

# Module

# Maçonnerie



## **1 Tronc commun**

1.1 Le vocabulaire

1.2 Les différents liants

## **2 Arcs voûtes et coupoles**

2.1 Arcs

2.2 Voûtes

2.3 Coupoles

## **3 Construction terre**

3.1 Enduits terre

3.2 Pisé

3.3 Adobe

3.4 BTC

## **4 Chaux**

## **5 Plâtre**

5.1 mur

5.2 stuc/staff

5.3 escalier, voûte sarrazine et cheminée

## **6 Pierre**

6.2 notions de géologie / 6.3 mur de pierre sèche

6.4 mur maçonné / 6.5 callade

6.6 taille de pierre

# Module Maçonnerie



## I- Tronc commun

- I.1 Le vocabulaire
- I.2 Les différents liants
- I.3 Les différentes charges
- I.4 Les fondations

## 1.1 Vocabulaire

### Le mortier :

Le mortier est un mélange servant à maçonner les éléments de maçonnerie (pierre, brique, parpaing), enduire les façades, mais aussi coller, ragréer, jointoyer, sceller...

Il est composé d'un liant, d'une charge (sable), d'air et d'eau. Il peut être adjuvanté.

Il est exprimé en poids de liant par m<sup>3</sup> de charge. (mortier de chaux hydraulique à 300Kg : 1 m<sup>3</sup> de sable + 300Kg de chaux hydraulique)

mortier maigre : entre 200 et 300 Kg

mortier moyen : entre 300 et 350 Kg

mortier gras (ou riche) : 350 à 500 kg

### Le béton :

C'est une roche artificielle mise en place par coulage dans un moule (banche, coffrage).

Il est composé d'un liant hydraulique, d'une charge (sable + gravier) d'air et d'eau. Il peut aussi être adjuvanté.

Le liant principal des bétons est le ciment. Il est souvent associé à une armature métallique qui donne une résistance en traction à l'ensemble (*béton armé*).

Le *béton cyclopéen* est un béton économique dans lequel des cailloux et des pierres ont été rajoutés, et ne comporte généralement pas de ferrailage.

*Dosage courant :*

- Béton de propreté 200 à 230 Kg /m<sup>3</sup> de sable et granulat.
- Fondation armée 300 à 350 Kg/m<sup>3</sup> de sable granulat
- Béton de chanvre (parois banchées) 300 à 350 Kg de chaux par m<sup>3</sup> de chanvre.
- Béton de chanvre (dalle) 275Kg de chaux /m<sup>3</sup> de chanvre.
- Béton d'isolation sous toiture : 100 Kg de chaux par m<sup>3</sup> de chanvre.

### Les différentes contenances :

une brouette (ras) : 60 l

un seau (à la collerette) : 10 ou 12 l

### Les différentes densités :

la chaux aérienne en poudre (CL) : 0,5

la chaux hydraulique (NHL) : 0,8

le ciment : 1

le sable : 1,5



### La granulométrie et la résistance

Un Mortier 350 Kg/m<sup>3</sup> avec du sable a une résistance très faible.

Un béton 350Kg/m<sup>3</sup> avec du 0/40 a une très forte résistance (à la compression)

Il faut donc adapter la granulométrie à l'usage, à l'épaisseur du revêtement.

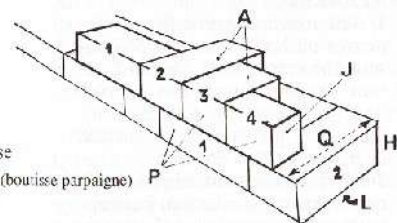
On peut compter comme épaisseur de granulat la moitié de celle de la couche d'enduit.

**Granulométrie inférieure à 10 mm = mortier**  
**Granulométrie supérieure à 10 mm = béton**

## APPAREILLAGE DE LA PIERRE

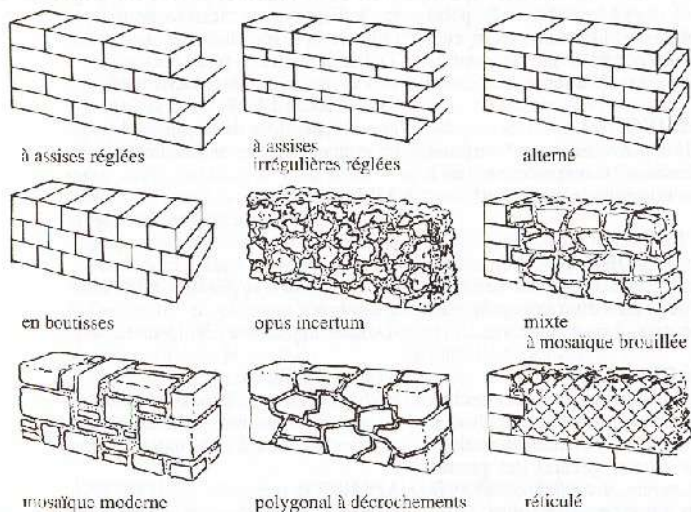
## termes généraux

- 1 - Panneresse  
2 - Parpaing (boutisse parpaing)  
3 - Boutisse  
4 - Carreau

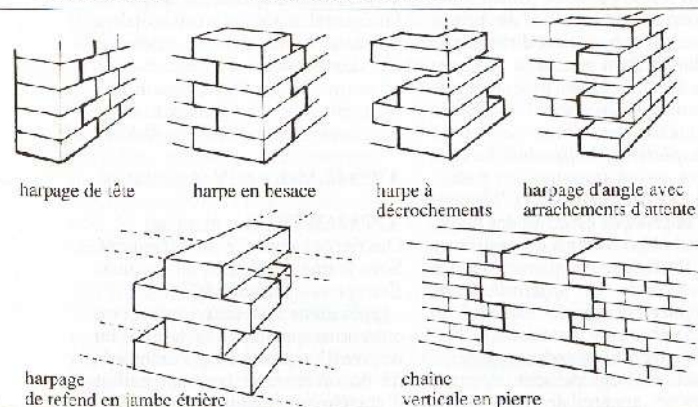


- P - Face de parement  
L - Face de lit, ou lit de pose  
A - Face de lit, ou lit d'attente  
J - Face de joint  
D - Face de derrière  
Q - Queue  
H - Hauteur d'assise

## appareils



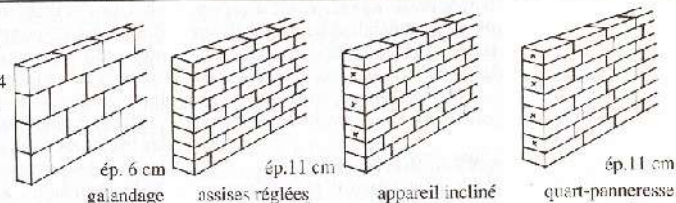
## abouts, angles et jonctions de murs



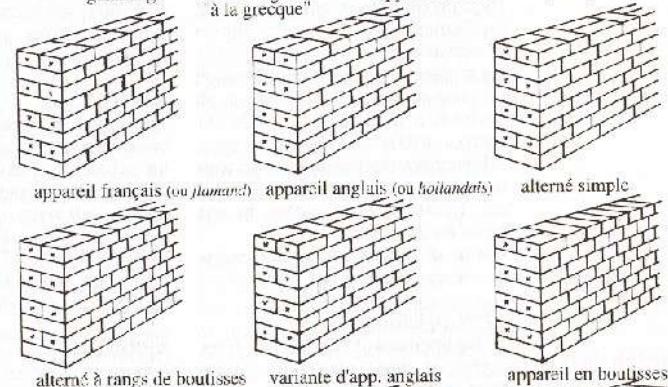
## APPAREILLAGE DE LA BRIQUE

Les briques marquées d'un point sont des briques recoupées aux 3/4 de leur longueur.

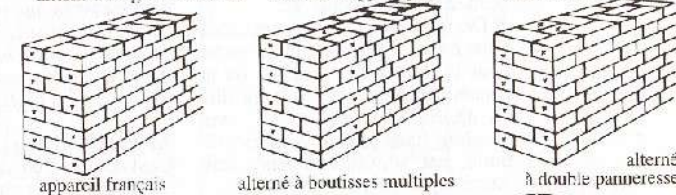
## appareils de cloisons de 6 ou de 11 cm



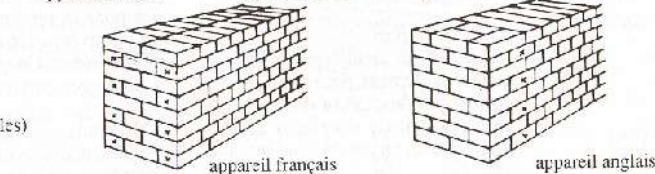
## appareils de murs de 22 cm



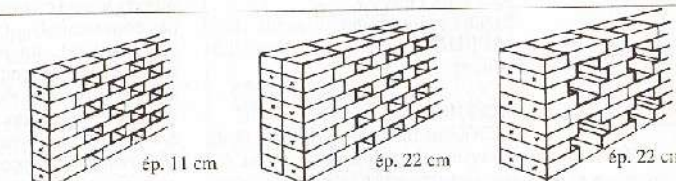
## appareils de murs de 33,5 cm



## appareils de murs de 45 cm (nombreuses variantes possibles)



## Exemples d'appareils de cloisons et murs ajourés, ou claustras





## 1.2

### Les différents liants

#### L'argile

L'argile est le liant des constructions en terre. C'est une roche terreuse sédimentaire compacte et imperméable.

La terre est un mélange des différents éléments :

- des cailloux ( $20\text{ cm} > C > 2\text{ cm}$ )
- des sables grossiers ( $2\text{ cm} > SG > 2\text{ mm}$ )
- des sables fins ( $2\text{ mm} > SF > 0,2\text{ mm}$ )
- des limons (siltés) ( $0,2\text{ mm} > L > 0,02\text{ mm}$ )
- des argiles

Du caillou au limon la seule différence est une différence d'échelle.

L'argile elle-même diffère par sa structure en paillette.

L'argile étant le liant, la terre peut être considérée comme un béton ou comme un mortier suivant la granulométrie des éléments présents.

Les différents états hygrométriques de la terre :

- sèche : état dans laquelle la terre est plus facile à extraire, et à tamiser. Aucune utilisation en l'état.
- humide : C'est l'état du pisé et des BTC, lorsque le point de proctor est atteint, on obtient l'optimum de compressibilité.
- plastique : terre apte au façonnage, fabrication des adobes, du torchis, des murs en colombin, en boules façonnées, bauge et terre jetées.
- visqueuse : peu d'applications traditionnelles utilisent cet état de la terre, il est possible de réaliser des murs coulés, des pavements... mais d'importants problèmes de retrait sont à régler (voir méthode de CRATerre de pisé coulé).
- liquide : l'état de la terre pour réaliser les enduits. Dans cet état le séchage entraîne de forts retraits. Il est donc primordial de doser la granulométrie ou les ajouts de fibres très précisément, afin de bloquer le retrait de l'argile.

#### Caractéristiques

Résistance à la compression :

adobe 10 à 30 Kg/cm<sup>2</sup> ;

BTC, pisé 20 à 80 Kg/cm<sup>2</sup>

Capacité à laisser passer la vapeur d'eau : excellente

Conductivité thermique ( $\lambda$ ) :

sèche 0,17 à 0,58

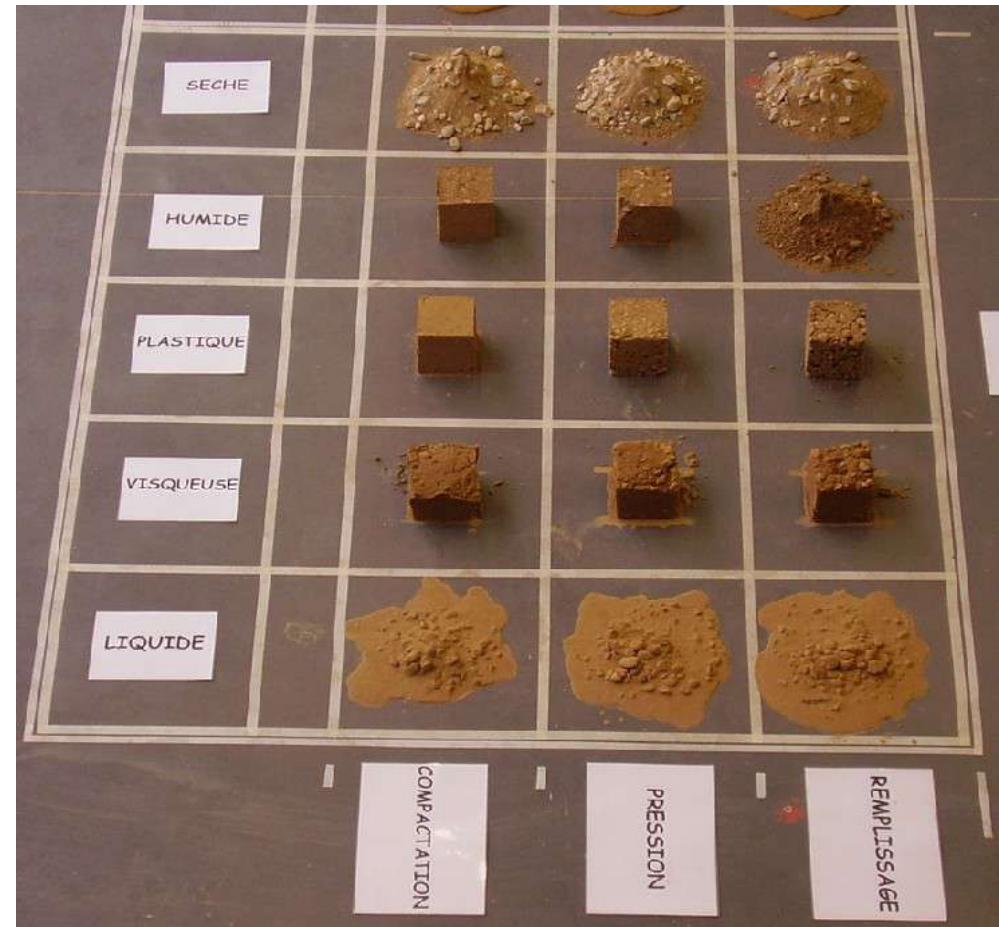
avec 10% d'eau 0,5 à 2,10

avec 20% d'eau 0,8 à 2,6

#### Point de proctor :

Le point de proctor est l'état (hydrique) de compression optimale de la terre. Il s'estime en serrant une poignée de terre dans la main puis en la faisant tomber de la hauteur de sa hanche (1 m), la boule doit se briser sans éclater (2 ou 3 morceaux).

Expo CRATerre



## 1.2

### Les différents liants

#### Le plâtre

Le plâtre est un sel de gypse qui a été déshydraté à 160°.

Lors de son humidification le plâtre se re-transforme en gypse.

Le plâtre est donc recyclable par cuisson. De plus son énergie grise est relativement basse.

Le plâtre n'a pas de retrait lors de sa prise, il peut donc être utilisé pur (c'est le seul des liants traditionnels du bâtiment à avoir cette capacité), son léger gonflement lors de la prise en fait un excellent matériau de scellement (sauf pour les éléments métalliques).

Il existe 2 catégories de plâtres :

- le plâtre de construction (briqueteur...)
- le plâtre de finition (plâtre fin...)

Le gâchage du plâtre influence sur ces caractéristiques ;

- plâtre normal 40 l d'eau pour 40 Kg
- plâtre léger 35 l d'eau pour 40 Kg
- plâtre épais 60 l d'eau pour 40 Kg

Plus le plâtre est épais et plus il sera dur.

