RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DES RELATIONS EXTÉRIEURES
– COOPÉRATION ET DÉVELOPPEMENT –

Dossier TECHNOLOGIES ET DÉVELOPPEMENT

LA PIERRE

LA CONNAÎTRE ET SAVOIR L'UTILISER
– HABITAT ET ENVIRONNEMENT –
dans les pays en voie de développement

G.R.E.T. GROUPE DE RECHERCHE ET D'ÉCHANGES TECHNOLOGIQUES

E73630

Résultant des différentes phases de la formation géologique, ce sont les poussées venant de l'intérieur de la Terre et les forces extérieures agissant sur elle qui ont contribué au phénomène d'équilibre naturel - le Magma, le Soleil, les Astres.

Par les actions du Temps, de l'Eau, de l'Air et du Feu, la PIERRE est plus ou moins apparente à la surface du globe ; la géographie des reliefs nous en révèle les différentes hauteurs et profondeurs. Matériau solide, il existe cependant de grandes variations dans sa composition chimique, conduisant à des caractéristiques mécaniques très diverses.

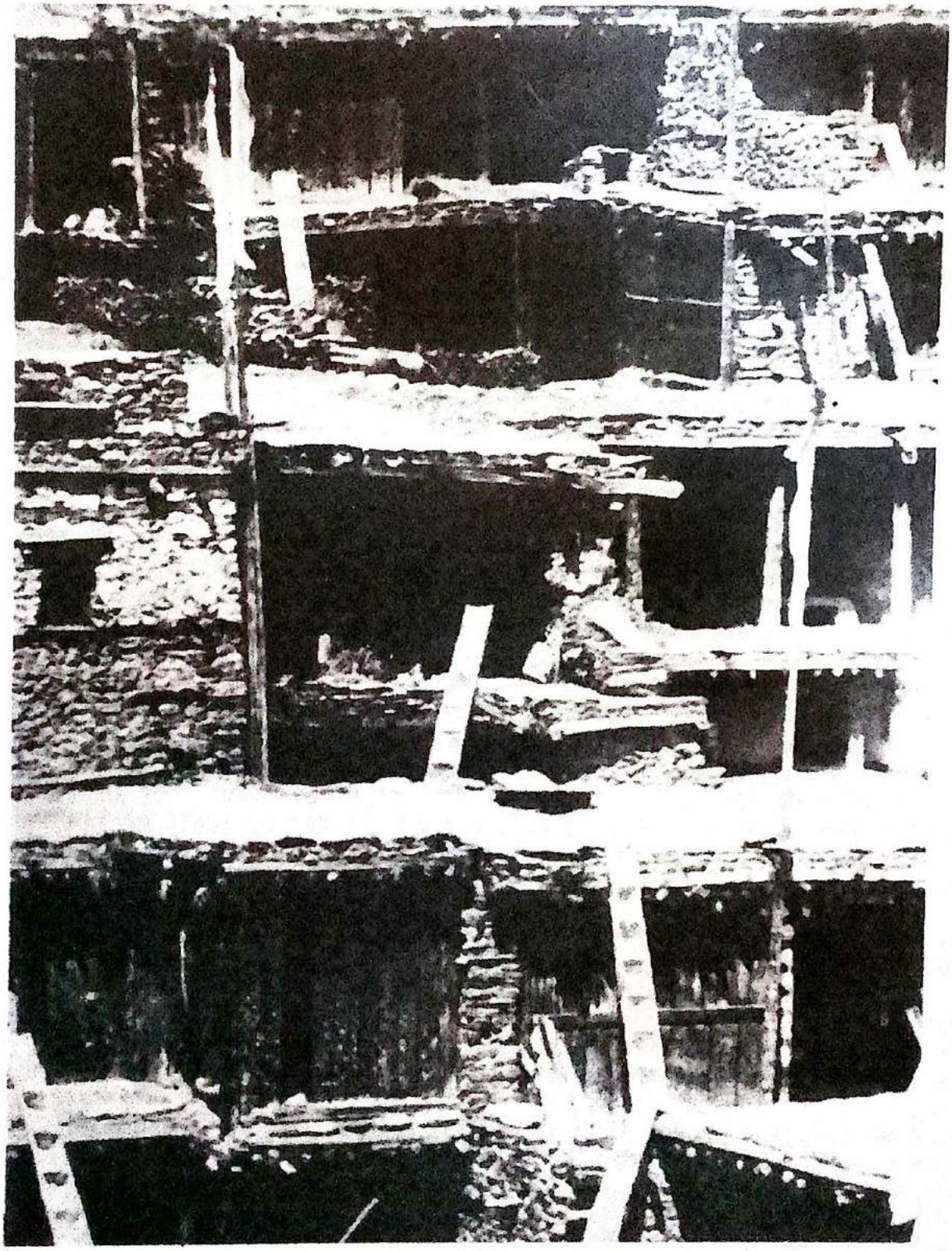
Les excavations naturelles furent les premiers refuges des Hommes. Ils se fabriquèrent des outils en silex et n'hésitèrent pas à se creuser des abris en attaquant directement les falaises les plus tendres (craie, marne,...). Il firent aussi des travaux défiant le temps, tels que tables - dolmens - menhirs gigantesques... et que l'on peut reconnaître encore aujourd'hui dans beaucoup d'endroits.

Les civilisations aztèque, égyptienne, grecque, romaine, orientale, édifièrent des monuments absolument fantastiques ; des blocs énormes mesurant 20 m de long sur 4 ou 5 m de haut et d'épaisseur, des montants de porte, des colonnes monolithes... Dès que le fer apparaît au VIe siècle avant J.C., on taille finement la pierre qui est posée à joints vifs.

Nous nous attacherons essentiellement à tout ce qui concerne la PIERRE A BATIR, au sens le plus large ; habitat - construction et revêtement - et son environnement - voirie, espaces urbains.
La connaître, la faire connaître, savoir l'utiliser en essayant d'associer dans un dialogue efficace les TECHNOLOGIES de pointe et locales, dans les Pays en Voie de Développement, tel est le but de ce manuel.

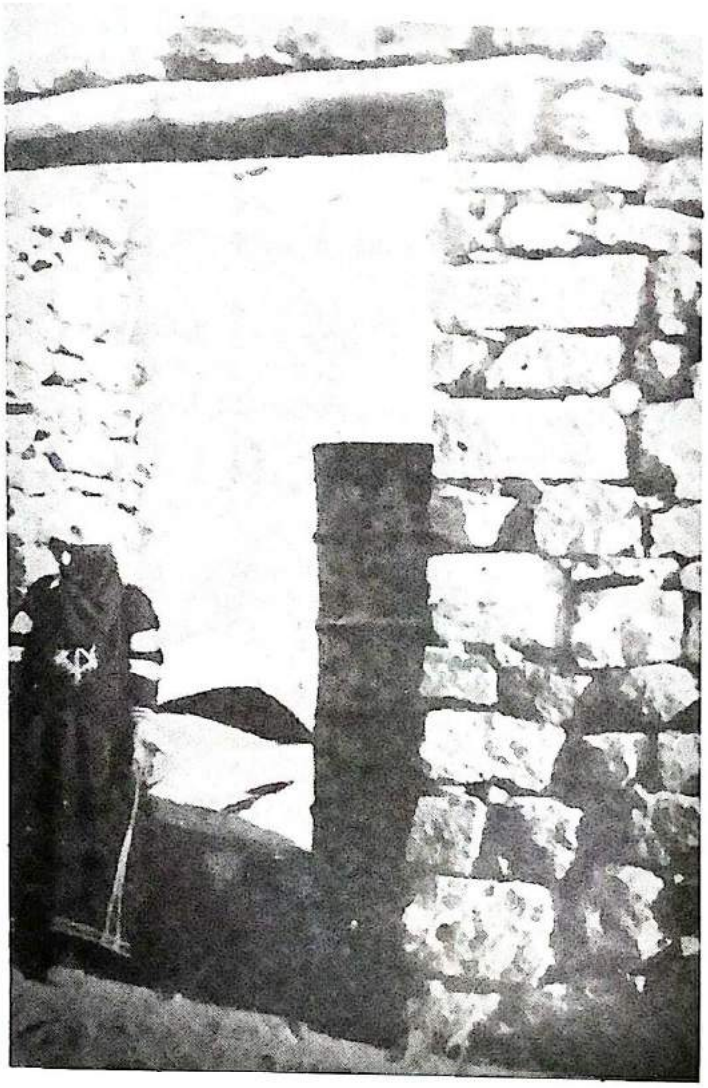
L'habitat consiste en des espaces qui organisent ou plus exactement des espaces "capables" où s'organise la vie familiale et sociale, liés à la durée des savoirs et des usages qui l'ont produit.
La TRADITION - agent de transmission, et l'INNOVATION - agent de transformation, entraînent le recours à une économie dégagée de la seule finalité marchande, distinguant l'économie du GESTE du rendement industriel.

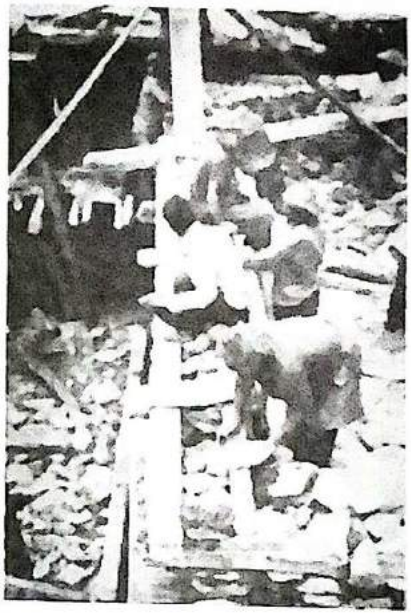
Pour l'illustration de notre préambule voici un système d'agglomération de *l'habitat au Nyi-Shang*, Nord du massif des Annapurna, *dans le Népal Central*. La construction des murs : on utilise du calcaire ou des calcschistes; les pierres sont prélevées des berges des torrents et des cônes de déjection des moraines; ou bien elles sont récupérées dans les ruines d'anciennes maisons.



Organisation de l'habitat en étage superposé sur une terrasse en forte pente. Village de Braga/Népal Central.

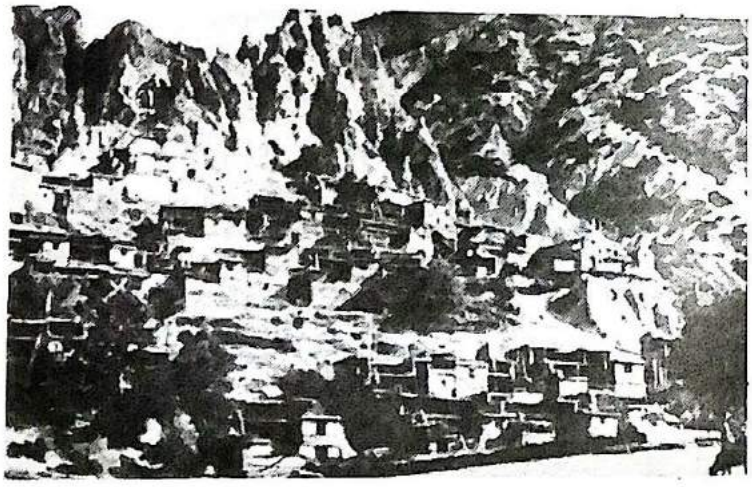
Cliché 1 - Extrait CNRS
Pascal Maréchaux

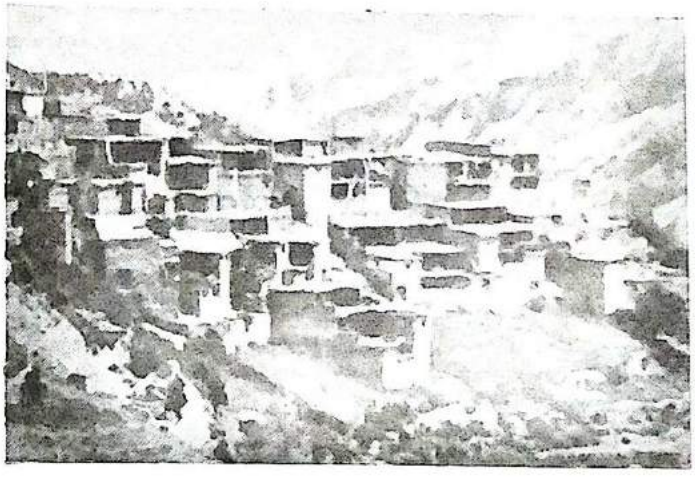




Clichés 2

La construction du village. La participation de la communauté et la solidarité entre familles alliées sont de règle lors du chantier. C'est un évènement important dans la vie sociale du village.





Les villages du Nyi-Shang, Népal

Clichés 3
- Extrait CNRS, Pascal Maréchaux.

Pour terminer cette présentation, ajoutons qu'il est nécessaire de consacrer un temps de réflexion pour toute forme d'exploitation à mettre en place vers des *procédés semi-industrialisés* appropriés à chaque situation et à chaque étape de l'organisation d'un projet (extraction - chantier de carrière, atelier de transformation, chantier de construction - mise en oeuvre), en vue de promouvoir un certain équilibre entre le savoir-faire manuel et des investissements de matériels mécaniques peu coûteux.

Une production de base plus lente peut paraître à certains de nos lecteurs comme un handicap ; nous estimons pour notre part qu'il est plutôt essentiel d'acquérir la maîtrise de divers procédés simples d'exploitation, avant d'élaborer de nouvelles méthodes de travail et provoquer de nouvelles aspirations ou systèmes de valeurs - des transformations techniques et économiques.

I

CONNAISSANCE DES MATERIAUX

I-1 LE CYCLE DES ROCHES

"Rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art ni dans celles de la nature..., il n'y a que des changements".

Lavoisier 1743-1794

Ce constat énoncé par l'éminent chimiste et physicien , discutable dans le domaine de l'art, est toutefois démontré dans l'étude de la formation des éléments constitutifs de notre globe, dont le cycle peut d'une manière très simplifiée se définir comme suit :

Une roche sédimentaire provient de l'altération d'une roche pré-existante et de son transport vers un autre milieu de dépôt où elle subit des transformations physico-chimiques appellées diagénèse. Par influence de la pression et de la température, elle se métamorphose, subit des influences de roches magmatiques avant que ces dernières apparaissent en surface sous forme de roches effusives ou volcaniques à partir desquelles le cycle recommence.

Ce cycle que nous représentons schématiquement (cf. planche 1) illustre la formation dans le temps et l'espace des trois principales roches : *éruptives*
sédimentaires
métamorphiques
que nous décrivons ci-après.

Après avoir décrit succinctement leur formation, leur texture, leur structure, nous présenterons les principales familles de roches en insistant particulièrement sur celles qui constituent pour l'homme des matériaux - des matières premières pour son habitat et son environnement.

Avertissement : Les croquis-tableaux marqués d'un astérisque * de ce chapitre ont été pour la plupart extraits du cours de minérologie-pétrographie du Service Coopération - Département formation - du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Le cycle des roches

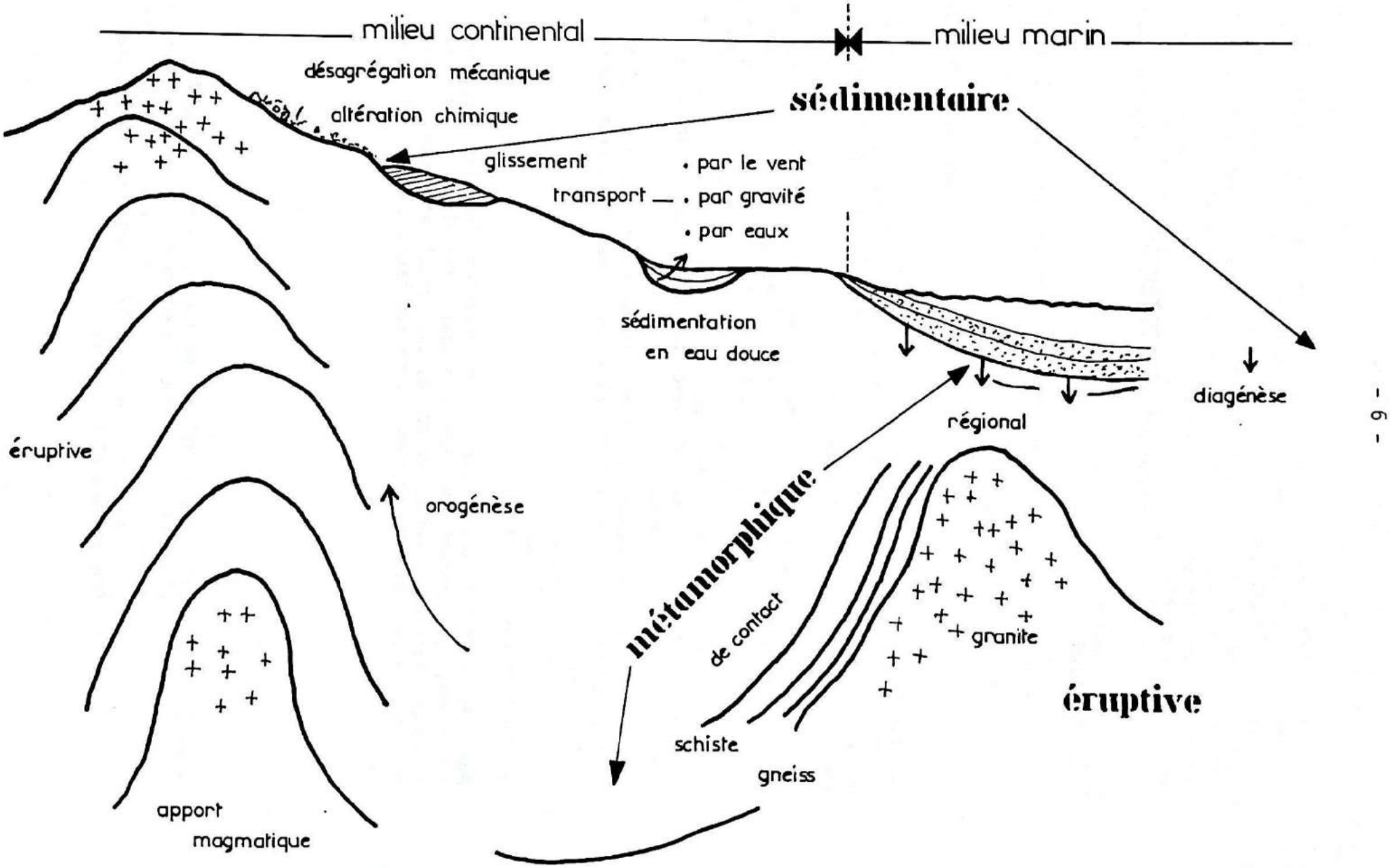


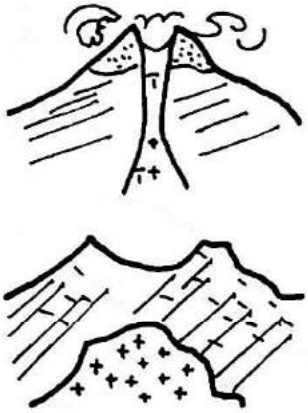
planche 1

d'après Dercourt et Paquet – Géologie, objets et méthodes 1978 – BRGM

I-2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE ROCHES

1. ROCHES ERUPTIVES

Ce sont celles formées par consolidation du magma interne qui s'est déplacé au sein de la lithosphère en digérant les roches encaissantes.



Les unes - roches volcaniques - *effusives* ont fait irruption à la surface de la terre par les volcans (type basalte)

Les autres formées en profondeur *roches plutoniques ou intru sives* - n'apparaissent à la surface de la terre que par le jeu des déformations de l'écorce terrestre (type granite).

✱ Croquis 2

- La silice (SiO^2) joue un rôle prépondérant dans la formation de ces deux roches avec des teneurs de :
  - 50 % pour un basalte moyen
  - 73 % pour un granit moyen

  la moyenne d'une roche éruptive est de 66,4 % .

La composition minéralogique en étroite relation avec celle chimique dépend des conditions de cristallisation ; on trouvera beaucoup de silicates (quartz-feldspath-micas-amphiboles-pyro énés-péridots) et quelques oxydes et sulfures.

Le diagramme ci-contre (Q.A.P.) (simplifié pour leurs numéros) permet de situer la roche en fonction de ses composantes (quartz - Feldspath: acalin, plagioclases).

Les numéros figurant sont ceux correspondants aux roches reprises dans le tableau synoptique T12.

Q = Quartz
A = Feldspath alcalin
P = Plagioclases

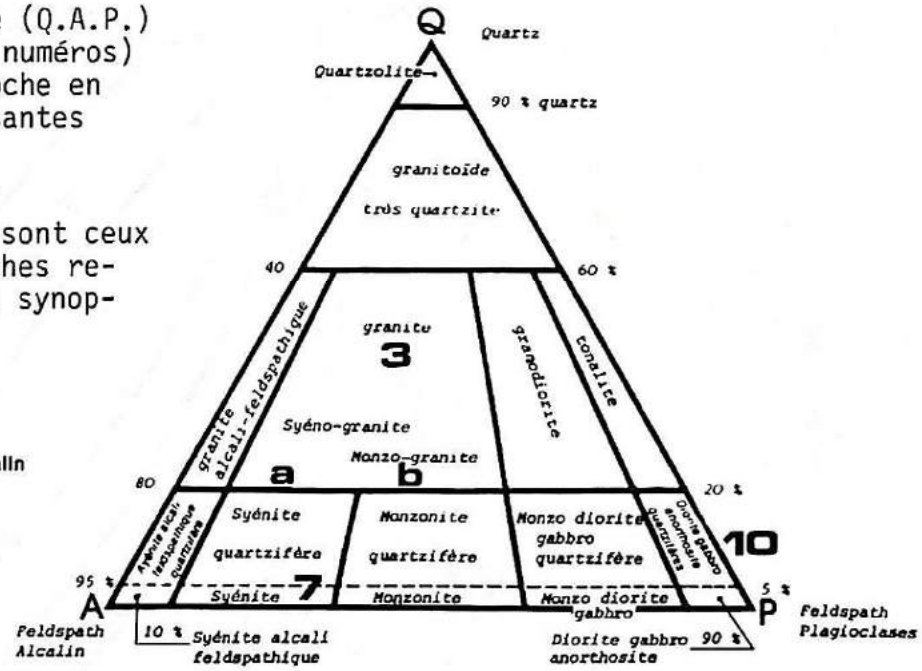


tableau T 1 - extrait de A. STRECKAISEN

Les différents types de roches

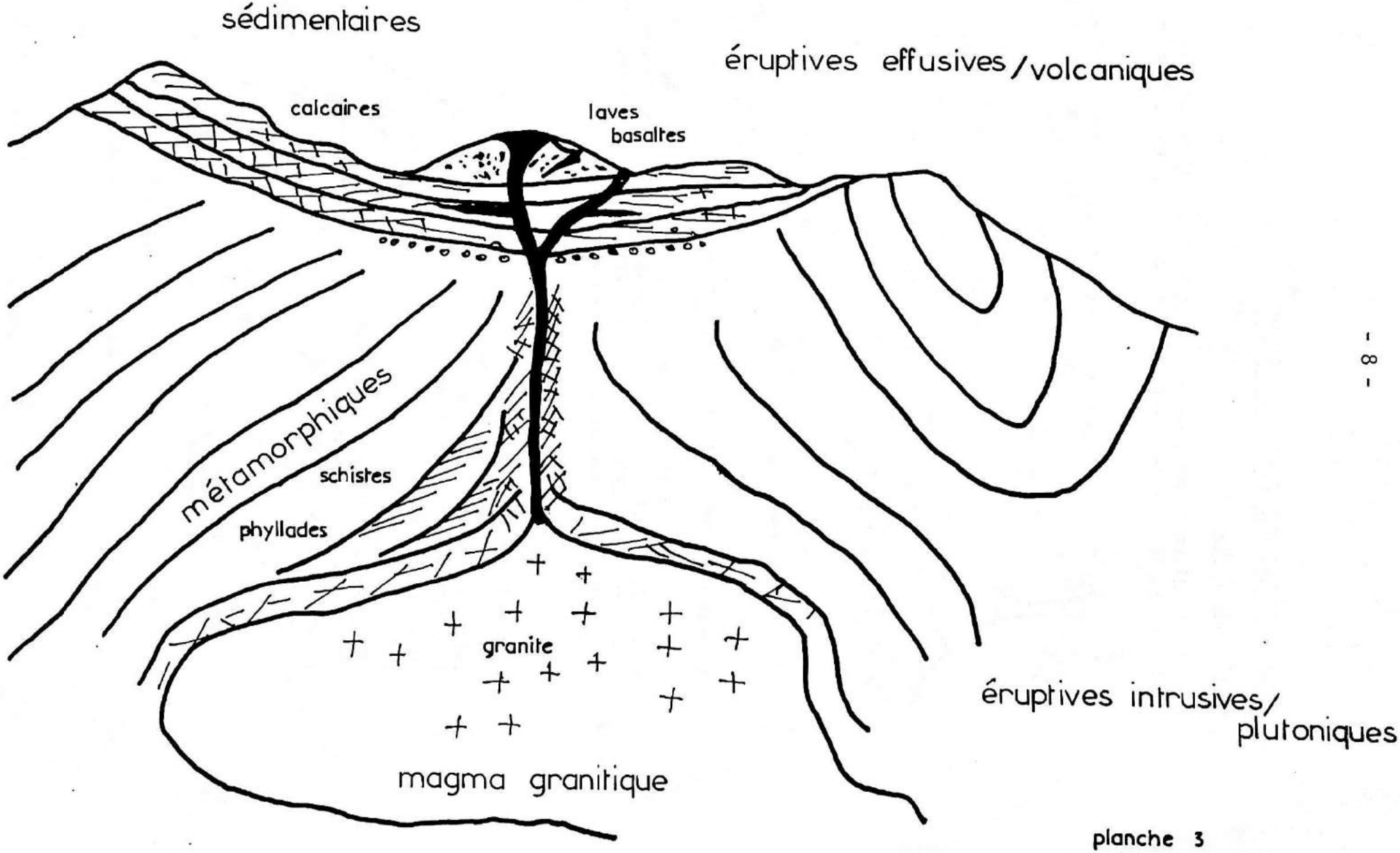


planche 3

La couleur et la densité (masse volumique) vont être les paramètres déterminants des deux groupes de minéraux (cf. tableau ci-dessous)

. Les clairs de densité inférieure à 2,77 (silico aluminates)
. Les colorés de densité supérieure à 2,77 (silicates ferro-magnésiens oxydes)

COMPOSITION MINERALOGIQUE MOYENNE DES ROCHES (en %)

en italique = minéraux essentiels

T2

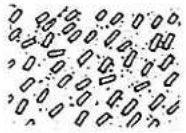
MINERAUX	MINERAUX CLAIRS					MINERAUX FONCES					
Famille de Roches	*Minéraux légers* d < 2,77					*Minéraux lourds* d > 2,77					
	Feldspathoïde	Feldspath alcalin	Quartz	Feldspath plagioclase		Mica blanc	Magnétite	Mica noir	Amphibole	Pyroxène	Péridot
				acide	basique						
Syénite néphélinique	*34*	*40*	0	10	0	0	3	2	7	4	0
Syénite	0	*72*	0	12	0	0	3	2	7	4	0
Granite	0	*40*	*25*	26	0	1	3	4	1	0	0
Diorite quartzifère	0	6	*20*	*56*	0	0	2	4	8	4	0
Diorite	0	3	2	*65*	0	0	2	5	12	11	0
Gabbro	0	0	0	0	*65*	0	2	1	3	*20*	7
Péridotite	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	*95*

Ces roches constituées d'assemblage de minéraux vont avoir une architecture propre présentant des caractères différents à trois niveaux d'organisation

. la texture
. la structure
. les modes de gisement.

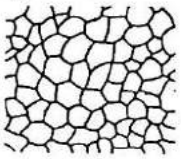
LA TEXTURE concerne la disposition élémentaire des minéraux définis par leur dimension, leur format et leur aménagement ; elle est le reflet du déroulement de la cristallisation.

✱ *vitreuse*

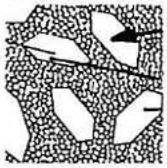


. Un refroidissement brusque du magma va *provoquer une texture "vitreuse"* ; un refroidissement lent va permettre une cristallisation *complète et équilibrée ("grenue")* dans laquelle tous les cristaux seront visibles à l'oeil nu, alors que dans la texture "microgrenue" ils ne seront visibles qu'au microscope. La forme extrême étant la texture "aplitique".

✱ *grenue*



✱ *porphyrique*

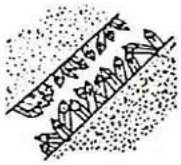


. La formation de très petits cristaux dans une matière vitreuse à peine solidifiée caractérise la texture *"microlitique"* ; toutefois lorsqu'il existe au préalable des grands cristaux (*phénocristaux*) la texture est dite *porphyrique*.

✱ *ophitique*

. Dans la texture *"ophitique"* les feldspaths constituent la charpente et les interstices sont garnis de verre.

✱ *pegmatitique*



. Lorsque les grands cristaux de la texture microgrenue s'interpénètrent souvent géométriquement, on a une texture *"pegmatitique"*.

Croquis 4

Le tableau ci-dessous nous donne un procédé facile pour l'identification des textures.

Des cristaux.	Charpente de grands feldspaths : dans mailles, cristaux avec ou sans verre.				Ophitique
	Pas de charpente	Cristaux tous de même taille et visibles à l'oeil nu. Pas de verre.			Grenue
		Cristaux de taille différentes ou invisibles à l'oeil nu.	Petits cristaux non allongés. Pas de verre.	Des phénocristaux. Pas de phénocristaux.	Microgrenue
			Microlites ou phénocristaux ou les deux, avec ou sans verre.	Des phénocristaux Pas de phénocristaux.	Microlitique
Aucun cristal. Du verre exclusivement.					Vitreuse

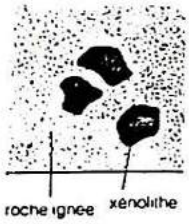
Précisons par ailleurs, que dans le granite qui est la roche la plus courante, on pourra ajouter à la qualification de texture "grenue" celle de la grosseur des grains, à savoir :

- granite à très gros grain : grain supérieur à 10 mm ;
- granite à grain moyen : grain de 2 à 3 mm ;
- granite à grain fin : grain de 0,5 à 2 mm ;
- granite à grain très fin : grain inférieur à 0,5 mm ;
- microgranite : grain seulement visible au microscope avec parfois quelques grands cristaux visibles à l'oeil nu.

LA STRUCTURE. Caractérise les variations dans la continuité des roches aussi bien visible sur des échantillons que sur des affleurements, elle peut résulter :

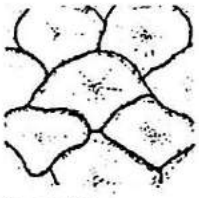
- des variations de composition de texture
- de particularités physiques
- de l'orientation préférentielle des minéraux
- de contraintes postérieures à des déformations tectoniques.

Nous présenterons ci-après ces différentes structures caractéristiques.

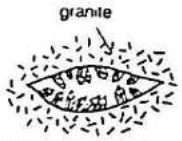


✱ *Xénolithe*

✱ *Couche*

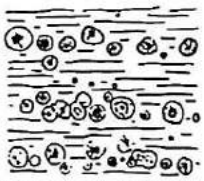


Coupe de laves en coussins



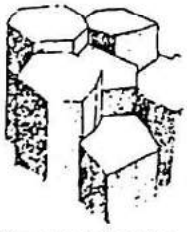
Cavité tapissée de cristaux de quartz

✱ *Druse*



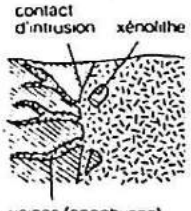
Rhyolite sphérolitique

✱ *Sphérolitique*



Prismes de basalte

✱ *Prismatique*



Contact du granite et de la roche

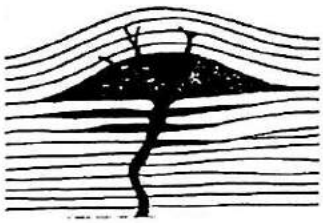
Croquis 5

LES MODES DE GISEMENT.

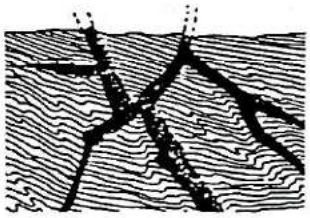
Le gisement définit l'organisation générale des ensembles de roches selon leur position dans les terrains encaissants et leur forme de pénétration.

* Dans le sens des strates

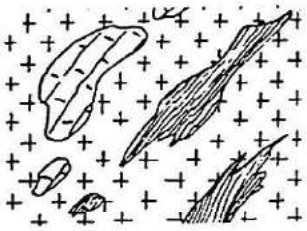
Laccolite



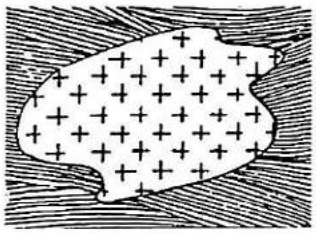
* En les recoupant sous forme de Filons



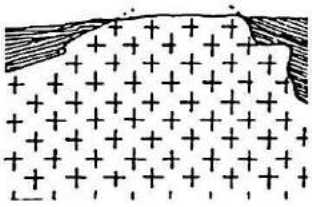
* En amas localisés enclaves



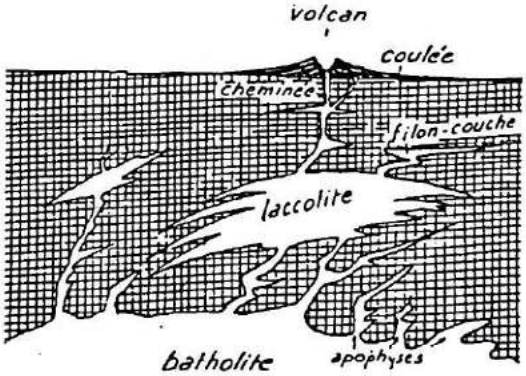
* Lorsqu'ils affleurent



Plan



Coupe



Magma éruptif
Volcan

croquis 6

PROCESSUS D'IDENTIFICATION (méthode simplifiée)

L'identification sur le terrain des principales roches éruptives va pouvoir se faire d'une manière simplifiée par la combinaison d'observations . macroscopiques
. microscopiques

La première (Tableau T3) nous donnera . la couleur
. la texture,

la deuxième (Tableau T4) nous aidera à déterminer les minéraux et nous permettra de pénétrer dans le tableau où nous retrouverons au niveau de la texture reconnue - le nom de la roche.
Ainsi une roche claire dans laquelle on a pu, à l'oeil nu, voir tous les cristaux (grenue) et identifié le quartz (tab. T4) correspondra à la famille des granites. S'il s'agit d'une roche sombre, sans quartz avec des minéraux foncés dans une texture grenue - il s'agira d'un gabbro.

DETERMINATION DES MINERAUX A LA LOUPE

MINERAUX	COULEUR	ASPECT	DURETE	AUTRES CARACTERISTIQUES
QUARTZ	blanc à noir (transparent)	éclat aspect de grain de sel	raye le verre et l'acier	
FELDSPATH ORTHOSE	blanc à rose	transparent	raye le verre et l'acier	Macles à 2 cristaux
PLAGIOCLASE	blanc à vert	rarement transparent	rayé par l'acier rayé par l'acier dur	Macles nombreuses difficilement visibles
MICA BLANC	incolore à gris	transparent	rayé par le verre	1 clivage s'écaille à l'ongle
MICA NOIR	brun rouge foncé à noir	mordoré	rayé par le verre et l'acier	1 clivage s'écaille à l'ongle
AMPHIBOLE	noir verdâtre	aspect en baguettes	rayé par l'acier	2 clivages à 80°
PYROXENE	noir	ferrogineux	rayé par l'acier	2 clivages
PERIDOT	vert à jaune	éclat gras	raye le verre et l'acier	craquelé

Tableau T3

DETERMINATION DES ROCHES ERUPTIVES

Tableau T4

MINERAUX		QUARTZ	PAS DE QUARTZ		
		Orthose, peu de plagioclase	Orthose, peu de plagioclase	Plagioclase surtout	
				Roches claires	Roches sombres
STRUCTURE					
Roches plutoniques (de profondeur)	Grenue	Granite	Syénite	Diorite	Gabbro
	Microgrenue	Microgranite	Microsyénite	Microdiorite	Microgabbro
Volcaniques (de surface)	microlitique	Rhyolite	Trachyte	Andésite	Basalte
	vitreuse	verres (obsidienne et ponce)			

Nous reprendrons à titre d'exemple un extrait d'une brochure - BRGM - destinée à la formation de prospecteur (cf. questionnaire ci-après).

MATERIEL - une loupe (grossissement 10 ou 12)
- une pointe en acier dur
- un morceau de verre

METHODE

1 - Trouver la structure de la roche

. Roche *uniquement* formée de grains — ST. GRENUE

Gros cristaux dans une *pâte* de petits cristaux *invisibles* à la *loupe* — ST. MICROGRENUE

. *Nombreux petits* cristaux allongés (microlites) dans une *pâte* qui, à la loupe, paraît homogène. — ST. MICROLITIQUE

. *"Verre" seulement* (très rare) — ST. MICROLITIQUE ST. VITREUSE

2 - Reconnaître ensuite les minéraux

Il faut ensuite reconnaître les minéraux principaux (tableau T4).

1 *Y a-t-il du quartz ?*

si oui → Famille du GRANITE ou diorite quartzite

si non → autres familles

En fonction de la structure déterminée ci-dessus on pourra dire s'il s'agit d'un granite, d'un microgranite, d'une rhyolite ou d'un verre.

2. *Y a-t-il du feldspath ?* Est-ce une orthose ou un plagioclase ?

. Pas de quartz. ORTHOSE. Peu de plagioclases
→ Famille des SYENITES

Comme ci-dessus, en fonction de la structure, rechercher la roche sur le tableau

. Pas de quartz. Surtout PLAGIOCLASES

. Roche claire : → Famille des DIORITES

En fonction de la structure rechercher le nom sur le tableau

. Roche sombre. → Famille des GABBROS

Attention ! Les GRANITES et les SYENITES sont aussi des roches claires.

PRINCIPALES ROCHES ERUPTIVES

Nous reprendrons - dans le tableau T12 dans un but de simplification - les roches dont la texture nettement marquée . grenue
. microlitique
. vitreuse
permettra une identification facile. Il s'agira :

		Réf. tech.
- dans la grenue de	. granite	1
	. syénite	2
	. diorite	3
	. gabbro	4
- dans la microlitique	. rhyolite	5
	. trachyte	6
	. andésite	7
	. basalte	8
- dans la vitreuse	. obsidienne et ponce	

Les différents paramètres permettant de les identifier figurent dans un état synoptique présenté dans ce tableau T12.

2. LES ROCHES SEDIMENTAIRES

Ce sont des roches exogènes c'est-à-dire formées à la surface de la terre par effet mécanique ou physico-chimique sur des éléments provenant de l'altération ou de la désagrégation de roches pré-existantes. Elles représentent 5 % en volume de la croûte terrestre et couvrent 75 % de la surface.
Elles sont très variées car leur génèse dépend de nombreux facteurs

- nature initiale des matériaux désagrégés ou altérés
- type d'altération
- mode de transport
- zone de dépôt
- modalités de diagénèse

On distingue essentiellement :

Celles d'origine : détritique (terrigènes)
: chimiques et organiques (biogènes)

LES ROCHES DETRITIQUES.
Les plus abondantes correspondent à des assemblages de débris variés issus de roches préexistantes unis ou par par un ciment d'origine chimique ou biochimique.

Leur *classification* se fait selon - leur état physique - la description des éléments (longueur en mm, forme), leur texture, leur structure.

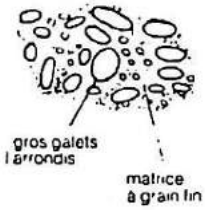
NOMENCLATURE DES PRINCIPALES ROCHES DETRITIQUES

T5

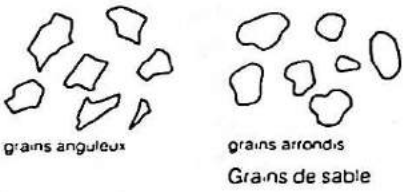
Noms des formations		Description des éléments	
meubles	consolidées	longueur en mm	forme
Blocs	Conglomérat	200	variable
Fragments	Brèche		anguleux
Cailloux	Conglomérat		interméd.
Galets	Poudingue	20	arrondi
Gravillon	Grès		variable
Granules	Graveleux	2	
Sable	Grès	0,2	variable
Sablon	Grès fin	0,02	variable
Limon	Pélite consolidée		anguleux
Précolloïdes et colloïdes	Phtanite	0,002	anguleux

✱leur texture

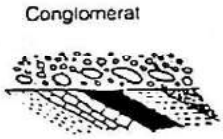
Brèche

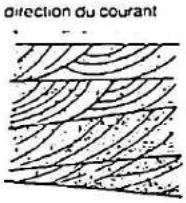


Conglomérat



✱leur structure





Croquis 7

LES ROCHES BIOGENES ET/OU PHYSICO-CHIMIQUES témoignent d'équilibres chimiques réalisés dans des conditions de température et de pression externes de la surface des continents au fond des océans.
Elles sont construites par précipitation chimique ou par dépôts de coquilles d'organismes vivants animaux, ou des dépôts de végétaux ou de bactéries.

Les roches les plus courantes sont, dans la famille des roches carbonatées :

. les calcaires (carbonatées)
. les craies
. les marnes

Dans cette famille, le pourcentage de carbonate de calcium CO^3Ca va permettre de différencier les pierres dites calcaires des autres calco-marneuses, marno-calcaires, marnes, qui sont rarement utilisées pour la construction et réservées pour certaines à l'agriculture.

dans les autres familles :

. les silex (siliceuses)
. les charbons (carbonées)
. les évaporites.

Les principales roches sédimentaires utilisées comme *matériaux les plus usuels* sont décrites ci-dessous :

. d'origine détritiques
  - les grès
  - les conglomérats et brèches

. d'origine chimiques et organiques
  - les calcaires plus communément désignés sous l'appellation de "pierres calcaires".

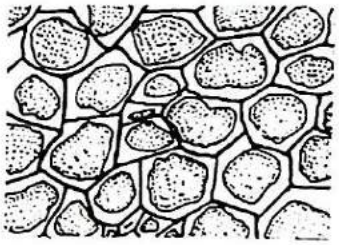
. nous citerons de plus - "les roches marbrières" - qui - malgré leur origine métamorphique sont classées dans la famille des roches carbonatées.

LES GRES

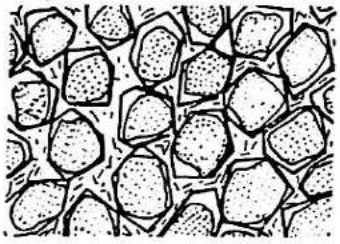
Les différentes séquences :

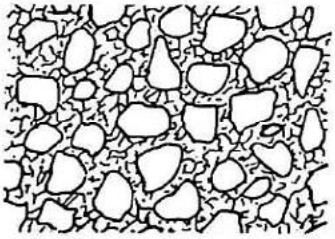
. de désagrégation des roches éruptives (granite) métamorphiques (gneiss)
. de transport
. d'accumulation et sédimentation
. de cimentation - vont donner un "grès" - auquel la nature et la qualité du ciment apportera des caractéristiques différentes.

Nous aurons ainsi des . grès quartzeux à ciment siliceux (II)



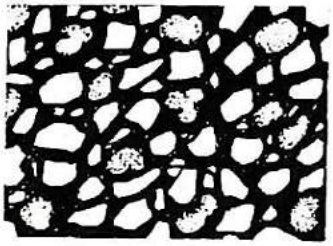
. grès à ciment ferrugineux (I)





. grès à ciment calcaire (III)

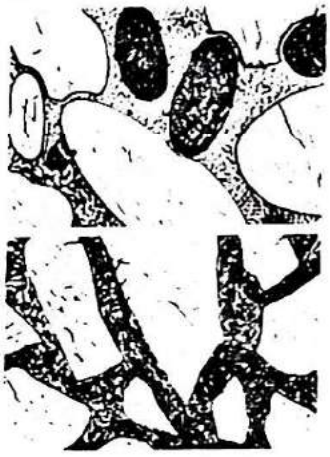
. grès à ciment phosphaté - ferrugineux (IV)



croquis 8

extrait de précis de géologie L. MORET (MASSON)

LES CONGLOMERATS constitués selon un même processus mais avec des éléments de grosseur différente seront :



- des poudingues
  avec des éléments arrondis

- des brèches avec des élements anguleux liés par un ciment de nature diverse (argileux - calcaire - siliceux)

Croquis 9

La phase de désintégration a été moins poussée que dans les grès - et les éléments ont été "enrobés" avant leur stade final de sédiments.
Les éléments de brèche peuvent atteindre plusieurs décimètres.

LES PIERRES CALCAIRES

Cette appellation normalisée (NF-B-10101 juillet 1978) la définit comme suit : "Roche plus ou moins dure comportant dans sa composition plus de 75 % de CO^3Ca" - roche carbonatée.
La variété de ces calcaires est telle et leur mode de formation tellement différent que les auteurs prennent pour leur classification des critères multiples à savoir :

. La composition minéralogique, biologique, génétique, structurale (C. Camerman)

. Le degré de pureté résultant de l'attaque à l'acide chlorhydrique (A. Mesnager) calcaires purs, argileux, marneux, magnésien, dolomitiques.

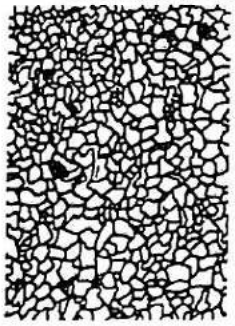
. La surface de cassure (A. Mesnager) donnant des textures caractéristiques

- oolithique (grosseur d'oeuf de poisson)
- à entroques (coquillages)
- lacustres (débris de coquilles)
- spongieuse (travertins-tufs)
- compact-grossier
- fin - (lithographique)
- pisolithiques - grosseur de grains égale à celle d'un petit pois
- à foraminifères
- à milioles.

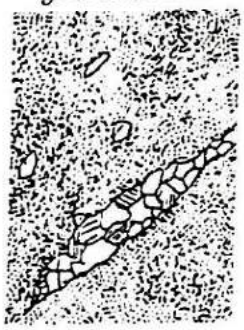
En voici les différentes textures :

grenue

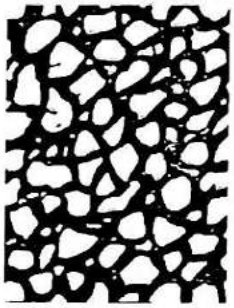
saccharoïde



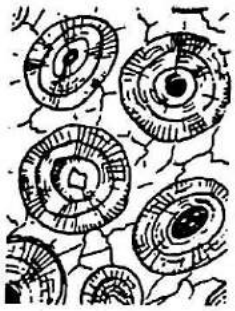
granuleuse



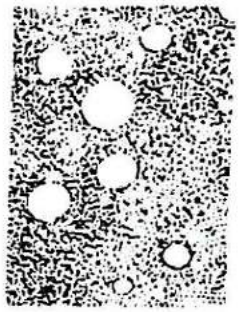
calcaire gréseux



oolithique



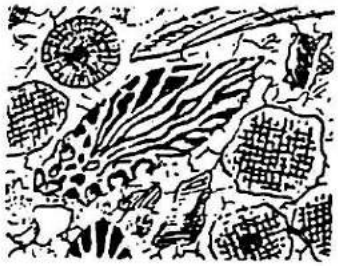
marneux



origine organique

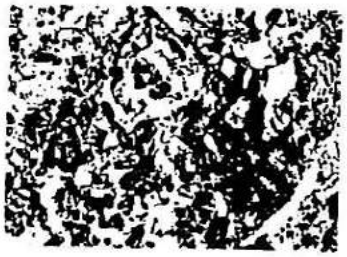
calcaire graveleux

à entroques
(tiges de crinoïdes)



à milioles

à foraminifères



coquillier

Planche 10

extrait de précis de géologie L. MORET (MASSON)

En fait dans la pratique les artisans-carriers, les architectes, les organismes professionnels ont établi une norme des pierres calcaires basée :

. sur la masse volumique
. sur la résistance à la rupture par compression

et définissant ainsi les duretés types suivantes : "très tendre - tendre - demi ferme - ferme - dure - froide".

Nous présenterons ces diverses spécifications dans la partie qui y est consacrée, Chapitre I3 ci-après.

LES ROCHES MARBRIERES

L'appellation normalisée NF B10-102 (juillet 1978) est la suivante : "Roche principalement calcaire, dolomitique ou serpentineuse susceptible de prendre un beau poli et de donner un effet décoratif tantôt ramagé et non uniforme, tantôt unicolore".

Ces roches peuvent être :

. des marbres (appellation commerciale) comprenant
  - les marbres métamorphiques
  - les cipolins marbriers
  - les onyx (calcaires)
  - les brèches (déjà citées)
  - les ophicalces verts ou rouges

. des serpentins, essentiellement silicatées
. des travertins, d'origine lacustre
. des pierres marbrières.

Les marbres

L'appellation de marbre est pétrographiquement réservé à une pierre calcaire ayant reçu des contraintes de température et de pression telles que la matière a subi une cristallisation d'une part et s'est trouvée enrichie de substances nouvelles - minéraux du métamorphique - magnésie CO^3Mg.
Leur structure est cristalline ; la lumière pénètre à l'intérieur des cristaux donnant un poli de haute qualité.
Les apports d'oxydes de fer (rouge), de manganèse (gris), d'argiles (vert) de particules charbonneuses (noires) ajoutent à cette luminosité un éventail de couleurs qui en fait le matériau noble par excellence.
Nous en citerons des variétés mondialement connues - rouge de France, bleu Turquin, blanc de Carrare (Italie), jaune de Sienne (Italie).

Les cipolins sont également des roches calcaires métamorphisées dans lesquels des lits de mica et de chlorite verte - nés du métamorphisme donnent un graphisme particulier, ressemblant à la pelure d'oignon (cipoline en italien).

Les onyx-calcaires - pour les distinguer des véritables onyx siliceux - présentent un aspect rubanné ou nuageux selon le plan de sciage-parallèle ou perpendiculaire à la stratification.

Les serpentines sont constituées de minéraux essentiellement silicatés (olivine-amphibole) en voie d'altération donnant à la roche l'aspect de la peau de serpent.

Les ophicalces verts-rouges sont des serpentines siliceuses pouvant contenir jusqu'à 50 % de CO^3Ca.

Les travertins provenant de précipitation calcaire due à des sources chaudes présentent un aspect "vermoulu" qui fait leur caractère rustique. Leur couleur va du blond clair au brun foncé.

Les calcaires dolomitiques contiennent de l'ordre de 20 % de CO^3Mg et constituent un matériau de belle qualité.

Les pierres marbrières

Ce sont des pierres calcaires n'ayant pas subi comme les marbres l'influence d'un métamorphisme local ou régional, mais dont la masse volumique élevée - supérieure à 2,5 - leur confère une résistance à la rupture par compression importante - supérieure à 1200 kg/cm². Cette compacité de la matière lui permet par ailleurs d'acquérir un poli de haute valeur.
Nous verrons dans le paragraphe 3 des spécifications, les relations existant entre la dureté, la résistance à la rupture par compression, la porosité - n° d'identification -

IDENTIFICATION D'UNE ROCHE SEDIMENTAIRE

- Calcaire

La présence de carbonate de calcium dans toutes les roches calcaires nous permet par une méthode très simple de savoir s'il s'agit d'un calcaire ou non. Le test de l'acide, quel qu'il soit - et même au vinaigre - est probant ; toute effervescence indique la présence de CO3Ca. La disposition des lits de la roche, s'il y en a, de coquillages, de fossiles, ainsi que la grosseur du grain - la cassure - sont autant d'éléments permettant de l'identifier. Le son qu'elle fera au choc sous le marteau est un indicatif précieux quant à sa résistance à la compression. Des essais au burin donneront sa susceptibilité à la taille et au refendage.

- Grès

La texture des grès - en grains de différentes grosseurs - liés par un ciment sera la meilleure indication. Sa réaction sous le coup de marteau donnera son état de friabilité (cf. tableau T10); la réaction aux acides sera nulle sauf si le ciment est calcaire, ce qui peut induire en erreur.

3. LES ROCHES METAMORPHIQUES

Ce sont celles obtenues par l'effet individuel ou combiné de hautes températures et pressions sur des matériaux, formés dans des conditions nettement différentes.

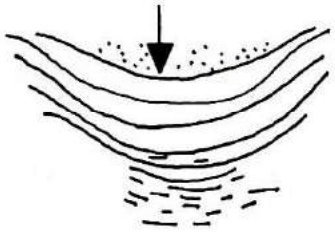
La modification chimique est rare; celle minéralogique fait apparaître de nouveaux minéraux caractéristiques de température et de pression (granit etstaurotide, andalousite - disthène - sillimanite).

La modification structurale va être marquée par des allongements des orientations plus ou moins apparentes.

Ce phénomène de métamorphisme se fait dans un contexte :

1. dynamique (dynamo métamorphisme) par pression très élevée (enfouissement) à faible température. Il y a déformation schistosite-foliation;

2. de contact - en bordure de massifs plutoniques (granite) sous très haute température et pression faible.



Zone de métamorphisme (1-dynamique)

Zone de métamorphisme (2-de contact)

Croquis 11

Selon l'intensité du métamorphisme de contact (faible, moyen, fort) des roches d'origine décrites dans les paragraphes précédents, on va constater la création de roches différentes.

	FAIBLE	MOYEN	FORT
grès	*quartzites*	*quartzites*	*quartzites*
arkoses	*schistes*	schistes micaschistes	*gneiss*
marnes	phyllites chloritoschistes	schistes micacés	gneiss amphibolites
calcaires	*marbres*	marbres	marbres
dolomie	*cipolin*	cipolin	cipolin
granite	protogine	gneiss	leptynite
gabbro basaltes diorites andésites	*schistes*	psammites	amphibole pyroxènes serpentinite

(les termes en italique correspondent aux roches déjà citées)

Sur le plan de l'utilisation, ces roches métamorphiques donnent des matériaux de haute qualité - qu'il s'agisse de voirie où le quartzite est considéré comme un des meilleurs pour les couches de roulement, ou bien des constructions en pays de montagne où les gneiss sont largement utilisés.

L'ardoise reste le premier matériau de couverture même lorsque la fissibilité du schiste n'est pas des meilleures, puisque les lauzes de plus grande épaisseur sont mises en oeuvre. Nous ne reviendrons pas sur le marbre qui a été traité avec les roches marbrières précédemment.

Ces différents matériaux sont présentés dans le tableau synoptique. Nous décrivons succinctement les principaux.

Les quartzites

Ce sont des grès métamorphiques très riches en quartz dans lesquels la haute température a fondu les grains qui n'apparaissent plus visibles à l'oeil nu. L'orientation n'est pas toujours perceptible. Lorsque la stratification sera de faible épaisseur, ce matériau sera débité en plaques de l'ordre du cm et utilisé comme revêtement ; ses couleurs pastels apporteront un cachet supplémentaire à son aspect châtoyant et rustique.

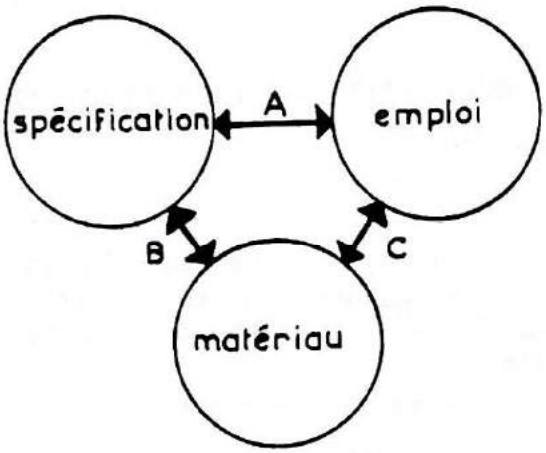
Les gneiss - formés - par les composants du granite quartz, feldspath, mica - diffère de lui par sa texture étirée qui traduit son allongement, autant dans sa forme que dans ses grains. Ils sont utilisés comme moellons dans la construction et dans le cas de dalles de revêtement de qualité.

Les micaschistes et phyllades (schistes) dérivent des roches sédimentaires de nature pélitique (éléments très fins) dans lesquelles dominent les micas.
Les micaschistes sont de grain gros et moyen ; les phyllades à grain fin sont désignés par le minéral le plus abondant (séricitoschistes - chloritoschiste - calcschistes). Les phyllades à fissilité très marquée donnent les ardoises, faisant l'objet de nombreuses exploitations et fournissant un matériau de bonne qualité alliant la légèreté, la couleur, la durabilité - ses caractères principaux sont la grande fissilité et la susceptibilité à une cassure perpendiculaire au plan de clivage.

I-3 LES SPÉCIFICATIONS ET DOMAINES D'UTILISATION

Les différentes composantes d'une roche - pétrographique, minéralogique, texture, structure - lui confèrent un caractère propre, des qualités intrinsèques qui en font sa personnalité ; ce sont ses "spécifications". Elles sont d'ordre : gravimétrique
: physique
: mécanique

Par ailleurs, l'emploi de la roche comme matière première dans les différents domaines de l'habitat humain et de son environnement - voirie, génie civil - est soumis à des "exigences" sur les propriétés des matériaux ; les unes sont impératives, les autres secondaires ; il importe de les connaître toutes et d'appliquer les principales - Le promoteur - l'architecte - le concepteur vont donc dans chaque cas rechercher le matériau qui présentera les meilleures garanties requises pour l'emploi auquel il le destine.
Les spécifications sont nombreuses ; nous les présenterons en décrivant plus en détail les principales, et celles propres à certains matériaux comme les calcaires par exemple.
Nous dégagerons les exigences essentielles - Tableaux T6-T7. La représentation schématique du problème à résoudre par l'utilisation se présente comme suit avec ses trois données : matériau - emploi - spécification, pour la définition du produit.



Définition des produits

Croquis 12

Nous essayerons par le biais des tableaux d'établir des relations :

A = spécification — emploi

B = matériau ——— spécification

C = matériau ——— emploi

Il faut cependant souligner que les valeurs données dans les spécifications qui vont suivre doivent, sauf dans le cas d'ouvrages importants, être interprétées dans le sens le plus large de la relativité, permettant de choisir - si choix il y a - sans pour cela être paralysé par les chiffres indiqués.

A - RELATION SPECIFICATION - EMPLOI Tableau T6

SPECIFICATIONS \ EMPLOI	VOIERIE roulage	VOIERIE sécurité	CONSTRUCTION habitat	CONSTRUCTION génie civil
Gravimétrique.				
+ . masse volumique (densité)	x	x	x	x
. porosité			x	
Physique liés à présence d'eau				
. capillarité			x	
. absorption				
. teneur en eau critique				
. gélivité			x	x
Physique et mécanique				
. compression	x	x	x	x
. flexion (par traction)			x	x
. élasticité			x	x
+ . propagation du son			x	x
+ . dureté superficielle (rainure)	x			
. usure (empreinte)	x		x	
. dilatation thermique			x	x
. conductibilité thermique			x	x
. friabilité	x		x	x

+ entrent dans la formule pour le numéro d'identification des pierres calcaires

TABLEAU DONNANT DES NORMES DETAILLEES POUR LA CONSTRUCTION

Tableau T7

Emplois	Elévation	Rejaillissement, bandeau corniche	Socle, soubassement	Dallage (intérieur)	Dallage sous grande circulation (et extérieur)
Résistance à l'écrasement (en kg/cm²)			> 300	≧ 500	≧ 800
Capillarité		< 15	> 5	> 2	
Porosité	< 47 %				
Usure (empreinte)				< 37 mm	< 32 mm
Nombre de cycles de gel supportable		> 48	> 96		> 240

Propriétés requises pour les pierres de construction
d'après M. MAMILLAN, 1976

Quelles qualités doit présenter tel matériau pour tel emploi ? et au préalable quelles sont ces spécifications ? Elles sont de plusieurs ordres :

1) D'ordre gravimétrique

La masse volumique, jusqu'à une certaine limite de 2800 kg/ m³, assurera à tout ouvrage sa stabilité, sa puissance immobile ; au-delà elle constituera un handicap pour la manipulation. Les granites occupent le sommet de l'échelle. Certains marbres sont légèrement au-dessous (2600 kg/cm³) ; les grès et les pierres se situent autour de 2000 ; les pierres tendres occupent le bas de l'échelle.

Masse volumique apparente *kg/cm³*
= $\frac{\text{masse du matériau sec}}{\text{volume apparent}}$ mode de détermination définie par la norme NF-B 10-503

Fourchette :	Pierres calcaires	1500 - 2720 kg/m³
	Granit	2400 - 2900 kg/m³
	Marbre	2600 - 2800 kg/m³
	Ardoise	≅ 2800 kg/m³
	Grès	2000 à 2500 kg/m³

NOTA : Les données techniques suivantes relatives aux spécifications résultent essentiellement des études et résultats de recherche du CEBTP et en particulier de Monsieur Mamillan; ces résultats (identification, propriétés physiques et mécaniques, entretien) ont servi de base à l'élaboration des normes sur la pierre et leur mode de détermination.

La porosité, sera utile à connaître dans les pays humides ou soumis à des gelées, car elle constitue un handicap pour la résistance. Les granites constituent le meilleur matériau, les calcaires sont variables, les grès généralement mauvais - sauf ceux à ciment siliceux. C'est un paramètre important pour les travaux de voirie et de construction dans lesquels ils sont largement utilisés.

Porosité %

$$= \frac{\text{volume du vide}}{\text{volume total}}$$

Norme NF B 10 - 503

Fourchette :	Granit	0,06 - 1,8 %
	Marbre	0,8 - 10 %
	Grès	0,66 - 22 %
	Calcaire	0,8 - 48 %

. NF B 10-503 (août 1973) : "Pierres calcaires : Mesure calcaires : Mesure de la porosité, de la masse volumique réelle et apparente". Après dessication on mesure la masse de l'éprouvette (M_1). Cette dernière est ensuite immergée pendant 24 heures. On réalise alors une pesée hydrostatique (M_2) et enfin on pèse rapidement l'éprouvette saturée d'eau après l'avoir essuyée (M_3).

Expression des résultats :

porosité : $\frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100$

masse volumique réelle : $\frac{M_1}{M_1 - M_2}$

masse volumique apparente : $\frac{M_1}{M_3 - M_2}$

avec :
$M_3 - M_1$ = volume des vides.
$M_3 - M_2$ = volume apparent.
$M_1 - M_2$ = volume absolu.

2) D'ordre physique

La capillarité. Le pouvoir d'absorption d'eau - la teneur en eau critique vont déterminer sa susceptibilité au gel, ce qui sera à prendre en considération dans les pays froids - norme NF B 10-512.

. NF B 10-512 (avril 1975) "Pierre calcaires : Mesure de la teneur en eau critique". La teneur en eau critique est la plus faible quantité d'eau supposée répartie de façon homogène dans la pierre qui provoque une expansion de celle-ci sous l'effet du gel. Après séchage, puis imbibition sous vide, on réalise des éprouvettes d'humidité relatives 60, 65, ... 80 % du volume des vides. Suivant un mode opératoire particulier, dans une enceinte frigorifique réglée à - 15°C, on réalise des mesures comparatives entre éprouvettes sèches et les diverses éprouvettes humides. Quand la dilatation est supérieure à 50 µ m/m on estime que la teneur en eau critique est atteinte.

Dans tous les cas, pour qu'une pierre ne s'altère pas au gel, il faut que sa teneur en eau - au moment des travaux - soit égale au 3/4 de sa teneur en eau critique.

Gélivité - C'est le défaut que présentent certaines pierres sous l'effet du gel ; elles se fendent, se délitent ou s'effritent.

(Norme NF B 10-513)

La connaissance du nombre de cycles "gel-dégel", permet de choisir la nature du matériau en fonction du climat et de l'utilisation de la pierre.
Pour un dallage extérieur par exemple le nombre de cycles gel-dégel doit être supérieur à 240 en climat alpin, et supérieur à 120 en climat séquanien.

. NF B 10-513 (avril 1975) : Pierres :"Essai de gélivité". Deux méthodes pour déterminer la résistance au gel :
- essai direct de gel ;
- essai de détection.

Essai direct de gel

On réalise plusieurs cycles de gel à - 15°C dans l'air puis de dégel dans l'eau à + 5°C. La résistance au gel est déterminée par :

- un examen visuel ;
- une mesure de volume apparent qui permet de chiffrer les pertes de matériaux ;
- une mesure de la fréquence de résonnance fondamentale longitudinale qui permet de déceler la microfissuration non décelable à l'examen visuel.

Le nombre de cycles est le plus faible obtenu avant altération :
- par fissure, rupture... constatée visuellement ;
- ou détectée par diminution sensible de la fréquence de résonnance ;
- ou détectée par diminution de volume apparent supérieur à 10 %.

Il permet de déterminer les emplacements possibles de la pierre concernée dans divers types d'ouvrages.

3) D'ordre physique et mécanique

Résistance à la compression. Pour répondre aux sollicitations de contraintes par compression, et compte tenu d'un coefficient de sécurité, la connaissance de la charge de rupture sera un élément important dans la construction - habitat et voirie - Elle répond à la norme NF B 10 - 509 et s'exprime en MPa (mégapascal) = 10 kg/cm².

Pierres calcaires	50 - 220 MPa
Marbres	80 - 210 MPa
Granit	150 - 200 MPa
Grès	30 - 250 MPa
Ardoises	98 MPa

. NF B 10-509 (août 1973) : "Pierres calcaires : Essai de compression". Cette norme expose la technique de l'essai de compression des pierres calcaires.

Les essais doivent être réalisés sur des machines conformes aux normes NF P 18-411 et NF P 18-412. L'effort de compression est exercé perpendiculairement au lit de carrière et la charge doit être appliquée de manière continue et sans choc et provoque une augmentation de contrainte de : 0,2 à 1,5 N/mm² par seconde (1 N/mm² = 10,2 kgf/cm²).

Résistance à la traction. La connaissance de la contrainte à la rupture par tableau est indispensable pour pouvoir dimensionner correctement tous les ouvrages qui travaillent en flexion, par exemple des marches porteuses, des linteaux...

(Norme NF B 10-510)

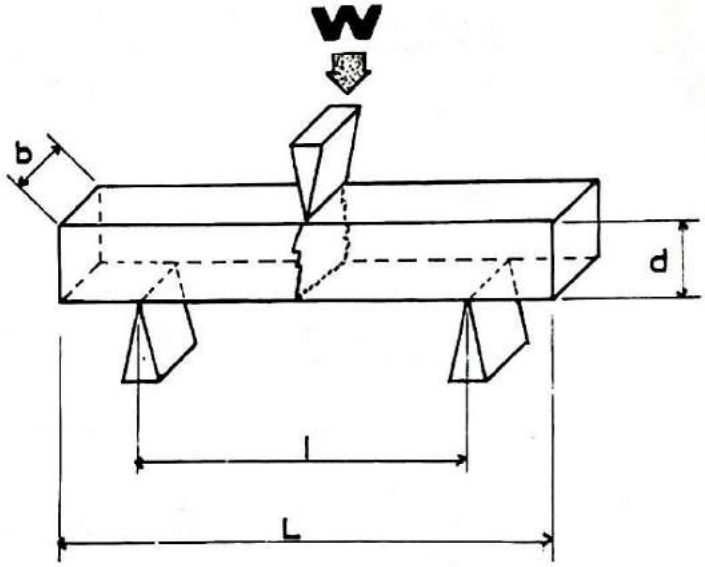
Roches marbrières	5 - 35 MPa
Granit	8 - 20 MPa
Calcaire dure	5 - 20 MPa
Grès	2 - 20 MPa

. NF B 10-510 (août 1973) : "Pierres calcaires : Essai de flexion".

On utilise des éprouvettes de 7 x 7 x 28 cm séchées à 80°C sur lesquelles on applique un effort de flexion progressif. Le module de rupture est :

$$t \frac{6\,Mt}{b\,h^2} \quad (N/mm^2)$$

avec :
b : arête du prisme essayé :
d : hauteur du prisme ;
Mt : moment de flexion exprimé en N.mm.



Croquis 13

Vitesse de propagation du son en m/s. Plus les caractéristiques mécaniques d'un matériau sont élevées et plus la vitesse du son augmente.

(Norme NF B 10-505)

Cette mesure, effectuée in situ et non destructive, permet de déceler les fissures et toutes les hétérogénéités des matériaux. Elle est en très bonne corrélation avec la résistance à la compression des matériaux.

Cette spécification trouve son importance dans les matériaux utilisés pour la construction dans la lutte anti-bruit. Mais il apparaît ci-dessus que les plus résistants à la compression sont ceux qui transmettent le mieux les ondes sonores.

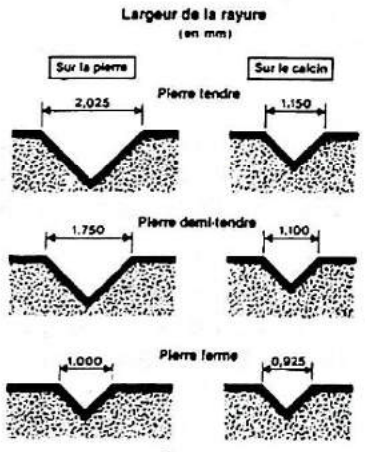
. NF B 10-505 (août 1973) : "Pierres calcaires : Mesure de la vitesse de propagation du son".
Cet essai non destructif est utile pour l'identification de la pierre calcaire. On envoie à un émetteur piezoélectrique approprié une impulsion électrique. Cet émetteur est disposé sur une face et le récepteur est placé sur la face opposée. Ces mesures sont effectuées d'une part dans le sens parallèle au lit de carrière et d'autre part dans le sens perpendiculaire.

$$V = \frac{L}{T} = \frac{\text{distance émetteur capteur (en m)}}{\text{temps mesuré en secondes}}$$

Dureté superficielle. en mm. Les matériaux utilisés dans les revêtements, soit dans la voirie, soit dans ceux plus légers de l'habitat ou des espaces urbains, devront répondre à des exigences de "dureté superficielle", et par conséquent de "résistance à l'usure".

La dureté superficielle est déterminée grâce à la mesure de la rayure faite par le scléromètre de MARTENS.

. NF B 10-506 (août 1973) : Pierres calcaires : Mesures de la dureté superficielle".
L'appareil utilisé est un scléromètre. Il se compose d'un petit chariot reposant sur deux roues et d'une pointe en acier traité. On charge le chariot avec une masse de 3 kg puis on le déplace perpendiculairement au lit de la pierre. Dans le mouvement, la pointe raye la surface rodée de la pierre sur laquelle elle se déplace. On mesure la largeur des rayures grâce à une lunette grossissante.

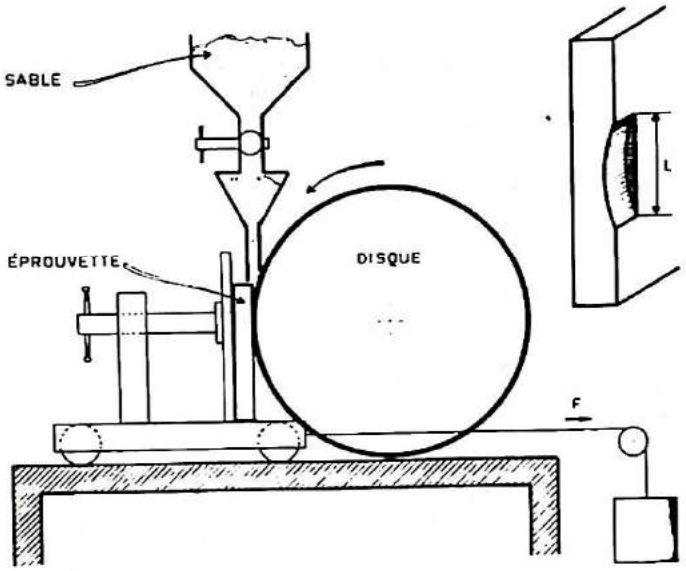


Norme NF B 10-506

Elle permet de caractériser la dureté de la pierre ainsi que sa résistance à l'usure, à l'érosion et aux chocs. Sa valeur varie de 0,5 mm pour les pierres les plus dures, à 3,5 mm pour les plus tendres.
Sur le croquis ci-contre, on peut constater l'effet positif en dureté de la pierre couverte de calcin (cf. formation du calcin et autoprotection des calcaires, voir Chapitre III, paragraphe I.2.5)

Extrait ITBTP Croquis 14

Usure au disque. Pour le choix des matériaux à utiliser en dallage - revêtement de sol, un essai d'usure a été défini.



Appareil d'usure au disque métallique
(Extrait de l'Annale I.T.B.P. Janvier 1976 - rédigé par M. MAMILLAN)

Croquis 15

. N.F. B 10-508 (août 1979) : "Pierres calcaires : Essai d'usure au disque métallique".
L'essai consiste à déterminer la longueur de l'empreinte produite sur l'éprouvette par le chant d'un disque métallique en présence d'un abrasif pulvérulent.
L'éprouvette dont la face testée est dressée par rodage est fixée sur un chariot mobile. Ce dernier maintient l'éprouvette en contact avec le disque grâce à une force de rappel constante. Depuis une trémie disposée au-dessus, un sable approprié coule avec un débit régulier sur le disque.
On réalise des empreintes dans une direction perpendiculaire et on en mesure les longueurs (millimètres).
La longueur de l'empreinte est inversement proportionnelle à la dureté.

A titre indicatif, nous donnerons ci-dessous des longueurs d'empreinte L recommandée pour le choix de matériaux de revêtement :

- passage très fréquenté - hall d'aéroport, gare (intense) : 26 à 28 mm
- passage normalement fréquenté : 33 à 35 mm
- passage intérieur (individuel) : 44 à 46 mm

L'évolution rapide des matériaux de revêtement pour voies piétonnes a amené les spécialistes du CEBTP à déterminer les caractéristiques "anti-dérapantes", à l'aide d'un appareil de frottement à petite vitesse AFPN - Cet appareil simule le glissement d'un piéton :

- un patin en caoutchouc, à plat ou faisant un certain angle, est chargé avec une force connue et soumis à un déplacement de 1,50 m à vitesse constante. L'effet tangentiel est enregistré ; on en déduit un coefficient de frottement.
- pour les voies piétonnes inaccessibles à la circulation automobile, ce coefficient doit être supérieur à 0,30.

- pour les voies piétonnes à circulation automobile occassionnelle ou canalisée, ce coefficient doit être supérieur à 0,50.

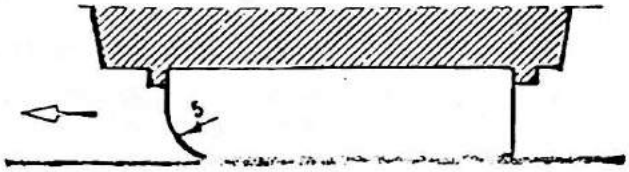


Fig. 1. Patin de caoutchouc reposant à plat pendant le frottement. Dans ce cas, un arrondi de 5 mm de rayon est prévu sur le côté du patin face au déplacement.

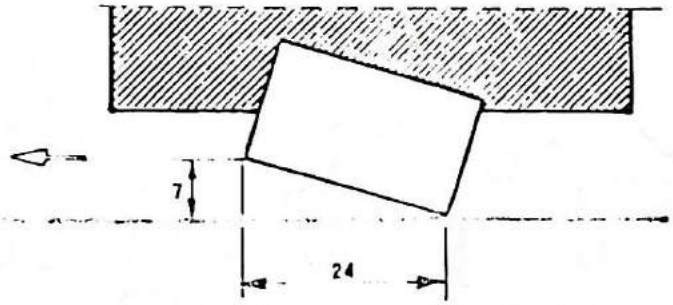


Fig. 2. Patin incliné utilisé pendant les mesures de frottement suivant le sens de la flèche.

EXTRAIT C.E.B.T.P. Croquis 16 d'après R. MASCHERCZYCK

Les effets de la température
Ils sont de deux ordres :

. Elle agit sur les matériaux et provoque une *dilatation thermique* qui s'exprime par la variation en mm par m pour 1°C.
. Elle pénètre dans le matériau qui l'absorbe ou le transmet selon son pouvoir de *conductivité thermique* qui s'exprime en Kcal/m.h.°C (Kcalories par mètre-heure-degré)

Dans le premier cas, ces effets de la température peuvent être à l'origine de désordre dans les revêtements de sols et murs, si le matériau-support a un coefficient différent.

Exemple : béton 10×10^{-6}
quartzite 12×10^{-6}

Dans le deuxième cas, il existe une relation entre le coefficient de conductivité thermique et la masse volumique apparente, elle-même fonction de la porosité ce qui est important dans la construction.
Ces résultats apparaissent dans le tableau récapitulatif des spécifications.

Numéro d'identification. (Norme NFB 10-301)

Caractéristiques particulières des pierres calcaires.

Les corrélations existant entre les diverses spécifications des matériaux ont amené les spécialistes de la normalisation à définir une formule prenant en compte :

. la masse volumique D en T/m³
. la vitesse de propagation du son V en m/s
. la dureté superficielle R en mm

et à donner un "numéro d'identification" allant de 1 à 14, le chiffre le plus élevé correspondant à la pierre la plus dure. La formule est donnée à titre indicatif.

$$N° \; i = \frac{V}{960} + 4\,D + \frac{1,6}{R} - 6,8\,C$$

Appellations spéciales.

Les pierres ont tout d'abord été classées par les tailleurs de pierre en fonction de la difficulté de taille :

- tendres, que l'on pourrait scier à la scie à dents
- dures, que l'on ne pouvait scier qu'avec la scie sans dents (+) plus du sable (abrasif).

Cette classification à caractère artisanale s'est révélée rapidement insuffisante et la norme NF B 10-301 (avril 1975) décrite ci-dessus est venue la compléter en l'officialisant.

B - RELATION MATERIAU - SPECIFICATION (tableaux T8, T9, T10).

Nous avons rassemblé dans le tableau T8 les différentes données traitées ci-devant, en donnant en bas de page à titre de référence celles relatives au béton et à la brique de terre cuite.
Le tableau T9 donne quelques-unes de ces spécifications dans les normes ASTM - le tableau T10 donne des valeurs de friabilité.

TABLEAU B - RELATION MATERIAU - SPECIFICATIONS T8

Matériaux	M. Vol kg/m³	R compression kg/cm²	% porosité	C thermique Kcal/mh°C	Vitesse du son m/s	Dureté superficielle	Empreinte d'usure en mm	N° d'identification
ERUPTIFS								
Granite	2500/3000	1800/2000	0,6/1,8	3.0	4000/6000		20-24	-
Basalte	2800/3000	2000/2500		3				-
Silex	2600/2800			3				-
Porphyres	2400/2600	2300	6/7	3				-
Laves	2100/2400			2,5				-
SEDIMENTAIRES								
Grès	2000/2400	500/900	0,6/20	1,9	2200/2600	0,5/0,6	26/48	
Pierres calcaires								
froides	2400/2800	950/2300	0,3/10,5	2,9	3000/6000	0,5/0,7	36/41	10 à 14
dure	2000/2700	500/1650	6/19	1,9/2,2	4000/6000	0,65/1,10		8 à 10,5
ferme	2200/2400	200/600	13/27	1,5/1,7	3500/4500		30/45	6 à 7,5
1/2 ferme	1800/2100			1,2/1,5	2600/2800	1/1,6		4 à 5,5
tendre (N°1)	1600/1800	< 300		0,8/0,9		1,4/2,2	> 45	0,5 à 3,5
(N°2)	1400/1600			0,95	2300/2500	2,2/3,2		
Travertins	2300/2500	500/1300	0,4/3	4/6				
Roches marbrières	2600/2800	900/2000	0,3/0,5	1/9	5000/6000	0,6/1,2	28/32	-
Pierres marbrières	2500/2700	1000/2000	0,5/0,8	3,5/10	3000/5000	0,7/1	30/40	-

METAMOR-PHIQUES								
Quartzites	2600/2700	3500/3800						
Schistes	2500/2700	1500/1800						
Gneiss	2400/2700	1500/1700	2/3	3		1/1,5		
Ardoises phyllades	2700/2800	1000/1500	3/4			8		
Marbre ophicalces	2600/2800	900/2000	0,8/ 2	1/7	5000/6000	0,6/1	24/32	
cipolins	2600/2800	900/2000	0,1/1	5/8				
Serpen-tinite	2600/2800	2000/2500	0,01/0,03	7,8				
Références								
Béton	2200/2400	250/500	1/5					
Brique (terre cuite)	2100/2300	800/900	7/21	0,5/0,6		6-8	30/55	

Normes ASTM (American Society for Testing and Materials) définissant les principales caractéristiques physiques des matériaux de construction

Tableau T9

Matériau		Densité (C 97 - 47)	Coefficient d'absorption % (C 97 - 47)	Résistance à la compression traduite en kg/cm² (C 170 - 50)	Module de rupture traduit en kg/cm² (C 99 - 52)
Marbre (usage extérieur) (C 503 - 67)	calcique	≧ 2,6	≦ 0,75	> 1 335	> 70
	dolomitique	≧ 2,8			
	travertin	≧ 2,3			
	serpentine	≧ 2,7			
Pierre calcaire (C 568 -67)	tendre (demi-ferme)	1,76 à 2,16	≦ 12	> 126,5	> 28
	ferme	2,16 à 2,56	≦ 7,5	> 281	> 35
	dure (froide)	> 2,56	≦ 3	> 562	> 70
Granite pour construction (C 615 - 68)		≧ 2,56	≦ 0,4	> 1 335	> 105
Grès pour construction (C 616 - 68)					
grès (SiO_2 ≧ 60 %)			≦ 20	> 140 (1)	> 21
grès-quartzite (SiO_2 ≧ 90 %)			≦ 3	> 703 (1)	> 70
quartzite (SiO_2 ≧ 95 %)			≦ 1	> 1 406 (1)	> 140

Les références entre parenthèses correspondent aux références de normes ASTM définissant le matériau ou le mode opératoire.

(1) suivant la direction de moindre résistance.

II

DU GISEMENT A L'ATELIER

II-1 EXTRACTION ET DÉBITAGE

Au cours de la partie précédente, après avoir présenté les différents matériaux de notre environnement, nous avons précisé leur domaine d'utilisation en fonction de leurs spécifications ; il s'agissait là d'un constat appuyé par des essais géotechniques certes mais devant lequel ni le désir de l'homme ni sa main n'avait le pouvoir de modification.

Dans la partie qui va suivre, il s'agira par contre de transformer la matière brute en matériau utilisable, voire commercialisable, ce qui nécessite une évolution technique et va nous amener à aborder successivement : les types de gisements,
le cycle des produits,
les méthodes d'extraction (moyens, matériel, procédés).

1. LES TYPES DE GISEMENT

La méthode d'extraction devra être adaptée au type de gisement ; l'exploitation du granite en boules ne se fera pas de la même façon que celle des schistes ardoisiers bien que l'on retrouve dans les deux cas le désir de sortir de la masse les blocs les plus gros possibles en profitant au maximum des défauts de la structure.

Nous présentons (sur la planche 17) d'une manière schématique les types de gisement les plus classiques :

1) en boules (type granite)
2) en masse (type gabbro-dolérite, syénite)
3) en dressant (type schistes-ardoise, quartzites)
4) en falaise (type grès)
5) en strates horizontales (calcaires, schistes).

2. DEFINITION DES PRODUITS ET LEUR CYCLE

(cf. planche 18 et tableau T15)

Après la phase de "débitage primaire", consistant à séparer le bloc de la masse rocheuse sur le "Front de taille"(1) les produits "bruts de carrière" se trouvant sur le carreau (2) seront traités différemment selon leurs dimensions, qualité, formes, critères de leur définition (tableau T15).
Les produits de la catégorie A sont destinés au sciage mécanique pour produire des carreaux-dalles-revêtements divers ; ceux de la C°B subi-

Le cycle des produits

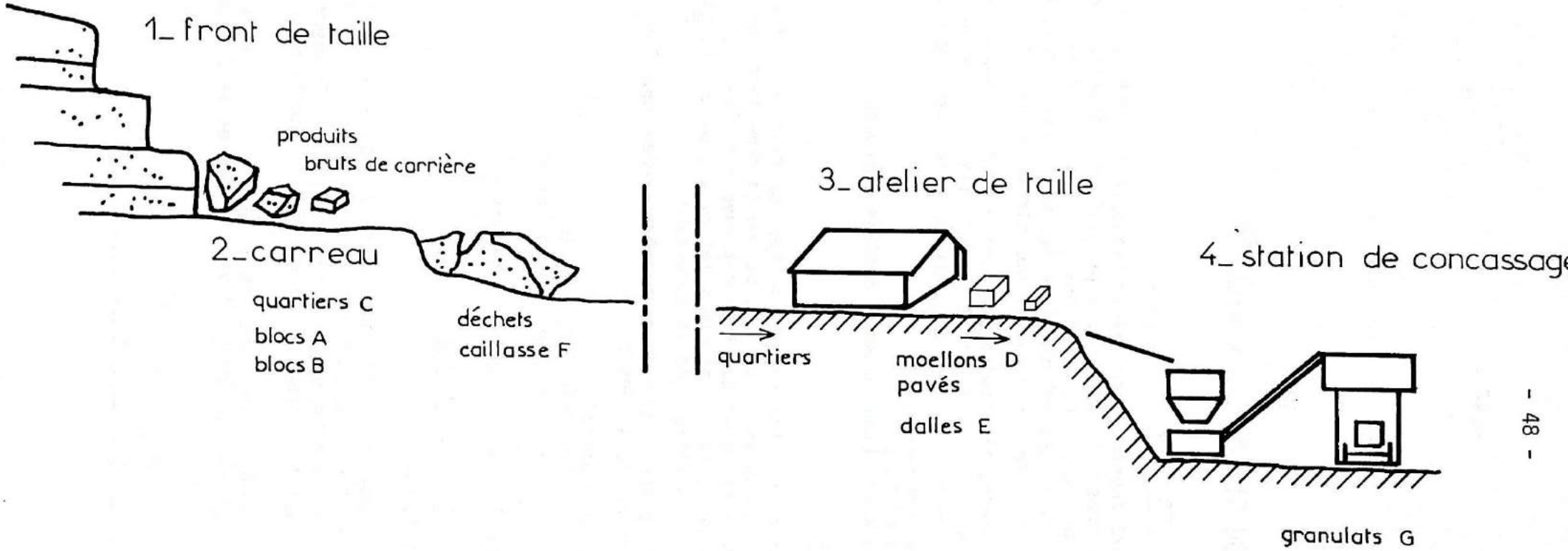


planche 18

ront un "débitage secondaire" qui les ramènera à la dimension de ceux de la C°C et transformés par tranchage mécanique ou manuel en bordures de trottoirs, éléments de chapiteaux, jambages-appuis, linteaux, pavé dans l'atelier de taille (3). Ceux de la C°D d'un format plus petit deviendront après une taille simple ou sophistiquée des moellons pour élévation-soubassements.
Les dalles de la C°E constitueront après un découpage mécanique ou manuel des éléments de revêtements extérieurs généralement.
Ceux de la C°F (caillasse) seront utilisés directement pour travaux de blocage en voirie, de remblayage pour la construction, le génie civil.
Les éléments de la C°G - granulat - seront utilisés directement pour le béton, la voirie ou transportés à la station de concassage (4) pour être calibrés.

Une sélection sur le carreau de la carrière permettra de récupérer les les mieux formés et les plus gros pour la construction de murs rustiques et de bordures.

