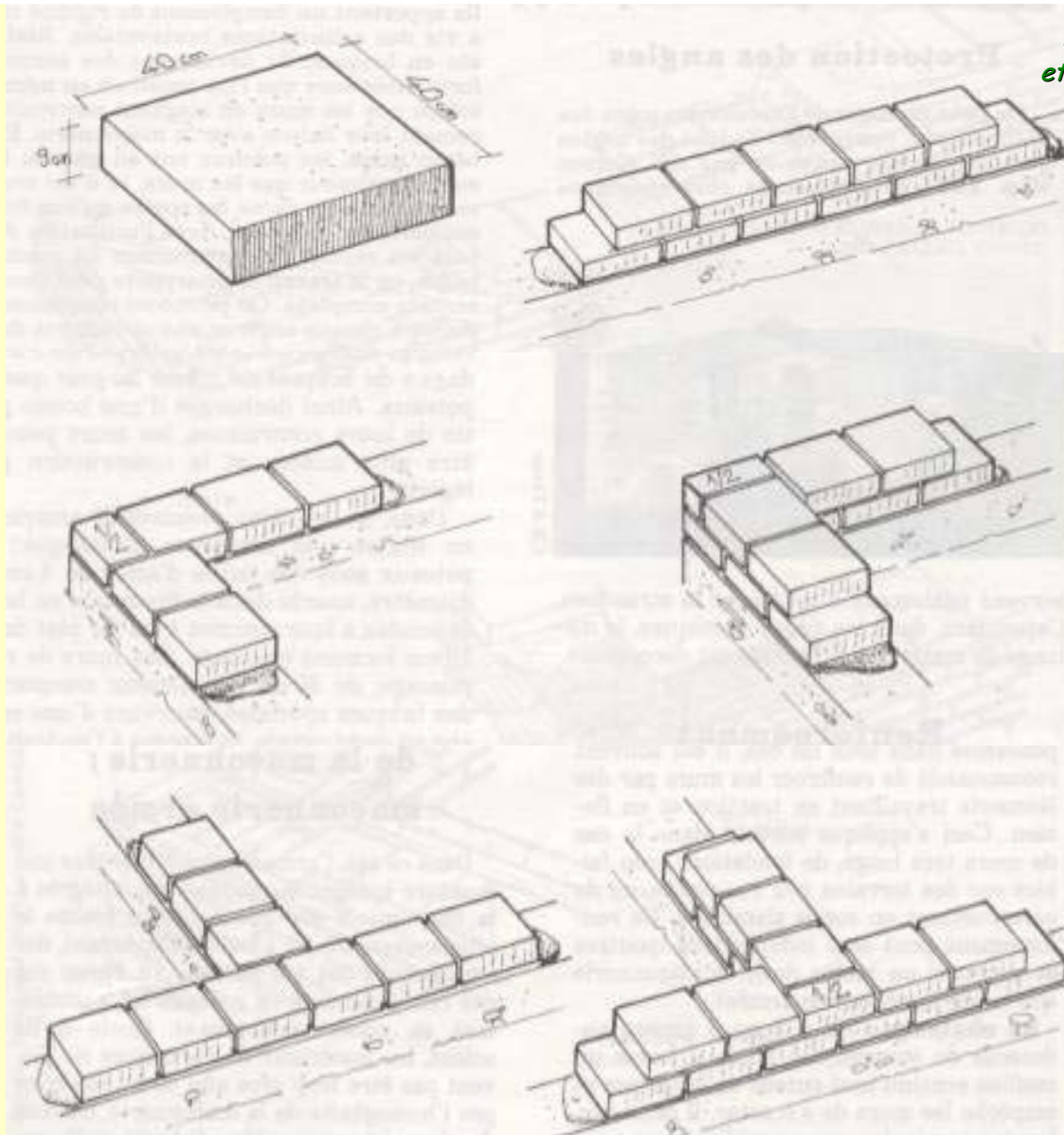
Modalités de construction
et typologies locales de mur



*briques pleines
rectangulaires
... agencement
alternatif*



*maçonnerie
en briques
pleines
carrées
... produites
et utilisées
à Nefta !!*



*Modalités de construction
et typologies locales de mur*

enduit intérieur à base de plâtre (1 cm)

mattoni forati (25 cm)

25
29
1,5

revêtement extérieur
(krinkler)

adhésif pour revêtement

couche d'enduit de préparation
gobetis lissé (1 cm)

*maçonnerie en
briques creuses
pour des murs
extérieurs*

... utilisée à Nefta !!



*maçonnerie en
briques creuses pour
murs intérieurs*

enduit de finition à base de
plâtre sur un gobetis (2 cm)

briques creuses
(8 cm)

laine de roche (7
cm)

2
8
7
12

briques de façade à
moitié pleines (12 cm)

*maçonnerie en briques
extérieures à moitié pleines
et intérieures creuses avec
un isolant interposé entre
les parements*

enduit à base de plâtre (1 cm)

1
8
10
1

enduit à base de plâtre (1 cm)

maçonnerie en briques creuses (8 cm)

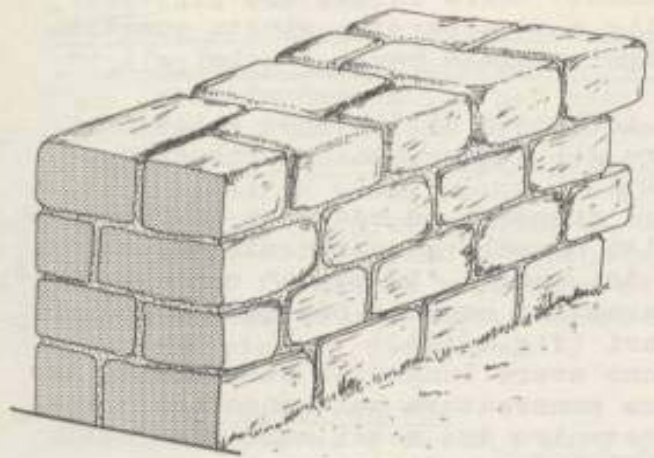
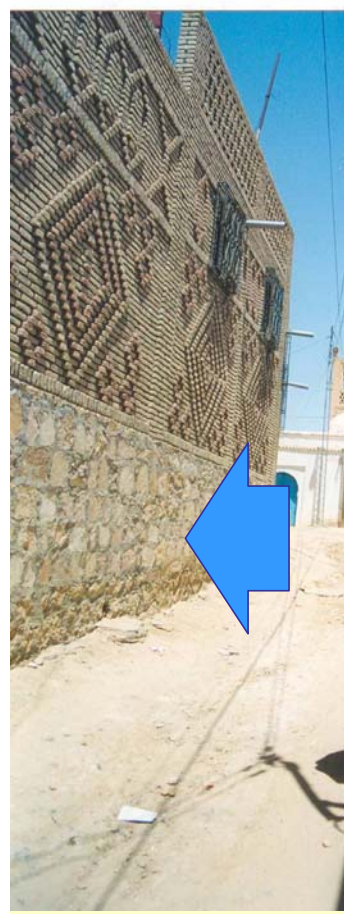


Fig.4/M - Muratura costruita seguendo la buona norma.

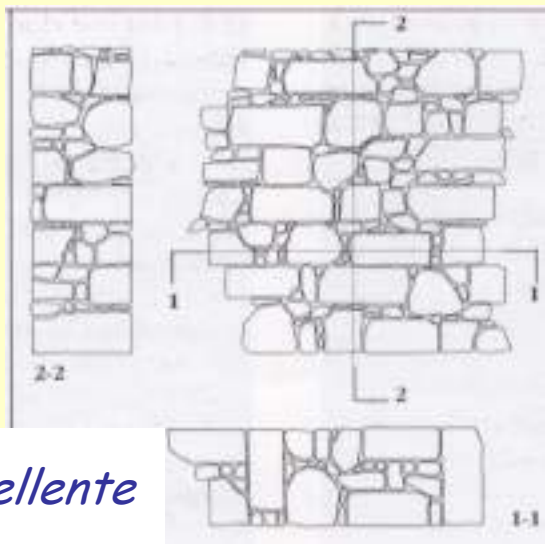


*b) Muratura di angolo con pietre più grosse,
regolari e lavorate con più cura.*

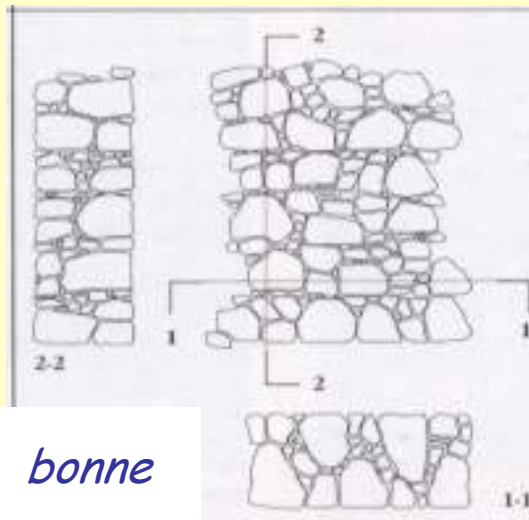
*maçonnerie en
pierre travaillée*

maçonnerie en pierre brute

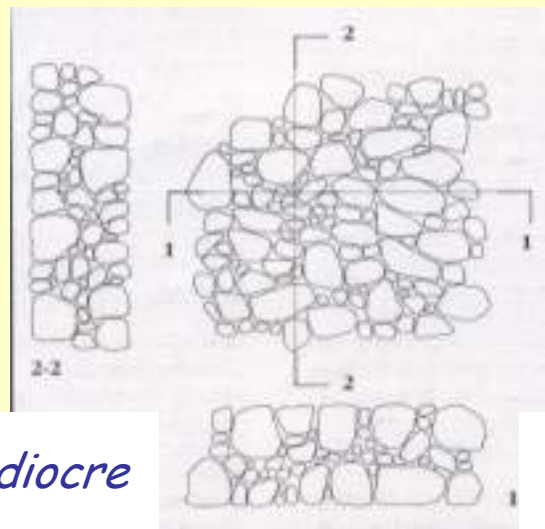
Modalités de construction
et typologies locales de mur



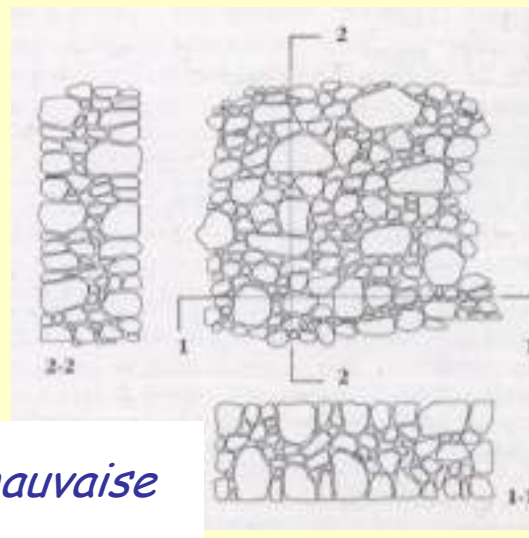
excellente



bonne



médiocre



mauvaise



maçonnerie en pierre à bandes

Appareil alternant une ou plusieurs assises de briques, posées horizontalement, qui fonctionnent comme un chaînage. Les assises de briques ont aussi la fonction de régulariser les lits de pose des pierres disposées au-dessus.