La prise du plâtre peut être retardée par l'adjonction d'alcool, de borax, de caséine, de gélatine, de sucre et de différents acides (tartrique) ... et durcie par l'adjonction de sulfate de fer, d'alun

Par exemple 1 bouchon d'acide tartrique dans 10 l d'eau retarde la prise d'approximativement 30 "

#### Caractéristiques

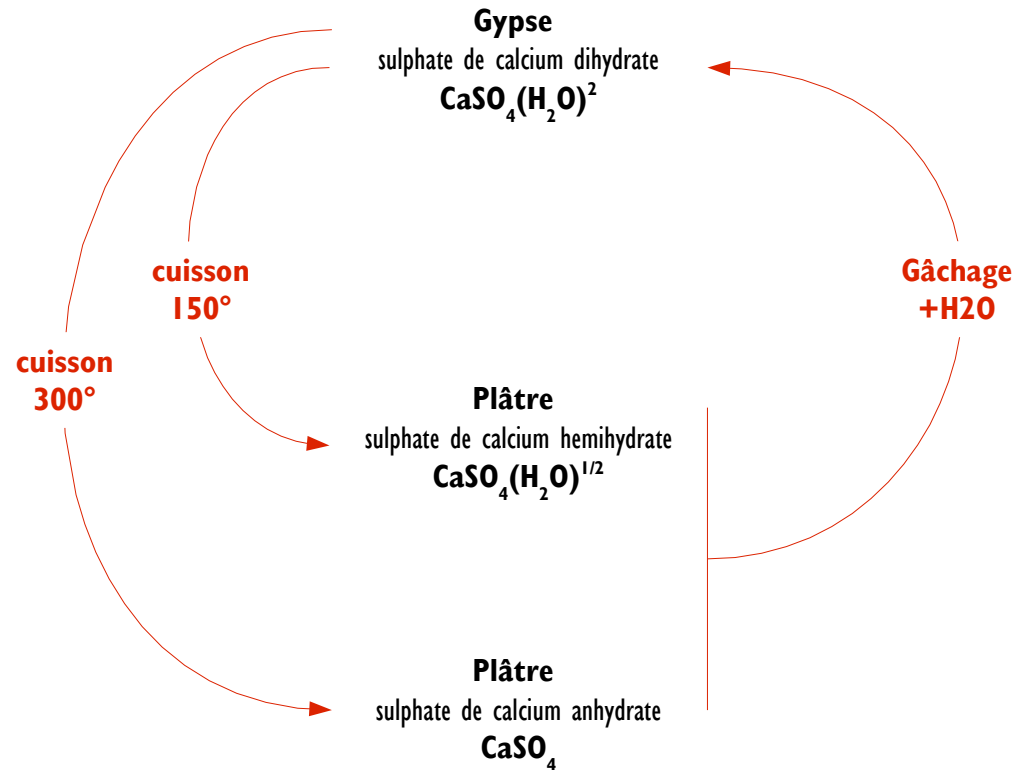
Résistance à la compression 30 à 90 KG/cm<sup>2</sup>

Résistance à l'arrachage 10 à 16 Kg/cm<sup>2</sup>

Densité 1

Capacité à laisser passer la vapeur d'eau excellente

Conductivité thermique : 0,45



## 1.2

### Les différents liants

#### La chaux

La chaux est obtenue par calcination de calcaire à une température de 900°. Lors de la calcination la «pierre à chaux» rejette du gaz carbonique ; elle se transforme en chaux vive, puis après extinction par immersion en chaux aérienne en pâte.

Lorsque la pierre calcaire est pure, le produit de la calcination est de la **chaux aérienne**, lorsque celle-ci contient de l'argile le produit obtenu est de la **chaux hydraulique** (faisant sa prise en présence d'eau).

Préparation de la **chaux aérienne** en pâte à partir de chaux vive :

- 1 - Verser 3,5 litres d'eau par Kg de chaux
- 2 - Verser la chaux vive (gant, masque...)
- 3 - Mélanger et attendre (1 sac chaux vive => 13 sac CL)



#### Caractéristiques

La chaux aérienne s'utilise en faible épaisseur ou comme liant d'un béton très aéré (béton de chanvre dans un mur, béton de paille), de sorte que la chaux soit toujours au contact de l'air.

La **chaux hydraulique** peut elle être utilisée au coeur des murs.

Chaux aérienne : CL (CAEB)

90 80 70 de moins en moins aérienne

Chaux hydraulique NHL

2 3,5 5 de plus en plus hydraulique, de plus en plus résistante.

Dosage d'un mortier à 250 Kg :

CL (densité 0,5) 5 seaux de CL + 10 seaux de sables

NHL (densité 0,8) 3,1 seaux de NHL + 10 seaux de sable

Ciment (densité 1) 2,5 seaux de CPA + 10 seaux de sable

#### Quelle chaux pour quels usages ?

NHL Résistance, prise en anaérobie

Maçonnerie à coeur

Injection

Travaux hydrauliques

CL Finesse, blancheur, souplesse, prise aérobie.

Enduits

Béton de chanvre

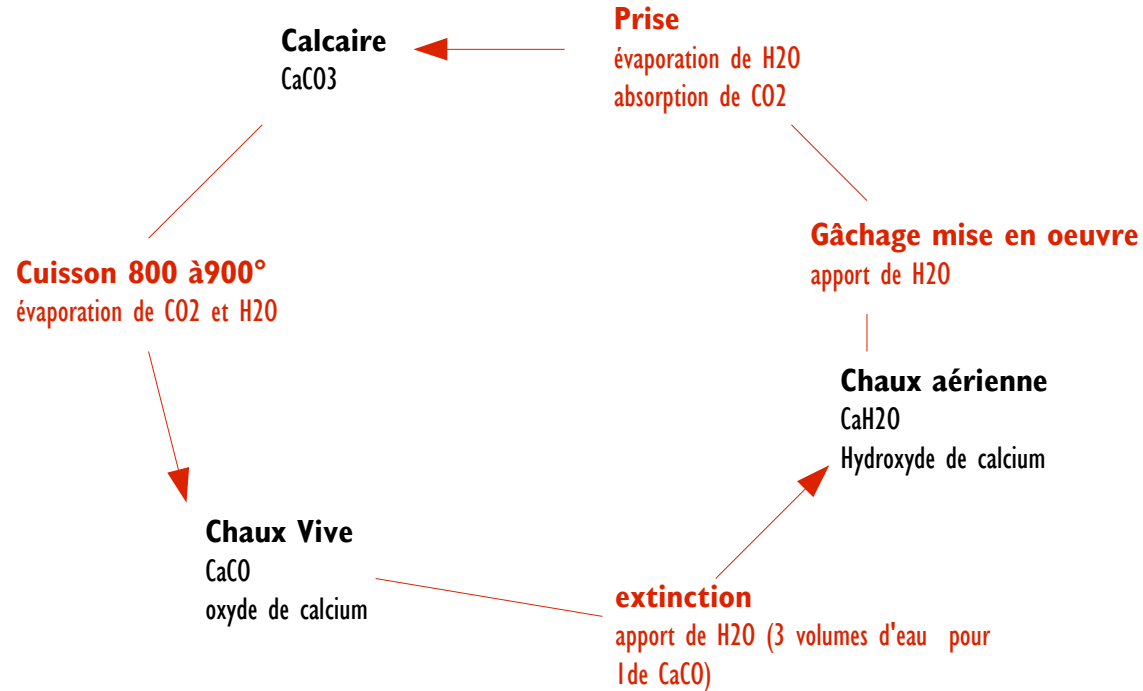
**La chaux aérienne  
ne fait prise qu'au  
contact de l'air**

## 1.2

### Les différents liants

#### La chaux

Le cycle de la carbonatation



#### Caractéristiques

Résistance à la compression Nhl2 : 200Kg/cm<sup>2</sup> Nhl3,5 : 500KG/cm<sup>2</sup> Nhl5 : 1500Kg/cm<sup>2</sup>

Capacité à laisser passer la vapeur d'eau (respirabilité) :

Enduit CL +sable = 1,1

NHL +sable = 0,7

CPA (léger) + sable = 0,5

CPA (gras) + sable = 0,2

Densité : en pâte 1,4 ; aérienne en poudre 0,5 ; hydraulique 0,8



## 1.2

### Les différents liants

---

#### Le ciment

Le ciment est issu de la cuisson d'argile et de calcaire à 1450°.

Il peut être important de différencier les CPA (Ciment portland artificiel) et les CPJ (Ciment portland composé), les CPA contiennent au maximum 5% d'adjuvants ; les autres peuvent en contenir jusqu'à 40%.

Les CPA sont obligatoires au dessus de 800 m d'altitude.

Principaux usages des bétons

CPA CEM I

bétons armés ou bétons précontraints, coulés sur place ou préfabriqués. Ils permettent un décoffrage et une mise en oeuvre rapide.

CPJ CEM2

bétons d'ouvrages courants en élévation, les dallages, les maçonneries, la stabilisation des sols.

CMF ou CLK CEM 3 ou CVC-V

ouvrages situés en milieu agressif, travaux souterrains, ouvrage pour eaux usées, ou industrielles, travaux à la mer.

CPL CEM 4

Divers et spéciaux

#### Caractéristiques

Résistance à la compression CPA 32,5 : 52500Kg/cm<sup>2</sup> CPA42,5 : 62500KG/cm<sup>2</sup>

Capacité à laisser passer la vapeur d'eau : nulle

Étanchéité : bonne

Densité : 1

Conductivité thermique (béton) : 1,4

## 1.3

### Les différentes charges

#### Les charges minérales

Les charges minérales courantes sont issues de la décomposition de la roche mère. Elles sont nommées en fonction de leur taille (capacité à passer dans un tamis à maille carrée) :

- caillou entre 20 et 2 mm
- gravier entre 2 cm et 2 mm
- sable gros entre 2 et 0,2 mm
- sable fin entre 0,2 et 0,02 mm
- limon (siltes) entre 0,02 et 0,002 mm

Ces charges peuvent provenir de rivière, elles ont été roulées, elles sont alors de formes rondes ; ou de carrières elles sont alors concassées et de formes anguleuses. Les charges roulées ont une meilleure maniabilité que les charges concassées.

Il existe d'autres charges minérales plus particulières ou d'origine industrielle :

- pouzzolanes (roche volcanique naturellement expansée)
- billes d'argile expansées
- billes de verre expansées
- déchets de briques cuites

Les charges minérales expansées sont utilisées en isolation (billes d'argiles, billes de verre) ou en charges de mortier respirant (sable de pouzzolane). Les déchets de briques cuites servent à confectionner des mortiers réfractaires.

#### Les charges organiques

- Les pailles
- Le chanvre (chenevotte)
- La sciure
- Les copeaux

Les charges organiques sont utilisées pour :

- alléger les mortiers ou béton, afin de les rendre plus isolants
- lier les mortiers et le béton pour éviter les fissures de retrait au séchage.

Ils est déconseillé de les utiliser en extérieur à cause de leur caractère biodégradable.

## 1.4 Les fondations

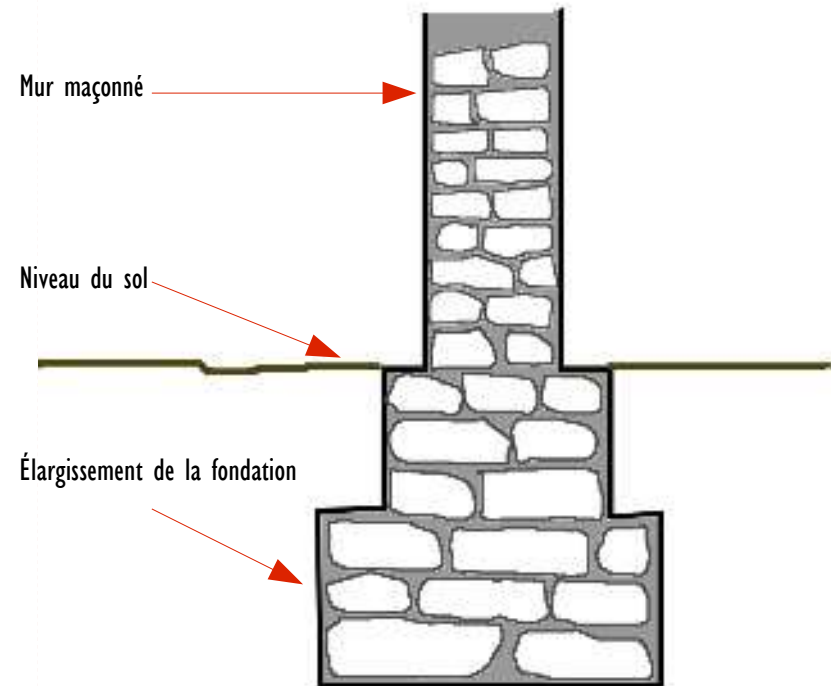
**Les fondations des ouvrages exceptionnels** sont réalisées sur des sols rocheux aplanis ou taillés en emmarchement, ou dans une tranchée sur un sol caillouteux reconnu comme stable par le maître d'oeuvre. Elle est réalisée en pierre de carrière. Sur une assise rocheuse le mur appareillé est élevé directement. Dans une tranchée le fond de fouille est aplani par un béton de propreté (chaux), puis la fondation est construite avec une largeur supérieure à celle du mur. Les fondations sont drainées.

Sur de mauvais sols, il est réalisé soit :

- des fondations appareillées sur voûte inversée,
- soit un radier en charpente tant plein que vide,
- soit un puits de maçonnerie et des voûtes,
- soit des fondations sur pieux relayés par un platelage en bois.

**Les fondations des ouvrages ordinaires** sont réalisées sur un sol dégagé de sa terre végétale, en maçonnerie de pierre plus ou moins épannelée montée au mortier de chaux ou terre/chaux. Les plus grosses pierres du chantier sont réservées pour les fondations. La largeur de la fondation est de l'ordre de 150 % de celle du mur. Les fondations devant recevoir une voûte seront plus épaisses (120 cm pour 50 cm de mur au 1<sup>er</sup>).

### Fondation d'un ouvrage ordinaire



# Module

# Maçonnerie



## 2 Voûtes et coupoles

2.1 Arcs

2.2 voûtes

2.3 coupoles



## 2.1

### Voûtes et coupôles

Le choix de bâtir telle ou telle forme d'arc, de voûte ou de coupole découle la plupart du temps de la fonction qu'il devra remplir et/ou des contraintes mécaniques du bâti environnant.

En maçonnerie, les arcs, voûtes et coupôles permettent de franchir, avec des petits éléments (briques, pierres de taille...) des portées plus grandes que des structures porteuses plates.

### Arcs

Un arc est un ouvrage en une ou plusieurs portions de cercle ou de courbes, la plupart du temps en maçonnerie. Un arc est contenu dans un plan (par ex un mur) ; il permet de franchir des distances linéaires. Il est stable uniquement dans son plan et ne peut recevoir que des charges verticales. Ses éléments modulaires ne travaillent qu'en compression.

#### 1) La forme «naturelle», l'arc en forme de chaînette

La chaînette est la forme que prend une chaîne suspendue par deux extrémités.

Pour comprendre les forces qui s'exercent dans un arc (quelconque), les égyptiens ont trouvé une astuce : prendre une chaînette et la laisser pendre librement entre deux points de telle manière que la distance à franchir et la hauteur soient analogues à l'arc qu'on veut bâtir. La forme que prend la chaînette est telle qu'il ne s'exerce aucune force horizontale entre les maillons. En statique, on dit que tout solide en équilibre est soumis à un ensemble de forces qui s'annulent. Dans le cas de la chaînette, chaque maillon prend une position d'équilibre : la direction de chaque maillon est le résultat de la traction exercée sur lui par ses deux voisins. Si on dessine un arc et sa maçonnerie, il doit pouvoir contenir la courbe «chaînette» dans son épaisseur pour être stable sans élément rapporté.

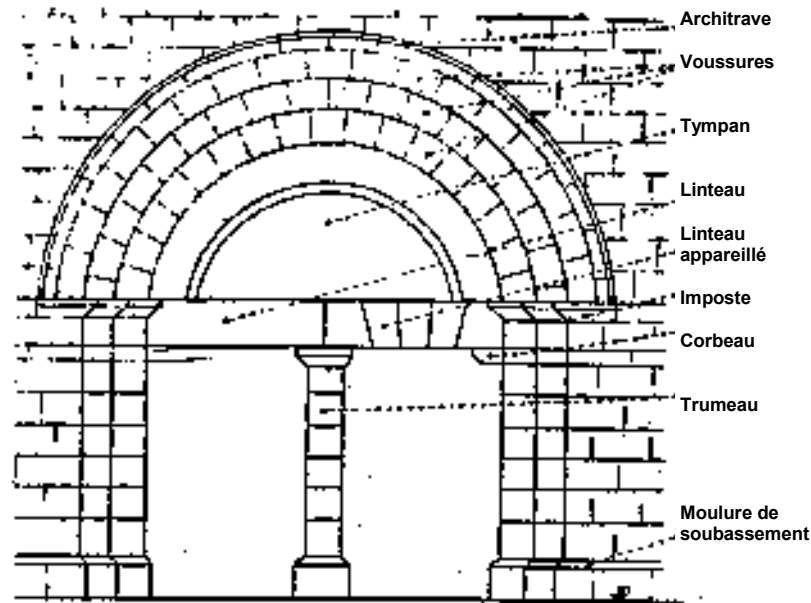
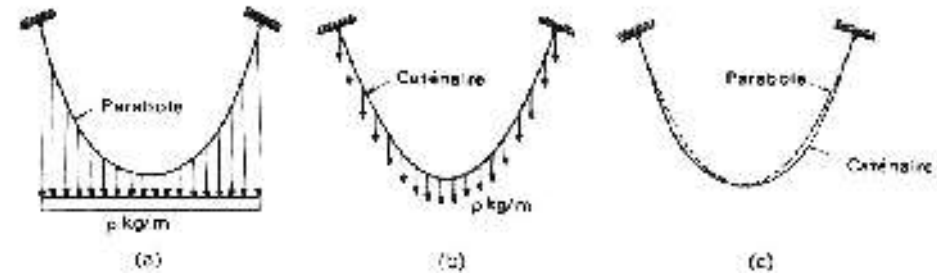
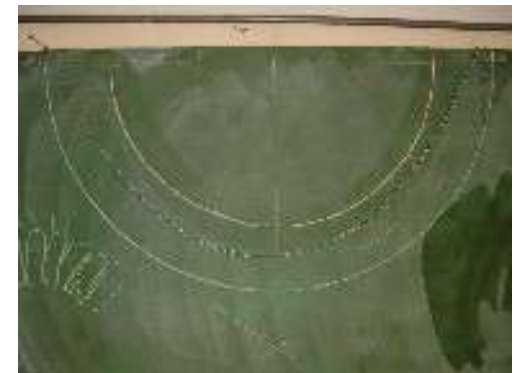


FIG. 254. — ÉLÉMENTS D'UNE PORTE D'ÉGLISE.