Ces différents produits se répartissent dans des proportions variables en fonction - du degré de facturation de la masse
- du procédé d'exploitation employé
Ceux destinés à la taille, au sciage seront abattus aux coins de carrier - à l'éclateur d'explosif (poudre noire). Ceux devant être concassés seront abattus à l'explosif brisant - et une maille de forage appropriée au matériau.

Dans tous les cas, l'exploitation devra être adaptée à la stratification du gisement.

3. LES METHODES D'EXPLOITATION

Nous présenterons ci-dessous les différentes méthodes avec les moyens qu'elles exigent et les procédés à mettre en oeuvre ; nous précisons toutefois qu'elles ne peuvent pas être toutes utilisées dans un contexte artisanal simple, mais que dans ce cas un léger appoint de mécanique est possible en améliorant très nettement le rendement.

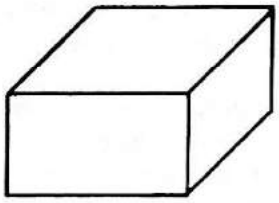
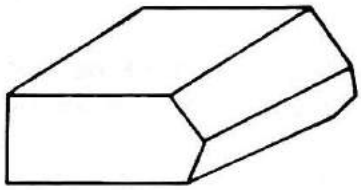
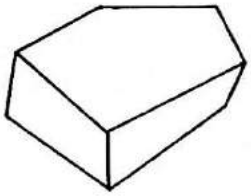
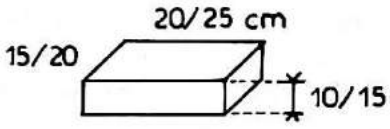
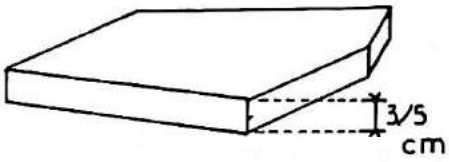
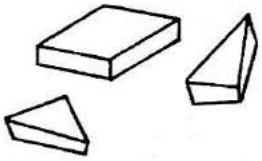
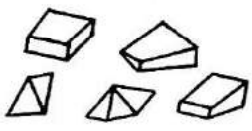
MOYENS

- . le forage . manuel
  . mécanique
- . les explosifs
- . les outils de carrière

PROCEDES

- . *de débitage*
  - + aux coins de carrier
    - . simple
    - . éclateur
  - + à la barre de carrier
  - + à la poudre noire/explosif
  - + sciage manuel
- . *de découpage*
  - . par charges découplées
  - . thermique - au chalumeau

TABLEAU DE DEFINITION DES PRODUITS T15

		CARACTERISTIQUES		DESTINATION
		volume	poids	
A bloc marchand		> 1 m³	> 3000 kg	
B		> 0,300 m³	> 1000 g	à débiter pour équarissage
C quartier		0,020 à 0,100 m³	60 à 300 kg	pour tranchage
D bloquin moellon		0,005 à 0,030 m³	15 à 60 kg	moellons - élevation - soubassements pour l'habitat
E dalles			< 15 kg	pour revêtements
F caillasse			< 5 kg	remblayage blocage
G Granulats				ballast 50/100 mm gravier 5/50 gravillon 5/15 sable 0/5

+au fil d'acier hélicoïdal
. au jet d'eau - haute pression
. haveuse - rouilleuse.

Toutes ces méthodes sont utilisées pour le débitage primaire ; certaines (+) le sont également pour le débitage secondaire.

LES MOYENS FORAGE - EXPLOSIFS - OUTILS DE CARRIERE

Dans tout ce qui va suivre, l'homme va devoir extraire de la masse, découper et transformer une matière dure en matériau utilisable pour son habitat et son environnement ; il lui faudra donc user de tout son esprit de créativité pour résoudre ce problème journalier.

L'opération la plus difficile va être de créer au sein de la masse la première cassure dans laquelle il pourra ensuite enfoncer un coin, une barre pour dégager par des mouvements répétés l'élément voulu.
Les ancêtres pratiquaient "l'étonnement" consistant à créer un choc thermique en jetant de l'eau sur un massif sur lequel ils faisaient brûler du bois.
La découverte au XIV°siècle de la poudre noire par un moine européen allait faire grandement avancer la technique puisque cette poudre détonante déposée dans une cassure, allait produire le même effet que le choc thermique mais beaucoup plus amplifié : l'idée de la déposer dans un trou préalablement creusé faisait naître le forage, dont la méthode n'évoluera pas jusqu'à la fin du XIXème siècle.
Ce n'est qu'à l'apparition de l'air comprimé que les techniques d'abattage à l'explosif prirent naissance pour se développer jusqu'à ce jour ; parallèlement à celles de forage, celle des explosifs prirent aussi une grande extension par la découverte de la dynamite (Nobel 1863). Ces deux volets vont actuellement de pair autant dans les engins que dans les produits.
Dans le domaine de l'extraction des matériaux qui nous concerne, l'objectif recherché va être de séparer de la masse - le bloc en évitant les cassures tout en les produisant à une dimension la plus proche de celle de l'utilisation pour éviter les reprises et les déchets.
Pour son abattage à l'explosif, l'ouvrier carrier va disposer de trois moyens :
- le trou de mine ou forage
- l'explosif
- les outils de carrière.

Le trou de mine (manuel - mécanique) principe - cf. planche 19

La méthode manuelle la plus archaïque consiste à frapper avec une masse sur un burin vertical - barre à mine - de longueur variable, que l'on fait tourner légèrement entre chaque coup, de façon à créer une nouvelle encoche et désagréger ainsi le fond du trou.
Les déchets vont être enlevés avec un chiffon mouillé attaché à un morceau de bois cylindrique. Cette double action, frappe et rotation va être reprise dans les "perforatrices " mécaniques (marteaux-perforateurs) pour les distinguer des "marteaux-piqueurs" n'ayant que l'action de la frappe ; les premiers font des trous cylindriques, les seconds

enlèvent de la matière par des chocs répétés.
Le forage manuel demande :

1 masse - 1 barre à mine - 2 hommes

Le forage mécanique :

1 compresseur - des fleurets - 1 homme

Dans un même matériau le rendement peut être de 1m/jour pour 30 m/jour. L'investissement est nettement différent.

L'explosif - poudre noire

Rappelons que ce procédé consiste sous l'effet d'une amorce-détonateur à transformer l'explosif en un gaz très haute pression qui va créer une onde de détonation ; cette dernière atteignant la roche va donner naissance à une onde de choc dont les effets vont faire éclater le matériau.
La poudre noire, premier explosif qui ait existé, est composée de 2 combustibles - le charbon pilé (12 à 32 %)
le soufre (16 à 30 %)
et un oxydant - le salpêtre No3K (40 à 72 %)
C'est ce dernier composant qui apporte le pouvoir détonant (fort 72 %, lent 40 %).
Elle est utilisée par les carriers pour produire des effets non brisants et éviter ainsi des craquelures dans la roche. La grosseur des grains apporte aussi une incidence sur le pouvoir de cet explosif. L'amorçage se fait soit par mèche lente soit par un détonateur électrique, soit par un choc détonant (détonateur ordinaire).

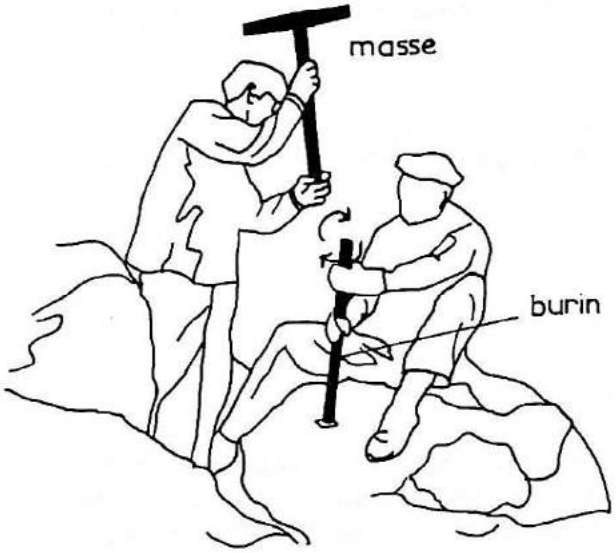
L'ouvrier dépose au fond du trou la quantité jugée utile, place en contact l'accessoire qui va provoquer l'amorçage et bourre le trou avec de l'argile, du papier ou du sable.

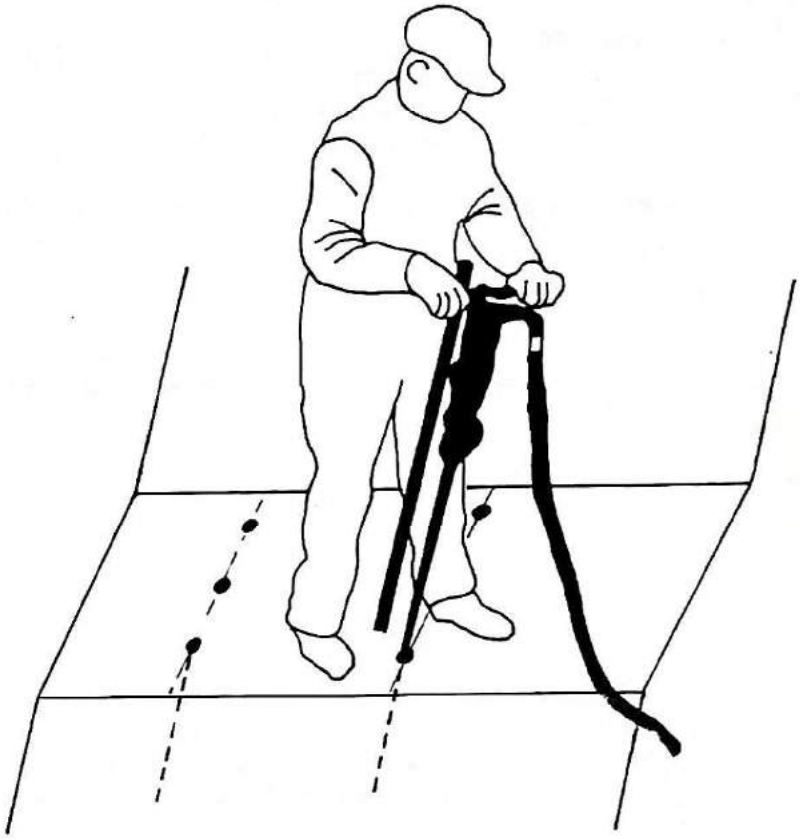
Précisons pour clore ce paragraphe sur les explosifs que les méthodes actuellement employées et décrites ci-après utilisent des produits spéciaux à conditionnement particulier.

LES OUTILS DE CARRIERE

Manuel	Mécanique
Forage - barre à mine - masse - pince - forge - maillet	- compresseur - marteau-perforateur - marteau-piqueur - flexibles raccords - fleurets - forge - outillage d'entretien
Manutention - cric de forestier - levier - cales - madriers - pinces	

FORAGE A LA MAIN





MARTEAU PERFORATEUR

MARTEAU PIQUEUR

planche 19 - croquis d'après doc. atlas

Manuel | Mécanique

Sautage :
- explosifs
- détonateurs
- mèche lente

débitage
- burins
- maillets
- aiguilles

Ceci représente un minimum de matériel à avoir pour démarrer un chantier.

PROCEDES DE DEBITAGE

- aux coins de carrier
- à la barre de carrière
- à l'éclateur à aiguille
- à la poudre noire.

Le principe consiste à créer une cassure de la roche par écartement de deux parois - d'une fissure existante ou d'une rainure artificielle - en enfonçant un corps qui peut être conique (coins) ou cylindrique (pointe-rolle). Voir croquis planche 20 ci-après.

Les coins peuvent être en bois ou en fer. Dans l'antiquité les carriers utilisaient la propriété gonflante du bois en arrosant les coins préalablement enfoncés dans une rainure ou une cassure.

- Illustration cliché 4 exploitation de *colonnes monolithes* : on voit dans la carrière tous les fûts arrondis selon une partie seulement de leur circonférence, et dans toute la longueur de la colonne (mode employé pour les détacher de la montagne).

  Principe : tailler les colonnes tout autour, avec des outils minces, pour les détacher ensuite avec des gros coins.

  Pocoke disait à ce propos :

  "Après avoir marqué la longueur de la colonne par de profondes entailles à ses deux extrémités, on pratiquait dans la partie supérieure et dans toute l'étendue du fût, soit une rainure, soit simplement des entailles à placer les coins. Le bloc, en se détachant de la montagne par l'effort des coins, prenait de lui-même une surface convexe du côté par lequel il adhérait à la roche ; car on conçoit bien que la rupture ne pouvait se prolonger verticalement. Elle tendait à se rapprocher le plus promptement possible de la paroi antérieure, la seule qui fût libre ; ce qui, se faisant suivant une ligne courbe, offrait une surface concave dans la montagne, et convexe dans le bloc détaché".

Les Grecs et les Romains utilisèrent souvent ce procédé pour une grande quantité de colonnes.

Au XVIIème siècle des colonnes de marbre furent extraites de ce massif "à la pointerolle" pour construire et décorer le petit TRIANON à Versailles (1687).

Cliché 4

Carrière rouge Languedoc de Caunes Minervois

DEBITAGE AU COIN DE CARRIER

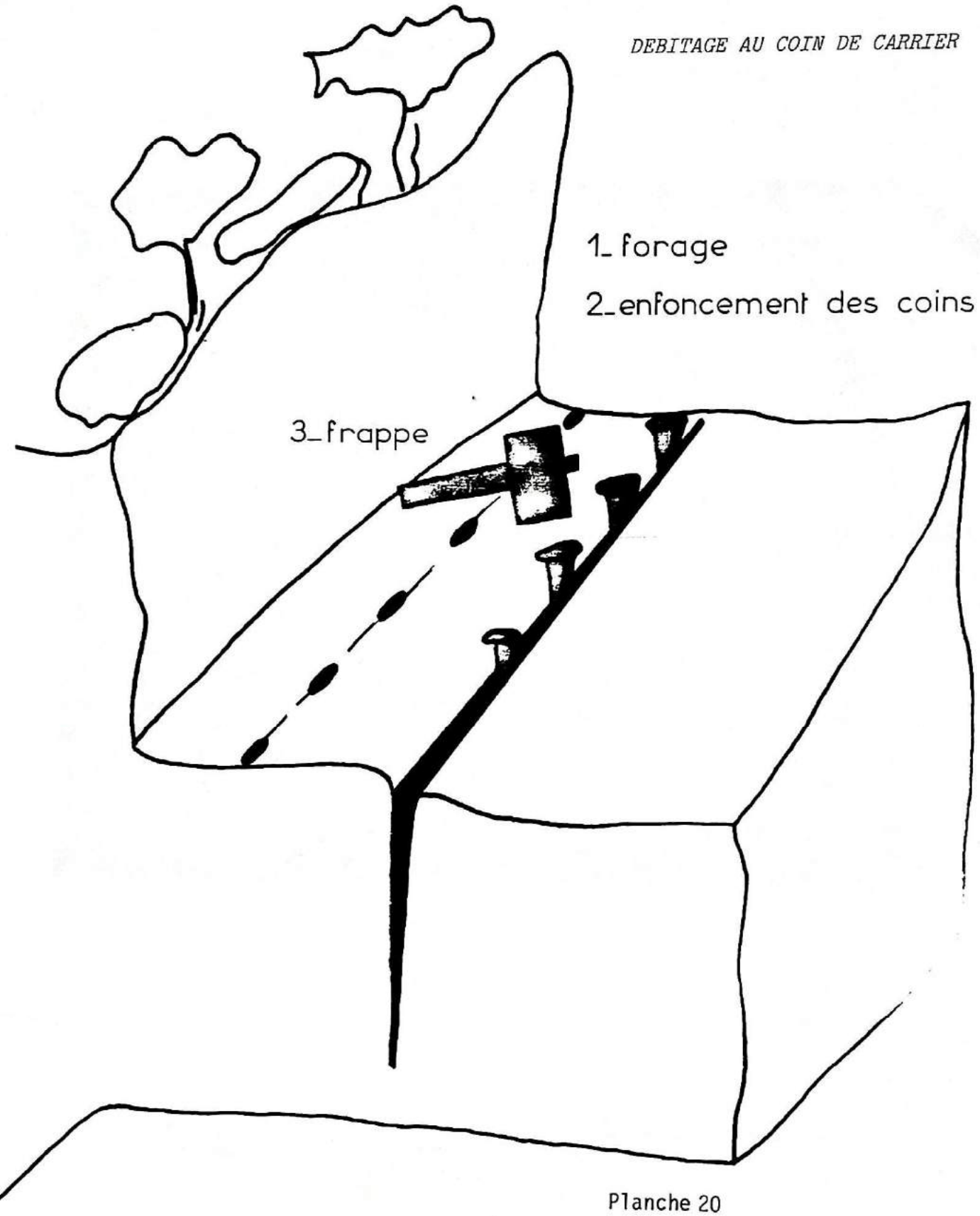


Planche 20

DEBITAGE AUX COINS DE CARRIER

Calcaire *Coins à enfoncer* Cliché 5

Traces de coins après débitage

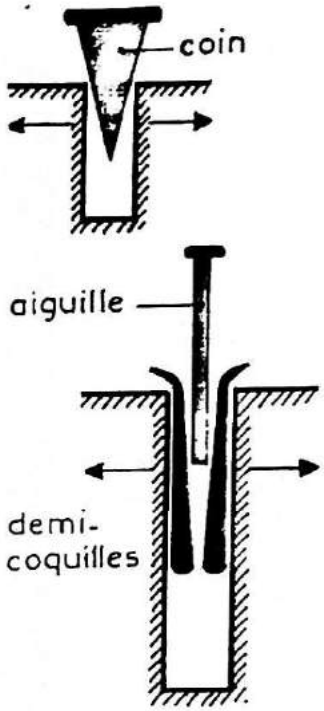
Granite *Trous forés pour la coupe horizontale* Cliché 6

Le principe des "*coins*" peut être utilisé de deux manières différentes selon que l'on fera pénétrer :

- une forme conique dans un espace à bords parallèles

- une forme à bords parallèles (aiguille) dans un espace créé artificiellement conique par l'apport de deux demi-coquilles.

  C'est le principe de *"l'éclateur à aiguille"*. Il pourra être à effet manuel en tapant sur l'aiguille avec une masse - ou effet mécanique par l'air comprimé.



croquis 21

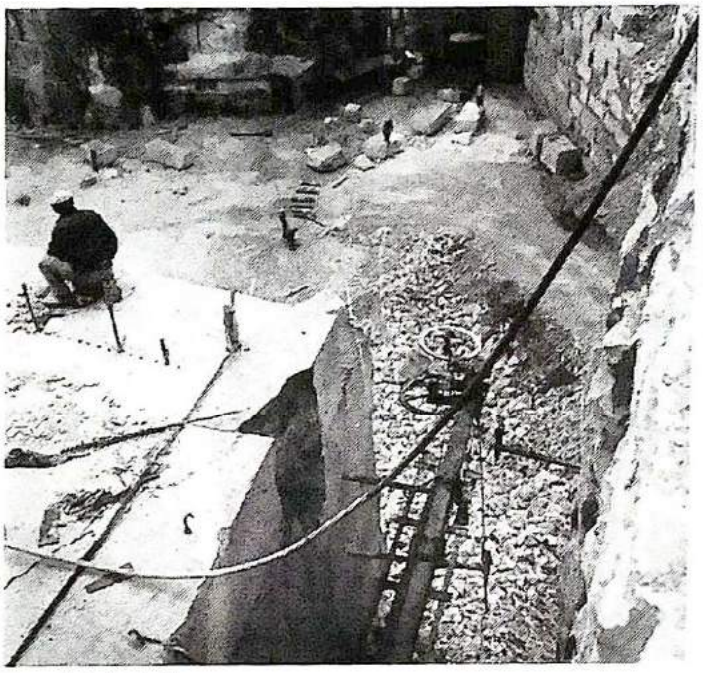
Dans le premier cas (outil conique) les coins sont placés dans une rainure (quelques centimètres) ou des trous préalablement forés à une distance de 10 à 15cm (cf. cliché 5); en tapant successivement sur chacun d'eux avec une grosse masse (5 à 8 kg) l'ouvrier va provoquer la cassure - remarquez les traces de coin qui apparaissent sur le cliché 6.

Dans des matériaux particulièrement homogènes et bien diaclasés (en grand) cette cassure peut atteindre 10 à 15 m de long sur 2 à 3 m de hauteur (cf. cliché 53 - Uruguay); la cassure est moins nette et moins favorable au débitage secondaire.

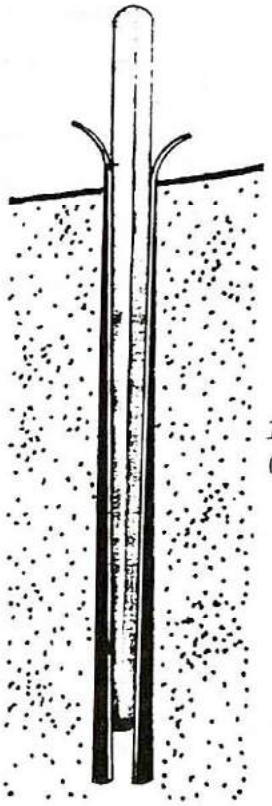
Dans le deuxième cas (aiguille) les trous sont plus espacés (40 à 50 cm) plus profonds (40 à 50 cm) de manière à recevoir les deux éléments d'acier sous la force d'enfoncement, les poussées latérales agiront non plus en surface comme dans les coins, mais dans la profondeur de la roche, sans risque de désagréger les lèvres du trou, toujours fragiles, compte tenu de la croûte d'altération.

Dans la pratique les carriers utilisent les deux procédés, celui de l'éclateur pour amorcer la cassure et les coins pour la prolonger (cf. cliché 7-8).

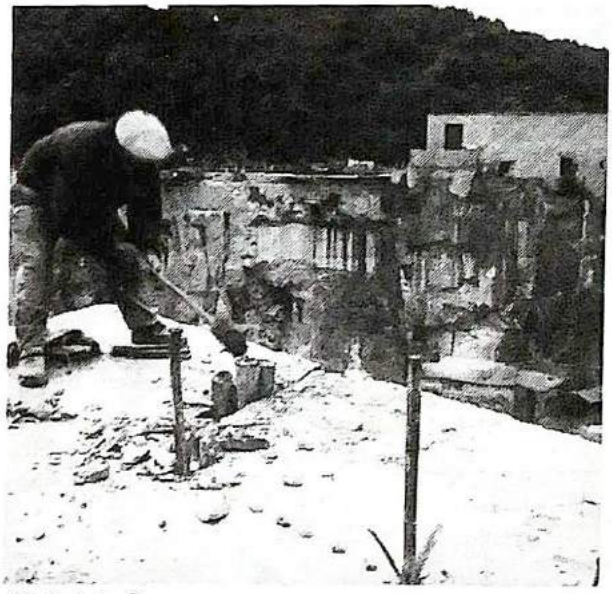
DEBITAGE A L'ECLATEUR A AIGUILLE



cliché 7



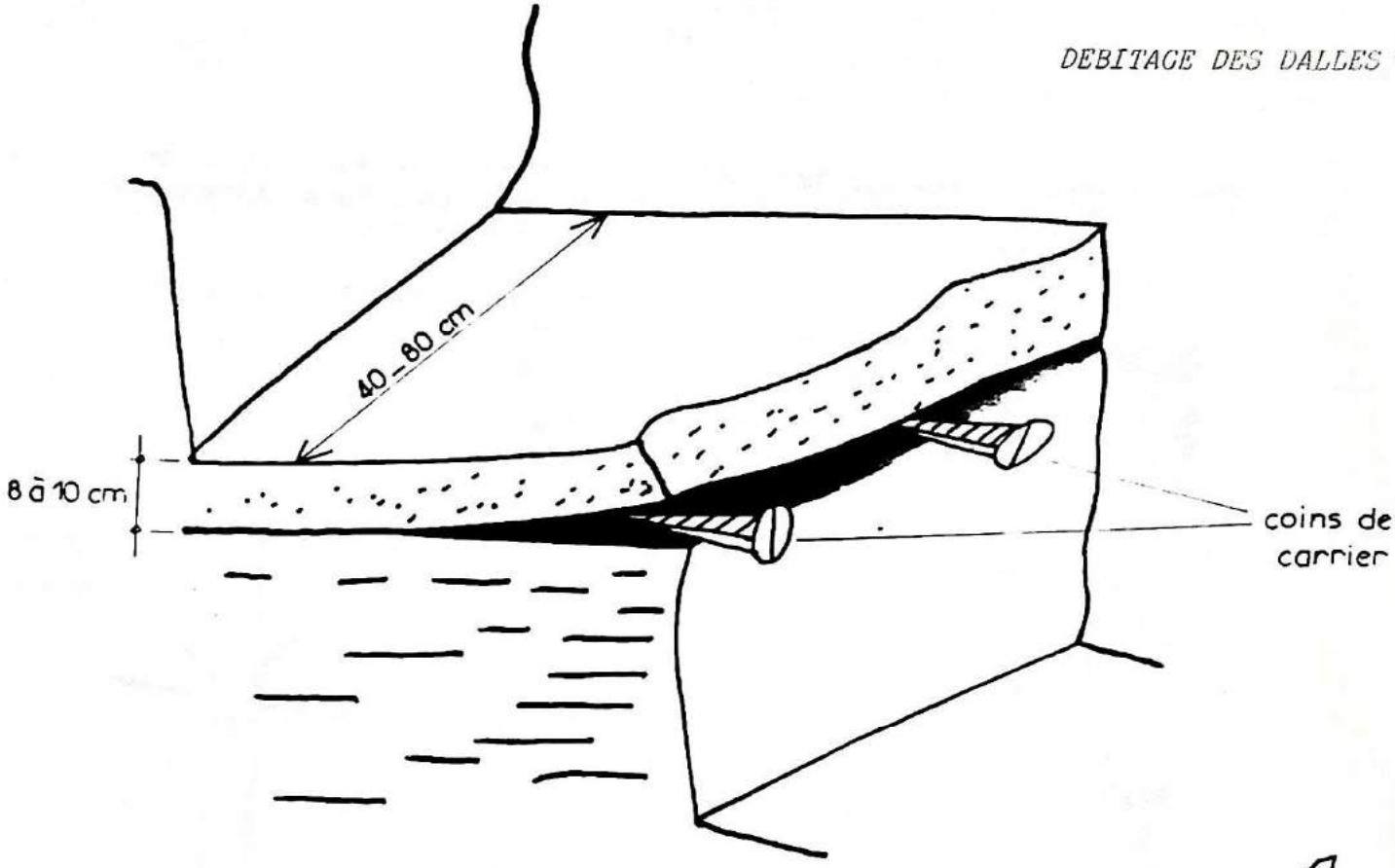
Croquis d'après doc. Atlas.



Cliché 8

Méthode mixte des coins et de l'éclateur

DEBITAGE DES DALLES



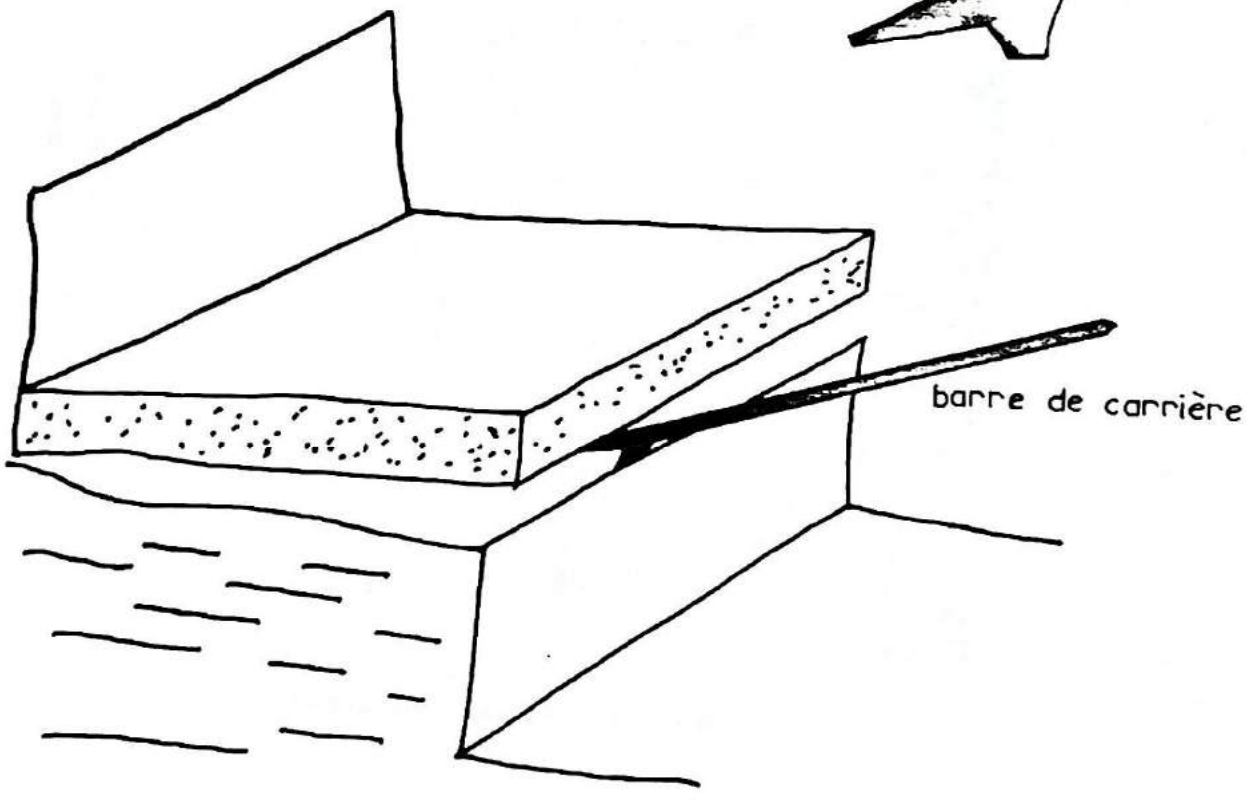


Planche 22

DEBITAGE DE DALLES EXTRAITES

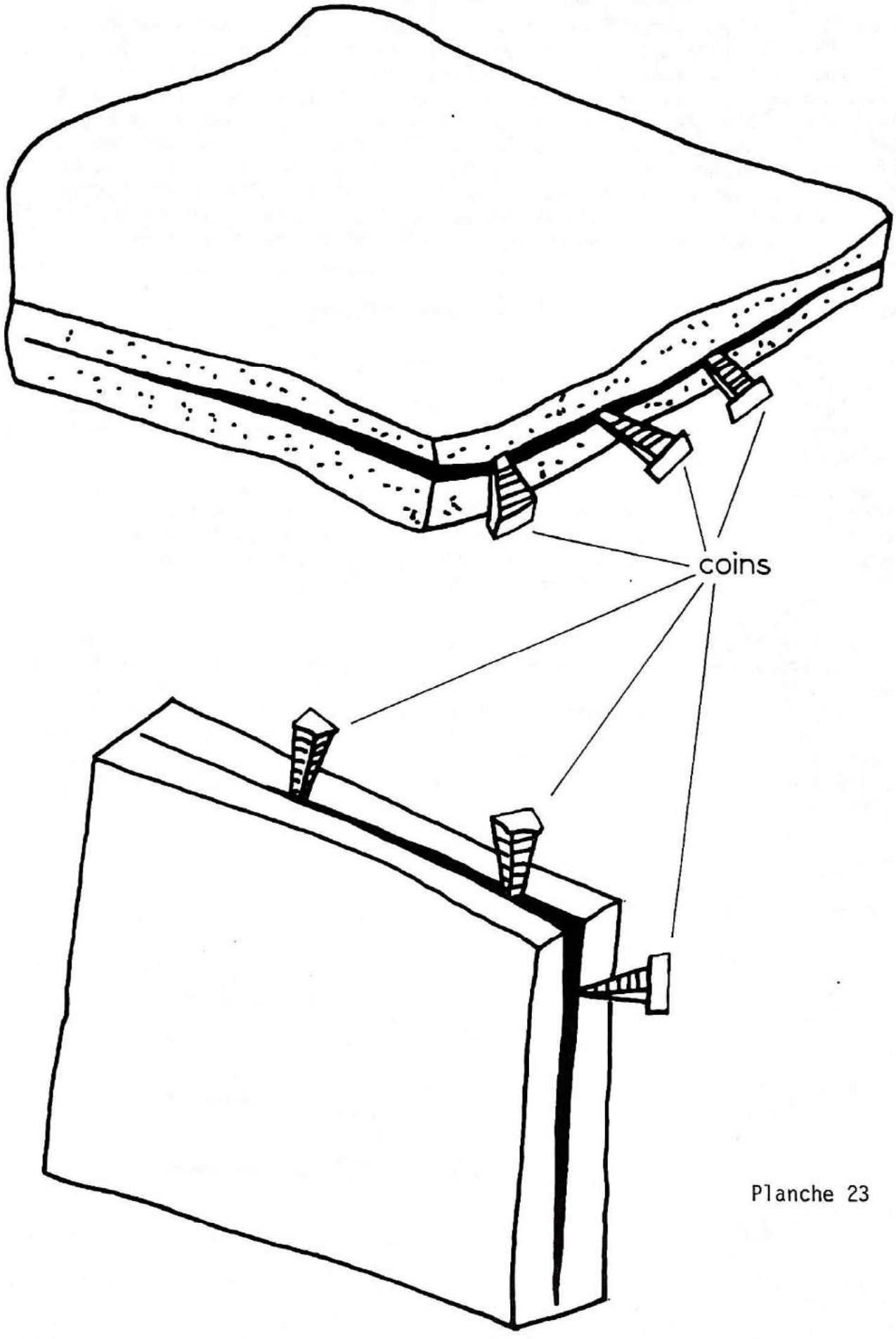


Planche 23

Le débitage des dalles

Dans le cas d'une stratification de la formation relativement serrée (5 - 10 - 15 cm) telle qu'elle peut se présenter dans les grès, les schistes, les calcaires et même le granite, on pourra détacher les blocs de la masse par le procédé de "*la barre de carrière*" et des coins. Pour cela, après avoir décapé la partie à exploiter, l'ouvrier va engager un coin dans une cassure de la stratification, à hauteur désirée. Cf. croquis planche 22; sous l'effet des coins la cassure va s'agrandir dans le sens de la strate, et par l'intervention d'une barre (genre "pied de biche") il dégagera la dalle. La réduction de dalles trop épaisses se fera dans le mêmestyle, mais seulement avec les coins - planche 23.

Méthode de la "poudre noire" - voir page ci-contre.

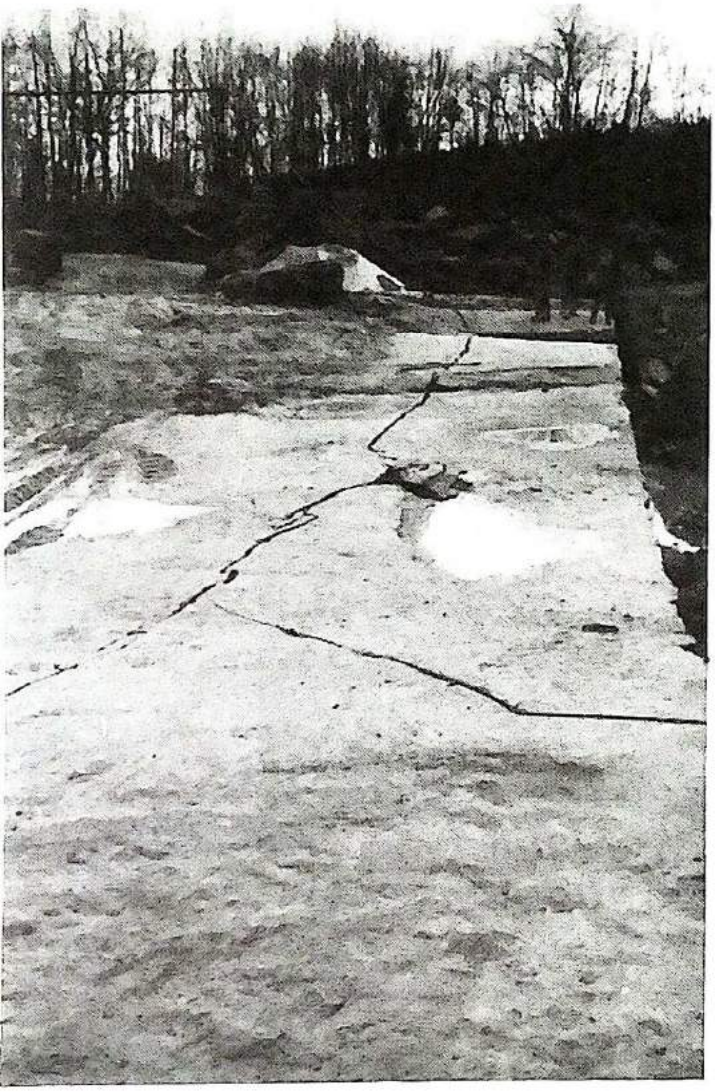
Dans cette méthode l'effet d'éclatement désiré est obtenu par la déflagration d'un explosif doux, poudre noire, que l'on va disposer dans un ou plusieurs trous de 33 à 41 mm de diamètre, et dont la profondeur et l'écartement varieront suivant l'importance de la masse et l'homogénéité de la roche.

Pour assurer la parfaite réussite de ce procédé l'onde explosive doit être dirigée dans un plan vertical déterminé orienté selon les plans de faiblesse de la roche (la feuille). A cet effet l'ouvrier mineur pratiquera dans le trou déjà foré, avec un burin spécial dit burin rayeur, une rainure passant par ce plan - il fera une "mine rayée".

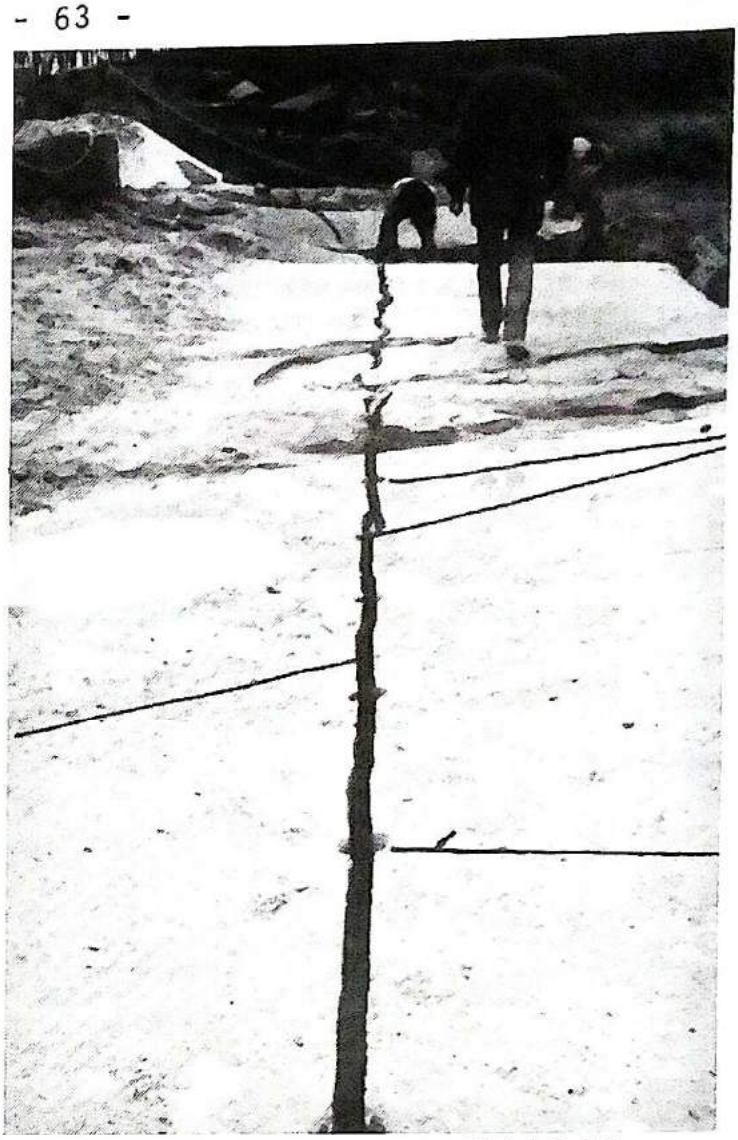
Dans une boule de granit de 2 à 3 m de diamètre, il suffira d'un seul trou (cf. cliché 11) ; dans une masse de calcaire ou de grès il faudra disposer les trous à 1,20 m, 1,50 m et leur profondeur sera légèrement supérieure à celle du banc en cours d'exploitation. L'amorçage se fera par la méthode classique du détonateur individuel avec mèche lente, ou du cordeau du détonateur quand il y aura plusieurs trous. L'écartement des trous, leur profondeur, la charge, varient d'un matériau à l'autre et même quelquefois en fonction de "l'art du carrier" connaissant parfaitement son caillou.

DEBITAGE A LA POUDRE NOIRE

Cassure après le tir



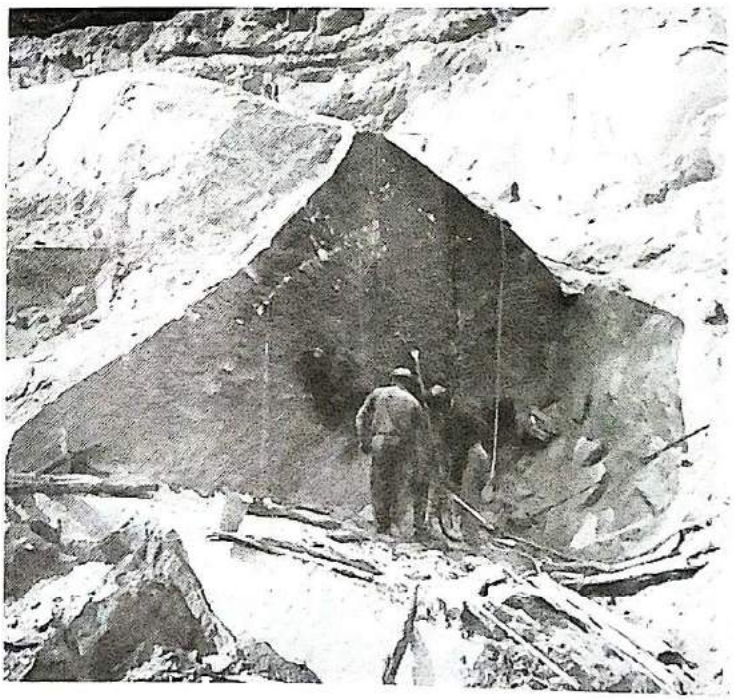
Cliché 9



Trous de mine

Cliché 10

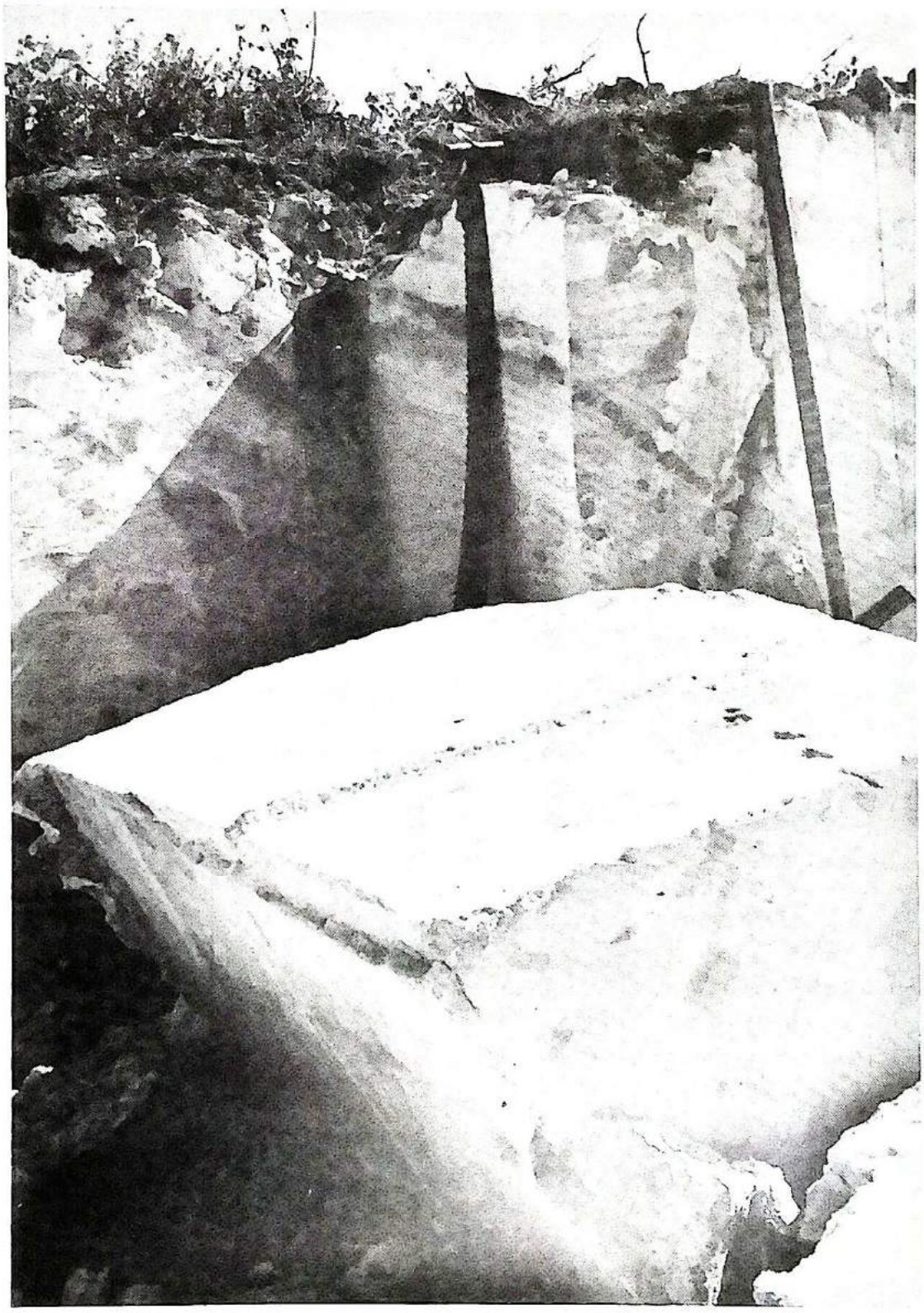
dans une boule de granit un seul point d'impact



Cliché 11

Technique de sciage manuel

Ce procédé est tout simplement l'application de la scie classique, lorsque en détachant le bloc on veut déjà à peu près lui donner la forme qu'il doit avoir. On utilise une sorte de scie non dentée pour les pierres dures ; le travail est donc exécuté à bras d'homme et de plus on maintient dans la fente de sciage un abrasif (sable) destiné à user la roche. On se sert d'une scie dentée pour les pierres molles. Rarement utilisé dans la masse, le procédé de sciage manuel est parfois appliqué pour les pierres tendres, comme le montre la photo ci-dessous. La scie fait 4,50 m de long environ et 4 mm d'épaisseur. Elle est maniée par deux hommes.



Cliché 12- Keith J. Eaten

PROCEDES DE DECOUPAGE :

- par charges découplées
- thermiques
- au fil d'acier hélicoïdal
- au jet d'eau haute pression
- mécanique/havage-rouillage.

A la différence des procédés de débitage simple que nous venons de voir, et dans une certaine mesure à la portée des techniques artisanales d'exploitation, les procédés de découpage qui vont suivre relèvent de techniques plus sophistiquées (ou même encore au stade expérimental) et nécessitent donc des investissements plus coûteux. Selon le cas, ils seront cependant utilisables pour un meilleur rendement et une productivité plus importante; dans le contexte des Pays en Voie de Développement, chaque type d'exploitation mise en oeuvre devra être jugée en conséquence.

Découpage par charges découplées.

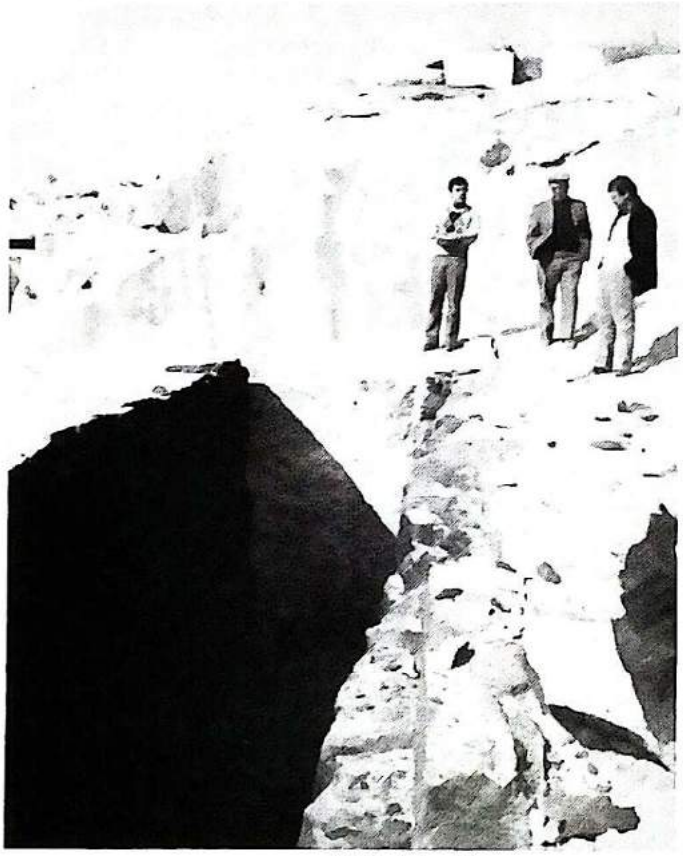
Dans le cadre de cette technique d'emploi des explosifs, nous citerons pour mémoire celle dite par "charges découplées" mise en oeuvre pour des exploitations industrielles importantes.

Il s'agit d'une technique lancée et mise au point par les Scandinaves, sur le granit et étendue en France à tous les matériaux ardoises, calcaires, marbres (Smooth Wall Blasting).

Elle consiste par une répartition judicieuse et un centrage minutieux de la charge explosive à provoquer une onde de choc qui va non seulement provoquer les cassures détachant le bloc de la masse mais aussi le déplacer de 40 à 50 cm pour permettre une reprise par des moyens décrits ci-devant (fil d'acier - coins - poudre noire).

Les clichés 15 et 16 montrent la ligne de tir de base (levée) et la trace des lignes de tir verticales, noircies régulièrement par la poudre qui est un explosif spécial (roche 15).

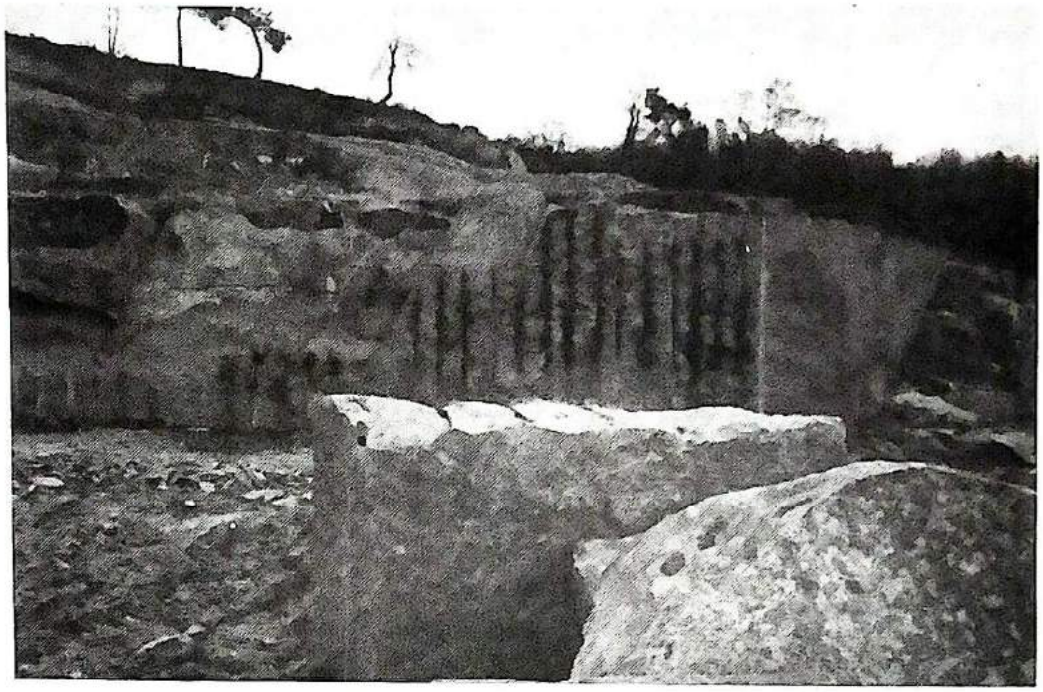
DEBITAGE PAR CHARGES DECOUPLEES (granite)



Cliché 13

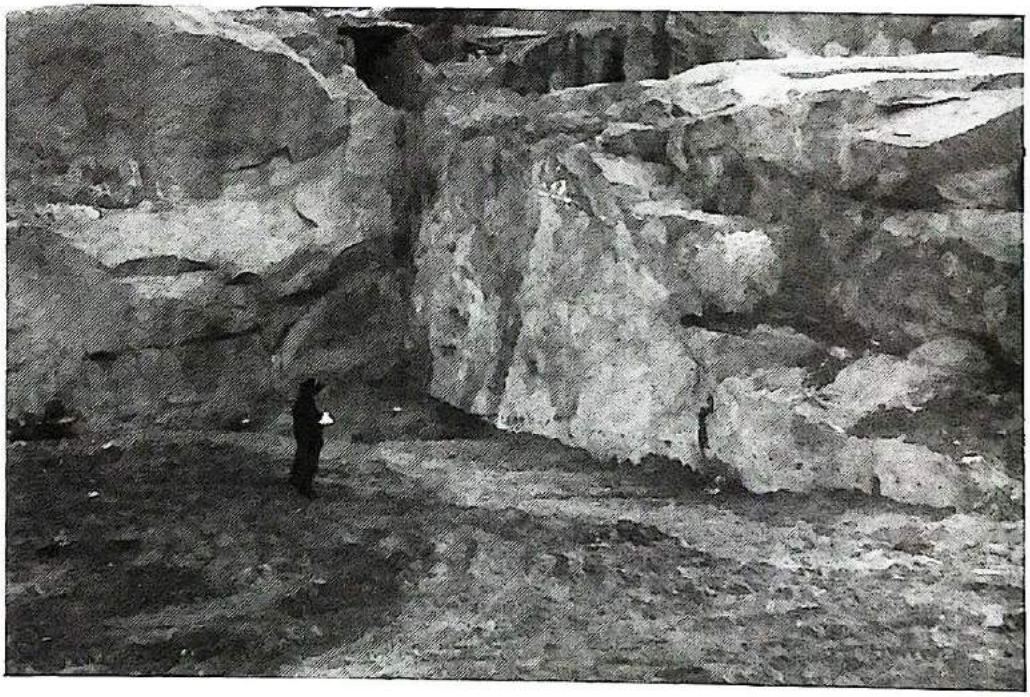
Cliché 14

Après le tir, déplacement de la masse (4 à 5000 tonnes) de 1,20 m.



Cliché 15 *Traces verticales*

trous pour tirs horizontaux

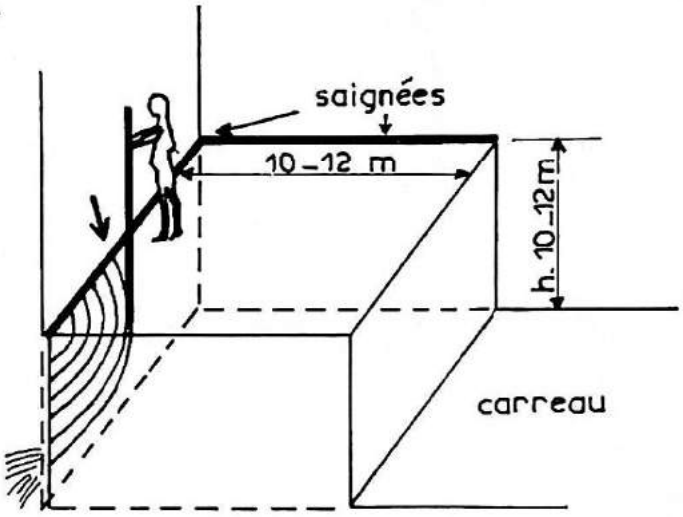


Cliché 16

Extraction par découpage thermique. (cf. clichés 17, 18, 19).

Cette méthode agit par la désagrégation des éléments constitutifs de la roche par une flamme à très haute température ; elle est limitée aux roches éruptives.
Dans le granite par exemple, sous l'effet d'un chalumeau à 2500° et à une vitesse de 1500 m/s les cristaux de quartz, feldspath, mica éclatent et provoquent une saignée de l'ordre de 10 cm de large (cliché 18).
Pratiquement, par l'intermédiaire d'une canne ayant à son extrémité une buse en acier spécial, on fait brûler un mélange de gaz-oil et d'air comprimé. L'ouvrier installé sur le plateau supérieur manipule son chalumeau dans la saignée et pratique la fente à l'endroit et à la profondeur désirée (cliché 17).

Cette méthode qui est peu rapide, coûteuse par le gaz-oil qu'elle consomme, est utilisée pour préparer un massif, en créant deux ou trois faces libres.

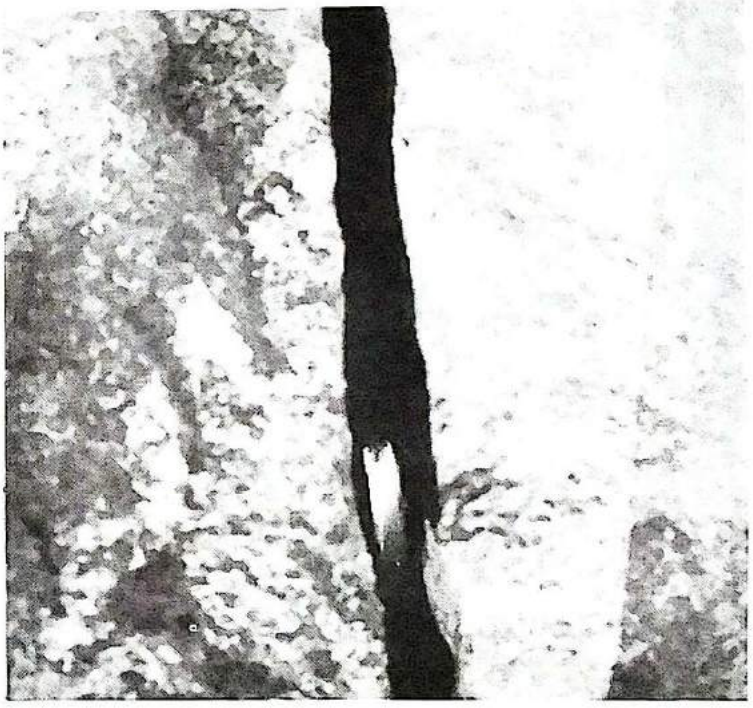


Découpage au fil d'acier Croquis 24

(Cf. planches 25 et 33, clichés 20, 21, 57, 58)

Le principe de cette méthode est l'utilisation d'un abrasif (sable ou granulé spécial) entraîné par un fil d'acier mobile, à section hélicoïdale, pour provoquer un trait de coupe. Ce fil animé par un tambour moteur (M) va se mouvoir dans les diverses parties désirées, par l'intermédiaire de poulies support (P) un dispositif de tension (C) assurera sa bonne circulation dans l'intérieur du massif (S) et à l'extérieur.
Le massif à découper aura été au préalable aménagé pour recevoir les montants-supports des poulies. L'avancement dans le massif est assuré par une vis hélicoïdale qui pousse les poulies principales d'entrée et de sortie du fil.
L'emploi de cette méthode, couramment utilisée en atelier sur tous les matériaux (granite-gabbro-calcaire, quartzite) est limitée au calcaire en carrière.
Son emploi pour l'équarrissage des blocs, le débitage en plaques épaisses se fait selon plusieurs formules mécaniques mono-bi-tri fil, à circuit long court, mi-court selon le produit final et le rendement désiré (cliché 22).

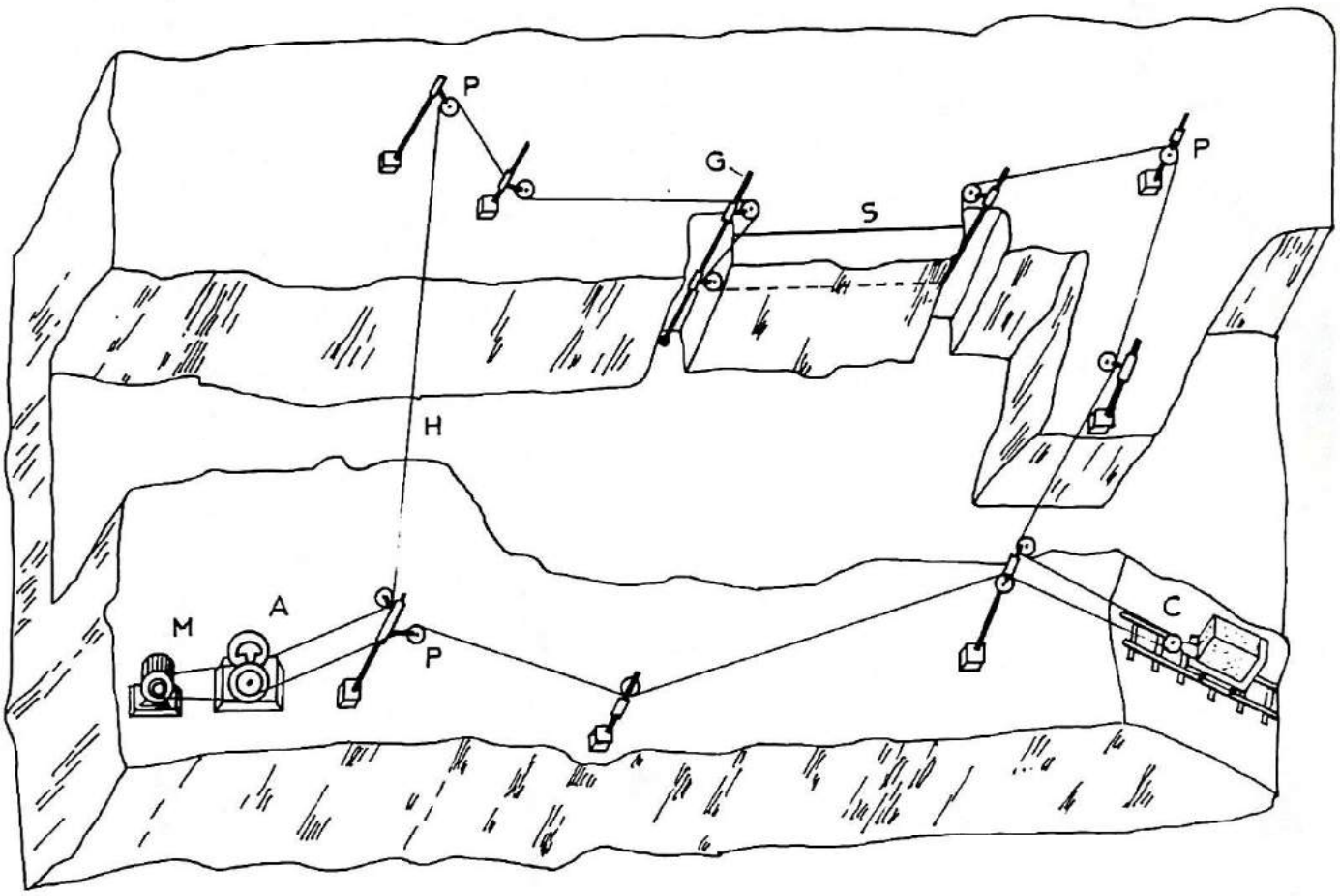
Canne du chalumeau Cliché 17



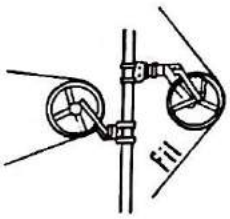
Flamme du chalumeau Cliché 18

Cliché 19

EXTRACTION - AU FIL D'ACIER HELICOIDAL



d'après croquis Institut géologique et minière - Madrid 1975



détail - poteau d'orientation et poulies

M - moteur
A - poulie motrice
P - poulies
H - fil hélicoïdal
S - longueur de coupe
C - tendeur sur chariot
G - guides

NOTA - des installations sont faites parfois de techniques combinées : fil en sciage horizontal et haveuse en sciage vertical.

Planche 25

DECOUPAGE AU FIL HELICOIDAL
(fil d'acier)

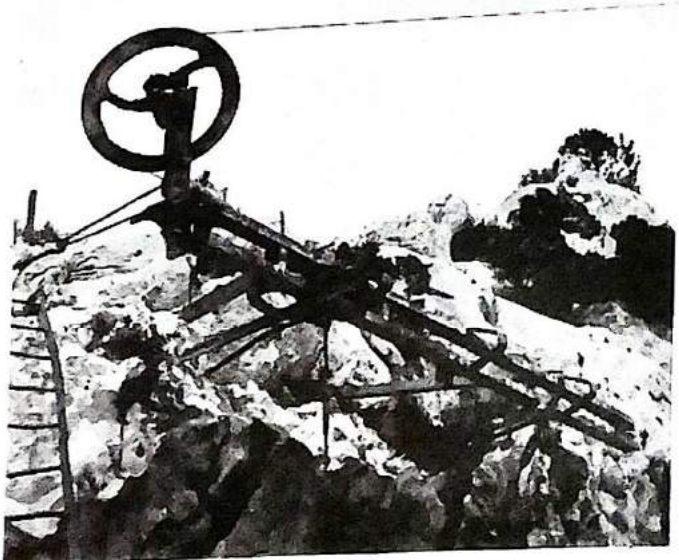
Exploitation sélective
des bancs de marbre
par qualité

Cliché 20

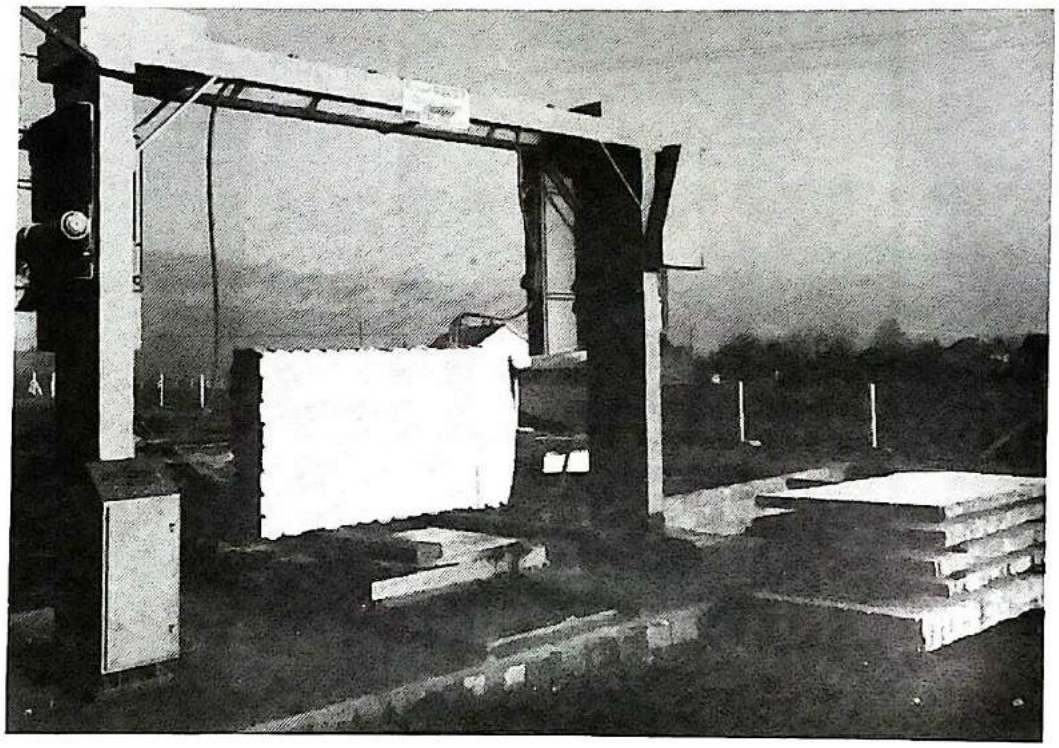
Faces
sciées

Cliché 21

La poulie de
renvoi du fil



L'utilisation d'abrasifs de plus en plus performants, du recyclage des eaux, de la récupération des eaux et de l'abrasif sont des paramètres importants dans l'élaboration du prix de revient.
La substitution de la poudre abrasive, entraînée par le fil, par des éléments abrasifs, tel que la poudre de diamant, fixés à un fil mobile marquent une évolution très nette de cette méthode qui reste onéreuse pour de petites productions.



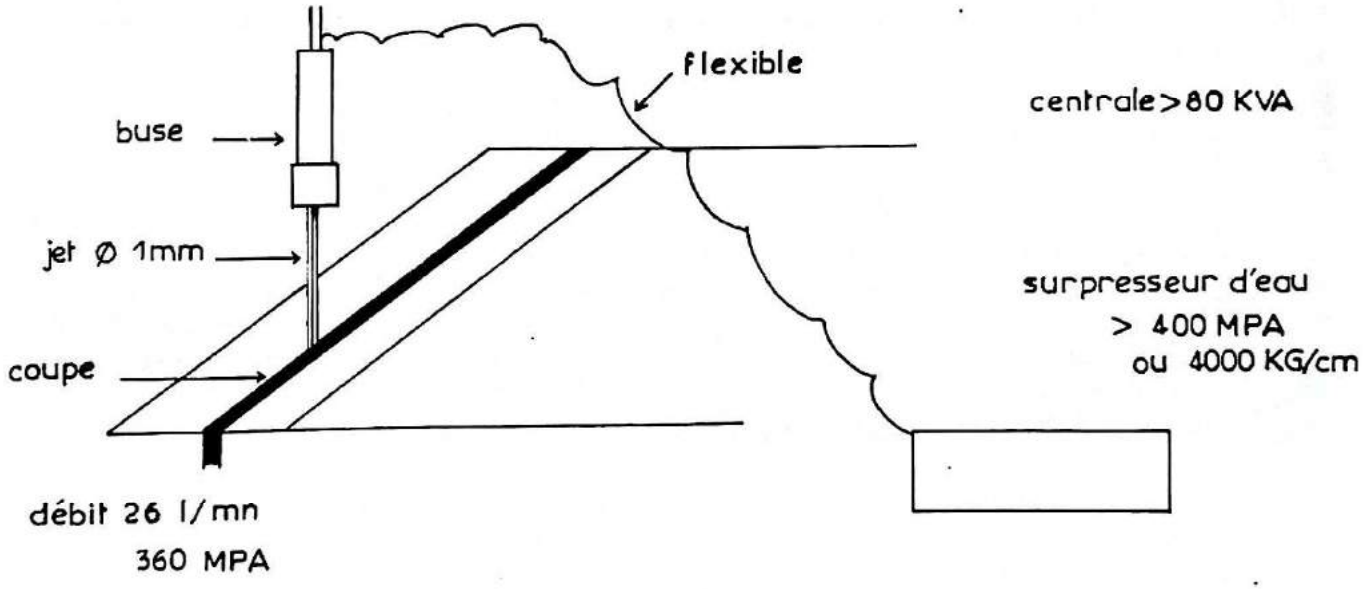
Machine à fil pour le découpage de tranches et l'équarrissage de blocs

Cliché 22 Fernand Ravet

Découpage à jet d'eau haute pression

L'effet de coupe et de destruction de la roche est produit par un jet d'eau à très haute pression (400 MPA), ce qui nécessite la mise en oeuvre de compresseurs puissants et de pompes-raccords luxueux de très haute résistance et donc très onéreux.
Par les contraintes techniques qu'elle présente, cette méthode actuellement expérimentale, qui a même passé avec succès le stade des essais en laboratoire n'a pas encore d'application industrielle.

Croquis 26 - Principe



Découpage mécanique havage - rouillage

Lorsque la roche à exploiter se situera dans la catégorie des pierres semi-dures et même dures telles qu'elles ont été définies précédemment, et que le volume à extraire le justifiera, on procèdera à l'extraction par découpage avec des outils mécaniques.

Cette méthode consiste à pratiquer selon un maillage déterminé par la dimension des blocs voulus, avec de puissants outils de coupe des saignées horizontales et verticales. L'appareillage est constitué par une machine-outil dont le bras de coupe est une chaîne équipée de dents en acier spéciaux qui va pénétrer dans la masse à la manière d'une lame de scie.

La mobilité de cet engin, son peu d'emcombrement lui permettent de se déplacer elle-même sur un faisceau de rails et de changer de sens de coupe à l'extrémité de la passe.

Les figures 1-2-3 planche 27 montrent l'évolution de ce découpage, dans un sens, et le changement de rotation de la chaîne après translation pour repartir dans l'autre sens.
Cette méthode qui permet d'obtenir de très bons rendements - carrière reste toutefois limitée à une certaine catégorie de produits. Cependant l'évolution du procédé et de la qualité des aciers est telle qu'il est permis d'espérer dans un avenir proche la voir appliquée à tous les matériaux.

Notons que l'installation de la machine exige une plateforme de bonne qualité, nécessitant une préparation coûteuse ; par ailleurs il n'est pas concevable de travailler avec une seule machine, ce qui demanderait un temps de coupe très important. Le rendement d'une machine varie de 25 à 50 m² par jour selon la dureté de la roche.

Exploitation de la méthode havage-rouillage

- Chronologie des différentes phases de la réalisation d'un plan de sciage (Doc. Fernand PERRIER) extrait CATED.

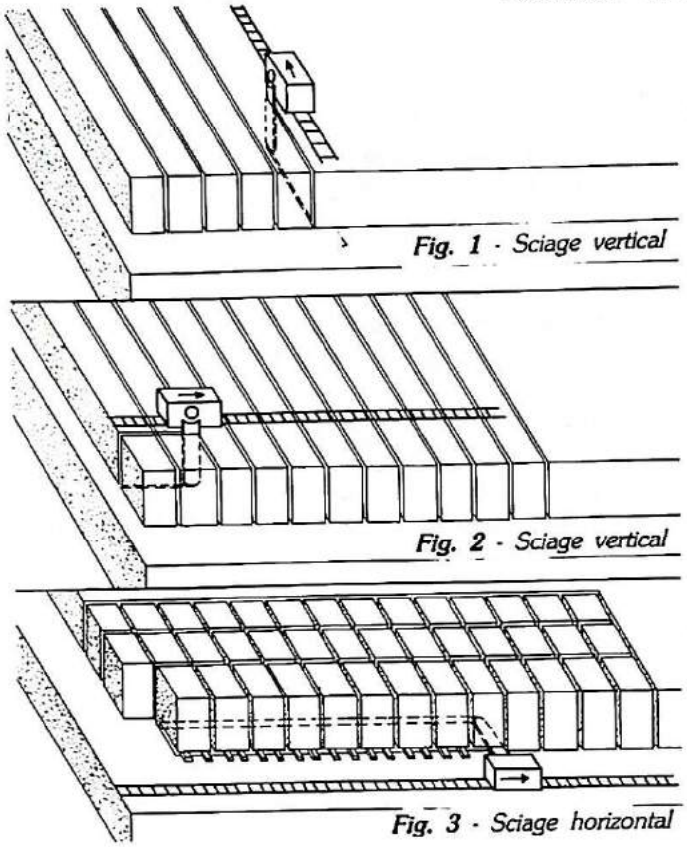
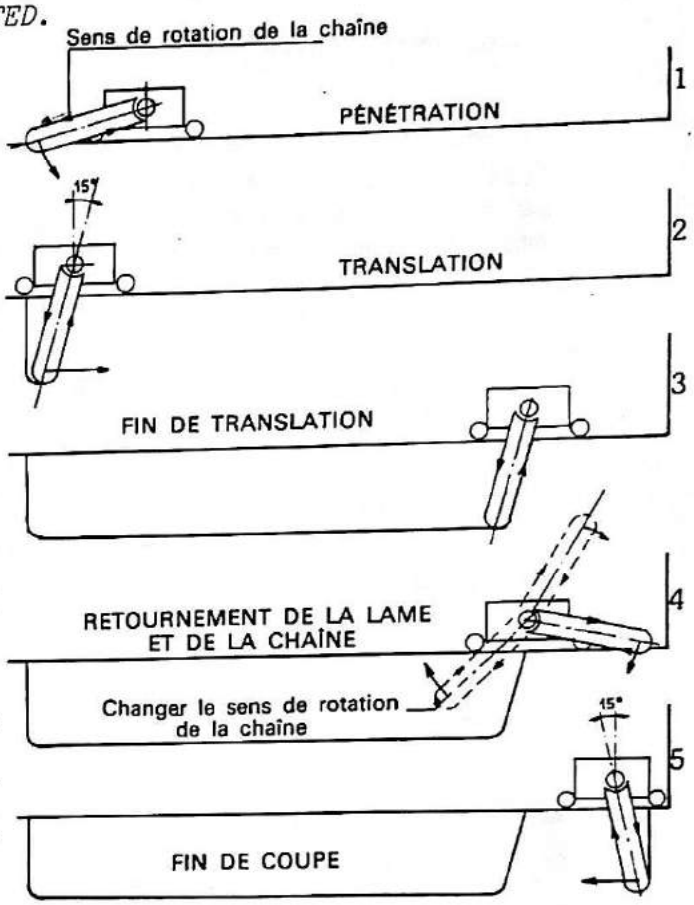
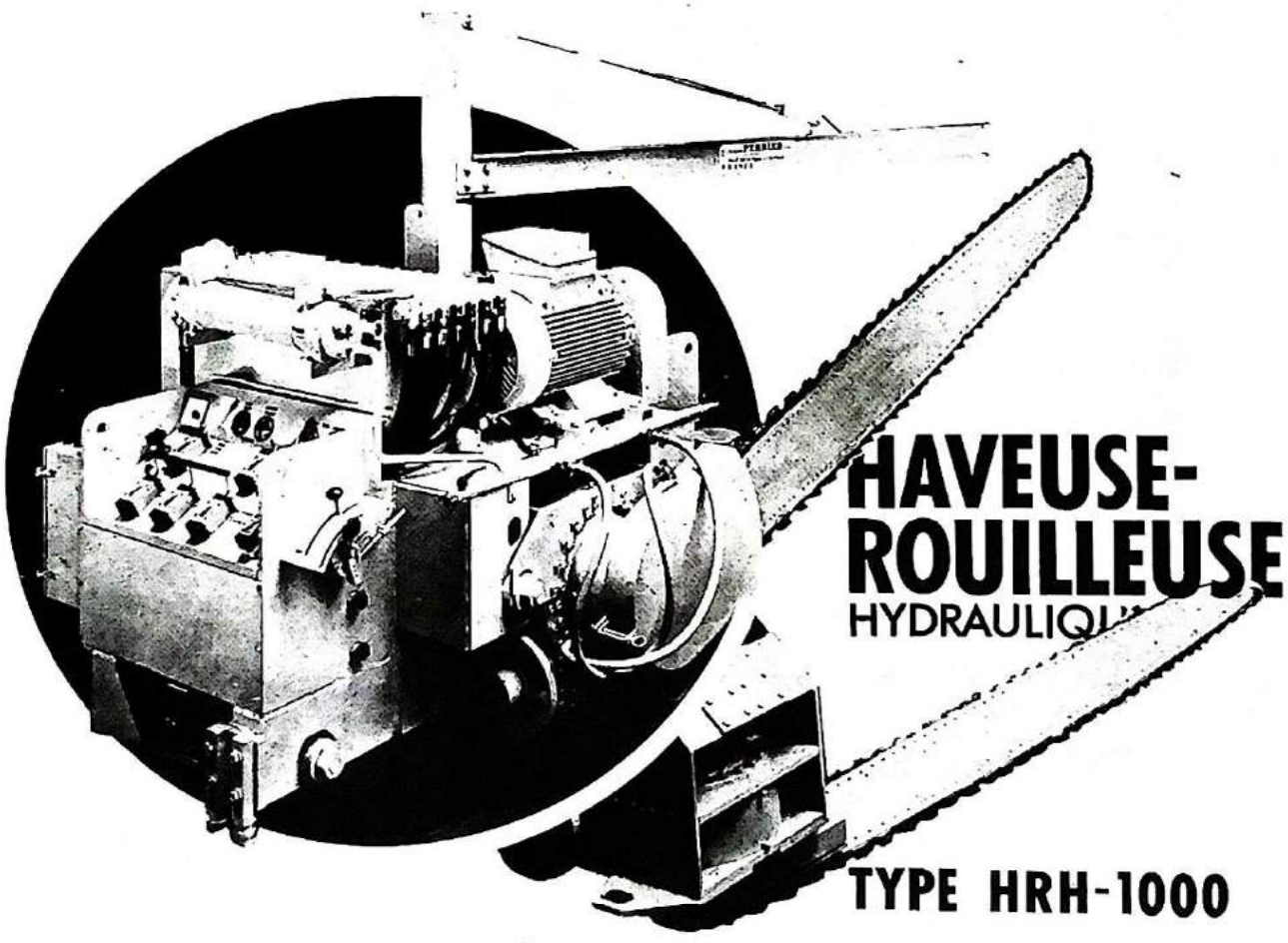


Fig. 1 - Sciage vertical

Fig. 2 - Sciage vertical

Fig. 3 - Sciage horizontal



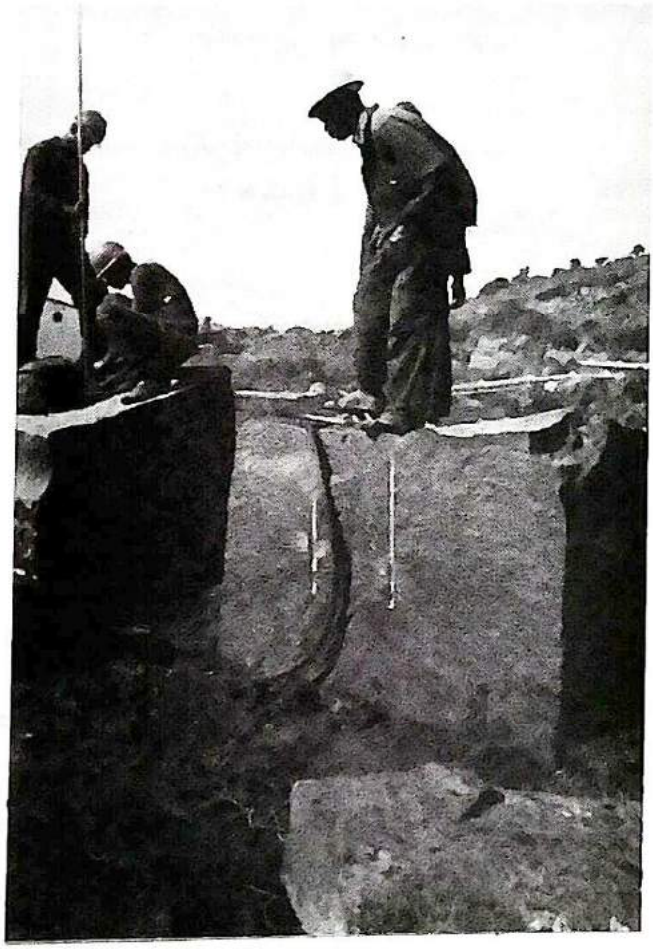


Appareils à scier les pierres, marbres, schistes. Planche 27

DEBITAGE SECONDAIRE

Ce débitage va se pratiquer sur des blocs déjà abattus de la C°B - cf. Tableau T15 - trop importants ou trop difformes pour être commercialisés. Le procédé sera l'un de ceux décrits ci-devant - coins de carrier, éclateur ou même poudre noire dans le cas du granit (cliché 23).

Le rainurage préalable se fera avec un marteau piqueur; dans le cas de la production de bordures de trottoir (cliché 24) l'ouvrier tracera la ligne de coupe désirée.
Après avoir foré les trous, il procédera à l'enfoncement successif des coins.
Dans le cas des moellons - clichés 26, 27, 28 - il agira d'abord au marteau piqueur, pour terminer au burin. Le marteau sera beaucoup plus léger que précédemment.