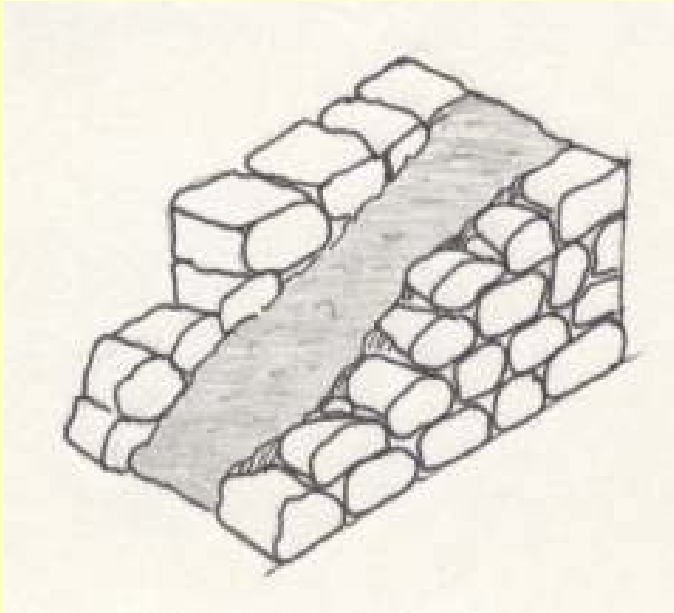


maçonnerie de blocage

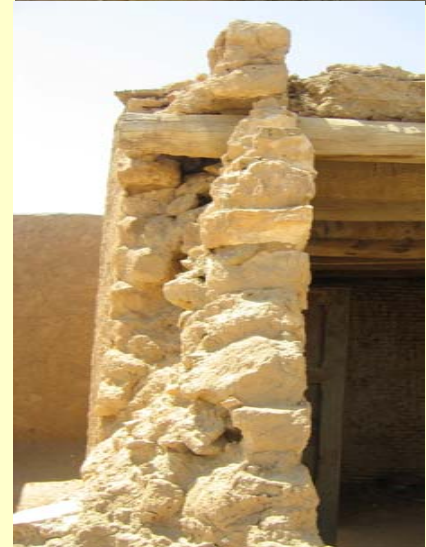
les deux parements extérieurs sont en pierre ou briques, le remplissage intérieur est, en général, un mélange d'un agrégat (cailloux, éclats de pierre, de terre cuite) et de mortier.

... à Nefta c'est très différente !!

*maçonnerie de blocage à Nefta
parements en pierre
et remplissage en terre crue ou pisé
renforcée avec de la paille*

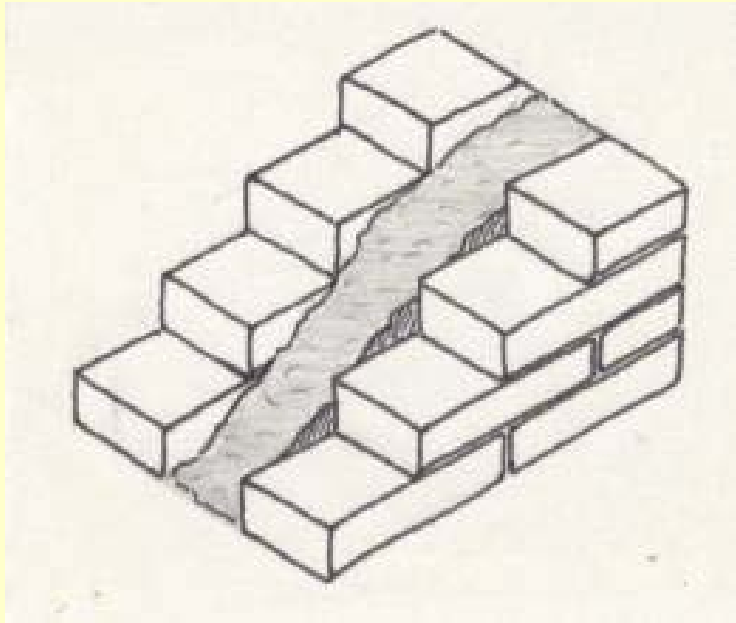


*Modalités de construction
et typologies locales de mur*



*maçonnerie de blocage à Nefta
parements en pierre
et remplissage en terre crue ou pisé
renforcée avec de la paille*

*Modalités de construction
et typologies locales de mur*



les murs à Nefta ... dans une seule photo !!



photo Ginex

- **La flexion composée dans le cas de matériaux non-résistants à la traction**
- *On a vu comme connaître la position de l'axe neutre soit fondamental pour déterminer les signes des contraintes et distinguer ainsi les fibres tendues et les fibres comprimées: soit dans le cas de matériaux qui offrent résistances différentes à la traction et à la compression (comme le bois), soit dans le cas de matériaux qui n'offrent pas résistance à la traction.*
- *Il existe en fait des matériaux incapables d'offrir résistance à la traction, ou dont les capacités de résistance à telle sollicitation sont faible ou incertaines et donc négligeables. Matériaux de ce genre sont les sols, le béton non-armé, les maçonneries en pierre ou en brique.*
- *Ces matériaux sont souvent soumis à sollicitation composée de flexion et compression: si le centre de pression est situé à l'intérieur du noyau central d'inertie ou, à la limite, sur son contour, la section est toujours toute comprimée et on peut traiter ces matériaux comme déjà expliqué...*

- ... pour ces matériaux, évidemment, **l'état de contrainte est totalement modifié lorsque C est situé à l'extérieur du noyau**, puisque dans ce cas seulement une partie de la section est comprimée; les formules données auparavant pour le calcul des contraintes ne sont plus appropriées car manque la contribution à la résistance de la partie tendue de la section !!



C'est assez intuitif de penser que, dans ces cas, puisque la zone tendue de la section ne peut pas offrir aucune résistance, le matériau devra supporter des contraintes plus grandes dans la zone comprimée, la seule capable de contraster l'action de la charge externe.

- **le poteau en maçonnerie soumis à flexion composée**

On considère un poteau en briques, ou en pierres équarries et lissées, à sec, sans mortier.

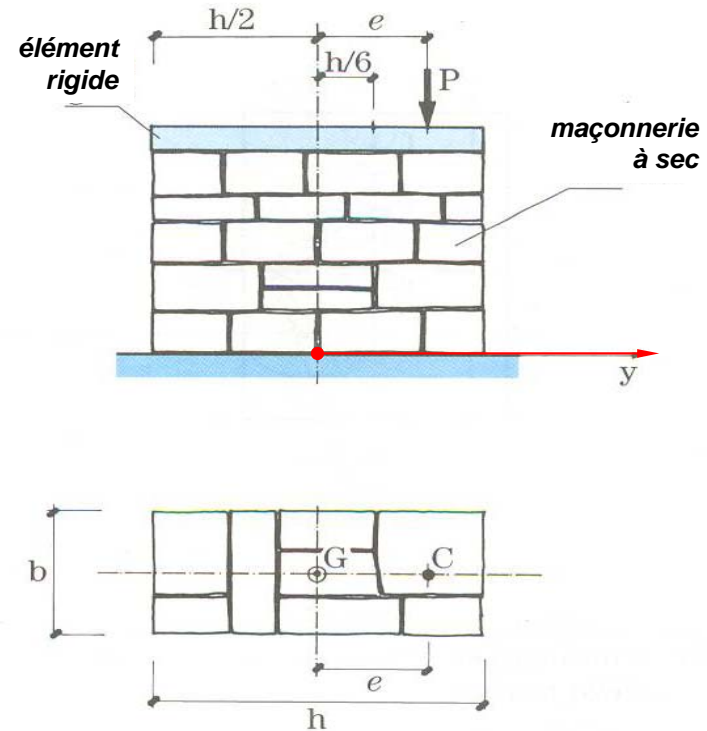
Le poteau est surmonté d'un élément rigide, qui à la fonction de transmettre la force P aux briques au-dessous; sans cet élément de transmission et de répartition, le poteau se broierait sous l'action de la charge concentrée.

On suppose aussi que le poids propre du poteau soit négligeable et que la force P soit appliquée en le centre de pression C avec excentricité e comprise entre les limites suivantes

$$h/6 < e < h/2$$

c'est-à-dire, le centre de pression est situé à l'extérieur du noyau et la section effectivement résistante doit être plus petite que celle géométrique du poteau, puisque on doit exclure la partie qui résulterait soumise à contraintes de traction, inacceptables !!