L'arc en chaînette est le seul arc qui ne produit pas de poussée horizontale. Sa forme se trouve surtout utilisée comme génératrice de voûtes, comme p.ex. la voûte nubienne (voir chapitre voûtes). L'architecte catalan Gaudi a développé la technique de l'arc/de la voûte en chaînette jusqu'à l'extrême dans la cathédrale (non terminée) de la «Sagrada Familia» à Barcelone.

Essai de passage de la chaînette dans un arc plein cintre.  
Dessin à l'échelle 1 pour un arc de 1 m de portée. et une épaisseur de 26 cm



## 2.1 Voûtes et coupoles Arcs

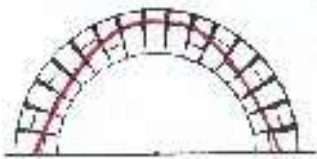
### 2) Arc en plein cintre

on dispose les briques en boutisse/panneresse

L'arc en plein cintre est un des plus courants, car sa forme en demi-cercle est une des plus faciles à tracer et à réaliser, de même que son coffrage. Pour réaliser cet arc en maçonnerie, on peut utiliser des briques qui sont toutes de la même taille et mises en oeuvre avec le même angle. C'est la forme des arcs dans le style roman. Cette forme est courante, car lorsqu'elle est utilisée pour créer une ouverture dans un mûr, la charge du mûr au dessus des reins (des côtés) équilibre les poussées horizontales induites par sa forme.

On a vu que les poussées dans un arc quelconque s'exercent toujours comme dans un arc en chaînette, et qu'il faut donc pouvoir dessiner la forme de cette courbe dans l'épaisseur de l'arc que l'on veut bâtir. On voit dans le dessin ci-contre que, dans un arc en plein cintre, la courbe des forces passe près de l'extérieur de l'arc (à l'extrados) aux extrémités haut et bas, mais qu'elle s'approche de l'intérieur (l'intrados) à environ un tiers de sa hauteur.

On peut faire l'expérience tangible de ces forces en bâtissant un arc en plein cintre (et sa contre-masse nécessaire à la base) en briques sans mortier (que du sable et des petits cailloux pour remplir les interstices) et en mode «boutisse-panneresse» (en alternant le sens des briques). En le déconstruisant ensuite : d'abord chaque deuxième brique intérieure (celle en boutisse, c'est à dire celle dont on voit le petit côté en vue d'élévation) en haut et chaque deuxième à l'extérieur en bas, puis les contre-forts à la base de façon à ce que la courbe chaînette reste «matérialisée».



1- l'arc est érigé avec du sable sans mortier et les reins chargés



2- après décoffrage on vérifie qu'il est stable.



3- les forces empruntent un chemin de forme chaînette hors duquel on peut enlever les briques. En dernier, on retire les charges des reins.



4- Au bout de quelques minutes l'arc s'écroule sous son propre poids.



La technique de construction est la même pour tous les arcs. Elle nécessite un cintre. C'est donc la forme des coffrages qui varie. Le cintre en bois est en général constitué de deux joues (plaques en forme de l'arc à obtenir) reliées entre elles par des tasseaux vissés sur les chants. Il y a deux avantages à réaliser le cintrage de cette manière :

1- Le coffrage est posé sur des coins mariés ce qui permet un décoffrage facile, les coins sont identiques et placés tête bêche

2- Le positionnement des briques est matérialisé par les tasseaux. A chaque tasseau correspond une brique. Il suffit donc de centrer la brique sur le tasseau et de la poser bien à plat dessus. Le vide entre les tasseaux laisse les joints accessibles. On peut donc les nettoyer dès la réalisation du joint, avant qu'ils ne sèchent, sans être obligé d'attendre le décoffrage. Il existe d'autres techniques de cintrage de bois, en effet on peut obtenir le cintre en disposant des briques, si l'on construit en briques, ou en galets ...Ensuite on affine la forme au mortier.



## 2.1

### Voûtes et coupoles

quelques exemples d'arcs courants et moins courants

#### Arcs brisés

Cet arc se compose de 2 arcs de cercle dont les centres ne se trouvent pas au milieu de l'arc (voir croquis), de façon à ce que l'arc ainsi formé soit pointu, «brisé». On trouve cette forme d'arc notamment dans l'architecture gothique et dans les arcs doubleaux des voûtes d'ogives.

#### Arcs en anse de panier

L'arc en anse de panier se compose de 3 arcs de cercle : les deux extrémités sont des quarts de cercle qui sont liés par un arc de cercle au rayon plus grand, de manière à ce que le tout forme un arc surbaissé. Cette forme est pratique pour avoir des portées de longueur supérieure à la hauteur de l'arc (avec un arc en berceau p. ex. la portée est égale à la flèche).

#### arcs surbaissés

L'arc surbaissé est une portion de demi-cercle. L'avantage d'un tel arc est d'être un peu plus bas qu'un plein cintre, il permet de créer une ouverture qui, pour la même largeur, nécessitera une hauteur de mur moins importante. Par contre, sa forme étant plus plate, il génère des poussées horizontales plus importantes et donc un pied droit (pilier) plus important.

#### arc surélevé

Contrairement au précédent, l'arc surélevé est un plein cintre qui prend sa base plus haut que l'imposte du pied droit. (?)

Ce type d'arc produit surtout une impression de verticalité (et rappelle l'orient).



Au premier plan : arc brisé  
au deuxième plan : Arc forme chaînette  
au troisième plan : arc surbaissé.





# I

## Voûtes et coupoles

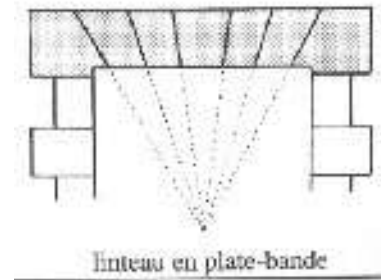
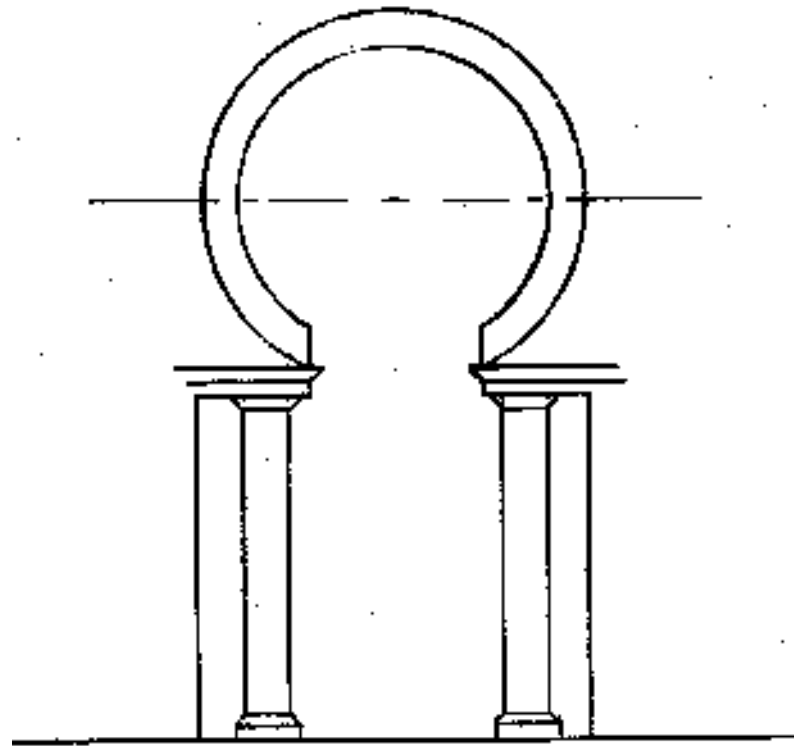
### arc outrepassé

L'arc outrepassé, lui, est encore un dérivé du plein cintre, sa particularité est d'être composé d'un arc de cercle plus grand que le demi-cercle. Il s'accompagne, en général, de deux colonnettes qui supportent la partie basse de l'arc qui n'est pas porteuse. (?)

Ce type d'arc un peu plus compliqué à mettre en oeuvre, est plutôt réservé, comme le précédent, à des constructions dont l'architecture est plus élaborée. En effet, ces formes sont assez hautes et nécessitent un surplus d'efforts et de matériaux que l'on ne peut en général se permettre que dans le cadre des constructions sacrées ou dans le traitement spécifique d'un espace particulier. Cette forme « humanoïde » est très présente en Orient.

### Arcs plats

Ce sont, comme leur nom l'indique, des arcs plats (ou presque) qui permettent p. ex. de faire des linteaux de portes ou de fenêtres en n'utilisant que des briques ou autres éléments plus petits que la distance à couvrir.



#### - pinacles :

Les pinacles sont aux arcs boutants ce qu'est la charge des reins pour la voûte romane. La poussée verticale obtenue grâce à leur poids annule la poussée horizontale. Les pinacles ne sont donc pas en premier lieu des éléments décoratifs...

#### - tirant :

Les tirants sont des barres de fer forgé qui sont placées dans la maçonnerie et qui relient les deux bases de l'arc. Ce tirant travaille en traction et compense les poussées horizontales.

#### - construction d'arcade continue :

Si la construction continue à côté de la voûte, par d'autres voûtes, p.ex., la poussée horizontale est amortie par celles-ci, cependant cette série doit se terminer par un élément plus épais (un pilier, un mur).

## 2.2

### Voûtes et coupoles voûtes

Une voûte est un ouvrage dont la forme est générée à partir d'un arc ou d'une courbe en translation. Une voûte, si elle n'est pas de forme chaînette, crée toujours des poussées horizontales dans ces éléments (ce qui est dû à la position des briques par rapport à une courbe chaînette).

Les forces tendent à faire sortir les briques de l'arc au tiers de sa hauteur.

Au bas de la voûte, toutes ses forces accumulées de brique en brique, créent une poussée qui tend à renverser le mur sur lequel elle est bâtie. A cette force s'ajoute une composante verticale liée au poids de la maçonnerie qui se trouve au dessus de l'arc.

Il faut donc empêcher, premièrement la déformation de l'arc et, ensuite, le renversement du mur porteur, si il y a un.

Pour amortir ces poussées horizontales, les bâtisseurs ont trouvé différentes manières à travers l'histoire.

#### - ajout masse :

les Romains posaient les voûtes sur des murs énormes (dans l'épaisseur desquels peut passer le vecteur de la force qui arrive en biais à la base de la voûte).

#### - contreforts :

Pour alléger ces murs énormes dans l'époque romane, on dispose des arcs doubleaux régulièrement le long de la voûte. Ces arcs supportent une partie de la voûte et rassemblent ses poussées. On place donc un contrefort derrière le mur à l'extrémité du bâti, dans le plan de l'arc doubleau, pour encaisser les forces en ce point, ce qui permet d'affiner le reste des murs.

#### - Voûte d'ogive/arc-boutant :

Avec les arcs doubleaux les bâtisseurs concentraient les efforts. Epoque gothique avec l'arrivée des voûtes d'ogive, ils dirigent toutes les forces. Dès lors le contrefort s'est transformé en arc boutant, ils ont la même fonction mais l'arc boutant est bien plus élaboré et volumineux.

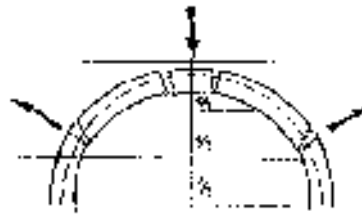


Illustration : Technique de la voûte dans l'Orient ancien



Voûte en panier.

#### - pinacles :

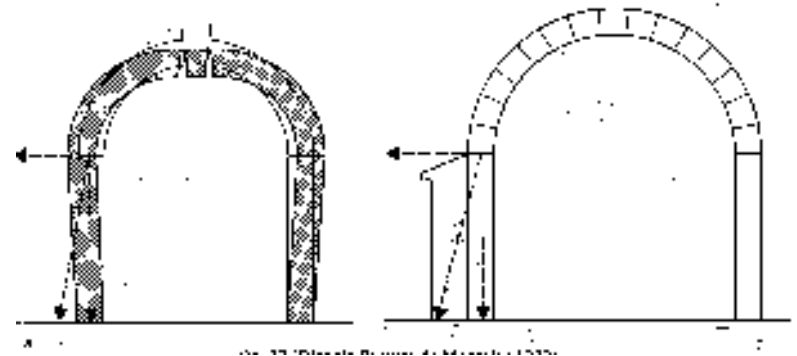
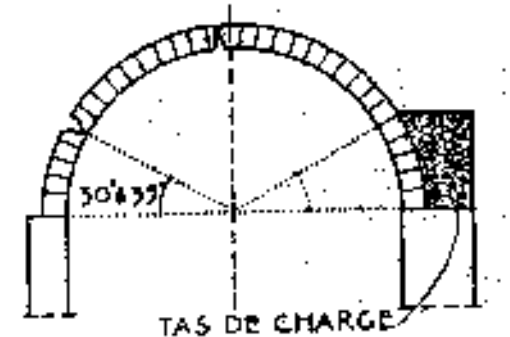
Les pinacles sont aux arcs boutants ce qu'est la charge des reins pour la voûte romane. La poussée verticale obtenue grâce à leur poids annule la poussée horizontale. Les pinacles ne sont donc pas en premier lieu des éléments décoratifs...

#### - tirants :

Les tirants sont des barres de fer forgé qui sont placés dans la maçonnerie et qui relient les deux bases de l'arc. Ce tirant travaille en traction et compense les poussées horizontales.

#### - construction d'arcade continue :

Si la construction continue à côté de la voûte, par d'autres voûtes, p.ex., la poussée horizontale est amortie par celles-ci, cependant cette série doit se terminer par un élément plus épais (un pilier, un mur).



## 2.2

### Voûtes et coupoles

#### voûtes

##### Principes de mise en oeuvre

On différencie :

- *en encorbellement* :

Chaque rangée de briques se pose en surplomb par rapport à la rangée précédente. Les lits de pose sont en assise horizontale (en théorie, les contraintes sont uniquement verticales, l'ouvrage ne travaille qu'en compression).

Avantage : cette technique ne nécessite pas de coffrage.

Désavantage : la hauteur de l'ouvrage (la flèche) est plus haute que la largeur (la portée), ce qui donne des formes en obus ou encore des voûtes « droites ». Chaque pierre peut être placée avec 1/3 de dépassé par rapport à sa longueur.

- *rayonnant* :

Les lits de pose sont orientés brique après brique dans l'alignement des rayons de l'arc. La plupart des arcs, voûtes et coupoles sont faits de manière rayonnante.