Découpage d'un bloc de granite à la poudre noire 1 trou de mine seulement pour un bloc de 3 m³

Trace du trou de mine

Cliché 23

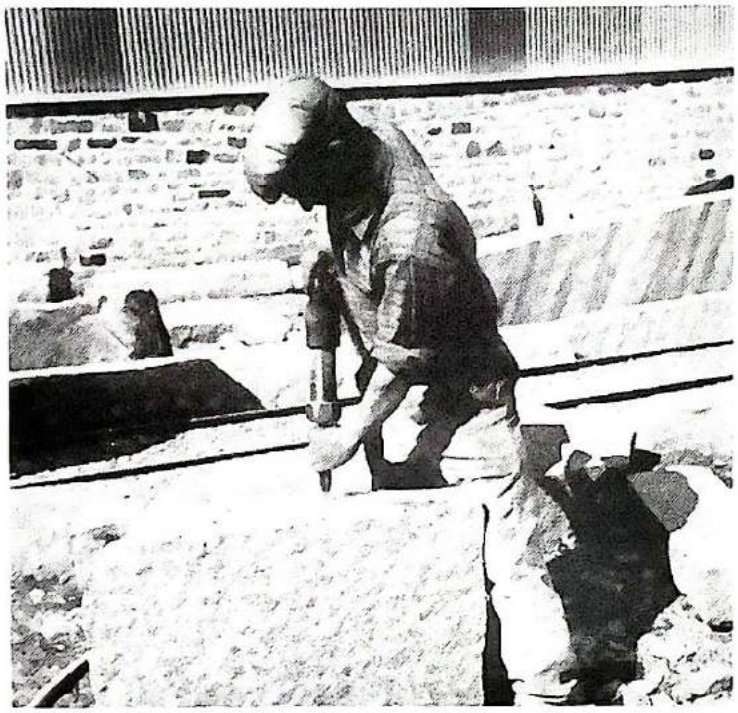
DEBITAGE SECONDAIRE DES BLOCS (GRANITE)

1) Marquage de la rainure au marteau piqueur Cliché 24

2) Elargissement pour loger les coins Cliché 25

3) Pose des coins et frappe

DEBITAGE SECONDAIRE DES MOELLONS



Cliché 26

2) Il l'approfondit

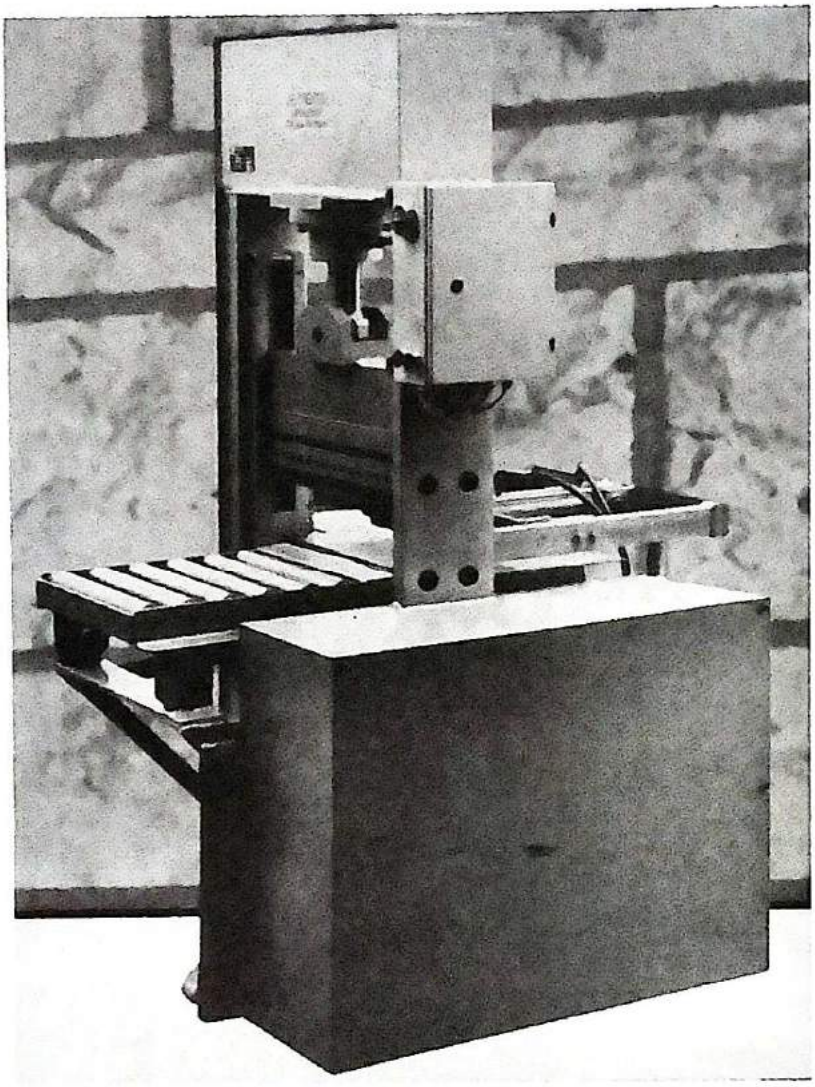
1) L'ouvrier "marque" la cassure au marteau piqueur

Cliché 27

3) Il la prolonge avec l'effet de burin

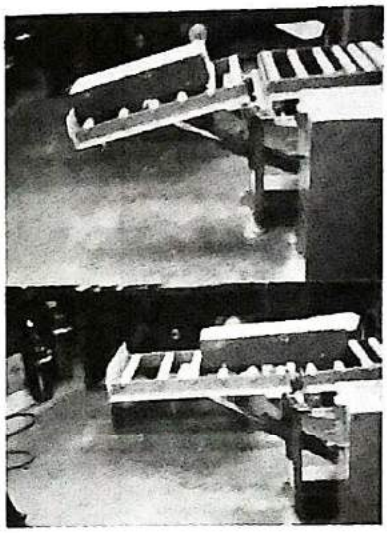
Cliché 28

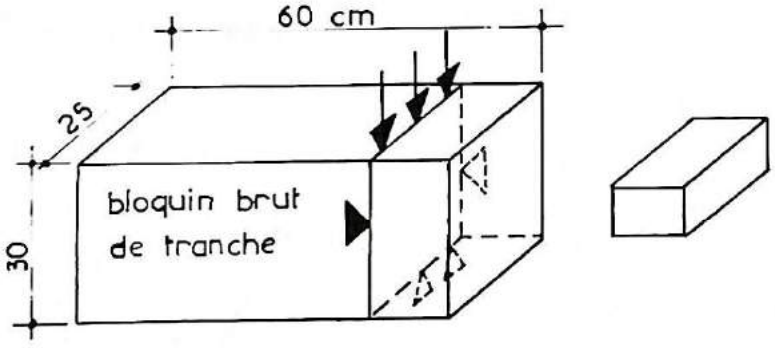
TRANCHAGE AUTOMATIQUE DES PAVES ET MOELLONS



Cliché 29. Doc. Treutle

Capacité de travail 40-50 m² par jour sur bloquins 20 x 30 x 60





PRINCIPE DES COUTEAUX SOUS FORTE PRESSION

Croquis 28

Le tranchage automatique des pavés pour la voirie à base de bloquins de 30 x 20 x 60 est un procédé à haut rendement, qui ne nécessite qu'une faible puissance (5-6 CV) pour son fonctionnement

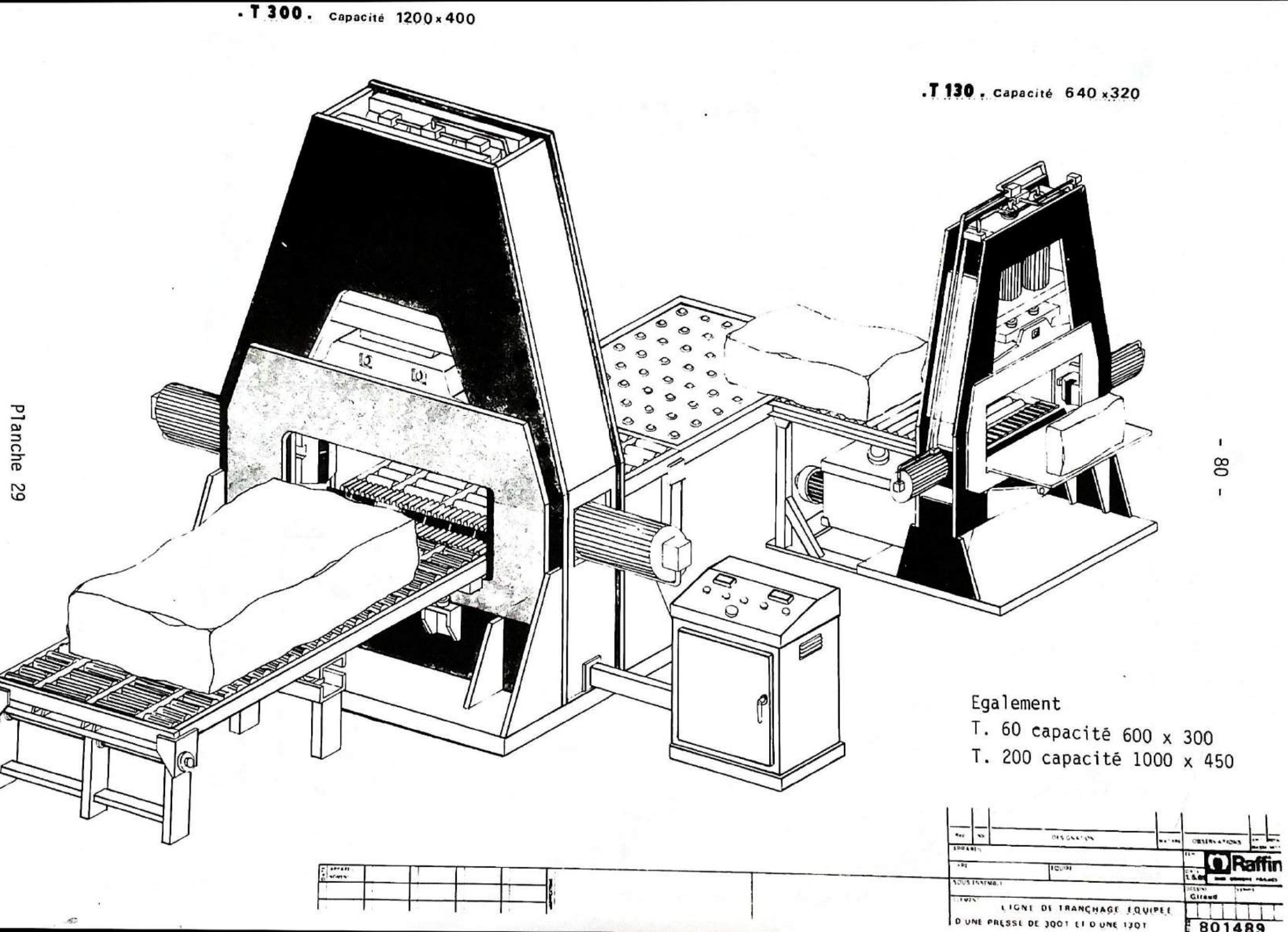
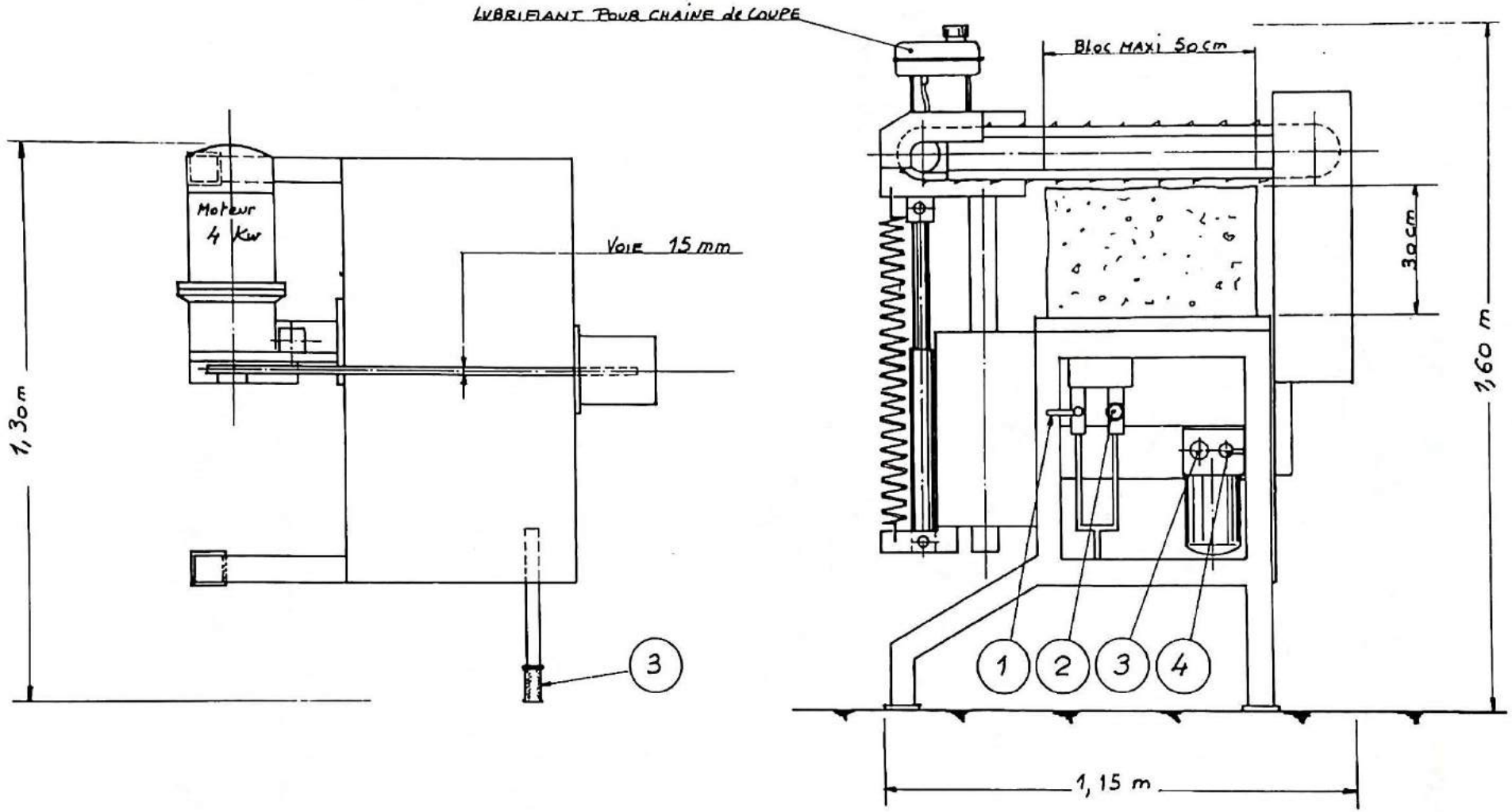

.T 300. Capacité 1200 x 400
.T 130. Capacité 640 x 320
Egalement
T. 60 capacité 600 x 300
T. 200 capacité 1000 x 450
Raffin
Giraud
LIGNE DE TRANCHAGE EQUIPEE
D UNE PRESSE DE 300T ET D UNE 130T
801489

Planche 29



TRONÇONNEUSE A CHAINE . TC 460

CONÇUE POUR LE DÉBITAGE DES MOELLONS ½ DURS ET TENDRES DE DIMENSION MOYENNE.

Cette machine d'un poids relativement faible, transportable permet une coupe rectiligne, d'équerre à profondeur désirée.

DESCENTE RAPIDE A VIDE : BAISSER LE ROBINET (1)

DESCENTE LENTE EN COUPE : a) OUVRIR (4) sens inverse horloge.
b) OUVRIR (2) PLUS ou MOINS. selon vitesse désirée.

POUR REMONTER : a) FERMER (2)
b) FERMER (4) Sens horloge
c) POMPER AVEC LE LEVIER (3)

Ets FERNAND PERRIER & Cie

6, place de l'Eglise
78640 NEAUPHLE-LE-CHATEAU
(3) 489.26.81 . (1) 489-00-13

N° 460.1

M.Th.
26.1.93

DEBITAGE SECONDAIRE - PHASES D'EVOLUTION

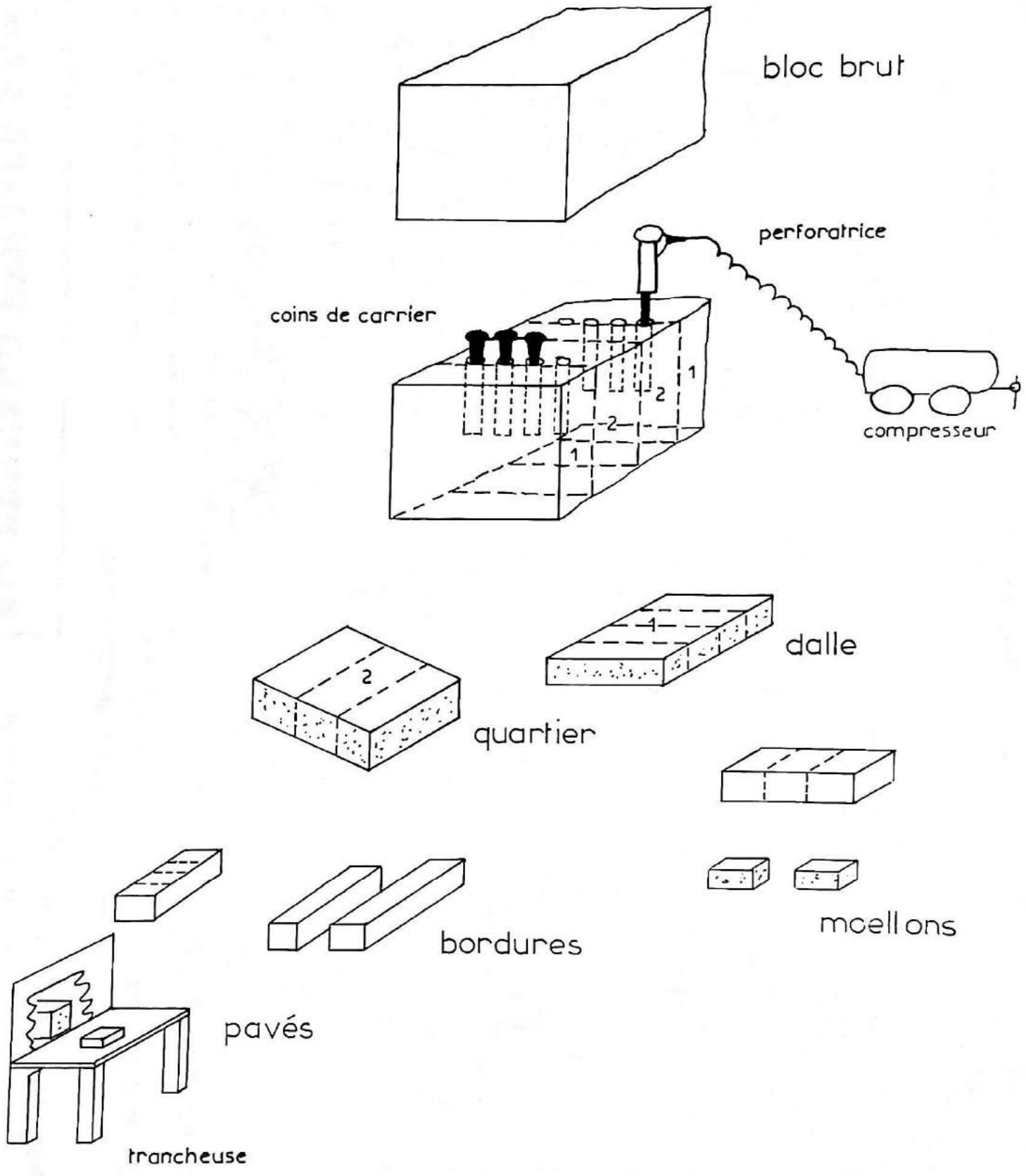


planche 31

TABLEAU SYNOPTIQUE DES METHODES D'EXTRACTION - T16

Pour clore ce chapitre consacré à l'exploitation, nous donnons dans le tableau ci-dessous un état récapitulatif des différentes méthodes décrites en précisant à quel matériau elles peuvent s'appliquer.

Type d'exploitation	Artisanale / mécanisée					Industrielle			
Matériaux	coins de carrier	éclateur aiguille	éclateur hydraulique	explosifs poudre noire	scie manuelle	explosif roches 15	fil d'acier (diamantée)	chalumeau	haveuse rouilleuse
Granite	x	x	x	x		x	-	x	
Porphyre	x	x	x	x				x	
Basalte	x	x	x	x					
Gneiss	x	x	x	x			-		
Quartzite	x	x	x						
Grès	x	x	x	x			-		
Marbres	x	x	x	x		x	x		x
Pierres marbrières	x	x	x	x	x	x	x		x
calcaire dur	x	x	x	x	x	x	x		x
calcaire tendre	x.	x	x	x	x	x			x
Ardoises	x	x	x	x	x		x		x
Schistes	x		x	x	x		x		x

Codificateur X → en carrière ou en atelier de transformation

\- → en atelier seulement

4. QUELQUES EXEMPLES TYPES D'EXPLOITATION

Nous décrivons ici quelques exemples d'exploitation typiques qui illustrent les données techniques des paragraphes précédents, a savoir :

grès de Bamako	: Mali
grès	: Paraguay
grès	: Vosges - France
granit	: Côte d'Ivoire
granit clair	: Bolivie
gabbro/dolérite - granite	: Uruguay
labradorite - roche éruptive	: Uruguay
pierre calcaire	: Gard - France
marbre	: Sénégal

Grès de Bamako - Mali

Les formations gréseuses se présentent en falaises d'une cinquantaine de mètres de haut, séparées par des banquettes de 100 à 150 m de large. La stratification horizontale présente des épaisseurs allant de 15 à 40 cm d'épaisseur.
Après le décapage stérile, les produits extraits donneront

- des blocs type A pour sciage en atelier
- des bloquins débités en moellons pour la construction
- des pavés pour la voirie
- des dalles
- des ballast pour les chemins de fer.

L'exploitation se fait aux coins de carrier et éclateur à la poudre ordinaire.

GRES (MALI)

découverte - blocs et moellons

gisement : stratifié horizontal
méthode : éclateur

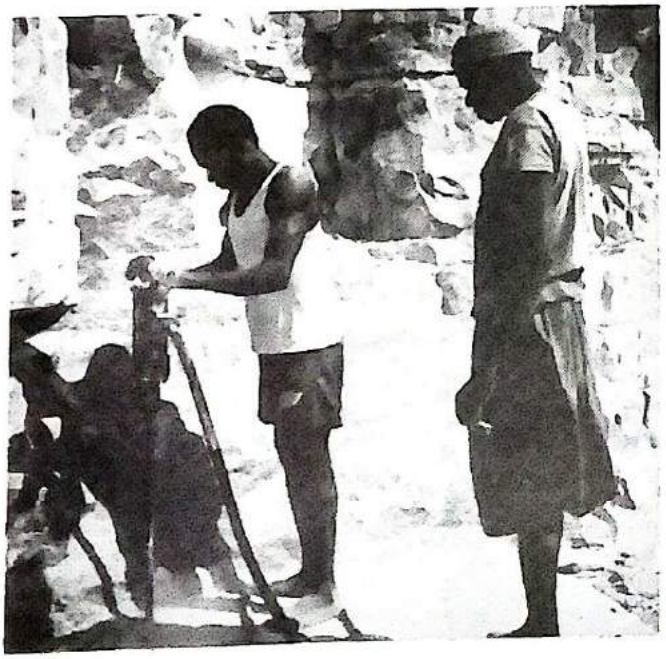
Cliché 30

banc exploitable

90 cm

Forage au marteau pneumatique perforateur

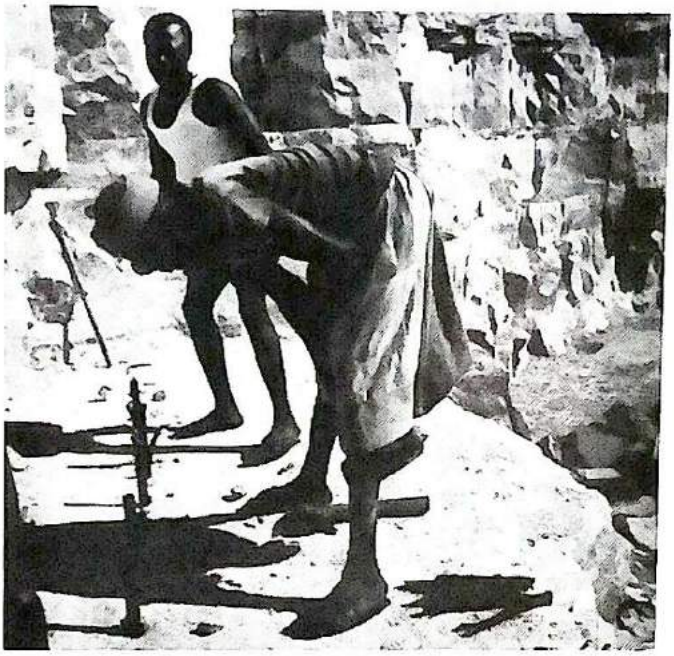
Cliché 31



On remarque la stratification horizontale régulière

Cliché 32

GRES (MALI)



Enfoncement des aiguilles dans le dispositif éclateur

Cliché 33

Cliché 34

Espacement des trous : 20 cm

Aiguilles

1/2 coquilles

Cliché 35

90 cm

Cliché 36

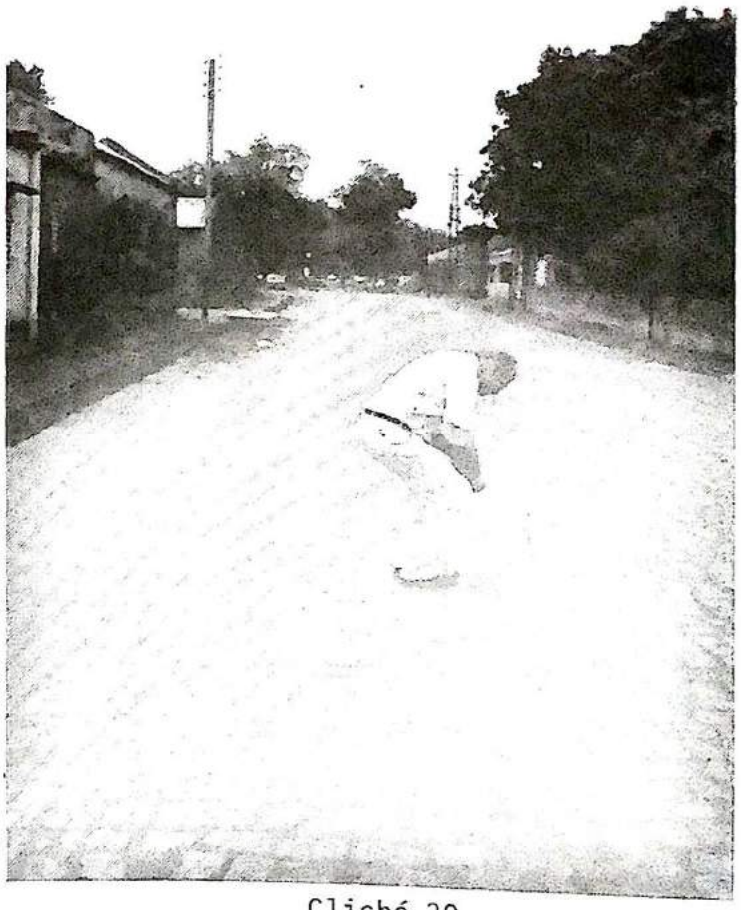
Chantier de taille de moellons

Cliché 37

Moellons et dalles brutes de carrière

Caniveaux maçonnés

Cliché 38

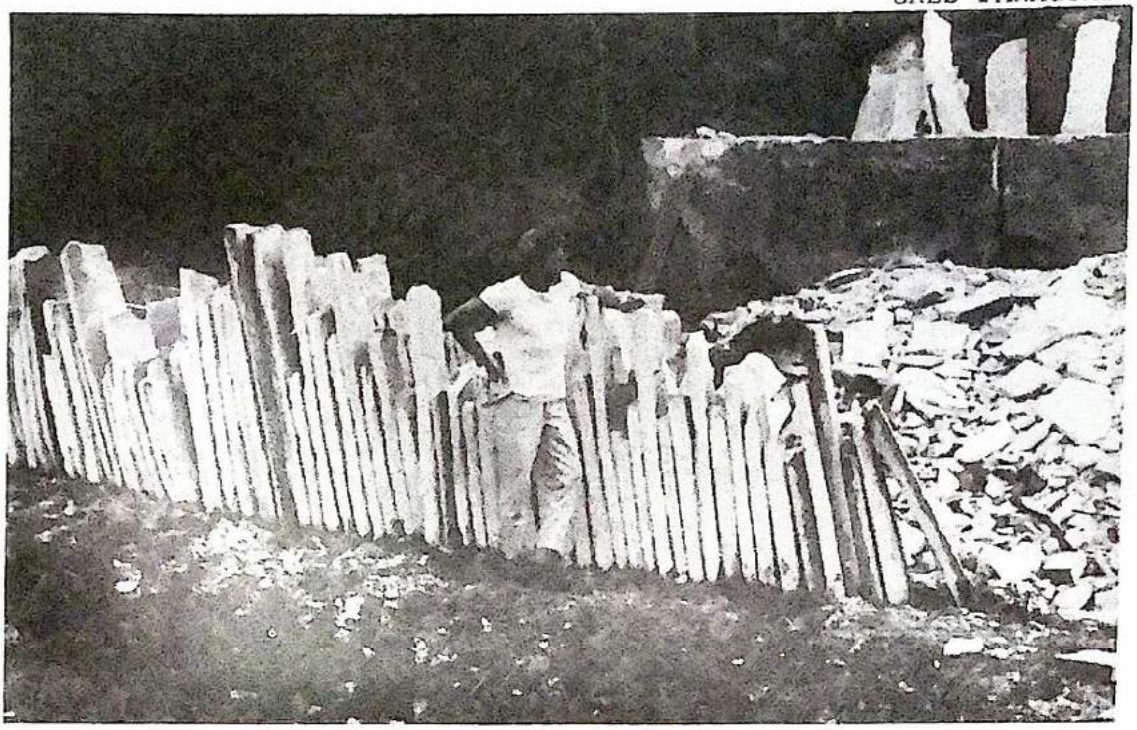


Pavés

Cliché 39

(Extrait - Rapport
G.L. BERTHOUMIEUX BRGM)

GRES PARAGUAY



Dalles de grès

Cliché 40

gisement : stratifié horizontal

méthode : barre de carrière et coins de carrier

finalité : dalles de revêtements

entièrement artisanale

Cliché 41

DECOUPAGE DES DALLES

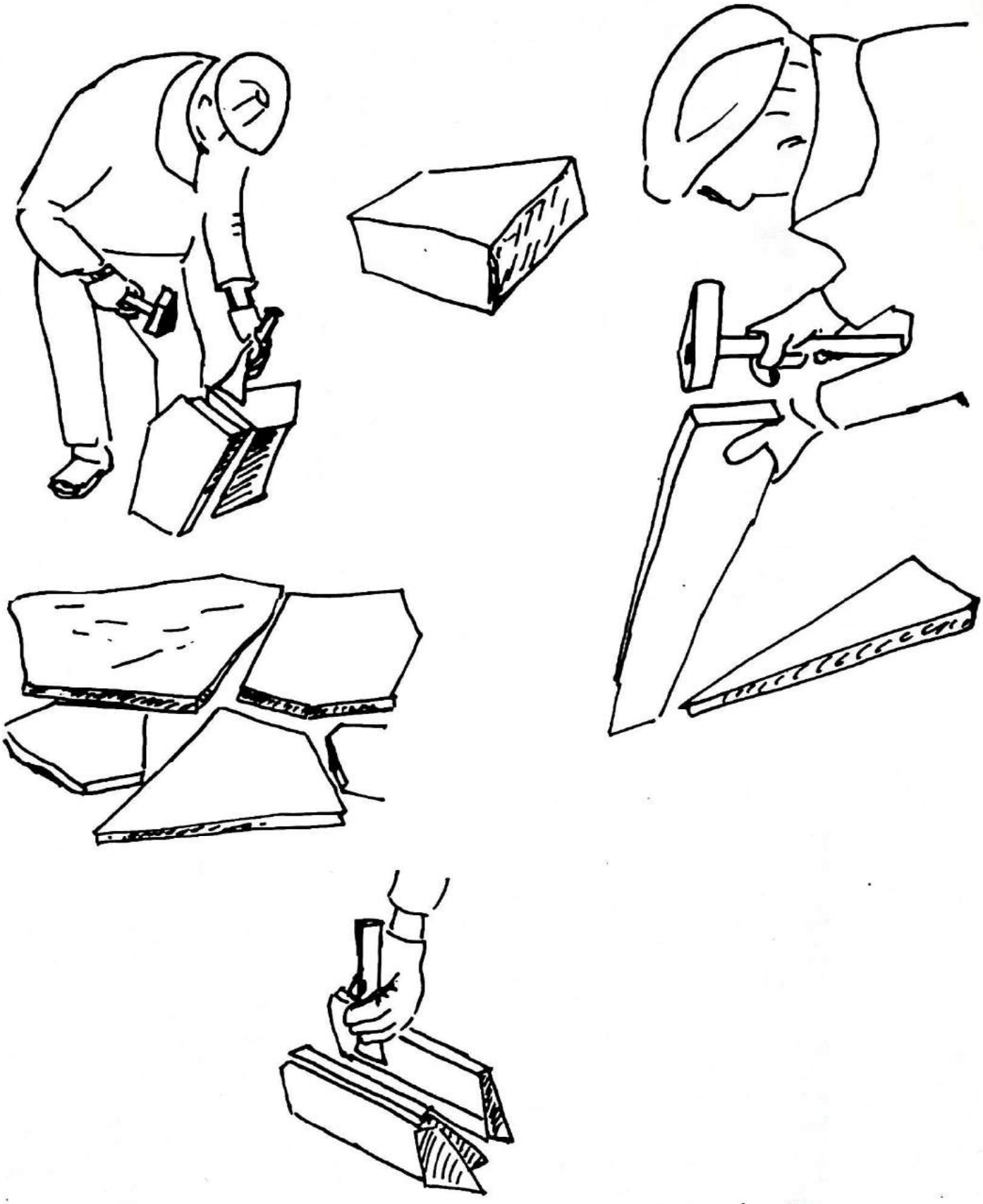


planche 32

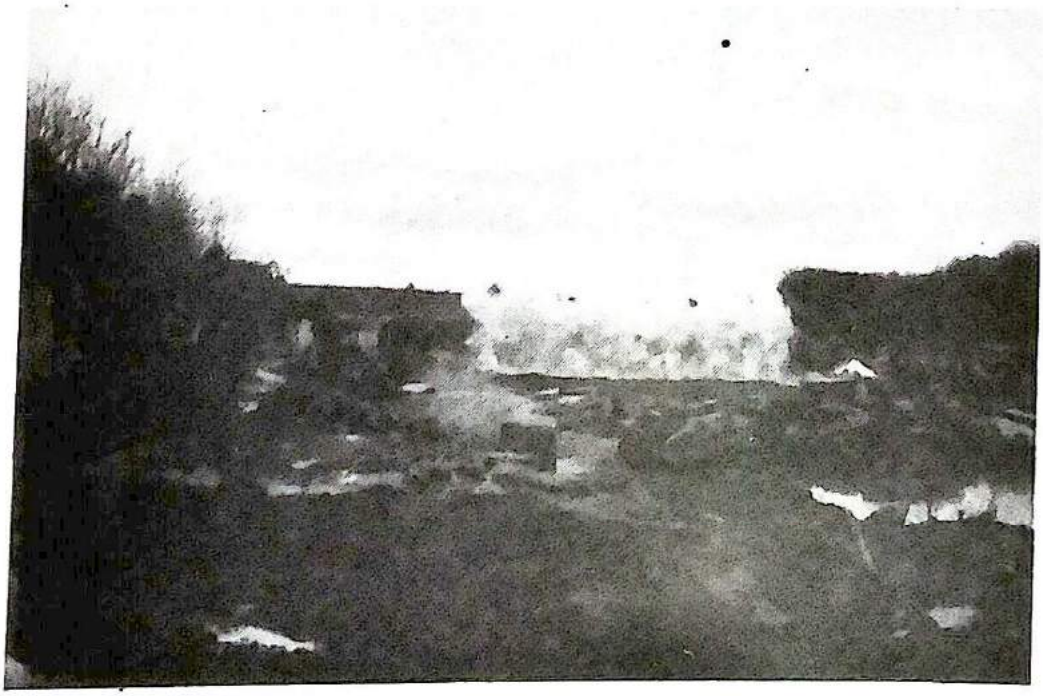
GRES VOSGES - FRANCE

gisement : stratifié horizontal
méthode : poudre noire trous en ligne (20 m de long)

Charge des trous et bourrage

Ligne de tir

Cliché 42

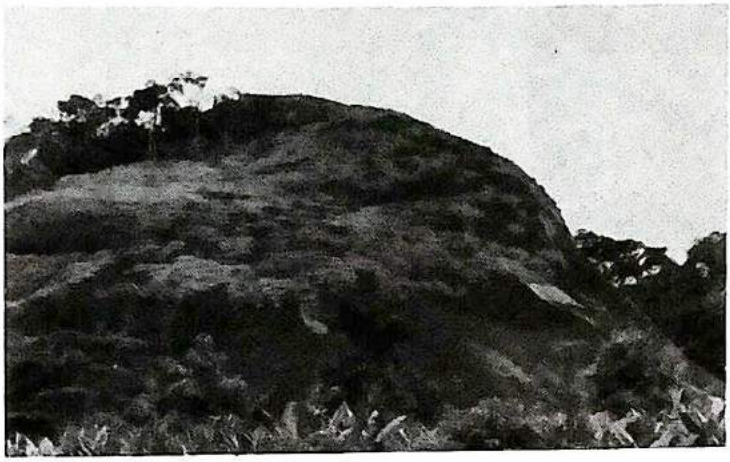


Sautage

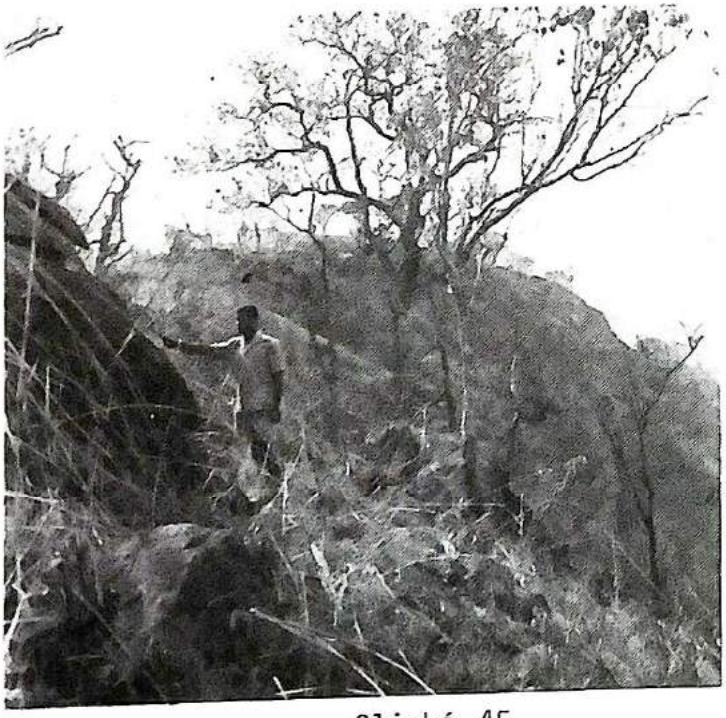
Cliché 43

GRANITE - COTE D'IVOIRE

- *granit vert, nord Côte d'Ivoire*
  gisement : en masse
  méthode d'exploitation : essai de taille en coin
- *granit, Sud Côte d'Ivoire*
  gisement : en masse
  méthode d'exploitation : essai de débitage à la poudre noire et débitage secondaire au coin.



Cliché 44



Cliché 45

- *granit, Sud Côte d'Ivoire*
  gisement : filonien
  méthode : découpage thermique
  finalité : blocs marchands

Cliché 46

GRANITE CLAIR - BOLIVIE -

Gisements : en boules
Méthode d'exploitation : coins de carrier, chantier artisanal

Cliché 47

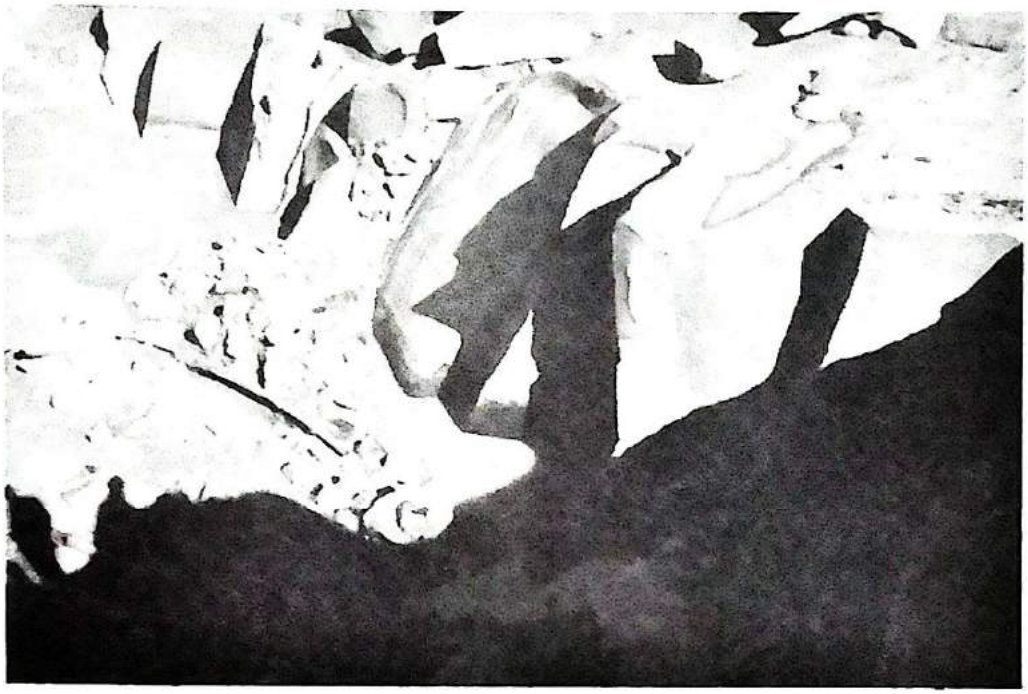
Finalité : taille des moellons intégralement à la main pour la construction à LA PAZ, dalles pour pavages des rues

Cliché 48

Dalles 40 x 40 x 4 cm

Moellons 40 x 30 x 20 cm

GABBRO DOLERITE (granit noir) (Uruguay)



Gisement : en amas filonier (puissance 50 m) Cliché 50
Débitage : poudre noire et coins de carrier
Destination : blocs marchands pour l'exportation

zone altérée

inexploitable

Cliché 51

LABRADORITE (roche éruptive)
URUGUAY

. *gisement - en masse découverte*

. *débitage : coins de carrier*

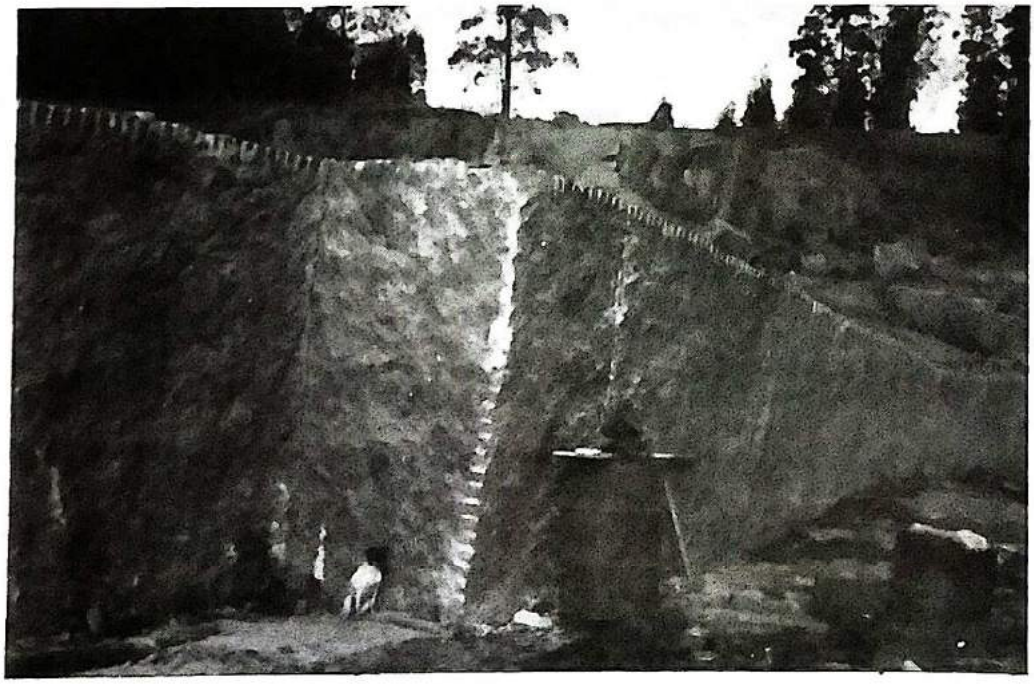
Ligne 15 m
Hauteur 4 m

. *Finalité : blocs marchands 10-20 tonnes pour plaques haut standing*

La découpe est nette et rectiligne

La trace des coins est apparente.

Cliché 52

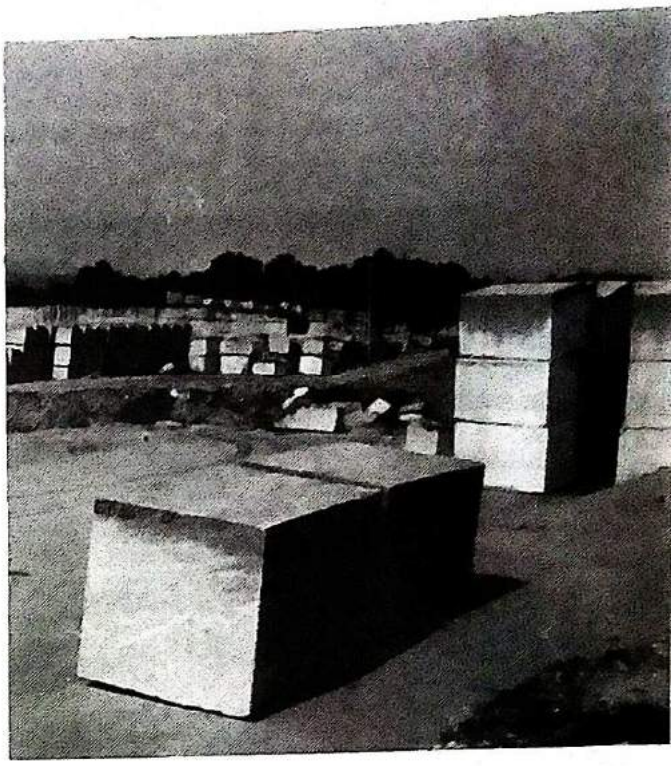


Cliché 53

PIERRE CALCAIRE FRANCE (GARD)

méthode : havage-rouillage

finalité : blocs marchands pour atelier de débitage (linteaux, moellons, cheminées)



blocs extraits Cliché 54

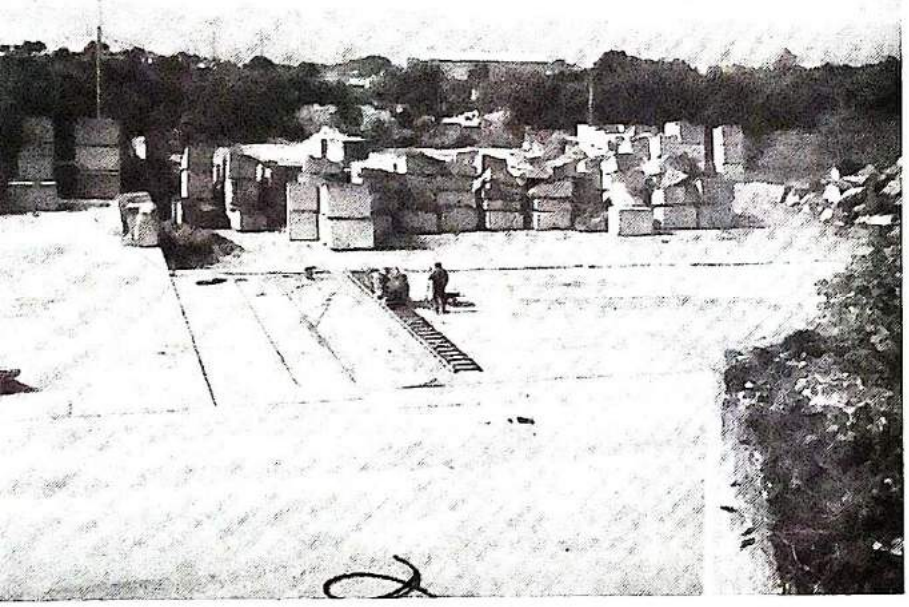
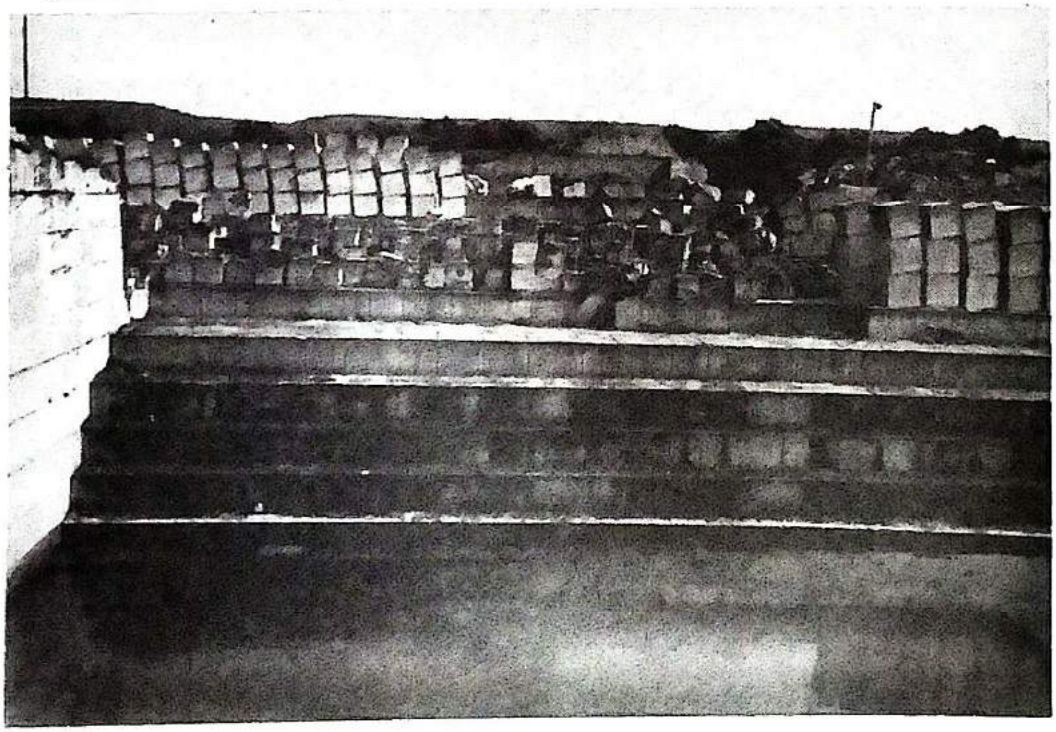


Plate-forme en cours de découpage Cliché 55

gisement : stratifié horizontal

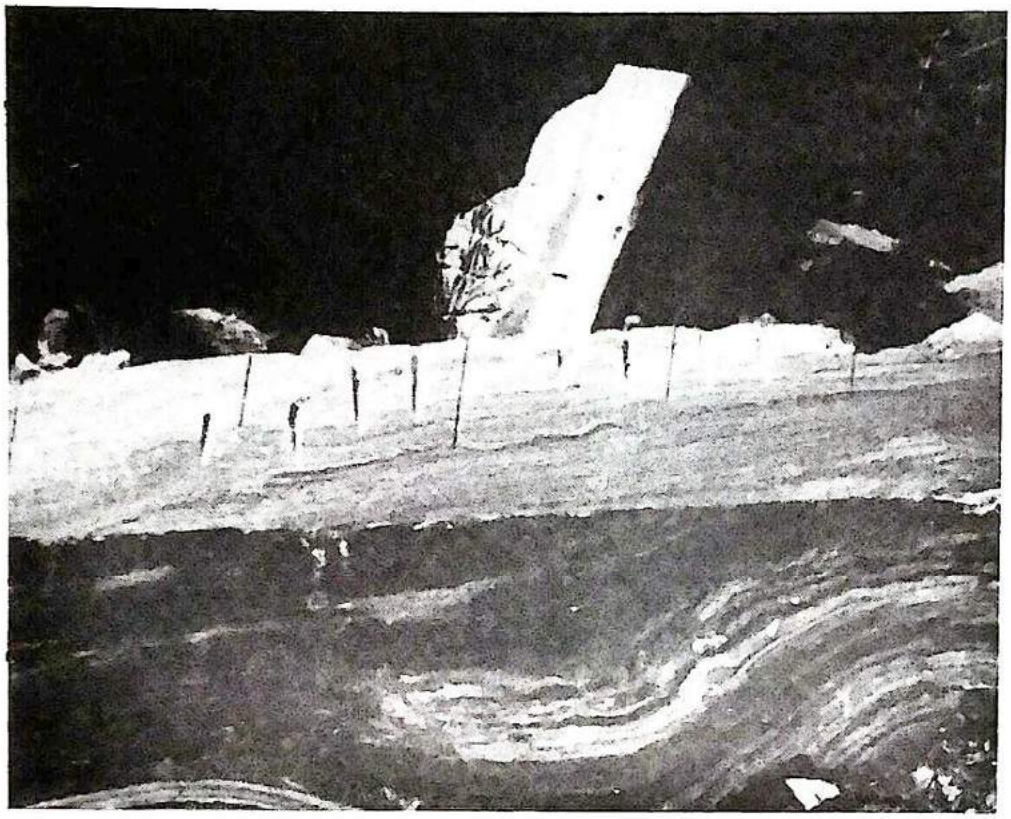


Zone de stockage

Partie exploitée en gradins

Cliché 56

MARBRE (SENEGAL)



gisement : en masse

méthode : fil d'acier

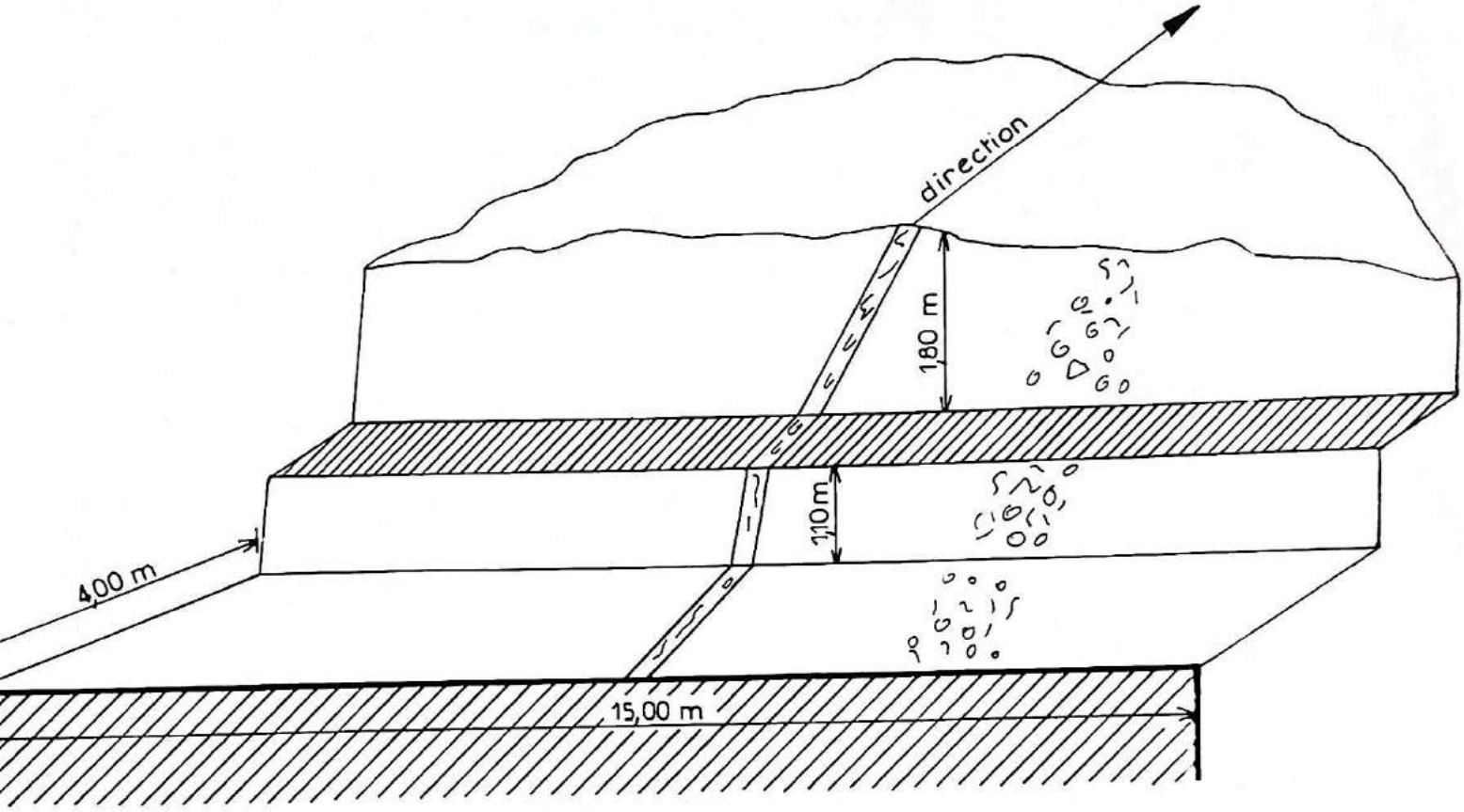
destination : blocs marchands

Cliché 57

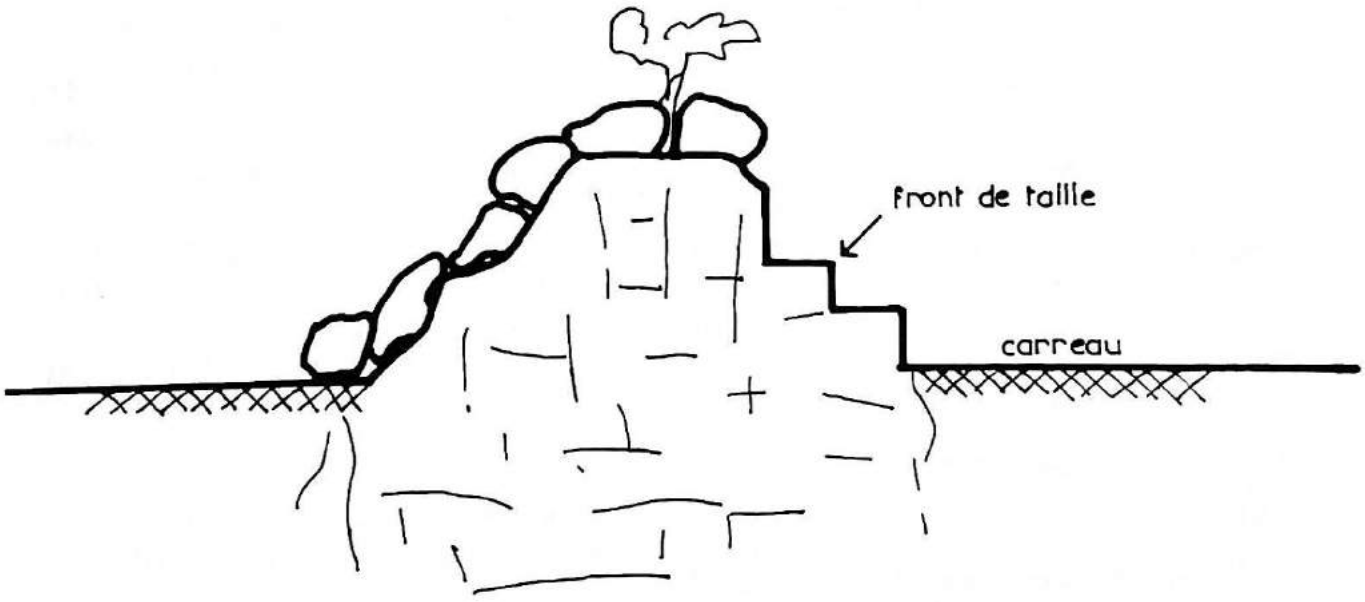
Une coupe au fil d'acier

Cliché 58

MARBRE - SENEGAL (IBEL)



Méthode d'exploitation de fil hélicoïdal



Coupe de la formation

Planche 33

II-2 TRANSFORMATION ET FAÇONNAGE

LES MOYENS ET METHODES ARTISANAUX

Le propos de cette étude n'est pas de répertorier toutes les techniques dont use le tailleur de pierre ; elles sont nombreuses et dépendent de beaucoup de facteurs : lieu, nature des pierres, qualité de la taille désirée.

Nous préférons donner une vision simple et certainement plus claire en ne décrivant que les moyens et méthodes de base.

1. DESCRIPTIF DE L'OUTILLAGE

Remarque : classification par 3 groupes

- *outils de frappe* → masse qui tape sur l'outil
- *outils d'attaque* → outil qui est frappé par la masse
- *outils d'attaque directe* → outil tenu à deux mains

L'angle d'attaque étant l'angle représenté entre l'inclinaison de l'outil et la surface travaillée.

L'outillage pierre dure

Massette : outil de frappe. La nature de la masse peut être en acier, fer, bronze, bois (buie), le manche en bois ou plastic ; il existe des massettes de plusieurs formes ; les plus courantes parallélipipédiques, cubiques, celles appelées "portugaise" en cône tronqué. Le poids est variable de 500 g. à 1500 g, la longueur du manche aussi. C'est le goût du tailleur de pierre qui lui fera choisir une forme, un poids avec l'impératif du travail à réaliser. De tous ces facteurs dépendra l'inertie de l'impact qui est le premier intermédiaire entre l'énergie du tailleur et la résistance de la pierre. Il est donc important de choisir une massette adaptée.

Pointe : Outil d'attaque, tout acier - emboût en forme de pyramide plus ou moins effilée, la section et la longueur peuvent varier. Angle d'attaque 45° environ.

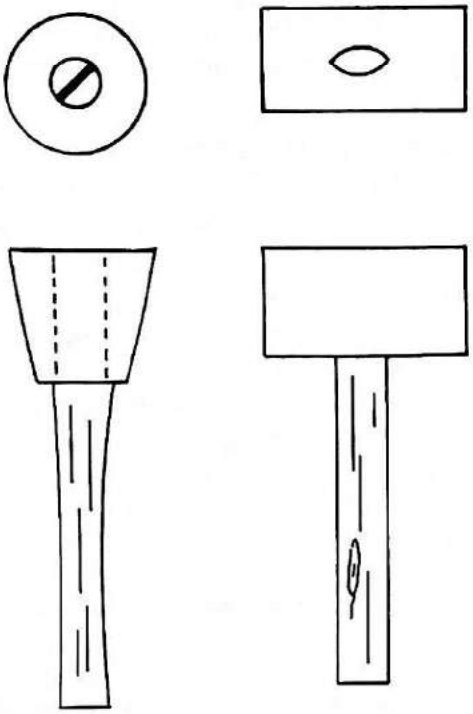
Têtu : Outil d'attaque directe s'utilise pour la taille grossière ; son côté concave éclate la pierre alors que l'autre la pique.

Chasse : Outil d'attaque directe tout acier, très résistant. Son extrémité est un plan biaisé qui dégage la pierre en contrôlant la direction de l'éclat - angle d'attaque perpendiculaire à la pierre, celle-ci devant présenter un plan franc ; l'impact de la massette doit être franc et puissant.

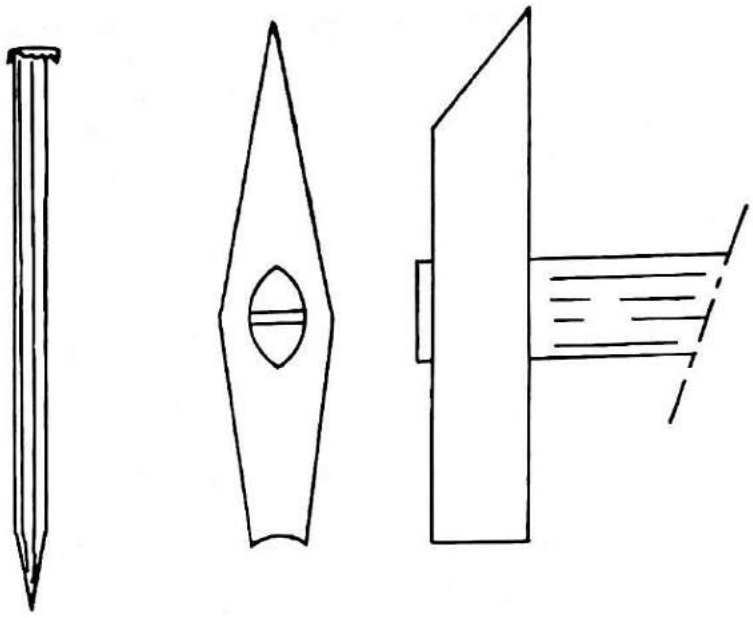
Pied de biche : Outil d'attaque tout acier, extrémité à deux dents très solides - outil intermédiaire entre la pointe et la gradine - angle d'attaque variable (45° environ).

OUTILLAGE PIERRE DURE

échelle : 1 cm pour 4 cm

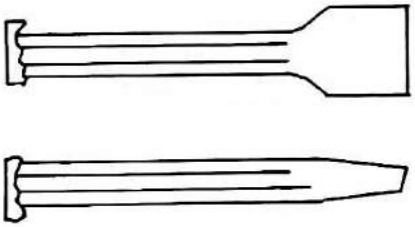


massette

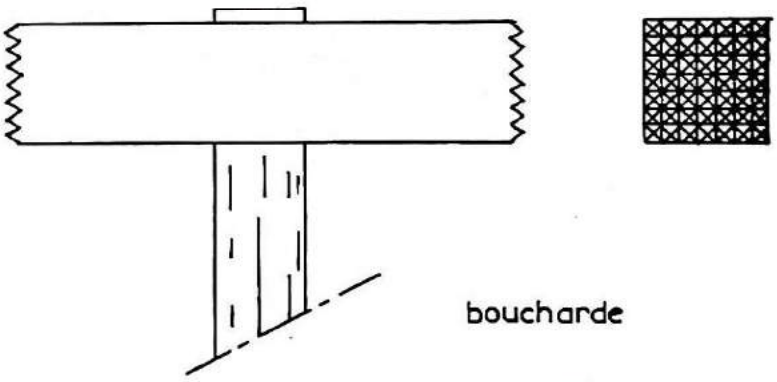


pointe

têtu

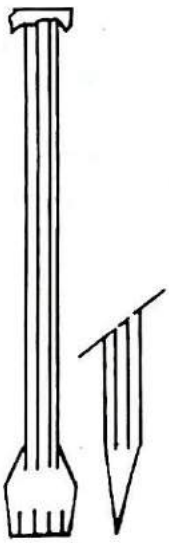


chasse

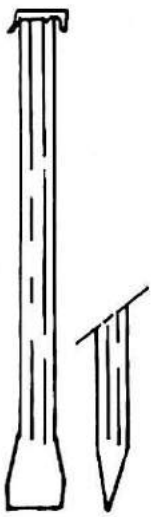


bouchарde

pied de biche



gradine



ciseau

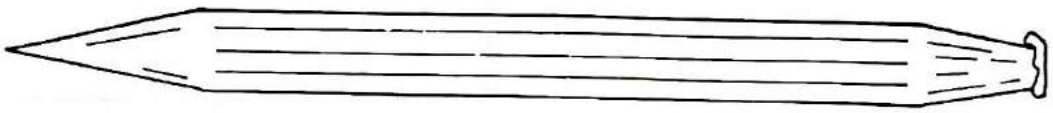
planche 34

Gradine : Outil d'attaque tout acier, extrémité tranchante avec des dents ; la largeur de la pane et le nombre de dents sont variables - les dents des extrémités sont plus trapues (elles s'appellent sommier) pour résister aux pressions de côté et ne pas casser - angle d'attaque variable (45° environ).

Ciseau : Outil d'attaque tout acier, extrémité tranchante sur toute la largeur de la pane ; c'est l'outil qui sert à faire les ciselures ou une surface presque lisse - angles d'attaque variable (45° environ).

Bouchardе : Outil d'attaque directe, inventé au XVIIIème siècle, les pointes étant forgées dans la masse ; actuellement la tête est interchangeable - le nombre de pointes est variable suivant l'usage désiré, jeu de pointe - pour dégrossir, beaucoup de pointe pour une finition (parement bouchardé). Outil qui ne pique ni ne tranche la pierre, mais l'écrase ; il s'utilise avec beaucoup de précaution car certaines pierres ne supportent pas son emploi (les grès en particulier). C'est en effet le seul outil qui écrase la pierre. Poids de 500 g. à 2000 g. Angle d'attaque perpendiculaire.

Tous les outils énumérés d'attaque ou d'attaque directe sont en acier forgé ; l'extrémité est trempé suivant la dureté de la pierre : il est préférable que la tête de l'outil (seulement pour les outils d'attaque) soit resserrée à la forge et non trempé ou très légèrement, sinon risque d'éclat de métal très dangereux.



Croquis 35

Tête de l'outil resserrée à la forge

Les outils à extrémité tungstène

Le tungstène est un alliage récemment inventé qui est très résistant à l'usure ; il a révolutionné le travail des pierres très dures (granit) et maintenant s'emploie très souvent.

- que ce soit pour les pointes, gradines, ciseaux, bouchardes, c'est une partie de tungstène soudée à l'intérieur, en bout d'outil.

embout tungstène

Croquis 36

- très utilisé sur le granit et certains marbres, cet outillage est relativement cher à l'achat et difficilement fabriquable par soi-même ; par contre sa grande résistance lui donne une longévité très grande.

A titre d'exemple, un tailleur sur granit a besoin d'une vingtaine de pointe forgée par jour, toutes bonnes pour la forge en fin de journée, alors qu'avec deux pointes tungstène qui se contenteront d'un affûtage en fin de journée il aura accompli le même travail.

Il apparaît donc clairement l'avantage de ces outils qui en plus permettent un travail très fin sans grande difficulté.

Cet outillage demande quelques précautions :

- ne pas trop les faire chauffer, donc changer d'outil de temps en temps;
- ne jamais les coincer, sinon la pastille soudée se casse ou se désoude (le tungstène est résistant à la compression et à l'usure, mais beaucoup moins à la flexion);
- ne pas trop les faire chauffer à l'affûtage.

L'outillage pierre tendre .

Les taillants : outils d'attaque directe - poids variable entre 1500 g. et 2000 g. - angle d'attaque variable (45° environ).

Le rustique a sur ses deux panes des dents de type "grain d'orge".

Le bretté a pour ses deux panes des dents de type "gradine".

La polka a une pane dans l'axe du manche alors que l'autre pane est perpendiculaire.

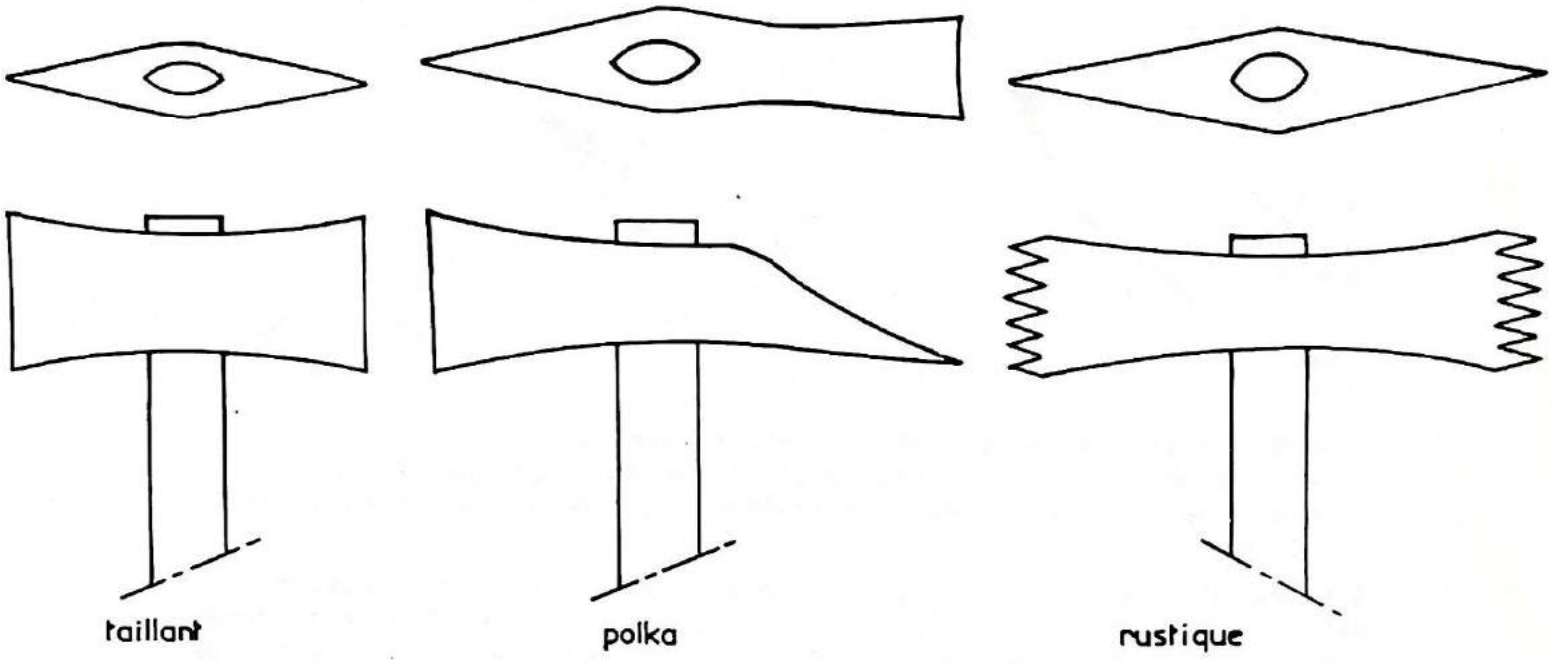
Le taillant a ses deux panes tranchantes sur toute la largeur.

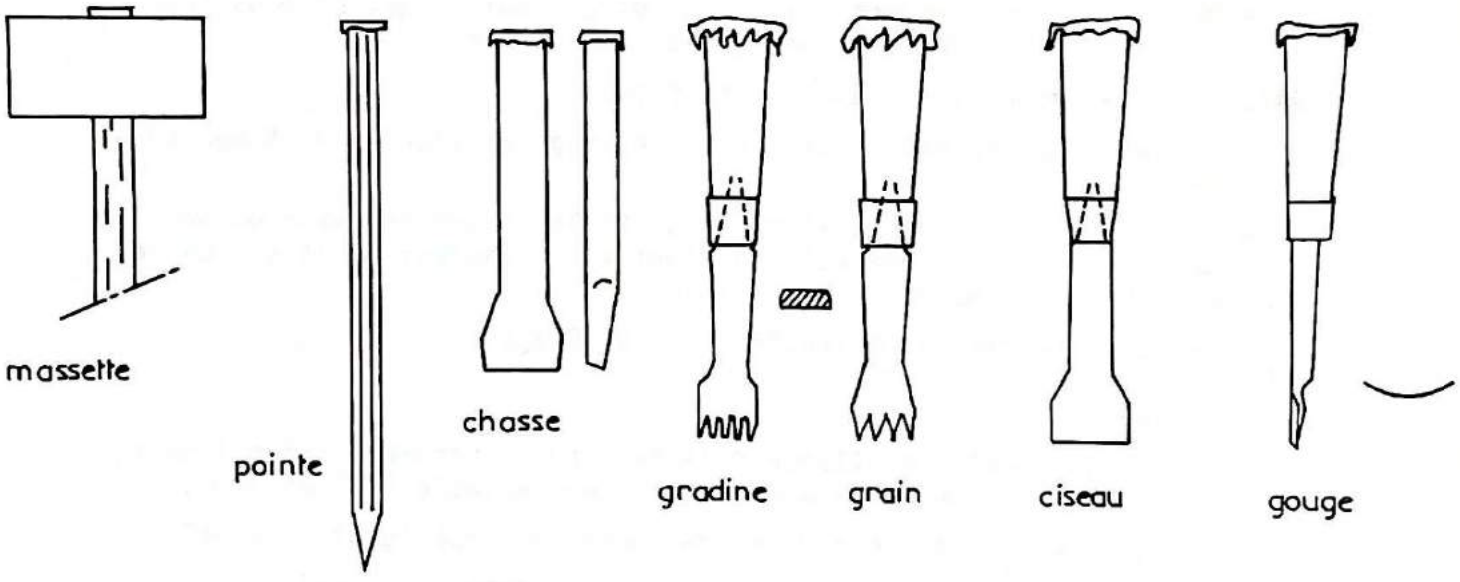
Il existe des combinaisons possibles :

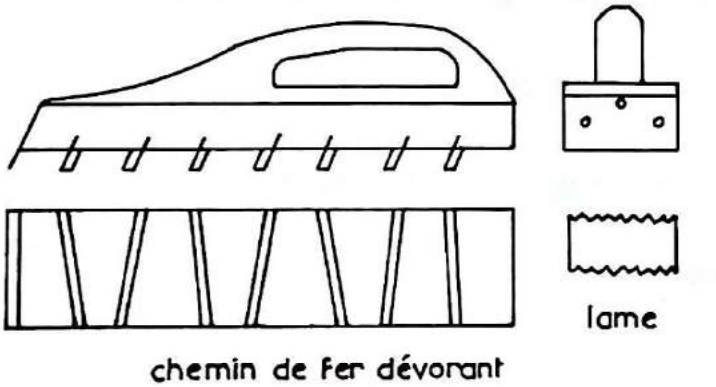
- sur une pane l'on trouve des dents gradines, sur l'autre des dents grain d'orge.
- une pane gradine, l'autre sans dent.

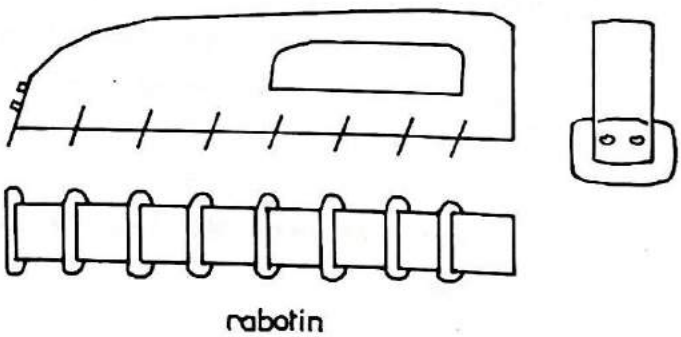
etc...

OUTILLAGE PIERRE TENDRE *échelle : 1 cm pour 4 cm*









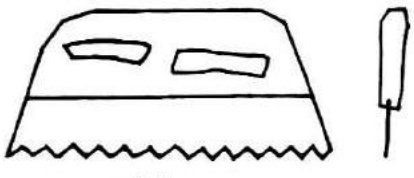


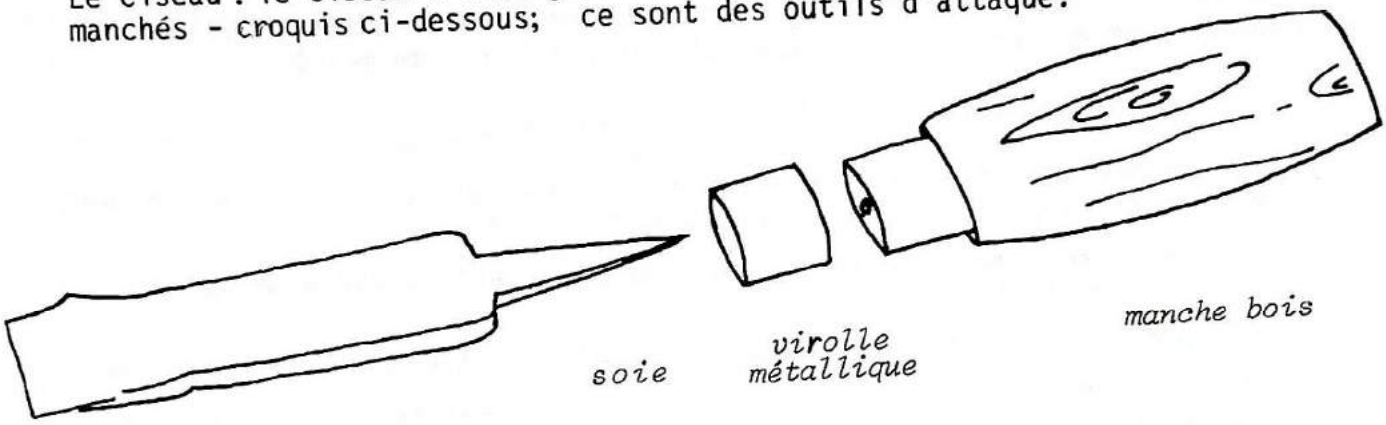
planche 37

Massette : idem pierre dure

Chasse : idem pierre dure. Elle sera souvent plus large car la résistance de la pierre est moindre.

Pointe : idem pierre dure, seule la trempe change.

Le ciseau : le ciseau à dent gradine en grain d'orge, la gouge, sont emmanchés - croquis ci-dessous; ce sont des outils d'attaque.



Outil emmanché Croquis 38

Gouge : il est possible d'utiliser la gouge dans la pierre tendre, c'est un outil fragile qui casse dans la pierre dure ou y est inefficace - il existe des variantes à dents - la courbure de la gouge est également variable.

Chemin de fer : outil d'attaque directe - il est constitué d'une plaque de bois (hêtre) plate, sur laquelle des lames métalliques sont disposées en quinconce; quand les lames sont dentées, le chemin de fer prend l'appellation de "dévorant" - utilisé pour dégauchir une surface.

Les rabotins : outil d'attaque directe comme le chemin de fer, ils sont constitué d'une plaque de bois et de lames, à la différence qu'elles ne sont pas forcément plates. Il existe une multitude de rabotins, chacun différent par sa taille et son profil ; les lames peuvent être dentés ou pas, plantes, rondes, creuses ; le support bois peut lui aussi avoir une forme courbe, c'est l'impératif de la moulure qui crée le rabotin.

La sciote : petite scie qui coupe pour dégager une arête.

Il existe dans l'outillage-pierre dure et tendre, mais à plus forte raison dans la pierre dure, une progression dans le profil d'attaque de l'outil.
L'on remarquera tout d'abord *la pointe* dont sa surface de contact très réduite et unique avec la pierre lui donne un pouvoir de pénétration important, d'où une grande efficacité ; ce sera l'outil par excellence utilisé pour le dégrossissage.
Vient ensuite *le pied de biche* ; ces deux dents robustes offrent deux fois plus de résistance mais permettent un travail plus précis. *La gradine* qui présente un tranchant interrompu par des espaces ce qui

réduit la résistance à la pénétration pour finir par *le ciseau*, tranchant sur toute sa largeur donc pénétrant le moins la pierre mais permettant un travail très fin (ciselure).
Il apparaît donc logique de choisir l'outil correspondant à une étape précise de son travail.
Le bons sens va guider le tailleur à utiliser l'outil quand il le faut, s'en servir au maximum de ses possibilités et savoir en prendre un autre plus performant lorsque le travail change ; ce sera un gain de temps, une économie d'outillage, et surtout moins de peine.

L'outillage pneumatique.

L'air comprimé a fait son entrée dans les ateliers de taille depuis près de 50 ans. La plupart en sont maintenant équipés soit

- par branchement au réseau (par exemple, Paris possède un réseau air comprimé).
- par un compresseur électrique, diesel, qui fournit l'air comprimé.

Par l'intermédiaire de tuyau souple muni à son extrémité d'un robinet, l'on peut brancher différentes sortes de marteaux. La pression d'utilisation est de 3 bars en moyenne et leur consommation variant de 100 l/mn pour un petit marteau à gravure de 240 g, à 200 l/mn pour un marteau piqueur de 3 kg ayant un rendement très élevé pour les gros travaux.

L'affutage

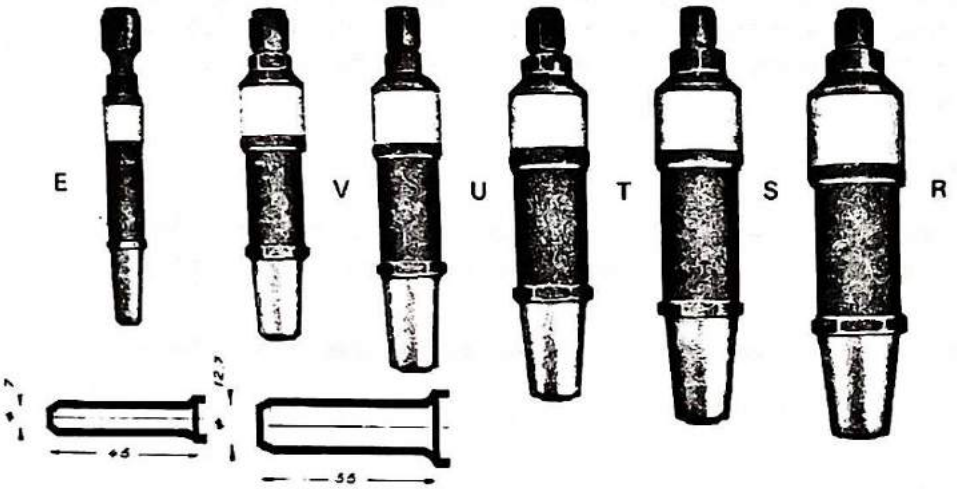
Pour les outils forgés et trempés, il se fait sur une surface de grès, en choisissant l'inclinaison de l'outil par rapport au grès et d'un mouvement de va-et-vient en appuyant sur l'aller, le tout avec un apport d'eau.
Cette technique, bien que rudimentaire, est la meilleure car elle ne chauffe pas les outils et donc ne peut pas les détremper.
Quand la partie de l'outil trempé est usée, il faut reforger l'outil et le retremper.
L'outillage tungstène s'affute sur une meule spéciale (plus douce) - attention, ne pas trop faire chauffer l'outil.

2. TECHNIQUES DE LA FORGE

Le forgeron fabrique les outils du tailleur de pierre , du carrier, mais bien souvent il est difficile de trouver un forgeron sur place et l'entretien des outils demande souvent la forge car certains s'usent très vite. Donc le tailleur de pierre doit savoir forger ses outils.

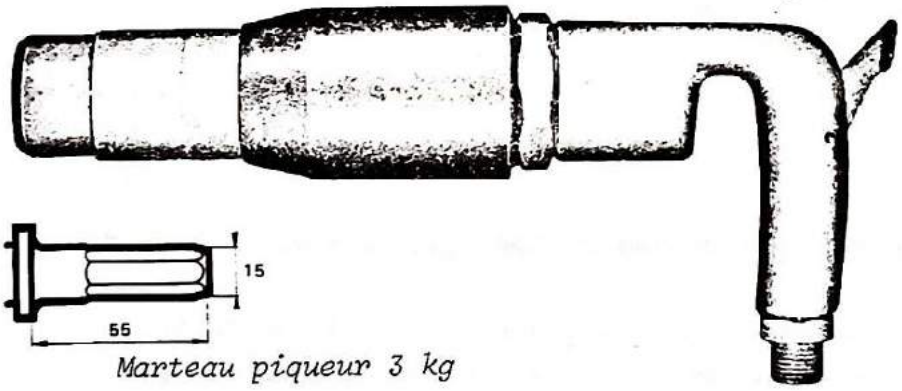
L'on s'aperçoit que dans certains matériaux, pour deux jours de taille il faut une demie-journée de forge pour refaire les outils ; il nous apparaît alors nécessaire de donner ces quelques rudiments de forge tout en prévenant le lecteur que les techniques de forge et surtout de trempe demandent un doigté et une grande habitude pour donner des résultats probants.

A titre d'exemple, sur granit une pointe forgée servira environ une demie- heure ; il faudra donc une vingtaine de pointes par jour. Sur les grès durs, les ciseaux ne peuvent faire que quelques ciselures.



Normalisation tête d'outil

Le principe de fonctionnement est le même que celui décrit précédemment Ch. II.1.3. pour les marteaux perforateurs, avec la suppression (par un artifice mécanique) du mouvement de rotation de l'outil ; seul persiste la percussion.



Marteau piqueur 3 kg

On adapte tous les outils d'attaque dans les marteaux, pourvu que la tête soit calibré suivant la norme - voir ci-dessus.

Schéma-type de branchement

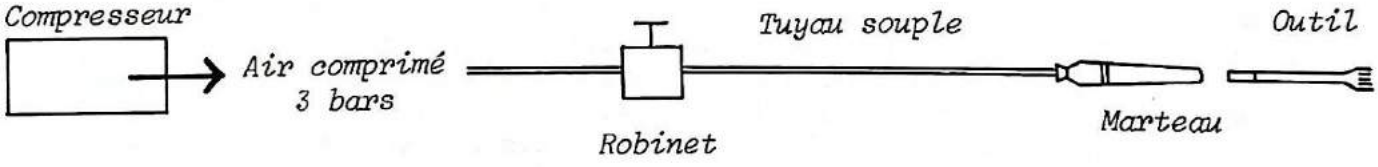


Planche 39

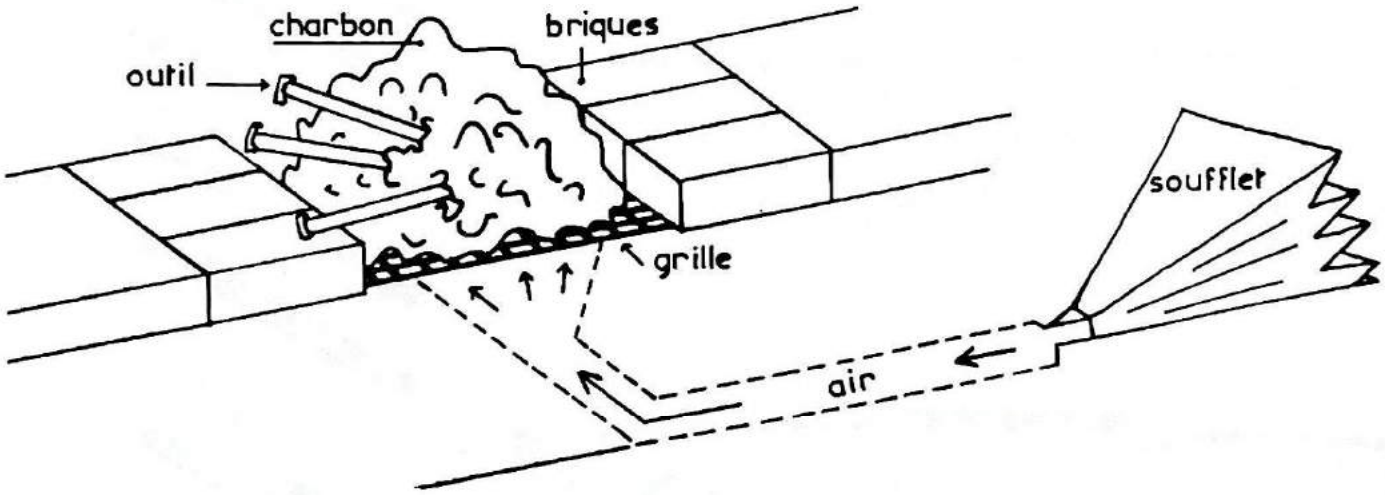
Note - Il existe toute une panoplie de marteau de puissance différente adapté aux différents travaux.