Poteau en maçonnerie à sec soumis à charge excentrée



- **Le problème à résoudre est donc: de combien plus petite doit être la section effectivement résistante?**

En considérant que l'axe neutre sépare la zone résistante de la zone inerte, comme montré dans la figure, on peut affirmer que:

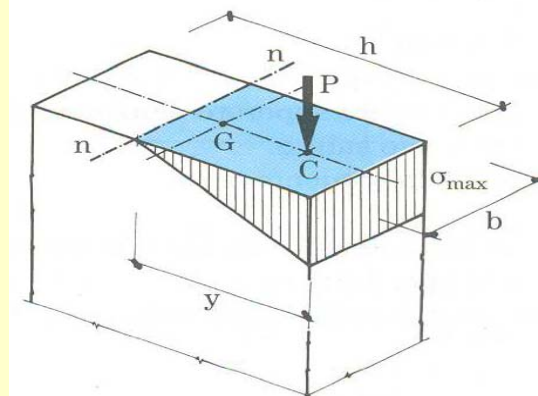
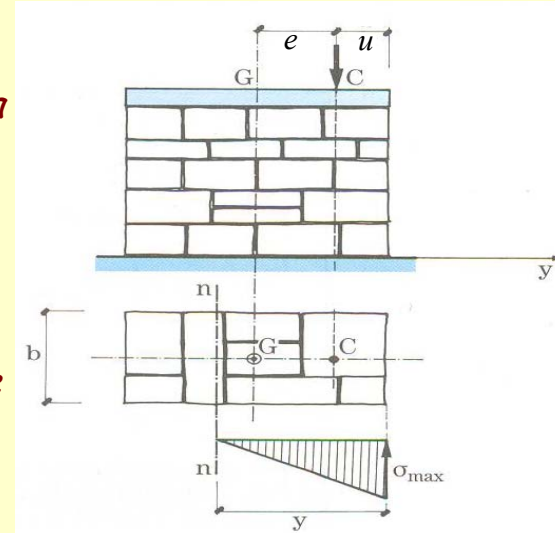
- **Le diagramme des contraintes, construit sur la partie résistante de la section, est un prisme à base triangulaire (le diagramme ne peut plus être linéaire avec contraintes de signe opposé car les contraintes de traction ne sont pas possible);**
- **En nommant y la distance de l'axe neutre, inconnue, de la fibre la plus comprimée, d'un coté l'équilibre suivant la direction verticale est assuré si:**

$$P = \sigma_{\max} b y / 2 \quad (= \text{volume du prisme des contraintes})$$

de l'autre côté, pour assurer l'équilibre à la rotation, la charge P et la force résultante du diagramme des contraintes ne doivent pas engendrer un couple: donc ils doivent avoir la même droite d'action.

En nommant u la distance de C de la fibre la plus comprimée, et en imposant que l'axe barycentrique du diagramme des contraintes passe de C , on obtient:

$$y/3 = u, \text{ c'est-à-dire: } y = 3u \quad \underline{\text{dont on détermine la position de l'axe neutre !!}} \quad \mathbf{36}$$



- En conclusion, la distance de l'axe neutre de la fibre la plus comprimée de la section est trois fois plus grande que la distance u du centre de pression de la même fibre. L'aire de la section résistante est donc donné par l'équation:

$$A_r = 3 u b$$

- le diagramme des contraintes est triangulaire, dont la valeur maximale est égale à:

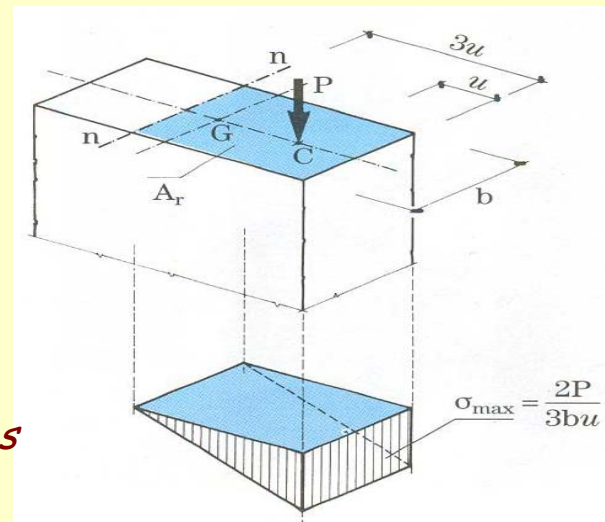
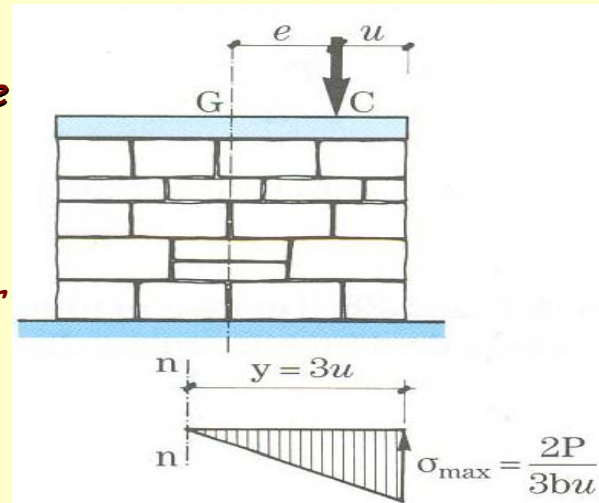
$$\sigma_{max} = 2 P / b y = 2 P / 3 b u$$

c'est-à-dire, la formule (IX. 4 a) déjà vue.

- Si dans l'équation précédente on remplace $u = (h/2) - e$, on obtient:

$$\sigma_{max} = 2 P / 3b [(h/2) - e]$$

dont il résulte que, dans le cas où $e = h/2$, c'est-à-dire lorsque la charge P est situé sur le contour de la section, la valeur de la contrainte maximale σ_{max} est infini !! Ça pose des limitations à l'excentricité de la charge, comme spécifié par la condition (IX. 1).



- *Observations sur le problème de l'instabilité par flambement dans les maçonneries*

Le problème de l'instabilité dans les structures en maçonnerie est difficile à traiter que ce soit rigoureusement ou approximativement.



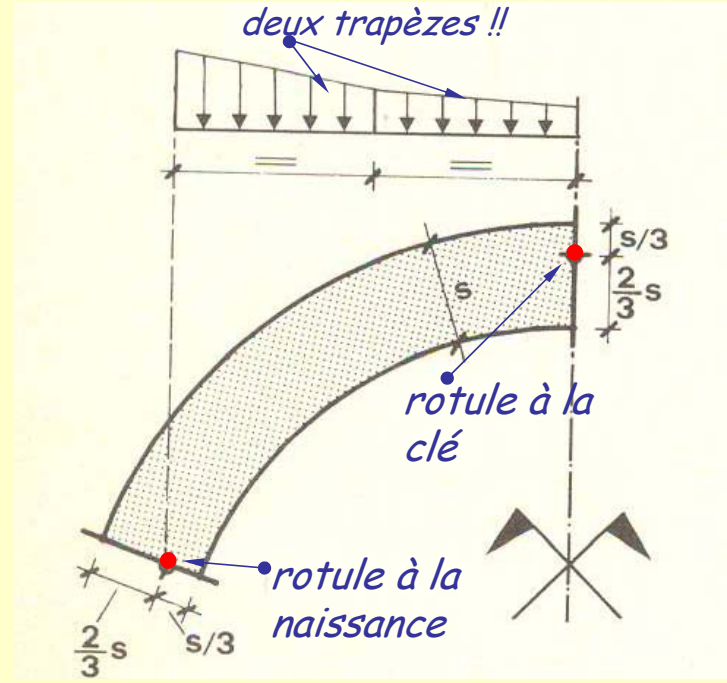
- ... on propose en suite une méthode de vérification valable pour arcs de portée moyenne !! ... comme ces-là de Nefta !!.



Arcs en maçonnerie de portée moyenne

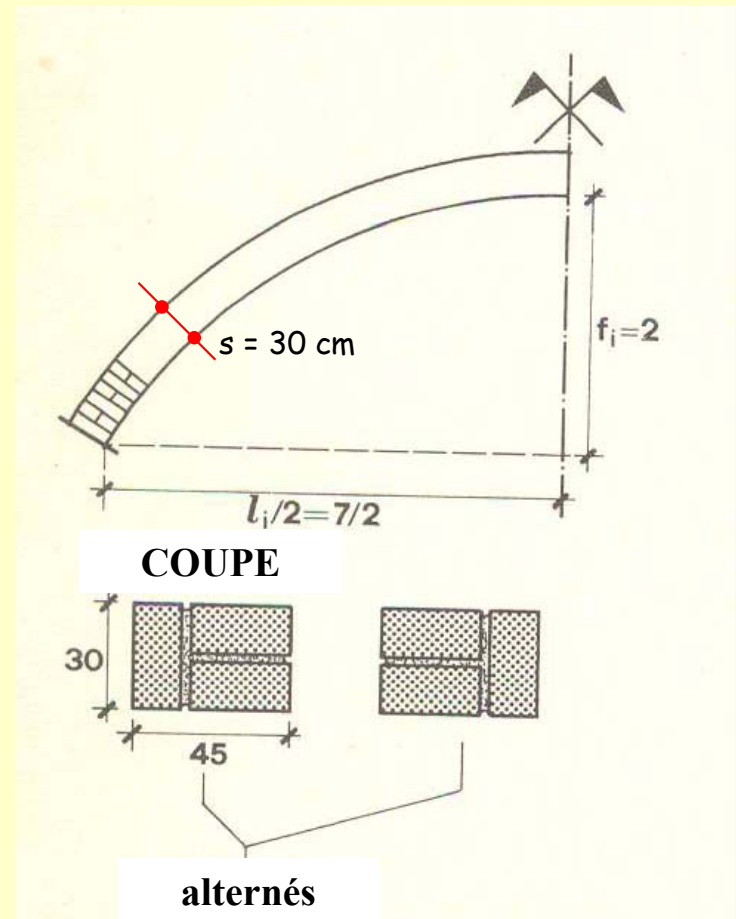
- ***Limitons-nous au cas de arcs avec les caractéristiques suivantes: portée inférieure à 8 m, section uniforme, intrados de forme parabolique, ou circulaire, ou pourtant pas trop différente de ces profils, suffisamment surbaissés ($\text{flèche} / \text{portée} < 0.3$); on peut effectuer un calcul simplifié basé sur les concepts suivants:***

- ***on considère un arc à trois rotules où la rotule à la clé est située à l'extrémité supérieure du tiers central et les rotules à la naissance situées à l'extrémité inférieure du tiers central;***
- ***on considère la charge répartie suivant une loi polygonale approximée (il suffit d'utiliser deux trapèzes, voir figure), qui en général augmente de la clé à la naissance.***



- *Considérons un arc en briques comme celui montré dans la figure, d'épaisseur $s = 30$ cm, largeur $b = 45$ cm, portée (mesurable en situ) $l_i = 7$ m, flèche (mesurable en situ) $f_i = 2$ m, profil circulaire; charge préfixée, spécifiée successivement.*

Le première problème est de nature géométrique et concerne comme tracer le profil de l'intrados, étant donnée la portée et la flèche (mesurée en situ).