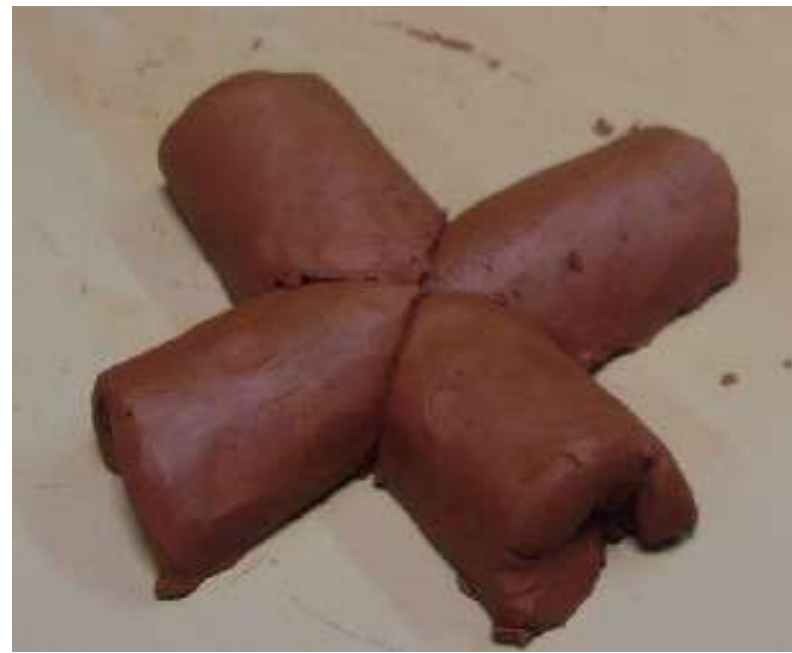
On différencie :

- *en assise* :

Le mortier est posé sur le côté le plus grand de la brique (aussi bien à plat pour l'encorbellement qu'orienté pour une mise en oeuvre rayonnante) ; la plupart des voûtes et coupoles sont composées de briques posées en assise, ce qui nécessite un coffrage.

- *en tranche (rare)* :

Les briques se touchent sur le chant de la brique dans le plan de l'arc. Cette technique se passe de coffrage mais souvent on remarque une inclinaison des arcs, ce qui facilite la pose. La solidité de l'ouvrage repose en grande partie sur le mortier car ici, il ne travaille pas qu'en compression, une voûte bâtie en tranche est alors une juxtaposition d'arcs. (Si lors de la construction le retrait du mortier est trop important, l'édifice sera alors menacé par ce que l'on appelle un coup de sabre).



Nota : ne pas confondre encorbellement avec assise ; pose rayonnante avec pose en tranche...

Une voûte rayonnante p.ex. peut être maçonnée en assise ou en tranche.

Visualisation en terre de 4 voûtes en berceau créant une voûte d'arête à leurs intersections.



Illustration : Technique de la voûte dans l'Orient ancien



## 2.2

### Voûtes et coupoles

#### Voûtes nubiennes

Ce sont des voûtes générées à partir d'arcs en chaînette.

Elles ont deux principaux avantages :

- elles n'ont pas de poussée horizontale dans la maçonnerie, ne nécessitent donc pas de charge supplémentaires. (cf. paragraphe sur l'arc en chaînette).
- elles ne nécessitent pas de coffrage car elles sont montées en tranches (en Nubie, le bois était rare...). En effet, pour la voûte nubienne, les arcs sont montés avec une inclinaison de  $15^\circ$  environ par rapport à la verticale appuyés contre un mur ou un arc (ce qui permet lors de la pose de comprimer le mortier simplement avec le poids des briques). On procède par rangées (presque) verticales et les briques sont posées en tranche.



Astuce : Pour obtenir cet angle de  $15^\circ$ , on peut commencer par poser contre le support, à chaque extrémité, quelques briques en assise à l'horizontale, chacune un peu plus courte que la précédente, de manière à former un triangle avec l'angle souhaité, contre lequel on appuie les premières rangées de briques inclinées. Dès qu'on forme une rangée avec un arc complet, on peut répéter la manoeuvre (technique employée à «terre vivante»).



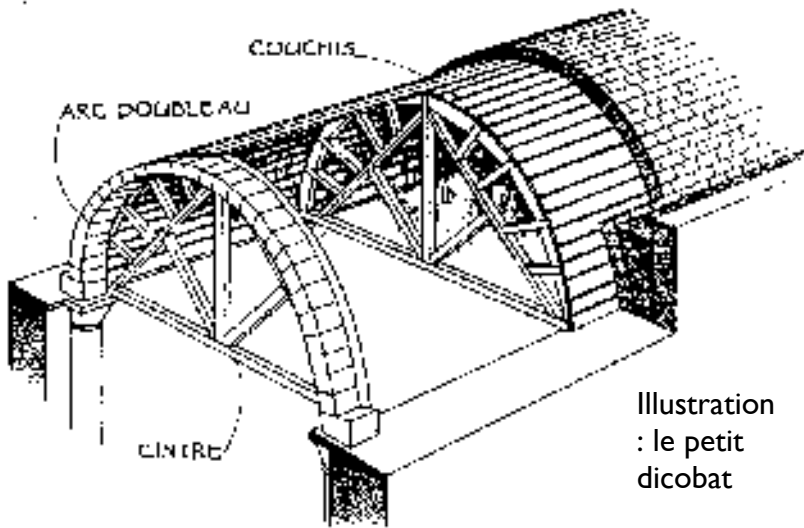


## 2.2

### Voûtes et coupoles

#### Voûte en berceau

Ces voûtes sont générées à partir d'un arc en plein cintre - elles ont donc la forme d'un demi-cylindre. C'est la voûte de l'époque romane. La voûte romane a les mêmes avantages de mise en oeuvre que son arc générateur en plein cintre, car les briques sont toutes montées avec le même angle par rapport au centre (du cercle).



#### Voûte d'arête

La voûte d'arête est le résultat d'une croisée de deux voûtes, elle s'élève à partir d'une base carrée la plupart du temps. L'avantage de ce type de voûte est qu'elle forme un module qui en le répétant, peut couvrir un espace important avec un minimum de piliers. De plus, on peut obtenir deux horizontales au sommet des voûtes, ce qui permet, en chargeant les reins, d'obtenir facilement un niveau horizontal pour continuer un plancher au dessus. C'est pour cette raison qu'on les trouve très souvent dans des vieilles bâtisses (rez-de-chaussée ou cave).



Les briques des arêtes sont taillées en diagonale

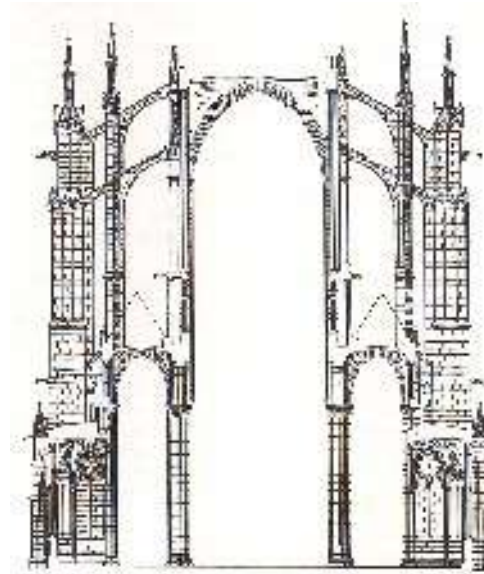
## 2.2

### Voûtes et coupoles

#### voûtes d'ogive

Ce sont des voûtes croisées bâties à partir de nervures en diagonale en demi-cercles. Les arcs doubleaux sur les côtés sont des arcs brisés de même hauteur que les diagonales. C'est cette caractéristique qui annule les poussées sur les murs et les déporte vers les piliers.

---



Cathédrale d'Embrun  
voûte d'ogive de la nef





## 2.3

### Voûtes et coupoles coupoles

Une coupole est un ouvrage dont la forme est obtenue à partir d'un arc en rotation. C'est une demie-sphère plus ou moins déformée.

#### Coupoles de borie

Les bories sont des abris de berger en pierre sèche (sans mortier), fruits d'un patient travail «d'épierrage» des pâturages... ; elles existent depuis la nuit des temps. Elles ont généralement un diamètre ne dépassant pas 3 mètres et contenaient parfois un étage dont les poutres étaient encastrées à sec dans le mur. Le plus souvent, elles sont composées de pierres plus ou moins plates (plus faciles à empiler), montées d'abord en forme cylindrique légèrement coniques qui devient coupole plus haut. Cette coupole est montée lit après lit en encorbellement et sans coffrage. La forme ainsi obtenue est appelée «en tas de charge» et en coupe elle donne une courbe en chaînette (celle qui génère les voûtes nubiennes, cf. plus haut).

#### Coupole sur trompe

Un des principaux problèmes posés par la construction d'une coupole est de passer d'un plan carré ou rectangulaire à une forme ronde qui puisse s'inscrire dans le plan d'un édifice. Les coupoles sur trompe et sur pendentif sont deux exemples de solution à ce problème. La coupole sur trompe est composée à partir du carré. Le cercle de base de la coupole doit être de diamètre égal au côté du carré pour pouvoir reposer sur les murs. Si ensuite on superpose les deux figures, on s'aperçoit que dans les angles, la coupole n'est pas portée. Les trompes sont donc disposées à chaque angle, elles créent un octogone, forme qui s'adapte mieux au cercle et qui permet de supporter la coupole sur toute son pourtour. Les trompes ramènent les efforts jusqu'à l'angle du mur et aux fondations carrées.

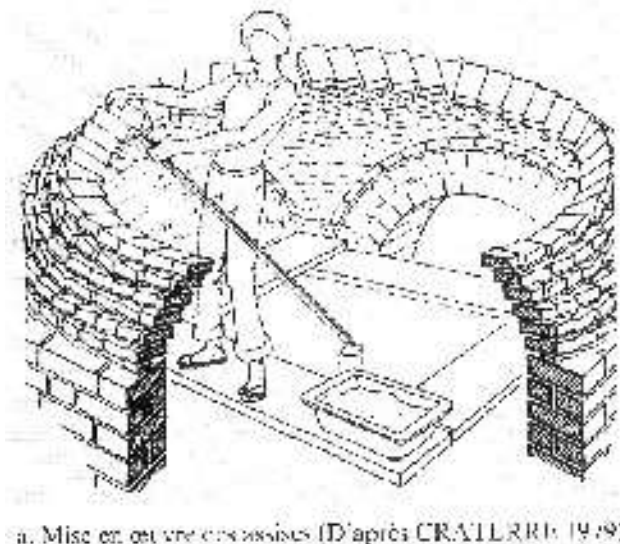


Illustration : Technique de la voûte dans l'Orient ancien



## 2.3

### Voûtes et coupôles

#### Coupôles en (et) sur pendentif

Le principe de la coupole sur pendentif se décline en deux types, la coupole en pendentif, qui peut être surmontée d'une coupole sur pendentif.

Pour modéliser rapidement cette coupole, on peut former une boule avec une matière plastique (de l'argile par ex), on la coupe en deux et on la tronque sur 4 côtés suivant un plan carré. Pour mieux comprendre, on peut la dessiner

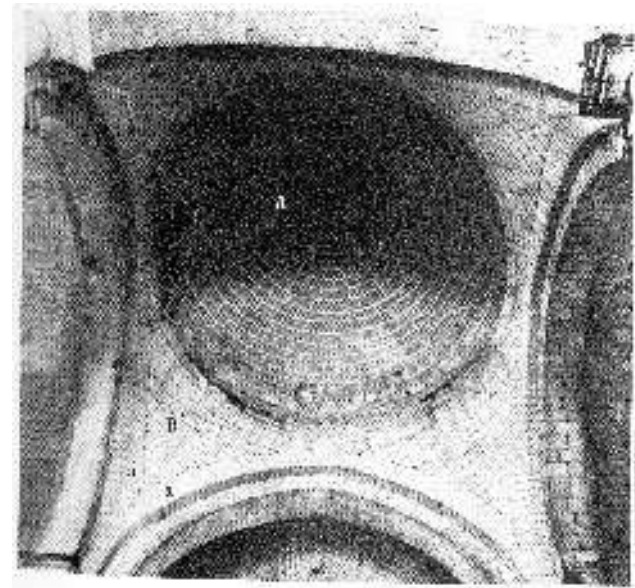
. La coupole en pendentif, elle aussi, est dessinée par rapport à un carré, comme précédemment, mais cette fois-ci le cercle de base est de diamètre égal à la diagonale du carré. une fois superposées, on élimine ce qui dépasse de la base carrée. Il reste une portion de coupole qui se tient sur une base carré dont les quatre

flancs sont ouverts par un arc en plein cintre. A ce stade on peut fermer la coupole en pendentif ou on peut redémarrer une nouvelle coupole de plus petit diamètre. Cette coupole sur pendentif est une demi sphère complète. Cet ensemble crée un espace où les courbes sont dominantes mais dont le plan est un carré.

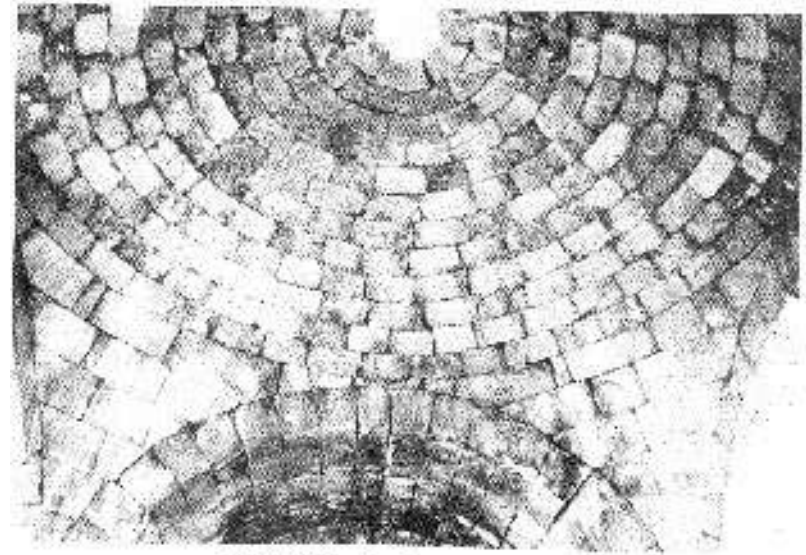


Réalisation d'un pendentif entre deux arcs plein cintre.

Illustration : Technique  
de la voûte dans l'Orient  
ancien



n. Coupole sur pendentif en pierre de taille  
(D'après Pérouse de Montclos 1977)



d. DIERACH (Jérusalem) : coupole en pendentifs  
(D'après Goehausen 1950)



## 2.3 Voûtes et couples

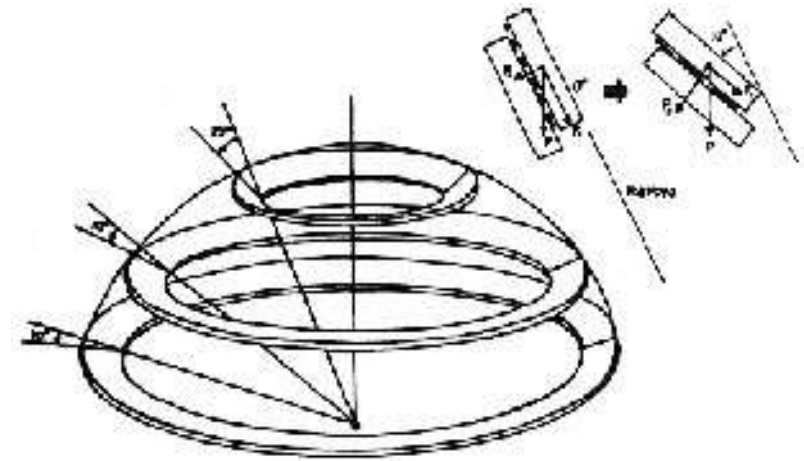
**voûtes**  
détails de mise en oeuvre  
des briques dans la  
construction de voûtes et de  
couples.



Lors de la réalisation d'une coupole les briques sont posées perpendiculairement au rayon, leur emplacement est tel que les briques inférieures coupent systématiquement les briques supérieures au 2/3. cela crée un léger encorbellement.



Mise en place des briques sans décalage de l'angle, la surface intérieure est totalement lisse dans une voûte et presque lisse dans une coupole.



b. Variation de l'inclinaison des assises  
(D'après CRATERRE 1979)

Au lieu d'être posées avec l'angle exacte du rayon il est possible de poser les briques avec une dizaine de degrés en moins, cela facilite la pose des derniers rangs et cela crée un relief à l'intérieur qui améliore la sonorité du local.



Brique posée avec un décalage de l'angle, création d'un relief qui peut être considéré comme décoratif.