En maîtrisant ces techniques, il est même possible de se fabriquer son outillage, ce qui est très économique, et de modifier le profil des outils en le rendant plus personnel, car n'existant pas dans le commerce.

Fabrication d'une forge rudimentaire

Une forge de campagne peut suffire, sinon quelques briques réfractaires de préférence, une grille, un soufflet permettant de se bricoler une forge:

- la grille retiendra le charbon pour qu'il ne tombe pas dans l'arrivée d'air



Croquis 40

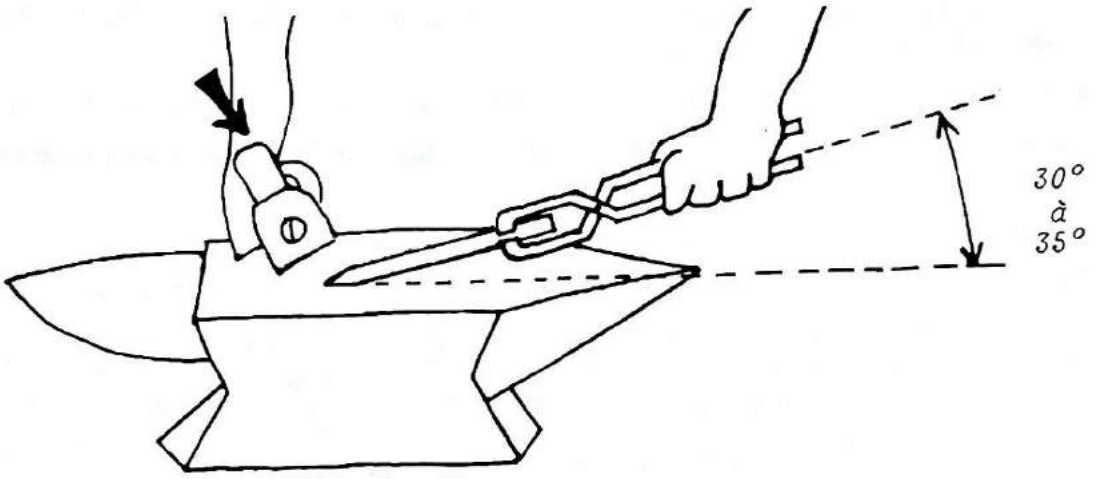
- il est préférable d'utiliser du charbon spécial, mais du charbon de bois dépannera
- une enclume, un gros marteau pour travailler le métal incandescent
- et très important pour la sécurité, des pinces qui tiennent très fermement le métal pendant le travail
- un bac à eau pour tremper les outils
- une flaque d'eau de 5 mm d'épaisseur pour laisser reposer l'extrémité de l'outil après la trempe.

S'il est possible de trouver de *l'acier fondu au carbone*, ce sera le meilleur - il existe en présentation différente : en tige octogonale de section variable ou en barre de grosseur variable.
Quelques matériaux de récupération peuvent être très utiles ; ils sont même très prisés pour la qualité de leur acier : les vieilles limes usées (outils emmanchés), les ressorts à lame des suspensions de camions et voitures, les tiges de soupapes, les arbres de transmission.

La chauffe et la forge

- Préchauffer lentement les outils pour ensuite les chauffer jusqu'à la température de forge qui est environ 1000°.
- Forger l'outil et s'arrêter vers 700°.
- Respecter un angle de 35° à 30° pour positionner le poinçon sur l'enclume - pour les ciseaux cet angle est plus faible.

Schéma positionnement sur l'enclume



Croquis 41

- La table du marteau doit être parallèle à la face de frappe.
- Toujours tenir le manche du marteau d'équerre à la pièce à forger.
- Et nous répétons, avoir une bonne pince pour que le métal incandescent ne puisse échapper quand l'on frappe.

TABLEAU COULEURS INCANDESCENCES

Rouge naissant	520°
Rouge brun	580°/650°
Rouge foncé	650°/750°
Rouge cerise foncé	750°/780°
Rouge cerise	780°/800°
Rouge cerise clair	800°/830°
Rouge clair	830°/880°
Rouge jaune	880°/1050°
Jaune foncé	1050°/1150°
Jaune clair	1150°/1250°
Jaune	1250°/1350°

Après forgeage réchauffer les parties forgées vers 900° et laisser refroidir lentement avant la trempe.

Remarque

Il est préférable pour affiner l'outil à la lime, à la scie (gradine, grain d'orge) de faire refroidir l'outil dans la cendre pour lui éviter tout risque de trempe - ceci aura pour avantage d'épargner le mordant des limes et scie.

La trempe

La trempe est un procédé qui rend l'acier plus résistant sur la partie en contact avec la pierre:

- préchauffer lentement et chauffer jusqu'à 750°/800° (préférer la température la plus basse possible)
- refroidir l'extrémité de l'outil dans de l'eau (15° de préférence)
- faire revenir la chaleur de l'arrière de l'outil jusqu'à la température de revenu désiré
- stopper le revenu dans de l'eau
- laisser reposer et refroidir l'outil debout dans une flaque d'eau.

Pour les pierres genre granit, la température de revenu est de 220° à 230° - pour les pierres marbrières, 250° à 260°
- pour les pierres tendres, 280° à 300°

COULEURS TEMPERATURES REVENU

Jaune blanc	210°
Jaune paille	220°
Jaune	230°
Jaune foncé	240°
Jaune brun	250°
Brun rouge	260°
Pourpre	270°
Violet	280°
Bleu foncé	290°
Bleu de bleuet	300°
Bleu clair	310°
Gris	330°
Vert	350°

Notes - Un autre procédé de trempe préférable pour les panes (taillant, ciseau, gradine, grain d'orge) qui donne une trempe plus homogène :
- tremper à l'eau le bout de l'outil
- laisser sécher
- tremper dans du suif, emflammer au-dessus du feu (opération à faire sans vent)
- quand la flamme vacille, arrêter le revenu dans l'eau pour les pierres dures, quand la flamme vient juste de s'éteindre pour les pierres tendres.

3. LA MANUTENTION DES BLOCS

Dans le métier cette manutention s'appelle "*bardage*". Pour le bardage des blocs beaucoup d'ateliers sont équipées d'un palant électrique sur glissière avec télécommande, dans ce cas le bardage des blocs pose moins de problème. Mais il faut toujours garder dans l'idée que le premier souci est *la sécurité* lors de toute manipulation même pour de petits blocs.

Le tailleur de pierre ne dispose pas toujours de cette appareillage moderne et doit souvent barder les blocs sans beaucoup de moyens, d'où la nécessité de procéder avec encore plus d'attention toujours dans le souci de la *sécurité*.

Si le bardage est effectué par plusieurs personnes, chacune doit être constamment attentive à la manoeuvre.

Le bardeur a à sa disposition un matériel simple.

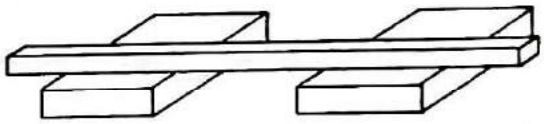
La pince : barre d'acier qui sert de levier pour soulever le bloc; elle possède ou non un talon.

Le roule : bois rond de longueur et diamètre variables, sert à faire rouler les blocs.

Le cric : cric à manivelle démultiplié, permet de soulever une grosse charge.

Les bois : bastins, madriers, cales, etc..., toutes sortes de bois pour glisser, rouler, caler, bloquer, etc...

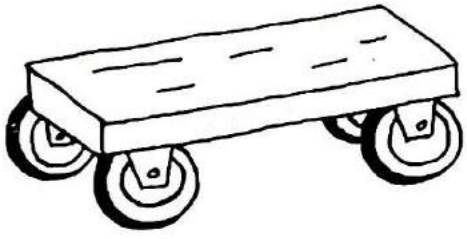
Nota : Faire très attention à la pose des cales. Jamais debout ni sur champs.



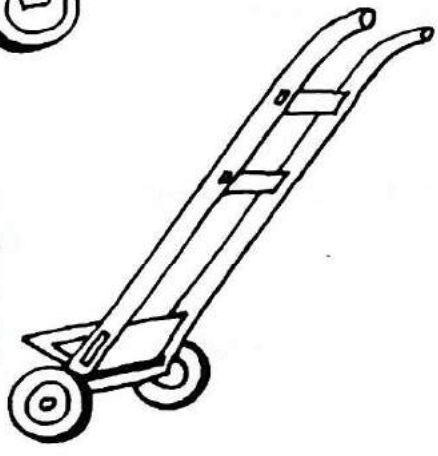
Croquis 42

Le chariot : 4 roues individuelles éventuellement orientables ou 2 cylindres de bois parallèles, maintenus par un bâti. Les cylindres percés sur leur diamètre sont actionnés par la pince qui se place dans les trous.

Le diable : bâti en bois avec 2 roues dépendantes non orientables.



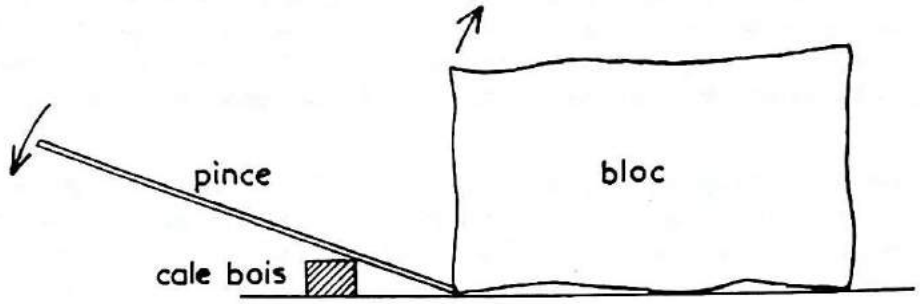
chariot à 4 roues



diable

Croquis 43

Pour soulever un bloc avec la pince

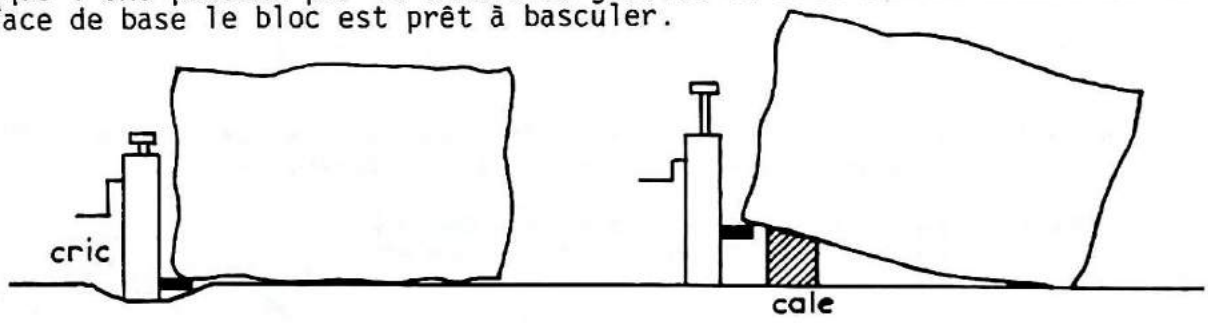


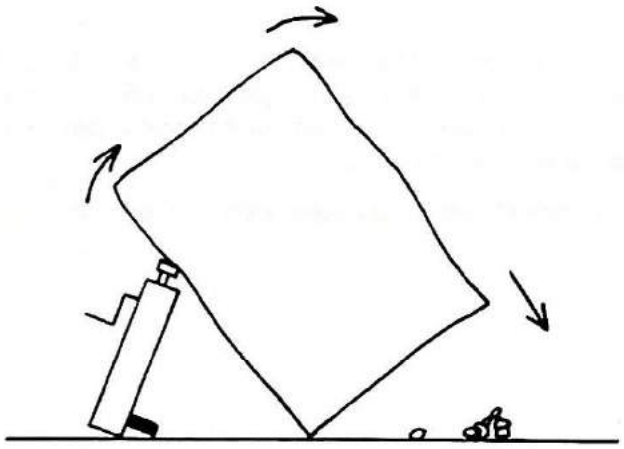
Croquis 44

plus la pince est longue, plus le bras de levier important donc capable de soulever un poids important.

Faire quartier à un bloc avec le cric. Lever en plusieurs fois en calant pour se reprendre.

Lorsque l'axe passant par le centre de gravité du bloc est en dehors de la surface de base le bloc est prêt à basculer.

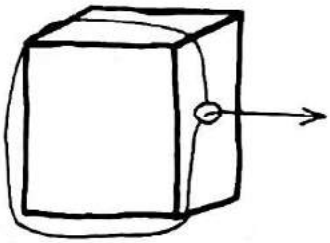




Croquis 45

L'on peut amortir sa retombée en plaçant un petit tas de blocs de pierres tendres à l'endroit où il va se poser.

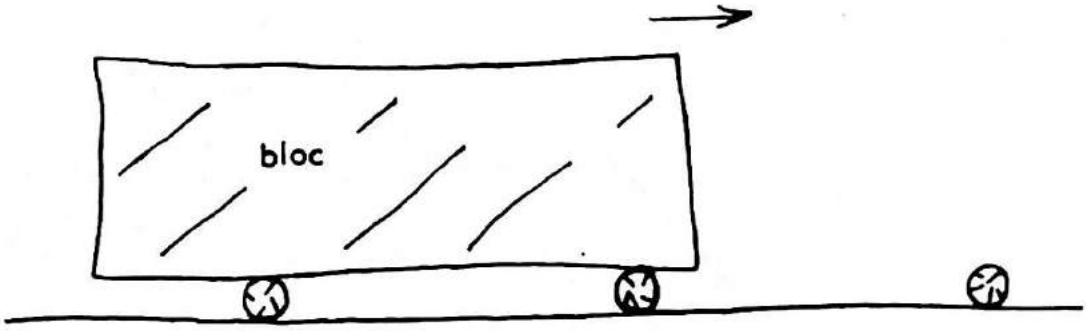
Pour soulever un bloc on peut aussi utiliser une chaîne.



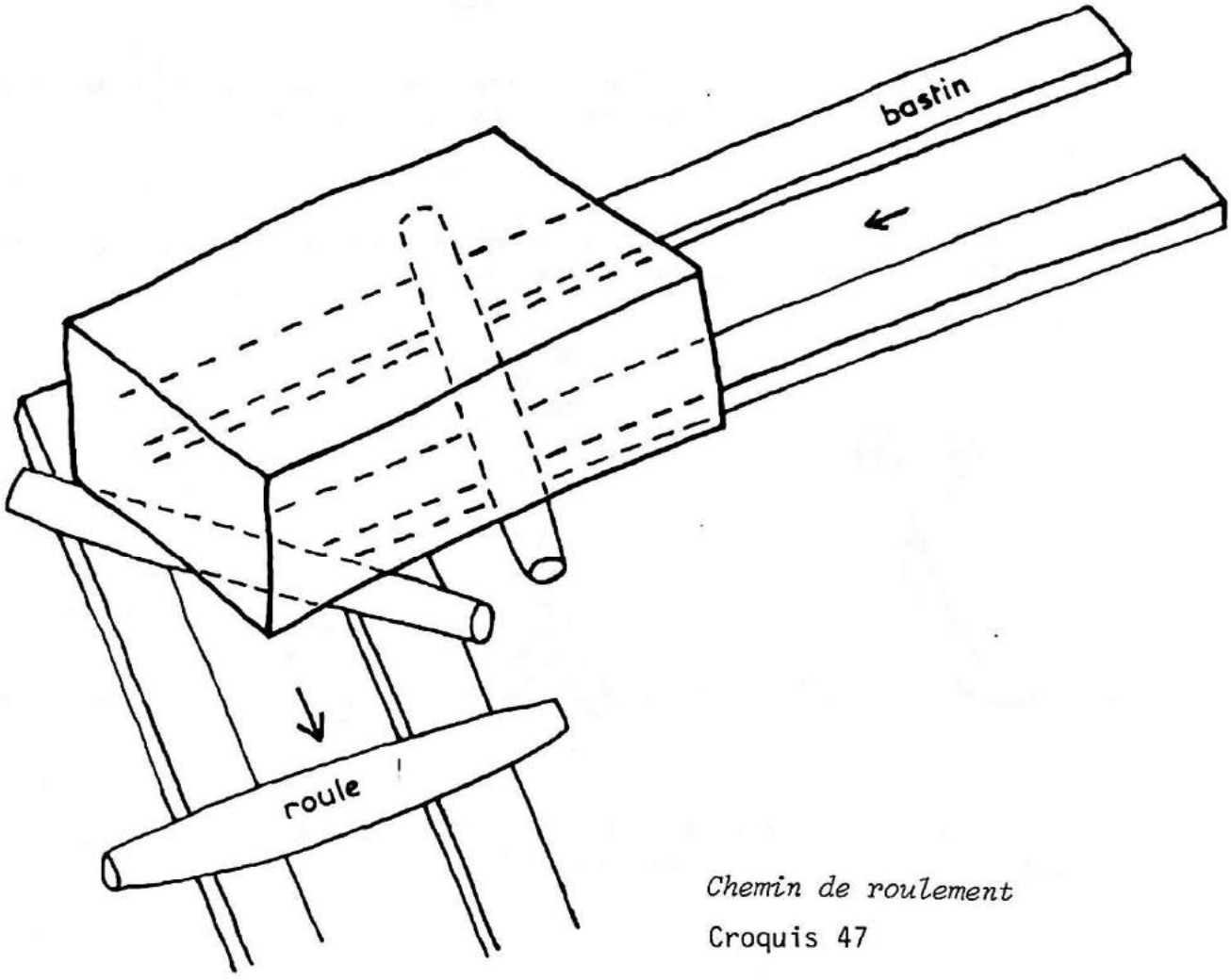
Croquis 46

Les moyens de transport

- Pour transporter un bloc sur sol lisse.



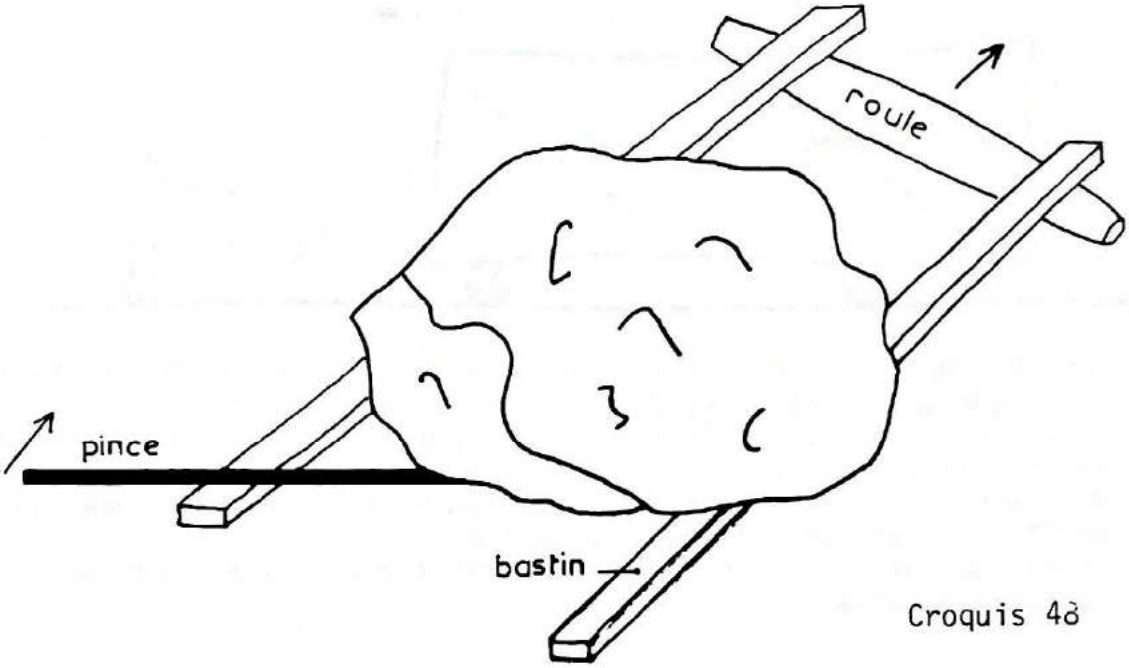
- Sur sol impraticable il est préférable de faire un chemin de roulement, quelques bastins et 3 roules. Le premier roule étant au milieu, basculer le bloc vers l'arrière et engager le second roule à l'avant, avancer le bloc ; quand le bloc arrive en bascule, dégager le roule de l'arrière et mettre le troisième roule à l'avant, recommencer l'opération autant de fois que nécessaire.
  Le virage sur le chemin de roule s'effectue en plaçant les roules sur le rayon du virage.



Chemin de roulement

Croquis 47

Lorsque le bloc n'a pas de face suffisamment lisse pour permettre un roulement, il existe le "poulain" :



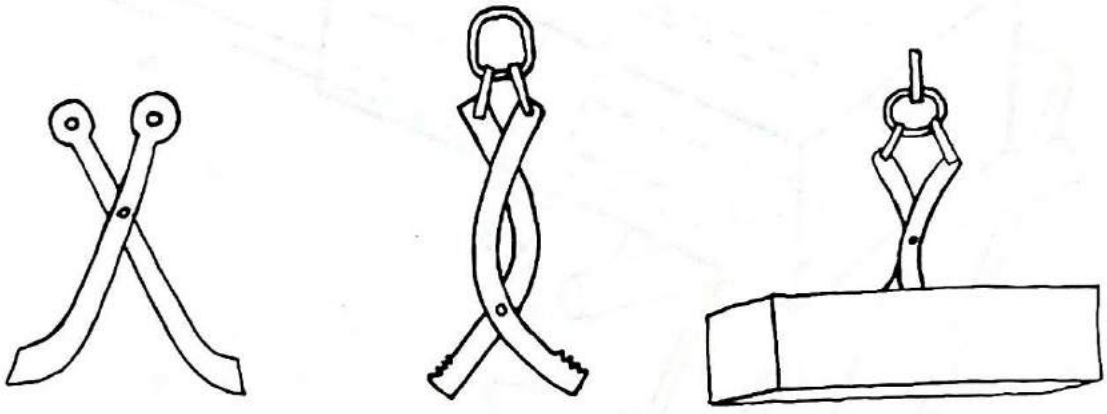
Croquis 48

2 bastins placés sous le bloc - faire reposer les 2 bastins sur 1 ou 2 roules (avant-arrière), avec la pince faire avancer le bloc.

Les moyens de levages.

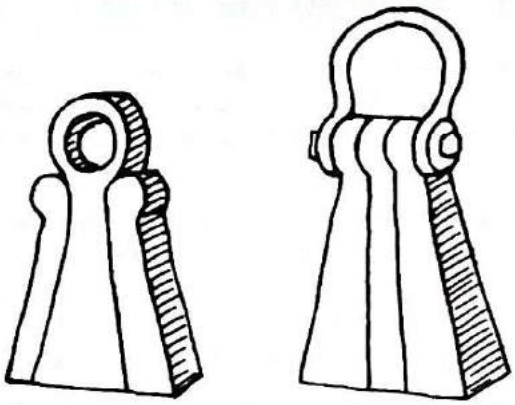
La louve est un outil de fer qu'on place dans un trou pratiqué dans le lit d'une pierre et qui sert à la soulever.

Il en existe à 2 branches.



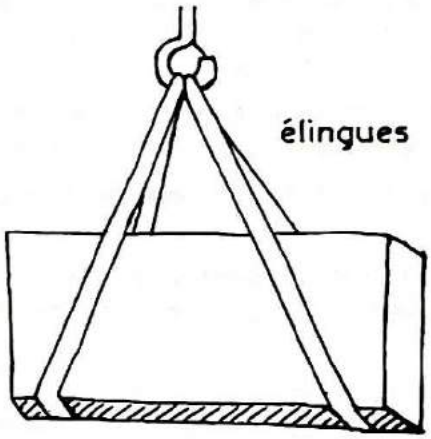
Croquis 49

Il en existe également à 3 pièces dont 2 coulissent le long de la pièce centrale mais elles ne sont plus utilisées.



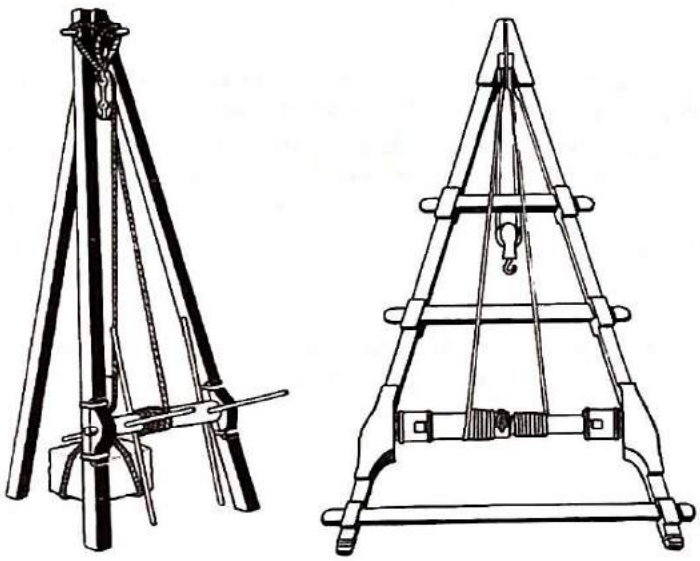
Croquis 50

Il est possible et plus simple d'utiliser des élingues qui sont des cordage ou chaînes terminés par une bouche ou un crochet et s'accroche facilement au palan ou autre appareil de levage.



Croquis 51

Le bloc une fois pris solidement par les élingues ou les louves peut être levé - soit par le palan qui est un assemblage de poulie et de cordage (chaîne) permettant de lever de lourdes charges car démultiplié. Il faut que celui-ci soit accroché solidement - ou bien par : la chèvre qui est composée de deux pièces de bois qui forment un triangle muni d'une poulie au sommet et d'une espèce de treuil à la base pour lever le fardeau.



Chèvre à 3 pied appelé pied de chèvre

Croquis 52

4. LES METHODES ARTISANALES DE TAILLE

Le tailleur de pierre doit exécuter des opérations variées pour transformer un matériau pierre en une forme correspondant à son besoin ; il dépendra du type de maçonnerie et d'appareillage de fixer la forme des blocs.

. Nous ne parlerons pas pour ce qui est de la taille, des maçonneries dites tout venant ou opus-incertain car justement dans ces maçonneries les pierres s'emploient et se posent comme elles sont, sans façonnage particulier. L'habileté du maçon permettant de lier les pierres entre elles pour en faire un ensemble solide.

. Nous nous pencherons sur deux types de taille, à savoir :

- la taille de moellon à parement éclaté et faces à peu près d'équerre
- la taille d'un bloc à face plane et parfaitement d'équerre.

Nous pensons, en traitant de ces 2 types de façonnage très usité, donner une vision assez claire de l'abc du métier. En effet le parallélipipède plus ou moins régulier et parfait est la base de réalisation plus complexe comme les corniches, appui de fenêtre, moulures, etc...

Dans un premier temps nous précisons que la première opération lors de tout commencement d'un travail sur une pierre est son *examen attentif*.

- Apprécier et mesurer la pierre pour savoir si le volume désiré est contenu dans la pierre.
- Un examen visuel de la pierre pour déceler des éventuels défauts (veine, trou, manque d'homogénéité) qui contrarieraient la bonne marche du travail.
- Faire sonner un outil de métal sur plusieurs endroits de la pierre pour entendre si le son se propage bien et reste clair (dans le cas d'un son creux, se méfier d'un défaut), cette méthode venant en aide à ce que l'oeil ne peut déceler.
- Repérer les lits de formation en carrière (s'il y en a).

Toutes ces précautions ne doivent pas être négligées car elles donnent une meilleure connaissance et un "bon senti" du bloc, ce qui peut éviter les risques de casse. Une fois ce tour d'horizon effectué, la pierre peut être façonné en connaissance de cause.

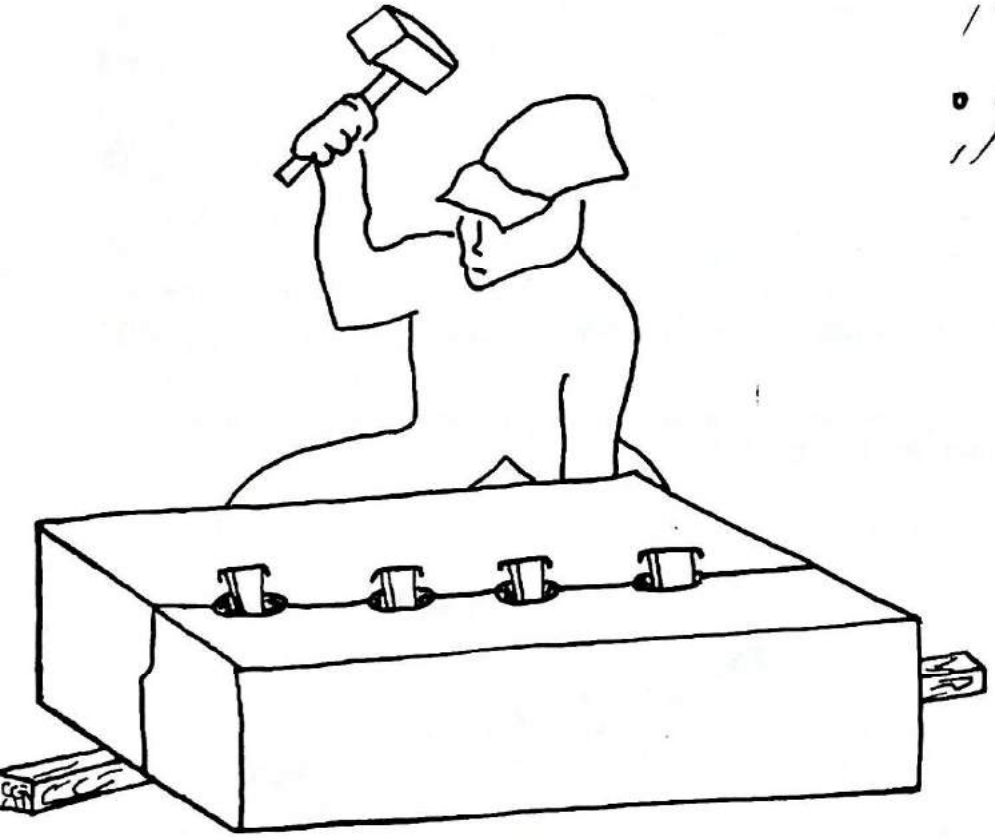
Le débitage

Il est quelquefois nécessaire de procéder à des coupes ou des refentes d'un gros bloc pour disposer de blocsde dimension désirée. Dans un atelier artisanal il est courant de trouver des scies mécaniques pour la pierre tendre, par contre pour la pierre dure l'on a encore recours à la méthode du tranchage par coin déjà présentée dans son principe "débitage primaire" - cf. Chapitre II.1.3.

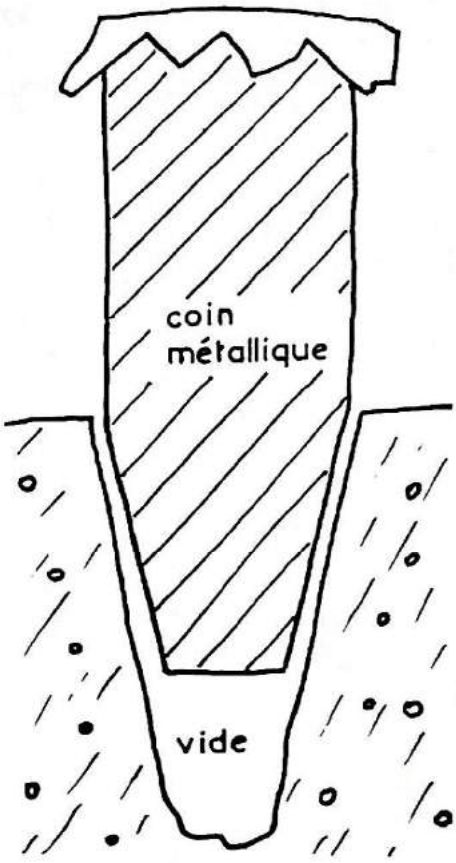
a) Le tranchage par coins.

La pierre dure ne peut être scier par des machines ; le tailleur dispose, comme le carrier, de coins métalliques qui lui permettent de fendre la pierre. Voici la méthode :

- tracer la coupe à faire et mettre le bloc sur un bois de manière que le bloc repose sur le bois dans le prolongement de la cassure souhaitée ;
- tous les 20 cm environ, faire un trou avec la pointe dans lesquels se logeront les coins (voir croquis) ; veiller à ce que les coins ne touchent pas le fond.
- placer les coins et frapper dessus alternativement (voir croquis).
- laisser travailler la pierre quelques minutes, la pression des coins s'exerce pendant ce laps de temps.
- refrapper, le bloc doit se fendre.



Croquis 54



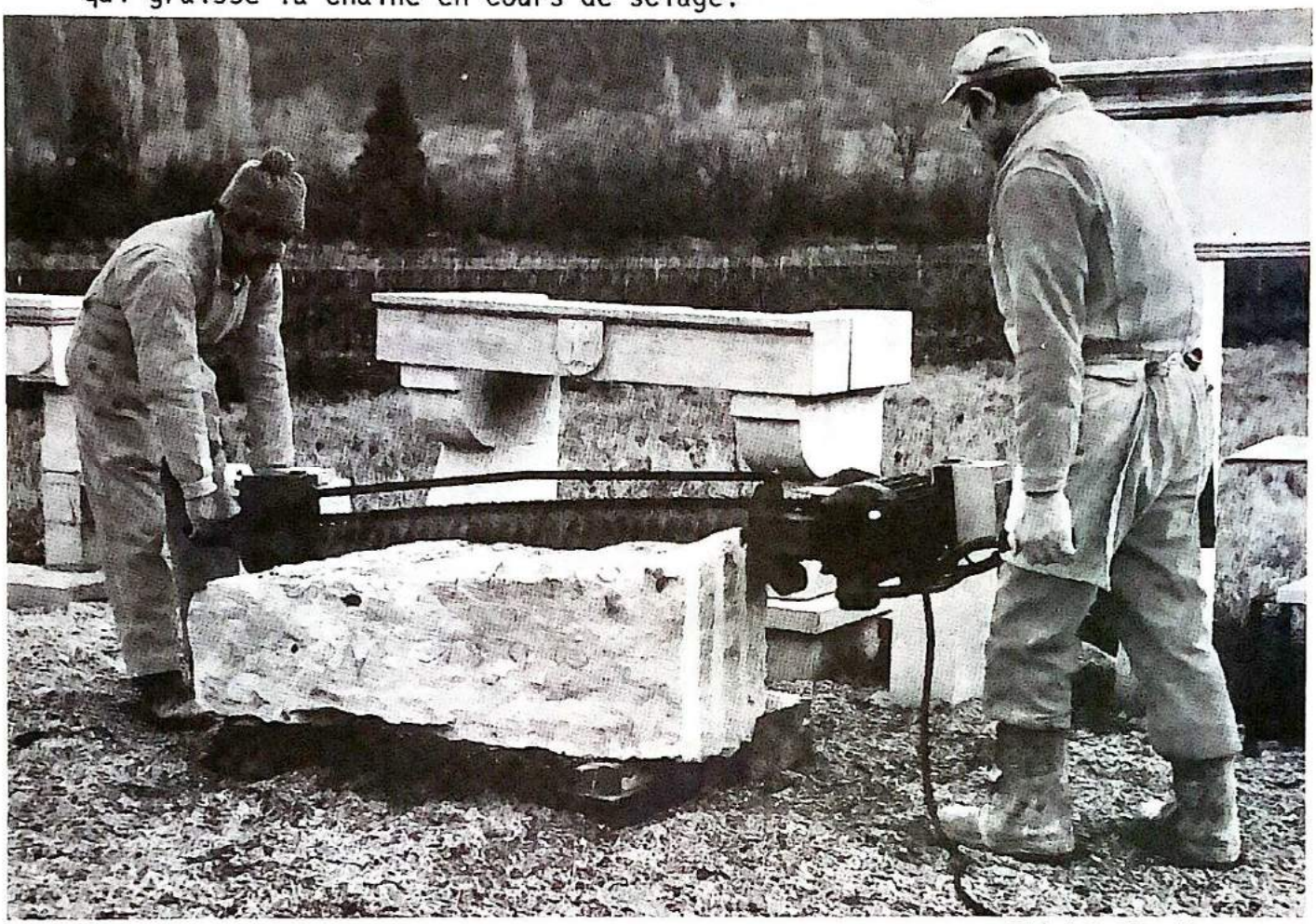
Coupe du positionnement du coin dans la pierre - grandeur réelle.

Croquis 53

Remarque : le bois placé sous le bloc guide la cassure ; quand un coin saute de son logement, lorsqu'on le frappe, c'est qu'il touche le fond et rebondit ; il faut alors recreuser le fond pour que la pression du coin puisse s'exercer.

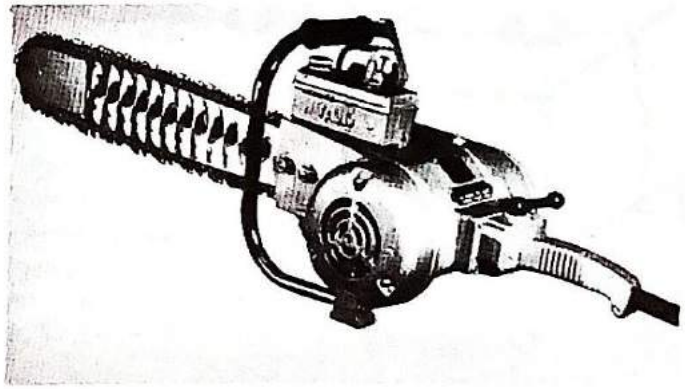
b) Coupe à la scie mécanique (pierre tendre)

Se manie le plus souvent à 2 personnes et fonctionne soit avec un moteur électrique soit à essence. La chaîne qui scie est en acier avec des pastilles de carbure de tungstène soudées. La longueur de coupe varie suivant les modèles, de 125 cm à 300 cm; elles sont munies d'un réservoir à huile qui graisse la chaîne en cours de sciage.



Cliché 59. Vamo

Il existe également la tronçonneuse; elle se manie par une seule personne et ne permet que des coupes de 50 cm.



cliché 60. Vamo

Débitage pierre calcaire - Rodriguez, Ile Maurice Cliché 61 Keith J. Eaton

c) *Depuis l'Antiquité* le débitage des matériaux naturels se fait à *la scie à main* :

. passe-partout denté (à 2) pour les pierres tendres, ou crocodile se maniant à une seule personne
. lame sans dent, sciant au sable additionné d'eau
. abrasifs que l'on met dans les creux de la scie pour augmenter le mordant du fer sur la roche, pour les pierres dures et marbres.

Pour augmenter la productivité par le moyen le plus simple, la multiplication du nombre de lames en fonctionnement dans le même temps:

- on crée donc des scies multiples, simples cadres en bois munis de plusieurs lames, guidés dans leur mouvement alternatif de va-et-vient par 4 montants de bois et suspendus au moyen de cadres ou de chaînes
- des machines capables de débiter un bloc, simultanément en plusieurs dalles ou tranches
- des *châssis de sciage* légers entraînés à bras d'homme.

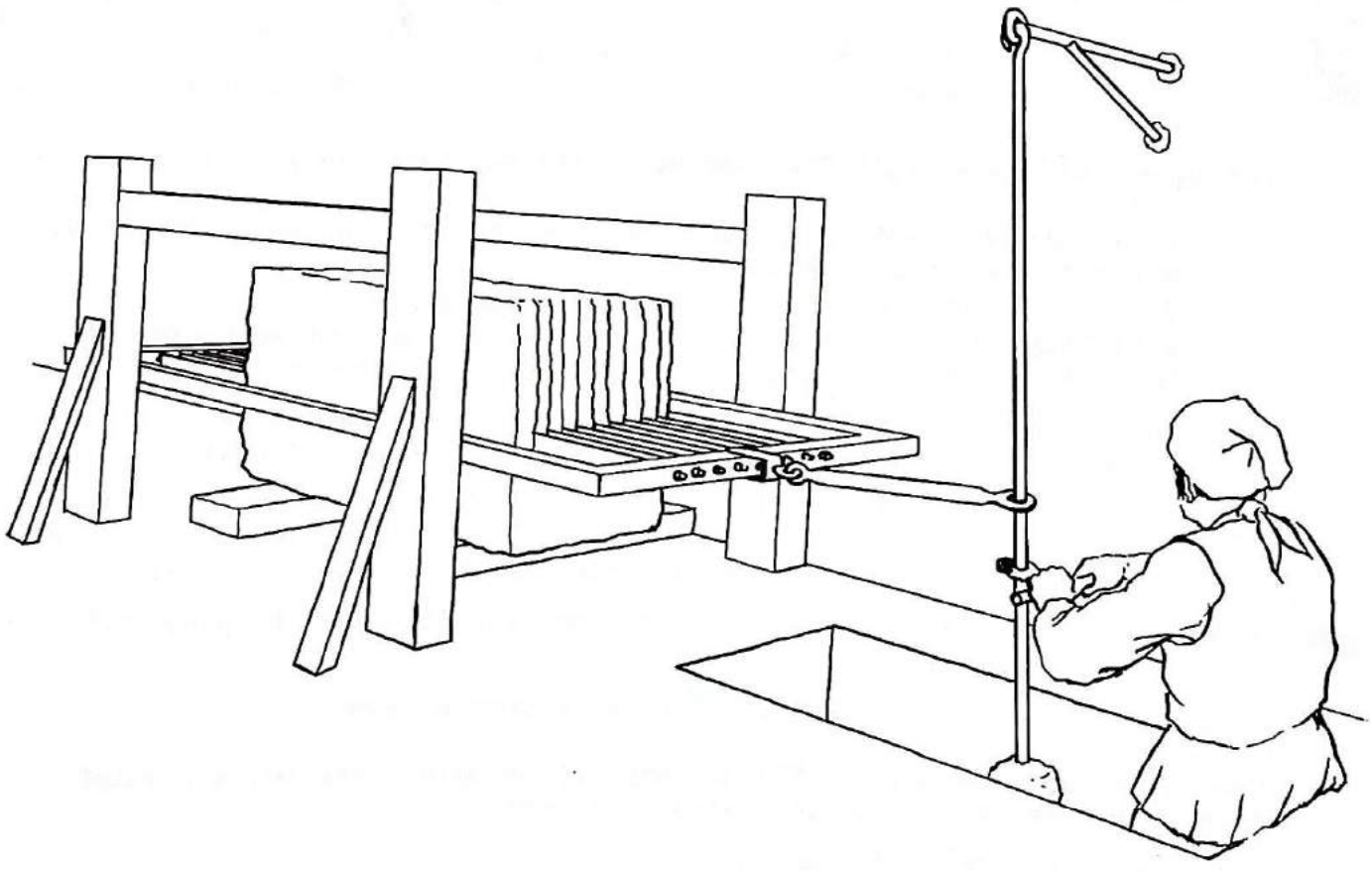
Permettant un gain appréciable de temps et de main d'oeuvre, une adaptation mécanisée de la scie ordinaire utilisant

. l'énergie naturelle du courant d'eau,
. ou la mise en mouvement par des animaux de trait (cheval,...)
. ou encore une autre force motrice, le vent.

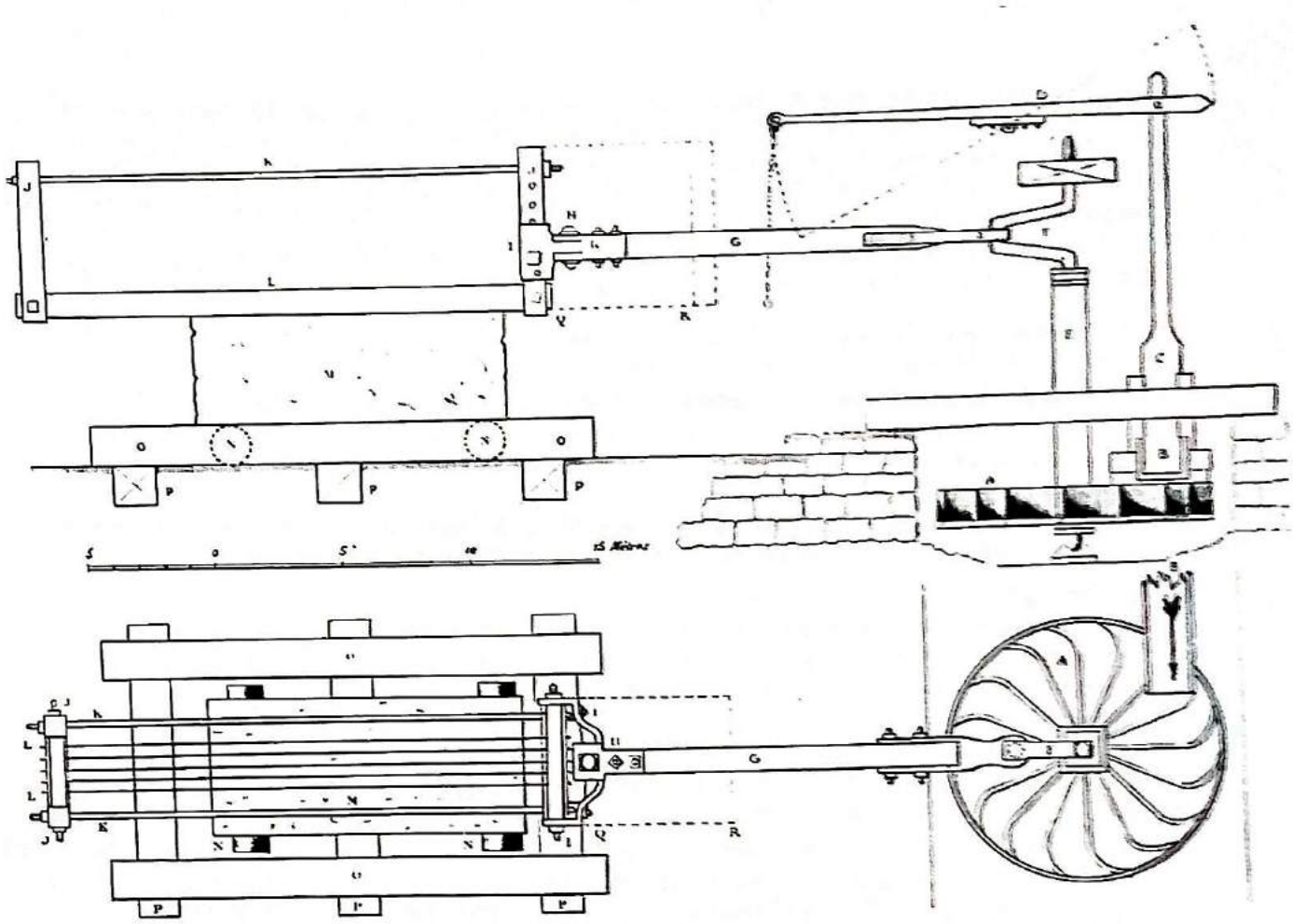
Pour ne pas augmenter de trop la résistance au tirage, on est contraint de ne monter qu'un nombre assez restreint de lames (5 à 6). Les blocs débités sont étroits, donc un volume restreint, ce qui a pour avantage de faciliter les manutentions de mise en place et de permettre l'utilisation directe (sans les refendre) de blocs de pierres extraites suivant leur lit de carrière.

"Le châssis à bras"

Le simple croquis reproduit ici a été exécuté d'après un schéma de Brard. C'est l'un des fameux châssis à bras, comme il en existait beaucoup au XVIIIème siècle et jusque dans les premières années du XIXème. Le bâti de sciage est absolument ordinaire et semblable à tous ceux de l'époque ; système de mise en mouvement du cadre porte-lames, basé sur le principe du balancier. Le levier de manoeuvre est accroché à une potence en fer (fixée dans le mur) et dans laquelle il s'articule librement ; ce levier, conçu le plus long possible, se prolonge au-dessous du niveau du sol dans une fosse creusée à cet effet, et se termine par une masse de plomb qui fait office de volée. Ainsi se trouve quelque peu facilité le fort pénible travail de mise en mouvement du cadre.
"Par le moyen de cette scie, un bloc de marbre ou de toute autre pierre, placé sur 2 pièces de bois et fixé solidement entre 2 poteaux peut être débité, par un seul homme, en plusieurs plaques à la fois".



Croquis 55 *Le Mausolée*



Croquis 56

LE CHASSIS A EAU

Le châssis que voici est présenté par C.P. Brard dans son "Traité des Pierres Précieuses" édité en 1808. Il s'agit de la fameuse scie à eau des Marbriers de Grenoble datant de la fin du XVIIIème siècle, début du XIXème.

"Elle est composée d'une roue à eau, horizontale, à 16 augets ou cuillers A, qui est mise en mouvement par un courant d'eau qui se précipite dessus par le moyen d'un petit canal incliné de 45 degrés B ; cette rigole est garnie d'une écluse C qui donne ou ôte l'eau à volonté, par le moyen d'un balancier et de la chaîne D. La roue A est traversée par un arbre vertical E surmonté d'une manivelle coudée en fer F, qui s'adapte à l'extrémité a de la tiraille G.

La même pièce de bois G tient à l'anneau I par la charnière H et le collier I emboîte les deux montants de la scie jj, et il est fixé au moyen d'un boulon, de manière qu'à mesure que la scie descend, on peut le monter successivement dans les trous 1, 2, 3, pour maintenir la tiraille dans une position toujours horizontale. Les quatre montants jj, assujettis en haut par deux tendeurs k k, k k, à vis qui en même temps, servent à maintenir les 5 lames de scie ll dans une position parfaitement parallèle.

Le bloc de pierre M est posé sur 2 rouleaux NN, assujetti avec des coins entre le cadre OO, qui lui-même repose sur 3 pièces de bois, P, P, P. Q et R représentent le chemin que fait la scie, lorsque la machine est mise en mouvement par le courant d'eau qu'on retient ou qu'on lâche à volonté.
Les dessins présentés ici sont des schémas simplifiés de la machine. Des proportions normales pour un châssis :

- longueur des lames 6,50 m et hauteur 30 cm
- longueur de la bielle 6 m environ
- longueur de course des lames : 2 m environ.

"Le châssis à vent" - *pour complément d'information*

- Une tour semblable à celle des moulins à blé, avec toit mobile monté sur roulement et s'orientant dans la direction des vents.
- L'installation intérieure.
  La lanterne A transmet sa rotation à un hérisson horizontal B dont l'arbre et le mouvement sont communs au hérisson C. Ce dernier entraîne la lanterne horizontale G montée sur l'arbre de transmission H, lequel se prolonge à l'extérieur de la tour jusqu'au mécanisme du châssis. Pour assurer la fabrication de différents ciments utilisés dans la construction, le hérisson C n'entraîne pas seulement l'arbre H, mais également trois petits hérissons D (voir simultanément les planches 57 et 58), lesquels font tourner trois meules E qui broient du ciment dans les cuves F. Les figures 8 et 9 de la planche 58 montrent le détail de ces petites meules. Par ailleurs, l'arbre H est muni de trois levées I qui agissent sur les mentonnets K fixés à trois pilons L. Dans le mouvement de rotation de l'arbre les levées soulèvent successivement les trois pilons puis échappant aux mentonnets, laissent retomber les pilons dans des mortiers en fer fondu M, où ils pulvérisent du tuileau.

La mise en mouvement du châssis.

La transformation du mouvement rotatif de l'arbre en un mouvement alternatif de va-et-vient qui entraîne le châssis (voir pl. 58 et 59), se fait au moyen d'un tambour excentrique O, monté sur une broche en métal et qui évolue dans la lumière P (pl. 59) d'un balancier Q. Chaque révolution du tambour excentrique imprime au balancier un mouvement de va-et-vient, lequel sera transmis aux cadres des deux châssis par l'intermédiaire des deux bielles en bois R. Les deux châssis fonctionnent donc simultanément, avec un mouvement parallèle. Il est toutefois possible d'immobiliser momentanément l'un des deux châssis en dégageant la bielle correspondante du tourillon S monté sur le balancier.

Nous noterons à ce propos un détail extrêmement important qui nous révèle la solution adoptée par les anciens pour assurer aux bielles un mouvement à peu de chose près toujours horizontal et cela, malgré la descente du cadre : le balancier comporte deux doubles-tourillons sur lesquels s'accrochent les bielles : l'un est placé au-dessus de la lumière P, l'autre au-dessous (pl. 59) ; de sorte que pour le sciage de la première moitié du bloc on accroche la bielle au tourillon supérieur et lorsque la descente est jugée suffisante, on la passe au tourillon inférieur. (A noter que dans la position basse, la bielle n'a plus qu'une course réduite).

Il est fort possible également, que la position d'attache des tourillons sur le balancier soit légèrement réglable en hauteur, ce qui rendrait le système un peu plus rationnel qu'il n'est en réalité. Comme l'on peut s'en rendre compte en examinant les planches 58 et 59, ces châssis sont de conception extrêmement simple.
Le cadre en bois V coulisse entre quatre montants de bois Z. Les six lames sont fixées à chaque extrémité à une traverse en bois par l'intermédiaire d'un axe et de six étriers de métal. Deux vis avec écrous à oreilles permettent de régler la position de chaque traverse et d'assurer ainsi la tension des lames (fig. 5, 6 et 7 de la pl. 58). D'autre part, le réglage de l'espacement des lames entre elles est assuré par des peignes calibrés (fig. 4).

Le sciage s'effectue avec l'abrasif classique, l'eau et le sable de grès. Cet abrasif est contenu dans les récipients (pl. 58) et on le verse dans les traits de scie au moyen des longues cuillères f. Il est récupéré dans les deux fosses b creusées de part et d'autre des montants.

Les cadres porte-lames sont suspendus par des chaînes à des treuils qui permettent leur remontée lorsque le débitage est terminé.

Dimension de l'installation

. hauteur totale de la tour du moulin - toit compris : 16 m
pour un diamètre extérieur de 8 m à la base.

. diamètre du hérisson C : 1,8 m

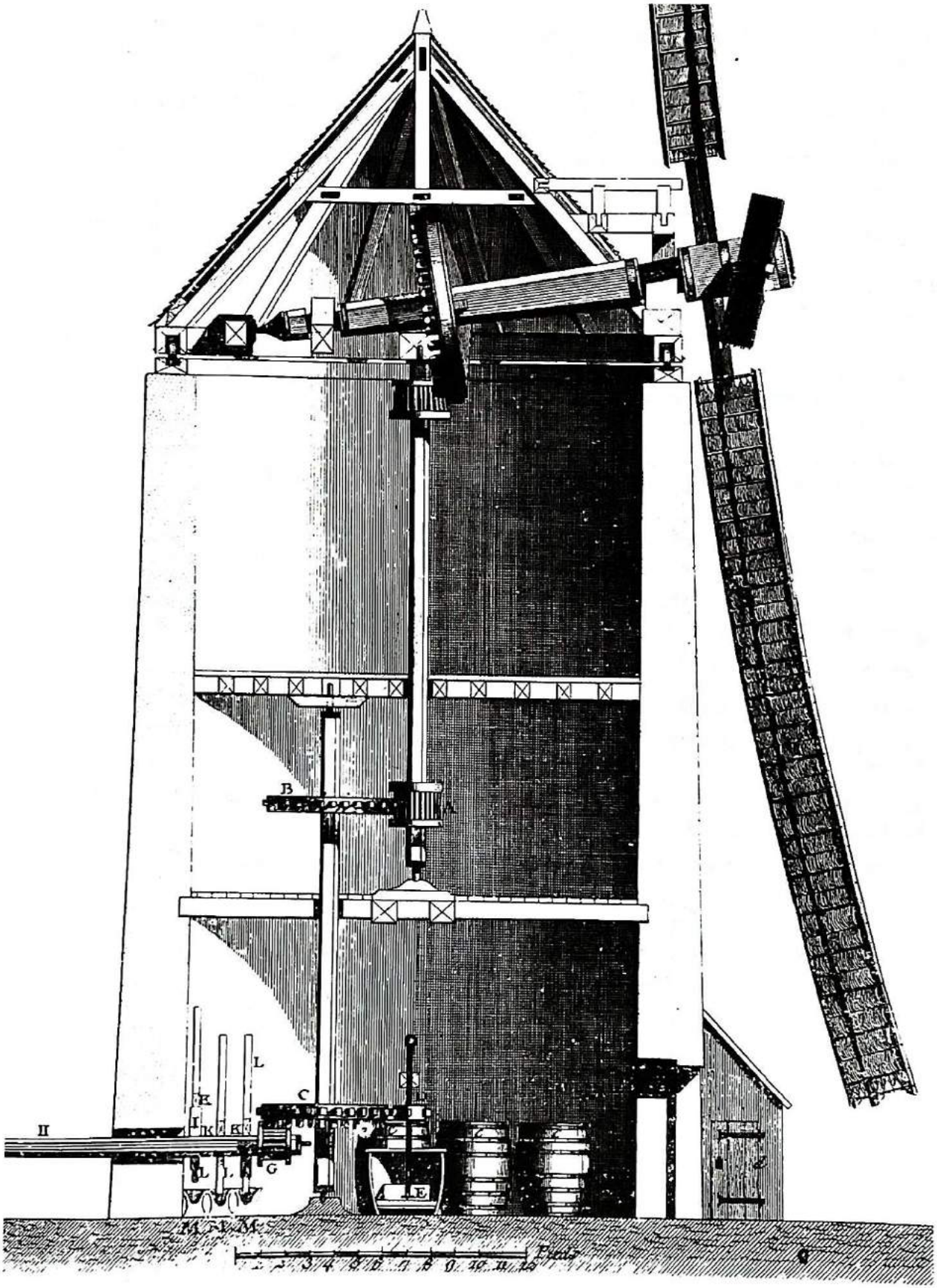
. longueur totale de l'arbre de transmission : 8 m

. hauteur du balancier : 2,80 m

. les cades-portes-lames ont 3,30 m de longueur totale sur 0,70 m de large

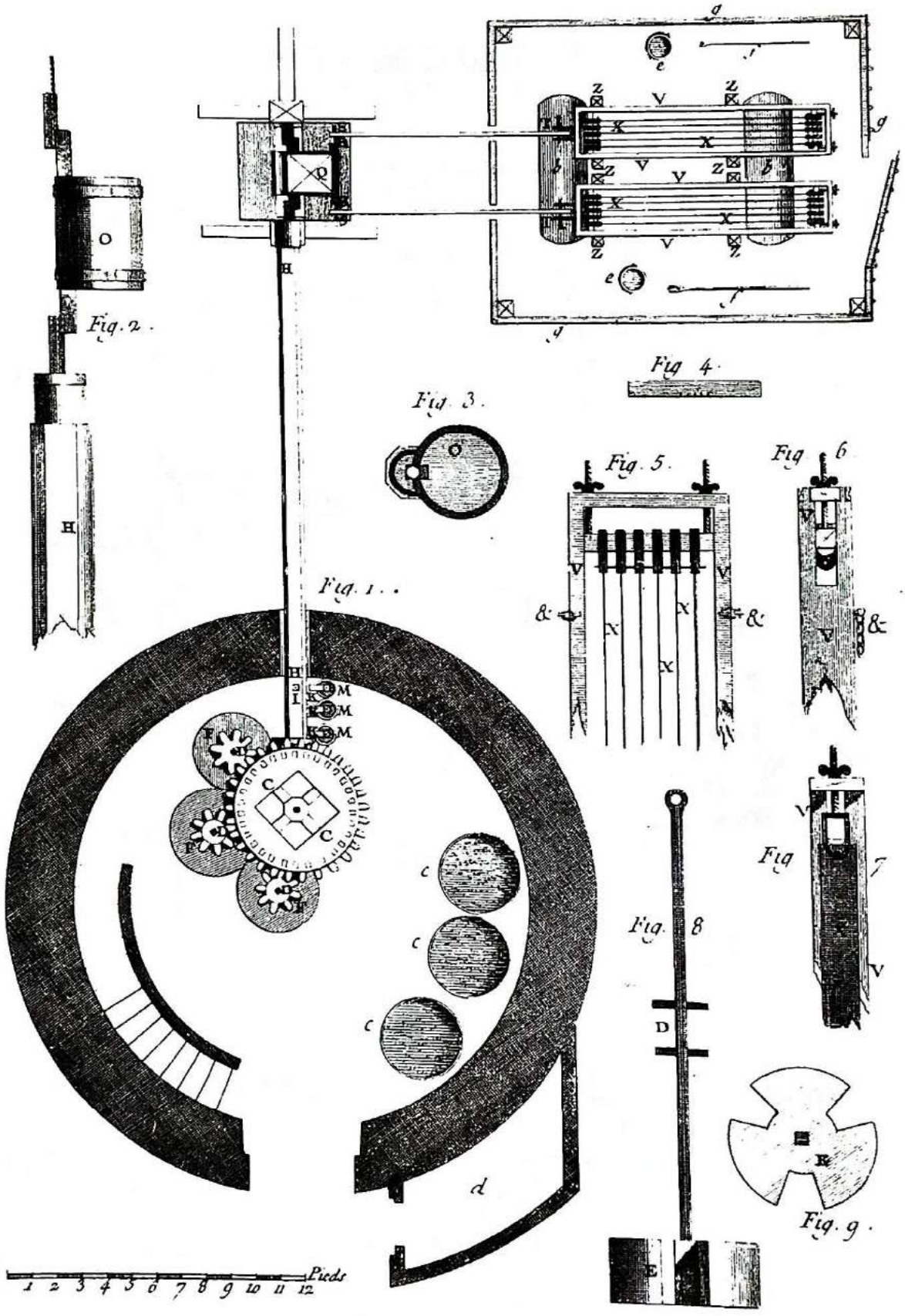
. évaluation approximative de la longueur de course maximum donnée par le balancier : 0,50 m

. la largeur des blocs pouvant être débités ne peut dépasser 0,50 m.



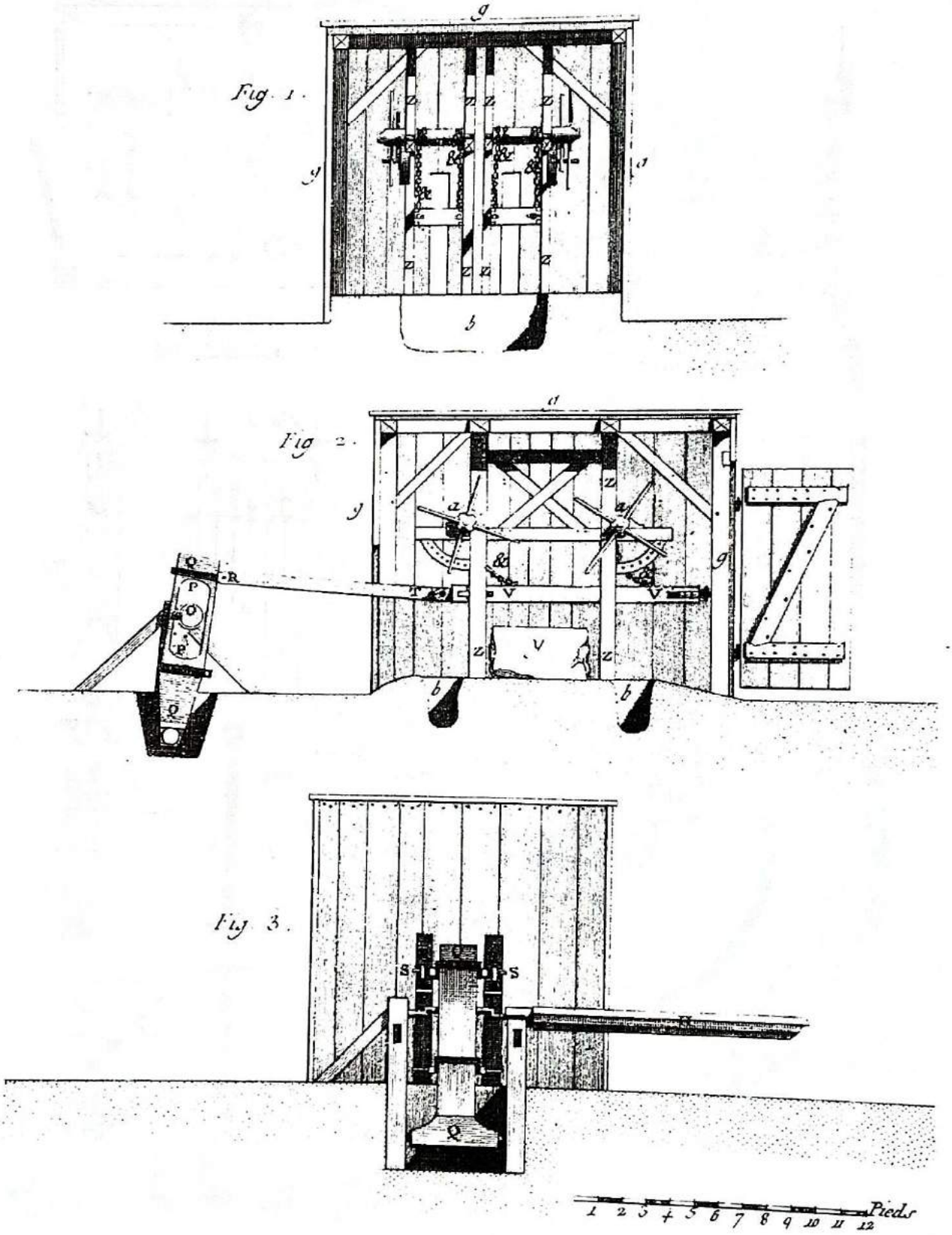
Coupe verticale de la tour du moulin *Le Mausolée*

Planche 57



- *Coupe vue de dessus de l'ensemble de l'installation*
- *Détails de la mécanique de transmission et le système de fixation et de tension des lames*

Planche 58

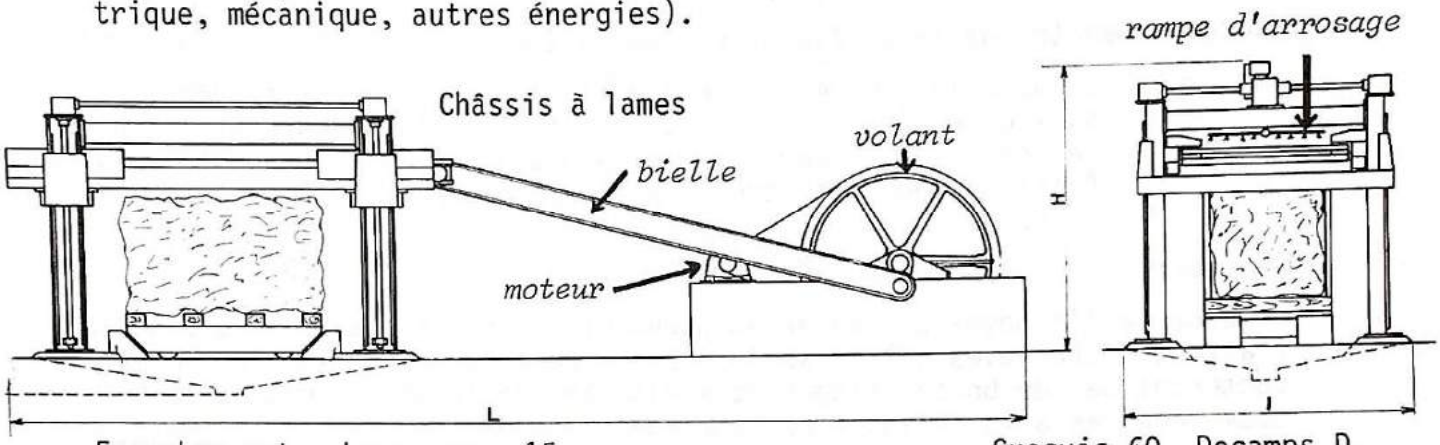


- *2 coupes verticales des châssis dans leurs appentis.*

Le Mausolée

Planche 59

Suivant ces mêmes principes, il y a actuellement des machines très modernes sur le marché mondial - France, Allemagne, Italie, USA, Japon..., dans lesquelles le mouvement alternatif des mains de l'homme est remplacé par un système bielle-volant-excentrique, animé par un moteur (électrique, mécanique, autres énergies).

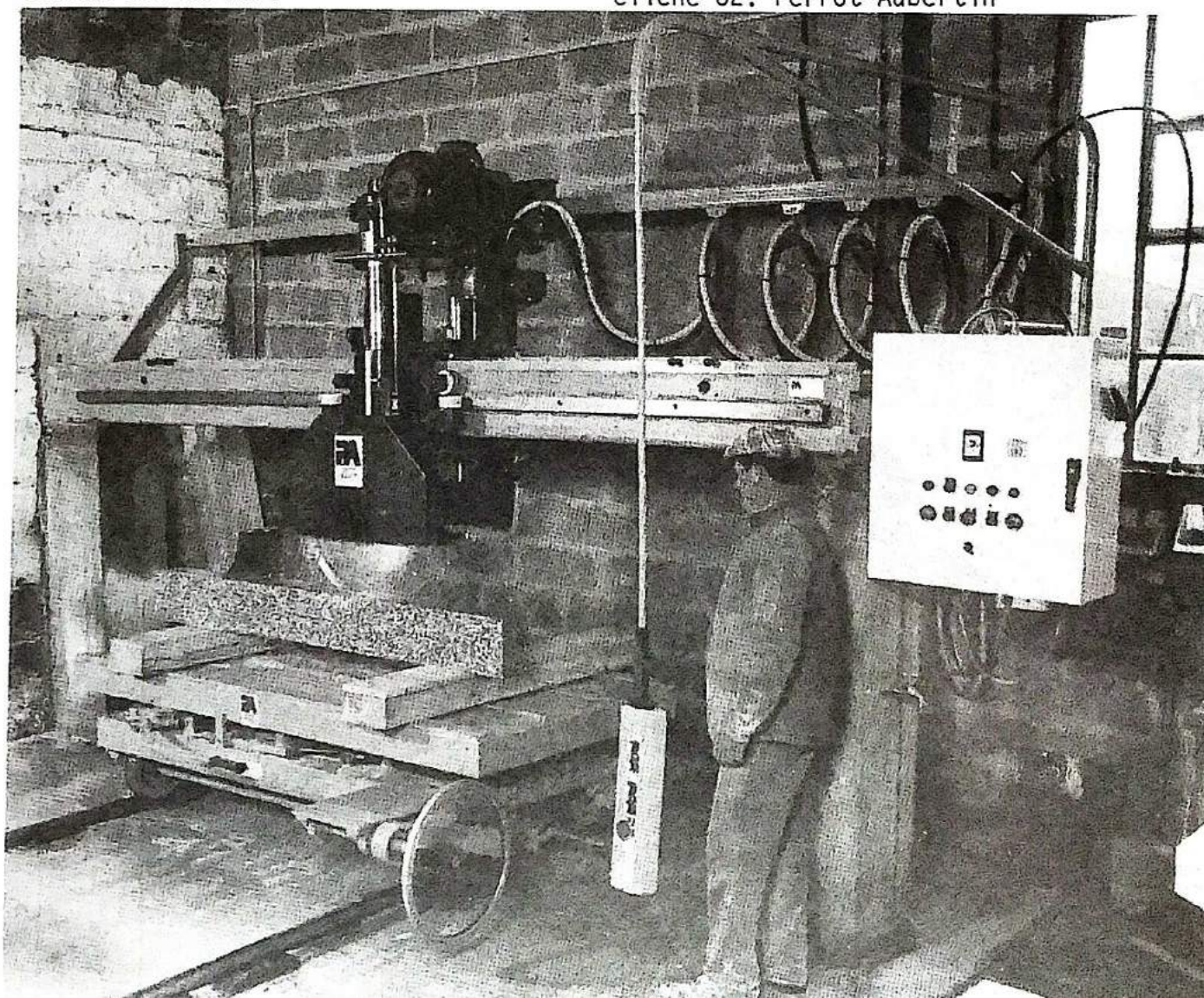


Encombrement : Longueur : 15 m
Largeur : entre 4,60 et 5 m
Hauteur : 4,50 m

Croquis 60. Decamps D.

En restant dans le domaine d'application du principe de sciage, notons qu'il existe des "débiteuses à disques" de conception contemporaine dans lesquelles les dents de scie sont remplacées par des pastilles abrasives de haute qualité (diamant, carborandum) ; les rendements sont considérablement améliorés et les investissements variables en fonction de la hauteur de coupe (diamètre du disque, 30 à 300 cm). Beaucoup de modèles ont été conçus pour une application dans un atelier artisanal, disque, diamètre 30 à 60 cm, pour une hauteur de coupe de 10 à 20 cm ; fabrication de moellons, dalles, jambages... et toutes pièces de revêtement sol et mur.

cliché 62. Perrot-Aubertin



Abordons maintenant *la taille d'un moellon dans une pierre dure ou ferme.*

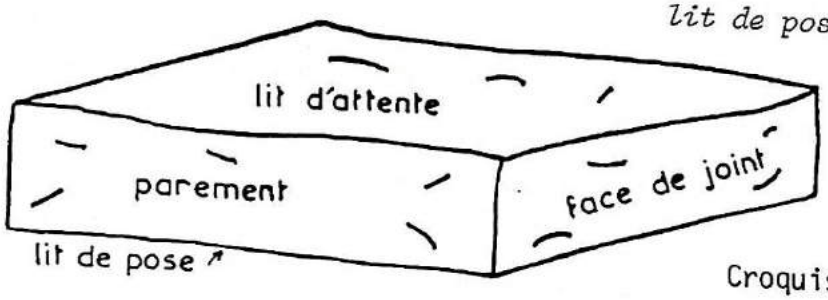
Remarque : Lorsque la pierre est tendre, le tailleur de pierre peut suivre le même processus de taille mais bien souvent il n'a pas cette peine car les moellons sont obtenus "brut de sciage". Cette méthode est donc surtout valable pour la pierre ferme ou dure.

Description du bloc à réaliser

Le bloc taillé devra présenter un parement éclaté et des lits de pose et d'attente parallèles ; les faces seront d'équerre à l'oeil nu et ne présenteront pas de bosses trop fortes risquant de provoquer des porte-à-faux néfastes à la solidité de la maçonnerie.

parement : face vue

lit de pose : face sur laquelle repose le bloc

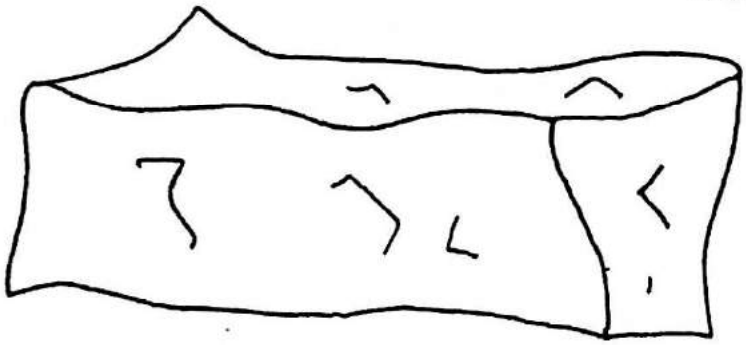


Croquis 61

lit d'attente : face sur laquelle repose le bloc du dessus

Le bloc arrive généralement de la refente d'un bloc (voir technique fente). La pierre se présente sans face plane, d'équerre.

Bloc avant façonnage



Croquis 62

Méthode

1) Le tailleur doit dégager des arêtes qui seront les repères de ses plans. Avec la partie concave du *têtu*, le tailleur enlève la pierre en la faisant éclater, cela permet de dresser grossièrement les arêtes.

Croquis 63

2) Avec la *chasse*, le tailleur d'un geste franc et précis dégage les arêtes de façon plus précise et définitive.

Croquis 64

3) Le tailleur passe les faces à la pointe du *têtu* pour éliminer les bosses trop fortes ; il soigne plus particulièrement les lits de pose et d'attente.
(peut être exécuté avec un pic)

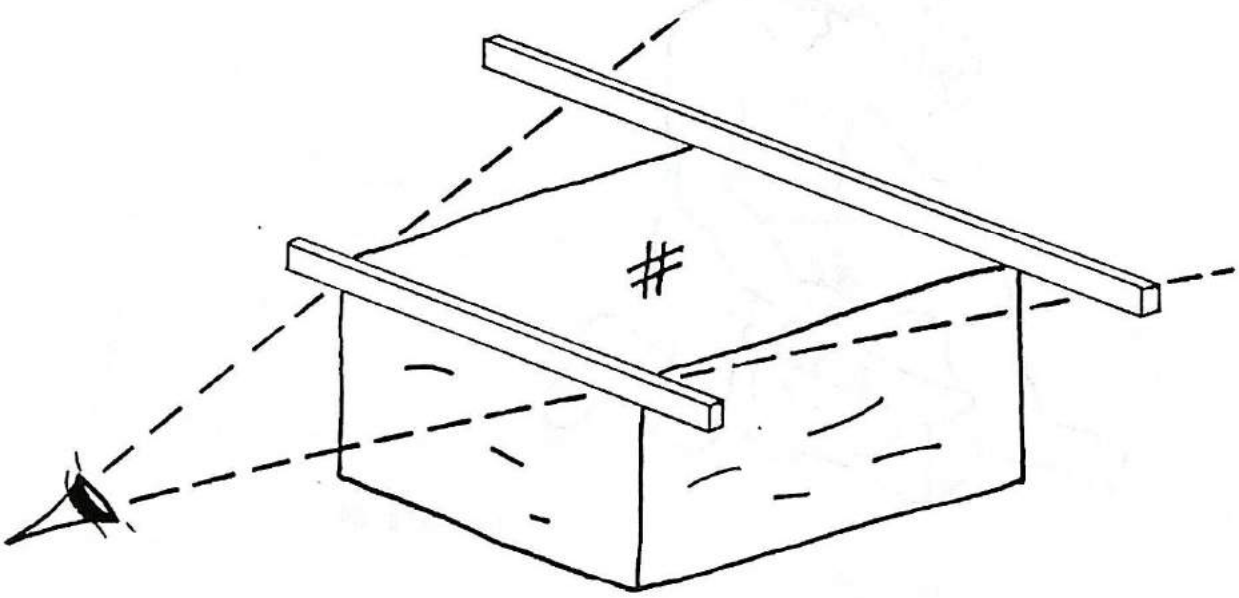
Croquis 65

Ainsi le moellon est terminé et prêt à prendre place dans une maçonnerie.

Nous venons de décrire les principales opérations du façonnage d'un moellon plus ou moins régulier. Voyons maintenant la méthode pour tailler un bloc à face plane parfaite et à angle de 90°, un parallélépipède par exemple.

Le dégauchissage

Le dégauchissage consiste à placer la première règle sur une ciselure bien droite ; on place la deuxième règle à l'endroit désiré et l'on vise vers la première règle en prenant le dessus de l'une et le dessous de l'autre. Quand les arêtes des 2 règles se confondent, il ne reste plus qu'à tracer le plan dégauchi.



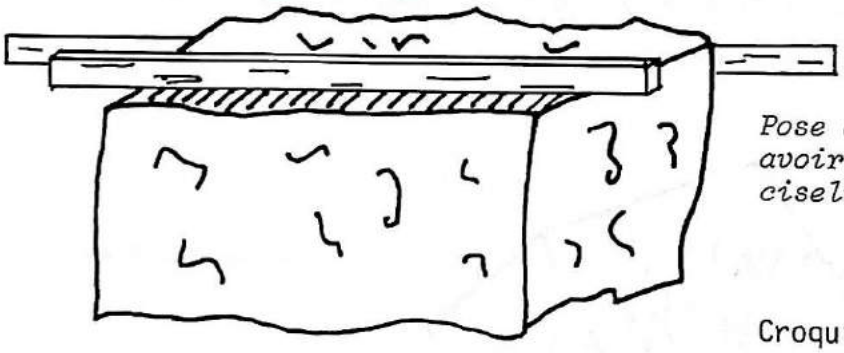
Croquis 66

La taille d'une pierre brute dans le but d'obtenir un parallélépipède parfait.

- Il est nécessaire de préparer une première face plane qui servira de référence et permettra par retour d'équerre de tracer les autres faces. L'on commence généralement par une face parallèle au lit de pose.

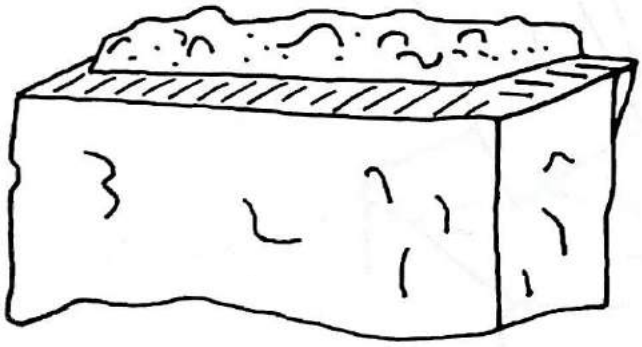
Méthode

- On trace une ligne appelée faux-trait assez basse pour faire disparaître les trous existants dans la pierre brute.
- On exécute une première ciselure qui dégage le faux trait sur une largeur de 10 à 15 cm et l'on finit la ciselure définitivement.
- On dégauchit à l'aide des 2 règles (voir plus haut) ce qui permet de tracer une ciselure parallèle à la première. On exécute cette deuxième ciselure.
- On trace et exécute les 2 ciselures qui rejoignent les 2 premières.
- Il ne reste plus qu'à éliminer la pierre débordant les ciselures.



Pose des 2 règles après avoir fait la première ciselure

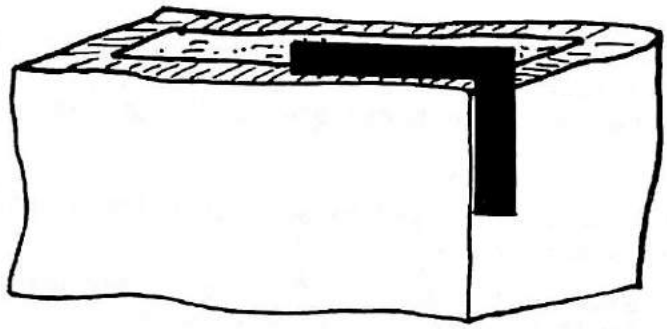
Croquis 67



Les 4 ciselures sont faites

Croquis 68

- Une fois obtenue cette première surface plane, le tailleur peut tracer les autres ciselures à la dimension. En plaçant son équerre sur la face de référence, il peut tracer les 4 faces perpendiculaires à la face de référence. La face parallèle à la face de référence étant obtenue par retour d'équerre des 4 autres faces. Une fois obtenues les 4 ciselures marquant uneface, il doit enlever ce qui dépasse.



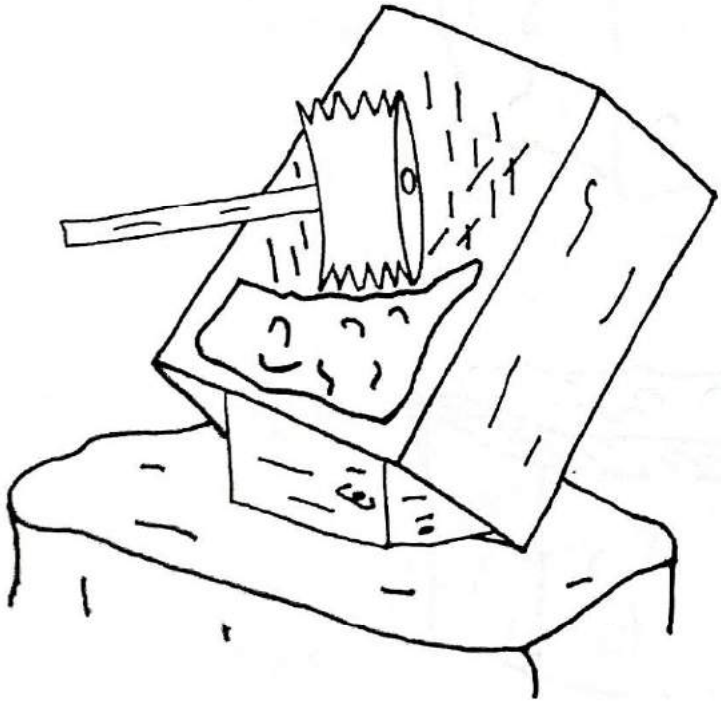
Pose de l'équerre sur la première face de référence.

Croquis 69

Comment enlever la pierre ?

Pour la pierre tendre jusqu'à demi-ferme

- la ciselure (qui s'appelle plumée pour la pierre tendre) se prépare au ciseau grain d'orge et se termine au ciseau.
- le rustique enlève le trop de matière qui déborde des plumées.



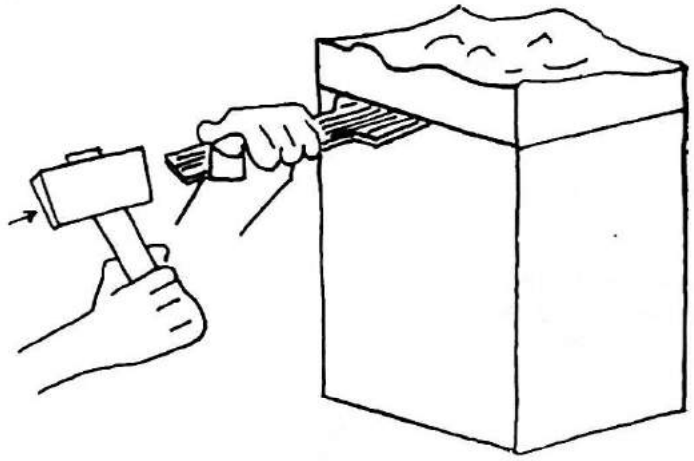
Taille au rustique

Croquis 70

- Le taillant permet d'enlever les coups du rustique.
- Quelques passages de chemin de fer rendent la face parfaitement plane et sans marque de coups d'outil.

Pour les pierres dures

- La ciselure se prépare à la chasse si le plan à dégager est franc.