- En considérant la figure à coté on peut écrire:

$$f_i = R - l_i/2 (\text{sen } \alpha / \cos \alpha)$$

$$R = (l_i/2) / \cos \alpha$$

en effectuant de simples opérations:

$$f_i / l_i = (1 - \text{sen } \alpha) / 2 \cos \alpha$$

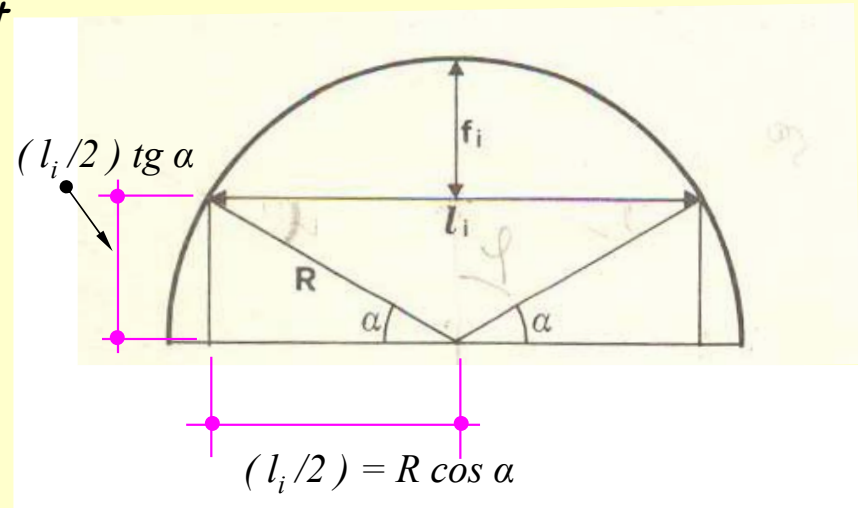
d'où :

$$\text{sen } \alpha = [1 - 4 (f_i / l_i)^2] / [1 + 4 (f_i / l_i)^2].$$

Etant donné α on calcule: le **rayon** de la circonférence, donné par:

$$R = l_i / 2 \cos \alpha$$

et donc la **position du centre**. On peut donc tracer l'intrados et en suite l'extrados, de rayon $R + s$.



- *Compte tenu des hypothèses sur la position des rotules aux reins et à la clé, on peut déterminer les valeurs de la portée théorique et de la flèche théorique, ou en les lisant sur le dessin, ou au moyen des formules suivantes (voir schéma):*

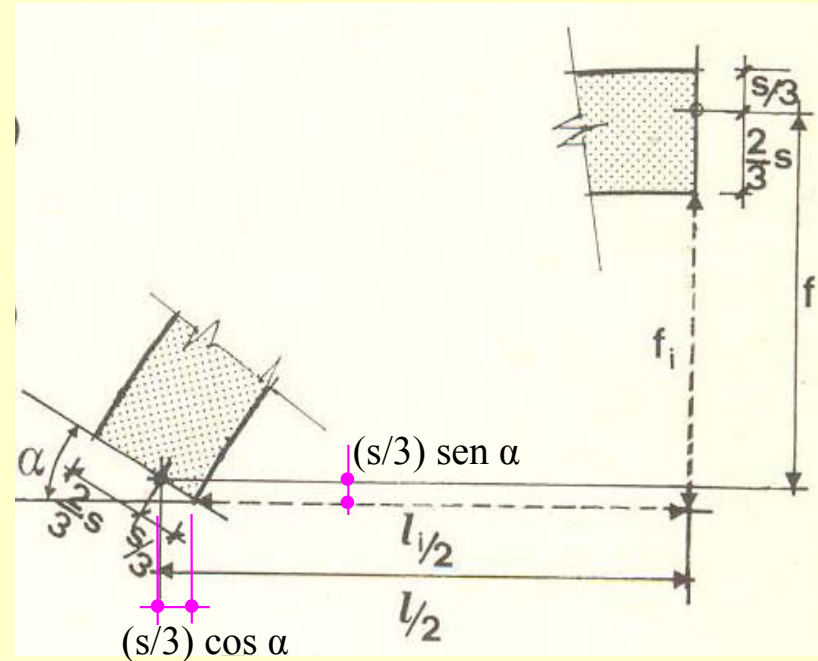
$$l = l_i + 2 (s/3) \cos \alpha$$

$$f = f_i + (s/3) (2 - \sin \alpha)$$

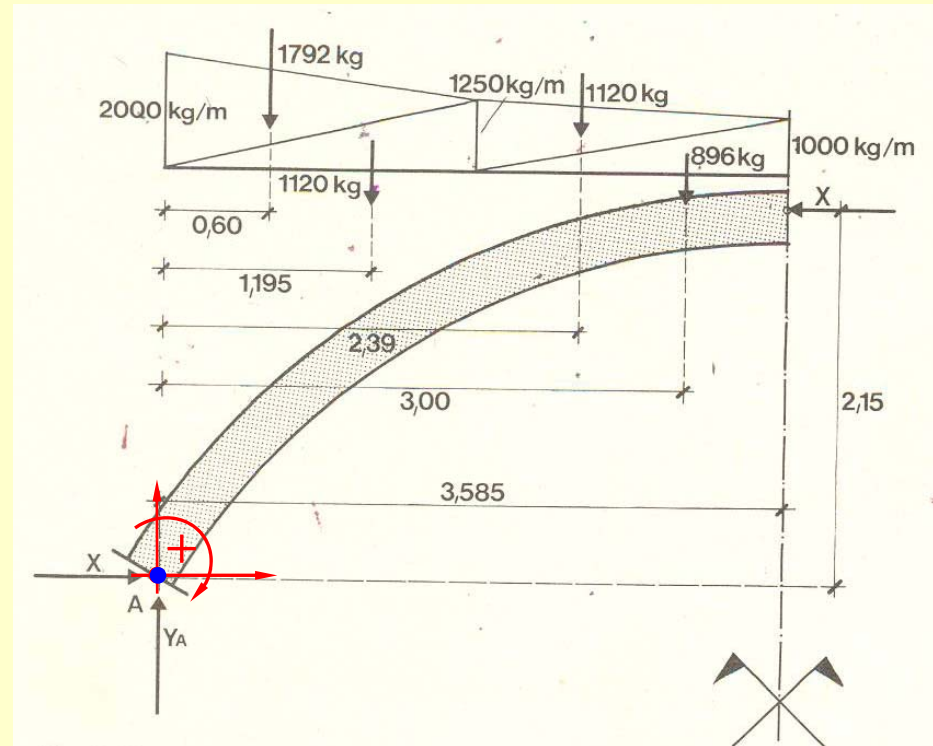
Dans le cas d'étude il résulte:

$$\sin \alpha = 0.5077 ; \quad \alpha = 30^{\circ},51$$

$$R = 4.06 \text{ m}; \quad l = 7.17 \text{ m}; \quad f = 2.15 \text{ m}.$$



- *Les charges agissantes calculées qui, comme déjà observé, sont modélisées selon une loi trapézoïdale, on peut déterminer les réactions de liaison. Compte tenu de la symétrie, le calcul de X est effectué en imposant l'équilibre des moments agissants sur moitié de l'arc, par rapport à la naissance A:*



on a: $1792 \times 0,60 + 1120 \times 1,195 + 1120 \times 2,39 + 896 \times 3 - X \cdot 2,15 = 0$

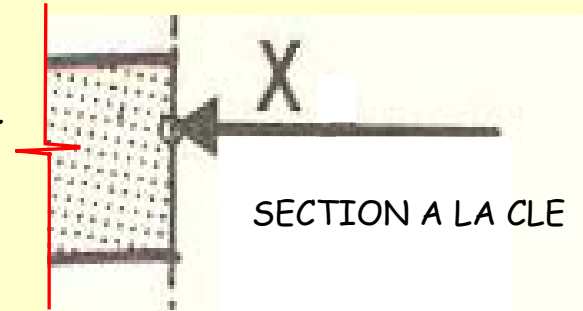
$$\underline{X = 3618 \text{ daN.}}$$

L'équilibre de translation verticale donne la réaction Y_A :

$$\underline{Y_A = 1792 + 1120 + 1120 + 896 = 4928 \text{ daN.}}$$

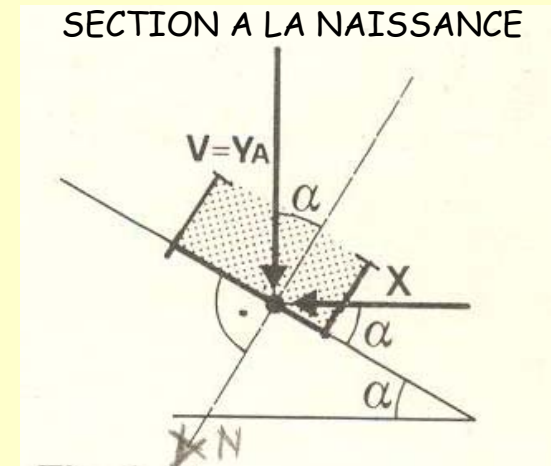
- Sollicitations à la clé et à la naissance:**