# Module

# Maçonnerie



## **3 Construction terre**

### **3.1 Enduits terre**

### **3.2 Pisé**

### 3.1 Enduits terre

#### les tests

Les enduits terre sont si possible réalisés avec la terre du lieu de la construction (hors terre végétale). Il est donc nécessaire de la tester avant de commencer les travaux.

Le seul test efficace est un test de mise en oeuvre. Il faut réaliser une grille d'essai avec des carrés d'enduits de 40X40 posés selon le même protocole que lors de la réalisation des enduits sur chantier. Même méthode de mise en place (truelle, taloche...) même épaisseur, même finition (lissé, taloché, gratté..)

Dans le premier carré on lance la terre du lieu sans apport, puis dans celui de gauche la terre + une certaine quantité de sable (par exemple). Dans celui du bas, on dose une autre charge (fibre par exemple). On continue le tableau en croisant les différents apports.

Cette grille part du principe que les terres sont en France le plus souvent trop argileuses, si la terre n'est pas assez argileuse, il faudra alors l'amender ou en argile ou avec un autre liant (ou trouver une terre plus argileuse dans les alentours et les mélanger.

**Terre brute**

**terre + ½ sable**



Entre chaque essai, l seul paramètre doit changer pour que les résultats du tableau soient lisibles.

**La seule méthode pour tester une terre est de la mettre en oeuvre selon le protocole du chantier**



### 3.1 Enduits terre

#### Les tests

Le résultat des tests se lit sur le tableau sec.

L'objectif est de trouver le mélange dans lequel il y a le plus de liant possible (argile) sans retrait, et donc de terre, pour avoir un enduit le plus résistant possible et en même temps n'avoir à rajouter qu'un minimum de matière.

Il est possible de voir ici [1] que les 3 premiers essais se sont décollés, les forces de retrait dans le plan du mur étaient plus fortes que les forces d'accroche au mur (cisaillement à l'interface). Il est possible de voir en [2,3,4,5] des fentes dues au retrait de l'argile, il est nécessaire dans ce cas de doser plus fortement les charges pour bloquer le retrait ou de mettre des fibres afin de maintenir une cohésion de la matière (mais jamais de fibres végétales à l'extérieur).



Sur le dernier carré à droite le résultat obtenu est sableux, aucun problème de fissuration mais une tendance à s'effriter. Le dosage en charge est trop important.



Exemple de décollement, la terre trop argileuse tuile en séchant et l'accroche au mur ne suffit pas pour la retenir.







Pour les angles, il est souvent nécessaire de mettre dans le corps d'enduit un « grillage » pour éviter les fentes lors du retrait. Le grillage doit dépasser de 10 cm de la zone à risque.



Comme pour tous les enduits les couches successives doivent être de moins en moins « fortes », c'est à dire, qu'elles ne doivent pas pouvoir arracher la couche précédente. Elles doivent être moins épaisses ou moins dosées en liant que la précédente.

L'enduit doit comporter des charges égales à la moitié de son épaisseur.

### 3.1 Enduits terre Les différentes couches

Un enduit est réalisé généralement en plusieurs couches, généralement 3

- le gobetis (suivant la nature du support)
- le corps d'enduit
- la couche de finition à laquelle il est possible de rajouter une couche de décoration.

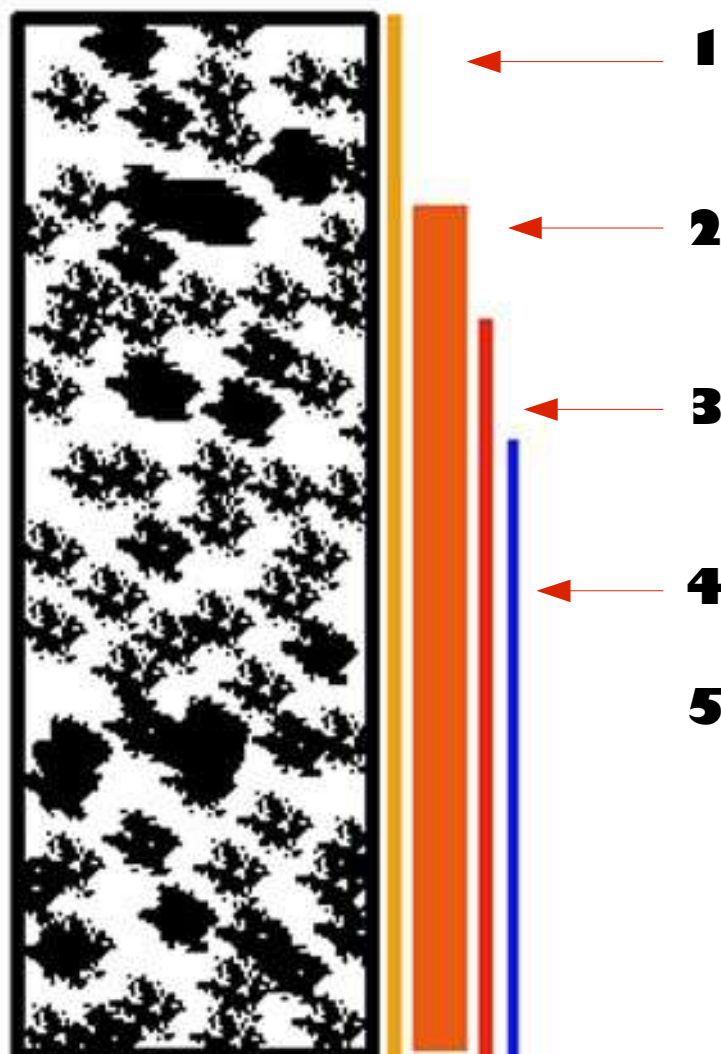
1 - Le gobetis c'est la couche d'accroche, c'est grâce à elle qu'une liaison va s'effectuer entre le support et l'enduit. Sur certains supports (placo, plâtre) il est préférable de pré-enduire avec de la colle et du sable. Le gobetis est lancé très liquide, c'est du liant et du sable. 1 à 2 mm

2 - Le corps d'enduit permet de rattraper les défauts de planéité et apporte l'étanchéité : 1,5 à 4 cm

3 - L'enduit de finition assure la protection de l'ensemble, ainsi que la finesse de la finition. 2 à 3 mm

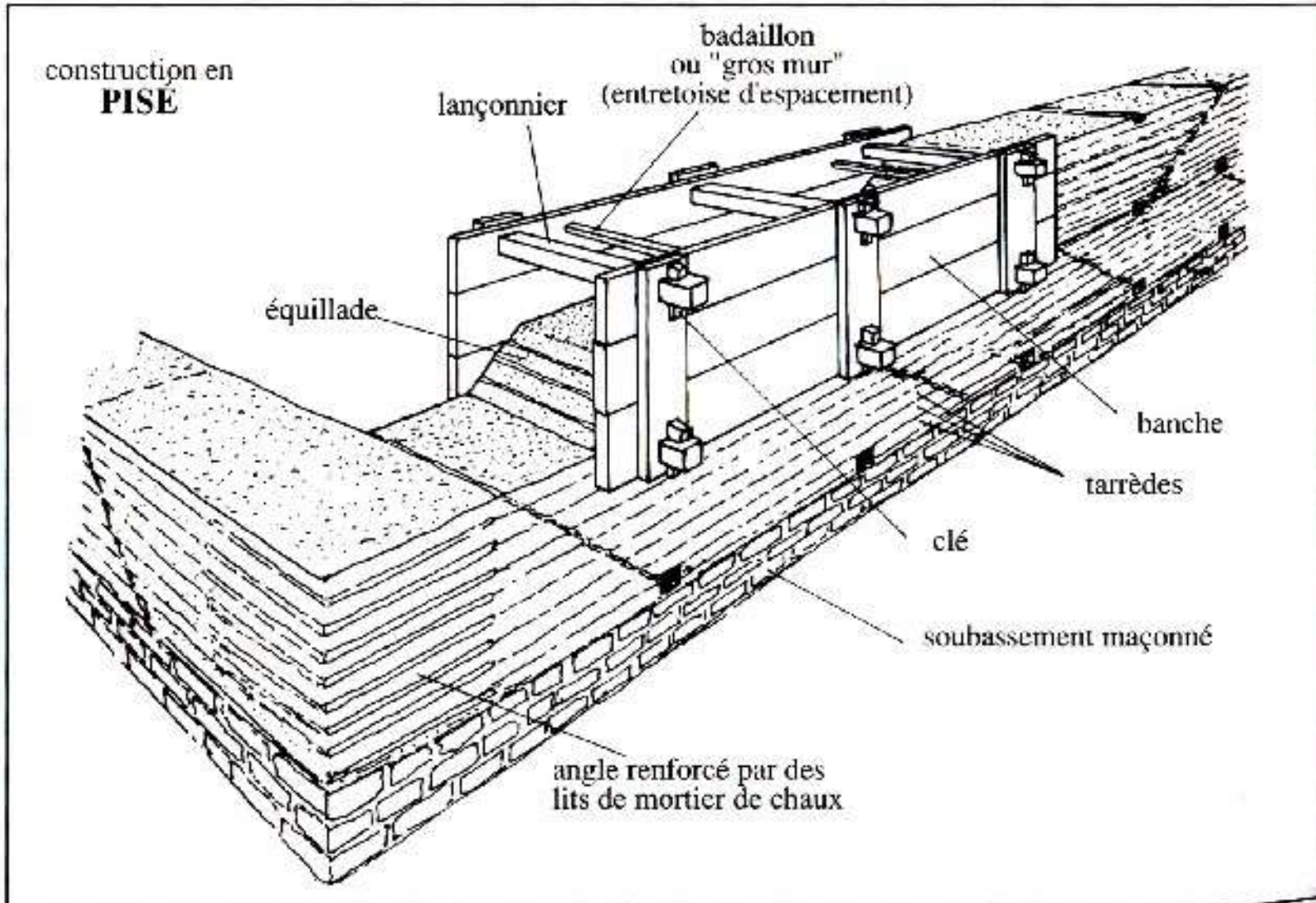
4 - La couche de décoration, 2 à 3 mm réalisée en terre de couleurs, voir des charges décoratives (mica, paille...)

5- Peinture à l'argile, badigeon chaux....



### 3.2 Pisé Théorie

« Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger ni de paille ni de bourre. Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur ordinaire des murs de moellons, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée à toutes les hauteurs données pour les habitations. » F. Cointeraux - 1790



Source : Le petit dicobat





### Caractéristique

Capacité thermique :  $510 \text{ Wh/m}^3\text{°C}$

Masse volumique :  $1800 \text{ Kg/m}^3$

Résistance à la compression 20 à 80  $\text{KG/cm}^2$



- 1 – 2 Mise en place de la banche
- 3 – Malaxage et humidification de la terre
- 4 – Chargement d'une levée
- 5 – 6 – Damage au psoir
- 7 – Mise en place d'un cordon de chaux et de pigment (décoratif)
- 9 - Débanchage

### 3.2 Pisé Pratique

Pour le pisé, la terre doit être humide, au plus proche du point proctor. Les banches ou planches de coffrage devront être très résistantes, résistance minimum de  $300 \text{ Kg/cm}^2$ .

La terre foisonnée est introduite dans le coffrage de façon à garder les gros éléments dans le coeur du mur et ainsi avoir une fleur de pisé plus fine. 12 cm environ.

Le premier damage est réalisé par le poids du piseur, puis un premier passage à la dame est effectué pour tasser les côtés et les coins, le centre est damé ensuite. Une fois compactée, la levée ne fait plus que 7 cm environ. (taux de compression de 1,7) Dès que le coffrage est plein il est possible de le déplacer et de continuer le travail.

Les trous servant à faire passer les tiges filetées du coffrage sont appelées des trous de boulin.

# Module

# Maçonnerie



## 4 Chaux

4.1 décroûtage

4.2 enduits

4.3 finitions



## 4.1 La chaux

### Le piquage

Lorsque les désordres sont importants : enduit décollé, lézardé, ou si les enduits sont friables, il peut être nécessaire de réaliser un piquage de la façade.



### Le coulinage

Le coulis est un mortier (de chaux dans le bâti ancien) gâché assez liquide pour être utilisé par gravité dans le remplissage de joints ou pour être injecté sous pression.

Le coulis se prépare avec :  
1 dose de chaux hydraulique pour 1 dose de sable fin plus de l'eau (consistance onctueuse)

- réalisation d'un nid d'hirondelle
- injection d'eau afin de repérer les résurgences
- colmatage des événements
- coulinage jusqu'à refus (suivant les trous toutes sortes d'outils seront utilisés)
- suivant la taille du trou, re-maçonner l'entrée.



## 4.2 La chaux

### Les enduits

L'enduit est passé en 4 couches :

- dégrossir, pour reprendre les trous importants entre les pierres.
- corps d'enduit, pour dresser le mur et assurer une grande part de l'étanchéité.
- l'enduit de finition, pour assurer l'aspect de la façade (écrasé, gratté, tyrolien, granité, ribbé verticalement, ribbé en rond, au balai).



Pour le projeté truelle :

- Tenir la truelle perpendiculaire à l'avant bras.
- Charger la truelle et d'un seul mouvement circulaire projeter l'enduit sur le mur.
- L'enduit quitte la truelle au moment où celle-ci est perpendiculaire au mur.



Pour le dégrossi :

- chaux aérienne 250 Kg/m<sup>3</sup> (1 seau de chaux pour 2 de mélange à béton)
- mélange à béton 0/10
- 2 bouchons de typol par bétonnière (6 à 8 seaux)



Pour un corps d'enduit respirant :

- 7 seaux de pouzzolane (sable)
  - 3 seaux de sable
  - 5 seaux de CL
- (monter le mortier respirant 1 m au dessus point de rosé)



Reconstitution d'un enduit au balai



## 4.3 La chaux

### La finition

#### Dosage des enduits.

##### - Gobetis 400 KG/m<sup>3</sup>

cad 5 seaux de NHL pour 10 seaux de sable

cad 8 seaux de CL pour 10 seaux de sable

##### - Corps d'enduit 320 KG /m<sup>3</sup>

cad 4 seaux de NHL pour 10 seaux de sable (1/10)

cad 6,5 seaux de CL pour 10 seaux de sable (0/10)

##### -Finition 240 Kg/m<sup>3</sup>

cad 3 seaux de NHL pour 10 seaux de sable

ou 200 Kg/m<sup>3</sup>

cad 3 seaux de CL pour 10 seaux de sable

##### - Chaulage (à sec) 1 volume de chaux pour 1 volume d'eau

maximum 5% d'oxide ou 10% de terre. Aspect masquant généralement blanc.

- **Badigeon** (1 volume de chaux pour 2 à 3 volumes d'eau) est masquant, bouche-pores et aurait tendance à masquer la surface du support pour le rendre plus lisse.

La coloration des badigeons s'effectue à l'aide de pigments minéraux, on en exprime la quantité par rapport au poids de chaux.

maximum est de 25 % du poids de chaux en poids de pigment pour les terres, 15 % pour les oxydes.

- **L'eau forte** ou **détrempe** à la chaux (1 volume de chaux pour 5 à 6 volumes d'eau) est plus aquarellée, plus transparente.

On peut, par rapport au badigeon, ajouter un pourcentage de pigments plus important : jusqu'à 65 % du poids de chaux en poids de pigment pour les terres, 35 % pour les oxydes.

- **Patine** (à sec ou à fresque): 1 volume de chaux pour 20 volumes d'eau maximum de 50 % d'oxyde ou 90 % de terre pour colorer. Se passe sur les modénatures et pierres, enduits en transparence, privilégie la texture du support, sert de patine d'uniformisation en cas de reprise partielle.

#### Différentes type de finitions

##### - L'enduit lissé,

Aussitôt après l'application du mortier, on procède à un talochage afin de produire un ressuyage de la laitance. Ensuite on lisse la surface à la truelle lisseuse en de larges mouvements ondoysants (gauche à droite). On termine par un léger chiffonnage (taloche recouverte d'un feutre). Cela élimine les traces laissées par la truelle et, très important, le surplus de laitance, source de fissuration.

##### - L'enduit taloché,

Aussitôt après l'application du mortier, on procède à un talochage afin de produire un ressuyage de la laitance. Le talochage est fait avec une grande taloche, en faisant de grands mouvements circulaires assez réguliers.

##### - L'enduit " grain d'orge" ou rustique,

C'est un travail d'adresse exécuté à la truelle. Le mortier est projeté énergiquement, suivant un rapide mouvement de rotation qui le fait glisser de la truelle pour qu'il vienne s'éclater largement sur le mur. Les truellées sont étalées côte à côte, par bandes horizontales.