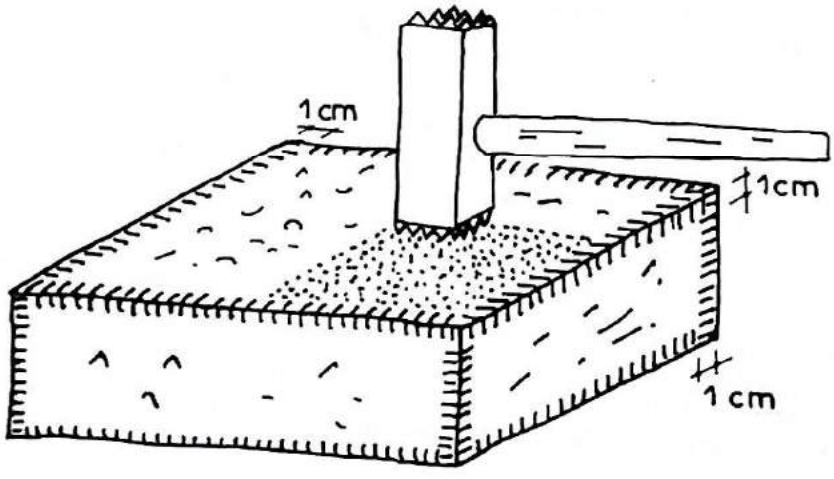
Prendre à la chasse

Croquis 71

- Le faux trait se dégage à la gradine ou au pied de biche. La ciselure se termine au ciseau.
- Ce qui déborde des ciselures s'enlève avec la pointe.
- Si l'on désire une finition plus parfaite, l'on a le choix entre une finition - bouchardée (la plus courante), jusqu'à 1 cm de l'arête
  - smillée
  - polie

voir page suivante

finition bouchardée



Croquis 72

TYPES DE TAILLE

. *Adouci* - parement d'une pierre ou d'un marbre dont les irrégularités ont été supprimées, ne présentant plus que de fines rayures peu visibles à l'oeil.

. *Bossage* - parement brut d'éclatement dont la partie centrale est en saillie par rapport aux arêtes.

. *Bouchardé* - parement présentant des creux réguliers jointifs de 1 à 3 mm de profondeur et de diamètre, disposés en quadrillage.

. *Ciselé* - parement plan comportant de fines rayures parallèles de 1 à 2 mm de profondeur entre lesquelles la matière est brute d'éclatement.

. *Flamme* - parement plan, légèrement rugueux, obtenu en passant un jet de flamme à haute température sur un parement brut. Le choc thermique fait éclater les grains superficiels. Le parement flammé ne peut s'exécuter que sur les pierres à texture grenue.

. *Layé* - parement plan constitué de sillons de 1 à 5 mm de profondeur entre lesquels la matière est brute d'éclatement.

. *Poli* - parement présentant une surface unie brillante, réfléchissant la lumière, sans rayure apparente.

. *Smillé* - parement plan comportant des rayures parallèles de 3 à 7 mm de profondeur, 5 à 20 mm d'écartement, généralement rectilignes, séparées par des petites cassures d'éclatement.

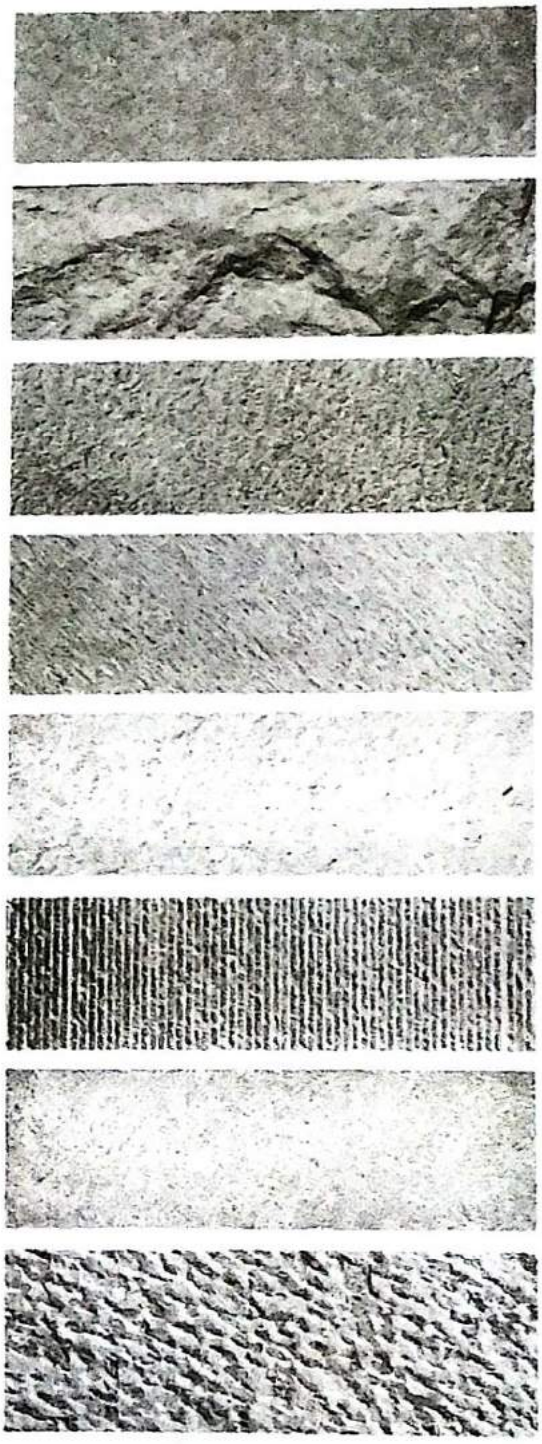


Planche 73

B O R D U R E S

MODES DE TAILLE

A - TAILLE EBAUCHEE

B - TAILLE SMILLEE
(piquée à la pointe)

C - TAILLE BOUCHARDEE

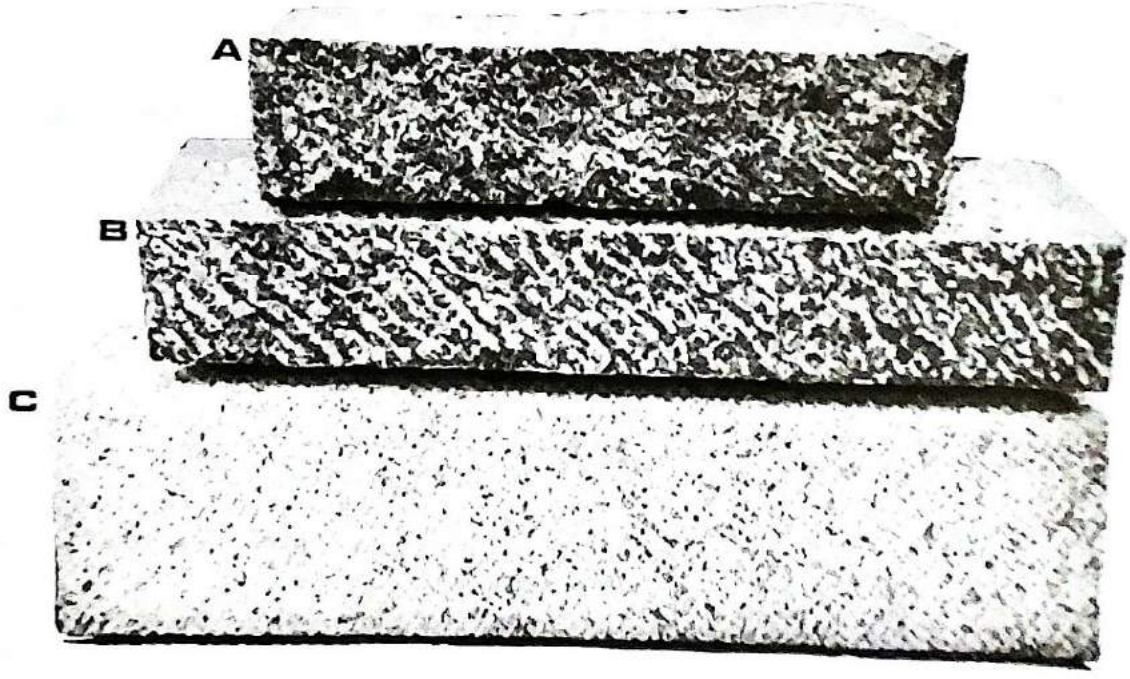


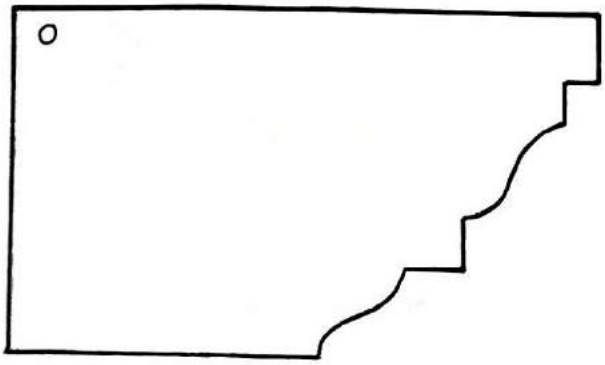
Planche 74

L'artisan tailleur de pierre façonne les moellons, les pierres de taille équarries, mais son travail et ses compétences ne s'arrêtent pas là. Dans une construction, on trouve très souvent une quantité de pierres taillées qui se révèlent plus complexes qu'un simple parallélipipède : ce sont par exemple, le linteau de fenêtre avec ses chanfreins, l'appui de fenêtre avec sa pente et son larmier, la corniche, l'évier. Tous ces éléments sont plus ou moins travaillés, d'un tracé simple ou savant, mais pousse toujours le tailleur de pierre à une plus grande maîtrise de son métier.

Nous ne citerons pas tous les prodiges de coupe de pierre qui ont été réalisés dans les grandes constructions, elles relèvent d'une grande connaissance - restons simple...
Voyons en toute modestie le processus de façonnage d'une moulure, exemple adéquate pour comprendre la technique des épanelages.

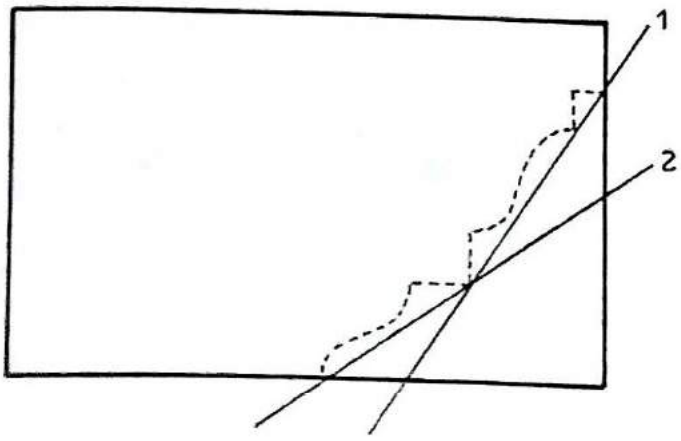
Taille d'une moulure de corniche

Le tailleur dispose d'un gabarit (feuille de plastic, tôle de zinc) représentant le profil de la moulure ; ce gabarit facilitera le report du tracé et évitera les erreurs.



Gabarit profil de moulure

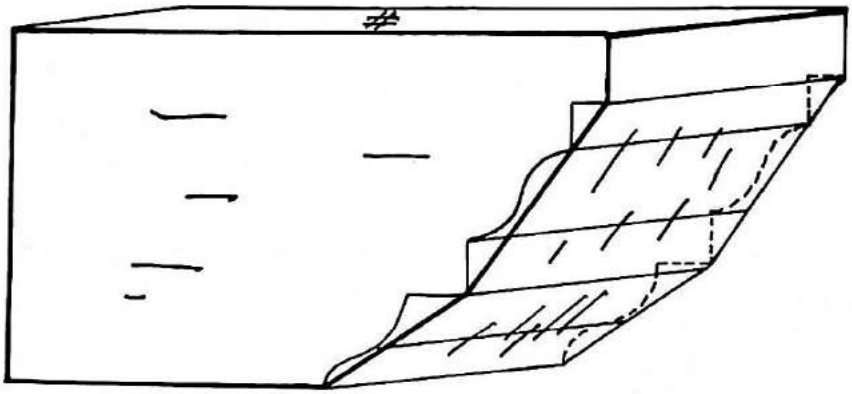
- Sur un bloc auparavant préparé à la dimension (voir plus haut) - on applique le gabarit sur les deux extrémités.
- D'après ce tracé, le tailleur cherche les épanelages approchant au plus près la moulure. Les épanelages sont des plans intermédiaires qui touchent le tracé en certains endroits. Ils permettent d'approcher la moulure en gardant des repères sûrs.



Recherche des épanelages dans le cas présent 2 épanelages suffiront.

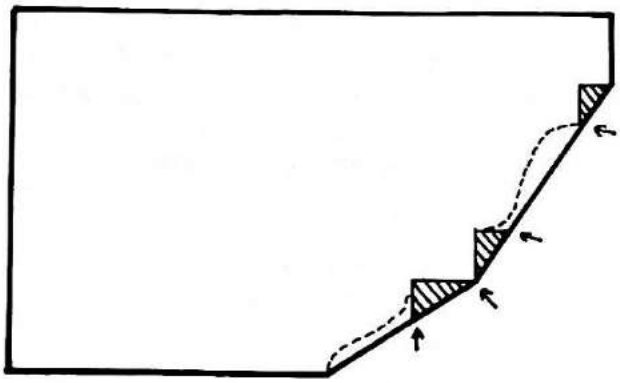
Croquis 75

- On exécute les 2 épanelages en commençant par le premier.
- On marque les arêtes qui affleurent sur l'épanelage.



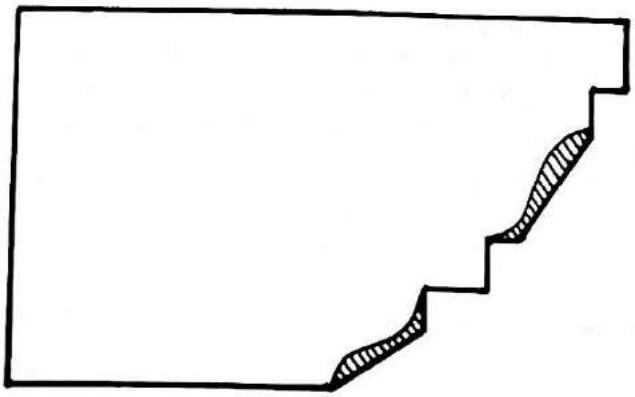
Croquis 76

- On recherche les fonds qui sont d'équerres.



Croquis 77

- Il ne reste plus qu'à enlever le creux et le bombé des doucines pour obtenir la moulure finale.



Croquis 78

5. FABRICATION DE L'ARDOISE DE COUVERTURE

Transformation d'un bloc massif de schiste ardoisier en ardoises de couvertures d'environ 300 x 200 x 3 mm, également des ardoises épaisses 3,5 à 6 mm et dallages 10 à 25 mm.

. Morceler le schiste en petits blocs ou "repartons" aisément manipulables. Ces répartons sont ensuite refendus à l'aide d'un burin et d'un maillet en petites dalles de 12 mm d'épaisseur environ (↔ les défauts naturels à déceler) - refonte de ces petites dalles jusqu'au produit de 3 mm d'épaisseur.

. séparation des feuillets à l'aide de longs ciseaux très effilés que l'on fait pénétrer dans le plan médian de la dalle à refendre à l'aide d'un maillet. - attention, à une déviation éventuelle de la propagation de la fissure - poste de travail aménagé de telle sorte que le morceau à refendre est maintenu entre les mâchoires d'une presse commandée au pied → jusqu'à 2000 ardoises/jour.

Cliché 63

Ardoisières d'Angers - Poste de fente manuelle - (Industrie minérale)

La fente mécanique - idée de base - lorsqu'un morceau de schiste ardoisier est mis en traction selon un axe perpendiculaire au plan de fissilité, il est possible d'obtenir sa séparation en 2 feuillets d'épaisseur égales et uniformes en se contentant d'amorcer cette séparation à l'aide d'un outil tranchant ne pénétrant que de quelques mm dans le plan de fissilité. Mécanisation - machine à air comprimé - 6 bars.

Le rondissage - Tailler le produit de la fente ou "fendis" aux dimensions exactes de l'ardoise finie. Opération exécutée à l'aide d'une sorte de couteau, l'ardoise reposant sur une enclume servant à la fois de guide et de contre-lame. Mécanisation - petit massicot équipé d'une crémaillère gabarit → ardoise parfaitement rectangulaire également évolution actuelle du rondissage automatique, disque contre disque.

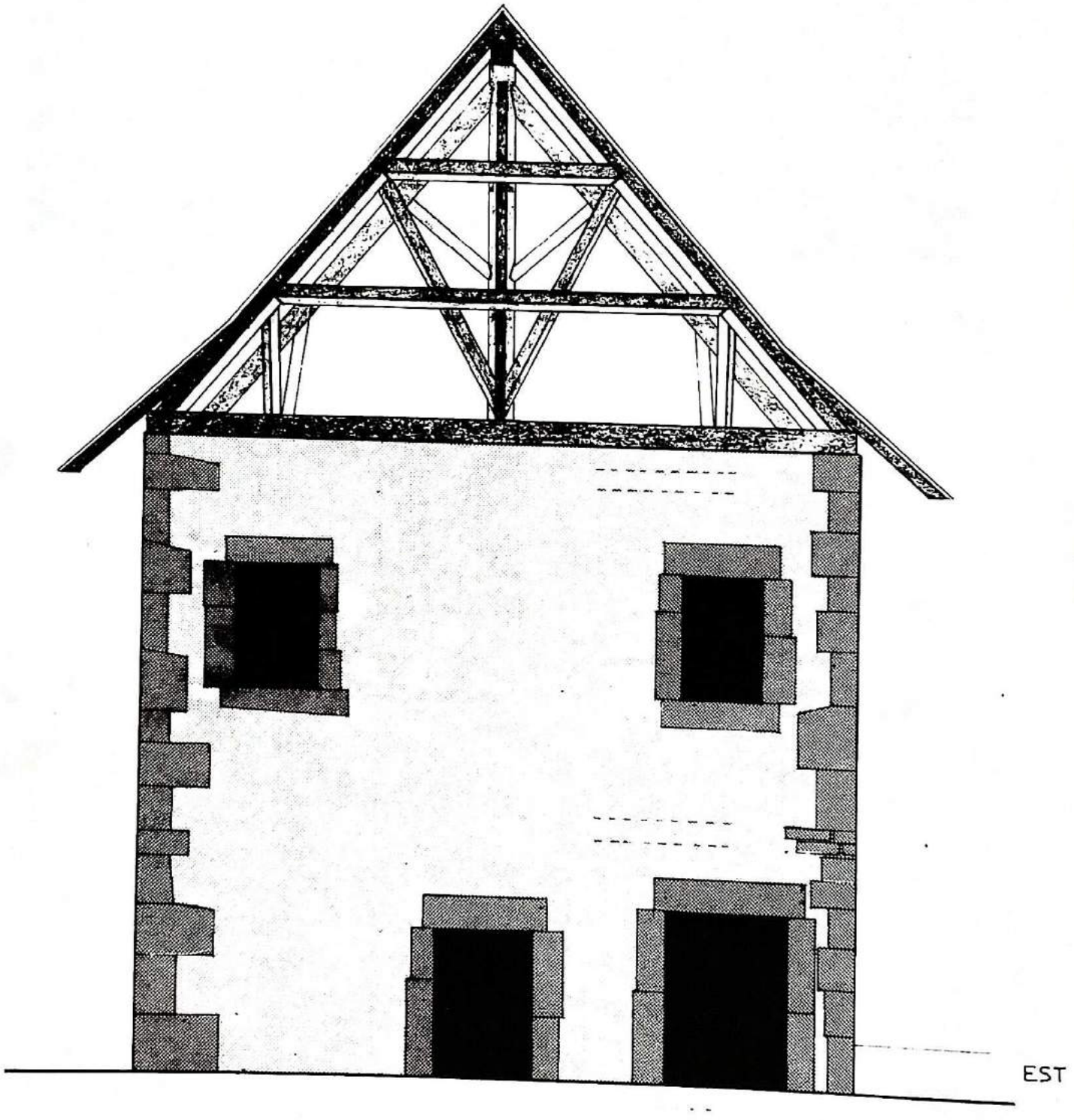
Près d'une carrière à ciel ouvert, ardoisiers taillant et fendant les blocs - gravure de l'ouvrage de Fougeraux de Bondaroy, Paris 1768.

Le Mausolée - Cliché 64

Kotah. INDIA/Selected slabs can be used for various purposes without further processing.

Cliché 65 Nations Unies/New York

éch. 2 cm pm
mars 1981
Bernard Carayon



III

MISE EN OEUVRE ET REALISATIONS

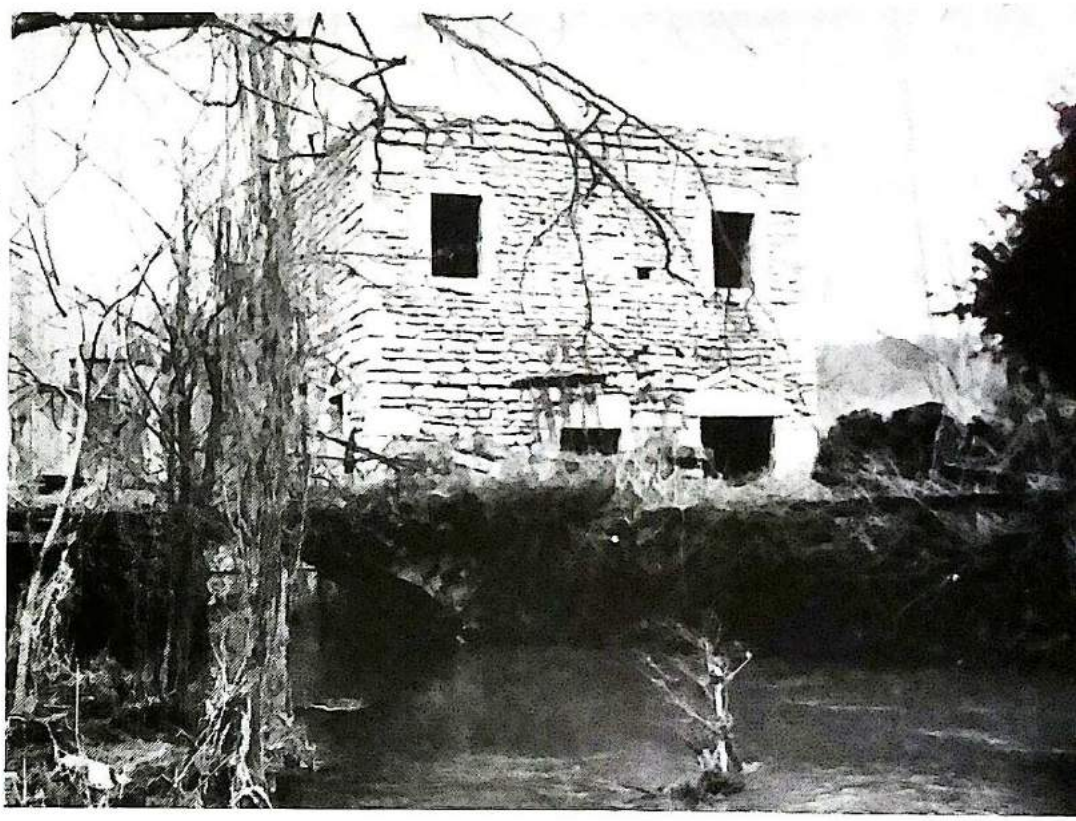
I-0 HABITAT

J. Brunhes

"Dans les régions où les faits de civilisation n'ont pas détruit la liaison intime de l'individu et du sol sur lequel il vit, la maison est comme une végétation naturelle".

"Le moulin du Foulon" Dornecy Nièvre.

Cliché 66

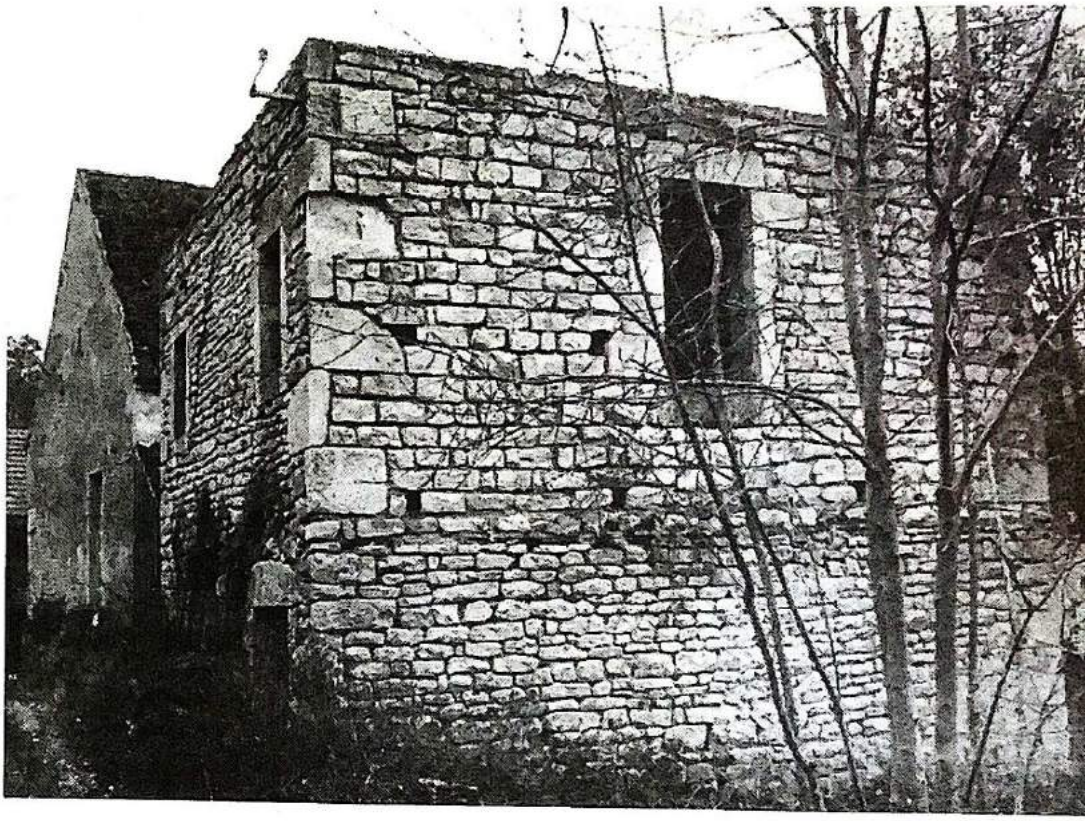


APTITUDE

Pour illustrer l'introduction de ce chapitre, il faut noter la similitude d'un propos sur la PIERRE avec celui qui serait sur le bois, pour ce qui est de la relativité entre ces deux matériaux et par voie de conséquence leur complémentarité. Mais il n'est pas de notre domaine aujourd'hui de faire un traité sur *les charpentes en bois* cf. aux éditions Eyrolles - Paris par Y. Gasc et R. Delaporte, *Construire en bois* cf. aux éditions du Moniteur - Paris. Rappelons seulement la nécessité en matière d'habitat de se pencher également sur ce sujet ; remontant au-delà des techniques d'exploitation, de transformation et de mise en oeuvre afin de situer l'élément minéral et saisir toute son importance actuelle et/ou à venir sur le marché du bâtiment. Nous aborderons plus loin une politique d'action à mener et qui paraît la mieux adaptée dans notre contexte.

Hassan FATHY

"En taillant la pierre, l'homme enlève le superflu ; il spiritualise la matière et, ce faisant, il se spiritualise".



Dornecy, Nièvre.

Cliché 67

I-1. SOUS-SOL

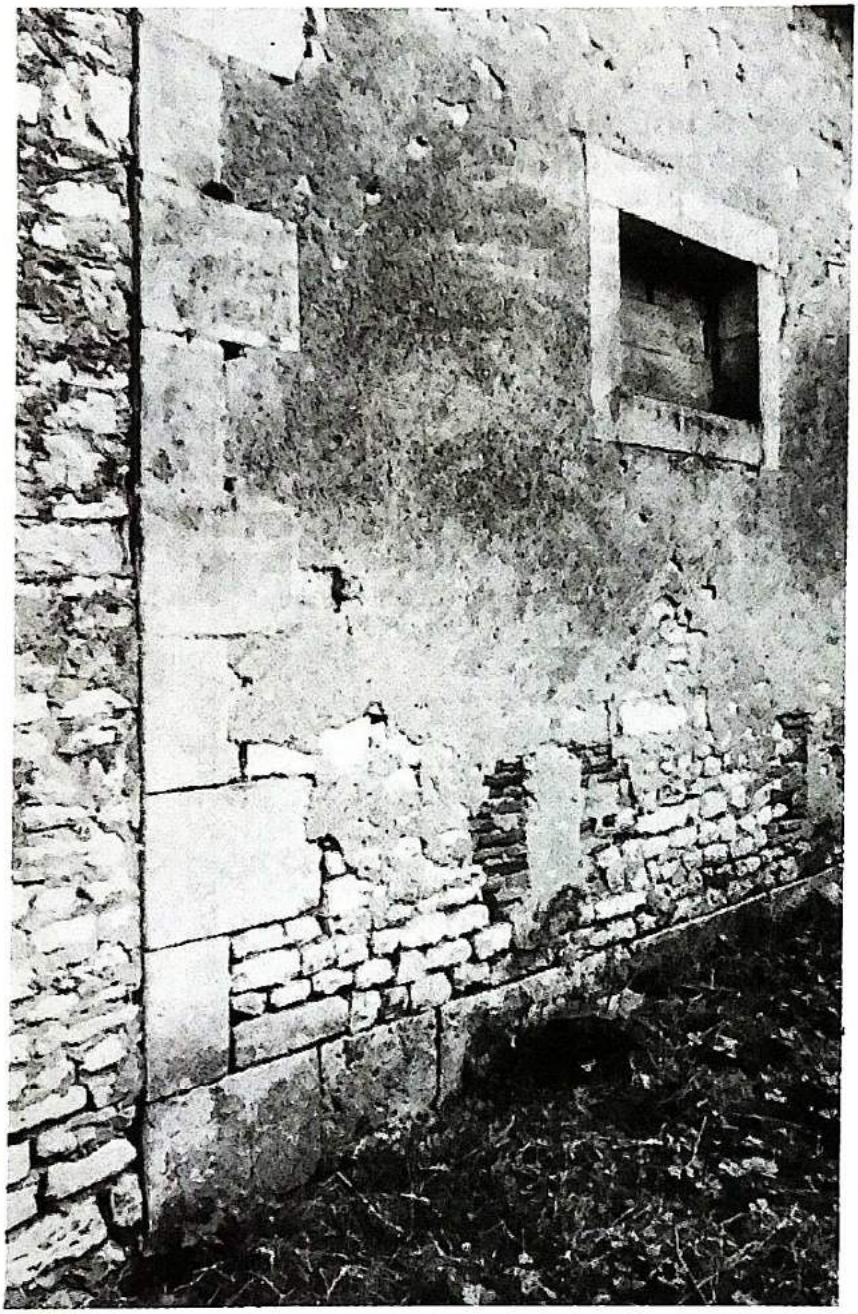
. Fondation : travail que l'on fait pour assiser les fondements d'un édifice, d'une construction.
. Soubassement : partie inférieure d'une construction sur laquelle porte l'édifice, et qui porte elle-même sur les fondations.

. Avant d'entreprendre tout type de travaux, il est important de mener une sérieuse reconnaissance du sous-sol. Des hétérogénéités insoupçonnées dans sa constitution peuvent être la cause de tassements différentiels ;

- l'existence de nappe phréatique et ses variations de niveau entraînent des actions de l'eau qui exerce une pression dangereuse pour la stabilité et l'étanchéité des sous-sols ;
- il est important également de connaître la nature et l'étendue d'anciens remblais - si l'on ne peut les éviter, il est nécessaire d'entreprendre une préconsolidation.

I.1.1. FONDATIONS ET SOUBASSEMENTS

Le choix et la profondeur de l'assise des fondations et déterminée donc d'une part par la recherche d'un sol suffisamment résistant, d'autre part par la nécessité de mettre l'assise à l'abri des effets climatiques nocifs, dûs aux variations d'humidité saisonnière.



Cliché 68. Vineuil, Courcenay, Indre dans le Berry

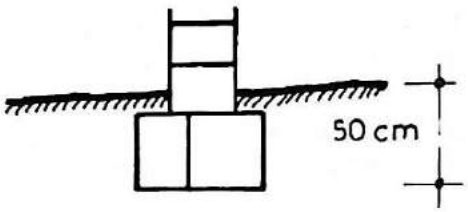
Pour des constructions toute en pierre, les fondations n'atteignent pas toujours le rocher du sous-sol et sont donc plus larges que les murs qu'elles portent. Dans des terrains pierreux, le bâtiment s'installe généralement sur ou contre la roche en place, parfois même entre les blocs rocheux par un système de voûtes de pierres assez aplaties, en anse de panier ou en berceau. Enfin lorsqu'un terrain présente un socle uniforme et fournit donc aux murs une assise naturelle rocheuse, il est coutume de disposer en guise de fondation une première assise de gros blocs taillés de plus d'un mètre de long et 30 cm d'épaisseur, lit sur lequel repose toute la construction.

Remarque :

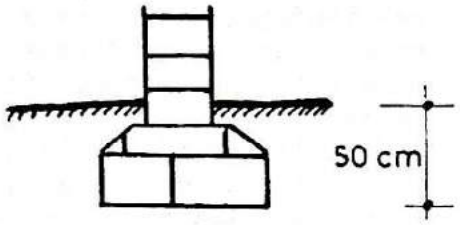
Le premier banc d'une extraction de pierre à ciel ouvert est employé aux fondations d'un bâtiment sous le nom de libage. De qualité inférieure aux autres couches successives de la roche, ébousinée seulement sur ses lits, cette pierre qui n'est point équarrie sur son épaisseur se place donc dans le fond des tranchées de fondation pour assoir solidement les constructions supérieures.

. En règle générale, il existe trois types de fondations principales :

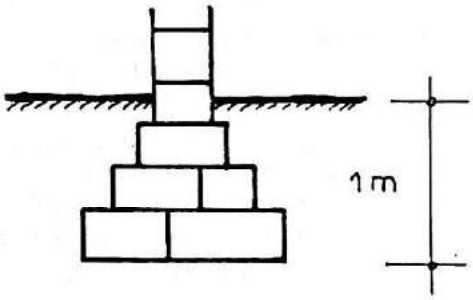
- les fondations ordinaires en rigoles, d'au moins 50 cm de profondeur plus large que le mur - et dans tous les cas où la charge unitaire est inférieure à la résistance pratique du sol ;



- les fondations avec empattements, lorsque la résistance du terrain est insuffisante - sans être plus profondes que les précédentes, elles sont plus larges afin de répartir les charges sur une plus grande surface.



- les fondations en tranchées, lorsque le bon sol est plus profond et la construction assez importante - possibilité de faire des fondations en gradins ou en paliers, dans le cas d'un bon terrain en pente



Croquis 79

Note : Dans certains cas de constructions plus rudimentaires, comme le pisé en Côte-d'Ivoire, les fondations en pierre sont posées à même le sol ; cet empierrement protège les murs de remontées d'humidité. De plus, des pierres plates sont rapportées sur le bas des murs construits, côté extérieur, afin de les protéger des éclaboussures des pluies qui érodent en premier lieu cette partie-là.
D'autres cas encore, d'architecture semi ou entièrement souterraine, on utilise la pierre en parement intérieur pour empêcher la terre de s'écrouler ; dans la construction également, des conduits d'air frais alimentent l'intérieur de l'habitation ; enfin en finition de toiture de terre à même le sol.

Népal.
Les maisons d'habitation sont construites sur des fondations longitudinales constituées de blocs de pierre maçonnée, dans des tranchées de 0,60 m de largeur et 1 m de profondeur - ces fondations sont supposées reporter le poids du bâtiment jusqu'au sol ferme, mais compte tenu de l'épaisseur de la couche de terre ce n'est pas toujours le cas. De même elles doivent dépasser le sol de 0,45 m environ afin de préserver la base des murs des eaux de ruissellement - mais il est fréquent que cette règle ne soit pas respectée et qu'elles s'arrêtent au-dessous du niveau du sol. Les murs sont alors en contact avec les eaux qui s'écoulent en surface, et le caractère hétérogène des fondations ne permet pas à celles-ci de s'opposer ni à la remontée par capillarité des eaux souterraines, ni aux tassements différentiels qui produisent des fissures verticales dans les murs.

Au-dessus du rez-de-chaussée, la maison néwar généralement de plan rectangulaire allongé, comprend 2 étages et un comble ; dans les agglomérations, elle est construite parallèlement à la rue : la transition avec la rue est marquée par un *seuil* continu surélevé de pierres maçonnées.

Vallée de Kathmandou - Népal rapport CNRS, Marcel Le Port

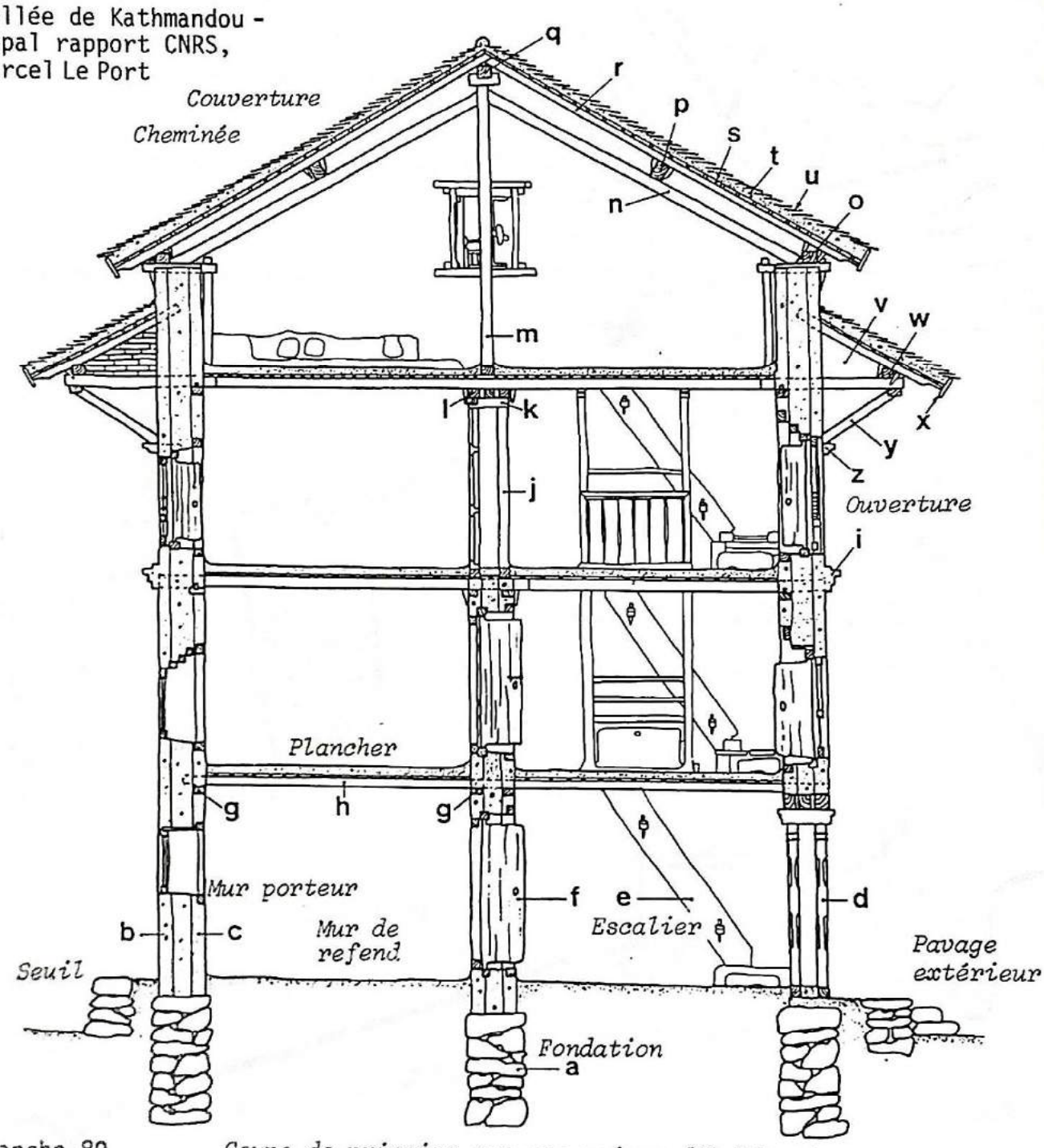
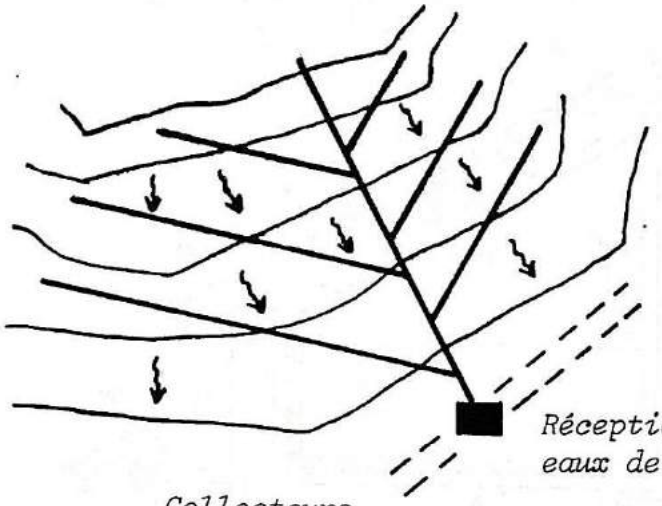


Planche 80 *Coupe de principe sur une maison d'habitation*

a : fondation ; b : parement extérieur des murs en briques cuites ; c : parement intérieur (et mur de refend) en briques crues ; d : portique ; e : escalier ; f : porte ; g : longrines ; h : solive ; i : frise décorative ou chaînage ; j : colonne ; k : tailloir ; l : poutre ; m : poteau de la charpente ; n : arbalétrier ; o : sablière ; p : panne ; q : faîtage ; r : chevron ; s : volige ; t : terre maçonnée ; u : tuile ; v : auvent ; w : sablière de volée ; x : bandeau ; y : liens supportant l'auvent ; z : corbeau (d'après V. Barré, P. et L.Berger et G. Toffin,1980).

I-1.2. DRAINAGE

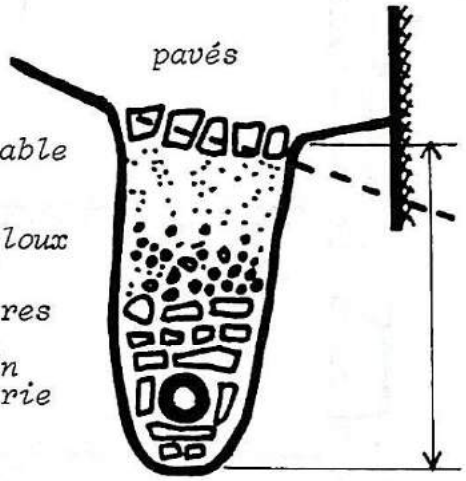
Protection pour empêcher les eaux de ruissellement d'arriver près d'un bâtiment.



Courbes de niveau sur un terrain

Réception des eaux de ruissellement

Collecteurs généraux



pavés

sable

cailloux

pierres

drain poterie

Détail près d'un bâtiment

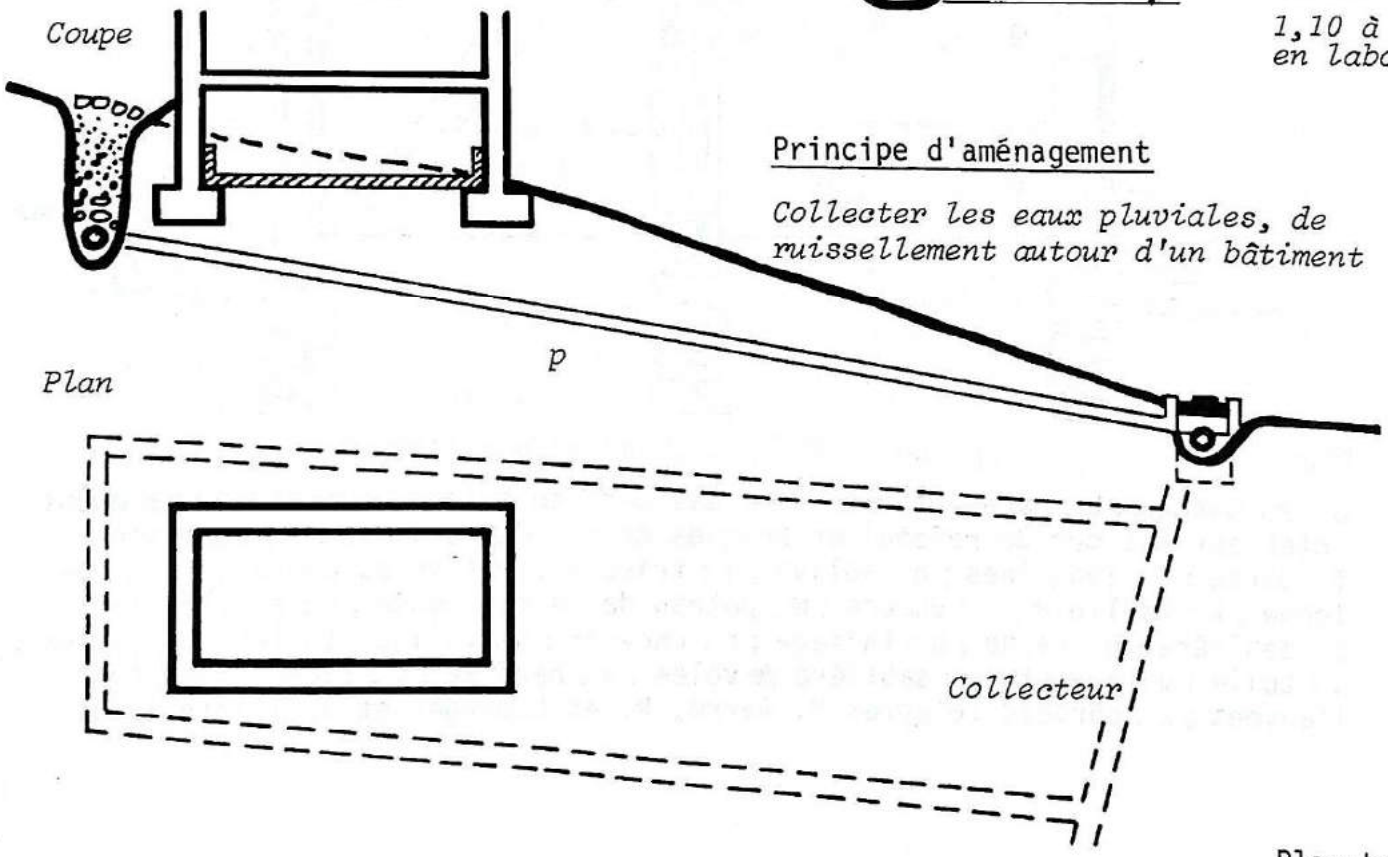
p =

0,50 à 0,80 en prairies

0,60 à 0,70 en pâturages

1,20 en cult maraîchères

1,10 à 1,25 en labours



Coupe

p

Plan

Collecteur

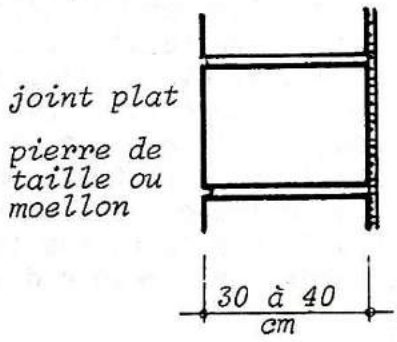
Principe d'aménagement

Collecter les eaux pluviales, de ruissellement autour d'un bâtiment

I-2. LES MURS PORTEURS

Ils sont de plusieurs types

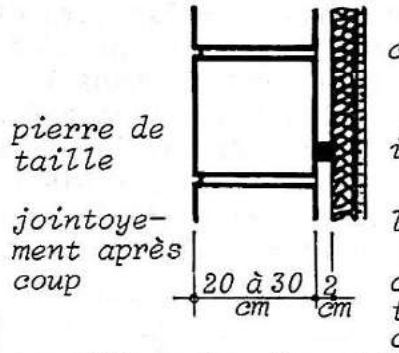
Croquis 82



. *Le mur simple* ne comporte qu'un seul matériau principal dans le sens de l'épaisseur (enduit non compris). Il n'y a aucun dispositif permettant de s'opposer au cheminement de l'eau vers la face intérieure :

- pas de revêtement étanche sur le support extérieur
- pas de coupure de capillarité dans l'épaisseur du mur.

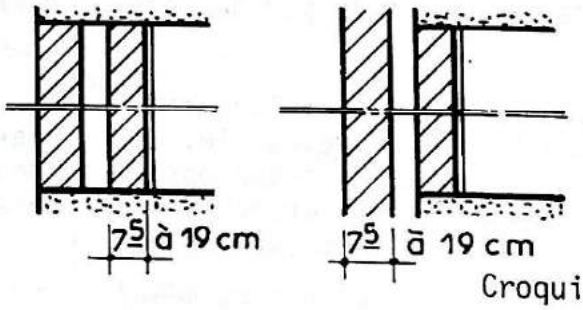
Ce mur ne comporte aucun revêtement étanche sur son parement extérieur mais dans son épaisseur, une coupure de capillarité continue. La lame d'air est épaisse au moins de 2 cm ; on utilise des cales ou des tasseaux pour assurer cet écart. Pour ce qui est de l'isolant, outre les matériaux actuels que l'on peut trouver sur le marché (laine de verre, polystyrène...), il est possible de constituer le même phénomène à base de copeaux de bois, mousse végétale séchée ...



. Le *mur double* comporte deux parois distinctes, d'épaisseurs sensiblement égales ; la coupure de capillarité est alors assurée par une lame d'air continue de 5 à 15 cm.
La paroi extérieure en pierre est en général non porteuse, mais doit résister aux sollicitations extérieures, vent par exemple. Ce type de paroi, appelé revêtement autoporteur, est exécuté avec des moellons taillés ou de la pierre taillée. Afin d'éviter la mise en compression accidentelle, il est nécessaire de prévoir des joint souples de fractionnement autour des saillies du gros oeuvre.

Cette paroi externe est soit

- portée à chaque niveau de plancher,
- filante devant un certain nombre de planchers, évitant les ponts thermiques.



Croquis 83

La stabilité mécanique au déversement est assurée par des attaches de liaison avec le mur porteur ; ces attaches (ou agrafes) en métal non corrosif sont disposées en nombre variable. L'épaisseur de chacune des parois varie entre 7,5 et 19 cm.

Pour tenir compte des mouvements différentiels entre les deux parois, on doit prévoir des joints souples en-dessous des planchers qui traversent la lame d'air, et il faut augmenter la quantité d'agrafes sur la ligne du plancher qui sert de raidisseur (tous les 40 cm) ; la pose des agrafes sera facilitée si l'on donne aux moellons des dimensions qui s'accordent avec celles des blocs de la paroi intérieure pour faire correspondre leurs lits. Les moellons sont équarris ou prétaillés, et d'une hauteur allant jusqu'à 20 cm ; leur poids est inférieur à 35 kg, l'appareillage se fait avec des joints de 8 à 15 mm. Toute saillie en toiture inférieure à 30 cm est plutôt nocive et augmente la quantité d'eau qui frappe la façade immédiatement en-dessous; en revanche, à un niveau inférieur, prévoir des petites saillies se révèle très efficace.

Remarque

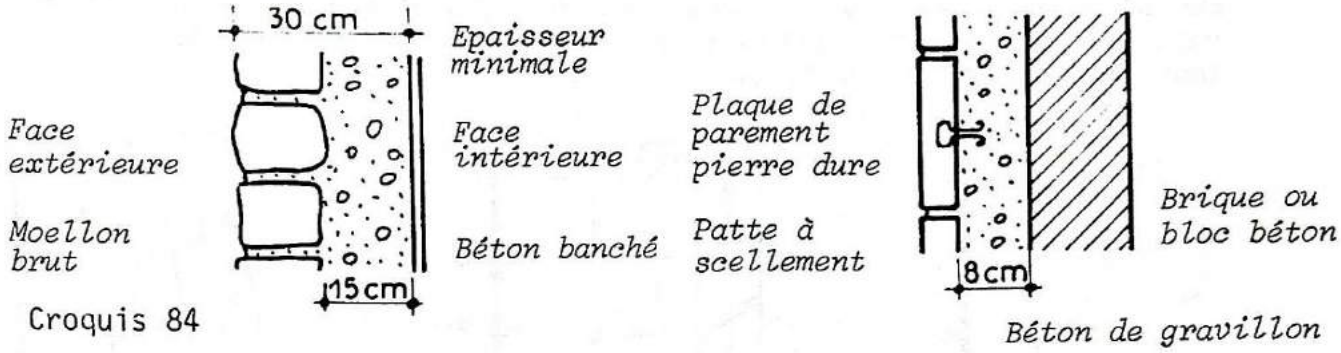
Les pierres sont posées avec les lits de carrière parallèles à la surface de pose, car les lits étant le résultat de dépôts successifs de la matière rocheuse sont des plans de faiblesse favorisant l'écaillement et la rupture. Dans le cas de pierres tendres, demi-fermes, ou fermes, où les surfaces inférieures des linteaux, des arcs et de certaines formes de saillie peuvent être atteintes par les agents atmosphériques, il faut parfois faire exception à cette règle ; la pierre est alors posée en délit avec lits en face, c'est-à-dire que les lits seront perpendiculaires aux 2 parois vues en parement.

Elévation courante	Pierre tendre	
Assise de rejaillissement (au-dessus de corniche, bandeau, balcon, etc.)	Pierre ferme	
Linteaux, arcs	Pierre tendre	Pose en délit, lits en face.
Linteaux	Pierre dure	Pose en délit, lits en face ou pose en lit habituelle
Bandeau, corniche, appui non protégés par du métal	Pierre dure	
Les mêmes, protégés par du métal	Pierre ferme	Pose en délits, lits en face dans le cas de pierre tendre
Corniche à grande saillie, couronnement d'acrotère, socle, soubassement non protégés par du métal ou par une étanchéité contre les remontées capillaires.	Pierre froide ou dure	
Les mêmes, protégés par du métal ou des étanchéités contre les remontées capillaires.	Pierre dure	

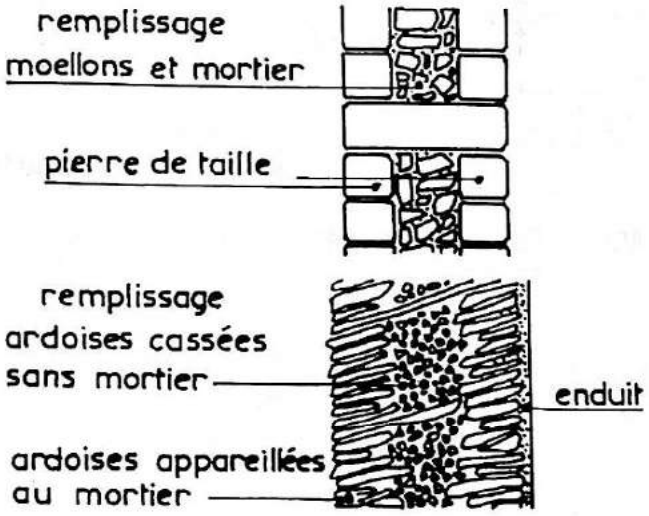
Les principales règles permettant de choisir les pierres en fonction des divers éléments d'un mur. Cf. également "Autoprotection des calcaires". Paragraphe I.2.5.

Tableau T17

. Les *murs composites* comportent plusieurs matériaux principaux dans le sens de l'épaisseur : pierre et béton par exemple. C'est ce que l'on appelle le système de la "pierre banchée" ; pour couler le béton, le coffrage des façades est remplacé par des moellons bruts ou taillés, apparents, ou par des plaques de pierre dure.



Croquis 84



2 autres modes courants de construction de mur composite entre 2 parements de moellons taillés ou concassés, on introduit un blocage de divers matériaux, cailloutis, débris de tuiles, bouts de bois... Le liant est de la terre ou un mortier de sable et chaux.

Incliner vers l'extérieur les lits d'ardoises appareillés.

Croquis 85 in "La maçonnerie sans fard"

I.2.1. LA STABILITE DES MURS

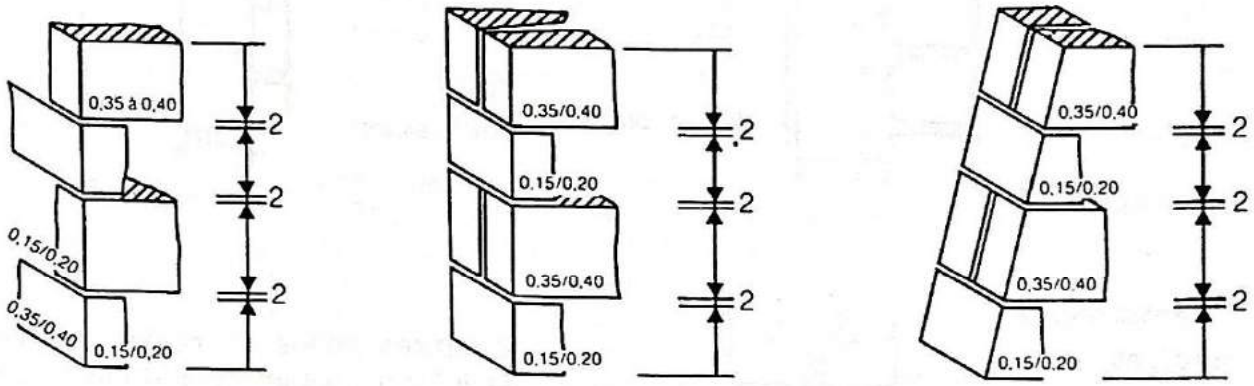
J. Rondelet - Traité d'art du bâti, théorie des constructions.

"Comme dans la composition des édifices, les murs se combinent les uns avec les autres, il en résulte qu'avec une moindre épaisseur ils peuvent quelquefois avoir une stabilité suffisante (...). Il est aisé de concevoir que la résistance du mur placé entre deux autres sera plus grande en raison de ce que les deux murs raidisseurs seront plus près l'un de l'autre (...). Les murs qui renferment un espace, se soutiennent mutuellement par leurs extrémités. Leur épaisseur augmente en fonction de leur longueur".

Une maçonnerie d'éléments présente 2 défauts du point de vue de la résistance mécanique : d'une part, elle est généralement peu résistante en tension, les joints constituants souvent des lignes de faiblesse ; d'autre part, sa rupture sous les efforts de compression est secondaire et n'est pas précédée de déformations importantes. On appelle cette manière de rompre une rupture "cassante", une rupture qui ne se fait qu'après une large déformation est "ductile".

Les divers *chaînages* tendent donc à compenser les manques de la maçonnerie, accroître la résistance en tension et ajouter une certaine ductilité. Ce sont les chaînages d'angle et les piedroits en pierre de taille, les chaînages de coupole en pierre dure, les chaînages en bois ou en fer reliant les angles d'un immeuble.

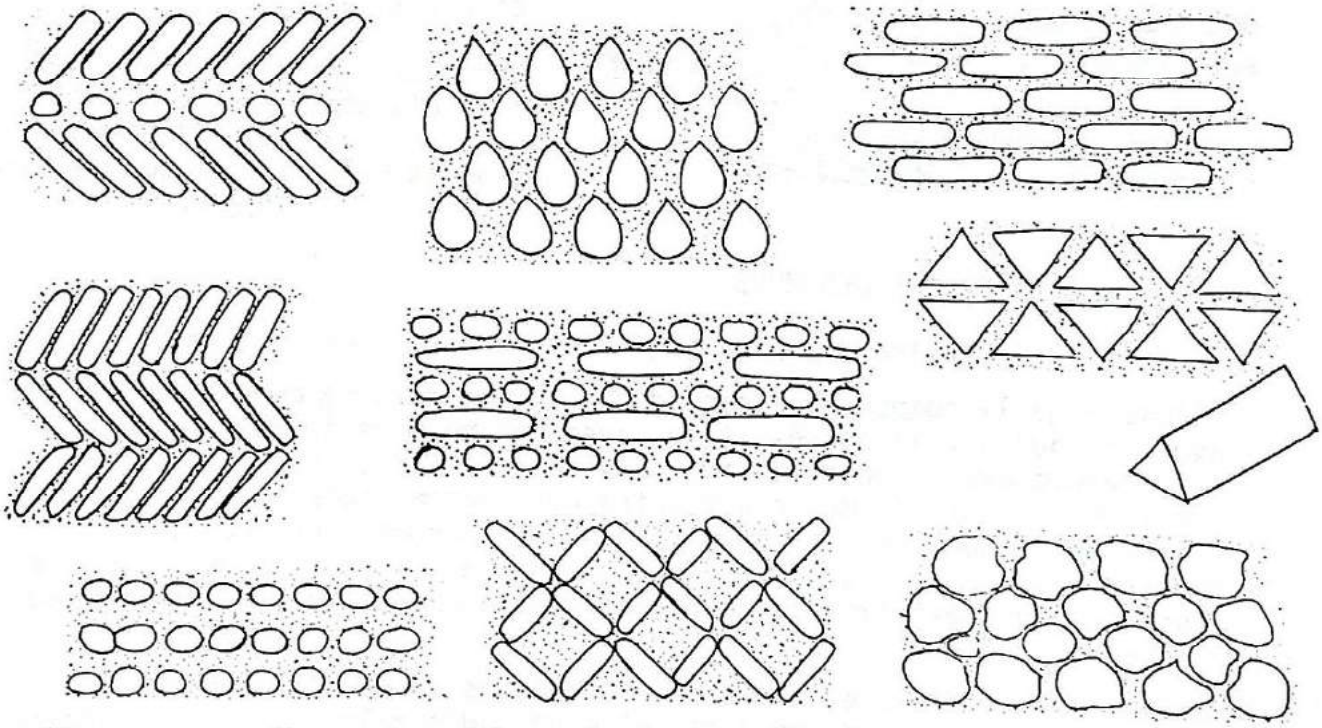
Les planchers que nous verrons plus loin jouent également un rôle de *raidisseurs* dans une structure, ainsi que les murs de refend, les retours d'angle et têtes de mur.



ANGLES *TETES DE MUR VERTICALES* *TETES DE MUR EN FRUIT*

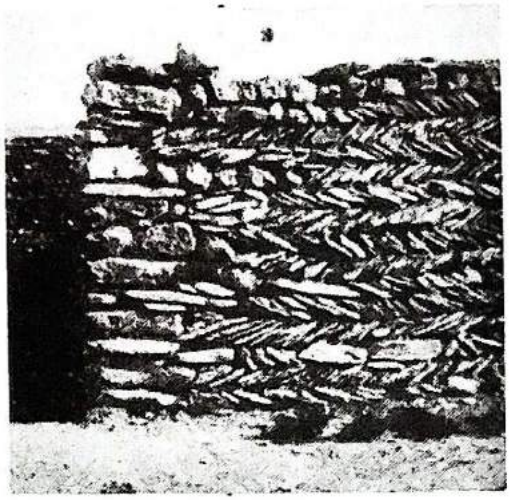
Croquis 86

I-2.2. DIFFERENTS MODES D'APPAREILLAGE - Pose jointoyée ou en pierres sèches



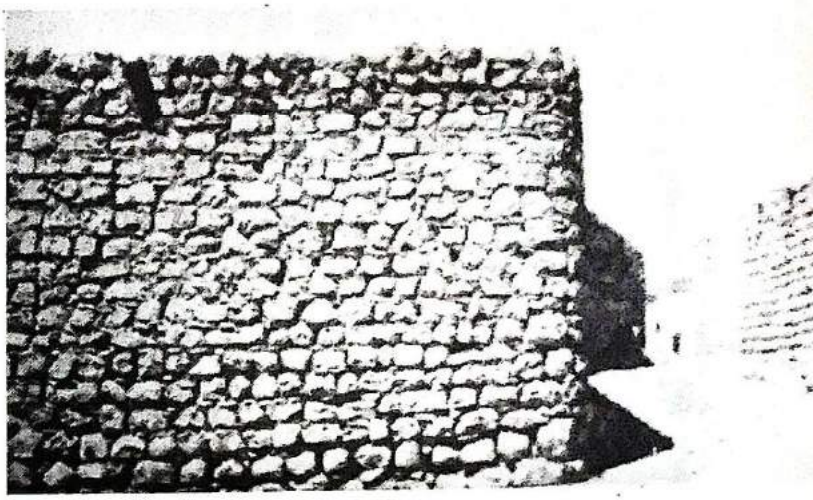
- Pierres grossièrement taillées, noyées dans un mortier de terre, et souvent enduites des deux côtés.

Croquis 87. S. Denyer



Syrie - Qualdun - Mur en pierres sèches, pierres plates disposées en chevrons.

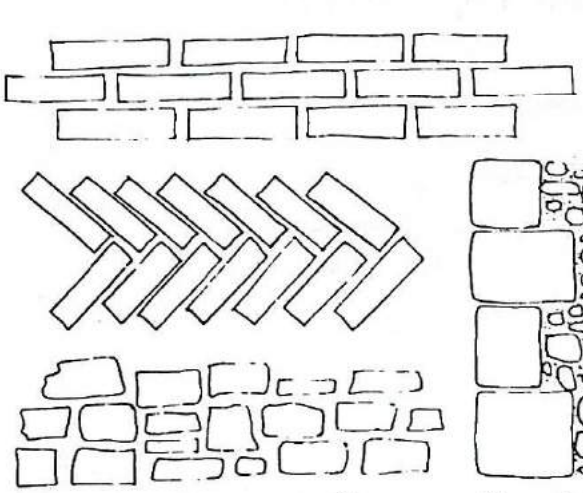
Cliché 69



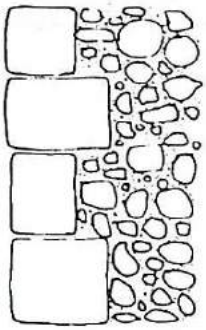
Syrie - Ma'rune - Assises alternées de grosses pierres et de petites pierres plates.

Cliché 70

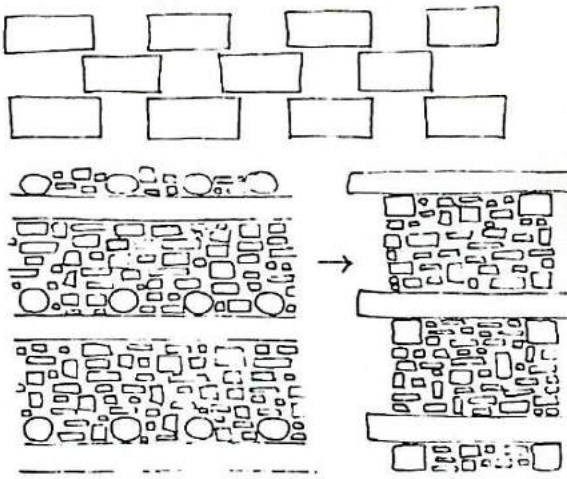
Bloc de pierre non taillé, le cas échéant, simplement dégrossi, posé sans mortier - pierre sèche - un enduit procédant d'un talochage sommaire peut contribuer à la consolidation du mur.



- BLocs de pierres taillées ou moellons bruts, posés à sec dans toute l'épaisseur du mur.



- Mur de moellon bruts jointoyé au mortier, enduit aux 2 faces. Les ouvertures et les angles sont montés en pierres taillées.



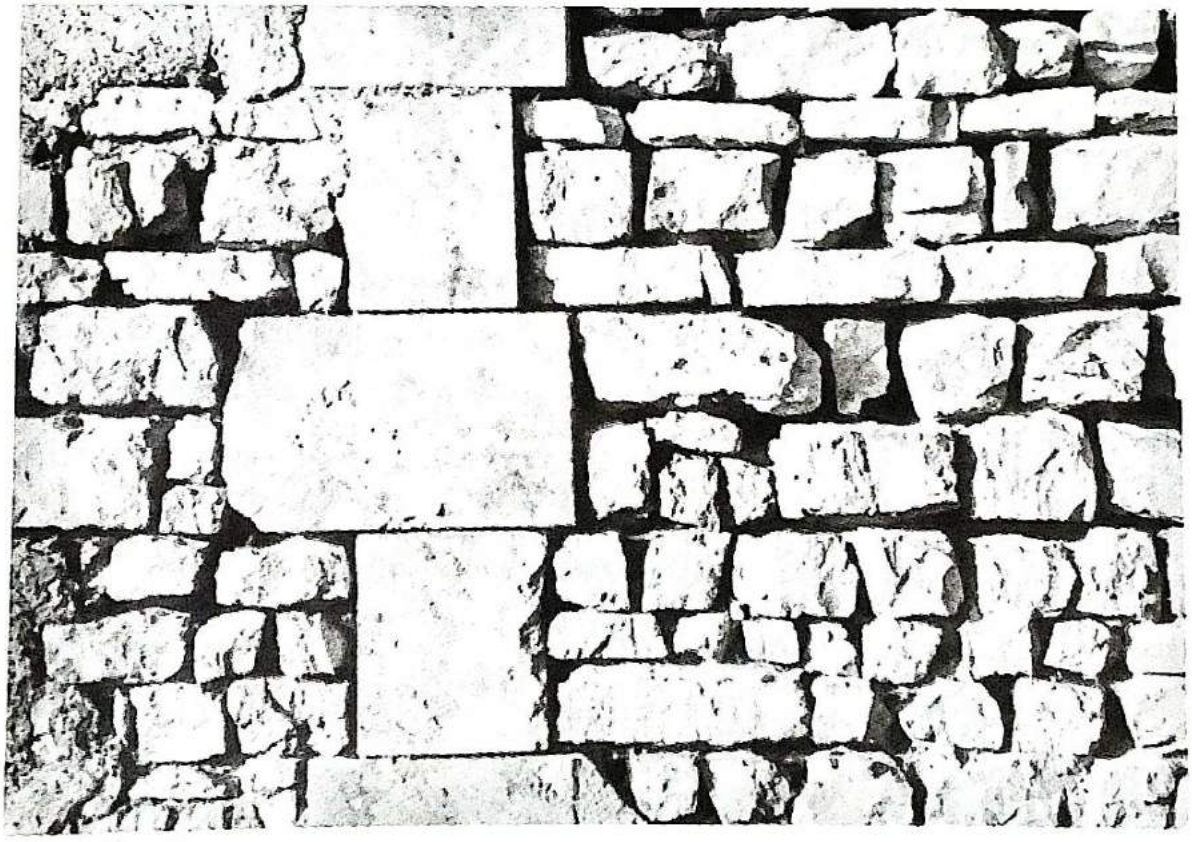
- Mur de moellons bruts renforcé avec des planches de bois. Forme de colombage, jouant le rôle de chaînages horizontaux.

Croquis 88. S. Denyer

Syrie *Habab - Murs en pierres de lave : linteau fait d'une simple dalle*

Cliché 71

. Gros blocs de pierre non équarris et posés à sec - assises ± régulières - pierres grossièrement taillées pour les ouvertures.



Cliché 72

Dans le Berry

. Moellons bruts posés en assises régulières et jointoyés. Pierres d'angle, mur de refend et ouvertures en pierre de taille.

I.2.3. METHODE DE POSE

Il existe différents types de maçonnerie, de pierre de taille et d'appareillage, chacun demandant des méthodes de pose particulières.

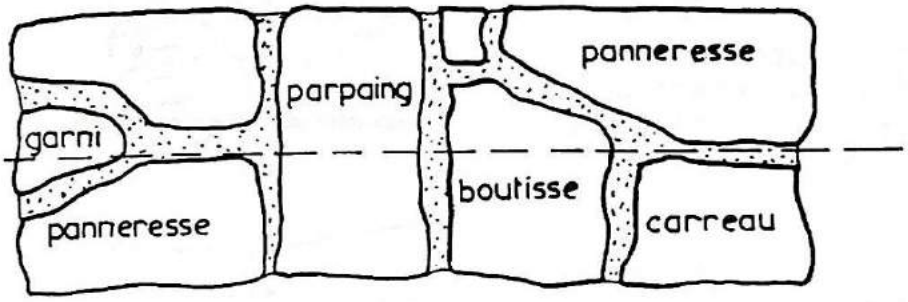
1) Les appareillages de pierres sèches

Les pierres sont posées sans mortier. Ce type de maçonnerie demande une grande habileté et n'est possible qu'avec des pierres qui ont une configuration s'y prêtant (calcaire délité, schiste, lauze) s'ajustant le mieux entre elles, c'est-à-dire de préférence une même hauteur d'assise et des formes assez régulières.

2) Les maçonneries à joints de mortier

L'appareillage irrégulier dit "tout venant" ou opus-incertain. Quelques définitions et désignations de blocs;

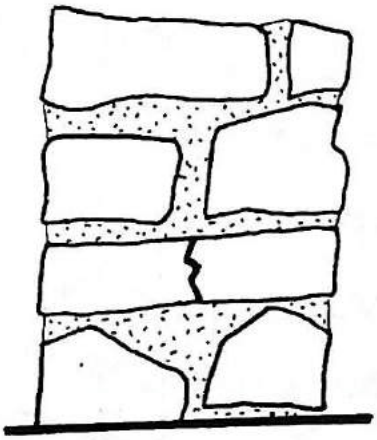
parpaing : à 2 parements, traverse tout le mur
boutisse : à 1 parement, rentre de plus de la moitié
carreau : à 1 parement, rentre de moins de la moitié
panneresse : à 1 grand parement
garni : déchet utilisé dans l'intérieur du mur pour garnir et économiser du mortier.



Vue de dessus
Croquis 89

Le mortier a pour rôle de réunir l'enchevêtrement des pierres ; l'union rationnelle doit donner un ensemble monolithe indéformable - pour cela voic quelques règles d'assemblage :

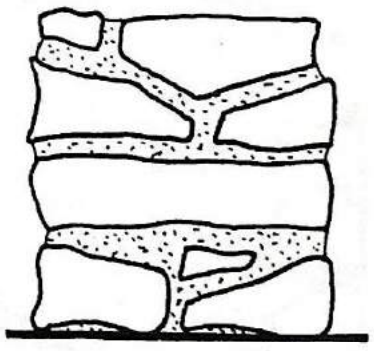
- toujours poser les pierres sur leur lit de carrière, ce qui évitera les risques de fissuration - par dislocation des strates
- éviter les calages et contact direct pierre-pierre pour avoir une bonne répartition des charges.



Risque de cassure

Porte à faux

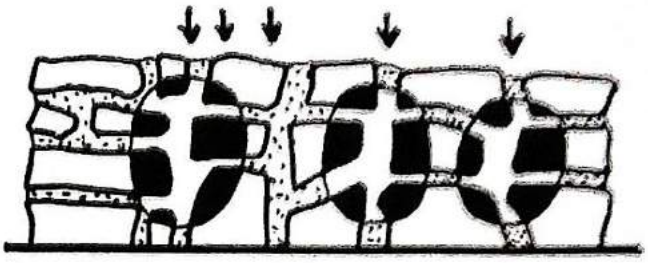
Vues en coupe
Croquis 90



MAUVAIS MONTAGE

BON MONTAGE

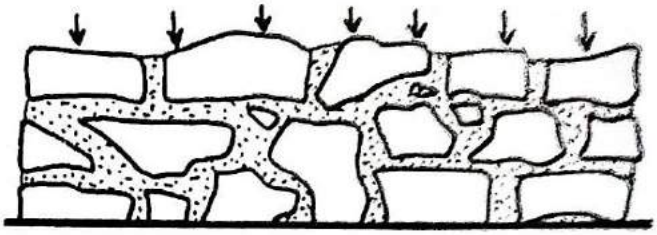
- Les joints verticaux sur les parements doivent être alternés pour éviter les joints filants ou "coup de sabre" ; les masses sont mieux réparties.



MAUVAIS MONTAGE
joints verticaux filants

Vues de face

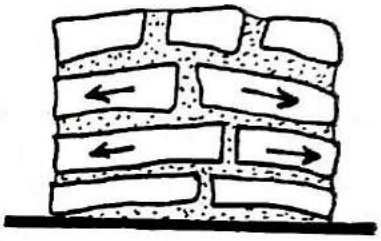
Croquis 91



BON MONTAGE

- Les assises de pierres doivent être posées de manière à centrer les charges

risque de glissement vers l'extérieur, au moment de la pose et sous l'influence des charges

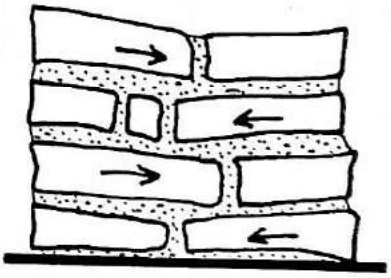


MAUVAIS MONTAGE

Vues en coupe

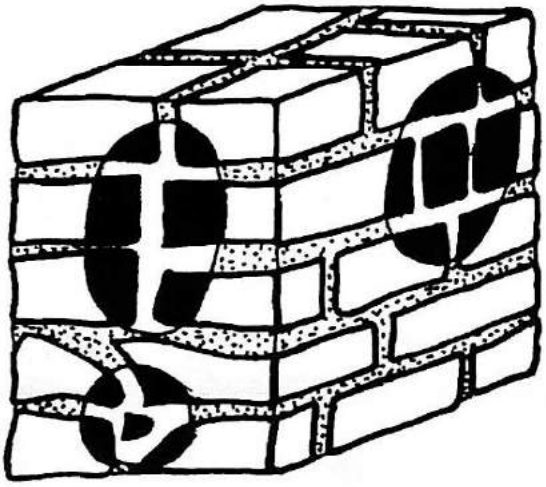
Croquis 92

Assise inclinée vers l'intérieur charge centrée - les lits d'attente en démaigri.



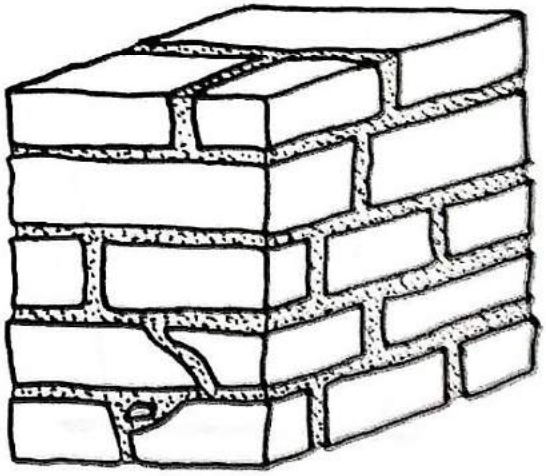
BON MONTAGE

- Pour sa solidité, un mur a besoin d'une bonne liaison des pierres entre elles ; il faut éviter de faire deux murs en un, comme le montre les croquis ci-dessous



MAUVAIS MONTAGE

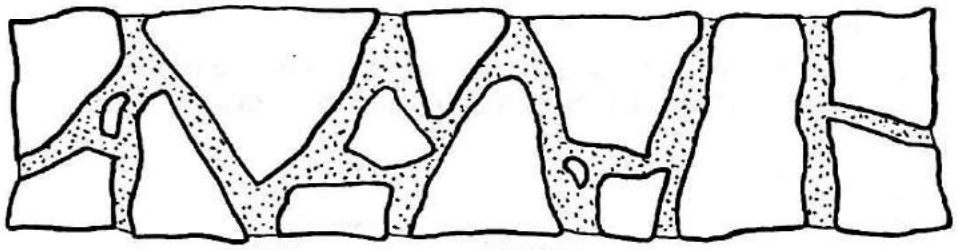
ne pas superposer les joints verticaux



BON MONTAGE

Croquis 93

Pour liaisonner correctement un mur et ne pas en faire 2 en 1, il est nécessaire de lancer un parpaing de temps en temps et de mettre le plus possible de boutisse.



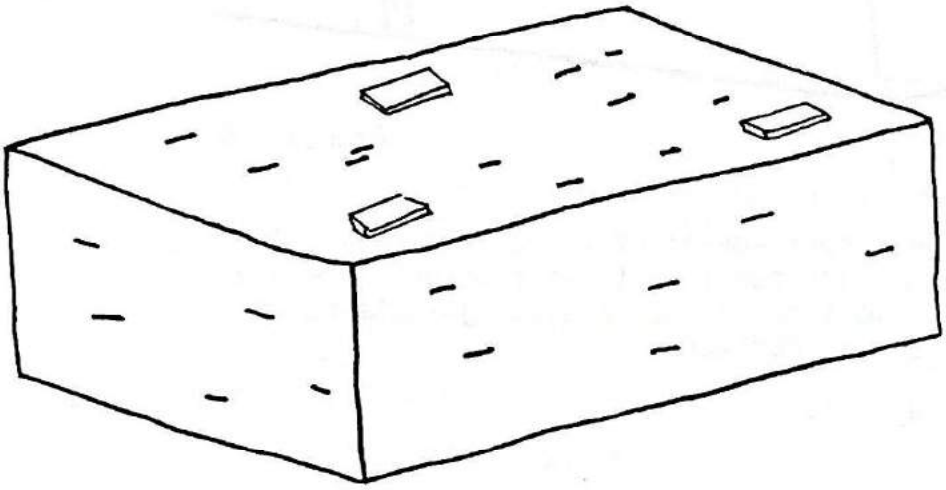
Vue de dessus

Croquis 94

Les pierres sont posées sur une couche de mortier étalé à la truelle ; on règle le parement de la pierre en tapant dessus pour qu'elle trouve sa place et tasse le mortier - pour ce type de maçonnerie, le mortier est un mélange de sable et chaux grasse ou sable et chaux hydraulique + une poignée de ciment.

3) Pose de la pierre de taille

Un soin tout particulier doit être mis pour poser ces blocs, leurs arêtes sont fragiles et il ne faut pas les écorner. Vu que les faces des blocs sont parfaitement dégauchies, il est possible et préférable de poser les pierres sur cales. L'épaisseur des joints à respecter est de 6 à 10 mm maximum. Le positionnement des cales est très important ; elles doivent être placées en triangle, à 2 ou 3 cm en arrière des arêtes.



La cale ne doit pas être posée trop près du bord de l'arête car il y a un risque d'écorner l'arête, et ne doit pas être posée trop au milieu pour éviter que la pierre soit mise en bascule, d'où difficulté pour la régler et par la suite pour retirer la cale lors du ravalement de finition.

Positionnement des cales Croquis 95

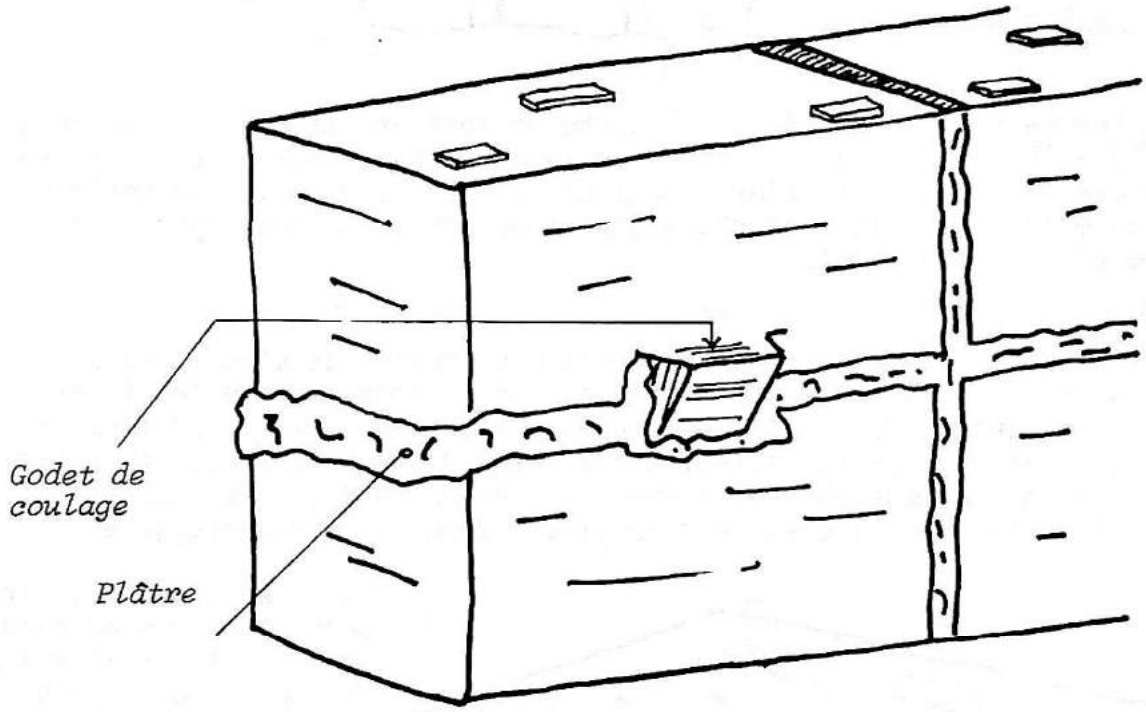
Une fois les blocs amenés sur place et réglés sur toute une largeur d'assise, on a le choix entre 2 méthodes de remplissage des joints.

a) La pose sur cales avec coulis

- boucher tous les joints avec du plâtre gaché faible (pour être enlevé facilement lors du ravalement)

- ne pas oublier de faire des trous en bout d'assise pour que l'air puisse s'échapper
- verser de l'eau dans les joints avant le coulage pour que la pierre n'ait plus soif et ne risque pas d'aspirer trop vite l'eau du coulis
- verser le coulis par le godet, au maximum.

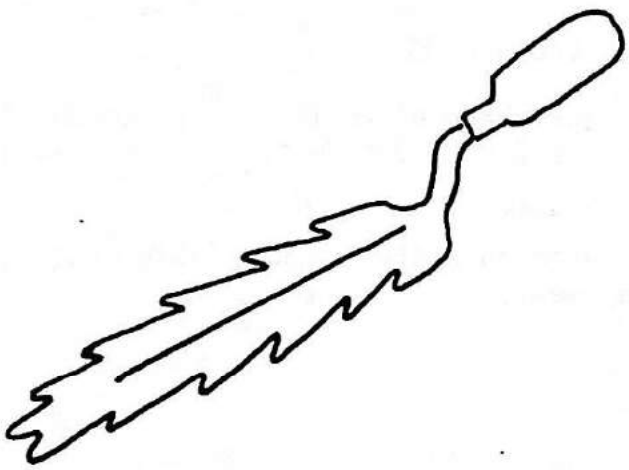
Les mélanges pour le coulis sont variables ; si l'endroit ne craint pas l'humidité, on coule au plâtre - sinon un mélange de sable + chaux (ou ciment) fait l'affaire.



Croquis 96

b) La pose sur cales avec lits et joints au mortier

Comme précédemment les blocs sont amenés et réglés sur cale ; les lits et joints sont garnis de mortier que l'on tasse avec une lame plate dentée appelée "fiche". Le mortier doit être tassé jusqu'à refus.
Il est préférable d'utiliser un mortier
sable + chaux grasse
(voir dossier "la chaux" dans la
même collection).