La section à la clé est soumise seulement à un effort normal excentré égal à la poussée X ; c'est-à-dire il résulte:



$$N^{CLE} = X = 3618 \text{ daN};$$

La section à la naissance est soumise à un effort normal excentré et effort tranchant; on calcule:



$$\begin{aligned} N^{NAISSANCE} &= Y_A \cos \alpha + X \sin \alpha = \\ &= 4928 \cos 30^{\circ},51 + 3618 \sin 30^{\circ},51 = \\ &= 6082 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T^{NAISSANCE} &= Y_A \sin \alpha - X \cos \alpha = \\ &= 4928 \sin 30^{\circ},51 - 3618 \cos 30^{\circ},51 = \\ &= - 615 \text{ daN} \end{aligned}$$

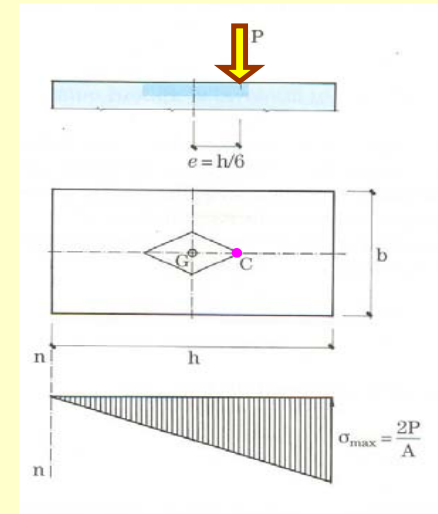
- **Vérification**

*Sous les hypothèses faites sur la position des rotules à la clé et à la naissance (située respectivement en l'extrémité supérieure et inférieure du tiers central) la **distribution des contraintes normales est, dans tous les deux cas, triangulaire.***

Dans la section à la clé il résulte:

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= 2 \times N^{CLE} / b s = 2 \times 3618 / 45 \times 30 = \\ &= 5.36 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_{adm} = 10.6 \text{ daN/cm}^2\end{aligned}$$

valeur relative à une maçonnerie en briques dont $f_{bk} = 100 \text{ daN/cm}^2$; mortier M2, pour laquelle on a: $f_k = 53 \text{ daN/cm}^2$ e $\sigma_{adm} = f_k / 5 = 10.6 \text{ daN/cm}^2$



Dans la section à la naissance on a, enfin:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 2 \times N^{\text{NAISSANCE}} / b s = 2 \times 6082 / 45 \times 30 = \\ &= \underline{9.01 \text{ daN/cm}^2} < \sigma_{\text{adm}} = 10.6 \text{ daN/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= T^{\text{NAISSANCE}} / b s = 615 / 45 \times 30 = \\ &= \underline{0.5 \text{ daN/cm}^2} < \tau_{\text{adm}} = 0.76 \text{ daN/cm}^2\end{aligned}$$

en étant, pour la maçonnerie considérée:

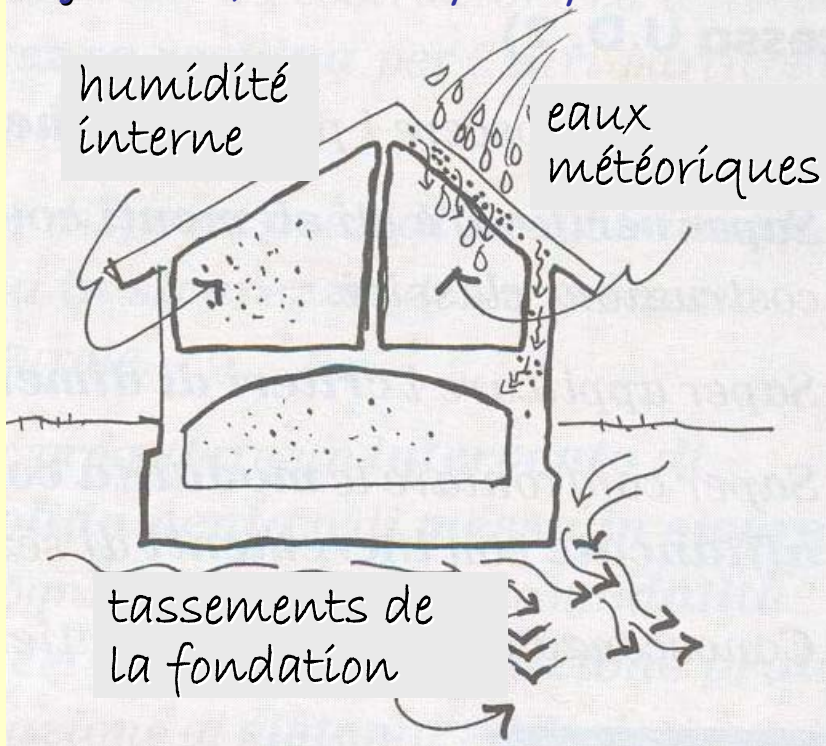
$$\begin{aligned}\tau_{\text{adm}} &= f_{\text{vk}} / 5 = (f_{\text{vk0}} + 0.4 \sigma_n) / 5 = \\ &= (2 + 0.4 \times 4.5) / 5 = 0.76 \text{ daN/cm}^2\end{aligned}$$

valeur donnée par les tableaux relatifs à
maçonneries en briques dont $f_{\text{bk}} = 100 \text{ daN/cm}^2$
et mortier M2

contrainte normale moyenne dans la
section à vérifier: $\sigma_n = (9.01+0) / 2 = 4.5$
 daN/cm^2

- **Exemples de phénomènes de pathologie mécanique et/ou de dégradation:**

Dans les diapositives suivantes on reportera des exemples de phénomènes de pathologie mécanique et/ou de dégradation, typiques des constructions en maçonnerie, en remarquant pour chacun les causes qui les ont engendrés:

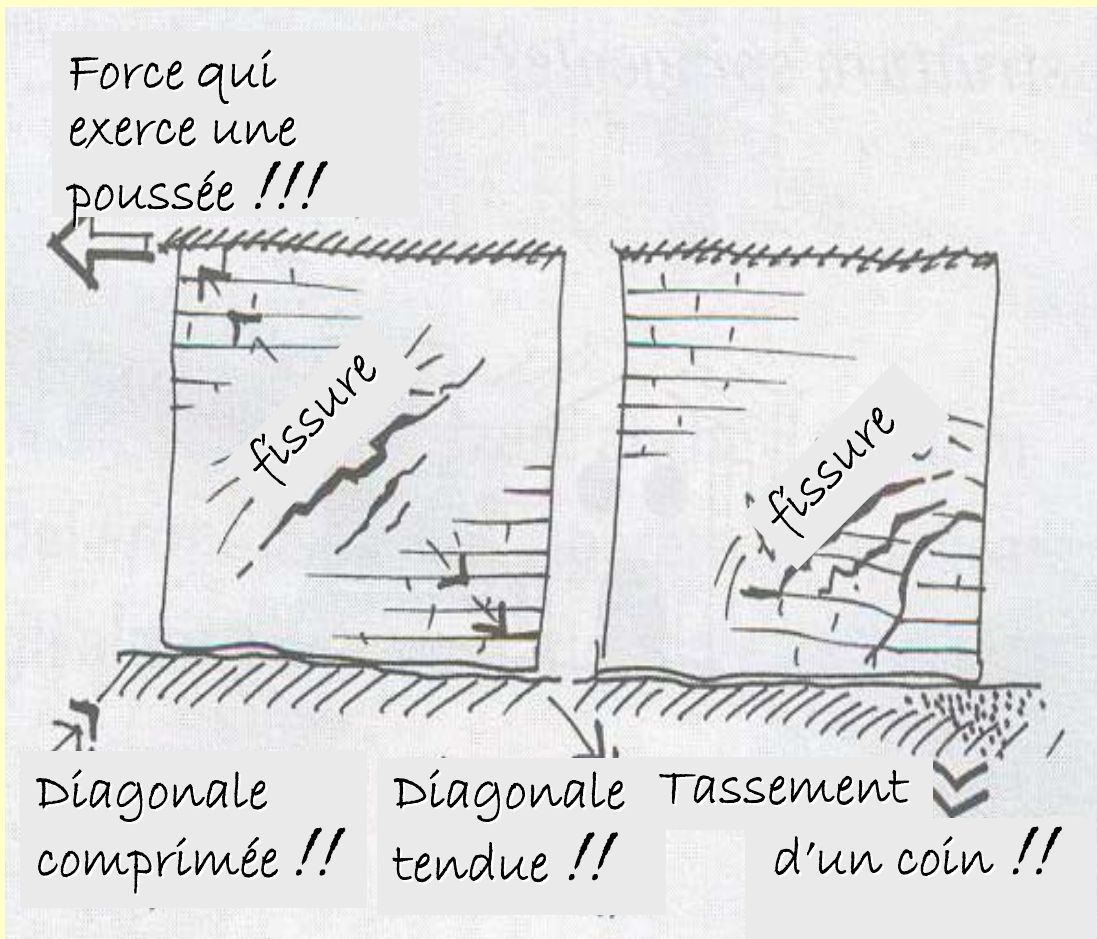


- **Le facteur le plus important de dégradation et/ou pathologie mécanique dans les structures avec des éléments porteurs en maçonnerie et planchers en bois ou en acier est l'eau !! ...**

... sous forme de:

- humidité;
- pluie;
- ruissellement suivant les toits en pente.