##### - L'enduit peigné ;

Deux à trois heures après la mise en œuvre, le mortier est raclé à l'aide d'un peigne métallique spécial ou légèrement brossé, à la brosse dure pour lui donner un aspect rugueux et homogène.

##### - L'enduit gratté ;

Quelques heures après l'application, la surface est raclée avec une taloche garnie de pointes (le gratton) passée en mouvements circulaires.

##### - L'enduit strié ou ribbé ;

nt passé à la taloche recouverte d'un feutre.

##### - L'enduit grésé, ou poncé ;

L'enduit est surfacé avec une meule de Carborundum passé à sec, ou travaillé à la ponceuse (electrique) équipée d'un disque souple. »

*Guilhem Rocher*



Enduit lissé grossier



Enduit lissé



Enduit au balai



# Module

# Maçonnerie



## 5 plâtre

- 5.1 les couches d'accroche
- 5.2 dresser un mur, un plafond
- 5.3 stuc / staff
- 5.4 voûte sarrasine
- 5.5 escalier sur voûte sarrasine
- 5.6 cheminée

## 5.1 plâtre

### Les couches d'accroche.

Lorsqu'un support n'est pas adapté pour l'application de plâtre il est possible de réaliser une couche d'accroche. Lorsque cela est possible il est préférable de retrouver une accroche en nettoyant ou grattant le support.



- Colle à carreau de plâtre (PF3) 1/5
- plâtre fin 4/5 (à fleur)
- sable (même quantité que la colle)
- sikatex dans l'eau de gâchage (1 volume de sikatex pour 4 volumes d'eau)
- plâtre dur (plâtre à mouler)
- colle pour placo polystyrène
- plâtre fin

**L'accroche est posée en couche fine sur le support puis rendue rugueuse par grattage ou tallochage (lorsque la présence de sable le permet).**

## 5.2 plâtre

### Dresser un mur

Avant tout travail important en plâtre il est indispensable de :

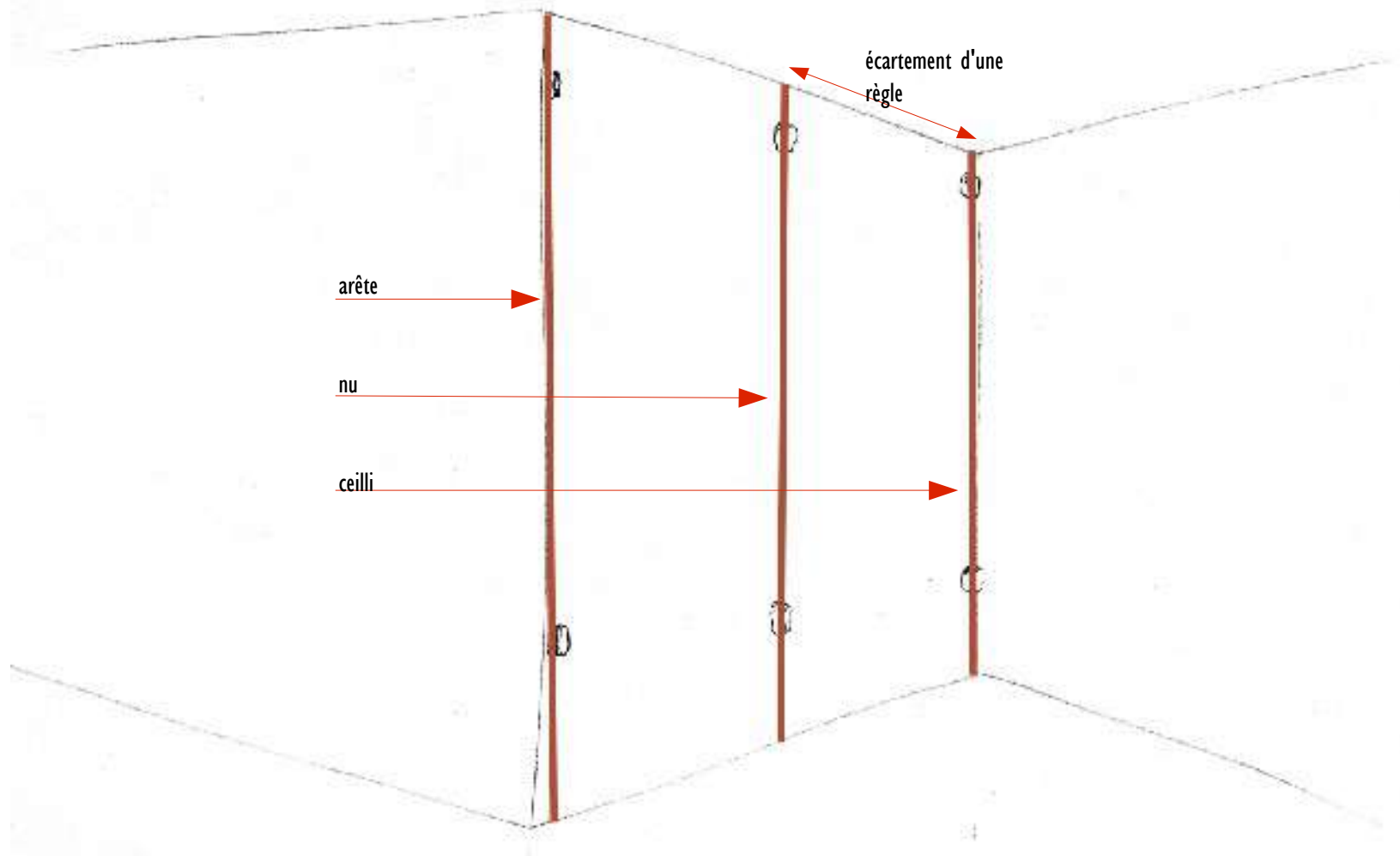
- nettoyer ses outils et les avoir à portée de main



- prévoir son approvisionnement



- anticiper ses gestes afin de mettre sa gamate au bon endroit, estimer le volume de plâtre



#### Pour dresser un mur :

- poser des plots d'aplomb (morceaux de brique collés au plâtre)
- créer des règles verticales en plâtre (en appuyant avec une règle alu sur un cordon de plâtre)
- il est possible de poser aussi des règles horizontales

Les règles doivent dépasser du mur de 1 cm afin de pouvoir réaliser toute la surface d'un coup.



## 5.2 plâtre

### Dresser un mur

- Préparer des gâchées les plus grandes possible (1 seau minimum à 1 sac optimum) et les poser le plus vite possible. Il faut prendre le fond de la gâchée en premier car il prend plus vite.
- Le réglage/lissage intervient entre chaque gâchée



## 5.3 plâtre

### Stuc

Le **stuc** est une finition à base de chaux de plâtre et de charge minérale fine. Permettant de réaliser sur chantier des moulures, pillastre, corniches et des finitions très serrées, lisses voire imperméables. Par extension toutes les réalisations de moulures sur chantier sont assimilées à du stuc.

La **fausse pierre** est souvent réalisée avec la recette dite 1-2-3 CSP  
1 volume de chaux  
2 volumes de sable  
3 volumes de plâtre



Le plâtre est posé sur le support puis le gabarit est passé en s'appuyant sur une règle, au compas ou à main levée.



La moulure peut être réalisée en plusieurs passes



Les décors stucés peuvent aussi être réalisés avec un moule silicone, il sera plus difficile d'éviter les bulles mais la décoration s'adaptera mieux aux supports anciens manquant de planéité.

- pose du plâtre
- mise en place du moule
- mise en pression pour chasser le plâtre en trop et les bulles d'air
- raclage des bourrelets
- nettoyage
- démoulage





## 5.3 plâtre Staff

**Staff** : ouvrage décoratif réalisé en plâtre et filasse en atelier et destiné à être collé sur chantier (moulure, corniche, rosaces...)

Les décors sont réalisés en atelier sur des plans de travail adaptés. Les moulures sont tirées entre 2 règles. Le plâtre utilisé est un plâtre dur, du plâtre de moulage.



Coulage du fond de la moulure avec un plâtre assez liquide et étalement de celui-ci afin que la filasse puisse se coller sur toute la surface.



Mise en place de la filasse, à sec, afin de ne pas faire de boule.  
Recouvrement par un plâtre plus pâteux.



Recouvrement par un plâtre plus pâteux.  
Vérification de la place restante pour la moulure.



Coulage du plâtre nécessaire pour réaliser toute la moulure.  
Passage du profil surélevé de quelques millimètres.



Passage du profil jusqu'à obtention de la finition voulue.  
Séchage et stockage des moulures verticalement afin de ne pas les déformer.





## 5.3 plâtre Stuc marbre

**Stuc marbre** : fausse pierre réalisée à base de plâtre retardé et de pigments.

Le stuc marbre sert à réaliser des tablettes de meuble, des colonnes, des murs ayant l'aspect d'une pierre polie. Tous les veinages et tous les grains sont réalisables, en copie comme en création.

Pour réaliser un stuc marbre il faut au préalable diluer de la colle de lapin : 100g de colle dans 1 l diluée au bain-marie puis ajouter une poignée de chaux pour la stabilisation. Cette préparation est utilisée diluée comme eau de gâchage : 100 cl dans 10 l.

- Déposer un tas de plâtre sur la table, creuser un trou au centre et verser de l'eau. Gâcher
- Mettre de côté un peu de mélange plus liquide.

- séparer le tas principal en plusieurs.[1]
- colorer les de différentes nuances.



Et rouler les différents tas colorés dans du plâtre blanc sec.



- mettre en pile les différentes pâtes ainsi obtenues.



- A cette étape on mettra de côté un peu de matière afin de réaliser des cailloux colorés



- frapper la masse sur la table afin d'obtenir une boule dans laquelle les couleurs ne sont pas mélangées.



- allonger le tas et le couper en 2.



- mettre dedans différents « cailloux » colorés ainsi que la pâte plus liquide.



- Refermer le pain et le couper en tranche.



- L'agencement des différentes tranches donne une plaque « marbrée »



- Attendre que la plaque sèche un peu et passer la bertelet.
- une fois sec, poncer au 200 puis reboucher les trous
- poncer au 400 puis 600 puis 800 puis 1000 voire 1200.

## 5.4 plâtre voûte sarrasine.

La voûte sarrasine est une voûte en brique creuse hourdée au plâtre et montée à l'avancement. Elle peut servir à réaliser des voûtes de toutes courbures (plein cintre, anse de panier, ogive... ) mais aussi des paillasses d'escalier de toute forme. On dira alors un **escalier sur voûte sarrasine**.

Les briques utilisées sont des briques de 4 cm. Montées en 2 couches croisées.

Après réalisation du plan de la pièce à construire il faut tracer les arcs sur les murs. (2 pour une voûte en berceau, 4 pour une voûte d'arête). Ensuite commencer à monter dans les angles, les 4 côtés à la fois et progressivement se rapprocher du centre. Dans la partie presque horizontale on peut fixer une règle sur les 2 premières briques de chaque rangée pour aligner les autres.



Voûte en cours de réalisation :  
une seule couche de briques.  
5 personnes 250 KG

Les escaliers sur voûtes  
sarrasines permettent de  
réaliser simplement des  
girons courbes



Photo Stéphane Vedel





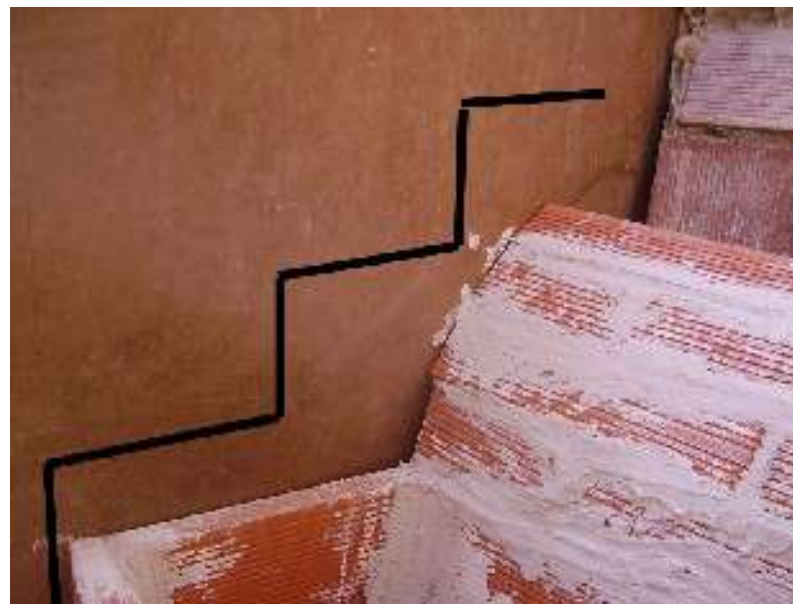
## 5.5 plâtre

### Escalier sur voûte sarrasine.

L'escalier sur voûte sarrasine est un escalier posé sur une ou plusieurs voûtes imbriquées les une dans les autres. Il bénéficie d'une grande liberté de forme. L'escalier peut être droit, balancé à gauche ou à droite, hélicoïdal...

Après avoir réalisé un dessin préalable prenant en compte : l'emprise, l'échappée (coup de tête), l'embranchement, le giron et la hauteur de marche, les garde corps... il faut tracer l'escalier sur le chantier.

Le tracé s'effectue sur le mur d'appui ou sur le tube du noyau. Si le noyau est trop important pour utiliser un tube, ou si le besoin se fait sentir d'un guide du côté du limon, alors il est possible de visualiser les marches grâce à des fils de longueur appropriée lestés d'un écrou et attachés à la trémie.



**Attention** lors de la réalisation d'un escalier avec revêtement en pierre, les dalles taillées sont posées avant de réaliser la paillasse, marche après marche.



Photo Pierre Stikfens



## 5.5 plâtre

### Escalier sur voûte sarrasine

-1 préparation des canons en découpant des briques : casser la face d'un canon puis l'autre. Séparer les canons restants.

Pour les découpes plus précises utilisation de la pince.

-2 mettre en place à sec quelques canons ou briques taillées puis préparer sa gachée afin de pouvoir les mettre toutes en place.

Pour la première épaisseur de la paillasse il faut utiliser un plâtre prêt à prendre et tenir quelques secondes. Pour optimiser les gâchées il est possible d'avancer la construction en plusieurs points à la fois : en premier les marches et la deuxième épaisseur de la paillasse (elles ne requièrent pas un plâtre trop sec), puis la première épaisseur de la paillasse.



De même que pour les voûtes, il est important de croiser les briques :

- à l'intérieur de chaque épaisseur
- d'une épaisseur sur l'autre.

découpe



taille



préparation



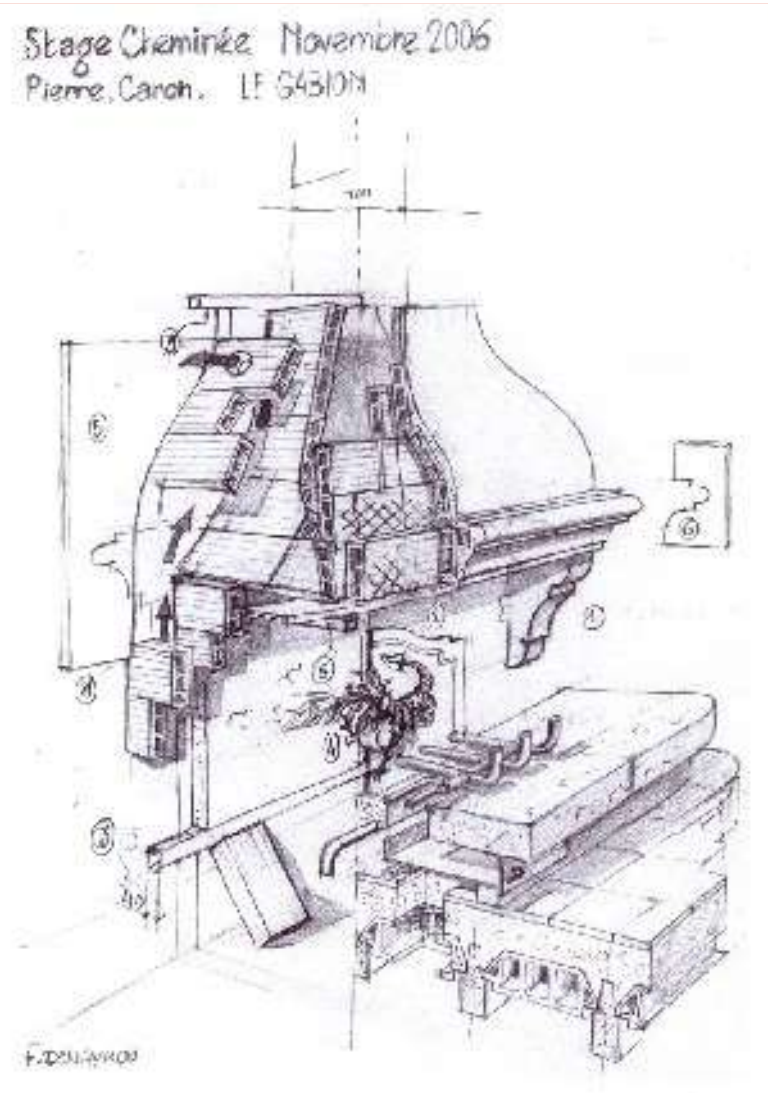
collage



## 5.6 plâtre

### Cheminée en plâtre

Il est possible de réaliser les encadrements de cheminée en plâtre et brique plâtrière. Dans le bâti ancien il existe des cheminées entièrement réalisées selon cette technique mais des normes actuelles l'interdisent.