FICHE

Croquis 97

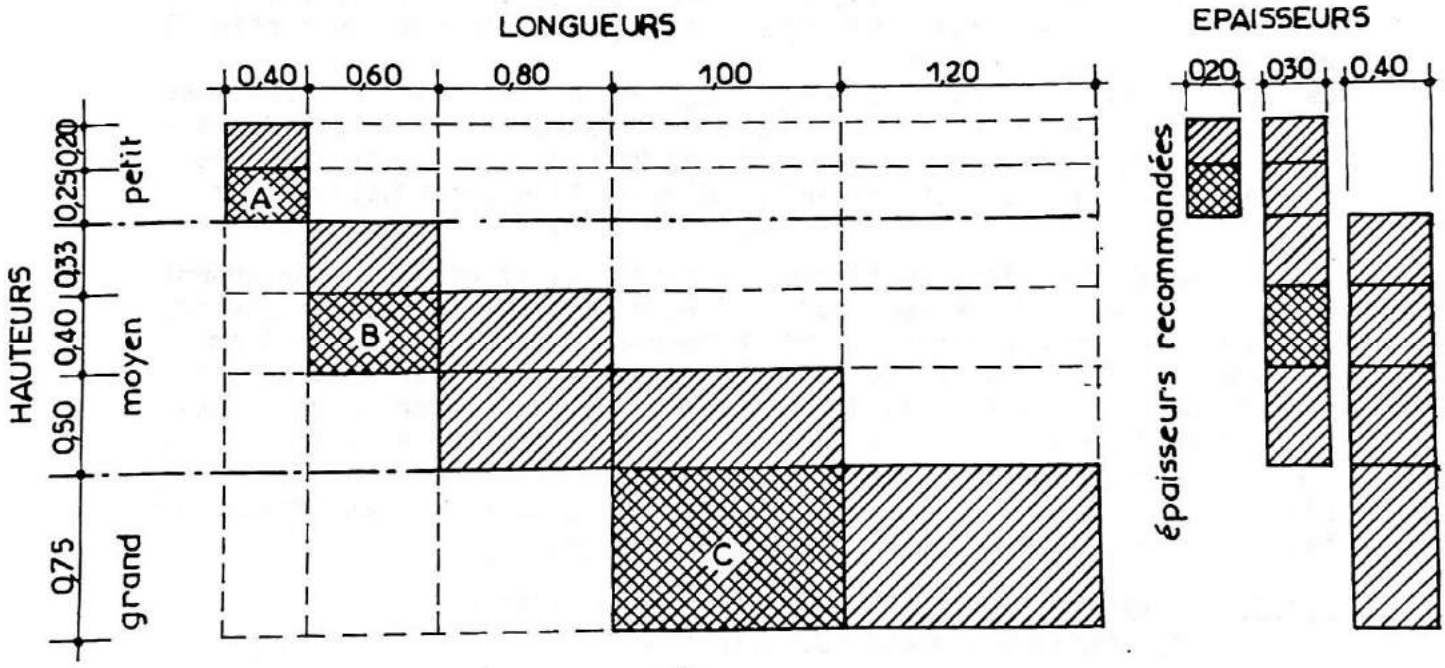
I.2.4. LE CHOIX DU FORMAT

Bloc de pierre prétaillée calcaire - doit répondre aux conditions de la nature physique, de la texture du matériau et de sa résistance aux intempéries, des hauteurs de bancs de gisement ;

- quand le matériau est tendre, débitage facile, l'appareillage est petit et serré (transport plus facile) - pour faciliter la pose, les tailleurs de pierre n'hésitent pas à multiplier les joints.
- quand la pierre est dure et résistante, les blocs sont grands et les assises hautes.

. Si on emploie des gros formats, les blocs standards forment des parpaings et occupent toute l'épaisseur du mur. Si l'on adopte des petits formats, les blocs standards peuvent être posés soit en boutisse, c'est-à-dire les petits côtés en parement, soit en panneresse, c'est-à-dire le grand côté en parement ; dans ce cas deux épaisseurs de panneresses plus un joint égalent une longueur de boutisse.

T18



A.B.C. sont les blocs proposés

Nota : Tous les blocs ci-dessus peuvent être débités en 1/2 blocs et 1/4 de blocs pour permettre un appareillage rationnel.

Le bloc standard en 0,25 - 0,30 ou 0,33 m de hauteur d'assise, suivant les carrières et l'épaisseur des bancs, est celui qui conviendrait le mieux à la "pierre prétaillée" de calcaire tendre, matériau de murs porteurs pour constructions courantes à bon marché à construire en grandes

séries. Quant aux autres dimensions, elles peuvent être choisies en fonction de l'épaisseur minimum pour l'emploi des calcaires tendres ; l'épaisseur de 0,40 m est celle requise, avec une marge de sécurité suffisante pour la porosité et l'isolation thermique et 0,20 m pour permettre la construction en panneresses en totalité en blocs standards ou avec seulement le parement extérieur.

Pour ce qui est des grès, il est à noter qu'ils sont susceptibles de fournir des pierres de taille lorsque les bancs sont suffisamment épais pour donner des pierres d'un appareil suffisant, placées aux endroits qu'il convient de renforcer pour des constructions en pierre tendre, parfois associées à une armature-bois. Souvent poreux et donc sensibles aux agents atmosphériques, il est recommandé de les enduire d'un bon crépis à l'extérieur.

Dans certaines constructions en pisé (terre argileuse + cailloux + paille), selon les régions et possibilités de matériaux locaux, la partie basse des murs, les angles et les murs exposés aux vents de pluie sont réalisés en pierre ; les éléments de pisé sont montés sur les murs de pierre et il n'y a pas de contre indication dans le liaisonnement de ces 2 types de maçonnerie.

En étendant le procédé, il est aussi fabriqué ce que l'on appelle *des parpaings de pierre*, calcaires concassés et mélangés dans un mortier à base de chaux et de ciment.
Des expériences, à l'échelle même industrielle, ont déjà été réalisées par le Centre de Recherche de Bandung en Indonésie - également des études ont été menées au Central Building Research Institute à Rookee en Inde - voir rapport de Martial Combles au Plan Construction (Déc. 1981).

Ces concassés ou éclats de pierre, de taille assez grosse, proviennent des déchets de carrière, ou peuvent être des galets de rivière cassés. Ils sont liés ensemble dans un moule pour former des blocs de 30 cm de long, 15 cm de haut et 10-15 ou 20 cm de large ; leur poids varie de 9 à 18 kg. Les parpaings de pierre sont utilisés pour la construction de murs porteurs ou non ; la résistance à la compression peut varier suivant la qualité du mortier utilisé et la disposition des pierres elles-même dans le moule. Il faut donc noter une attention particulière dans la fabrication de ces parpaings.

I.2.5. STOCKAGE D'ENERGIE THERMIQUE, CHALEUR RESTITUEE (cf. chapitre I-3 des spécifications)

Signalons que les pierres utilisables dans la construction ont chacune un coefficient de conduction λ en kcal/m.h.°C variable en fonction de leur densité et charge de rupture (1 kcal/h = 1,63 w).
λ = 0,85 pour les pierres calcaires tendres et 3,00 pour les granits basalts, porphyres. Ce coefficient λ nous en révèle des qualités thermiques appréciables, et nous pouvons concevoir le rôle de *régulateur* de l'élément minéral pour les variations de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment, restituant plus ou moins lentement la chaleur emmagasinée.

Chaque fois que la température extérieure est différente de celle du mur, il se crée un courant de chaleur par conductibilité ; le mur ab-

sorbe une partie de cette chaleur suivant son pouvoir calorifique. La chaleur cherche donc à traverser le mur ; la différence de température décroît, puis s'annule, et *si le mur est suffisamment épais* la température de la surface intérieure est constante et égale à la température moyenne journalière.

Les murs en pierre calcaire de 0,40 m pour les murs de façade, 0,30 m pour les murs de refend, opposent une inertie suffisante aux variations de température journalière pour qu'à l'intérieur des pièces habitables on ne puisse percevoir ces variations : ils agissent à l'image d'un volant d'inertie, important pour les murs en pierre de taille de calcaire - matériau dense à pouvoir calorifique élevé.

Perméabilité à l'air

Ceci est un autre avantage des murs en pierre de taille de calcaire, exerçant une influence sur les conditions hygiéniques de l'habitation. L'air, en passant au travers du mur poreux à texture celluleuse, a des propriétés oxydants pour détruire les particules organisées : rôle de purificateur.

D'autre part, les gaz contenus dans un espace clos dont l'enveloppe est poreuse, sont projetés à différentes vitesses et s'échappent en même temps que l'air extérieur s'introduit : transpiration des murs épais en pierre de taille calcaire.

Formation du calcin

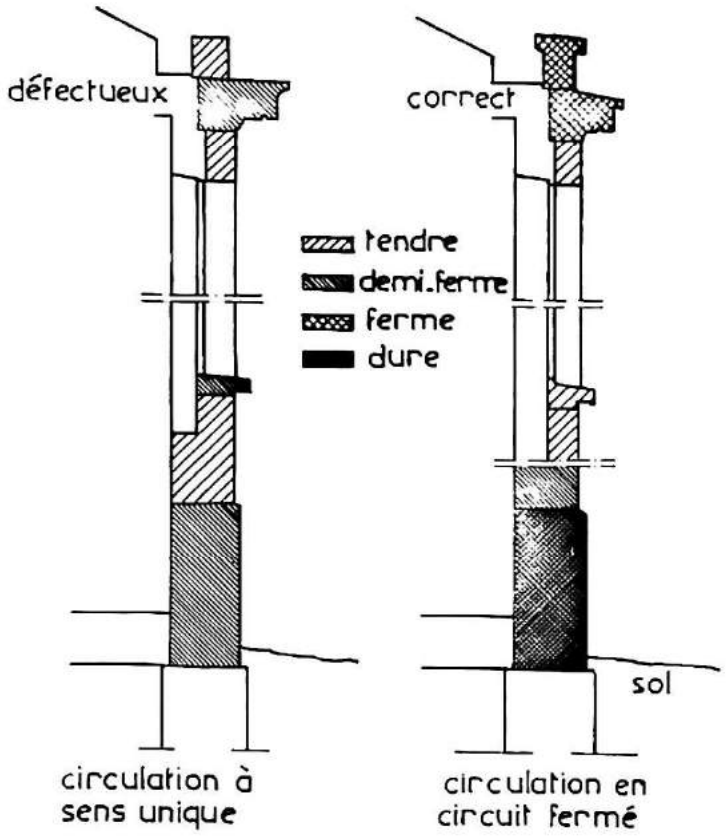
Les pierres dures et demies-dures peuvent être taillées en carrière ou être expédiées, sous forme de blocs bruts ou de tranches sciées, à des chantiers de tailleurs de pierre. Les pierres tendres, qui risquent de se détériorer dans le transport, sont expédiées en blocs bruts aux chantiers de pierre de taille. Les pierres très tendres, simplement ébauchées, sont disposées dans la construction maçonnée et parachevées sur le tas par une taille de parement que l'on appelle "ravalement".

- Les pierres se taillent plus facilement lorsqu'elles viennent d'être extraites, d'où l'avantage de les tailler en carrière ; les pierres poreuses contiennent une quantité considérable "d'eau de carrière", qui tend à s'évaporer après l'extraction quand elles sont exposées à l'air libre (jusqu'à plusieurs mois d'entreposage).
  Risque de gel pour les pierres extraites avant l'hiver - les stocker en cave.

  Cette eau, qui contient dans les pierres calcaires une grosse proportion de carbonate de chaux et autres sels minéraux en dissolution, se cristallise en surface et forme une croûte protectrice, le "calcin" ferme et résistant, qui non seulement préserve la pierre des agents atmosphériques mais lui donne également une patine naturellement uniforme.

  L'usage consistant parfois à faire des ravalement après la pose, gratter les pierres mises en oeuvre sur plusieurs cm d'épaisseur, ne conduit qu'à détruire à tout jamais cette croûte protectrice - "tuer la pierre" - puisqu'elle ne peut se former qu'une seule fois avec l'eau de carrière contenue dans la pierre fraîchement extraite.

CONDITIONS D'UTILISATION DE DIVERSES DURETES DE PIERRES



Croquis 98. D'après F. Vitale

Autoprotection des calcaires.

On ne peut qu'insister sur cette idée d'autoprotection des calcaires par la formation du calcin, lorsque l'eau décrit dans la pierre un circuit fermé. Imbibant la pierre, CO_2 dissout un peu de calcaire qui ensuite par l'évaporation se dépose à la surface formant une croûte dure qui finit par rendre la pierre imperméable. S'il y a circulation de l'eau à sens unique il se forme des accumulations de sels à l'arrière du calcaire, qui font sauter celui-ci aux endroits de forte évaporation.

François Vitale, architecte, professeur à l'école des Beaux Arts de Bruxelles, a figuré dans le document ci-contre les conditions d'emploi rationnel des pierres et en comparaison un exemple d'emploi irrationnel ne donnant aucune bonne disposition pour l'écoulement des eaux.

Les pierres de couverture et les pierres faisant saillie sont fortement exposées à l'imbibition et à la saturation par l'eau (également action du gel). Ces pierres sont particulièrement destinées à empêcher l'infiltration de l'eau dans les assises inférieures ; elles doivent donc être suffisamment imperméables. Si elles sont perméables, les eaux qui les traversent s'infiltrent dans l'édifice et dans les assises inférieures, produisent des efflorescences et des cristallisations de sels sous le calcin, faisant éclater celui-ci.

De même pour les socles, les eaux du sol montant par capillarité sont particulièrement nocives par suite de l'humidité qu'elles répandent et des cristallisations qu'elles provoquent.

Mais, dans la majorité des bâtiments destinés à l'habitation, il est irrationnel de ne faire usage que de pierres dures et fermes : elles sont plus coûteuses, difficiles à tailler, s'opposent à la diffusion de l'humidité intérieure et ont une grande conductibilité thermique.

Donc, suivant les éléments auxquels on est soumis et dans la mesure d'une certaine disponibilité d'exploitation des matériaux locaux un bâtiment rationnel doit être construit en associant harmonieusement diverses variétés de pierre.

moellons bruts

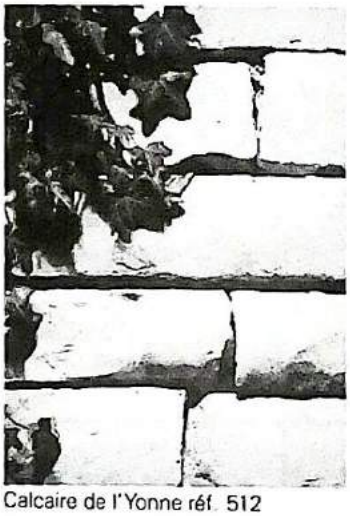
Grès rouge face éclatée réf. 115

Grès rouge face naturelle réf. 117

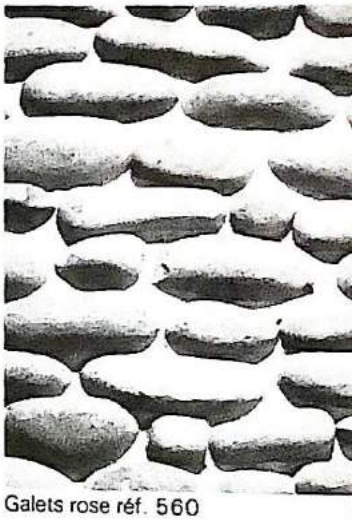
Grès rustique face naturelle réf. 155

Grès rustique face éclatée réf. 153

Schiste mauve réf. 134


Calcaire de l'Yonne réf. 512

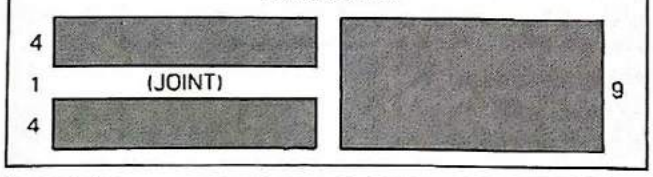
Ardoise bleu noir rouillé réf. 141


Galets rose réf. 560

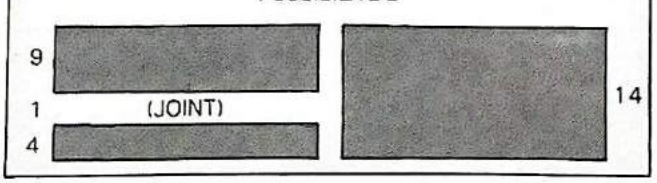
mode de pose

EPAISSEUR	HAUTEUR	LONGUEUR VARIABLE	JOINT
MOELLONS 6 cm à 8 cm PLACAGE 1 cm à 2 cm	4 cm 9 cm 14 cm		1 cm

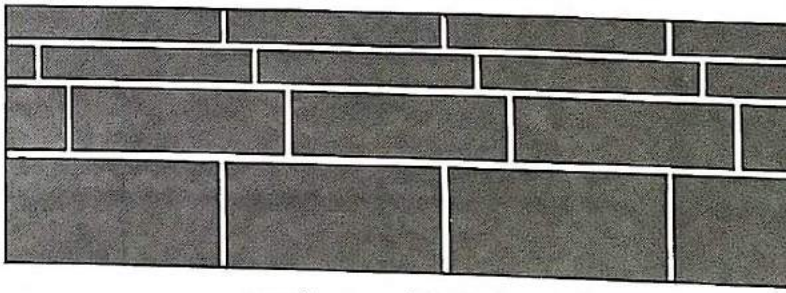
POSSIBILITE 1



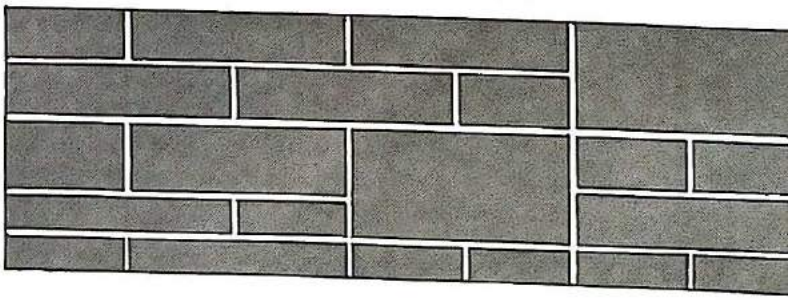
POSSIBILITE 2

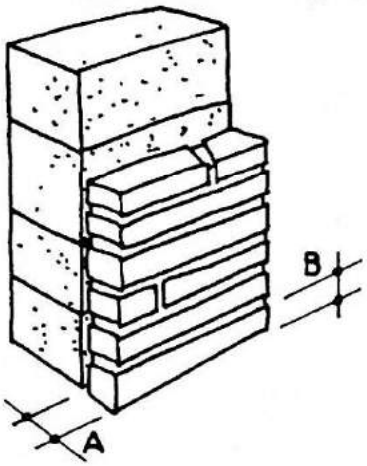


moellons assisés linéaire



moellons assisés brouillé





B A R E T T E S

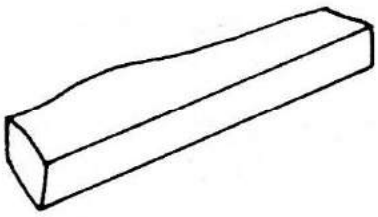
On désigne sous ce nom des bandes de schiste destinées au montage d'un parement devant une maçonnerie quelconque : moëllons, parpaings, brique creuses, béton. Deux retours d'équerre donnent une face vue sensiblemen rectangulaire.

Réf.		Longueur en cm	Queue (A) en cm	Epais. (B) en cm	Vente au m² de parement pesant
160	Rive vue sciée	20 à 60	6 à 10	3 à 10	approxima-tivement 200 kg
161	Rive vue quernée *	20 à 35	6 à 10	3 à 10	

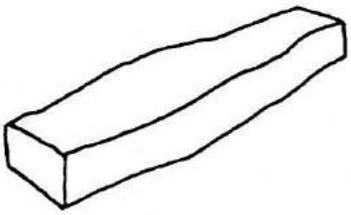
* *On désigne sous le nom de rive "quernée" une cassure sensible droite, perpendiculaire au plan de fissilité dans le sens de longueur.*

N.B. : Sur demande spéciale, il est possible de fabriq des barettes de dimensions déterminées en longu queue et épaisseur.

160



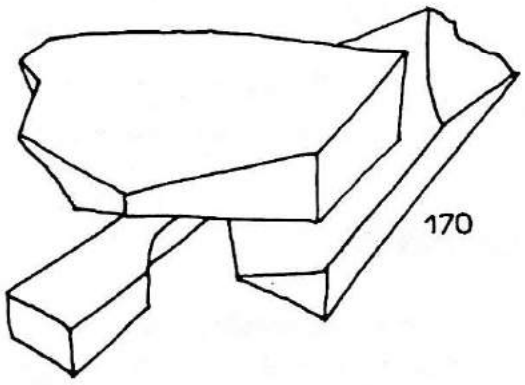
161



P I E R R E S D E S C I E R I E

On désigne sous ce nom des moëllons de schistes destinés au montage de murs porteurs, en maçonnerie dont le parement peut rester visible.

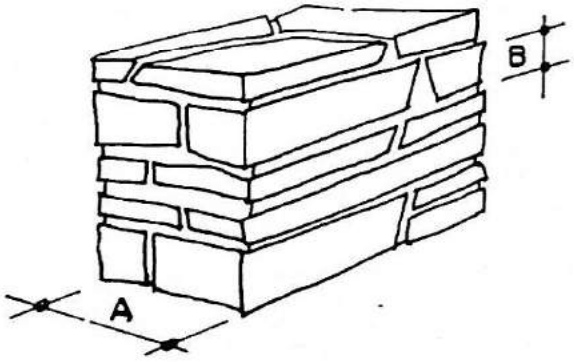
Réf.	
170	Aucune caractéristique de dimensions. Une rive quelconque sciée. Vente à la tonne.



170

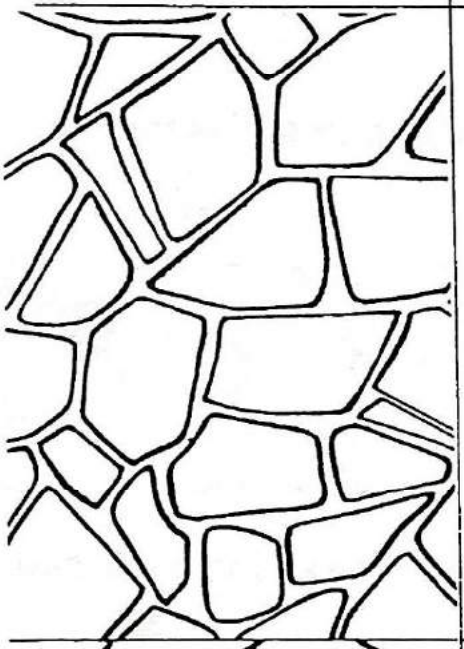
P I E R R E S D E P A R E M E N T

Ces moëllons présentent une longue rive sciée, avec au moins un retour scié sensiblement d'équerre.



Réf.		Longueur en cm	Queue (A) en cm	Epais. (B) en cm	Vente à la tonne donnant environ 0,400 m³ de maçonnerie, soit environ 2,30 m² de parement
171	1 retour d'équerre scié..... 1 retour brut.....	sup. à 20	10 à 25	3 à 12	
172	2 retours d'équerre sciés.....	sup. à 20	10 à 25	3 à 12	

PIERRES ET DALLAGES T19



Désignation	Epaisseur en cm	Poids au m² en kg
OPUS INCERTUM BRUT		
Rhune rose	2 à 3	75
" "	3 à 5	90
" "	4 à 7	110
Schiste rose	3 à 6	90
Calcaire brun	3 à 6	90
Calcaire ivoire	3 à 7	90
" de Bavière	1,5 à 2,5	45
Quartzite verte	2 à 4	45
" bleue	2 à 3	50
Grès rouge	2,5 à 4	70
Ardoise verte	1,5 à 2,5	50
" rouge violine	1,5 à 2,5	50
" violine bleue	1,5 à 2,5	50
" bleue	1,5 à 3	50
OPUS INCERTUM SCIE		
Ardoise noire - grand opus	1,5 à 2,5	60
" " - petit opus	1,5 à 2,5	50
Schiste rose	2 à 3	
OPUS ROMAIN		
Schiste rose	2 à 2,5	60
Ardoise noire	1,2 à 2	40
Bavière ivoire	0,7 à 0,9	30
" "	0,9 à 1,2	35
PLAQUETTES		
Schiste rose 10 x 20	1 à 1,5	40
" " 5 x 20	1 à 1,5	40
" noire 20 x 10	0,8 à 1	22
BARRETTES		
Ardoise noire quernée	0,3 à 1	200
Schiste rose scié /écla-		
Calcaire té	0,3 à 1,2	130
Meulière rocaille	le m³	
Moellons calcaire dur	La Palette	

I-3. DIFFERENTES OUVERTURES

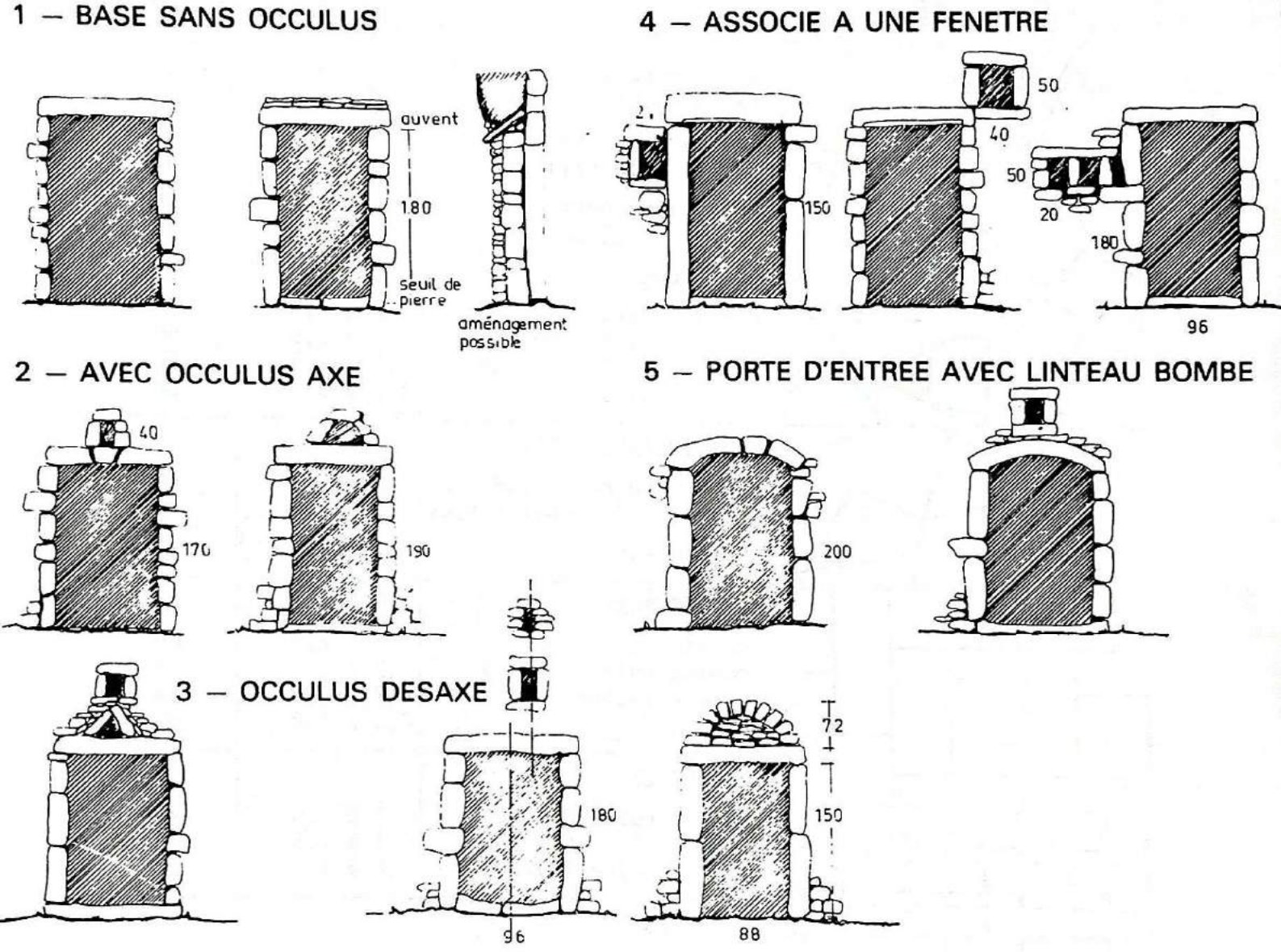


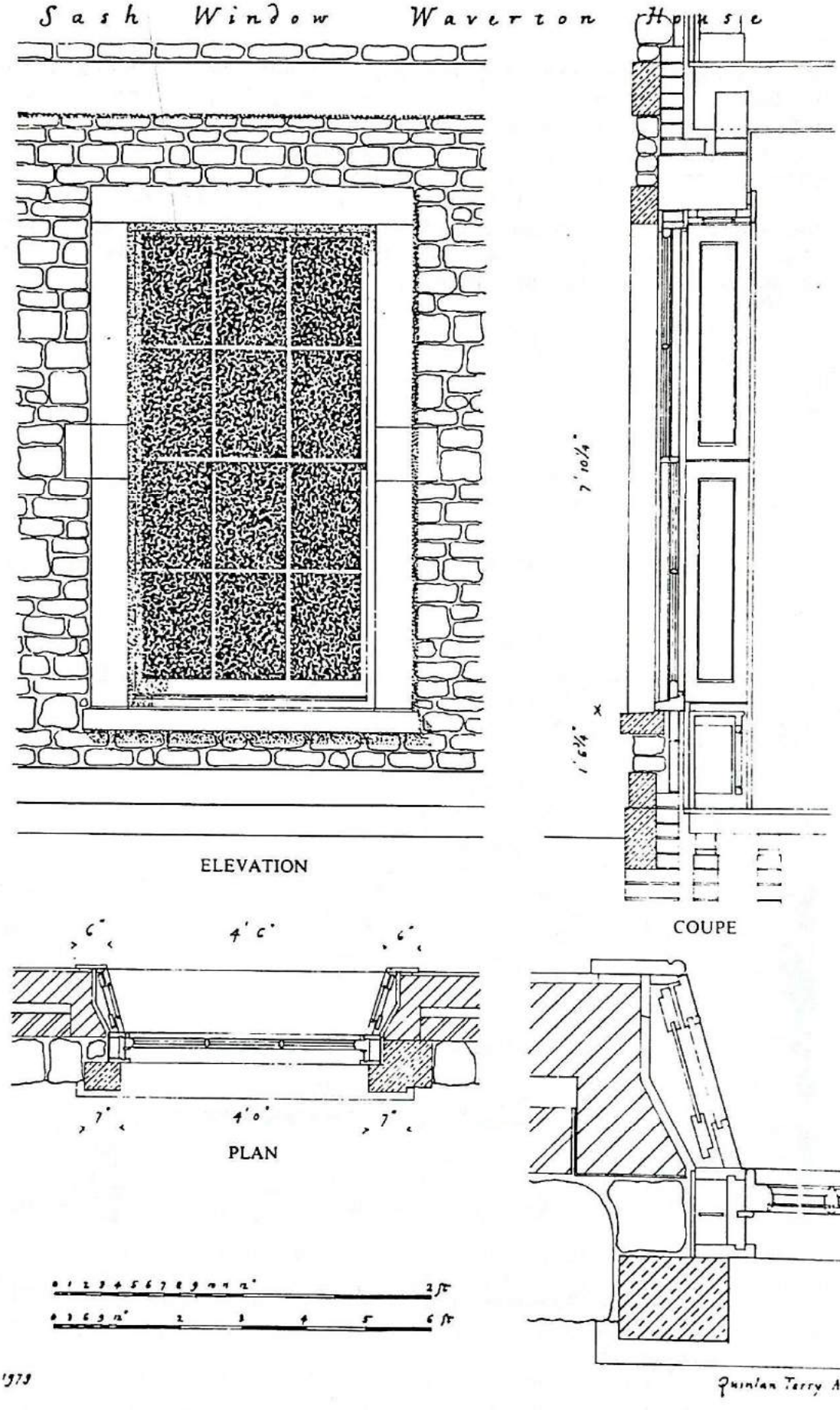
Planche 101
CROQUIS DANS "MAISONS CREUSEES, MAISONS ENTERREES" ED. ALTERNATIVES

La pierre résistant mal à la flexion, il est plus simple de pratiquer des ouvertures plus hautes que large - *portes et fenêtres*. La partie basse de ces ouvertures s'appelle *seuil - appui* - Pour de petites ouvertures, un léger décalage de l'appareillage des pierres ou moellons sera suffisant.
Pour des fenêtres de taille moyenne, s'impose la mise en place de *linteaux* et *jambages*. Le linteau est un élément horizontal en pierre (éventuellement brique, bois ou fer) permettant de couvrir une ouverture en recevant les charges des parties supérieures afin de les transmettre verticalement aux jambages. Il peut être constitué d'une seule dalle assez épaisse : c'est alors un linteau monolithe.

Les linteaux d'une certaine longueur doivent être soulagés par un arc de décharge (visible ou dissimulé sous un enduit), formant voûte, afin d'éviter que la pierre ne se fende en son milieu. En réalité, la charge supportée par le linteau peut être figurée par un triangle rectangle cèle dont il forme la base, les jambages supportant le reste - l'espace existant entre le linteau et l'arc de décharge ne sera rempli que lorsque la maçonnerie du dessus se sera tassée et avec un blocage peu lourd de sorte que, si l'arc venait à céder, une trop forte charge ne se produise au milieu du linteau.

Linteau décoré à la porte d'une porcherie dans le Berry

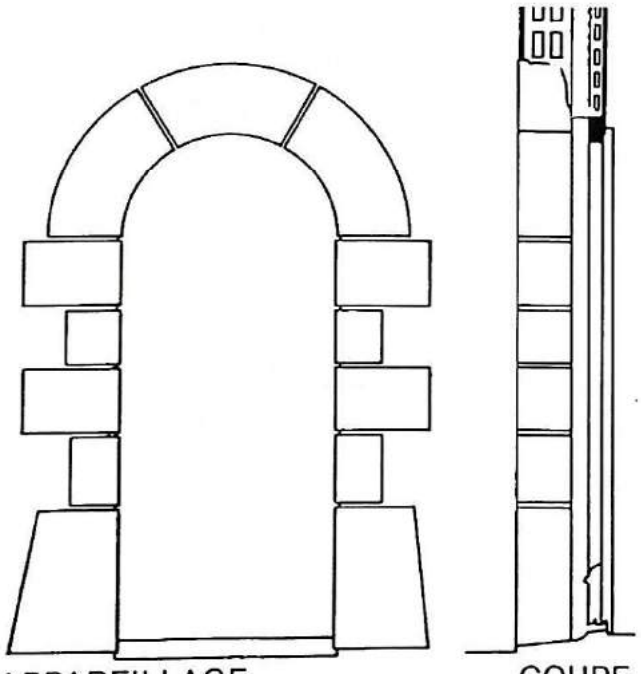
Cliché 73



Gloucestershire - Angleterre
Quinlan Terry, architecte
(AAM n° 2)

Planche 102

Cliché 74 *Siena - Italie*



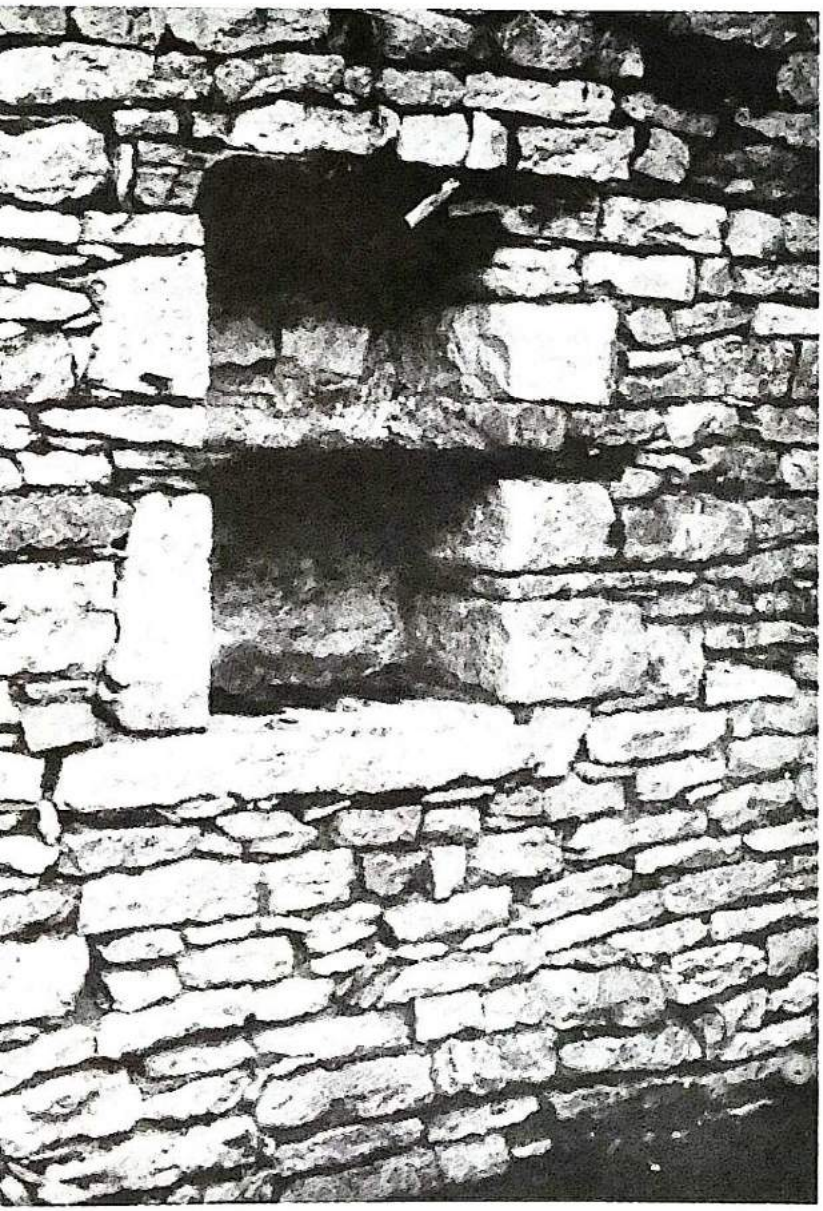
APPAREILLAGE COUPE Croquis 103

"N'as-tu pas observé, en te promenant dans cette ville, que d'entre les édifices dont elle est peuplée, les uns sont muets, les autres parlent ; et d'autres enfin, qui sont les plus rares, chantent ?
- Ce n'est pas de leur destination, ni même leur figure générale, qui les animent à ce point, ou qui les réduisent au silence. Cela tient au talent de leur constructeur, ou bien à la faveur des Muses..."

Paul Valéry.

En Bourgogne, Savigny-lès-Beaune, Côte d'Or : Anneau de pierre recevant les gonds d'une grande porte.

Cliché 75



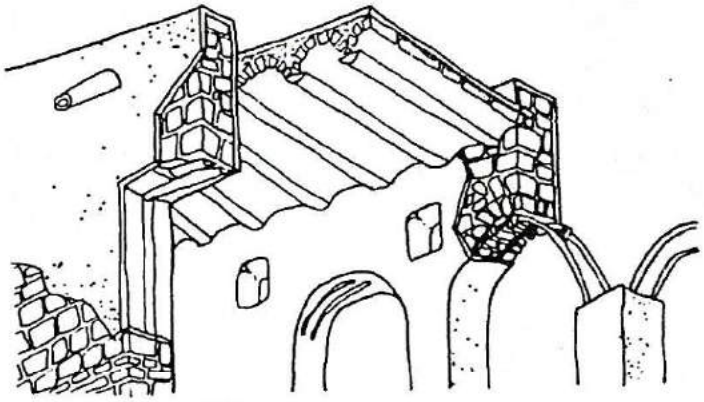
En Bourgogne, Baubigny-Evelle, Côte d'Or : Une niche (en creux) aménagée dans le mur.

Cliché 76

I-4. L'ARC

- Pour que l'on découvre et utilise l'arc, il fallait une pénurie totale de matériau travaillant à la flexion - le bois. La courbe n'est obtenue que lorsque les matériaux pierres, briques, travaillent à la compression - les techniques de mise en oeuvre sont différentes selon les pays et même les régions.

- Les habitations du *M'Zab en Algérie* sont construites en moellons calcaires de la Chebka liés, soit au timchent, soit au sable et chaux, suivant l'épaisseur du mur. Pour les passages les arcs sont réalisés à l'aide d'un coffrage, pour former le cintre, en nervures de palme qui se courbent aisément et sont noyées ou laissées apparentes - on se sert de cailloux sans taille + plâtre (gypse) : prise rapide et sans maniement d'outil.



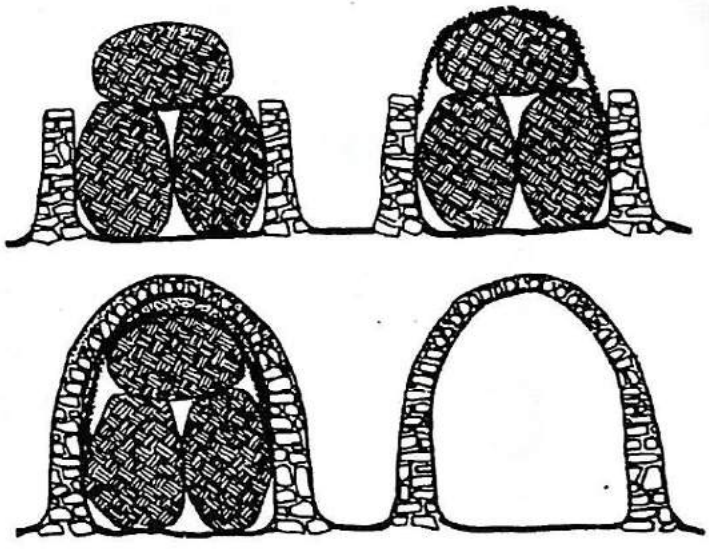
Croquis 104
Les ouvertures sur l'extérieur (7 cm de large et 30 à 60 cm de haut) ont un franchissement du linteau en une seule pierre - intimité, protection soleil

Quand on emploie un matériau relativement léger, telle la rose des sables dans la région d'*El Oued* par exemple - grand erg oriental algérien - le monolithisme se réalise dans l'instant, à chaque pose d'éléments, par la rapidité de prise du plâtre traditionnel, et permet de se passer d'un cintre.

- Dans les ksars du *Sud Tunisien*, le coffrage est constitué d'une natte posée sur des silos à grains remplis de terre sur lequel le maçon, après avoir tracé des décors sur une couche d'argile, coule le plâtre et monte la maçonnerie.

André Ravereau

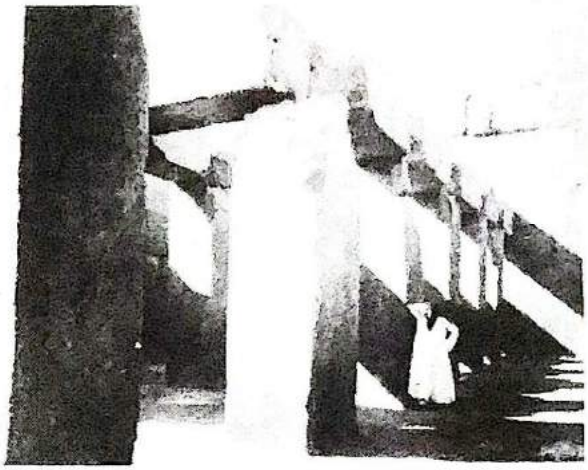
"Les civilisations qui ignoraient ou voulaient ignorer l'arc ont souvent construit en pierre avec les gestes du bois".



Croquis d'après Moine et Pradeau

Croquis 105

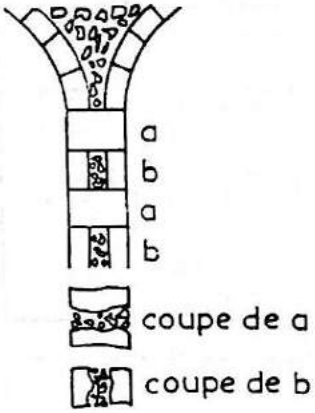
- Dans l'ancienne *Egypte*, on ignorait complètement l'art des voûtes. Ils ne construisaient que par *plates bandes* en marbre et en granit, d'un volume et d'un poids énorme, d'un seul morceau, qui portaient horizontalement sur deux piliers ou deux colonnes.
  Egalement chez les Grecs, lesquels avaient puisé les premiers éléments de leur architecture chez les Egyptiens. Ce sont les Romains qui construisirent les premières arcades et voûtes sphériques, après de timides tentatives par les architectes grecs.



Cliché 77 d'après éd. Vromant

- En *Syrie*, dans les villages, le paysan ne se contente pas seulement de pièces simples, il veut des salles spacieuses et construit donc un arc - jusqu'à 5 m d'ouverture - dans la maison pour soutenir les poutres de la terrasse. Egalement, pour circuler à l'abri du soleil et de la pluie, aller d'une chambre à l'autre, il fait déborder la terrasse sur la cour et la soutient par une suite d'arcades - 2 m d'ouverture environ -

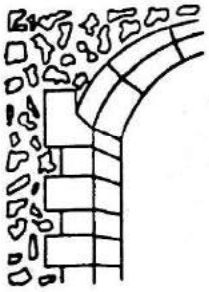
Province de Siena - Italie Cliché 78



Croquis 106

Les piliers d'une suite d'*arcades* sont d'ordinaire de plan carré. Deux pierres dressées avec blocage entre elles forment chaque lit. Les pierres taillées sont alternativement dans un sens et dans l'autre. Les extrados et intrados des arcs sont parallèles. Ils reposent sur le parement du lit supérieur tandis que le blocage du mur descend en pointe vers celui du pilier et forme le tympan. Les arcs sont presque toujours brisés - autrefois ils s'achevaient à leur sommet par le plan vertical de 2 voussoirs ; aujourd'hui les maçons semblent donner la préférence à la *clef de voûte*.

Les portes et les fenêtres sont tantôt rectangulaires, tantôt cintrées. Une pierre plate, longue de 1 m à 1,50 m, forme le linteau. Il repose à chaque extrémité sur un montant de plan carré ou plus simplement sur des encoches faites dans le mur. Si l'on a des *voussoirs*, on les assemble fréquemment au nombre de 5. Celui du milieu est toujours le plus long. Ceux des extrémités reposent sur une pierre taillée de façon à annihiler la poussée. Parfois les quelques pierres employées dans la construction proviennent d'un temple antique.



Croquis 107

VOUTES PLATES

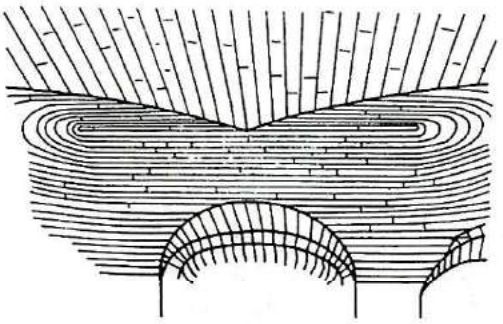


Fig. 1.
Voûte plate.

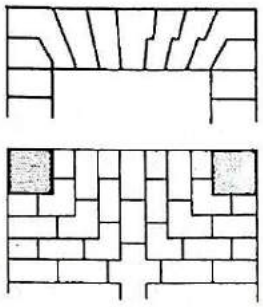


Fig. 2.

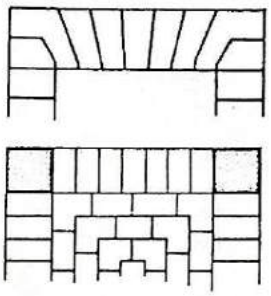


Fig. 3.

Voûtes plates sur plan rectangulaire.

VOUTES DE RÉVOLUTION

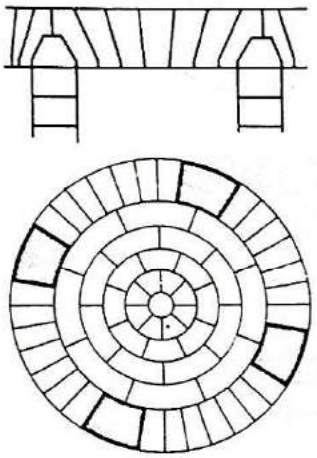


Fig. 4.
Voûte plate sur plan circulaire.

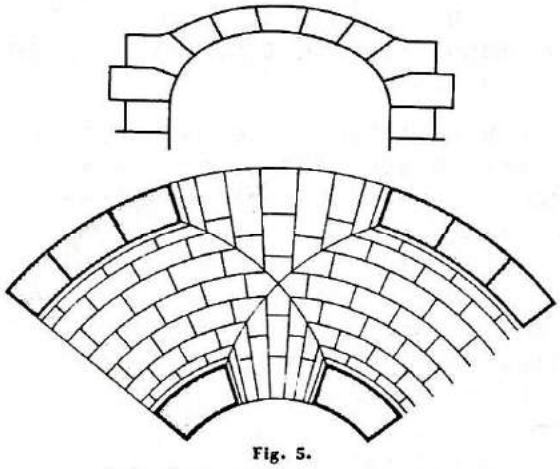


Fig. 5.
Voûte d'arête dans une voûte annulaire.

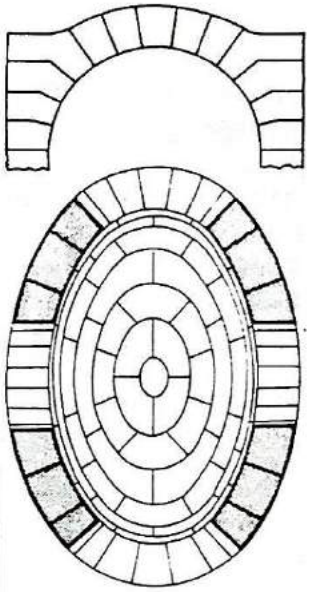


Fig. 6.
Voûte elliptique.

VOUTES COMPOSÉES

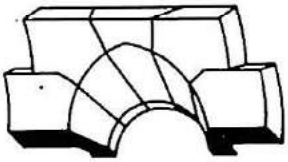


Fig. 7. — Lunette.

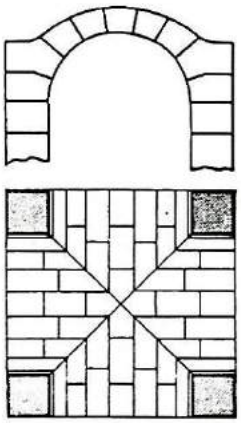


Fig. 8. — Voûte d'arête.

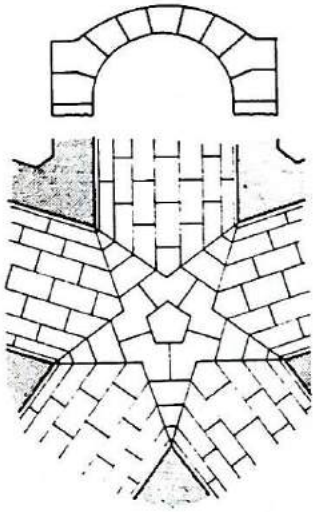


Fig. 9.
Voûte d'arête pentagonale.

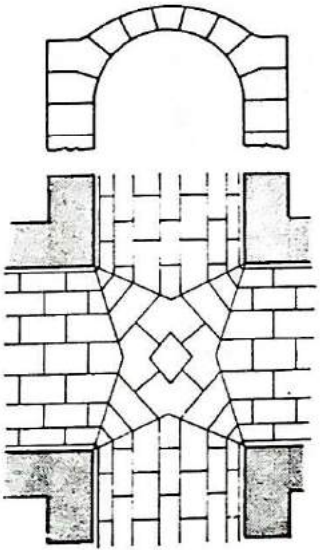


Fig. 10.
Voûte d'arête à double arêtier.

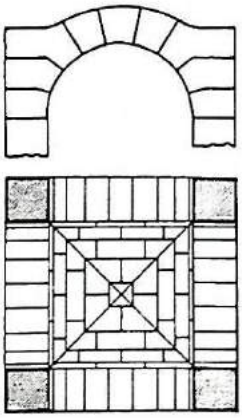


Fig. 11. — Voûte en arc de cloître simple.

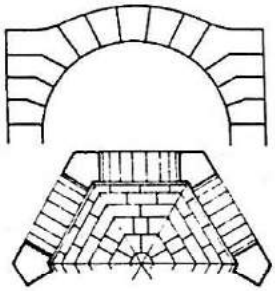


Fig. 12. — Voûte en arc de cloître sur plan hexagonal.

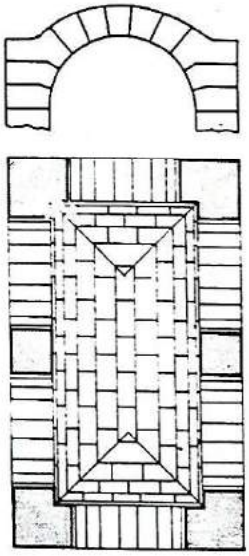


Fig. 13.
Voûte en arc de cloître (partie du milieu en berceau).

VOUTES COMPOSÉES (suite)

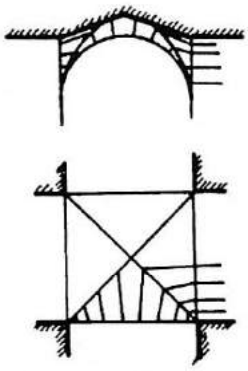


Fig. 14. — Voûte en bonnet d'évêque, de forme conique (intersection de cônes).

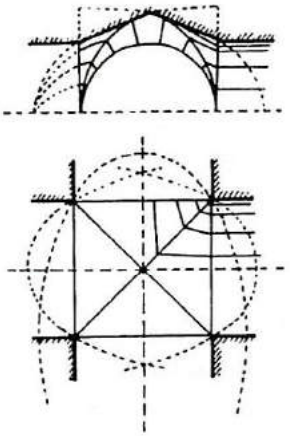


Fig. 15. — Voûte en bonnet d'évêque, de forme elliptique (intersection d'ellipsoïdes de révolution).

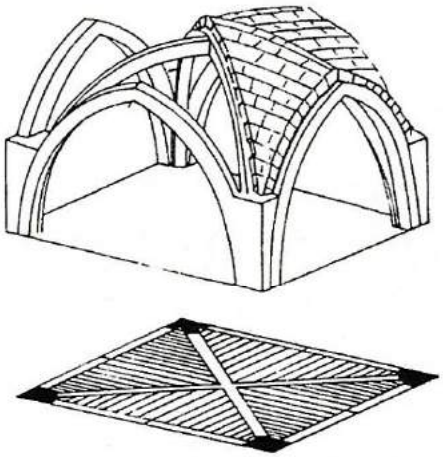


Fig. 16. — Voûte sur croisée d'ogive

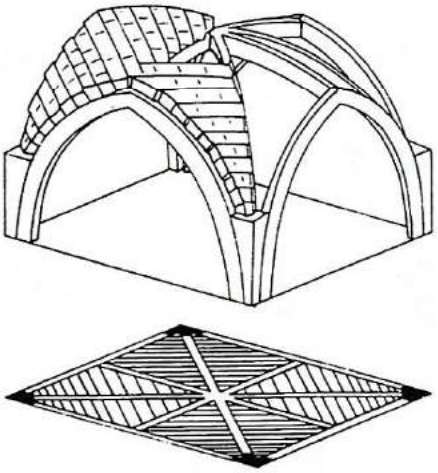


Fig. 17. — Voûte domicale.

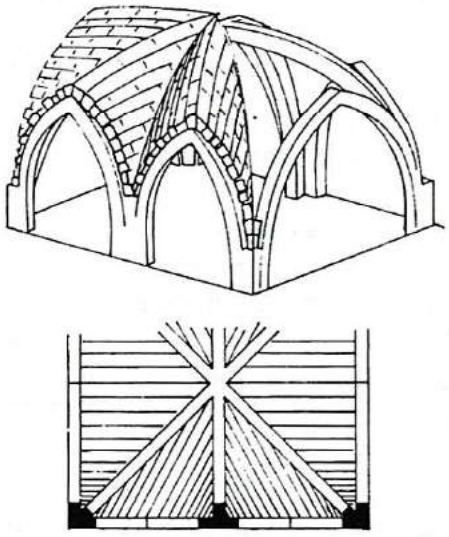


Fig. 18. — Voûte sexpartite.

TROMPES

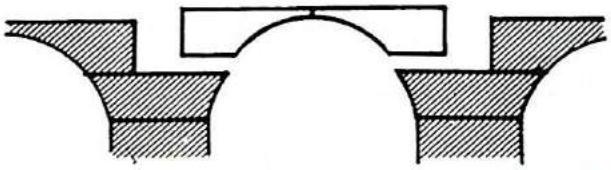


Fig. 19. — Voûte construite en surplomb (Égypte).

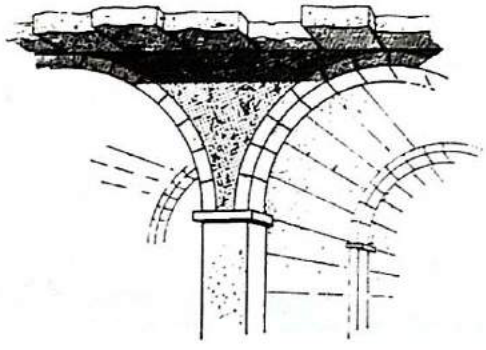


Fig. 21. — Dalles posées sur arcs doubleaux.

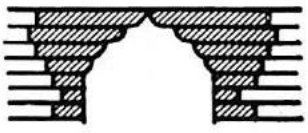


Fig. 20. — Voûte construite par encorbellement (Inde).

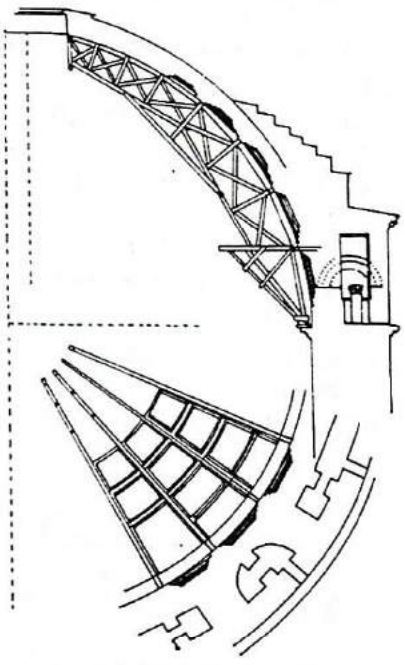


Fig. 22. — Schéma de construction d'une voûte sphérique romaine.

I-5. ESCALIER

Définition

Suite de degrés, de marches, qui servent à monter et à descendre. Les marches portent comme des linteaux soit sur chacun des murs entre lesquels les escaliers sont construits, soit sur des berceaux rampants, soit sur un arc rampant et sur un mur, soit sur un noyau plein central et un mur lorsque l'escalier est circulaire.

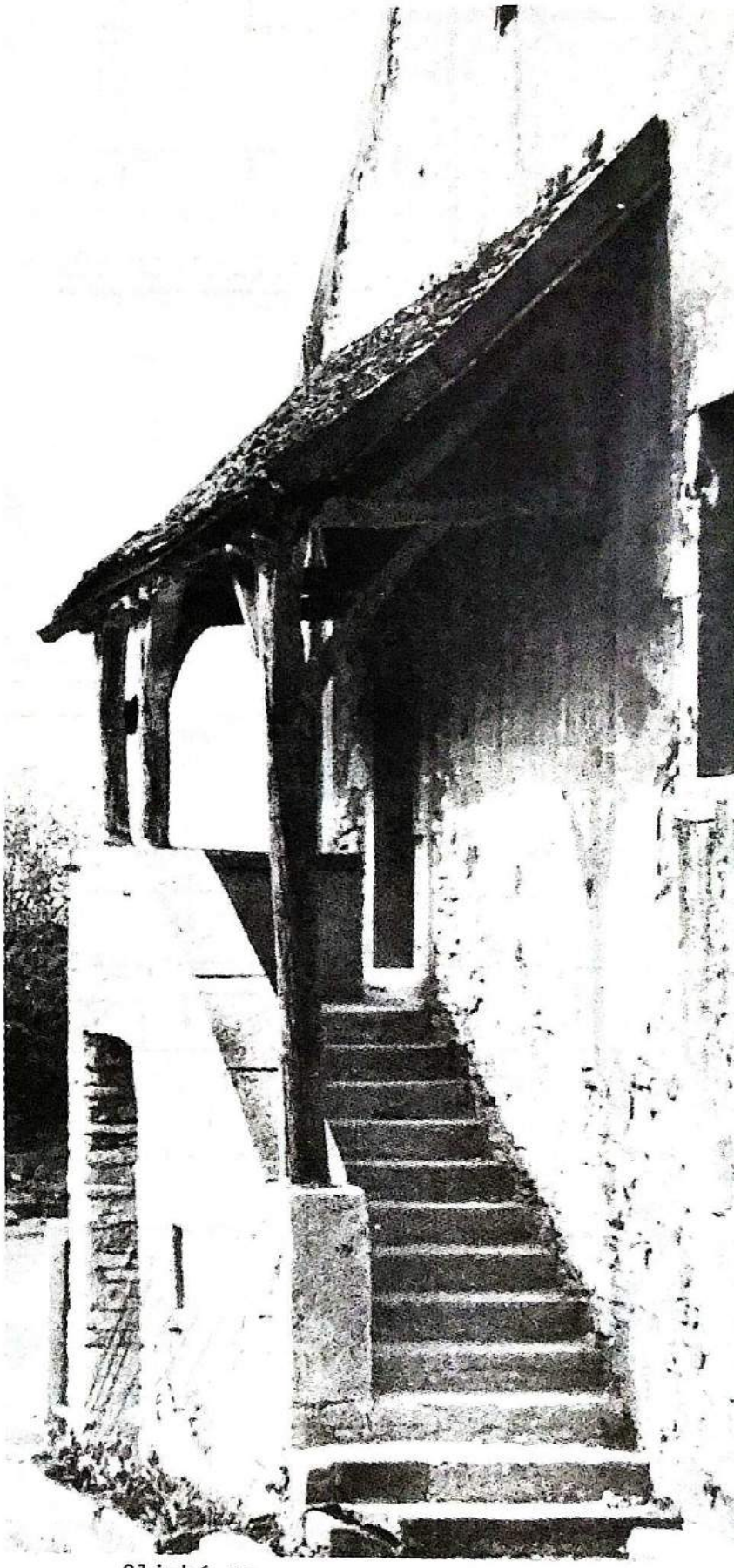
Un escalier est déterminé :

- par sa montée, distance entre les 2 niveaux qu'il relie ;
- par son emmarchement, largeur de ses marches qui représente sa propre largeur ;
- par la hauteur h de ses marches qui est comprise entre 15 et 17 cm.
- par le giron g des marches qui doit être tel que l'on puisse facilement poser le pied, ce qui revient à dire que la largeur des marches doit être de 28 à 32 cm.

Le pas d'un homme étant en moyenne de 0,64 m, on estime que pour qu'un escalier se montre sans fatigue il doit répondre à la formule

$$0{,}64 = 2\,h + g$$

g étant compris entre 15 et 17 cm dans un escalier ordinaire, mais pouvant atteindre 20 cm dans les escaliers de service.



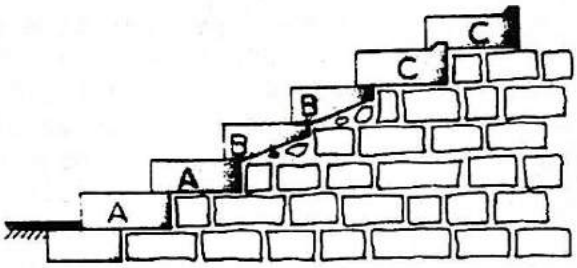
Cliché 79

Magny-lès-Villers, Côte d'Or, Bourgogne.

Principe de construction

Les marches se superposent les unes sur les autres avec 4 ou 5 cm de recouvrement, et se placent à bain de plâtre ou de mortier, et de niveau, sur leur longueur sur un massif de moellons ; l'on fait pencher chaque marche de 1 cm sur le devant pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales.

Les deux premières marches A sont prises dans une pierre de 35 à 40 cm de hauteur. On peut poser les marches B entre deux murs en pierre dans lesquels on incruste leurs extrémités au moyen de deux entailles de 3 à 4 cm de profondeur. Dans les marches C, on exécute ce que l'on appelle un jet d'eau à 4 ou 5 cm de la largeur, laquelle entre dans une entaille de même proportion.



Croquis 110

Note :

Il peut être évité parfois, suivant la longueur des marches, de construire un massif de moellons, lorsque chacune de ces marches est en prise directe dans l'épaisseur d'un mur (25-30 cm) perpendiculaire au plan horizontal. L'espace situé sous l'escalier est alors libéré.

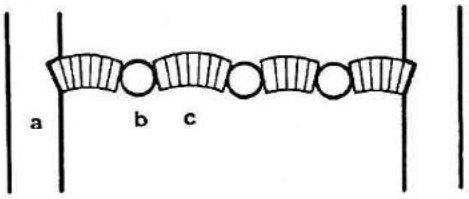
De même, entre deux murs parallèles, ce principe de construction se trouve être encore plus évident.

I-6. PLANCHER, PLAFOND, TERRASSE

Les planchers peuvent être dallés en pierres posées à même le solivage ou sur le parquet (on voit parfois dans les combles des murets de pierres montés au mortier de chaux maigre sur sur le plancher, pour faire des petites cases à grain). Il existe des planchers faits de solives entre lesquelles on installe des entrevous de pierres pincées (sur chant) en berceaux segmentaires très plats.

Sol d'étage en entrevous de pierres pincées entre des solives

a mur
b solives
c entrevous

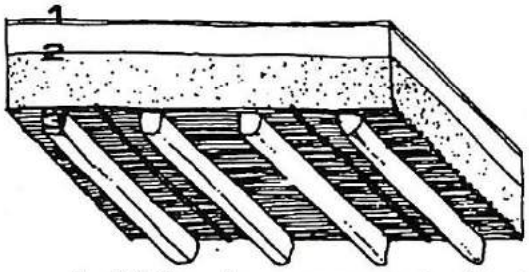


Croquis 111 *Bourgogne*

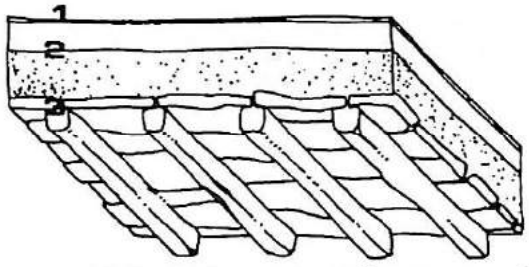
Carrelage intérieur en petites dalles carrées ou rectangulaires - se polit à l'usage.

Cliché 80 *Berry*

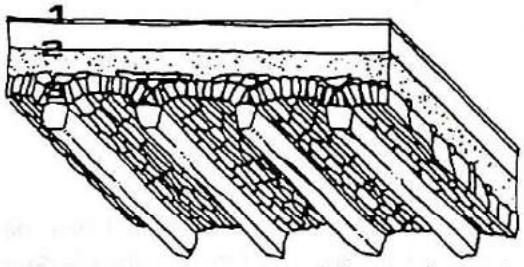
- Principe de réalisation de plancher en Tunisie :



lattis de nervures de palme



pierres plates

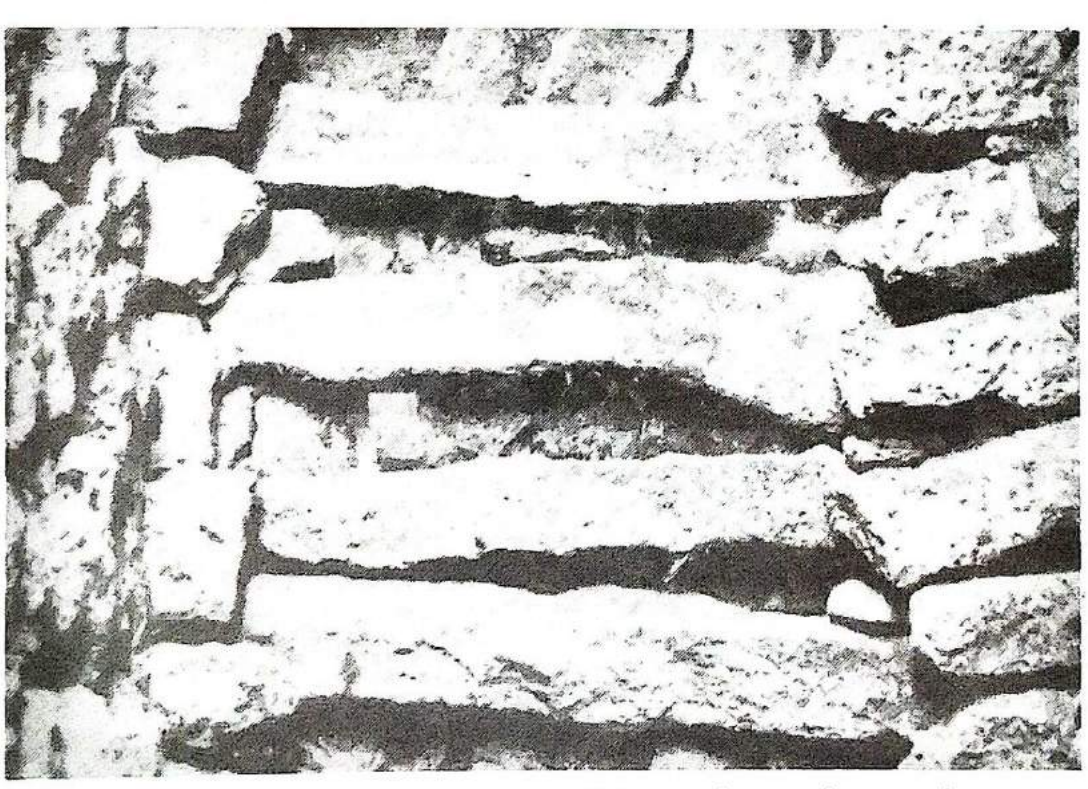


voutins de pierres

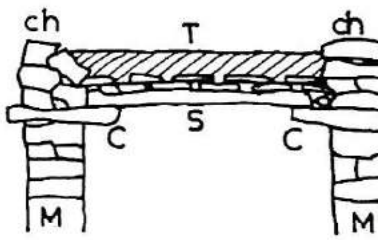
1. badigeon de lait de chaux
2. couverture ou plancher en terre damée par couches successives. La couche supérieure est stabilisée afin d'obtenir une couche dense et étanche - épaisseur totale de la terre : environ 15 cm pour les planchers et 30 cm pour les couvertures.
3. support - pierres plates
   - voutins formés de pierres liées au timchent ou au plâtre entre les solives
   - lattis serré de nervures de palme (peut être remplacé par un bois souple suivant le même principe).

La structure porteuse des planchers est réalisée avec des solives en stips de palmier scié et espacées de 30 à 60 cm (80 à 90 dans le cas des voutins). La longueur est d'environ de 2,20 m. Si la portée est supérieure, un poteau et des poutres reprennent les solives. Les solives en palmier sont maintenant remplacées par des fers en I de 12 cm de hauteur, espacés de 90 cm environ, permettant des portées plus importantes.

Croquis 112 Moine et Pradeau



Cliché 81. *Basir. Syrie.*



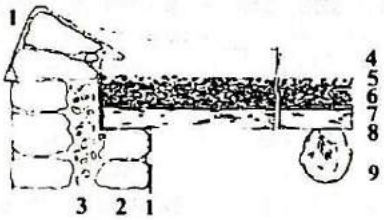
M, murs
S, dalle de lave
C, corbeaux
T, terrasse
ch, tas de charge

Croquis 113

Plafond en lave, de grandes poutres de lave reposent sur de corbeaux qui eux-mêm sont supportés par les murs.

Terrasse - plate-forme de maçonnerie en forme de large balcon, ménagée à l'un des étages d'une maison ;
- couverture d'une maison, d'un édifice, lorsqu'elle est en plate-forme avec une très faible pente.

Nota - On trouve également une utilisation courante de la lave sous forme de blocs grossièrement taillés pour mur porteur, sous forme de plaques sciées, bouchardées ou layées de 20 à 40 mm d'épaisseur pour des revêtements de façade, enfin en couverture - voir plus loin.



1. chaux
2. pierre
3. tout venant
4. argile
5. déchets de four à chaux
6. algues
7. latti
8. sabine secondaire
9. sabine principale

Détail - couronnement en finition de mur composite et toiture-terrasse.

d'après AAM N°24
Croquis 114

I-7. COUVERTURE

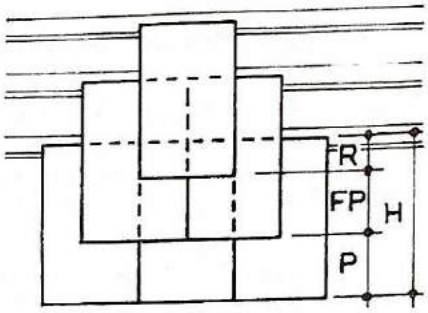
D'abord elle doit être façonnée dans un matériau présent sur le lieu de construction ou à proximité, ensuite ce matériau doit être rigoureusement étanche ; enfin, il doit être disposé de sorte que les joints entre ses éléments soient également étanches. Variant d'un type de couverture à l'autre, chaume, lauze, tuile, ardoise (charges au m^2 différentes), les différentes techniques de pose ont toutes deux points en commun : d'une part, leur principe est théoriquement simple et facile à décrire, mais la réalisation effective de l'étanchéité, difficile, réclame à la fois une grande habileté et une longue pratique ; d'autre part, la pose d'une couverture commence toujours par l'égoût, de sorte que les éléments supérieurs recouvrent les inférieurs pour n'offrir aucune prise au ruissellement.

Pose des lauzes (laves)

Après fixation du lattis.
La pose commence par les grandes laves d'égoût placées à la fois sur la première latte et le haut du mur, en avant duquel elles dépassent d'une vingtaine de cm. Cette première rangée horizontale étant posée, on pose la 2ème, au-dessus, de sorte que les joints entre les lauzes ne soient pas alignés avec ceux de la première rangée, et ainsi de suite. Pour les arêtes de croupes, on taille spécialement des lauzes en équerre.
La pente du toit de lauzes d'environ 45°, peut varier assez sensiblement ; plus elle est faible, plus les laves sont longues ; elles font

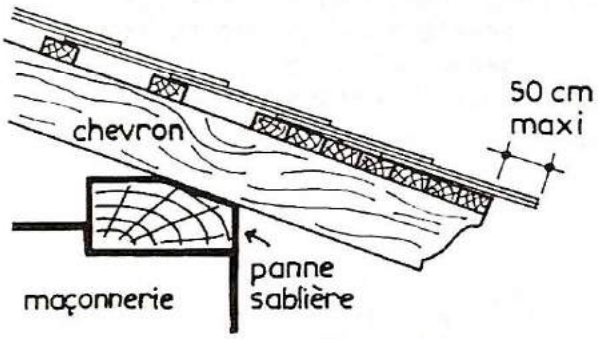
Cliché 82
Laves (Bourgogne), La Rochepot Côte d'Or.

Couverture à pureau entier



R, recouvrement
P, pureau
FP, faux-pureau (=P)
H, hauteur de l'ardoise

Racloir *Marteau à laves*



Egoût en ardoise

Crochets à ardoises

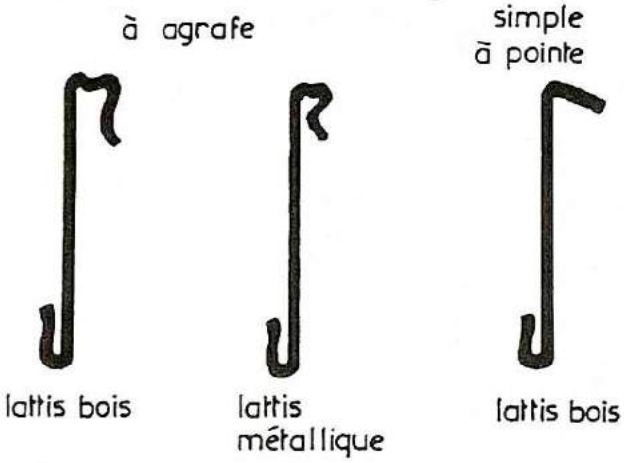


Planche 115

Cliché 83 *Entrepôt de laves, Bourgogne, Baubigny, Evelle, Côte d'Or*

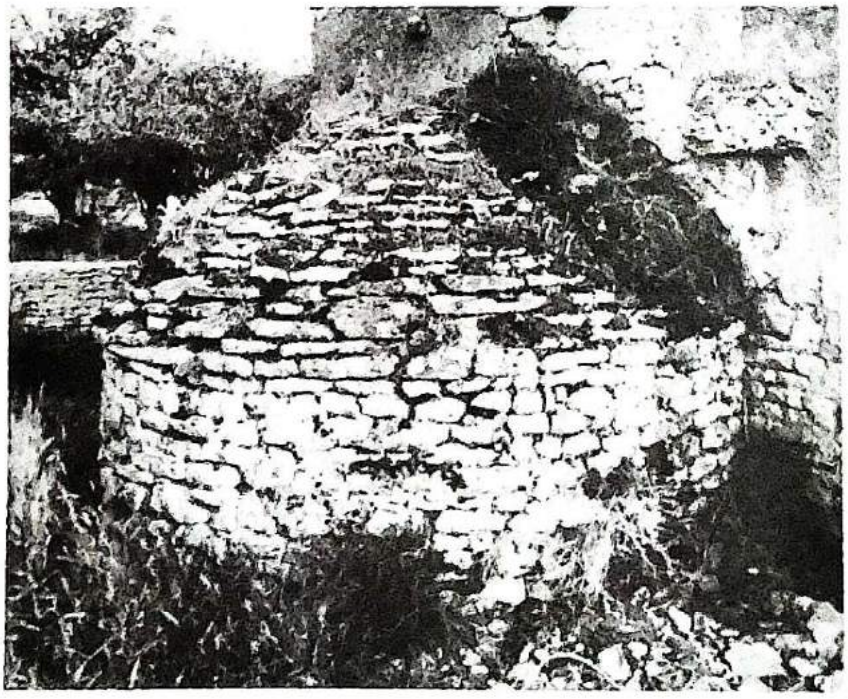
en général 30 à 35 cm de long avec un pureau (partie non recouverte) de 10 à 12 cm, mais sur une faible pente elles peuvent atteindre 40 à 50 cm de long et 15 à 20 cm de pureau. Elles-mêmes ont toujours une pente bien plus faible que celle du toit, de 3 à 4 cm chacune sur leur longueur. Cette pente atténuée est produite soit avec du ciment maigre, soit par tout un lit de pierres plates, plus petites que les lauzes et posées sur les lattes pour caler ces dernières. On considère qu'il faut environ 5 m² de pierre pour obtenir 1 m² de couverture - l'épaisseur de celle-ci est de 25 à 30 cm - quant à son poids → 800 kg/m² est exceptionnel ; en général, il est compris entre 300 et 400 kg. Outre le gel qui fait éclater la pierre, le glissement des laves - dû au vent, aux graviers, aux mousses, etc. - est l'une des causes principales de la détérioration de ces couvertures posées ; on remplace les lauzes cassées, on remet en place celles qui ont bougé : travail délicat, qui réclame une grande habileté. Bien entretenues, ces couvertures ont cependant une grande longévité.

Pose des ardoises

Elles sont posées selon les mêmes principes généraux que les tuiles plates ; néanmoins ne pouvant avoir, de par leur structure minérale, d'ergots en suspension, elles sont fixées aux lattes par des clous et des petits crochets en fer.

Après que les lattes, de quelques cm de section, aient été clouées tous les 15 cm, la 1ère rangée est accrochée à la 1ère latte au-dessous de l'égoût. Ensuite la 2ème rangée est placée, joints non alignés avec ceux de la 1ère etc... L'épaisseur de cette couverture n'est que de quelques cm, et le pureau de longueur comparable à celui des tuiles plates. Elles sont souvent gélives et ont le grave défaut de glisser facilement les unes sur les autres ; de plus leur entretien est délicat. (Cf. dessin et photos page précédente).

I-8 DIVERS



Four en pierre

A l'extérieur, le cul de four est fait d'un cylindre de pierres liées à la terre une couronne de laves calcaires assure la jonction entre ces deux éléments. Le four est scellé au pignon par trois boutisses.

Cliché 84

Ineuil, Cher, Berry.

Cliché 85

Bourgogne. Vaux. Saules, Chenéroilles, Côte d'Or

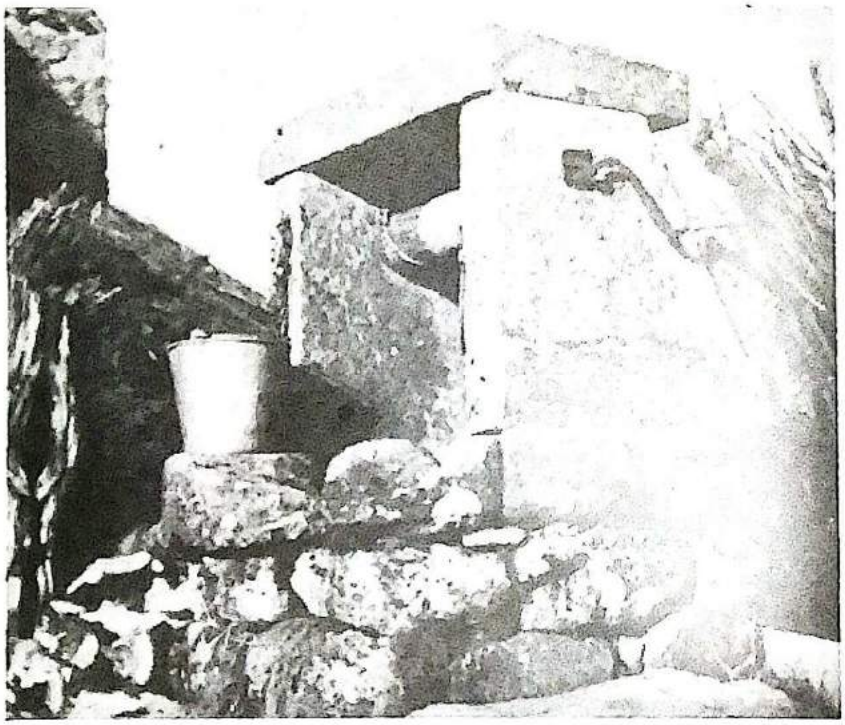
Foyer

Les indiens Pueblos-USA : "A même le sol, un foyer à trois oves taillées dans la pierre permet à l'initié les cuissons les plus savantes".

On utilise du grès dur sous forme de grande dalle posée à plat, pour foyer de cheminée.

Cheminée

Conduit de fumée sur toiture, appelé également "mitre de cheminée"; à l'intérieur de la maison, le conduit est très souvent encastré dans le mur, ou légèrement débordant formant une hotte verticale juste au-dessus du foyer - pierre de taille pour linteau et jambage.

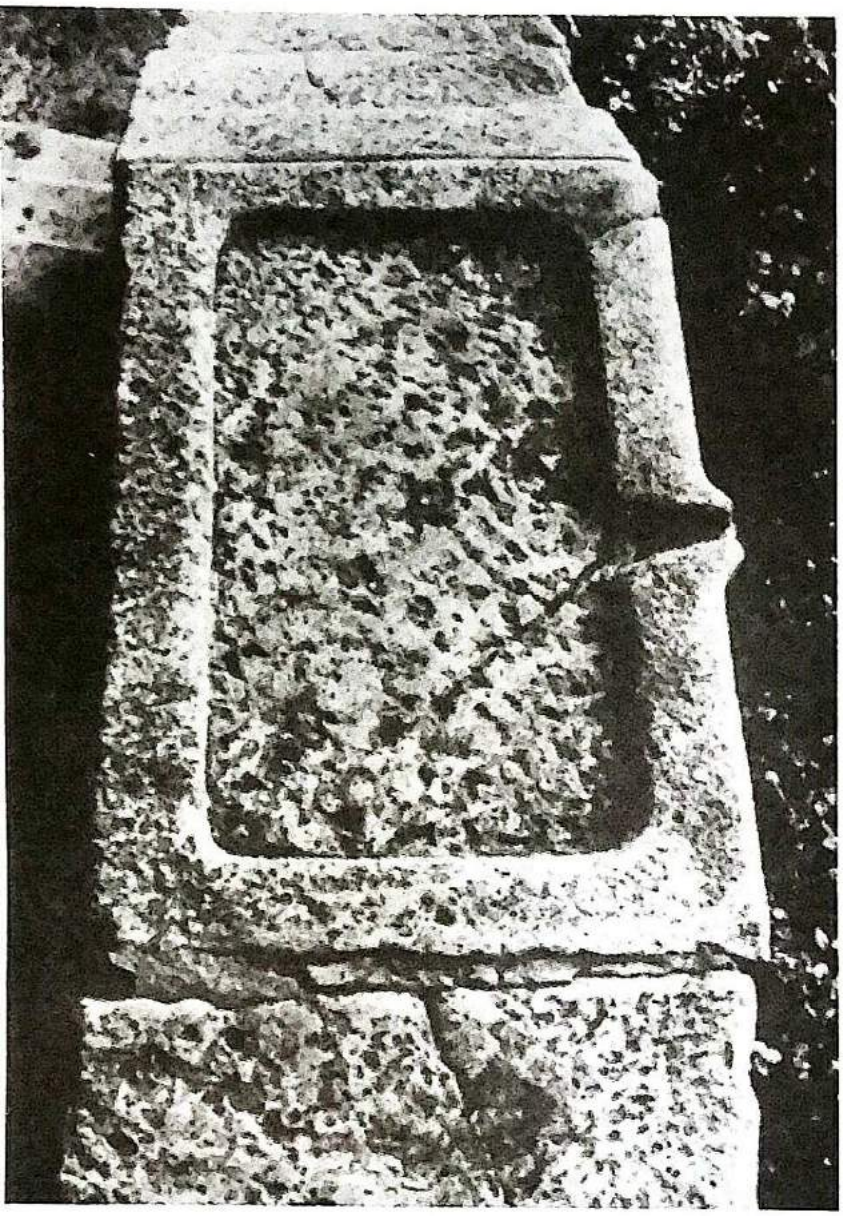


Cliché 86

Bourgogne. Saint Symphorien des Bois, Côte d'Or.

Puits et citernes

Ils composent 3 ou 4 dalles bien polies, posées sur chant en carré, et qui constituent des pierres de margelle proprement dite ; cette forme se complète parfois d'une superstructure de 2 barres de fer portant la poulie.
Sur la photo ci-contre, la forme de la margelle est circulaire ; elle reçoit une superstructure de pierre qui coiffe d'une niche, faite de 2 murets latéraux et un linteau. Les murets latéraux portent une poulie à tambour de bois et manivelle de fer.



Bourgogne. Tournus, Le Bourg, Saône et Loire.

Cliché 87

Evier monolithe extérieur

Très peu profond et prolongé par un bec d'écoulement ; dans certains cas comme sur la photo ci-contre, l'évier est installé directement dans le garde-corps du perron.

Equipements sanitaires

On peut utiliser la pierre en blocs monolithes ou en plaques de parement sur maçonnerie, pour les éléments de salle de bain. Par exemple, des douchières constituées d'un puisard de 60 cm de diamètre et 1,20 m de profondeur garni de pierres sèches ménageant une colonne centrale vide, de 20 cm de diamètre pour nettoyage et vidange éventuelle ; le puisard est entouré d'une chape sur hérisson dont la pente ramène les eaux vers le puisard qui est lui-même occulté par une dallette munie d'une bonde centrale - il permet d'évacuer les eaux de toilette en dehors des latrines.

2.0 VOIRIE

2.1. LES RUES DE LA VILLE

Sont parfois dallées de pierre. Actuellement, dans nos pays occidentaux nord européens et pour diverses raisons de sécurité, entretien, main-d'oeuvre il n'est plus envisagé d'employer les *pavages et dallages* en revêtement routier classique ; ils conservent cependant leurs qualités pour certains aménagements essentiellement urbains tels que les espaces piétons, les rues à circulation restreintes, les voies spécialisées pour les transports collectifs, les voiries de lotissement et éventuellement les aires de stationnement.

D'autres pays, par contre, et plus particulièrement dans notre contexte Pays en voie de développement, peuvent envisager une utilisation plus systématique des pavés et dalles pour les revêtements de voiries.

Cliché 88

Montalcino, Province de Siena, Italie.