• ... dans les éléments en maçonnerie:

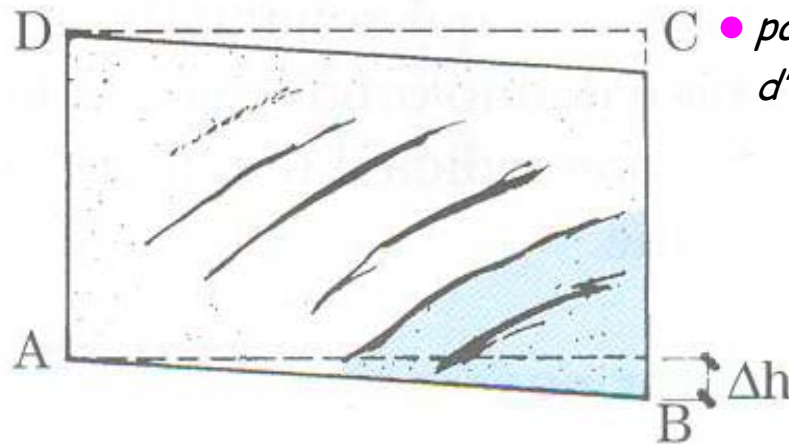


Dans les parois en maçonnerie les causes principales de la dégradation mécanique sont dues à:

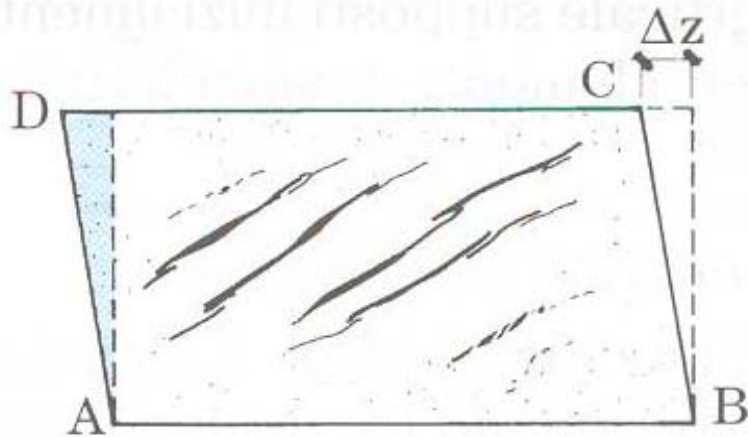
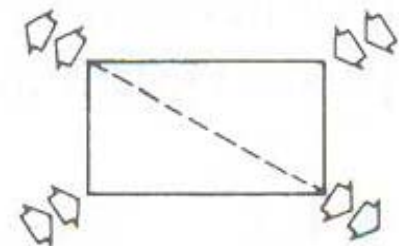
rupture fragile en traction engendrée par l'action de forces horizontales ou tassements de la fondation;

décohésion, (le mortier ne liaisonne plus).

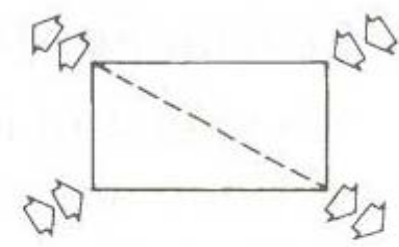
● **Typologie de pathologie mécanique dans des parois en maçonnerie**



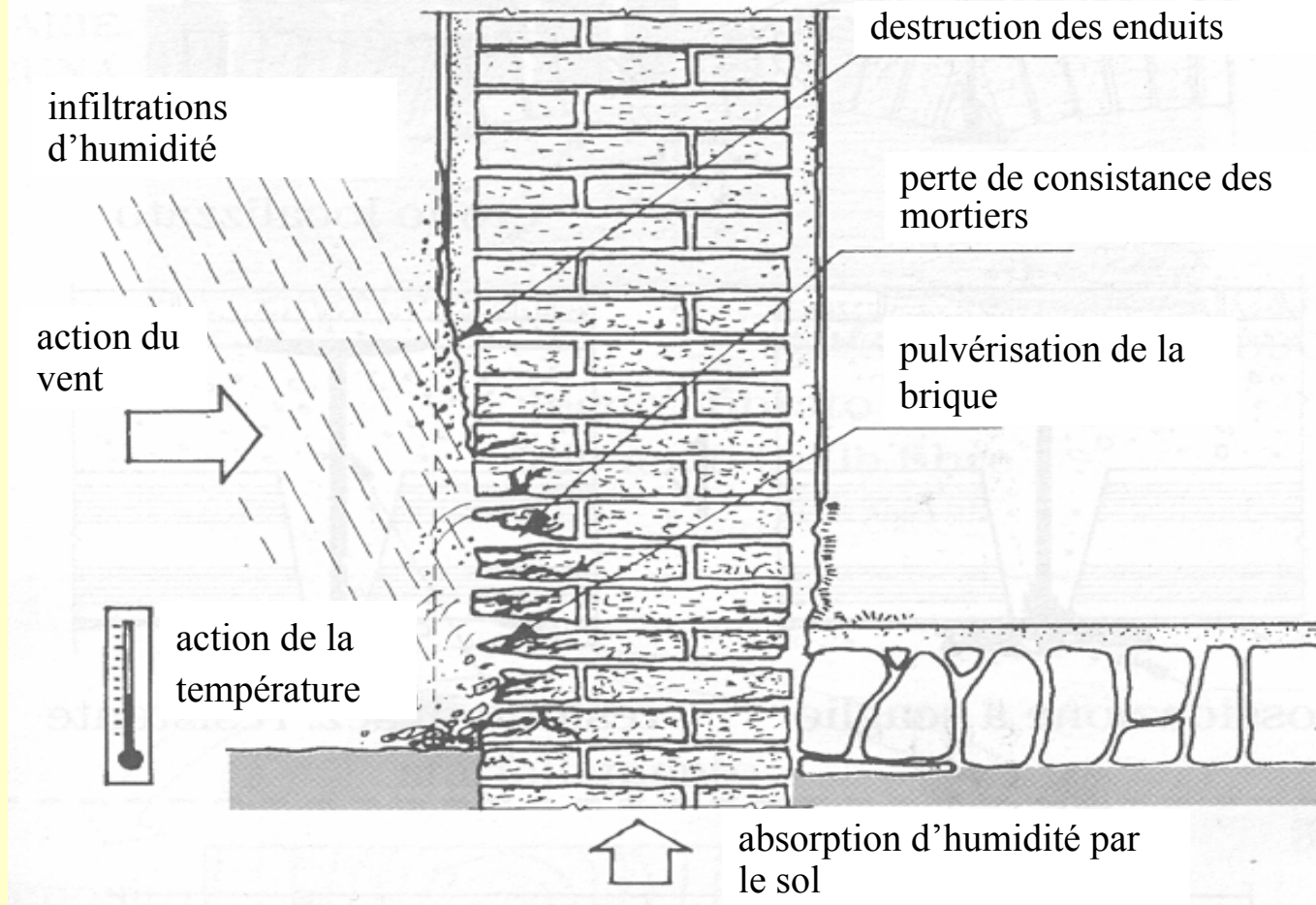
● *par affaissement vertical
d'un coin inférieur*



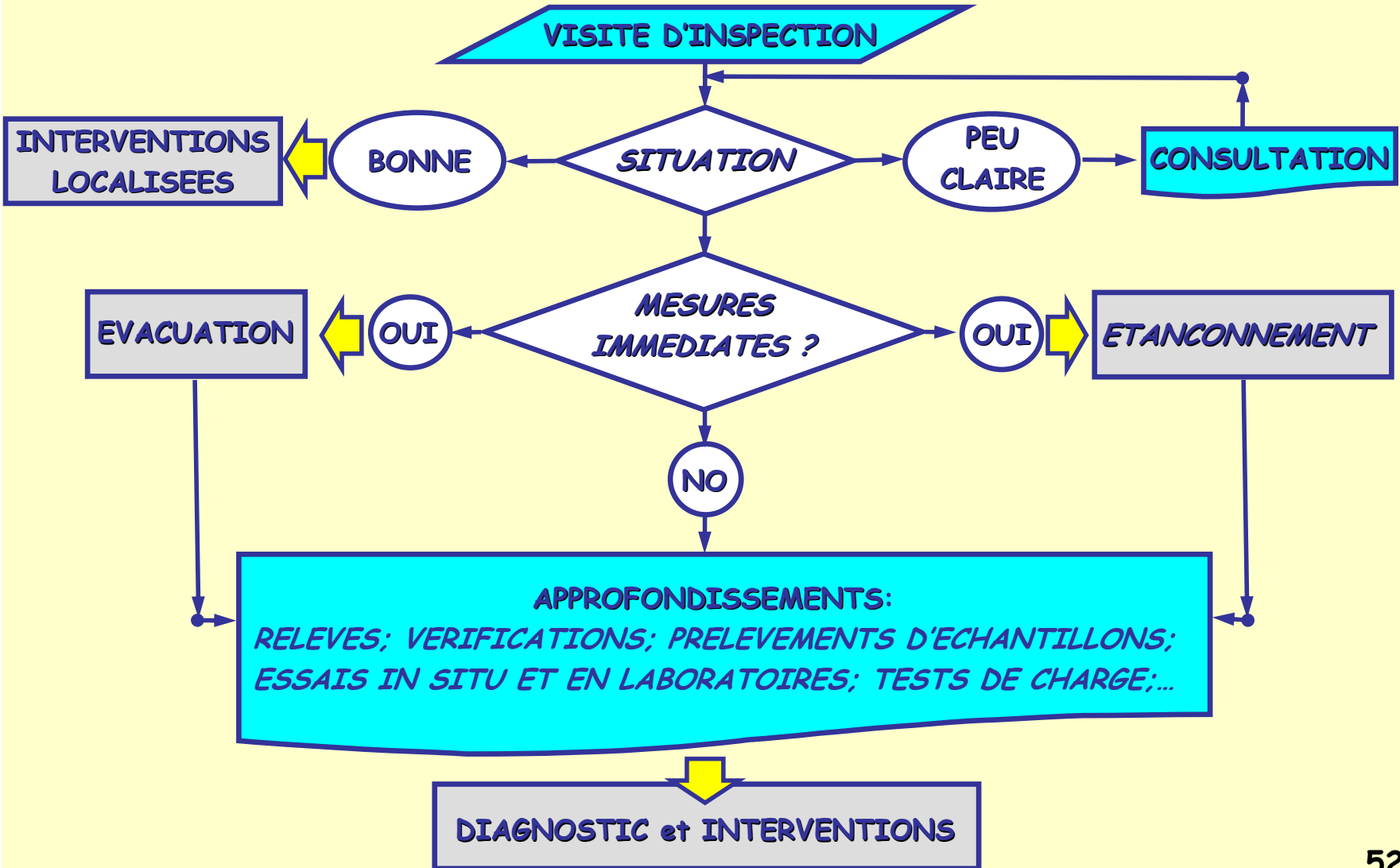
● *par déplacement horizontal
d'un coin supérieur*