# Module

# Maçonnerie



## 6 Pierre

6.1 vocabulaire

6.2 notions de géologie

6.3 callade

5.4 mur de pierre sèche

5.5 mur maçonné

5.6 taille de pierre



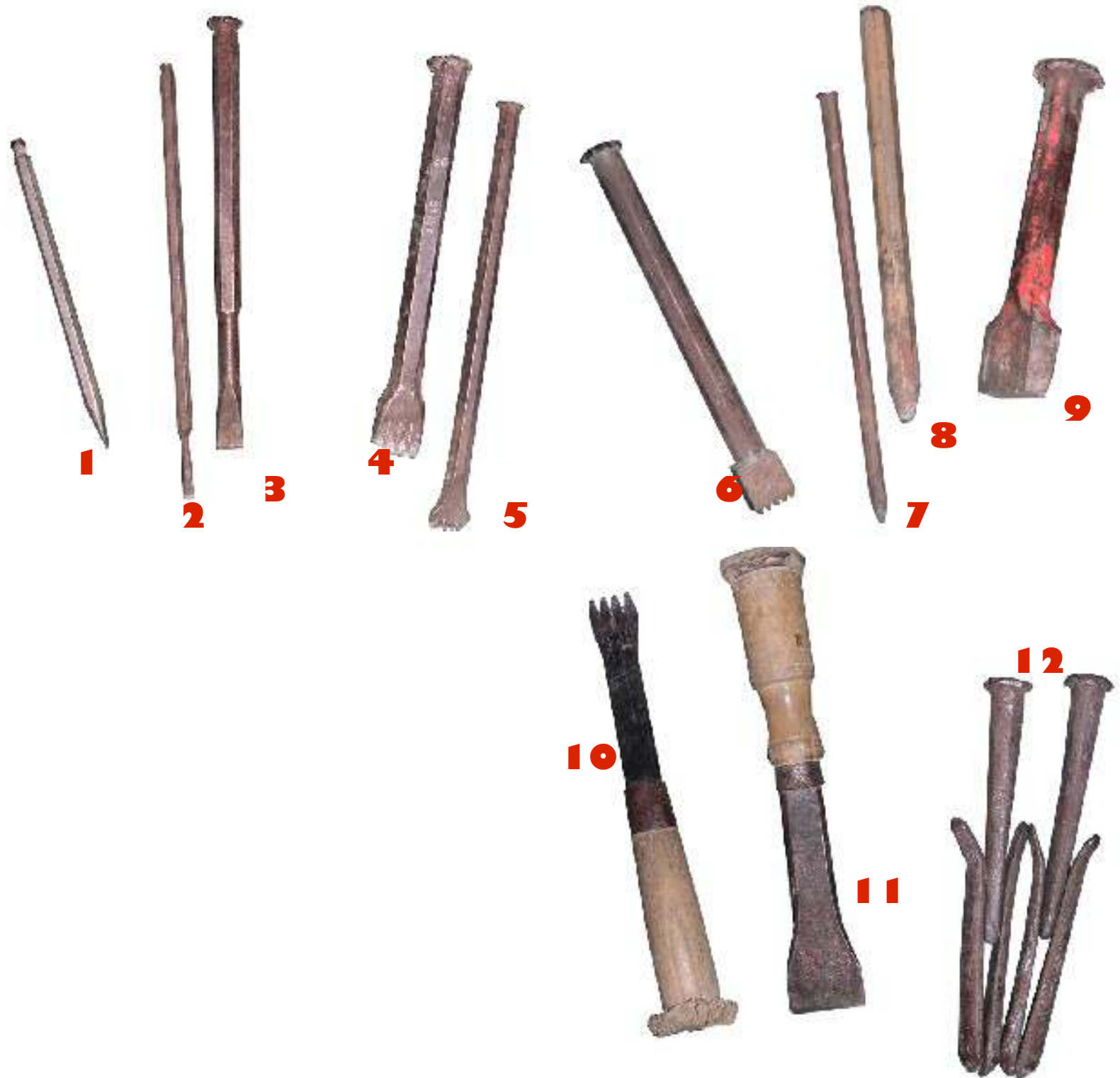
## 6.1 Pierre vocabulaire

Le matériel :

- 1 pointe à tracer
- 2 ciseau
- 3 ciseau
- 4 gradine
- 5 gradine
- 6 boucharde à main
- 7 broche
- 8 brochs
- 9 chasse
- 10 grain d'orge
- 11 ciseau
- 12 coin éclateur

Outils à manche bois  
pour la pierre tendre,  
outils tout en acier pour  
la pierre dure.

Les outils de taille de  
pierre sont trempés sur 2  
à 3 cm afin de moins  
rebondir lors de la frappe  
contrairement aux outils  
de maçons.



## 6.1 Pierre vocabulaire

Le matériel :

- 13 polka
- 14 taillant ou laie
- 15 boucharde
- 16 massette carrée
- 17 massette portugaise
- 18 pince de pose
- 19 compas
- 20 équerre

Ces outils sont ceux de la taille de pierre, pour les autres disciplines de la pierre une massette, une chasse et un cordeau suffisent..

La taille de pierre débute par le débitage d'un bloc. Celui ci était anciennement réalisé manuellement :  
premièrement réalisation de trous alignés au têtou ou au trépan,  
deuxièmement insertion de coins en bois dur et sec qui seront mouillés afin de faire éclater le bloc.

Actuellement l'extraction est réalisée avec des scies au carbure et les pierres fournies sont des "sucres" (bloc équarri 6 faces).



Photo : Thierry Fabry [www.taille-pierre.com](http://www.taille-pierre.com)



## 6.1 Pierre vocabulaire

tableau  
feuillure  
ébrasement

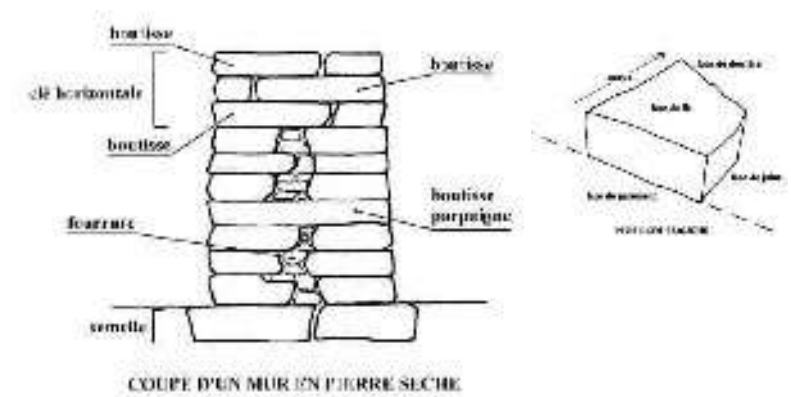


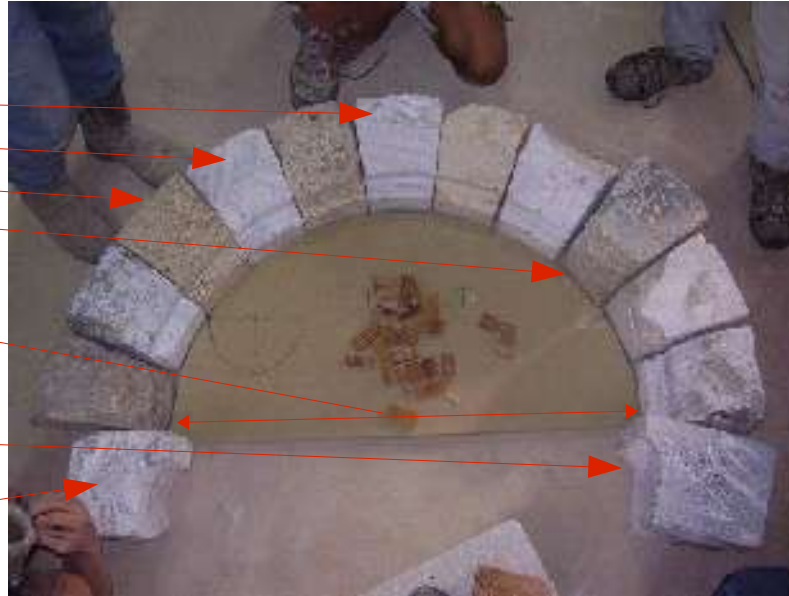
Illustration extraite de <http://pierreseches.com>  
un bon site pour approfondir la question.

clé  
II clavaux  
extrados  
intrados

Portée

un cavé

sommier



Finition layé, finition réalisée avec  
une laye par petits coups parallèles.



## 6.2 Pierre géologie

Depuis 4,5 milliards d'années, la terre est une machine qui trie le mélange originel.

Elle le concentre soit :

en espèces pures : **les minéraux**,

en mélanges de minéraux : **les roches**.

Pour élaborer ces divers produits, 2 énergies :

- une énergie externe : le rayonnement solaire

- une énergie interne : la chaleur initiale + la chaleur produite radioactive.

-L'énergie externe donne des **roches exogènes**, ce sont les **roches sédimentaires** (accumulations, squelettes, coquilles, etc.).

-L'énergie interne donne les **roches endogènes**, ce sont les **roches magmatiques** (résultat d'un refroidissement + une solidification d'un bain de minéraux fondus = magma).

**1<sup>ère</sup> catégorie de roches endogènes :**

Si le refroidissement est lent et en profondeur, les minéraux ont le temps de cristalliser, ce sont **les roches plutoniques**. Si le refroidissement est brutal, il y a peu de matière cristallisée, ce sont **les roches volcaniques**.

**2<sup>ème</sup> catégorie de roches endogènes :**

Ces 2 roches peuvent subir ensuite une autre transformation sans provoquer leur fusion en magma, mais il y a recristallisation à l'état solide car la température et la pression sont élevées en profondeur : ce sont **les roches métamorphiques**.

## 4 La classification des roches

TABLEAU DE LA CLASSIFICATION DES ROCHES

|                                                                                        | Caractères physiques et chimiques                               | Familles                                                            | Exemples                               | Aspect du paysage                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ROCHES MAGMATIQUES                                                                     | Roches entièrement cristallisées, sans stratification apparente | ROCHES PLUTONIQUES                                                  | Granite                                | Ballons, dômes, aiguilles, chaos                                                |
|                                                                                        | Roches à cristaux noyés dans une pâte de microlites et de verre | ROCHES VOLCANIQUES                                                  | Basaltes, Obsidiennes, Ponces          | Plateaux limités par des falaises, édifices volcaniques                         |
| ROCHES SÉDIMENTAIRES                                                                   | Roches souvent dures<br>Effervescence à l'acide                 | ROCHES CALCAIRES                                                    | Craies, Calcaires, Coquilliers, Marnes | Plateaux limités par des falaises, gorges, cavités souterraines, karst, dolines |
|                                                                                        | Roches tendres, rayables à l'ongle, plastiques                  | ROCHES ARGILEUSES                                                   | Argiles                                | Zones déprimées, étangs                                                         |
|                                                                                        | Roches très dures qui raient le verre, meubles ou compactes     | ROCHES SILICEUSES                                                   | Sables, Grès, Poudingues, Molasse      | Dunes, zones déprimées, falaises, quelquefois chaos                             |
|                                                                                        | Roches rayables à l'ongle souvent cristallisées                 | ROCHES SALINES                                                      | Gypse, Sel gemme                       | Quelquefois des entonnoirs de dissolution                                       |
|                                                                                        | Roches sombres, combustibles                                    | ROCHES CARBONÉES                                                    | Lignite, Tourbe, Charbon, Pétrole      | Tourbière en surface<br>En général, gisements profonds                          |
| ROCHES MÉTAMORPHIQUES                                                                  | Roches non feuilletées, qui font effervescence à l'acide        |                                                                     | Marbres                                |                                                                                 |
|                                                                                        | Roches feuilletées<br>cristaux orientés                         | Feuillets semblables<br>Mica et quartz<br>Mica, quartz et feldspath | PHYLLADES<br>MICASCHISTES<br>GNEISS    | Massifs ou collines, avec des bancs de roches souvent redressés                 |
| <div> <div>↑</div> <div>CRITÈRES DE DÉTERMINATION DES ROCHES</div> <div>↑</div> </div> |                                                                 |                                                                     |                                        |                                                                                 |

## 6.2 Pierre géologie

### Liste des différentes roches

Roches endogènes magmatiques :

roches plutoniques (grenues) : **GRANITE**

roches volcaniques (vitreuses) : **RHYOLITE**

Ces roches ont une forte teneur en silice (+ de 66%), elles contiennent du micas, du feldspaths et du quartz.

### Roches endogènes métamorphiques :

Il y a plusieurs transformations possibles :

Grès → quartzite → schiste → micaschiste → **GNEISS**

Calcaire → calcschiste → **MARBRE**

Granite → **GNEISS**

### Roches exogènes :

roches détritiques (destruction des roches précédentes) :

SABLE

GRES

ARGILE

TUF

### Roches d'origine biologique (biogénique) :

**SABLE, CALCAIRE, CALCITE, ARAGONITE, DOLOMITE, CRAIE, MARNE** (contiennent du carbonate)

**SILEX, MELIERE** (contiennent de la silice)

**HOUILLE, LIGNITE, TOURBE** (contiennent du carbone solide)

**PETROLE, ASPHALTE, BITUME** (contiennent du carbone liquide)

**SEL, GYPSE** (contiennent du chlorure)

**BAUXITE** (contient de l'aluminium).





## 6.3 Pierre callade

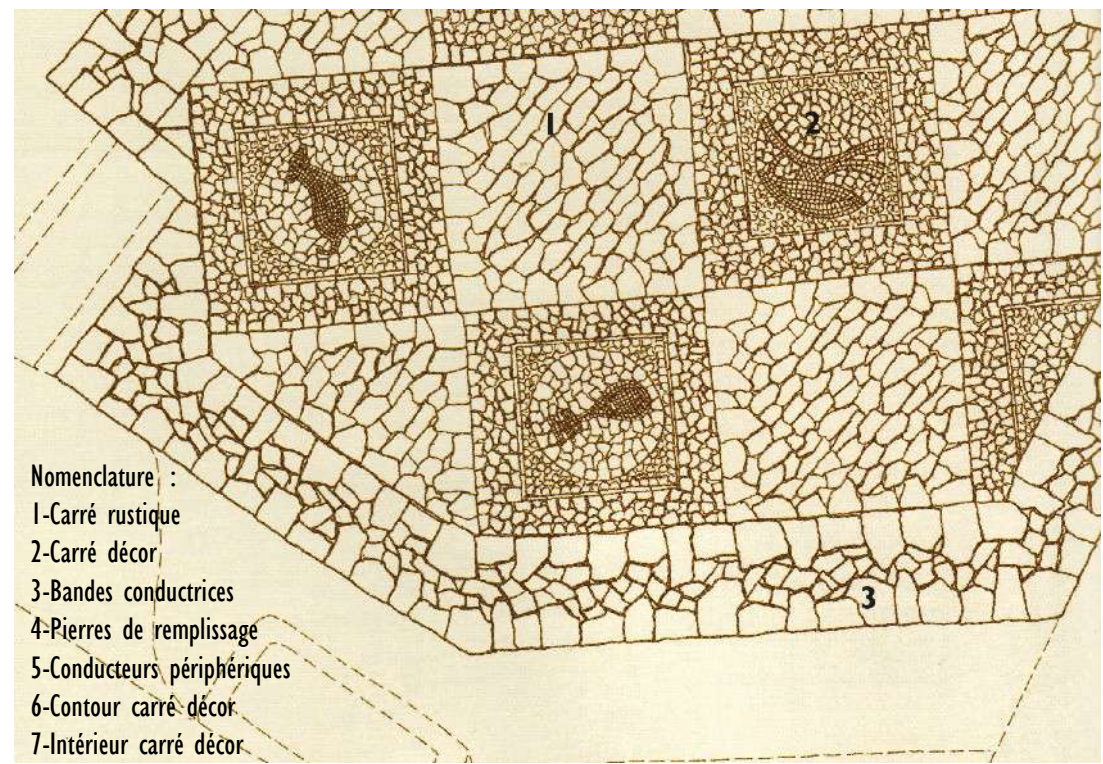
La callade est l'art de choisir et d'assembler les pierres pour habiller les ruelles, places et jardins. Ces sont des sols de pierres brutes locales posées debout sur champs.