Selon les ressources naturelles locales et exploitables, il existe une vaste gamme de matériaux pour réaliser des sols en pierres naturelles :

- les pavés et dalles de granit et porphyre
- les pavés de grès
- les dalles de grès et quartzite
- les dalles en roches marbrières et pierres calcaires.
- les dalles de schistes et d'ardoise.

Egalement *les caniveaux*, pour l'écoulement des eaux d'égoût ou pluviales, font partie intégrante de ces réalisations.

Cliché 89 *Montalcino, province de Siena – Italie*

Note . Certains ouvrages correspondent parfois au prolongement d'une parcelle ou de murs mitoyens et s'étendent à titre privé sur toute la largeur de la rue. La division parcellaire et le souci de personnaliser les abords de l'habitat se trouvent ainsi concrétisés par des surfaces dont les motifs sont choisis en toute fantaisie.

2.1.1. CARACTERISTIQUES

. *Les pavés de granit.* On trouve communément des pavés mosaïques de dimensions normalisées, 7 x 7 cm jusqu'à 10 x 10 cm pour une hauteur de 8 à 10 cm, et disposés en arc de cercle ou en queue de paon, en rangées parallèles droites ou courbes, en forme de rosace. Des pavés échantillons, 14 x 20 cm et 14 cm d'épaisseur, peuvent être disposés en rangées droites ou courbes terminées latéralement, une ligne sur deux, par des boutisses 14 x 30 cm et 14 cm d'épaisseur. Ils se présentent sous forme brute de fente plus ou moins grossière suivant que le travail a été fait mécaniquement ou à la main.

. *Les pavés de porphyre*, dont la taille est artisanale, ont des dimensions différentes : 4 x 4 cm, 5 x 8 cm, 7 x 10 cm et d'une épaisseur variant de 8 à 14 cm - construction de pavement en demi-cercle éventuellement.

. *Les dalles de granit* sont fournies suivant les formes et dimensions demandées, compte tenu des possibilités de manutention. Par clivage et travail de parement, on obtient des dalles d'épaisseur régulière et minimale souhaitable de 3 cm dans le cas particulier des circulations piétonnes. On peut constituer soit des surfaces continues avec les calepinages les plus variés, soit des bandes droites ou courbes utilisées en trame ou en bordure. Les dalles de granit se présentent sous divers aspects de texture :

- les dalles clivées, fournies brutes de fendage (aspect éclaté), smillées (travaillées à la pointe) ou bouchardées plus ou moins finement.
- les dalles sciées, fournies brutes de découpage (aspect lisse), éventuellement surfacées par traitement thermique.

. *Les dalles de porphyre* ont divers formats ; les plus couramment utilisées ont une largeur de 10 à 50 cm sur des longueurs variées.

. *Les pavés de grès* ont des dimensions standard : 20 x 20 cm, 14 x 14 cm 10 x 10 cm, 8 x 8 cm, 20 x 14 cm, 7 x 10 cm et dont l'épaisseur peut varier de 7 à 15 cm ; d'autres dimensions peuvent être obtenues à la demande. Ils sont disposés en arc de cercle, en rangées parallèles droits ou courbes ou en formes de rosaces. D'apparence sableuse, les grès ont une texture très homogène et présentent des faces éclatées ; la résistance à la compression est de l'ordre de 500 à 600 kg/cm².

. *Les dalles de grès et quartzite*, de tous formats carrés ou rectangulaires, sont disposées en bandes. Leur épaisseur varie de 2 à 5 cm et leurs contours sont sciés ou martelés.

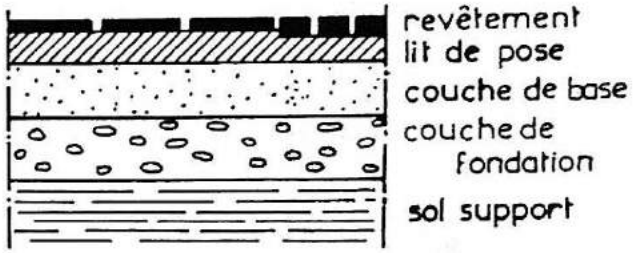
. *Les dalles en roches marbrières et pierres calcaires* se présentent sous la forme de dalles en bandes dont la largeur varie de 10 à 50 cm et à la longueur voulue, ou de dalles rectangulaires et carrées dont les dimensions standards sont 20 x 40 cm, 30 x 30 cm, 40 x 40 cm. Pour les roches marbrières, les épaisseurs standards sont de 30 ou 40 mm en moyenne pour les pierres calcaires, elles sont inférieures à 8 cm, minimun souhaitable 5 cm.

. *Les dalles de schistes et d'ardoise* sont de formes régulière (de 25 à 50 cm de long sur 15 à 35 cm de large pour une épaisseur de 2 cm), irrégulière (3 à 6 côtés et une épaisseur allant de 20 à 25 mm), ou en barrettes posées sur chant scié (de 20 à 60 cm de long sur 3 à 10 cm de large et pour une épaisseur de 4 à 10 cm). Ayant un léger relief, la surface de ce matériau a une apparence nervurée, dite brute de clivage.

2.1.2. REALISATIONS DES REVETEMENTS

Le principe de dimensionnement des structures prend en compte trois paramètres classiques :
- le type de revêtement choisi,
- le niveau de trafic considéré,
- la nature du support de la voie à réaliser, qualité géotechnique du sol en place ou du remblai.

Les couches de base et de fondations servent d'assise aux revêtements ; elles doivent offrir à la fois une surface de bonne qualité pour la pose et une résistance à long terme élevée ; il est fait appel pour sa composition à des matériaux traités avec un liant hydraulique ou hydrocarboné.



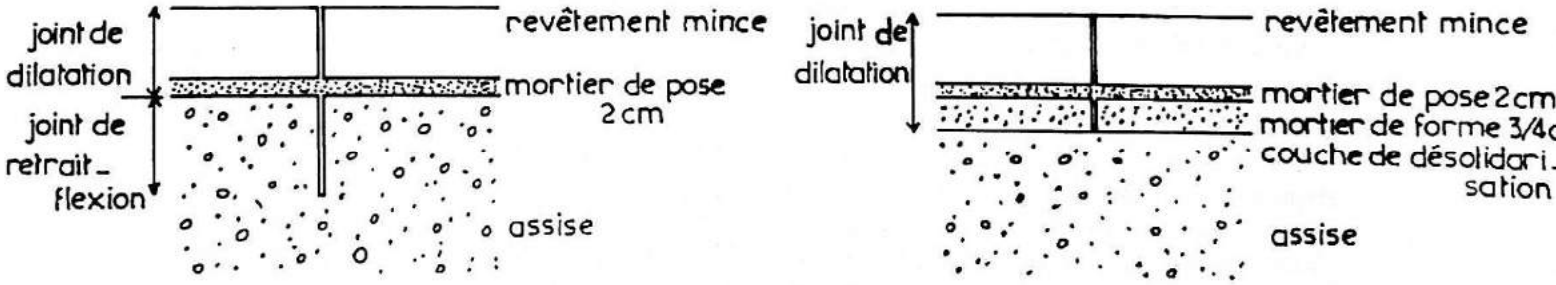
d'après "Guide pratique de contruction routière" Croquis 116

Le lit de pose qui recevra directement le revêtement peut être constitué
- d'un mortier de ciment gras, pour les dalles minces de 5 à 8 cm d'épaisseur
- d'un mortier sec, pour les dalles épaisses entre 8 et 12/15 cm
- d'un sable, pour les pavés et dalles épaisses (e > 12/15 cm).

En ce qui concerne les scellements au mortier de ciment gras, il est utilisé deux méthodes de pose :

. soit le revêtement est solidaire de l'assise. Cette méthode est recommandée car elle procure une structure bien liée et donc une meilleure tenue. Certaines précautions sont à prendre au niveau des joints de dilatation. Le mortier est étalé sur 2 cm d'épaisseur environ, directement sur l'assise préalablement humidifiée.

. soit le revêtement est désolidaire de l'assise; la couche destinée à désolidariser le mortier de forme de l'assise, afin de ne pas transmettre les variations dimensionnelles différentielles et les déformations, peut être une feuille de matière plastique genre polyanne, un lit de sable de 1 cm ou un feutre.



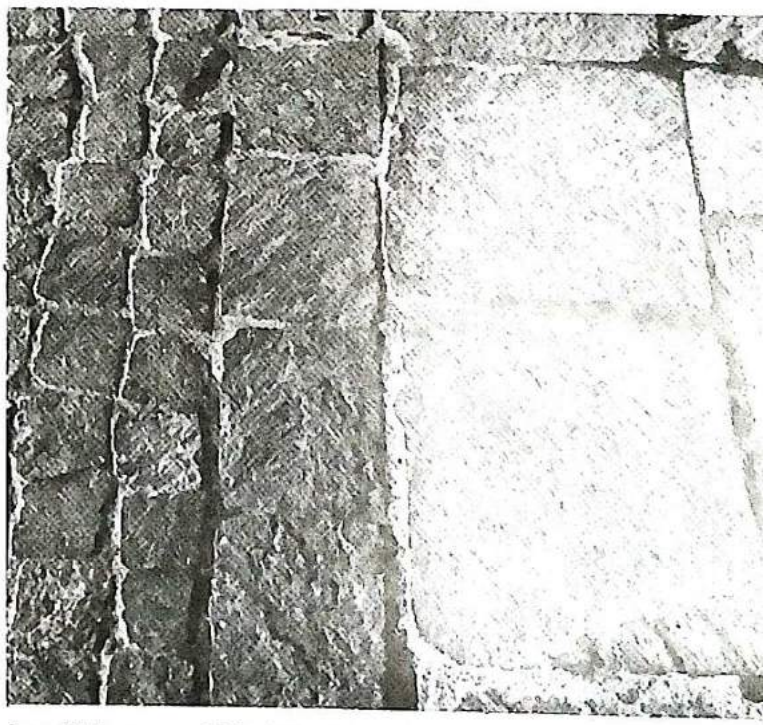
Croquis 117

Les éléments sont posés, réglés et ensuite battus vigoureusement à l'aide d'une règle en bois et d'un maillet.

Pour ces 2 méthodes de scellement au mortier de ciment gras, afin d'éviter les descellements des éléments, il est nécessaire d'interdire toute circulation piétonne pendant 3 jours et les véhicules pendant 8 jours, après l'achèvement des travaux.

GRANIT Cliché 90

Brésil : pose artisanale d'un pavage en granit d'un bel effet décoratif faisant penser à des réalisations analogues au Portugal. Cliché 91



Aurillac - Cliché 92 - Pavés et dalles de porphyre dans le Centre

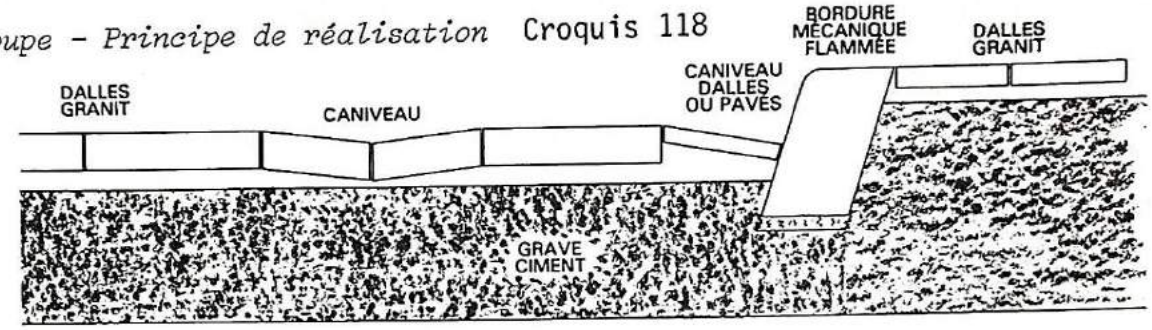
DALLES GRANIT

- 30 x 30 cm en 15 cm d'épaisseur
- 40 x 30 cm en 15 ou 20 cm d'épaisseur
- sur dalle d'infrastructure en béton d'épaisseur variable, dalles-granit d'épaisseur à la demande compte tenu de la vocation de l'emplacement et donc des charges à supporter.
- prévoir 2 cm en plus de l'épaisseur du granit afin d'étaler une couche de mortier dosé à 600 kg au m³ ; poser les dalles sur ce mortier

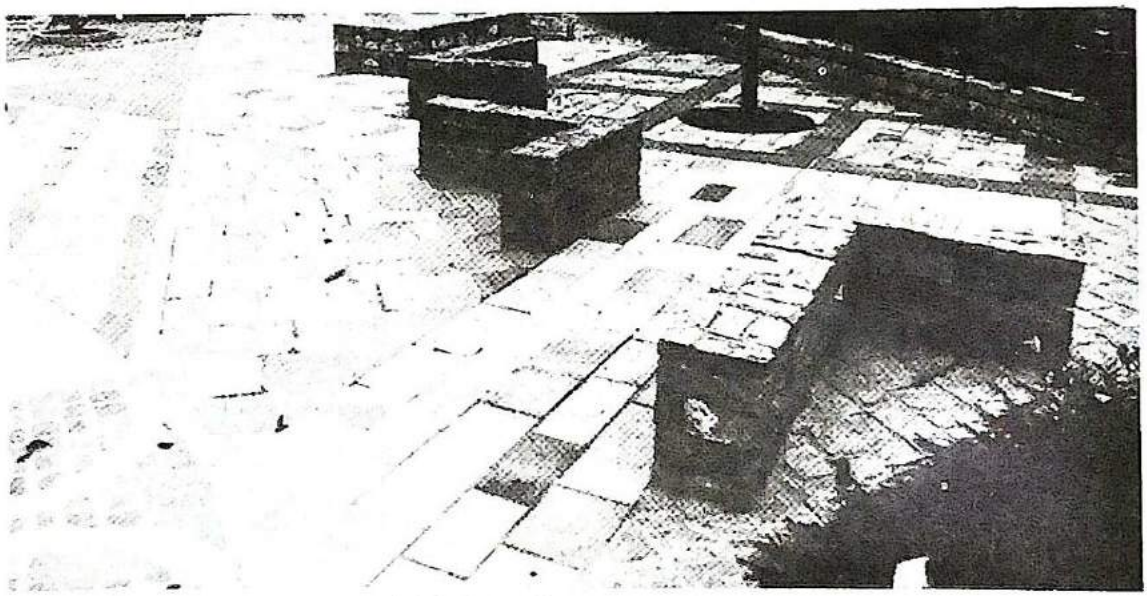
Cliché 93 *Le Mausolée Place de l'Hôtel de Ville à Paris*

Les granits, difficiles à tailler sont également utilisés en moellons et libages, généralement cubiques et assez gros. C'est un matériau de construction très solide et peu sensible aux agents atmosphériques. Stabilité, résistance aux chocs et aux agents d'usure, coefficient de dilatation de l'ordre de celui du verre.

Coupe - Principe de réalisation Croquis 118

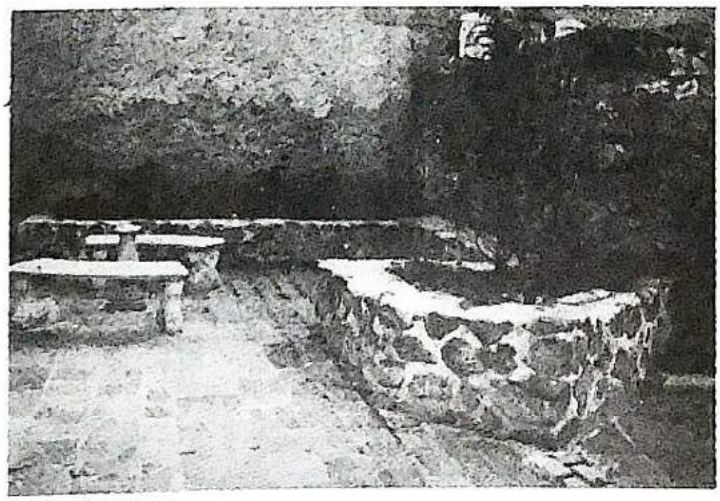


2.2. MOBILIER URBAIN - SITE ET ENVIRONNEMENT



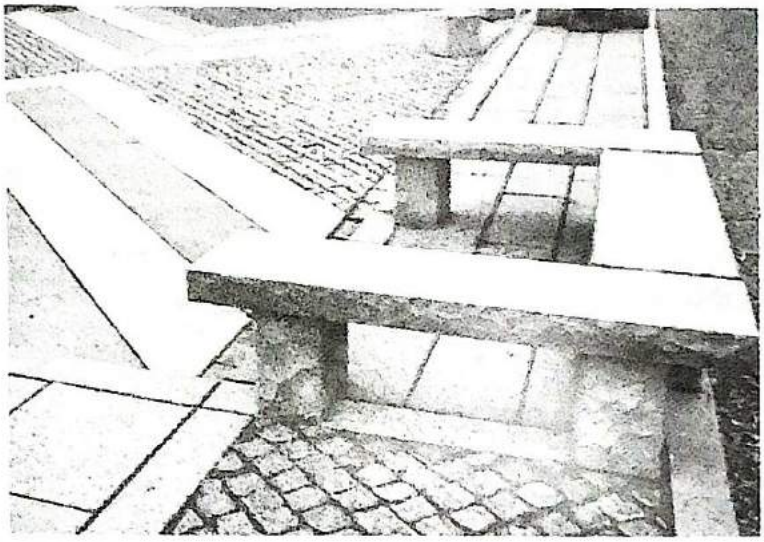
Châtillon-sous-Bagneux/Cliché 94 - Mausolée

Aménagement d'espaces collectifs - dallages, murets, bordures, bancs publics... Créer des modèles spécifiques à une ville, voire à un lieu déterminé.



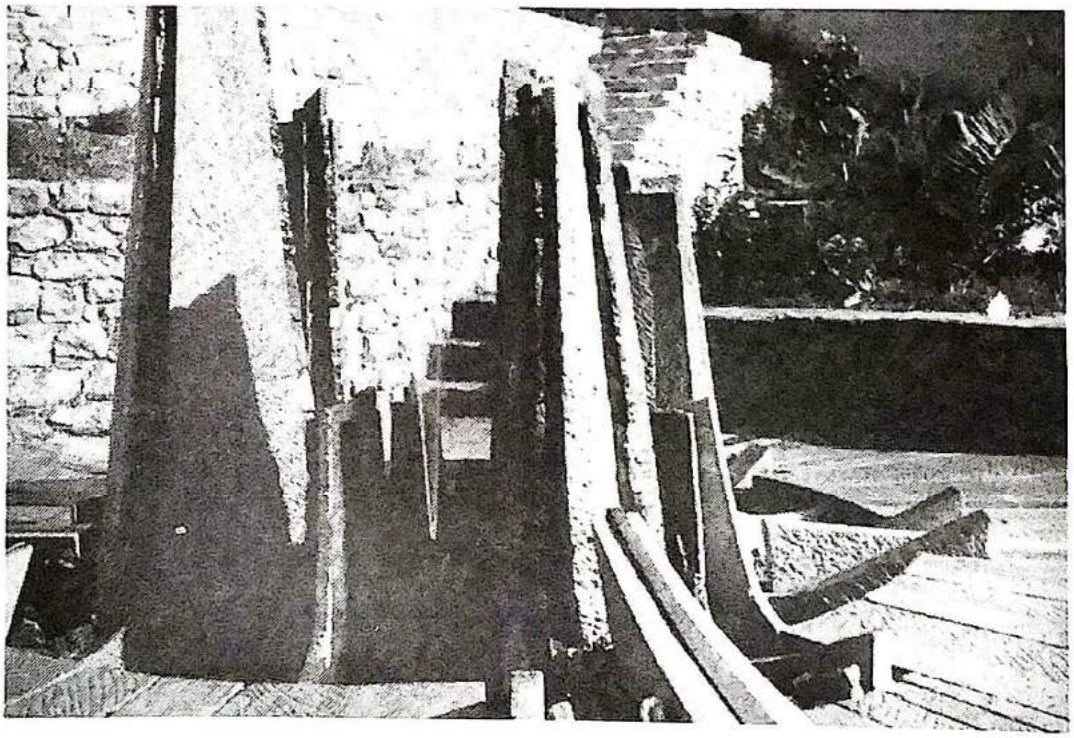
Une vue partielle de la Cour de Noailles qui fut aménagé en aire piétonne. Les dalles et pavés sont en porphyre. Les jardinières et les murets sont maçonnés en bloc de basalte.

Aurillac dans le Cantal/Cliché 95



Bancs publics

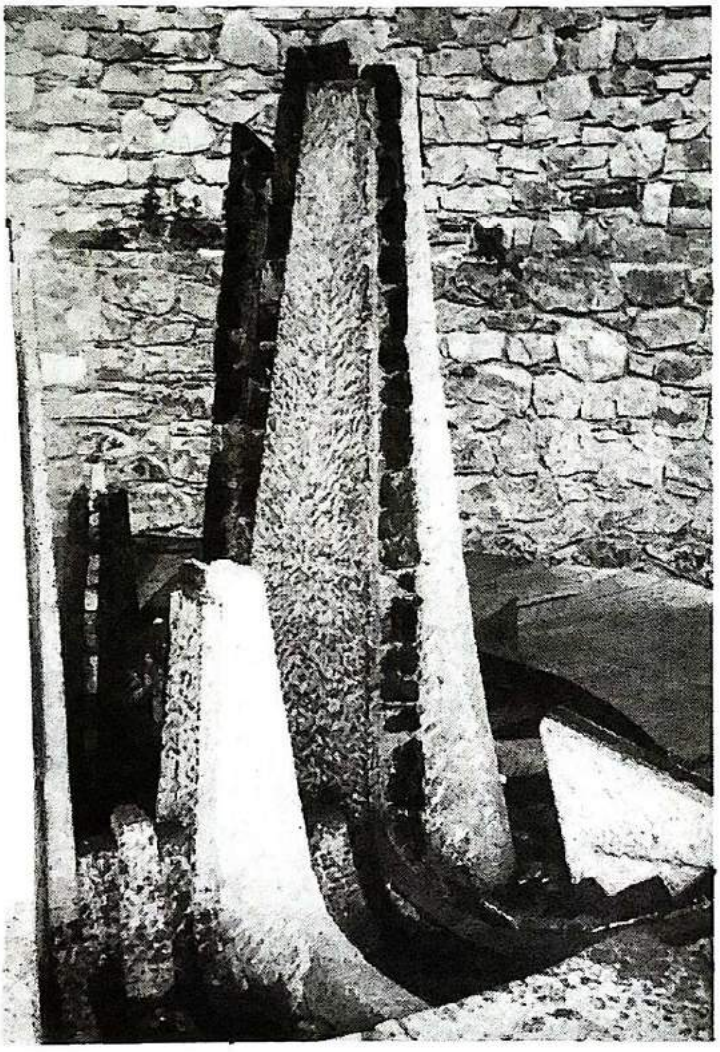
Cliché 96



Réalisation d'une fontaine en Corse par Noël Marinetti - tailleur de pierre.

VUE D'ENSEMBLE

Cliché 97



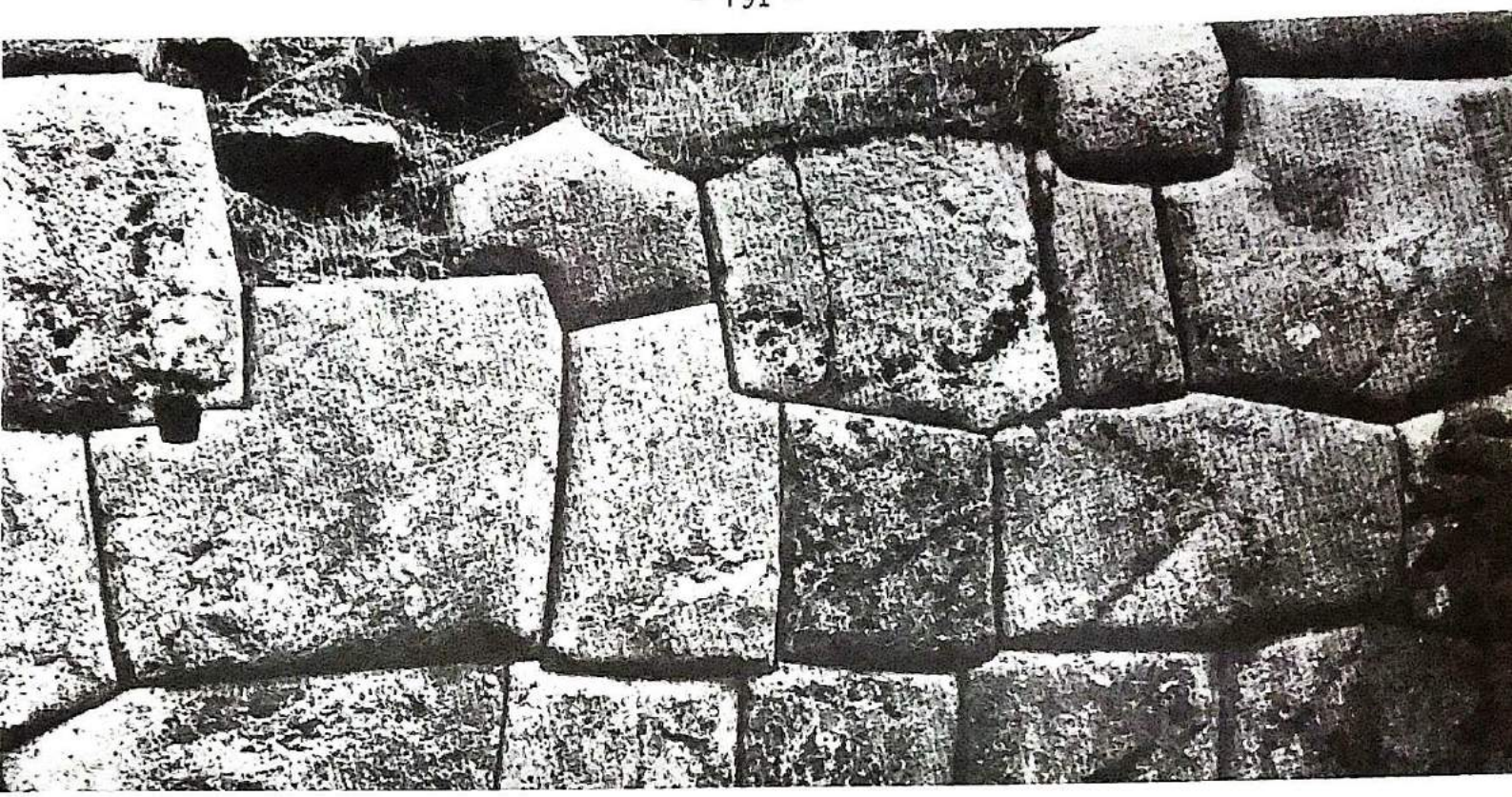
Détail de la fontaine - Corse - N.M.

Cliché 98

Pavage — voirie en Corse - N.M.

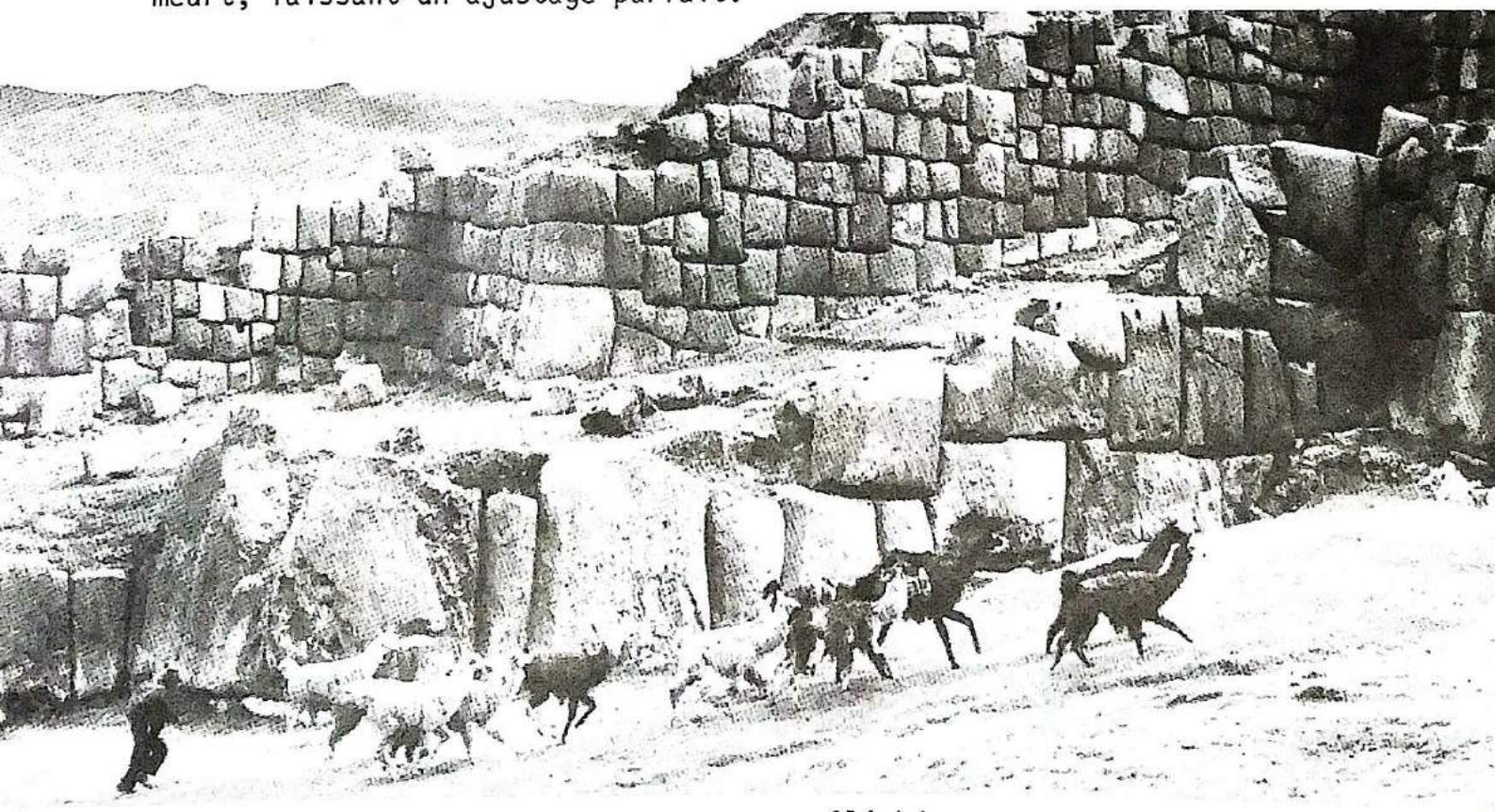
Cliché 99

Clichés Noël Martinetti



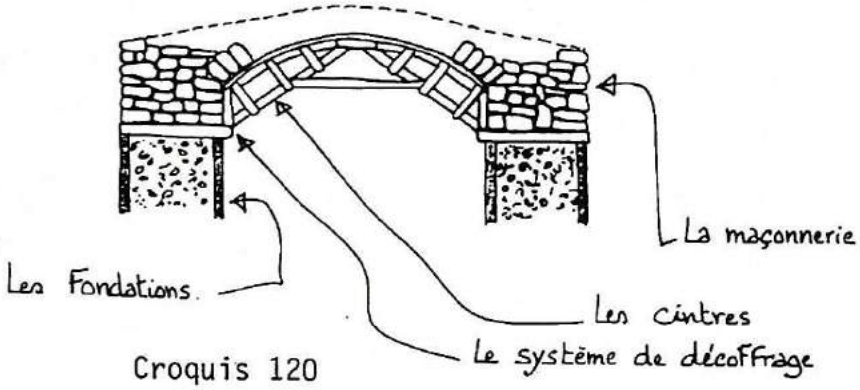
Cliché 101 Architecture d'aujourd'hui Pérou - La Pierre des Incas.

Les murs sont construits sans mortier, joints incroyablement resserrés. Aux dires de certains spécialistes, les pierres ont été taillées au plus juste possible, puis recouvertes d'une pâte préparée à partir d'un lichen qui pousse toujours sur la pierre. Après la pose, ce lichen a errodé les irrégularités qui restaient, là où il trouvait de l'oxygène. Cela jusqu'à ce que les joints des pierres soient si hermétiques que pas une particule d'air ne puisse atteindre le lichen et que celui-ci meurt, laissant un ajustage parfait.



2.4. PONT ROUTIER VOÛTÉ

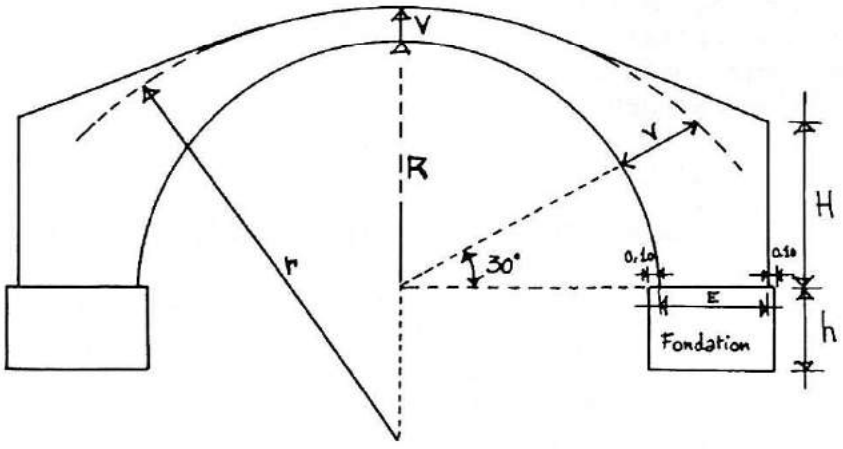
La maçonnerie est effectuée à l'aide de briques ou de moellons de pierre + sable. La construction ne demande que peu de main d'oeuvre spécialisée, ce qui permet la participation maximale de la population d'un village. Le ciment et, éventuellement, le bois pour construire le coffrage sont les seuls matériaux à être apportés de l'extérieur.



Croquis 120

La construction des voûtes se fait par l'intermédiaire de cintres en bois, qui reposent sur un système de décoffrage (des coins ou des boîtes à sable). Le système de décoffrage repose à son tour sur un bord qui est prévu dans les fondations.

La solidité des fondations et des culées est d'une importance capitale pour la stabilité du pont même. Le pont peut être fondé sur des puits qui sont enfoncés dans le sol, remplis de pierres et couverts d'une couche de béton armé de 10 cm d'épaisseur. Le mécanisme de décoffrage sur lequel sont construits les cintres, repose sur la couche de béton.



Voir tableau T 20
pour dimensionnement

Croquis 121 - Fiche GRET

Pont voûté plein cintre en maçonnerie pour trafic lourd.

Petit pont dans les rues de Sou-tcheou-fou - Chine Cliché 103

Pont de pierre, K'iu-yang-hien - Chine

Cliché 104
Extraits O. Sirèn

TABLEAU - Dimensionnement des voûtes d'une portée de 1 à 15 m.

T20

Portée en mètres	Epaisseur de la clef	Epaisseur à 30°degrés	Rayon de l'extrados	Epaisseur des piedroits	Hauteur de la culée	Hauteur des fondations	Volume de la maçonnerie fond. inclues. largeur pont 1 m	Volume de la maçonnerie fond. inclues largeur pont 3 m
2R	V	V	r	E	H	h	m^3	m^3
1	0,28	0,75	4,00	0,44	0,63	0,50	2,32	6,97
2	0,30	0,82	3,38	0,63	0,91	0,60	3,79	11,35
3	0,33	0,89	3,70	0,83	1,19	0,70	5,40	16,19
4	0,35	0,96	4,19	1,02	1,48	0,80	7,16	21,47
5	0,38	1,02	4,74	1,21	1,76	0,90	9,07	27,20
6	0,40	1,09	5,32	1,40	2,05	1,00	11,13	33,38
7	0,43	1,16	5,91	1,59	2,33	1,10	13,33	40,00
8	0,45	1,23	6,51	1,78	2,61	1,20	15,69	47,07
9	0,48	1,30	7,11	1,98	2,90	1,30	18,20	54,59
10	0,50	1,37	7,72	2,17	3,18	1,40	20,85	62,55
11	0,53	1,43	8,33	2,36	3,47	1,50	23,66	70,97
12	0,55	1,50	8,94	2,55	3,75	1,60	26,61	79,83
13	0,58	1,57	9,56	2,74	4,04	1,70	29,71	89,14
14	0,60	1,64	10,17	2,93	4,32	1,80	32,97	98,90
15	0,63	1,70	10,79	3,13	4,60	1,90	36,37	109,11

Dans le même ordre d'idée, pensons aux constructions de barrages en voûtes, viaducs, canaux ... ; de grands ouvrages d'art construits souvent en béton armé par simplification du phénomène, mais qui demanderaient également une large place dans l'utilisation de blocs de pierre.

3.0 QUELQUES REALISATIONS

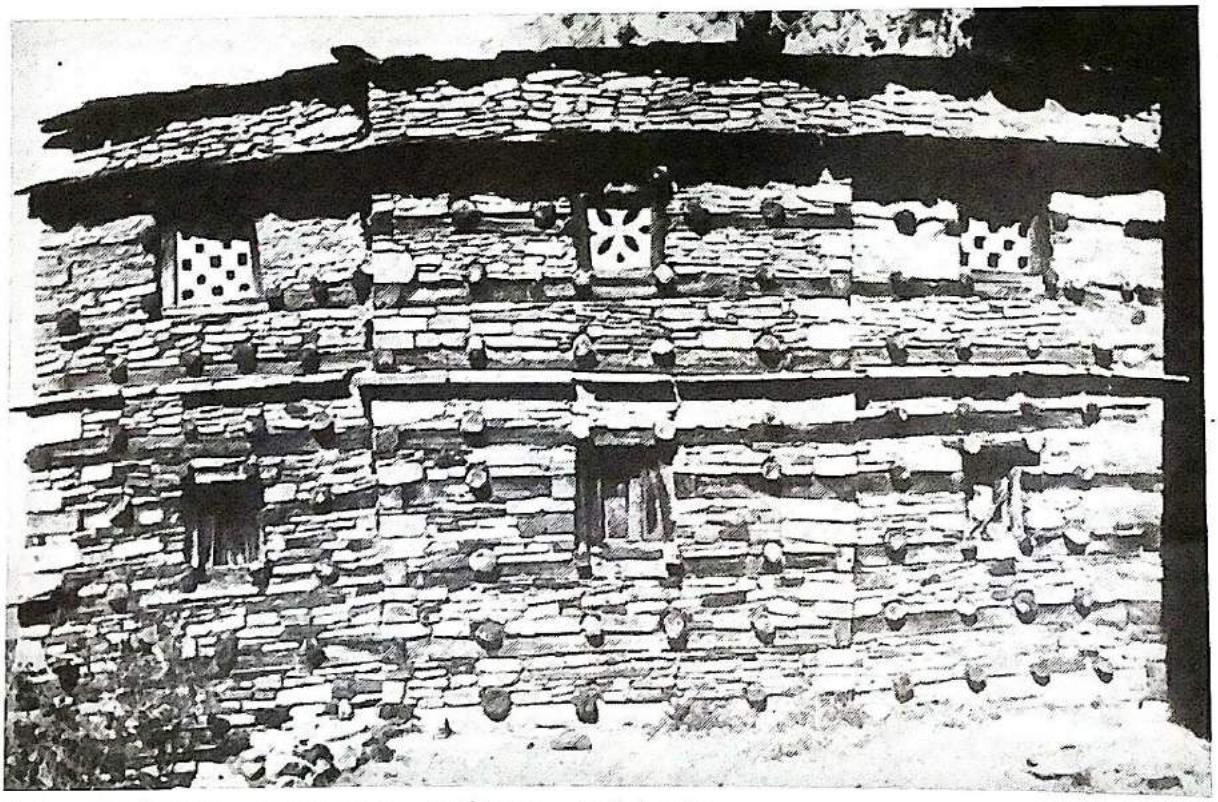
Nous présentons maintenant quelques exemples de réalisations et projets d'architecture, où l'utilisation de la pierre est prépondérante.

Cliché 105

Ron House, Bargesh, Northern Nigeria

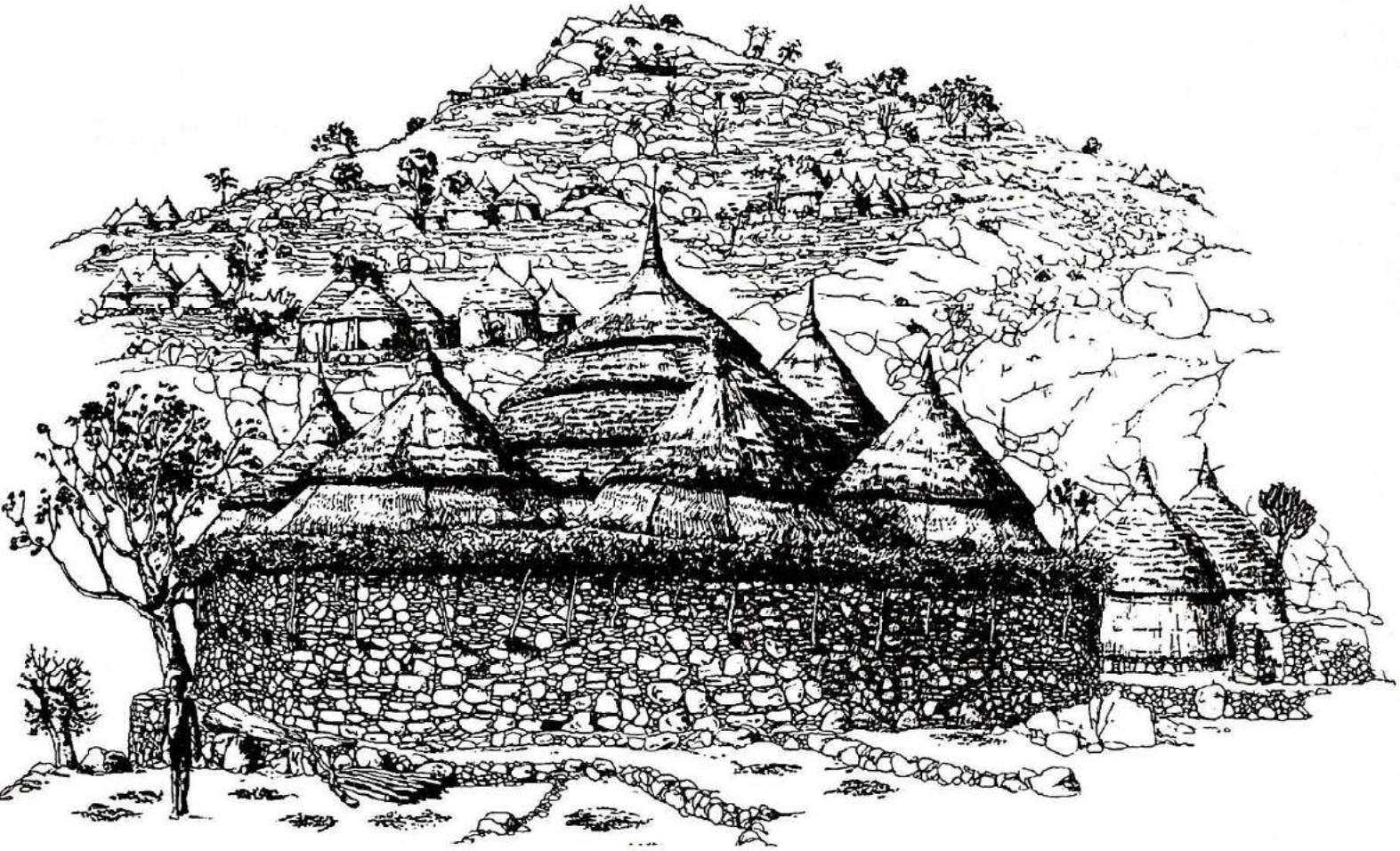
" Les piliers de chaque côté de la porte d'entrée sont renforcés avec des pierres ".

3.1. ARCHITECTURE TRADITIONNELLE AFRICAINE



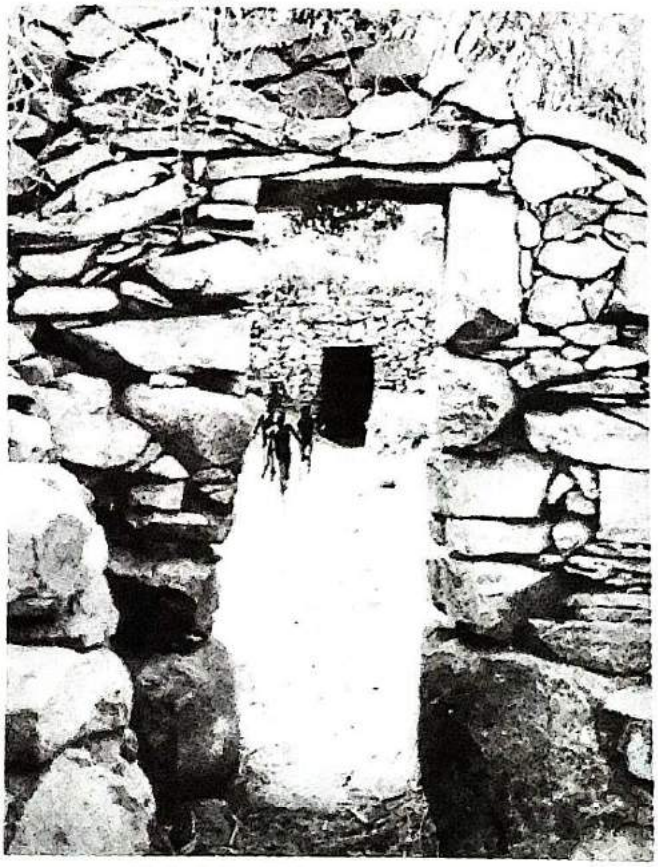
Debra Labanos, near Ham, Eritrea, Ethiopia.
" Mur de pierre renforcé avec des morceaux de bois "
Cliché 106

S. Denyer



NORD-CAMEROUN *Dessin dans éd. Parenthèses - Ch. Seignobos*
Planche 122

Mofou, ay du chef de Wazan : entrée

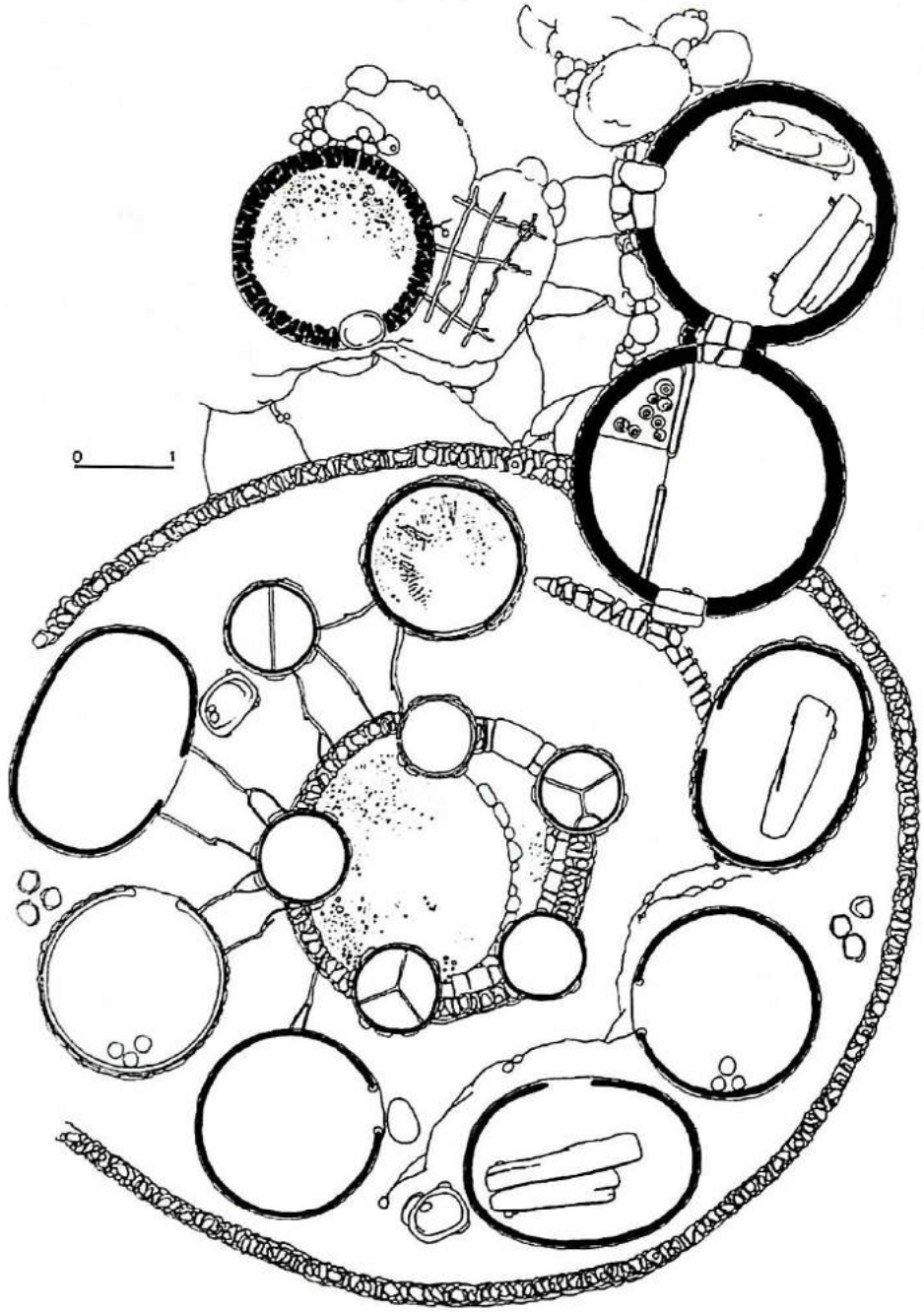


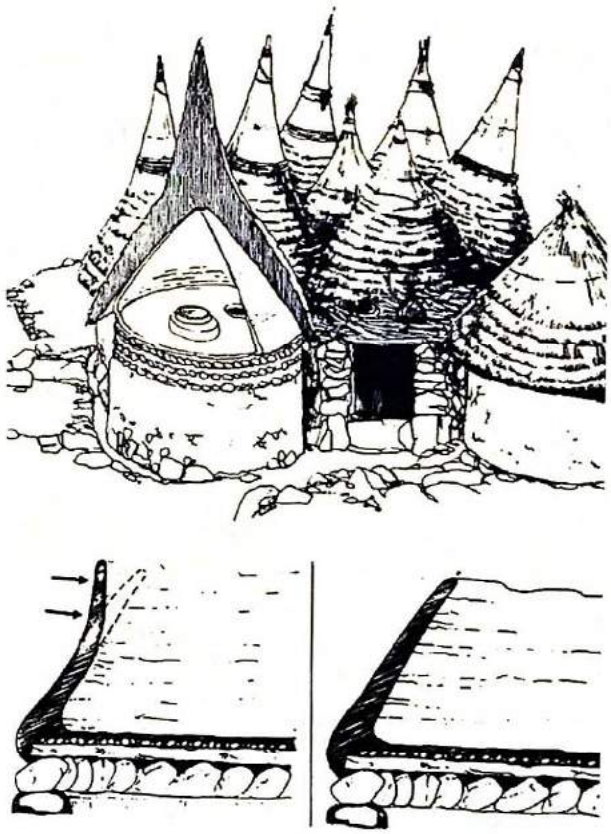
Cliché 107

La technique qui consiste à élever un mur en alternant un banc de pierres inclinées dans un sens, une assise de terre et un chemin de pierres inclinées dans le sens inverse des premières se retrouve également chez les Haoussa de l'Ader (Nigéria), chez les Rokouba de Plateau (Nigéria)...
La pierre, utilisée constamment, est le matériau le plus réprésentatif de la construction montagnarde. Le type de roche détermine en partie son emploi. La nature calco-alcaline des granites du nord de la chaîne en fait un matériau médiocre, en revanche, les anatexites des massifs mofou favorisent l'élévation de murs parfaits. Certains groupes emploient la pierre brute. D'autres, plus que les tailleurs, sont des casseurs de pierre. Ainsi, les Mofou fractionnent les blocs au feu en les enrobant de son de mil et d'un dosage de bois vert et de bois sec pour obtenir les minces dalles qui formeront la base des greniers. Les roches sont également débitées à l'aide de pierres roulées, qui servaient aussi d'enclumes et que l'on se prête - chaque quartier en possède trois ou quatre - au moment de la construction.

Les murs de pierres sont montés sur de petites fondations de 20 cm et il en existe de plusieurs types :

- murailles de pierres sèches - à l'arrière des fermes - dont l'épaisseur diminue progressivement du bas vers le haut chez les Podokwo ;
- alternance de grosses pierres à chant plat et de bancs d'éclats qui font office de mortier chez les Mofou ;
- murs plus grossiers pour les chèvreries et les étables ;
- murs de pierres dont les interstices sont colmatés par des jets de terre à la main et crépis sur les deux faces (Mofou) ;
- alternance de bancs de pierre et d'assises de terre (Mafa Sud, Diméo, Mokong) ;
- murs de pierres jointoyées avec du poto-poto, terre argileuse et humide, malaxée soigneusement.
- mur mixte, dont le quart supérieur est constitué d'une paroi d'argile (Mada, Ouldémé, Marktéle).

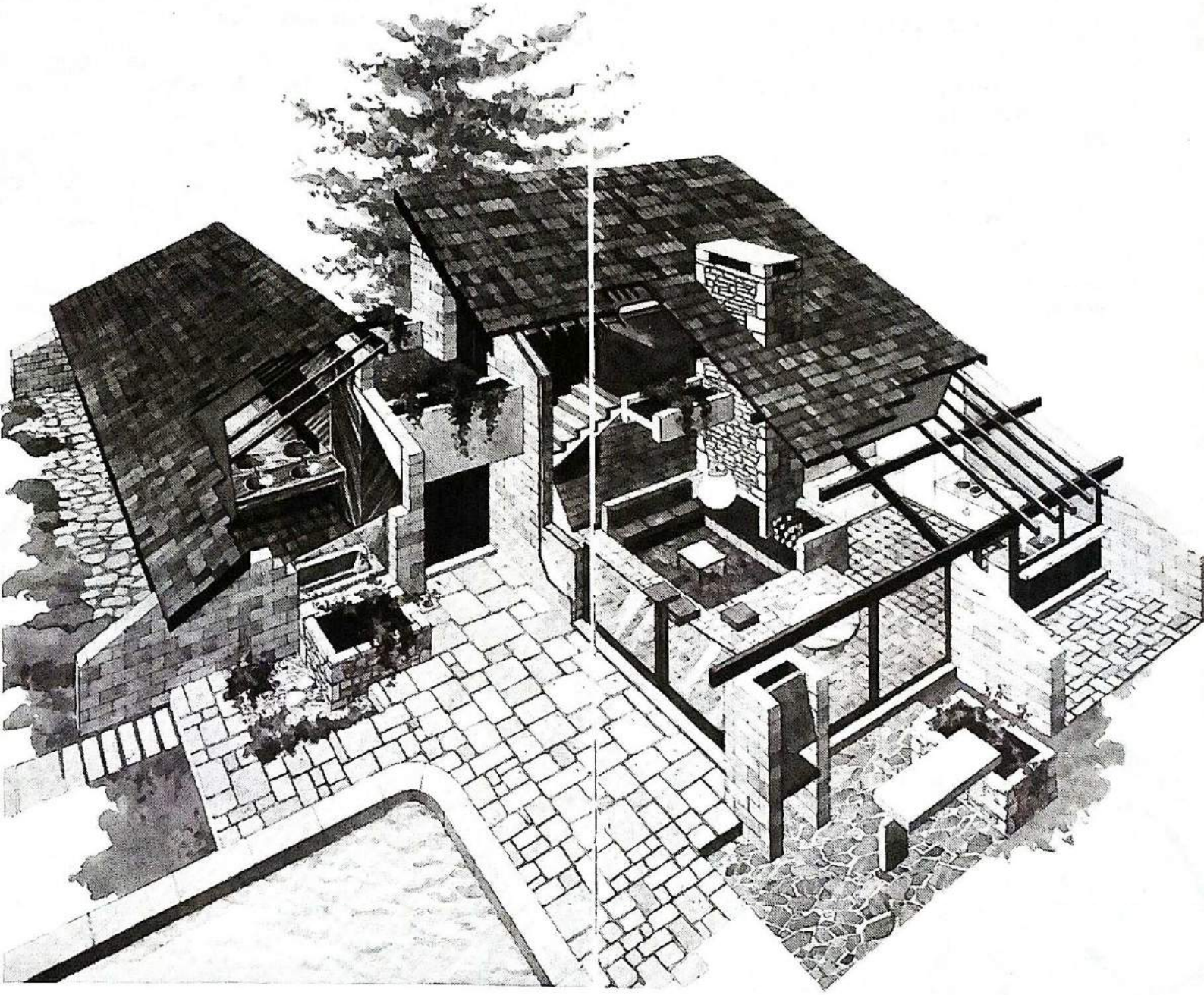




Mafa,
montage de la coupole en terre.

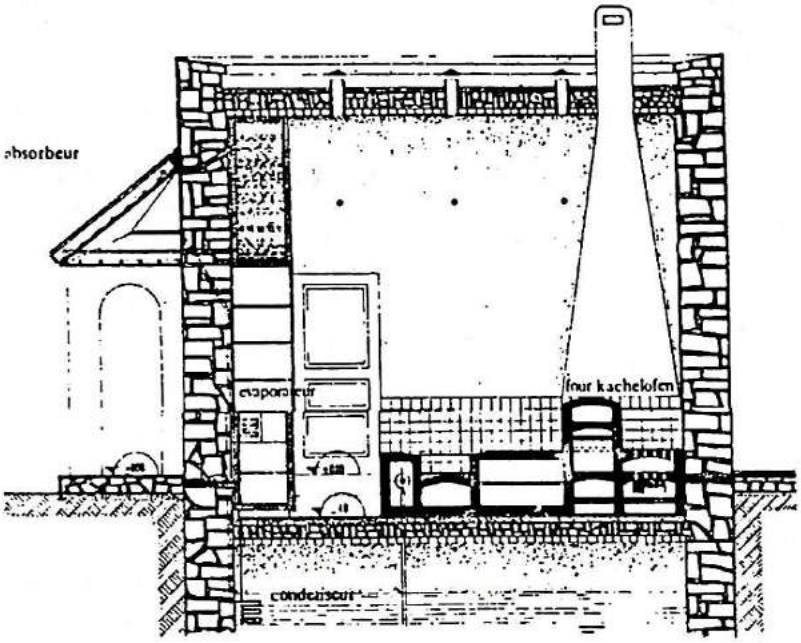
planche 123
in éd. Parenthèses
Ch. Seignobos

Planche 124 *Une utilisation courante de la pierre dans l'habitat. Principe*



3.2. HABITAT UNIFAMILIAL À KSOUR-ESSAF, TUNISIE

- Mestiri - architecte, village de Ksour-Essaf.
- pierre, chaux vive, terre - pas de ciment ni fer - n'utilise que des matériaux qui présentent la plus grande inertie possible.
- système d'étanchéité en mortier de terre, briques pilées et chaux grasse sur un support qui ne bouge pas sous l'effet des variations de température.



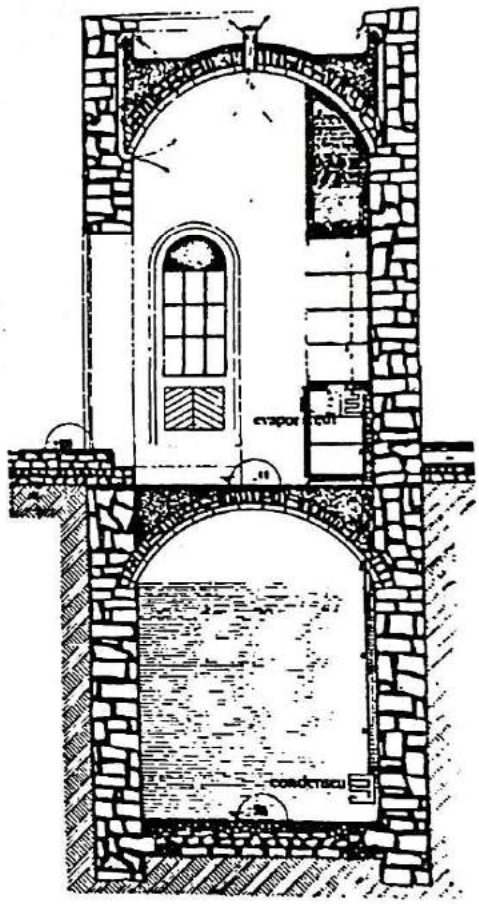


Planche 125

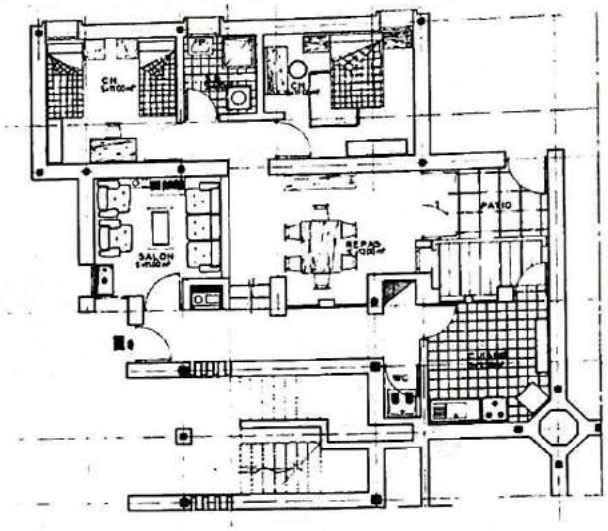
Les pièces sont groupées autour du patio ; celui-ci agit comme un puits ombragé qui fournit aux différentes pièces tournées vers lui, un air plus frais et plus humide que l'air extérieur.
L'air frais pénètre dans les pièces et chasse l'air chaud qui s'échappe par des grilles placées au sommet des voûtes et coupoles. Un système complémentaire parfait la ventilation de la maison. Il s'agit de buses en terre cuite, de 5 cm de diamètre, disposées suivant la périphérie des pièces et débouchant à 10 cm au dessous des acrotères.
Le four, dérivé des kachelofen autrichiens, assure deux fonctions : cuisson des aliments et chauffage de la maison. Partant du four, un réseau de gaines passe dans le sol, alimentant en air chaud les autres pièces ; c'est pour cette raison que le sol de la cuisine est à 40 cm en dessous du niveau des autres pièces. Le capteur solaire placé au dessus de l'entrée joue également le rôle d'absorbeur dans le circuit frigorifique qui refroidit l'armoire placée dans la cuisine. La citerne d'eau sert également au refroidissement du condenseur.

Pays islamiques -
Moine et Pradeau

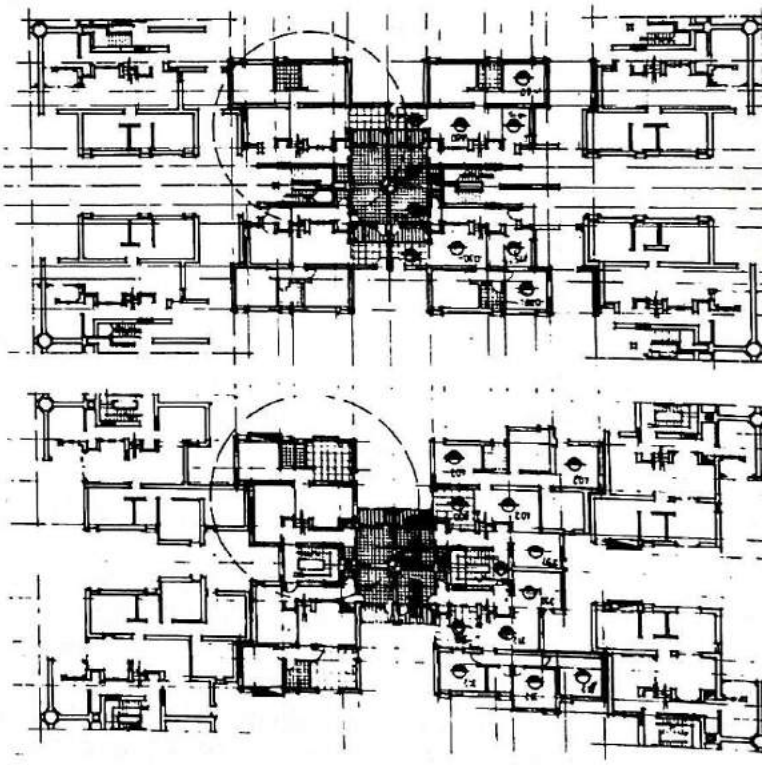
3.3. 100 LOGEMENTS EN PIERRE A SIDI KHALED - ALGÉRIE

H. et A. El Miniawy Architectes

Dans la région de Sidi Khaled, où la pierre abonde, elle est traditionnellement utilisée dans la construction. Lorsque nous avons étudié ce projet, il nous est apparu nécessaire, dans le sens de l'utilisation des matériaux locaux, de le réaliser en pierre. Sur le plan de la conception, les cellules adoptées constituent une transition entre le logement rural en voie d'urbanisation et le logement urbain. Chaque logement se compose, d'une cour qui mène soit vers la réception, soit vers le séjour familial. A partir de celui-ci, on accède soit à la partie nuit soit à l'espace réservé à l'activité ménagère. L'assemblage au niveau du plan de masse respecte le rapport de voisinage et intègre les espaces publics et semi-publics. La hauteur des blocs a été limitée à 2 niveaux pour pouvoir intégrer correctement le projet à l'environnement existant d'une part, et éviter de choquer d'une façon brutale les traditions des habitants qui ne sont pas habitués à vivre dans un type de logement à organisation verticale. Sur le plan de la réalisation, le projet n'exige pas une main-d'oeuvre hautement spécialisée. On a également remarqué une évolution rapide et un enthousiasme chez les ouvriers qui se sont retrouvés dans leur milieu de travail traditionnel. Cependant la coupe de la pierre exige un certain temps. Ce problème trouverait sa solution dans la mécanisation de la coupe de la pierre au niveau du chantier.



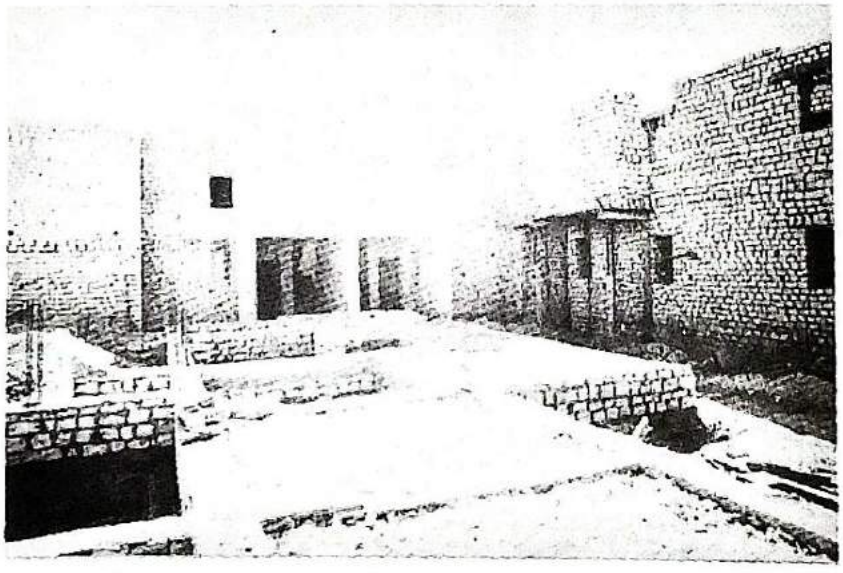
Plan d'une cellule



Plan d'un groupement - RDC + étage

Planche 126

Cliché 108 *Sidi Khaled. Algérie*
Vue du chantier de construction



Vue d'une cour, en chantier
Cliché 109

3.4. EGYPTE - MAISON FOUAD RIAD

Hassan Fathy - architecte

Cette maison a été construite *en pierre*, en s'inspirant de ce qui avait été fait avec la brique crue et la brique. En effet, il y a des régions, comme par exemple sur les côtes de la Mer Rouge, où il n'y a pas de brique, mais par contre de la pierre. La pierre a été dimensionnée comme les briques, pour la construction des voûtes et coupoles : 5 x 15 x 25 cm ; la même pierre a été utilisée pour le dallage et les murs. située sur la route de Soqqarah.

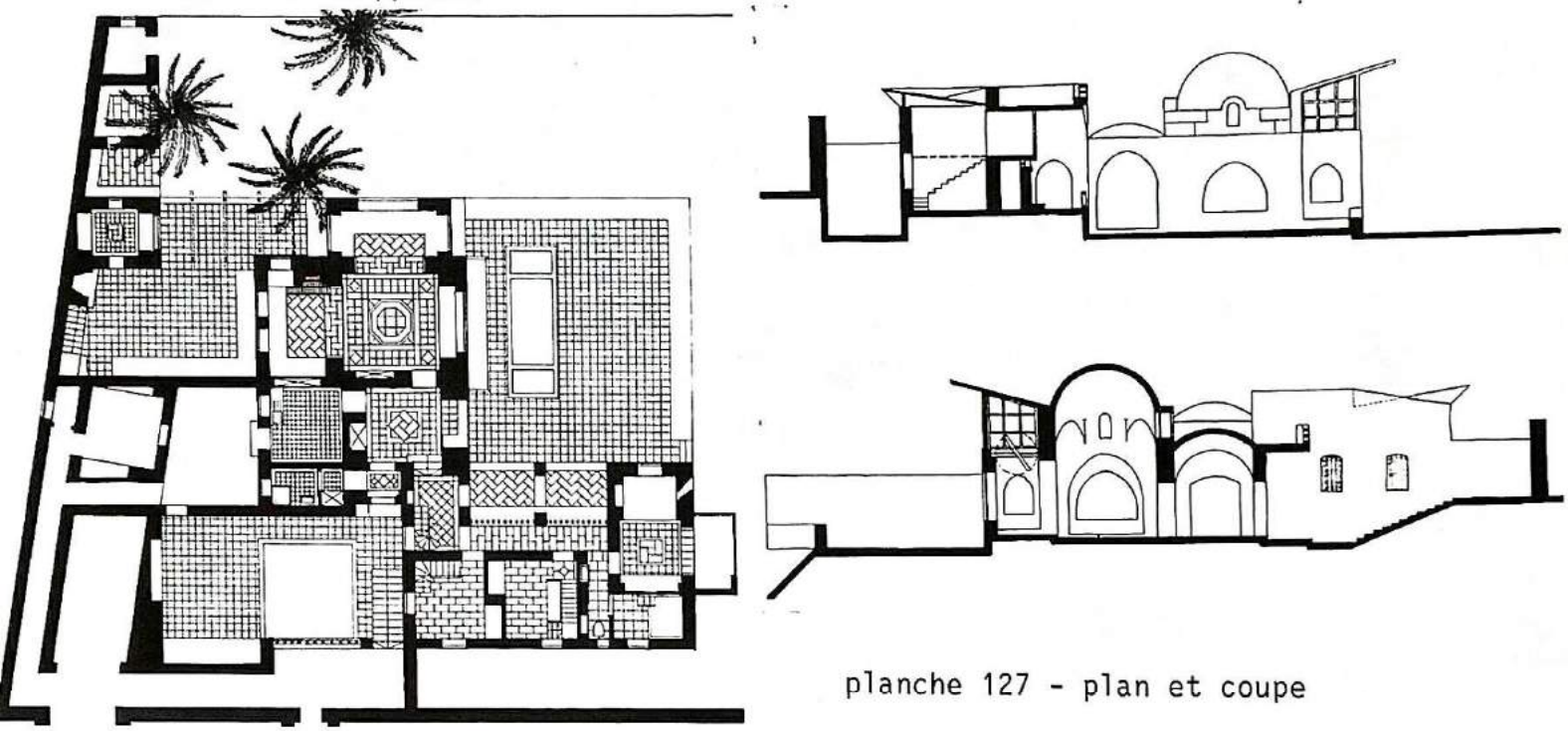
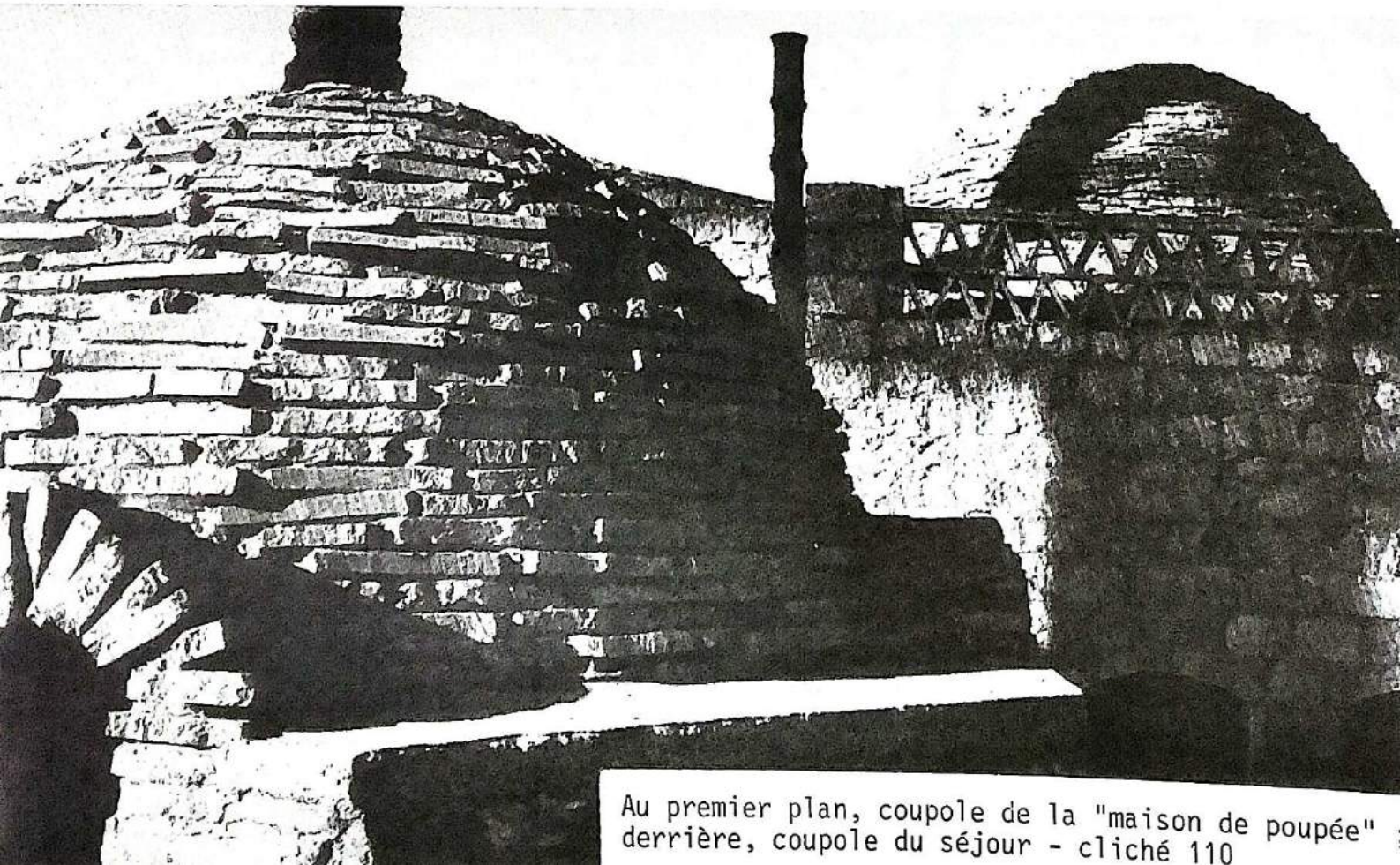
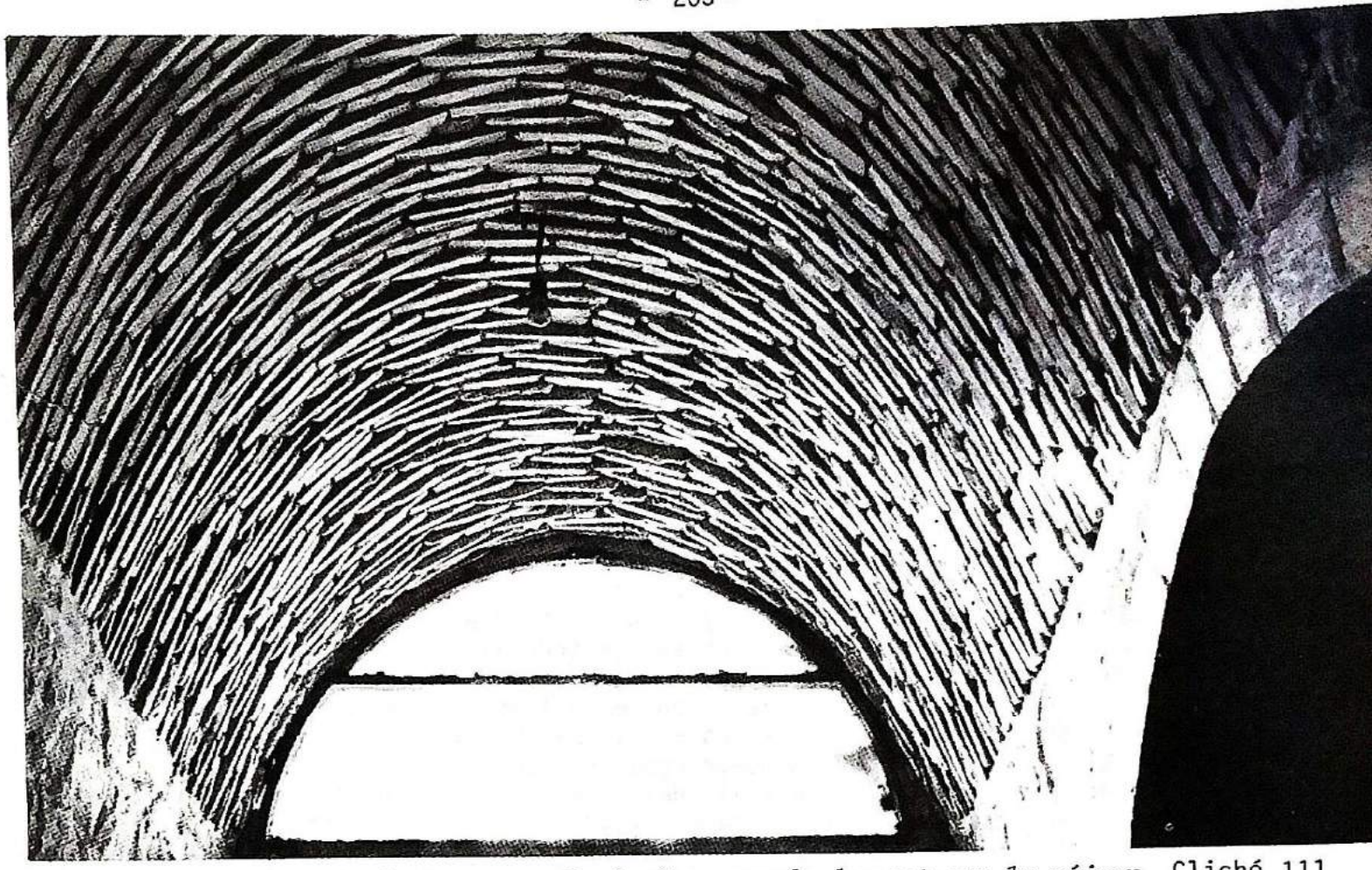


planche 127 - plan et coupe

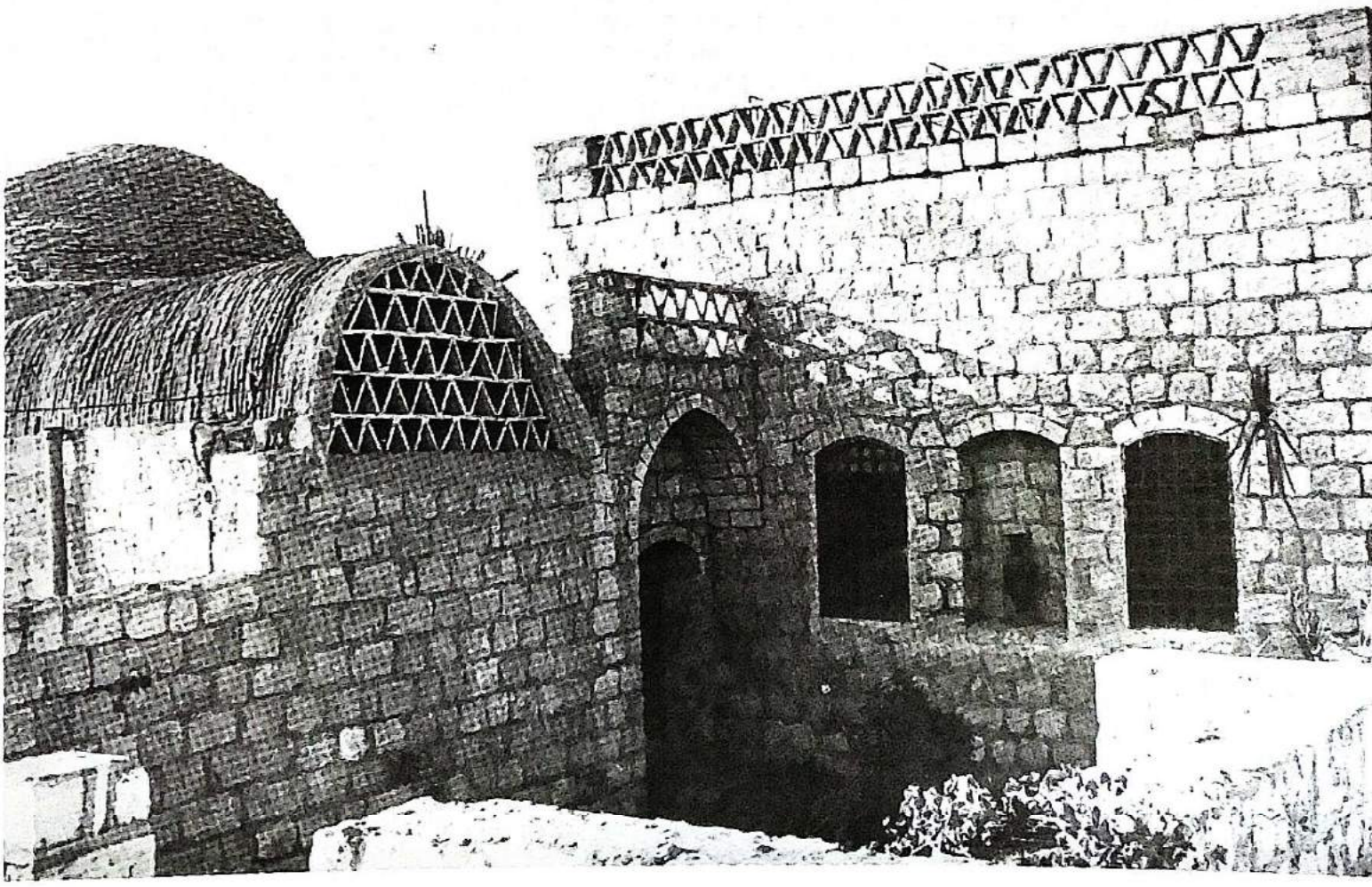


Au premier plan, coupole de la "maison de poupée" derrière, coupole du séjour - cliché 110



Voûte du coin de feu - sur la droite, arcade donnant sur le séjour Cliché 111

Le patio d'entrée - la coupole est celle du séjour, la voûte abrite une salle d'eau et une cuisine. Cliché 112



3.5. HABITAT TRADITIONNEL NÉPALAIS

. *NEPAL CENTRAL* Extrait CNRS - Marc Gaborieau

Le type de maison utilisé par la grande majorité des habitants du Népal central peut se définir en première approximation comme un édifice en pierre, à deux niveaux, avec charpente et comble de bois et couverture de chaume , il est flanqué d'une plate-forme de maçonnerie surélevée par rapport à la cour et qui déborde de la maison sur la façade et les côtés pour porter une véranda.

La structure de base édifiée la première est la maçonnerie. Dans ces terrains où l'on atteint vite le roc, les fondations sont peu profondes : 30 à 50 cm. Elles dessinent le rectangle de la maison d'environ 5,30 m sur 3,50 m dans ses dimensions extérieures. On y élève des murs d'environ 40 cm d'épaisseur ; dans d'autres constructions, des variations de 35 à 50 cm. Pour accommoder la hauteur de la plate-forme de la véranda, du rez-de-chaussée et la partie maçonnée de l'étage, ces murs doivent s'élever de 3,50 m à 4 m au-dessus du niveau du sol. Ils forment un rectangle de maçonnerie de hauteur égale sur tous les côtés comportant des ouvertures sur la façade : ils délimitent la surface fort modeste du rez-de-chaussée comme de l'étage : 4,40 m sur 2,60 m, soit 11,44 m^2.

Les murs, garo ou garho, sont faits de pierres, dhunga, maçonnés avec de la boue, tout simplement la terre, mato, des terrasses environnantes diluée dans de l'eau. Tout homme sait plus ou moins faire ce travail : plusieurs mettent la main à la pâte ; mais il faut un expert pour monter les parties vitales de l'édifice, spécialement les angles ; le cordeau et le fil à plomb ne sont pas inconnus ; ils ne sont pas non plus systématiquement utilisés : les angles ne sont pas toujours très droits, ni les murs parfaitement verticaux et d'épaisseur constante. Les encadrements des ouvertures, les extrémités de la poutre, des solives du plancher et des consoles, qui ont été préparés à l'avance, sont insérés à leur place à mesure que les murs montent et l'on maçonne tout autour. Un échafaudage rudimentaire de bambou est mis en place dès que le mur arrive à hauteur d'homme.

Les femmes n'ont de tâches spécifiques qu'une fois la maison terminée. Elles crépissent avec de la boue, en utilisant leurs mains pour seuls outils, les sols et les murs à l'intérieur comme à l'extérieur. A l'aide d'un chiffon elles recouvrent ce crépi d'un enduit de terre rouge, rato mato, et de bouse de vache, mélange solide considéré comme purificateur qui donne un fond de teinte ocre. Viendra enfin la décoration proprement dite : utilisant chiffons et balais en guise de pinceaux, les femmes peignent en noir les ouvertures à l'aide d'une décoction d'écorces ; elles décorent la façade et les côtés de la maison de motifs géométriques exécutés avec cette même peinture noire et du lait de chaux.