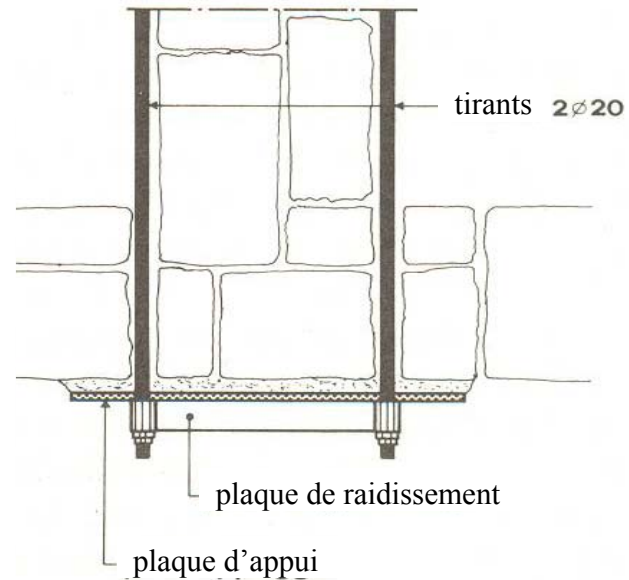
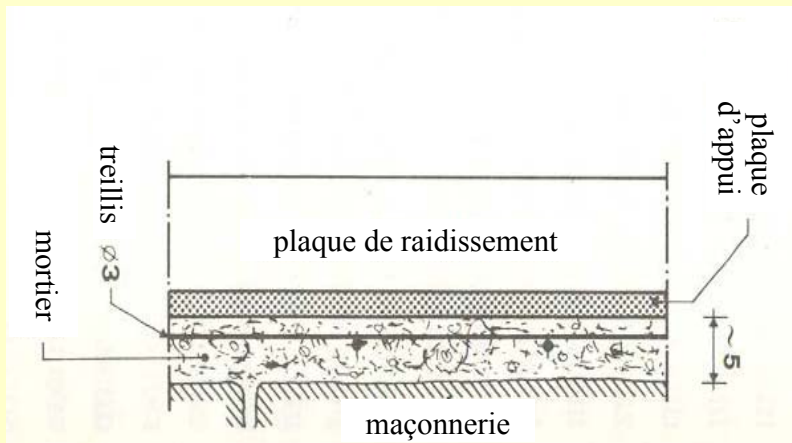
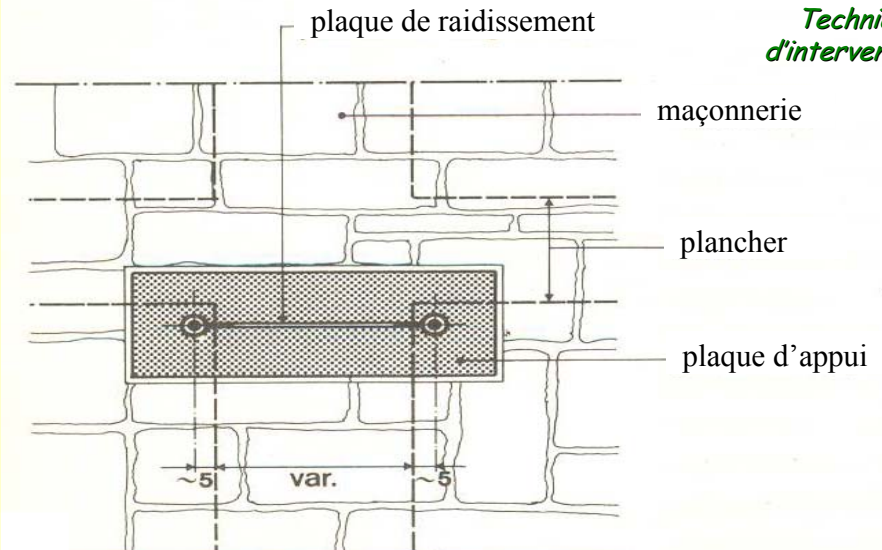
- *pathologie mécanique des éléments en maçonnerie causée par des agents atmosphériques*



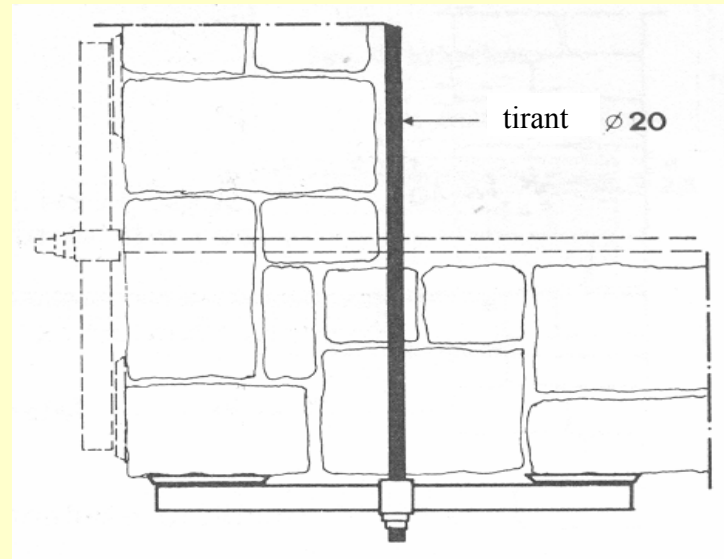
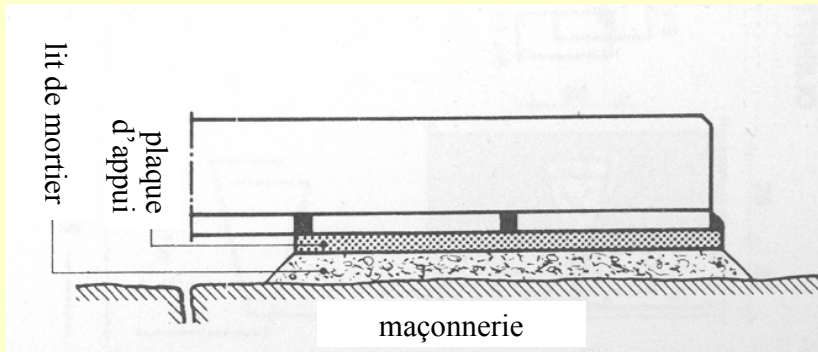
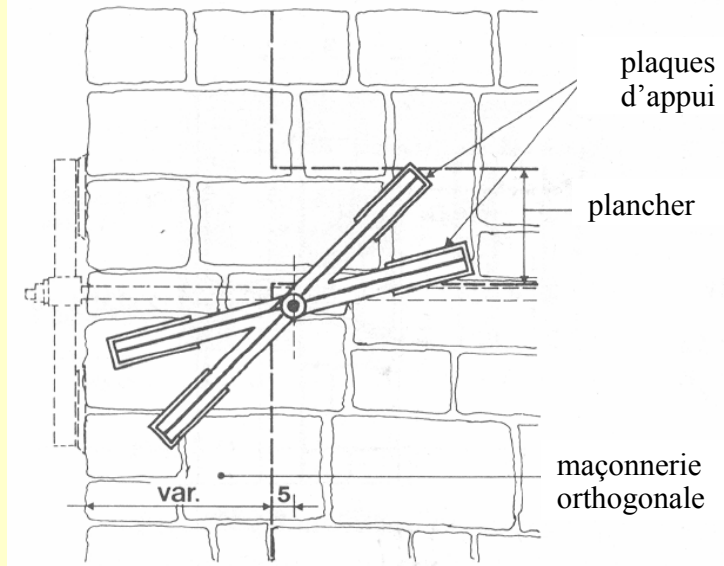
• *Cadre logique des actions à entreprendre ... sur une structure détériorée*



- **Chaînage double externe avec une plaque d'appui, plaque de raidissement et barres (en général de diamètre non inférieur à 16 mm)**