Ethymologie : « cal » vieux français qui veut dire « pierre ».

En occitan : « calhau » que l'on retrouve en français dans « caillou, calcaire, calanque... »

La pose se fait sur terre, sable ou mortier de chaux maigre.

Outils nécessaires : massette, maillet en caoutchouc, pic têt, chasse, truelle, cordeau, règle, madrier, chevron.



Nomenclature :

1-Carré rustique

2-Carré décor

3-Bandes conductrices

4-Pierres de remplissage

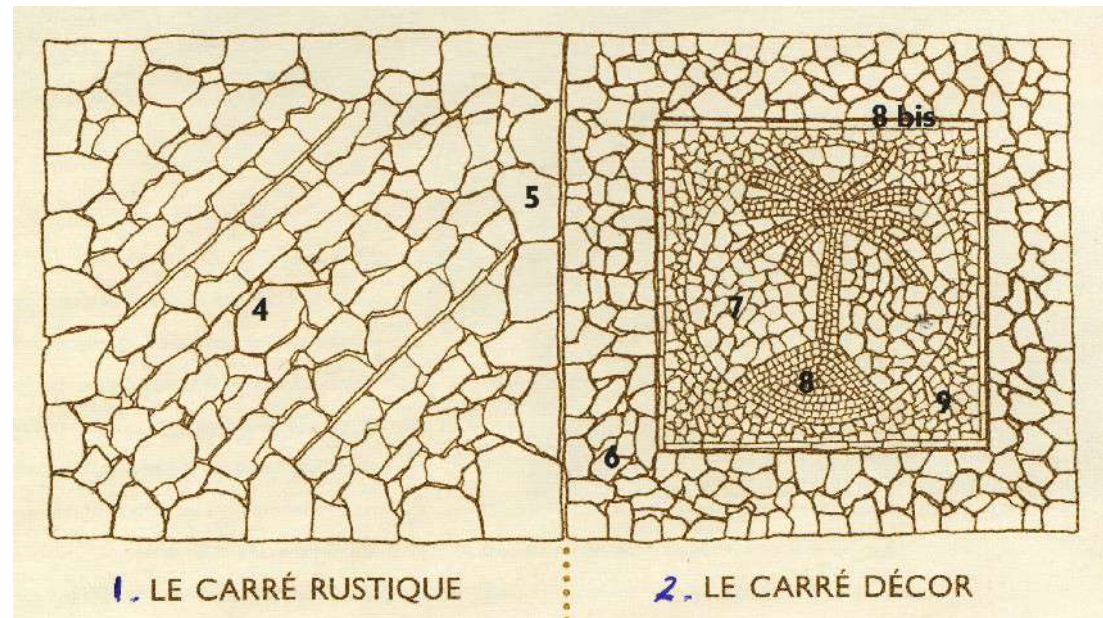
5-Conducteurs périphériques

6-Contour carré décor

7-Intérieur carré décor

8 et 8bis - Tesselles

9 - Ciottolati



1. LE CARRÉ RUSTIQUE

2. LE CARRÉ DÉCOR



## 6.3 Pierre callade

### Mise en œuvre :

- faire l'implantation au sol
- creuser
- implanter la pente
- tracer au cordeau la position des motifs
- réaliser un coffrage avec des madriers ou chevrons en utilisant le cordeau comme guide
- étaler du « tout-venant » ou gravats pour former un radier
- damer

- étaler la terre, le sable ou le mortier (légèrement humide)
  - poser les pierres conductrices périphériques en creusant légèrement le mortier de façon à placer la pierre dans son trou en la laissant dépasser de 2 ou 3 cm.
  - Taper pour mettre la pierre à niveau
  - Remplir de la même façon les espaces délimités par les conducteurs périphériques
  - Arroser tout l'ouvrage
  - Damer (éventuellement) à l'aide d'une planche et d'une massette pour aplanir les bosses
- Finir la calade en enfonçant en force des petites pierres entre les autres pierres

Traditionnellement, les joints d'une calade se remplissent avec le temps et l'usage ; mais rien n'empêche toutefois d'accélérer le processus en jetant de la terre, du sable ou du mortier sur les joints tout en balayant pour l'aider à passer entre les pierres.

### Restauration d'une calade :



Recherche de l'existant, des conducteurs, du type de remplissage.



Décaissement de la zone de travail.



Mise en place des coffrages et des cordeaux de conducteurs



Démontage et remontage des parties affaissées.



Apport du mortier terre/sable.



Pose des conducteurs



Remplissage entre les conducteurs.



Insertion des cales de blocages



Vieillisement au sable.



## 6.4 Pierre

### Mur de pierre sèche

**Définition :** Maçonnerie de pierres plus ou moins appareillées, sans liaison par un mortier. Sert principalement à l'édification de petits ouvrages (murets, murs de soutènement) ou pour la réalisation de «bories». La partie de base d'un mur est la semelle ou socle, assise de gros blocs constituant les fondations du mur lorsque celui-ci est érigé sur un sol en terre.

Cette semelle est toujours plus large que le mur qu'elle est destinée à recevoir. Le décaissement ou tranchée de fondation est une excavation d'une dizaine de centimètres (idéalement sous la terre végétale)  
Si les blocs de l'assise sont posés sur chant c'est un hérisson.

Pour les murs de soutènement voir le document du Parc des Cévennes «La restauration des murs de soutènement de terrasses»



Mur de pierre sèche



Mur et escalier en pierre sèche.

#### Spécificité des murets de pierres en Bretagne :

Les abords ou aménagements paysagers des bâtiments anciens possèdent de nombreux murets en pierre. La technique de maçonnerie des murets se rapproche fortement de celle employée dans la construction des murs de bâtiment. Dans la réalisation des murets en pierre appelés à tort "murs de pierres sèches", le mortier de pose est un mortier de terre. Ce mortier est le plus petit possible et n'apporte que très peu de résistance mécanique ; seule la disposition des pierres préoccupe le maçon. Dans le cas des murs-talus, la technique est la même avec la construction d'un seul parement.  
(extrait de <http://tiez-breiz.org>)

Mur de soutènement  
illustration :



## 6.5 Pierre

### Mur de pierres maçonneries

Les murs de pierres maçonneries sont constitués de pierres et de mortiers de chaux. Les pierres sont montées lit par lit, les deux parements d'un mur sont reliés régulièrement par des boutisses parpaings, pierres longues traversant le mur de part en part.



Réparation d'une tête de mur.



Démontage partiel permettant de recréer un harpage.



Mise en place de mortier et pose d'un premier lit de pierre.



Remplissage des joints verticaux.



Croisement des pierres.



Ajustage avec le harpage.



Vérification de l'aplomb de la tête de mur dans les deux directions.



Réparation d'une tête de mur.



Attention à conserver l'homogénéité esthétique du mur !



Réalisation de l'arase et préparation du couronnement.



Remplissage des joints à la main.



Remplissage des joints au fer à joint.



Nettoyage au jet des coulures de mortier.



Tête de mur maçonnée et escalier en pierre sèche.



## 6.6 Pierre

### Taille de pierre

La taille de pierre se pratique habituellement avec des pierres équarries 6 faces (des sucres). Si les pierres disponibles sont des «patates» il faut commencer par définir un plan de référence. Pour cela il faut aligner 2 règles de part et d'autre de la pierre et tracer sur la pierre le plan de jonction. Le tracé obtenu est ensuite découpé à la disqueuse. Un second plan de référence sera défini perpendiculairement au premier.

Comme en charpente ou en menuiserie les tracés de coupes doivent être gardés, pour faciliter ceci il faut reprendre les traits de crayon à la pointe à tracer.

Pour définir la section capable du sucre il faut compter 1 cm autour du bloc fini (en pierre tendre).



Tracé du premier plan de référence.



découpe.



Tracé du second plan.



Découpe des différentes faces du sucre.

## 6.6 Pierre

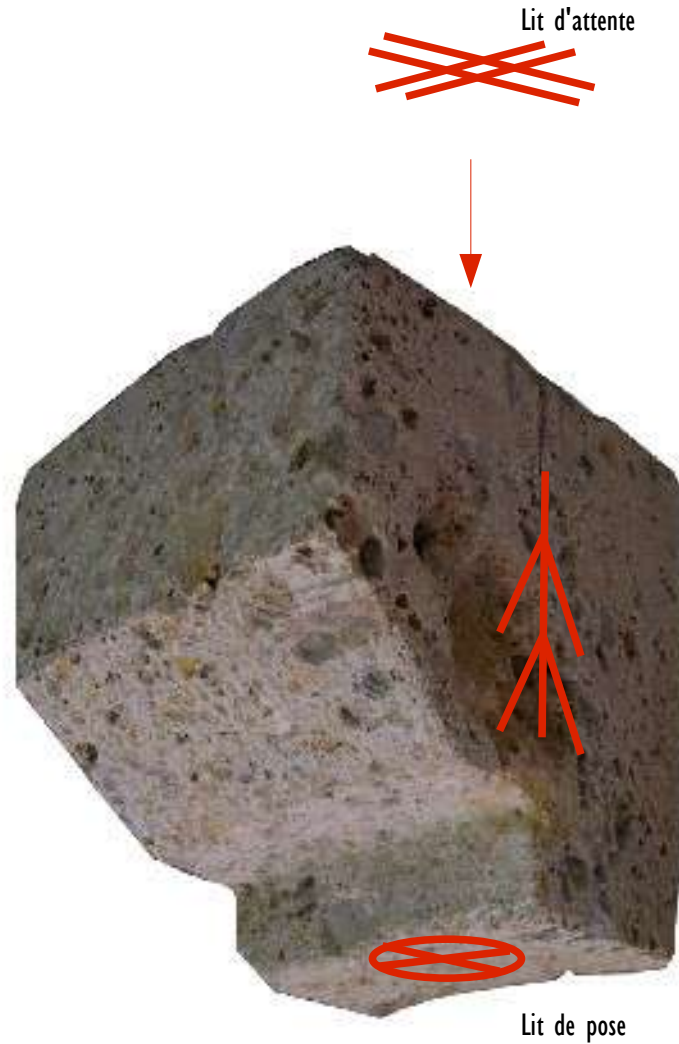
### Taille de pierre

Le travail de taille commence par une phase de dessin.

**L'appareillage** : dessin de la façade avec la position de toutes les pierres.

**Le calepin** : dessin à l'échelle comprenant toutes les informations nécessaires à l'exécution

**Le calepinage** : côté de la pierre à tailler.



par la réalisation de panneaux.  
Les panneaux sont repérés avec les signes que l'on appose sur la pierre finie afin de la mettre en place dans le bon sens.

Le



Notation de la position des pierres dans le mur

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 3/1 | 3/2 | 3/3 | 3/4 |
| 2/1 | 2/2 | 2/3 | 2/4 |
| 1/1 | 1/2 | 1/3 | 1/4 |



## 6.6 Pierre

### Taille de pierre

La taille commence par l'épanellage, dégrossi des formes de la pierre. Ensuite une ciselure protège l'arête lors du travail de la face. Le dégauchi se réalise progressivement en partant des 4 angles.

Les pierres sont taillées afin d'être posées en lit (ou en délit dans les arcs), c'est à dire avec la stratification de la pierre horizontale.

**La stratification doit être perpendiculaire aux forces.**



Réalisation d'une ciselure :



Un premier coup à plat marque le trait.



Puis le ciseau à 45° crée une petite dépression



Le travail de dégrossi se fait à la gradine.



La surface étant dégrossie, reprendre une ciselure plus précise



La finition des faces se fait en triangle, on suit l'arête des deux cotés et on taille à plat entre les 2 arêtes.



## 6.6 Pierre

### Taille de pierre

#### Montage d'un arc :

Les pierres de taille ne sont pas maçonnées mais elle sont montées sur cale puis coulinées. Ceci afin d'obtenir une précision de montage compatible avec le calepinage.



Vérification de l'assise de l'arc.



Mise en place du cintre



Calage verticale au fil à plomb



Le cintre est posé sur des coins à marier, boîte à sable ou des vérins



Les pierres sont posées sur cal.



La mise en place est symétrique pour éviter la poussée du cintre.



Réalisation des joints au mortier.(1V de Nhl, 2,5 V de sable)



Joints réalisés



Fabrication d'un nid d'hirondelle pour les joints horizontaux.



Arc prêt à être couliné.



Coulinage en partant du bas jusqu'à refus complet.



Coulinage : 1 V de Nhl pour 1 V de sable (0,1).



Fermeture des joints avec le même mortier.



Décintrage immédiat pour mettre l'arc en pression.



Nettoyage du dessous de l'arc.

## 6.6 Pierre

### Taille de pierre, pose en tiroir.

Dans un mur en pierre de taille, lorsqu'une pierre est abîmée, qu'elle est détériorée par la pluie et le gel il faut la remplacer sans pour autant démonter le mur autour. On utilise alors la technique de restauration de **pose en tiroir**.

- Il faut d'abord retirer la pierre malade, pour cela on ouvre les joints à la disqueuse, on scie la pierre afin de protéger les joints des pierres voisines, puis on bûche celle-ci jusqu'au fond. Il est possible d'utiliser la pince de pose pour sortir de gros éléments. Si la pierre ne vient pas, faire une saignée au centre afin de l'éclater.

- Une fois que la pierre a été évacuée, si l'on travaille dans la journée il n'est pas indispensable d'étayer sinon il faut poser un étau dans la cavité

- Mettre des calles en bois (ou inox) de l'épaisseur du joint sur le lit de pose. Si la pierre est très grosse on utilise 2 demies plaques avec du gras entre les 2. On pousse la pierre jusqu'au nu en prenant garde à ne pas le dépasser.

- Jointoyer (beurrer) avec un mortier composé d'un volume de Chaux pour 2,5 volumes de sable 0/1 mm, pour joint de 3 mm. Si le joint est plus fin, il faut utiliser un granulat dont la taille du plus gros grain sera de 1/3 de l'épaisseur du joint à réaliser.

- Sur le joint supérieur, aménager un évent et un trou de gavage.

- Dans le trou de gavage, un tuyau en caoutchouc sera mis en place, emmanché sous un récipient (ex : bouteille plastique dont le fond a été découpé), l'ensemble étant maintenu au-dessus du joint.

- Le remplissage est effectué par une injection composée de Chaux et d'eau, au dosage d'un volume de Chaux pour un volume d'eau, et ceci jusqu'à refus complet.

#### Nota:

a) Le joint mis en place est après mise en oeuvre, soit brossé avant durcissement complet, soit lissé.

b) L'injection ou le coulinage ne seront entrepris que lorsque les joints auront suffisamment durci (48 heures minimum). Les trous ayant servi aux injections et coulis seront bouchés avec un mortier de composition identique à celui du joint.

c) Lorsque l'espace est trop important entre la pierre posée en tiroir et le fond du tiroir, un ouvrage en maçonnerie, composé d'éclats de pierre ou de morceaux de tuile scellés avec un mortier de composition identique au joint, est nécessaire avant les travaux d'injections ou de coulinage, ceci pour éviter l'éjection de la pierre en place, sous la pression d'une trop grande quantité de coulis ou injection.

coulinage



#### Remarques préalables :

Dans certains cas, les maçonneries sont très dégradées et il n'est pas possible d'effectuer le remplacement des pierres sans une consolidation préalable de la maçonnerie. Après un rejointoiement (si nécessaire) de cette maçonnerie, des injections ou des coulinages (parfois exécutés sous pression) seront réalisés. Un temps d'attente suffisant d'un mois minimum sera observé avant le début du remplacement des pierres.

Les travaux de confortation s'effectuent par tranches d'un mètre en partant du pied du mur. Une auscultation radar peut aider à déterminer la quantité et le volume des vides à combler avant travaux. Cette même technique peut mesurer la qualité du travail effectué après travaux.