. *CENTRE-OUEST NEPAL* - F. Morillon et Ph. Thouvery - CNRS extrait

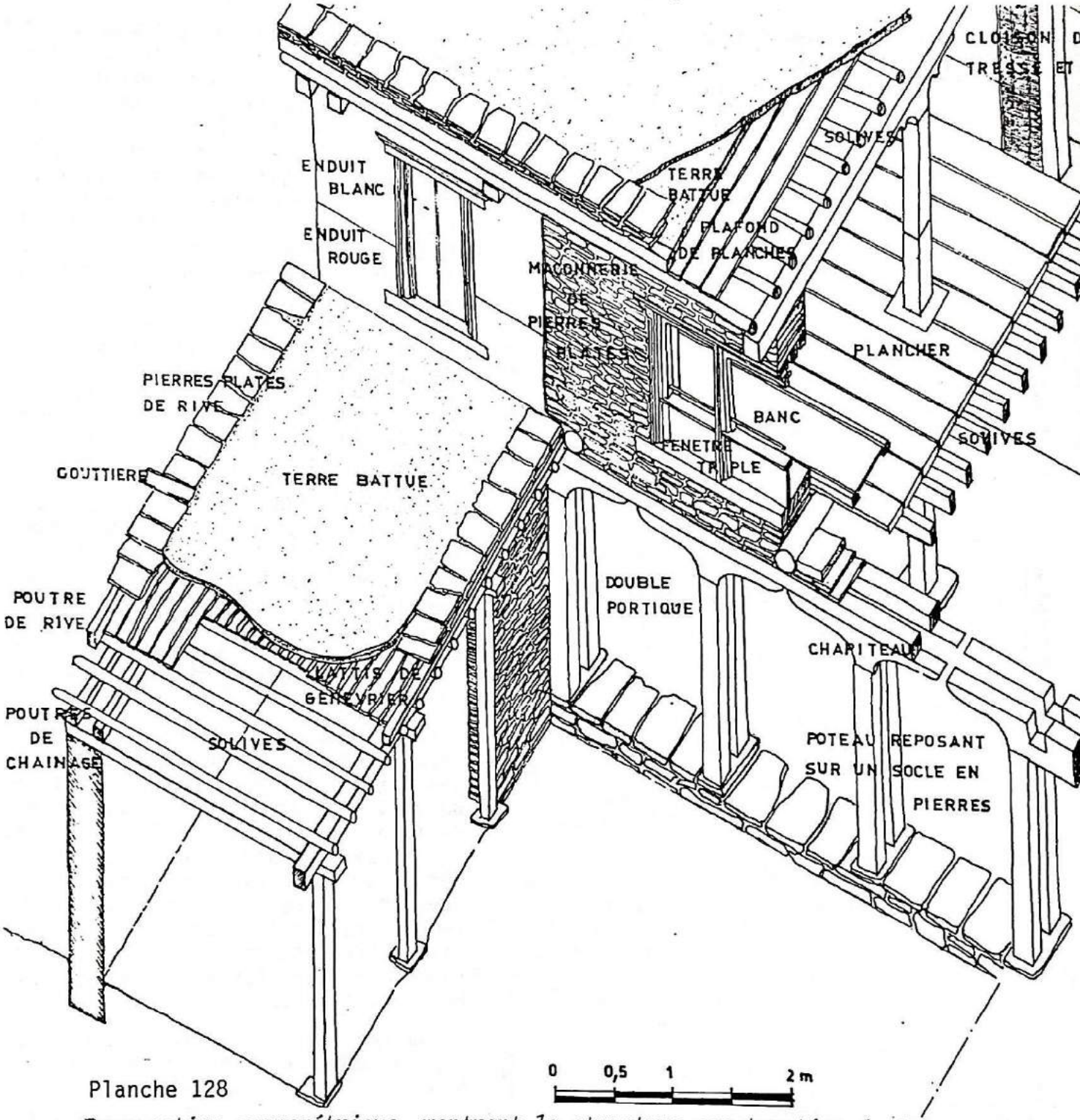


Planche 128

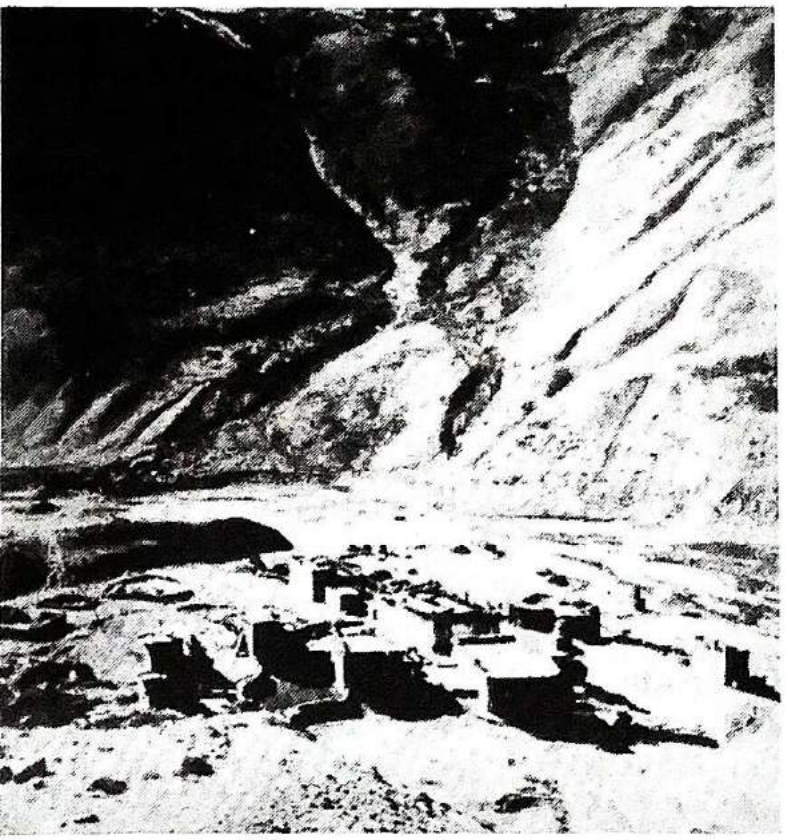
Perspective axonométrique, montrant la structure constructive de la maison de la Thak Khola.

Des groupements parallèles de maisons mitoyennes à toit plat - les espaces internes s'articulent autour d'une cour, Kho, pavée et qui permet de recueillir la fumure pour les champs ; son pourtour est marqué de grosses pierres plates qui limitent les espaces qu'elle dessert.
Les murs sont montés sur des fondations de 60 cm de profondeur faites de grosses pierres de gneiss. Ils sont composés de pierres plates hourdées à joint croisé avec un mortier de terre - La maçonnerie, d'environ 50 cm d'épaisseur, assure une partie de la division spatiale du rez-de-chaussée et constitue l'essentiel de l'enveloppe.

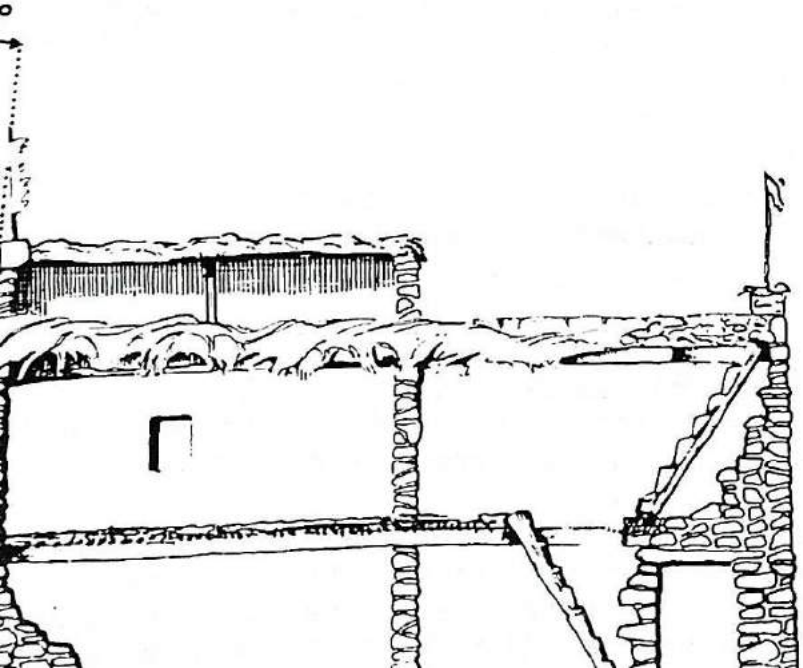
. *NORD NEPAL - L'habitat à Dolpo* - Extrait CNRS - Corneille Jest

"Voici la bénédiction concernant la porte (de la maison)
"le linteau est bleu, fait de turquoise
"les quatre coins (de la porte) sont en cristal
"la marche est jaune, en or
"la serrure de bois est couleur de conque..."

Dolpo, Chant de mariage



Cliché 113 *Groupe de maisons à Kagar*



Les groupes de maisons occupent le fond de la vallée ; les terres cultivées sont aménagées sur des terrasses d'assez grande surface. Le réseau de chemins est en général associé, dans la zone habitée, aux canaux d'irrigation. Dire que l'habitat est destiné à protéger l'homme contre les éléments est un lieu commun, mais à 4000 m d'altitude, se prémunir contre le froid et le vent qui souffle pratiquement en permanence, est une exigence constante. Il s'agit donc d'élever des murs, percés de très peu d'ouvertures, de prévoir une unique porte, elle-même protégée par un mur ou une enceinte-cour, et d'utiliser des matériaux qui isolent et en même temps captent ou conservent la chaleur.

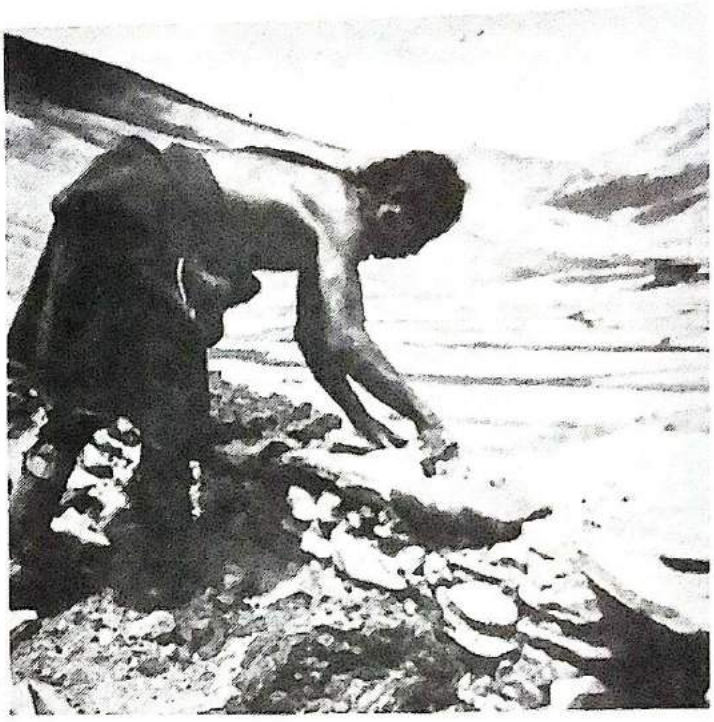
La construction d'une maison obéit à des régles d'ordre tant technique que rituel. L'emplacement n'est pas choisi au hasard. Il doit offrir un certain nombre de garanties : plan horizontal à l'abri d'avalanches ou de chutes de pierres, protégé de l'humidité, mais assez proche d'un point d'eau.

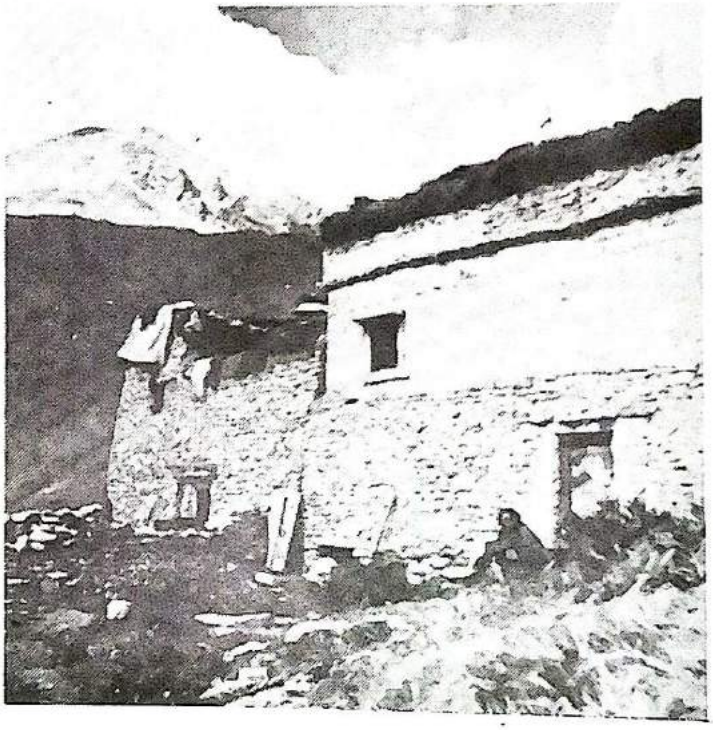
L'homme de Dolpo connaît les règles traditionnelles de la construction. Les différentes parties de la maison doivent être orientées, l'ouverture de la pièce, doit faire face à l'est. Les lieux d'aisance seront au sud, côté associé au dieu de la mort, le foyer doit être ouvert à l'ouest, direction cardinale associée à la divinité du feu. Au nord, on disposera la pièce contenant les richesses et les réserves à grain.

Si la terre et la pierre ne manquent pas (on utilise indifféremment des blocs de pierre, des galets de rivière, des briques séchées au soleil ou de la terre compactée entre deux planches), par contre le bois fait cruellement défaut : il faut aller le chercher à grande distance et il est fort coûteux.

Les murs s'allègent dans une portion de la partie supérieure du bâtiment.

Coupe de la maison de Trangmar
Croquis 129





Toits-terrasses en réfection

Une fois le parapet du toit terminé, on dépose des branches de saule et de genévrier

Construction du parapet sur le toit-terrasse

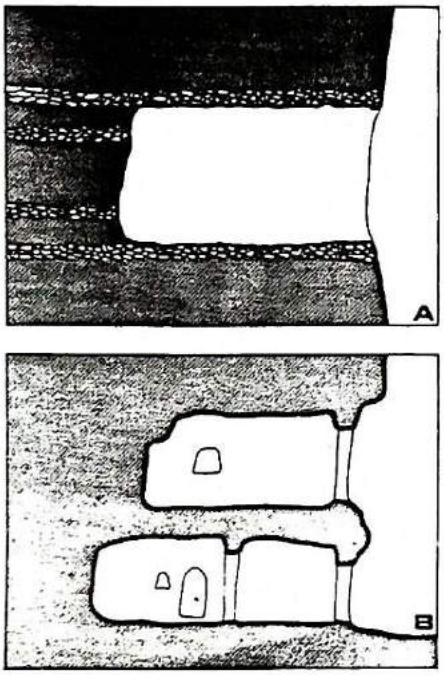
Façade d'une maison

Cliché 114

Népal - CNRS - à Dolpo
Corneille Jest

3.6. LES TROGLODYTES

A - Utilisation des strates dures tels que bancs de silex
B - Création d'un niveau dans la masse de la roche



A - Façade monolithe
B - Façade appareillée

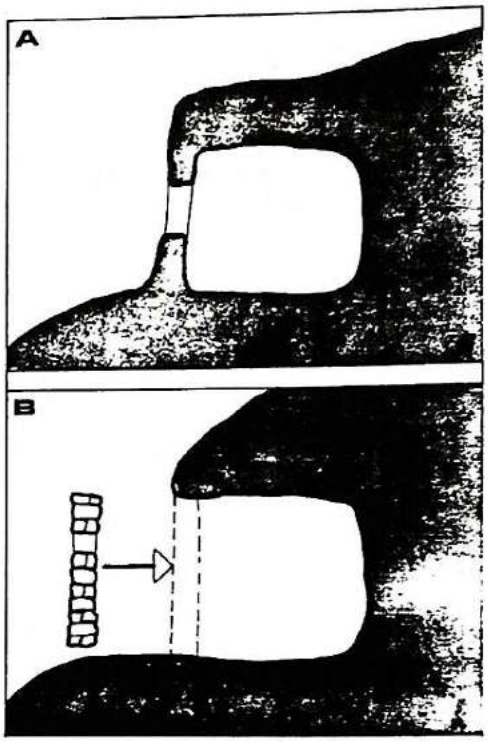


Planche 130 *Extraits "Maisons creusées - maisons enterrées" N. Charneau et J.Ch. Trebbi - éd. Alternatives -*

Les cavités naturelles résultent des actions mécaniques et chimiques de l'eau en pays calcaire - érosion de la roche. Dès les premiers hommes elles furent des toits protecteurs, abris sous roche. Pour agrandir et améliorer le confort de cavernes, on a recourt à la taille.

Les cavités creusées de main d'homme.

La pierre résistant mal à la flexion, on crée un système de voûtes et d'arcs à l'intérieur de la cavité. La portée est courte, et pour franchir des espaces plus vastes, des piliers sont aménagés dans la masse rocheuse. Les hauteurs varient suivant la qualité de la roche, de 3 à 5 m ; il y a même parfois plusieurs étages, le plancher étant taillé dans la masse. Le sol est nivelé lors du creusement et recouvert de terre battue afin de régulariser les aspérités de la roche. Les façades sont soit monolithes, taillées entièrement, soit appareillées et construites avec les matériaux issus de déblaiement.

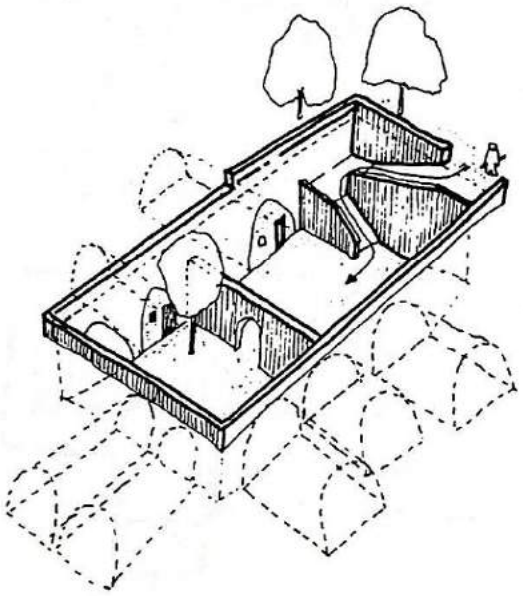
Les troglodytes se trouvent plutôt dans les climats chauds et secs

- protection contre le soleil et les grandes différences thermiques entre le jour et la nuit.

Le sous-sol est tendre et facile à excaver : du loess comme à Shensi en Chine et Matmata en Tunisie, du grès ou du tuf en Ethiopie (tuf rouge

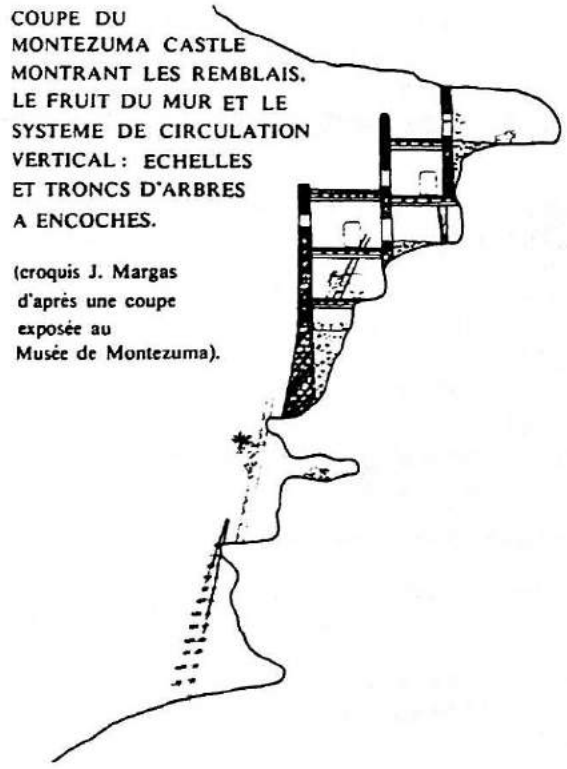
dans les montagnes du nord et du sud ; province du Tigré, Ouag et Lasta, sur les hauts plateaux) - du tuf également à Kaymakli en Turquie, ou de la lave poreuse - du grès en Jordanie et en Egypte - du basalte et du granit, plus dur, en Inde - calcaire tendre dans l'Europe méridionale, Espagne-Italie-Sicile-Grèce-Turquie, et l'Afrique du Nord, Maroc-Algérie-Libye, Afghanistan.

Schéma d'habitation autour d'un patio central - région de Loyang (Honan) Chine



Maison chinoise à patio central.

Nord-ouest du Shensi - plateaux de loess. Une fosse rectangulaire, d'environ 10 m sur 24 et de 9 à 10 m de profondeur, reliée au sol primaire par un escalier ou un plan incliné. Les matériaux issus du déblaiement sont ramenés à la surface et étalés ou utilisés pour d'autres constructions. Dans le loess, limon sédimentaire sans stratification, matériau tendre et facile à travailler avec une simple bêche ou un quelconque instrument de bois ou de métal, les murs s'élèvent de 1,80 m à 2,40 m de haut et le plafond est cintré. Quand le mur de façade est monolithe, les ouvertures sont taillées en dernier.



COUPE DU MONTEZUMA CASTLE MONTRANT LES REMBLAIS. LE FRUIT DU MUR ET LE SYSTEME DE CIRCULATION VERTICAL : ECHELLES ET TRONCS D'ARBRES A ENCOCHES.

(croquis J. Margas d'après une coupe exposée au Musée de Montezuma).

Maisons de falaises du sud-ouest américain

- des problèmes aux personnes âgées et aux très jeunes enfants, car les seules possibilités d'accès sont des échelles ou des trous creusés dans le rocher.
- elles se présentent sous forme de cavités de 100 m de large sur 37 m de profondeur et 20 m de haut, par exemple.

Les murs des maisons s'élaborent avec des pierres soigneusement taillées et jointes au mortier de terre, puis recouvertes par un enduit de terre.

Planche 131

INDE - partie centre ouest, particulièrement l'état de Maharastra - (également, péninsule de Kathiawar) *le Kailasa d'Ellora*
- roches effusives (porphyre, basalte, trachyte)

PLAN ET COUPE DU KAILASA D'ELLORA (croquis J. Margas).

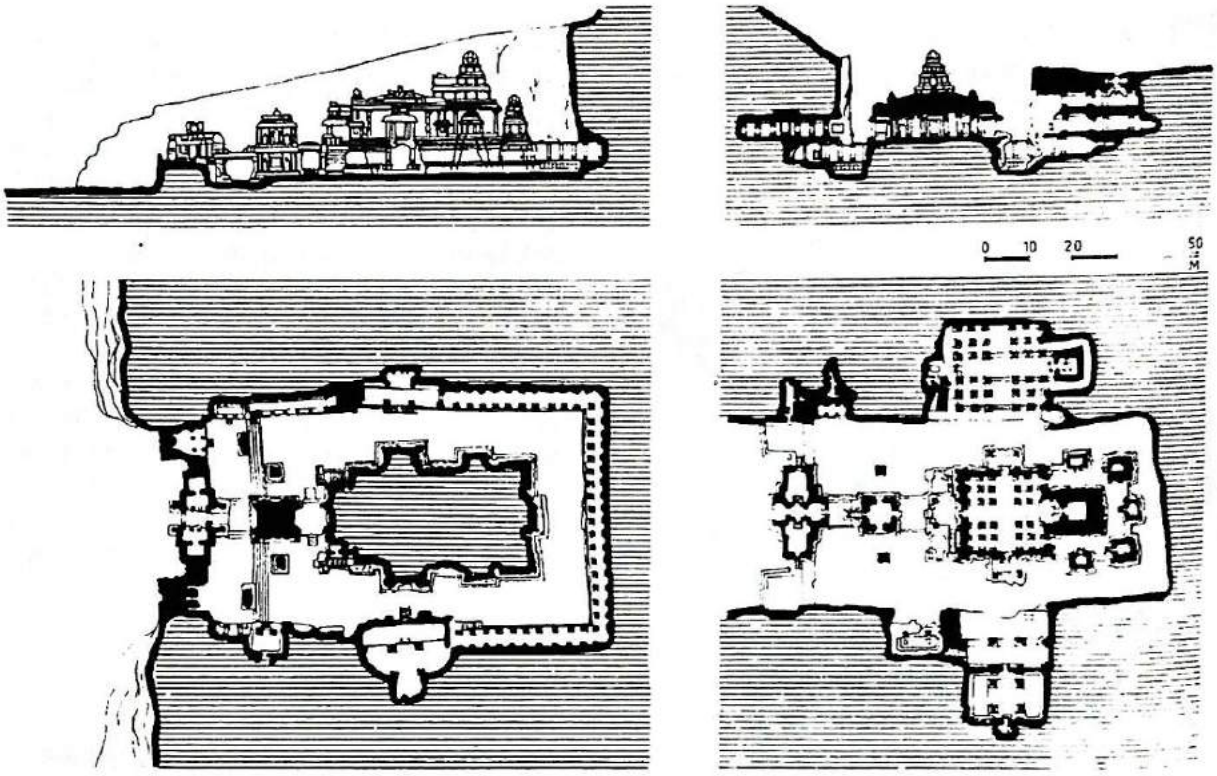
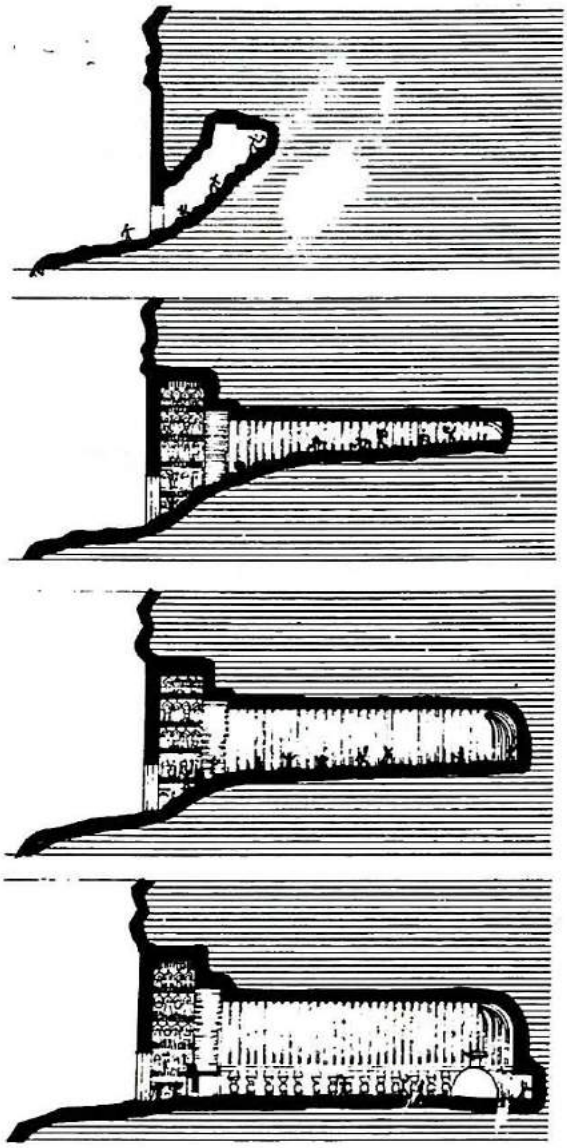


Planche 132

Edifice monolithique de 60 m de long et 33 m de haut, taillé verticalement dans la roche.

Structure complexe, sur plusieurs étages. Tous les éléments constitutifs - escaliers, ponts, colonnes, sculptures - appartiennent au même bloc rocheux.



Les techniques d'excavation

. une colline à paroi verticale était nettoyée et travaillée jusqu'à ce qu'elle soit bien plane.

. la façade est tracée sur cette surface.

. un trou, percé à hauteur d'homme, permettait de pénétrer dans la masse rocheuse.

. un tunnel, foré en remontant jusqu'au futur plafond de l'ouvrage - le travail commençait par le haut (on se passait ainsi d'échafaudage).

. l'évacuation des éboulis, réutilisés dans la construction de l'avant-cour.

. le tunnel primaire se voyait élargi et approfondi par des excavations en escalier.

. au fur et à mesure de l'avancement des travaux, les sculpteurs-dégrossisseurs étaient secondés par une cohorte d'artisans qui nettoyaient, polissaient, plâtraient et décoraient les murs.

Planche 133

CONCLUSION - POLITIQUE ET MOYENS D'ACTION DANS LES P.V.D.

(VERSION NON FINALE)

Compte tenu des connaissances présentées dans les parties précédentes, le responsable d'une collectivité - un promoteur - est en mesure de se demander par quel processus administratif et technique il va pouvoir les mettre en pratique, en tirer profit et en quelque sorte appliquer cette formule miracle consistant à construire avec des matériaux de son proche entourage et par des ouvriers formés sur place, dans des conditions économiques avantageuses.

Elle exige trois éléments essentiels de base :

. *des ressources locales*, valables, utilisables et en quantité suffisante;

. *une technologie appropriée* pour l'extraction, la transformation et la mise en oeuvre de ces matériaux ;

. *une politique d'action* technique-économique-financière, ferme, orientée, délibérée, créatrice d'initiative et mobilisatrice de toutes les énergies.

Recommandations et suggestions pour la mise en oeuvre de ces 3 éléments.

1) Il faudra avoir des ressources locales valables, utilisables et en quantité suffisante !

   - valables, utilisables... c'est-à-dire rentrant dans l'éventail des spécifications exigées de tel ou tel matériau pour tel ou tel emploi ; l'application de la norme ne devra pas être stricte, mais donnera une indication. L'avis d'un géologue ou géotechnicien à la direction des mines, de la géologie ou des travaux publics, sera toujours souhaitable avant d'entreprendre le projet.

   - en quantité suffisante.... pourquoi ? Cette deuxième condition appelle une précision qui devra être apportée par le projeteur, car c'est lui qui fixera la quantité et les conditions de transformation des matériaux (tonnes de moellons bruts 40 x 40 x 20 cm, tonnes de pavés, etc...), et les délais de livraison.

2) Il y aura donc au préalable nécessité d'un dialogue "emploi-ressources" par les responsables respectifs. L'importance d'un chantier demandera peut-être une confirmation du gisement par sondages, faisant l'objet d'une assistance technique sur le plan national ou international. Il faudra toujours se méfier des facilités apparentes d'extraction et des estimations approximatives, veiller à l'homogénéité du matériau. Le concepteur du projet devra de son côté le repenser dans l'optique d'une utilisation des ressources locales, et non comme primitivement prévu, ce qui ne se fait pas sans une certaine réticence. Ce problème de la quantité des matériaux à fournir

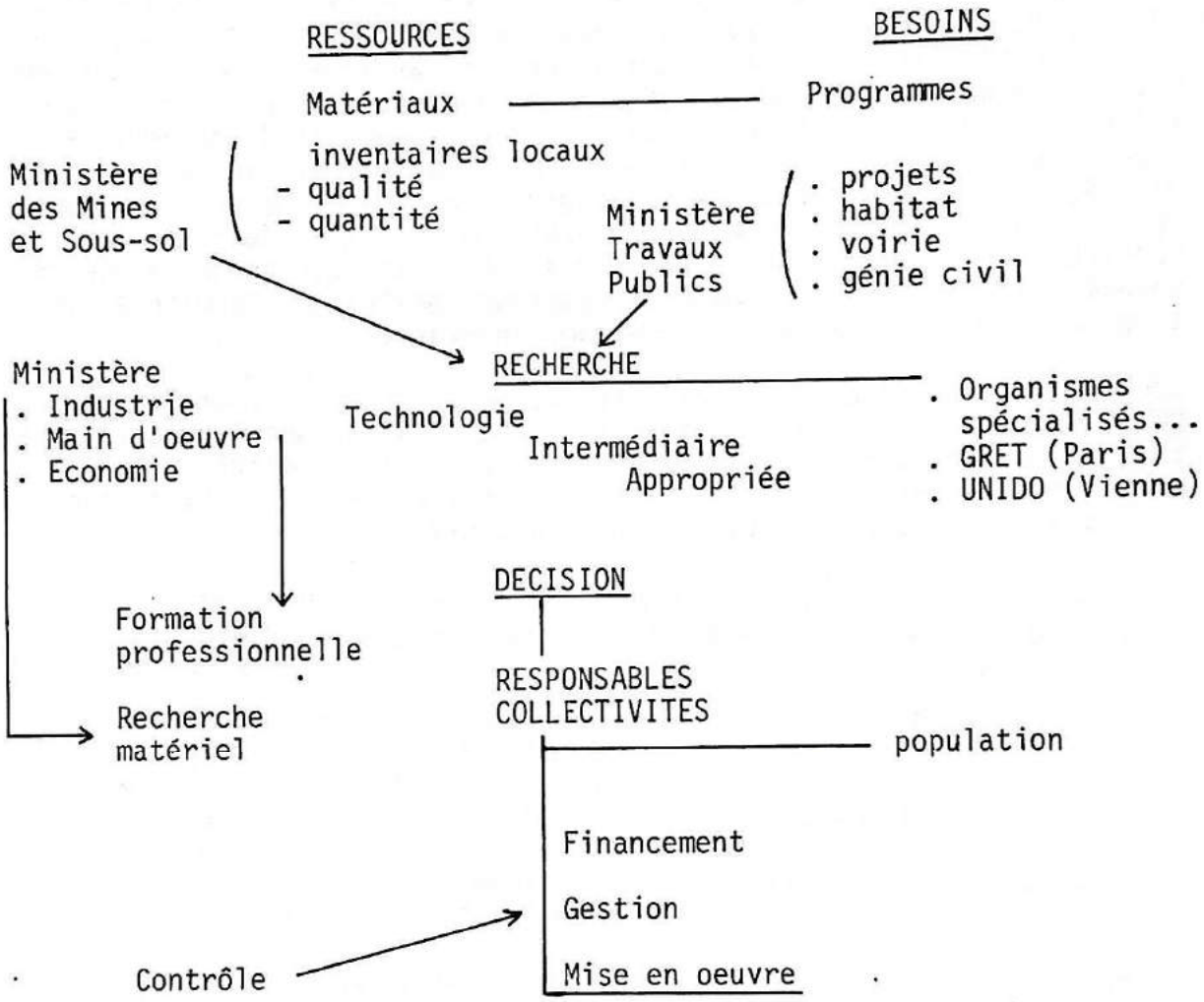
va être un des points importants de la décision à prendre, non seulement pour s'assurer que le tonnage nécessaire existe, mais pour savoir donc en investissement pour la fourniture des produits finis. Faudra-t-il rester dans le procédé artisanal en utilisant les moyens simples connus de tous - marteaux, burins, pioches - et faire travailler beaucoup de personnel dont la majorité sera à former, ou pourra-t-on se lancer dans un *"artisanat mécanisé"* terme qui mérite un complément d'information. Un compresseur pourra faire fonctionner trois marteaux et permettra de réaliser 30 à 40 m de forage par jour, produisant 30 à 40 tonnes de produits ; 3 équipes de foreurs à la main feront trois mètres qui permettront d'abattre 3 m³/jour. Mais a-t-on besoin de 40 tonnes/jour ? Tel est, concrétisé par cet exemple, le problème de la technologie appropriée ; il faut rechercher une *phase intermédiaire.*

REMARQUE - En France comme dans bien d'autres pays il existe des écoles de formation professionnelle pour les métiers de la pierre. Beaucoup d'entre elles cependant sont destinées exclusivement aux jeunes apprentis et ne se déplaceraient que très occasionnellement sur des chantiers pour une formation "sur le tas", répondant au processus de développement que nous tentons de mettre en place. Dans ce contexte nous nous permettons de présenter une structure d'action permanente CREAR - PIERRE à Bordeaux (Centre Régional d'Etude, d'Animation et de Recherche) qui à l'initiative de la municipalité précitée se trouve aujourd'hui en projet de réalisation et comprend 4 directives :

- formation des métiers de la pierre, sans limitation d'âge,
- promotion dans le monde entier, esprit d'entreprise et politique de sensibilisation,
- recherche pour une organisation du travail (repenser et innover),
- création dans le sens d'une ouverture entre l'innovation et la production industrielle.

3) Quel que soit le degré de mécanisation de l'artisanat, la formation du personnel sera toujours importante ; il dépasse le niveau de la collectivité, du village et devra être pensé-traité au niveau régional voire même national.
Contrairement aux deux premiers volets à caractère technique, celui-ci paraît beaucoup plus difficile à maîtriser car si l'initiative appartient aux promoteurs, la décision est le fait d'une action de l'Etat qui doit en présenter les avantages sociaux-économiques mais aussi ériger une prise de conscience au niveau des unités de base. Le cadre devra être recherché au sein des ensembles cohérents et motivés - villages, groupes de quartier, lotissements - afin que tous les habitants se sentent concernés et motivés par la construction de leur "coquille". La réalisation d'une campagne de sensibilisation, d'information et de formation devrait provoquer des réactions positives de la part des responsables de collectivités. La création de chantiers pilotes et aussi une aide financière pour le lancement et le soutien de ces initiatives en seraient la meilleure information.

Une telle politique passe, nous le répétons par la présence de matériaux ; c'est donc aux Ministres responsables des Mines, de la Géologie et des Travaux Publics qu'appartient l'initiative de cette recherche, par la réalisation d'inventaires. La mise en application d'une telle formule peut se présenter dans le schéma suivant :



FICHIER - ENQUETE PAR PAYS

Ce fichier non exhaustif est le résultat d'une enquête suivie par pays après diverses documentations et contacts d'organismes internationaux ; c'est un outil de travail qui nécessitera un complément d'informations dans la mesure où tel ou tel pays pourrait nous en fournir des précisions : expériences et réalisations particulièrement intéressantes permettant de promouvoir une certaine forme de développement dans le domaine de la pierre ; objectifs de recherches axées principalement sur la production et la transformation du matériau, ainsi que des offres et/ou demandes particulières dans le cadre d'une formation des techniques concernées ; enfin des ouvertures possibles pour l'étude d'un projet de construction, d'urbanisme et de voirie, où l'utilisation de la pierre serait prédominante et susciterait donc une politique d'action à mettre en place, sensibilisée à ces questions innovantes.

Souhaitons que cet appel puisse être largement entendu tant auprès des professionnels du bâtiment - artisans, entreprises, sociétés d'exploitation, maîtres d'oeuvre, promoteurs - que des groupements d'Etat et ministères concernés. Nous nous attacherons, en retour, à la diffusion de toute forme de proposition, étude de cas-type.

PAYS	MATERIAU	PRODUCTION-REALISATION	LIEU ville-région	DEVELOPPEMENT-recherches
Angola	granit, marbre	extraction-industrie et commerce	Viana	prévision pour le granit, le calcaire marbre - Coopération Espagne, Portugal, Italie
Algérie	calcaire	. moellon lié soit au timchent, soit avec du sable et chaux, suivant épaisseur des murs pouvant aller jusqu'à 80 cm à la base . arc réalisé avec coffrage nervures de palme, cailloux sans taille et plâtre	M'Zab	construction de 100 logements à Sidi Khaled → la coupe de la pierre exige un certain temps ; ce problème trouverait sa solution dans la mécanisation de la coupe de la pierre au niveau du chantier
	rose des sables (ou louz) - léger	. construction mur, voûte, coupole sans cintre - lié au plâtre murs minces de 15 à 25 cm, habitation se présentant en une succession de carrés ou de rectangles correspondant aux coupoles et voûtes en berceau	El Oued Souf	
		. galets dans les tout-venants d'oued et bancs calcaire faciles à débiter - maçonnerie hourdée au mortier de terre	Les Aurès	ressources abondantes en matière première - industrie artisanale
	granit	. fabrication de carreaux - usine depuis 1975	Berrouaghia	
	marbre	. ornementation des palais, colonnes		
		. usines de façonnage (et marbres reconstitués), firme italienne pour montage et équipement de l'usine - fabrication de carrelage	Sig-Mascara Diss-Bou Saada Reghaia	usine à Skikda, Miliana d'après rapport 1908, des carrières existantes et peut-être à réinvestir : Djebel Felfela, Djebba, Cap de Garde, Aïn-Smara, Aïn-Tekbalet (région d'Oran), Chemtou
	onyx	. production de dalles (investissement 18 millions FF)	Ouest algérien	→ depuis les Romains

Barbados	calcaire	production par technique de sciage		
Bolivie	granit	production artisanale de moellon - dalles	60 km nord de La Paz	extraction et taille approche d'une mécanisation simple
Brésil	.marbre blanc - très dur, granulation fine - et de couleur - beige, type travertin	carrières parfois en forêt, difficultés pour le transport production industrielle : 60000 m³/an exportation blocs transportés par camion, prix élevés	Espirito Santo Parana Minas Gerais Bahia	Cachoeiro de Itapemirim → 35 carrières en activité
	. granit noir - "Noir des Andes" rouge, vert, beige, gris, rose	des boules 600 m³/mois exportation USA, Japon, Mexique production industrielle : 15000 m³/an production de dalles standardisées de 1 cm d'épais. recoupé au disque diamanté en 30 x 30, 40 x 40, 50 x 50,...	Tijuca Capao Bonito Juparana Rochapiso	des carrières situées généralement près des centres de consommation (Mana, Pires, Rio Grande do Sul, Mosungaba, Bragança, Bizitiba)
	brun sur fond mauve - gros cristaux	des boules sur les plateaux du sud-ouest exploité par la Société Mondiale Granit	Curitiba	
Cameroun	. andésite, roche verte-diabase - formation volcanique	. muret de pierres (défensif) non jointées, brutes, cassées - terrasses jour brutes, cassées cultures - protection pluie et vent violent	Montzwelva Maroua	les carrières de Mfoundi - exploitation et fourniture de matériaux
	. granit calco-alcalin - à gros grain	. construction de murs en pierres sèches jointoyées avec du poto-poto (terre argileuse et humide-malaxée)	Monts Mandua nord du pays (montagnes)	
		. fondations de construction en terre-socles . alternance banc de terre/banc de pierres, mur de pierre et de boue	Dogba Tchouwok	
	. grès ferrugineux	. pas bon matériau de construction	plateau du Tinghin	
	. schiste en plaque	. mobilier intérieur foyers	La Bénoué	

Cap Vert	roches volcaniques - acides, basiques - alluvions	. exploitation de carrière peu mécanisée . terrains escarpés		projet de construction de digues
Chine	. roches métamorphiques et volcaniques -	. 1960 - construction d'un nouveau village/morphologie des logements troglodytes traditionnels	Da-Saï	. une extraction et une utilisation in situ - économie de transport et d'énergie
	. granit schiste . marbre blanc . schiste	. maisons traditionnelles-fourneau en pierre pour la cuisine ; couvertures à base de mortier de chaux et pierre grise . autel, temples, terrasse, balustrade, pagode, pont, sculptures, tombeaux	Nord et Nord-Est	. projet pour construction de milliers de logements en pierre - perspectives - extraction du matériau et transformation.
		- résidence impériale de la dynastie des Song du Nord	Kaifeng	
	. pierres de toutes sortes, tendres ou dures . ardoises, sables, graviers . loess . calcaire gris	- pagode en granit : pierres taillées avec précision . travaux d'aménagements hydrauliques, digues, puits, aqueducs		
		. Construction ou habitations creusées-terrasses, escaliers en dalles bien taillées	Nord du pays	
Congo	calcaire granit	calcaire éventuellement broyé et reconstitué Usine de broyage à Madingou.	Sud du pays	
Côte d'Ivoire	schiste granit	. carrières du Nord . fabrique de carreaux de granit 45000 m³/an (prêt de 30 millions CFA de la Bidi-banque ivoirienne de développement industriel)	Korhogo Abidjan	La SODEMI - Société d'Etat - a réalisé un inventaire dégageant la possibilité d'ouverture d'une douzaine de carrières. Les études de marché et de fiabilité sont à faire.

Egypte	calcaire latérite	. Maison Fouad Riad - architecte : H. Fathy - maison construite en pierre, s'inspirant de ce qui avait fait avec la brique crue - dimensionnement de la pierre : 25 x 15 x 5 cm voûtes et coupoles - même pierre pour les murs et dallage	sur la route de Saqqarah Côte Mer Rouge	. recherches en collaboration avec le CEBTP-Paris pour auto-construction en blocs prétaillés - raisons économiques, esthétiques et techniques - site : à Helwan - 35 km du Caire - mesure de la vitesse de propagation du son, résistance en compression.
		. une oasis dans le désert occidental . village de Gourna H. Fathy - fondations en pierre pour construction en terre, calcaire dur, au nord de la Vallée des Rois - fabrication de la chaux, calcaire friable, carrières au sud de la Vallée des reines - transport par camions	Bâriz Bagawat	3 phases : 1) identification des bancs, 2) équipement d'extraction pour obtenir un grand nombre de blocs bien équarris, 3) conditions d'exécution des murs Pose 2 cas . classique sur cales en bois, joints verticaux et horizontaux au plâtre . a bain soufflant de mortier à la chaux ou mélange chaux-ciment (joints 2 cm)
		. matériau de construction le plus employé, des qualités différentes		. serait intéressé pour du matériel français d'exploitation
		. les pyramides 2 espèces : la pierre du Mokathan, la pierre dure silicifiée	proximité des pyramides	
		. exploitation par grandes galeries à travers les meilleurs bancs (tranchées autour des blocs)	Tell-el-Amarna	
	albâtre	. fabrication de vases à parfums, amphores... décoration de murailles pavages colonnes	carrières du Mons Berenicides près de Telb-el-Amarna	
	gypse marbre, serpentin, ophites	. fabrication de plâtre		
	granit rouge, gris, noir, rose	. construction du labyrinthe (granit rouge) → très employé . fûts de colonne, entre 6 et 9 m, Ø 1 m → méthode de coins qui font	Syène Gebel Fatireh Assouan	

		éclater la pierre sous leur pression . sculptures . temples - Gizeh, Médinet Habou, Dakkeh, des piliers carrés et massifs, plus tard des colonnes, des poutres de 50 tonnes, les obélisques . des rampes pour le transport des blocs		
	porphyre rouge	. colonnes monolithes (gymnase de Smyrne)	carrière du Gebel Duchan	
	grès tendre de Silsileh quartzeux du Gebel Akmar	. usage en Thébaïde	Nubie près du Caire	
	basalte noir diorite très dense, dure et noire		Khankha	
Ethiopie	tuf rouge basalte noir	sculptures fondations . maisons creusées dans des collines ou demi-enterrées . construction blocs taillés rectangulaires . riches ornementations intérieures . utilisation du mortier de boue	Nord du pays	. rationalisation de l'utilisation de la pierre . très fort impact des Italiens
Gabon	marbre	réserves évaluées à 2 millions de tonnes pour 30 à 40000 t/an de marbre traité - les 4/5 à l'exportation	Tchibanga près de Dausé-Ossou	Sigama → société italo-gabonaise - complexe de traitement du marbre
Ghana		. 2 carrières de pierre créées par la Volta Regional Development Corportation . usine de céramique, dépasse les besoins locaux	Adaklu Alawanyo Saltpond	dans le district de Ho de Kpandu

Guinée - Bissau	granit noir - gabro, dolérite	concassé → viabilité, sols industriels	région de Bafata- Gabu	possibilité de gisements - projet usine sols industriels et génie civil
Guinée			Conakry	possibilité de carrières
Haïti	calcaire marbre granit basalte (principalement)	- fondations - aqueducs - murs avec pierre des champs ou de rivières - dimensions et formes irrégulières, mortier de boue, de chaux - ornementation, sculpture - également : marne, granit, schiste, tuf		. assistance-projet de la Banque Mondiale pour créer des installations cf. Setrec International 58 quai de la Rapée 75503 Paris Cedex 12 (étude en 1981)
Inde	ardoises calcaires schiste marbre granit grès	. importation vers l'Europe la pierre de Kotah-dalles . carrières en couches régulières bien litées, soulevées et découpées au pic . usine de marbrière - local . nombreux gisements . construction de temples, palais . transport : main-d'oeuvre de pierre - des pierres de 20 à 30 kg à dos d'homme ou sur des couffins posés sur la tête	Kotah Adityana Vallée Manang Mont Abu	. exploitations peu mécanisées . importantes productions de produits de carrière . contacts "Khadi and Village Industries Commission" à Bombay
		. construction de barrages rigides à voûtes multiples	Meer Alum près de Haïdarabad	"CSE" - Centre for Science and Environnement à New Delhi
		. toiture-dalles de pierres de carrière locale - district de Bhilwara	Kansia	"Centre of Science for Village" à Wardha
		. fabrication de parpaings de pierre - éclats de pierre / préfabriqués liés dans un moule avec mortier (chaux-ciment) - galets de rivière au déchets carrière		

		- pour construction de murs porteurs ou non (→ 4 étages) de 38 à 45 cm d'épais. dimension du parpaing : 30 cm de long, 15 cm de haut, 10,15 ou 20 de large. . maisons construites en pierres taillées et ajustées sans mortier-raffinement	Poona Hyderabad	
Indonésie	calcaire	. âge de pierre de la culture de Niha - menhirs, obélisques - dolmens, tables-chaises-bancs - tombes funéraires - petites pyramides de 2 m "jumping store" (entraînement jeunes guerriers, actuellement cérémonie mariage) . escalier pavage	Niao Island Malaisie Batwoma-teluwo	. Centre de Recherche de Bandung : mise au point de blocs constitués à partir de pierres calcaires concaves et mélangées avec de la chaux - technique utilisée à échelle industrielle
Irak				. besoin urgent d'installation de carrières "clé en main" - exploitation suivie par les installateurs
Japon	granit très résistants - couleurs variées pierre ponce - tendre - origine volcanique grès schiste	. pierres de fondation, socles, clôtures, murs, pavements, murs de soutènement, dallages, pavages . couverture . difficile à travailler . aisément clivable		. matériaux abondants, toute sorte de roches . refus d'un emploi systématique de la pierre dans la maison ordinaire : - un rival plus apte à satisfaire certaines exigences jugées fondamentales dans le contexte de la civilisation japonaise: le bois

		connaissances des technologies depuis le moyen-âge - construction de forteresses, châteaux . coût élevé du transport		- éviter le chaînage entre les blocs, pas de solidarité entre fondation et construction → à cause des séismes
Jordanie	gypse travertin, grès			. recherches de gisements . 10 millions de F ont été investis en matériel en 1981
Kenya	"Kisii stone"	. pierre à mouture - broyage à main	dans le Sud Nyanza	UNCHS - habitat Nairobi - assistance ultérieure...
Liban	calcaire	pour la construction : . soubassements, élevation de murs . dallage extérieur-intérieur, couronnement, corniche, bandeau, balcon		recherches avec CEBTP-Paris - enquête sur le terrain-gisement - possibilités d'accès
Libye		. nombreux gisements . demander aux autorités pour l'exploitation des carrières		manque d'informations
Madagascar	calcaire	. maison type à étage avec véranda et piliers de pierre de taille (inspiration indienne-lotuforme) . la case imérinienne astrologique : foyer, 4 pierres fichées dans le sol/habitacle des esprits . société malgache d'exploitation de l'Ankaratra	les hauts plateaux Antsirabé	
Mali	marbre granito grès	. marbrerie : 5 à 6000 m²/an revêtement sol et mur . usine de granito : 10 à 12000 m²/an pour habitat bon marché . grès : production artisanale - moellons : 10-15000 m²/an - dalles : 5 à 6000 m²/an	Bamako	production industrielle (moellons, pavés) objectif projet de 150000 t/an sur 5 ans lancé en 1983. → contacts : EXA-International et BRGM 87 rue St Lazare BP 6009 75 009 Paris 45000 Orléans

		. terrasses en pierres greniers de boue et petits cailloux . murs brique de terre et moitié inférieure en pierre	Dogon	
Malte	calcaire	. blocs produits par techniques de sciage pour la construction . 40 petites carrières artisanales		
Maroc	marbre	. potentiel important . ornementation - déchets de carrières utilisés comme agrégats pour des produits économiques de revêtements de sol - carreaux		
	calcaire tendre grès	. concassage empierrement blocs pour les murs → 40 à 50 cm d'épais jointoiement au mortier de terre argileuse, mortier de chaux fondations ↓ moellons montés à sec 50 cm de profondeur pour sol pierreux, 1 m pour sol argileux	littoral	projet de construction de logements sociaux à Rabat (et ailleurs)
	schiste dur	. en élévation	montagnes du Rif	
	roches éruptives - pierre ponce	. ornementation, fabrication de meules . béton léger	Moyen-Atlas à 30 km d'Azrou	
Martinique	pierre ponce dure et gris blanc cellulaire et légère (formation de bulles de gaz)	. nombreux gisements (2 sont exploités) . éléments manufacturés : - dalles de toiture, hourdis, parpaings, plaques d'isolation, - qualités esthétiques . béton léger : - souplesse, économie sur les fondations, structures, manutention - isolation thermique		technique nouvelle - conception

Maurice	calcaire	blocs produits par techniques de sciage pour la construction	Rodriguez	
Mayotte	lave volcanique corail - récifs tuf blanc	. soubassement . maison en terre et paille (trotro) . construction très ancienne en pierre (12ème siècle) . revêtement de sol - blocage de pierre	BWE Parapan Tsingoni	nombreux gisements de latérite
Mexique		des réserves importantes		. tout à faire . serait importateur de matériel français
Mozambique	calcaire			quelques projets de développement de carrières
Népal	calcaire schiste gneiss	. transport à dos d'homme ou de bête . murs-pierre maçonnée à la terre, enduits à la chaux; outillage rudimentaire - non taillées non équarries; isole du froid et capte la chaleur . dalles plates de rive en bordure de toiture . soubassements → 20 à 30 cm de haut fondations murs : briques d'argile séchée + sable parement dallage . abris des pasteurs en haute altitude (→ éboulis de glaciers) galets de rivières . pavage, canalisations . moulin à grains - grosses pierres . foyer	Vallée Mahaki-Dolpho-Thakkhada Vallée Kathmandou	
Niger		. murs autour de la ville murs des cases et espaces entre les maisons murs de boues renforcés par de grosses pierres - torchis	Turunku Nord du pays	

	granit	. pont - pierres vaguement taillées et posées sur lit de boue . fondations, jusqu'à 1/2 hauteur de construction . pierre des meules	Haut Niger	
Pakistan	marbre - blanc - rosé, gris et rouge granit blanc syénites, diorites, roches vertes - roches basiques	. gisements importants, collines vers la chaîne himalayenne . pierre à chaux blocains pour les murs, moellons . transport très cher - état des routes... . système d'exploitation à l'explosif - petites entreprises artisanales . emploi du fil hélicoïdal . scieries-châssis sable, et diamanté . pierre de construction - dans l'état de Swat	Tharaku Passo Khyler Mardan Nowshera Misalpur Karachi Rawalpindi Peshawar Makaland Quetta	. techniciens italiens + importation machine . absence de recherches de carrières plus adaptées . manque de personnel qualifié discontinuité dans l'approvisionnement de disques, segments diamantés et abrasifs
Paraguay	schiste grès	production artisanale revêtement - dalle		projet à développer
Philippines (les)	marbre "roches calcaires recristalisées" schiste	. couleurs claires : beige et rose province de Bulacan . couleurs foncées : gris, noir, rouge - province de Rizal . exploitation à l'air comprimé et au marteau pneumatique. Transformation : châssis classiques et à lames diamantées. . blanc et gris, gris et jaune veiné de noir, marron et violet (présence de schiste au sud de Puerto Golera)	Luzon Mindora Romblon	le développement d'une carrière est souvent le point le plus coûteux du budget d'une entreprise étude préparation des coûts de production, sélection de plusieurs qualités et coloris, utilisation de données topographiques et géologiques

	grès	. petites entreprises artisanales - découpe au feu . blanc et gris, à grain fin - péninsule de Buruanga - difficultés d'accès . foncés : gris et noir - présence de grès et de schistes . rose gris difficultés de transport . jaune clair, brun, lavande - production de panneaux, carreaux et dallage de dimension standard châssis de 100 lames diamantées	Panay Palawan Cebu Mindanao-Sud	. contact courrier avec "Approtech Asia" - Manila
	tuf (normaux, lappilès, agglomérés)	. gris-blanc, marron, rouge, blanc, orange, noirâtre - blocs bruts de : 10 x 10 x 30 cm 7 x 7 x 30 12 x 35 x 42 15 x 15 x 45 20 x 20 x 58 12 x 22 x 35 . pour les machines-concurrence américaine et japonaise		
Sénégal	marbre	production 20.000 t/an gisements importants - 350000 tonnes		
Soudan		. montagnes . fondations grosses pierres . murs d'argile graveleuse, boue malaxée sur plateforme de pierre . pierres de meule	Sud	
Sud Afrique	dolérite, molasse (grès tendre)	. terre argileuse dans tout le pays . maisons en voûte . galets . blocs bruts non équarris . plaques - forme ovale		

	basalte grès	. constructions de murs moellons grossièrement taillés et joints d'argile . le diamant, avec eau courante de refroidissement (→ barrages) perceuses, foreuses à air comprimé, marteau sans rotation	hauts plateaux Lesotho	. installation d'une carrière mécanisée pour l'industrie de la construction - 1981 . mini mécanisation pierres de tailles . perspective dans l'utilisation du grès comme matériau de construction
Syrie	lave terrains volcaniques	. pierre noire à Harran-el-Awamid arcs - utilisation de ruines romaines, construction en grand appareil par imitation du temple antique	au Sud plaine du Hauran	
		. fondations des maisons en terre 1 ou 2 rangées de pierres liées entre elles par le même mortier	bassin du Barada	
		. murs de clôture couvertes de pierres et de branchage		
		. pour les ouvertures, bâti de pierre ou de bois, arcs, linteaux		
		. couvertures, construction traditionnelle de l'orient poutre de lave 1,30 à 2 m sur 20 à 50 cm de large et 10 cm d'épais + dalles plus petites perpendiculaires.		
		. porte en pierre avec gonds taillés dans le bloc		
		. citernes pour récupérer l'eau de pluie		
	calcaire - tendre, fiable et cassant - dur	. facile à travailler . sur les rebords abrupts des plateaux	plateaux du Qalamun	
		. murs à blocage - mortier parement - pierres sèches cloisons dans la partie (bâti bois) supérieure	Hermon	"La construction en pierre se présente avec une complexité beaucoup plus grande que la construction en terre".

		. pierres plates empilées obliquement : un lit vers la droite et le suivant vers la gauche, on consolide les angles avec de grosses pierres équarries, parfois des lits intermédiaires de petites pierres, parfois encore des pièces de bois horizontales qui forment chaînage (liaison) . la pierre régulièrement dressée ne s'utilise que pour les angles, les arcs, les portes et les fenêtres.		
Tanzanie	corail calcaire	. moellons . construction de mosquée . maisons sous terre ou demi-enterrées - mortier de boue		. contact courrier avec "Camertec" - Arusha et "Tanzania Building Research Unit"
Thaïlande	marbre blanc, rose saumon, gris + veines noirâtres noir	. industrie locale . pierres dures, région centre orientale . prestige - grands édifices, demeures particulières . dallages, petits formats . chaînes conventionnelles de production - châssis diamantés, taille-blocs semi-automatique	Thonburi	. production locale en générale (marbre et granit) . pourrait être international . demande d'assistance technique et promotionnelle pour machines, pièces de rechange...
	- blanc, grain très petit + veines verdâtres (paillettes mica jaune)	. coupe au fil - industrie locale peut être scié en épaisseur très mince, exportation Japon, Singapour, Hong Kong	Naparan	
	- rose pastel blanc gris calcaire rosé, gris perle, gris cendré, blanc, gros grain strié de rose, jaune et noir	. empierrement de routes, ballast chemin de fer . exploitation à l'air comprimé coins, cordeau détonant (manque d'eau)	Plad-Ack Saraburi zone nord ouest	

	- marbre à grosses coquilles. Couleur gris pigeon sur fond rose-orangé clair .veines noires ou gris foncé .rose violet, jaune orangé . granit gris clair, rose, noir vert sombre	. utilisation du fil quand les bancs sont réguliers . air comprimé . 3 châssis japonais à 60 lames diamantées, 4 châssis italiens à sables de 70 lames . machines d'origine Italie, Allemagne, Japon, Taïwan et local . énormes boules ; en remontant au nord, des roches basiques (diorite, gabbro) travail artisanal, technique des coins . construction d'une usine	zone nord-est Naparan Amphoe Tung Solian zone sud-ouest Pitsalunsk	. assistance technique : le personnel devrait être formé par des personnes compétentes. . savoir régler la vitesse de descente en fonction de la dureté du marbre.
Togo	marbre dolomitique	. peu de carrières exploitées . usine - 450 ouvriers châssis multilames débiteuses diamantées tronçonneuses débiteuses moulureuses, polisseuses . gisement estimé en 1967 à + 10 millions de tonnes . usine de céramique : 11000 m²/mois mais de carreaux de faïence	Gnaoulou - Nuatja	Société togolaise de marbrerie - la SOTOMA (avec SINCO Italie) - tentative... dépasse nettement les besoins du pays
Tunisie	calcaires - très dur - marne + grès	. nombreuses carrières matériaux assez tendres (roches sédimentaires) . les ghorfas, sur 3 ou 4 niveaux - coffrage en natte posée sur des silos à grains remplis de terre sur lequel on coule le plâtre et monte maçonnerie de cailloux + mortier	Djebel-Ischkeul, Zaghouan, Rissas, Kairouan, Djeffara.	Serge Santelli, architecte : "Seule la technique traditionnelle de la taille de pierre se maintient pour répondre à la forte demande de réalisations d'éléments décoratifs tels que colonnes, chapiteaux, arcades, réalisées en pierre et utilisées dans la construction des nouvelles façades de villas"...

	grès schistes	. travertins marins → le chakheh, facile à tailler construction arcs, palintrages, piédroits, le hajra sonnu, plus dure pour la construction des murs	Djerba, Djebel-Tebaga Rehach Sidi Toui	
	marne		Vallée de la Medjerda	
		. habitat unifamilial, pierre-chaux vive	Ksour-Essaf	
		. construction en pierres sèches	Kessera	
	tuf	. murs porteurs verticaux . pierre friable mais liée à un mortier de chaux . pas plus de 2 niveaux sur barrière d'étanchéité, ouvertures réduites, épais. murs 45 cm mini . procédé moins rentable en zone urbaine à cause du transport		pour l'habitation rurale économique, il est intéressant de modifier la technique courante en remplaçant l'aggloméré par le moellon de tuf et le ciment par la chaux.
Uruguay	. granit noir gabbro, dolérite	. blocs marchands pour l'exportation		
	. labradorite	. blocs marchands 10 à 20 tonnes		
Vénézuela				voudrait acheter du matériel d'exploitation
Yémen	calcaire	. murs de pierres (50 cm d'épais.) de 6 à 10 m et briques séchées pour étages supérieurs . appareillage des murs inférieurs : pierre + terre . escalier de pierre qui renforce la structure . couvertures et planchers - en pierres plates - en voutins de pierres liées au timchent ou au plâtre entre solives	Sana'a	

		. fondations pierres dépassant 30 à 40 cm au-dessus du sol à joints vifs . dans les montagnes et hauts plateaux du Nord-Yémen, maisons rurales soit pierres à joints vifs, soit terre par couches.	Sa'adah (Nord)	
Zaïre	Marbre Calcaire Granit	. fossé de 40 cm de profondeur sur 35 cm de large - moellons et mortier terre-rouge et muret de 50 cm à 1 m de haut selon la quantité de pierres naturelles que l'on peut se procurer . pas beaucoup de pierres dans le pays . cornières de marbre et granit.	Kingunda (Kwango)	. amélioration de l'habitat rural sur maisons déjà construites en pisé . pour le moment intérêt pour fabrication artisanale de la chaux . société italienne ITENCO - pour production de marbre . contact : "Cepas" Centre d'Etude Pour l'Action Sociale. - Kinshasa-Gambe
Zimbabwe	Granit Marbre Calcaire Corail	. murs en pierres réelles. Blocs granit taillés . enclos en pierres cavernes terrasses . maisons de chefs - 2 m d'épais. murs . murs et piliers de moellons en corail avec ciment local de sable calcaire .		. Vastes réserves de bonne qualité.

BIBLIOGRAPHIE

- Technologie de la pierre de taille - dictionnaire des termes couramment employés - par Pierre Noël, 1965.
  Ed. SDTBTP, 9 rue de la Pérouse 75116 Paris
  (disponible à la librairie du Compagnonnage, 82 rue de l'Hôtel de Ville 75004 - Paris - France

- Les dix livres d'architecture de Vitruve,
  corrigés et traduits en 1684 par Claude Perrault
  Ed. Pierre Mardaga (1979) 2, Galerie des Princes, Bruxelle 1000
  37, rue de la Province,
  4020 Liège - Belgique

- L'architecture rurale française
  Bourgogne, par R. Bucaille et L. Lévi-Strauss - 1980
  Berry, par Christian Zarka - 1982
  Editions Berger-Levrault, 229 Bd St Germain, 75007 Paris

- Traité théorique et pratique de la Stéréotomie, au point de vue de la coupe des pierres par Louis Monduit - 1980
  Editions H. Vial, 91410 Dourdan

- Coupe des pierres - l'art du trait - "Les livres utiles Manuels-Roret"
  par J.C. Toussaint
  Editions Charles Moreau, R. Baudoin-successeur
  10, rue de Nesle, 75006 Paris

- La maçonnerie sans fard
  par D. Bernstein, J.P. Champetier, F. Peiffer
  Editions du Moniteur, 17 rue d'Uzès, 75002 Paris

- Archi bio
  par J.L. Izard - 1979
  Editions Parenthèses, 13360 Roquevaire - France

- Archi de terre
  par P. Bardou, V. Arzoumanian - 1978
  Editions Parenthèses, 13360 Roquevaire - France

- Maisons creusées, maisons enterrées
  par N. Charneau, J.C. Trebbi - 1981
  Editions Alternatives, 6 rue Montmartre - 75001 PARIS
  (disponible au 36 rue des Bourdonnais, 75001 Paris)

- Reconstruire la Chine - trente ans d'urbanisme, 1949-1979
  par Léon Hoa - 1981
  Editions du Moniteur, 17 rue d'Uzès, 75002 Paris - France

- Panauti, une ville au Népal
par V. Barré, P. Berger, L. Feveile, G. Toffin - 1981
Editions Berger Levrault, 229 Boulevard St Germain, 75007 Paris

- Nord Cameroun, montagnes et hautes terres
par Christian Seignobos - 1982
Editions Parenthèses, 13360 Roquevaire - France

- Stone in Haïti
par United Nations Industrial Development Organization
Vienna, Austria - 1980

- L'homme et la maison en Himalaya
Editions du CNRS, 15 quai Anatole France 75700 Paris - France

- Le M'Zab, une leçon d'architecture
par André Ravereau - 1981
Editions Sindbad, 1 et 3 rue Pentier, 75018 Paris

- Construire avec le peuple - histoire d'un village d'Egypte, Gourna
par Hassan Fathy - 1970
Editions Sindbad, 1 et 3 rue Pentier, 75018 Paris

- L'esthétique et le sacré
Par Taro Okamoto - 1971
Editions Seghers, Paris - 1976

- Les villes invisibles
par Italo Calvino - 1974
Editions du Seuil, 27 rue Jacob, 75006 Paris

- Le miracle égyptien
par Schwaller de Lubicz
Editions Champ-Flammarion

- Forgerons et alchimistes
par Mircea Eliade
Editions Champ-Flammarion, 26 rue Racine, 75006 Paris

- African Traditional Architecture
par Susan Denyer - Document
(consultable ACA, 98 rue de l'Université, 75007 Paris)

- Les Arts et Métiers de l'ancienne Egypte
par W.M. Flinders Petrie - 1925
Editions Vromant et Cie, 3 rue de la Chapelle, Bruxelles - Belgique
(consultable bibliothèque Compagnons
82 rue de l'Hôtel de Ville - 75004 PARIS)

- Histoire des Arts Anciens de la Chine - annales du Musée Guimet
par Osvald Siren - 1930
Editions G. Van Oest - Paris et Bruxelles
(consultable bibliothèque du Compagnonnage)

- La Maison Syrienne, dans la plaine hauranaise, le bassin du Barada et sur les plateaux de Qalamun
"Documents, études orientales"
par R. Thoumin - 1932
Librairie Ernest Leroux, 28 rue Bonaparte, Paris
(consultable bibliothèque du Compagnonnage 82 rue de l'Hôtel de Ville 75004 - Paris)

- Les pierres calcaires à bâtir
par J. Germain - 1955
Editions Eyrolles, 61 Bd St Germain, 75005 Paris
(consultable bibliothèque du Compagnonnage)

- Les pierres de France - pierres calcaires, roches marbrières, granit, grès
par le Cated - 1980
Editions du Moniteur, 17 rue d'Uzès, 75002 Paris

- Etude sur l'administration et l'exploitation des carrières, marbres, porphyre, granit, etc. dans le monde romain
par Ch. Dubois - 1908
Editeur Albert Fontemoing
(consultable bibliothèque du compagnonnage...)

- Memento - substances utiles (matériaux de carrière) pierres dimensionnelles - calcaires, marbre, granit...
79 SGN 151 MTX - par L. Couler, G. Berthoumieux

- Essai de Nomenclature des carrières françaises de roches de construction et de décoration
Editions Le Mausolée - 1976

- Le CAVE del Piemonte (Assessorato alle cave e torbiere della regiona de Piemonte)
par G. Berthoumieux - expert matériaux BRGM "Production industrielle de la pierre au Mali" - projet EXA - Internationaux

- Cours de pétrographie
Service coopération - département formation
BRGM - par J.B. Chaussier

- Les matériaux de construction et de revêtement au Mali - Afrique
par G. Berthoumieux - expert Matériaux BRGM

- Guide technique pour l'emploi rationnel du marbre
par Antoine Consiglio

- Nouvelles connaissances pour l'utilisation et la protection des pierres de construction
Annales de l'ITBTP série matériaux N°48 pp. 17-48, Suppl. au N°335 janv. 76
par M. Mamillan

- Détermination des caractéristiques antidérapants d'un sol,
Le Bâtiment - Bâtir - mars 1982, pp. 55-58.
par K. Majcherczyk

- Encyclopédie Universalis
Les Roches

- Les aménagements extérieurs (voies piétonnes, mobiliers urbains, clôtures)
aux éditions du Moniteur - 1981
par le CATED.

- Rues et places piétonnes dans les quartiers traditionnels : plastiques et techniques des sols et mobiliers urbains, 1980 - N°ISBN N°2110817909
par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie

- Documents D.T.U.
disponibles au CSTB, 4 avenue du recteur Poincaré, 75782 Paris Cedex 16
N°20 - Maçonneries
N°40-II - Couvertures en ardoises
N°52-I - Revêtements de sols scellés

- Les pierres naturelles de construction
par C. Camerman - 1960/61
(consultable bibliothèque du Compagnonnage, 82 rue de l'Hôtel de Ville 75004 Paris)

- La filière pierre française (bilingue français-anglais)
numéro spécial de la revue Industrie minérale, les techniques, de juin 1982.
Ed. Société de l'Industrie minérale, 19 rue du Grand-Moulin 42029 - Saint Etienne Cedex

- Murs en pierre (memento CATED)
par J. Bauerhafer, I. Leblond, J.P. Peccard - Septembre 1981
(disponible au Centre d'assistance technique et de documentation, 9, rue la Pérouse, 75784 Paris Cedex 16)

- L'extraction et le façonnage de la pierre - les matériels français
par le Cated, 9 rue la Pérouse, 75784 Paris Cedex 16
(disponible à la même adresse)

- Opération expérimentale d'habitat à Banconi, Bamako-Mali
par Coopération et aménagement - agence française pour l'aménagement et le développement à l'étranger
98, rue de l'Université, 75007 Paris France

- The development potential of dimension stone,
par United Nations, department of Economic and Social Affairs
New York - 1976.

- Stone technology and resource development
par Asher Shadmon

- Stone masonry
M1/C

- Guide pratique de construction routière - Dallage, pavage
par M. Paris, R. Lebret, J.L. Pelletier, J. Bernou
février 1981, revue générale des routes et des aérodromes

- AA - l'architecture d'aujourd'hui N°195 - février 1978,
Groupe Expansion, 67 avenue de Wagram, 75017 Paris - France

- TA - techniques et architecture N°345, janvier 1983
Editions Regirex - France, 62 rue Ampère, 75017 Paris - France

- AAM - archives d'architecture moderne - N°16 (1979), N°21 (1981)
N°24 (1982), 14 rue Defacqz, 1050 Bruxelles - Belgique

- Revue "Le Mausolée" - le travail de la pierre au cours des âges
26, rue du Moulin, 69700 Givors - France

- Industrialisation forum, volume 6 (1975) numéro 2
Revue de Construction Recherche Analyse Systèmes
article de Patrice Dalix - Innovation, Transfert Technologique
(consultable ACA, 98 rue de l'Université, 75007 Paris)

- L'habitat mahorais - une perspective ethnologique
par Jan Breslar
- étude analytique et perspectives
par B. Chatain et L.A. Cheyssial
(consultable documentation ACA, 98 rue de l'Université 75007 Paris)

- Eléments d'architecture adaptés au climat désertique en pays islamiques
par Ph. Moine et D. Pradeau - septembre 1978/UPA - Bordeaux
(consultable documentation GRET)

- Revue Majallah akitek - mars 1976
article de M. Emrick - "Of sailing ship and the stone age : the traditional houses of Nias"
(consultable doc. ACA, 98 rue de l'Université, 75007 Paris)

- Habitat à faible coût en Inde
par Martial Combles - décembre 1981
Plan Construction
Auxirbat - 242 bis Bd St Germain 75007 Paris

- La maison japonaise
par Jacques Pezeu-Masabuan
Publications orientalites de France

- Matériaux et procédés de construction - Tunisie
par J. Marmey
(consultable doc. ACA, 98 rue de l'Université, 75007 Paris)

- Utilisation de la pierre dans la construction en Egypte, au Liban
par M. Mamillan - Décembre 1980
(consultable doc. CDU, 64 rue de la Fédération, 75015 Paris)

- Recherche d'une conception économique d'un habitat traditionnel - application au Maroc
par CSTB - février 1982
(consultable doc. ACA, 98 rue de l'Université, 75007 Paris)

- Revue "Industries et Travaux d'Outremer" - Afrique, Amérique latine, Asie, avril 1976
(consultable doc. ACA).

- Revue "Bâtiment International - Building Research and Practice", mars/avril 1977
article B. Kumar Gupta - l'utilisation de la pierre locale en couverture

ADRESSES UTILES

ORGANISMES PUBLICS/PROFESSIONNELS

. A.F.N.O.R. (Association Française de Normalisation)
Tour Europe Cedex 7
92080 - Paris la Défense
Tél. (1) 778.13.26

. Ministère de l'Industrie - Direction des Industries Métallurgiques, Mécaniques et Electriques (DIMME)
23, Avenue Franklin Roosevelt
75008 Paris
Tél. (1) 556.36.36

. Ministère de l'Urbanisme et du Logement - Direction de la Construction
2 bis, avenue du Parc de Passy
75775 Paris Cedex 16
Tél. (1) 503.91.92

. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)
B.P. 6009
45018 - Orléans Cedex
Tél. (38) 63.80.01

. Plan Construction
1 rue François 1er
75008 - Paris
Tél. (1) 225.99.19

. CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
4, avenue du Recteur Poincaré
75782 PARIS Cédex 16
Tél. (1) 524.43.02

. CATED (Centre d'assistance technique et de documentation)
9 rue la Pérouse
75784 Paris Cédex 16
Tél. (1) 720.88.00

. Fédération des Ardoisières de France
" du Granit
" nationale de la pierre et du marbre
3, rue Alfred Roll
75849 Paris Cédex 17
Tél. (1) 766.03.64

. F.N.B. (Fédération Nationale du Bâtiment)
33, avenue Kléber
75 116 Paris
Tél. (1) 720.10.20

. CEBTP (Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics)
12, rue Brancion
75737 Paris Cédex 15
Tél. (1) 539.22.33

. F.N.T.P. (Fédération Nationale des Travaux Publics)
3, rue de Berri
75008 Paris
Tél. (1) 563.11.44

. Syndicat des matériaux naturels d'Alsace (Grès)
5, rue Jacques Kablé
67085 - Strasbourg Cedex
Tél. (88) 36.59.69

. U.N.I.C.E.M. (Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction)
3, rue Alfred Roll
75849 Paris Cedex 17
Tél. (1) 766.03.64

AUTRES CONTACTS UTILES

. Revue "Le Mausolée" des métiers et techniques de la pierre
B.P. N°8 - 26 rue du Moulin
69700 Givors
Tél. (7) 873.02.64

. COTA (Collectif d'échanges pour la technologie appropriée)
18 rue de la Sablonnière
B - 1000 Bruxelles - Belgique
Tél. (02) 218.18.96

. GRET (Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques)
30 rue de Charonne
75011 PARIS - France
Tél. (1) 338 60 60

. ITDG (Intermediate Technology Development Group)
Myson House - Railway Terrace - Rugby CV 21 3 HT England
Tél. Rugby (0788) 70126

. GATE (German Appropriate Technology Exchange)
in - Deutsche Gesellschaft für Technische zusammenarbeit - GTZ
Postfach 5180
D - 6236 - Eschborn 1 - Deutschland

- Zentrum für Angepasste Technologie und Sozialökologie
Schwengistr. 12
CH - 4438 Langenbruch BL - Switzerland

. Institut Tunisien des Technologies Appropriées
Sidi Bou Alli 4040
Tunisie

. Technische Hogeschool Delft
Delft University of Technology - Centre for Appropriate Technology
P.O. Box 5048
2600 GA Delft - The Netherlands.

. VITA (Volunteers in Technical Assistance)
1815 North Lynn Street, Suite 200
P.O. Box 12438 phone : (703) 276-1800
Arlington, Virginia 22209-8438 USA

. BRE (Building Research Establishment)
Building Research Station
Garston, Watford, WD 27 JR
Tél. Garston (09273) 74040 England

. UNIDO (United Nations Industrial Development Organization)
P.O. Box 300
A - 1400 Vienna - Austria
Tél. 26310

. UNCHS (United Nations Centre for Human Settlements)
Habitat
P.O. Box 30030
Nairobi - Kenya
Phone : 33.23.83

. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
536 Cx. Postal 09
42 800 Camaçari - Bahia Brésil
Tél. (071) 932-1116

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Clichés-Photos n° 1 à 114
Planches et Croquis n° 1 à 133

		pages
AVANT-PROPOS		
- Organisation de l'habitat - Village de Braga, Népal Central	Cliché 1, CNRS Editeur	2
- Construction du village (2 unités)	Clichés 2	3
- Les villages de Nyi-Shang. Népal (2 unités)	Clichés 3, CNRS Editeur	3
CHAPITRE I - CONNAISSANCE DES MATERIAUX		
- Le cycle des roches	Planche 1	6
- Les différents types de roches	Planche 3	8
- Roches éruptives - formation	Croquis 2	7
- texture	Croquis 4	10
- structure	Croquis 5	11
- mode de gisement	Croquis 6	12
- Roches sédimentaires - texture/structure		
. d'origine détritique	Croquis 7-8-9	17-18-19
. d'origine chimique et organique	Planche 10	20
- Roches métamorphiques - formation	Croquis 11	23
- Définition des produits (matériau, emploi, spécification)	Croquis 12	25
- Pierres calcaires - essai de flexion	Croquis 13	29
- mesures de la dureté superficielle	Croquis 14	30
- appareil d'usure au disque métallique	Croquis 15	31
- frottement/patin caoutchouc	Croquis 16	32
CHAPITRE II - DU GISEMENT A L'ATELIER		
II.1. - Extraction et débitage		
- Les types de gisements	Planche 17	46
- Le cycle des produits	Planche 18	48
- Tableau de définition des produits	Tableau T15	50
- Forage manuel (mécanique)	Planche 19	53
- Carrière Caunes Minervois	Cliché 4	55
- Débitage au coin de carrier	Planche 20, Clichés 5 et 6	56 57

- Le principe des coins	Croquis 21	58
- Débitage à l'éclateur à aiguille	Clichés 7-8	59
- Débitage des dalles	Planches 22-23	60-61
- Débitage à la poudre noire	Clichés 9-10-11	63
- Technique de sciage manuel	Cliché 12, Keith J Eaten	64
- Débitage par charges découplées	Clichés 13-14-15-16	66-67
- Extraction par découpage thermique	Croquis 24	68
	Clichés 17-18-19	69
- Extraction au fil d'acier hélicoïdal	Planche 25	70
	Clichés 20-21	71
- Machine à fil. Découpage de tranche et équarrissage de bloc	Cliché 22, F. Ravet	72
- Découpage à jet d'eau haute pression	Croquis 26	73
- Exploitation méthode havage-rouillage	Planche 27, F. Perrier	75
- Débitage secondaire des blocs	Clichés 23-24-25	76-77
- Débitage secondaire des moellons	Clichés 26-27-28	78
- Tranchage automatique des pavés et moellons	Cliché 29, Treutle	
	Croquis 28	79
	Planche 29, Raffin	80
- Tronçonneuse à chaîne	Planche 30, F. Perrier	81
- Débitage secondaire - Phases d'évolution	Planche 31	82
- Exploitation de grès au Mali	Clichés 30 à 39	85 à 87
- Exploitation de grès au Paraguay	Clichés 40-41	88
- Découpage de dalles	Planche 32	89
- Exploitation de grès dans les Vosges-France	Clichés 42-43	90
- " de granite - Côte d'Ivoire	Clichés 44 à 46	91
- " de granite clair - Bolivie	Clichés 47 à 49	92
- " de granite noir - Uruguay	Clichés 50-51	93
- " de labradorite - Uruguay	Clichés 52-53	94
- " pierre calcaire dans le Gard - France	Clichés 54 à 56	95
- " marbre - Sénégal	Clichés 57-58	96
	Planche 33	97

II.2. - Transformation et façonnage

- Outillage pierre dure	Planche 34	99
- Tête de l'outil resserrée à la forge	Croquis 35	100
- Embout tungstène	Croquis 36	101
- Outillage pierre tendre	Planche 37	102
- Outil emmanché	Croquis 38	103

- Outillage pneumatique	Planche 39	105
- Forge rudimentaire	Croquis 40	106
- Positionnement sur l'enclume	Croquis 41	107
- Manutention des blocs - Pose des cales	Croquis 42	109
- Diable et charriot	Croquis 43	109
- La pince	Croquis 44	110
- Le cric	Croquis 45	110
- La chaîne	Croquis 46	110
- Chemin de roulement (2 dessins)	Croquis 47	111
- Le poulain	Croquis 48	112
- Les moyens de levage	Croquis 49 à 52	112-113
- Le tranchage par coins	Croquis 53-54	115
- Coupe à la scie mécanique	Clichés 59-60, Vamo	116
- Débitage pierre calcaire. Ile Maurice (scie à main)	Cliché 61, Keith J Eaton	117
- Le châssis à bras	Croquis 55, le Mausolée	118
- Le châssis à eau	Croquis 56, le Mausolée	119
- Le châssis à vent	Planches 57-58-59 Le Mausolée	122-123-124
- Le châssis à lames	Croquis 60, Decamp D.	125
- Débiteurs à disque	Cliché 62, Perrot Aubertin	125
- La taille d'un moellon - Description	Croquis 61-62	126
- Méthodes	Croquis 63 à 65	127-128
- Dégauchissage	Croquis 66 à 71	128 à 131
- Finition bouchardée	Croquis 72	131
- Types de taille et bordures	Planches 73-74	132-133
- Taille d'une moulure de corniche :		
- Gabarit	Croquis 75	134
- Epanelages	Croquis 76-77	135
- Moulure finale	Croquis 78	135
- Ardoise de couverture - Poste de fente manuelle	Cliché 63, Industrie Minérale	136
- Carrière à ciel ouvert	Cliché 64, le Mausolée	137
- Stockage à Kotah (India)	Cliché 65 Nations Unies N.Y.	137

CHAPITRE III - MISE EN OEUVRE ET REALISATIONS

- Le Moulin du Foulon à Dornecy (Nièvre) France	Clichés 66-67	139-140
- Soubassement à Vineuil, dans le Berry	Cliché 68, Ed. Berger Levrault	141
- Les fondations (3 dessins)	Croquis 79	142

- Coupe de principe maison habitation. Népal	Planche 80. Ed. CNRS	143
- Draînage	Planche 81	144
- Les murs porteurs - mur simple (2 dessins)	Croquis 82	145
- mur double (2 dessins)	Croquis 83	145
- mur composite (4 dessins)	Croquis 84	147
	Croquis 85, Ed. Moniteur	147
- raidisseur (3 dessins)	Croquis 86	148
- Différents modes d'appareillage - Afrique	Croquis 87-88, S. Denyer	148-149
- Syrie	Clichés 69-70-71 R. Thoumin	149 150
- Berry/ France	Cliché 72 Ed. Berger Levrault	150
- Méthode de pose - appareillage irrégulier (10 dessins)	Croquis 89-94	151 à 153
- pose de la pierre de taille sur cales avec coulis	Croquis 95	153
	Croquis 96	154
- fiche	Croquis 97	154
- le choix du format (tab.)	T.18	155
- Autoprotection des calcaires	Croquis 98	158
- Moellons bruts et mode de pose	Planche 99, Men Arvor	159
- Barettes et pierres de parement	Planche 100	160
- Différentes ouvertures	Planche 101, Ed. Alternatives	162
- Linteau décoré, dans le Berry. France	Cliché 73	163
- Gloucestershire, Angleterre	Planche 102. AAM n° 21	164
- Siena, Italie	Cliché 74	165
- Appareillage d'une porte	Croquis 103	165
- Anneau de pierre et niche, Bourgogne. France	Clichés 75-76 Ed. Berger Levrault	166
- L'arc (2 dessins)	Croquis 104-105	167
- Plate-bande en Egypte	Cliché 77, Ed. Vromant	168
- Province de Siena, Italie	Cliché 78	168
- Détails d'arcades	Croquis 106-107 R. Thoumin	169
- Les voûtes	Planches 108-109 Pierre Noël	170-171
- Escalier	Cliché 79 Ed. Berger Levrault	172
- Principe de construction	Croquis 110	173
- Plancher et carrelage intérieur	Croquis 111	174
	Cliché 80 Ed. Berger Levrault	174
- Principe de planchers en Tunisie (3 dessins)	Croquis 112 Moine et Pradeau	175

Achevé d'imprimer
sur les presses de sofiacparis
8, rue de Furstenberg, 75006 Paris
Dépôt légal n° 6515 – Juin 1985
Imprimer en France

Dans les pays développés, la pierre de construction garde parfois une image de tradition, voire d'archaïsme (à l'heure des mutations technologiques), de cherté, voire de luxe (en période d'austérité).

Néanmoins, grâce à l'évolution des matériels et des techniques d'extraction et de transformation, elle reste bien vivante et de nouvelles technologies de mise en œuvre lui font trouver de nouveaux emplois. A cause de ses qualités fondamentales : matériaux peu « énergivore » par rapport à d'autres, matériaux durable, matériaux dont la beauté a toujours été recherchée, celui des valeurs du patrimoine, matériaux enfin qui disperse les emplois, préserve et développe la qualification des métiers.

Ressource naturelle largement disponible dans la plupart des pays en développement, la pierre dispose d'un atout essentiel pour être employée en construction dans des conditions économiques satisfaisantes : sa production incorpore une part importante de main d'œuvre peu chère. Lors du Colloque International de Paris de Janvier 1983 sur les « Matériaux, composants et techniques de construction dans les pays en développement », l'intérêt d'en développer l'emploi avait été largement souligné par les responsables des politiques de construction de nombreux pays.

Mais il faut connaître la pierre et savoir l'utiliser. C'est l'objet de cet ouvrage qui, je l'espère, sera utile à tous ceux qui sont appelés à opérer des choix en matière de matériaux pour la construction et à réaliser des bâtiments. Je forme le vœu que la pierre contribue ainsi à la solution du problème de l'habitat pour le plus grand nombre, qui avec celui de la santé et celui de l'alimentation, reste l'un des grands défis à résoudre pour les prochaines décennies dans les pays du Tiers-Monde.

(Extrait de la Préface de J. MILLIER)

Diffusé par

LA DOCUMENTATION FRANÇAISE
29-31 quai Voltaire
75340 Paris Cedex 07
Tél. : (1) 261-50-10
Télex 20-48-26 DOCFRANC PARIS

Prix : **80 FF**

ISBN-2.11.084819-7
ISSN-0248-3394