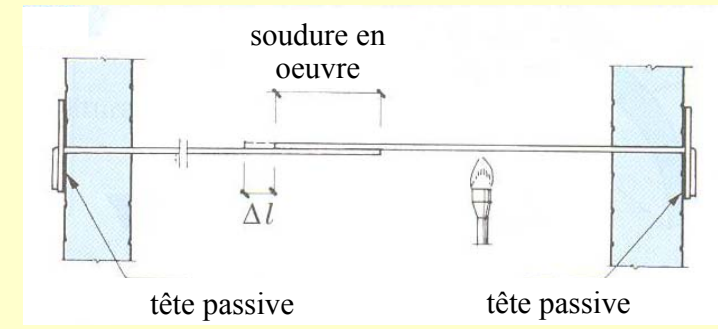
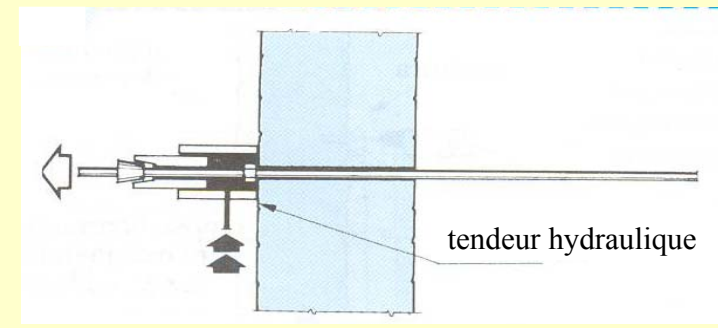
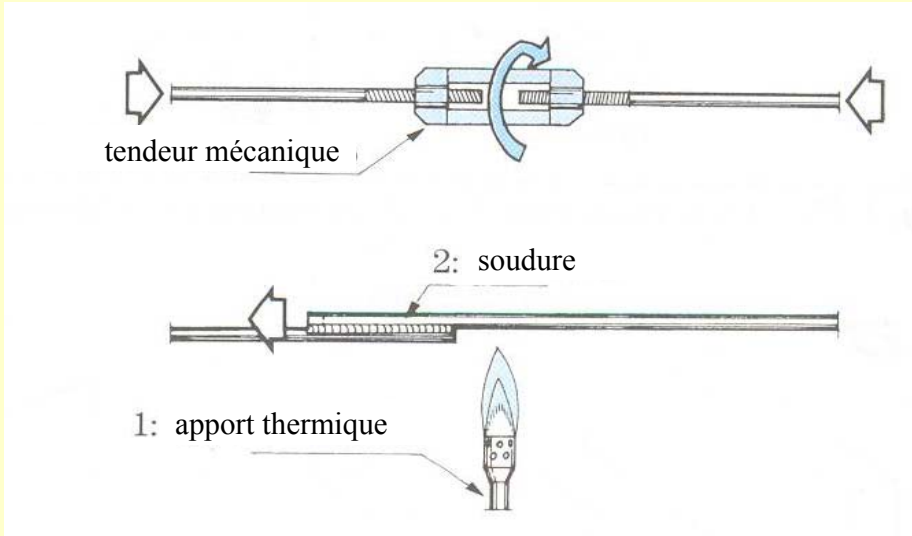
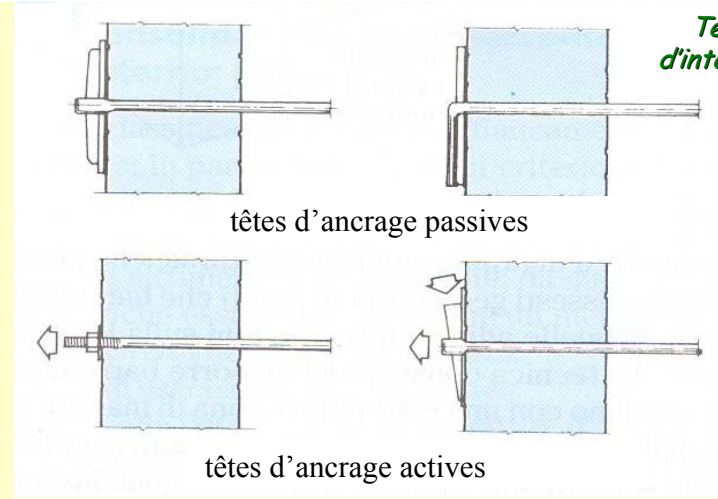


- *Chaînage individuel externe avec une clé d'appui, et une seule barre située sur le côté interne du mur (très utilisé pour les parois périphériques)*



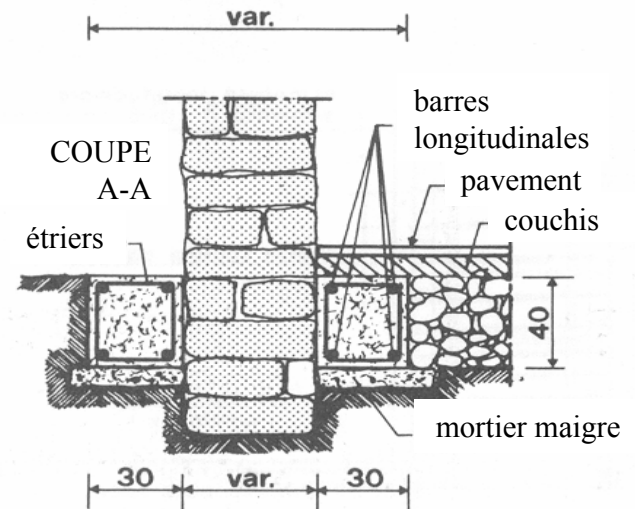
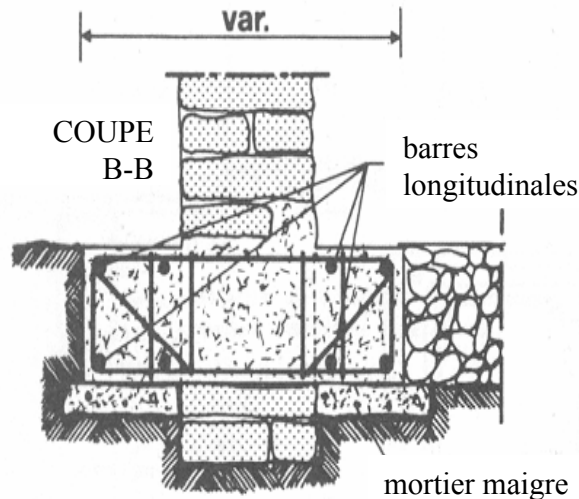
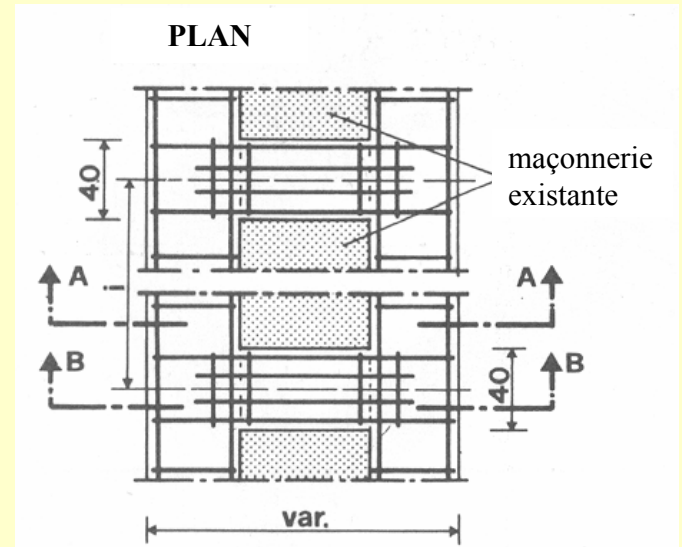
- Les têtes d'ancrage peuvent être "passives" ou "actives", c'est-à-dire capables d'être serrées au couple prescrit; dans ce dernier cas les têtes d'ancrage ont la forme d'un coin ou ils sont serrés par un écrou.

Le chaînage peut être tendu au moyen d'un tendeur hydraulique, mécanique, ou plus simplement avec un apport thermique en oeuvre.

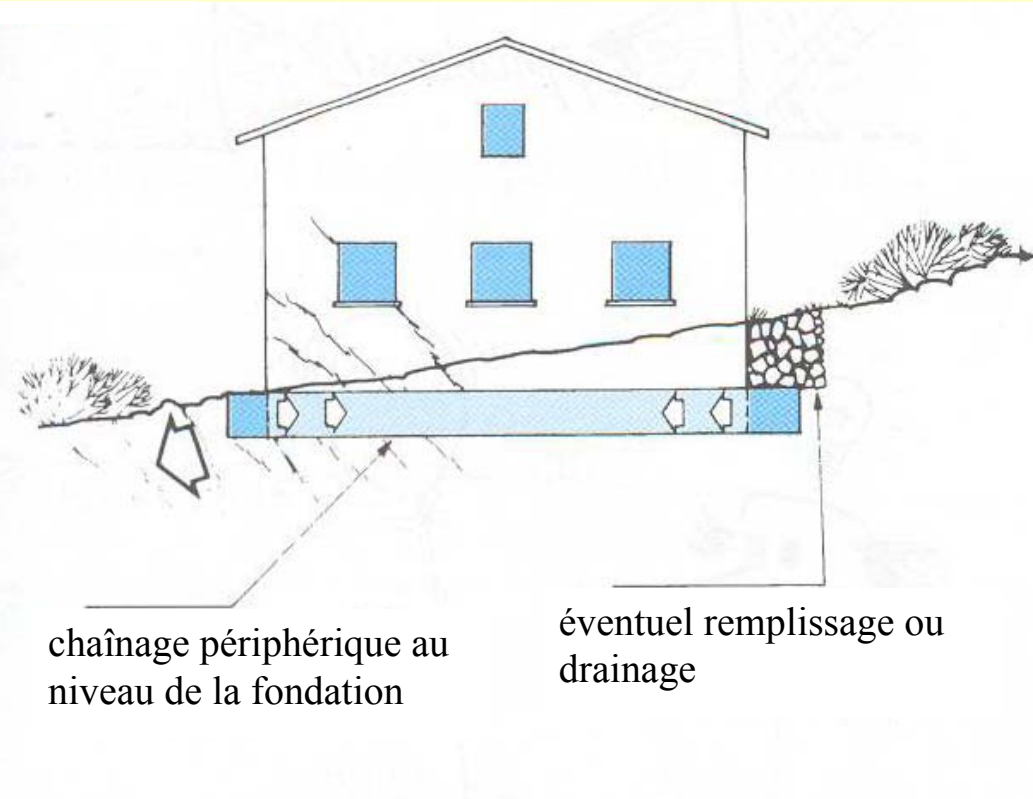


- **Interventions sur fondations et consolidation du sol**

- Si l'intervention sur les fondations demande **seulement l'élargissement de la surface de contact** (problème typique des bâtiments en maçonnerie sans fondations, dont les murs reposent directement sur le sol) la solution peut consister à construire **aux côtés de la maçonnerie deux chaînages en béton armé reliés transversalement** au moyen de **cavités forcées dans la maçonnerie et armées en continuité avec les chaînages mêmes**.



- *L'intervention sur les fondations, si effectuée sur tous le périmètre du bâtiment engendre un effet de confinement sur la structure, évidemment positif pour le comportement d'ensemble et capable de contrebuter éventuels glissements locaux de la fondation.*



- Si le chaînage de fondation doit, et si il peut, être construit seulement sur un côté la solution à adopter est montrée dans la figure. L'ancrage dans la maçonnerie est assuré dans ce cas par des consoles armées qui pénètrent dans la maçonnerie jusqu'à au moins 2/3 de l'épaisseur.

