

Durabilité des pierres en œuvre

- ◆ **Matériaux et Structures du Génie Civil : propriétés générales**
- ◆ **Vieillessement des matériaux et des structures : mécanismes d'altération**
- ◆ **Contrôle et surveillance : auscultation, capteurs, détection, moyen d'intervention**
- ◆ **Intervention : réglementation, procédés de restauration**
- ◆ **Aide au développement durable : amélioration de la durabilité, environnement**

Partie 1 :

Le matériaux « pierre » : nature et utilisation

- Formation géologique, exploitation en carrière, utilisation en bâtiment
- Constitution de la pierre : minéraux et porosité
- Transfert des fluides, propriétés hydrauliques, propriétés hydromécaniques
- Vieillessement in-situ et en laboratoire

Partie 2 :

Le matériaux « pierre » : pathologie et restauration

- Vieillessement des pierres, mécanismes d'altération, facteurs aggravants
- Techniques et produits de nettoyage, de restauration et de conservation
- Ouverture sur les travaux de recherche actuel :
 - développement durable : mortier de restauration conçu à partir de déchets
 - surveillance des ouvrages en pierres : le projet SACRE

La pierre

Matériau de construction naturel

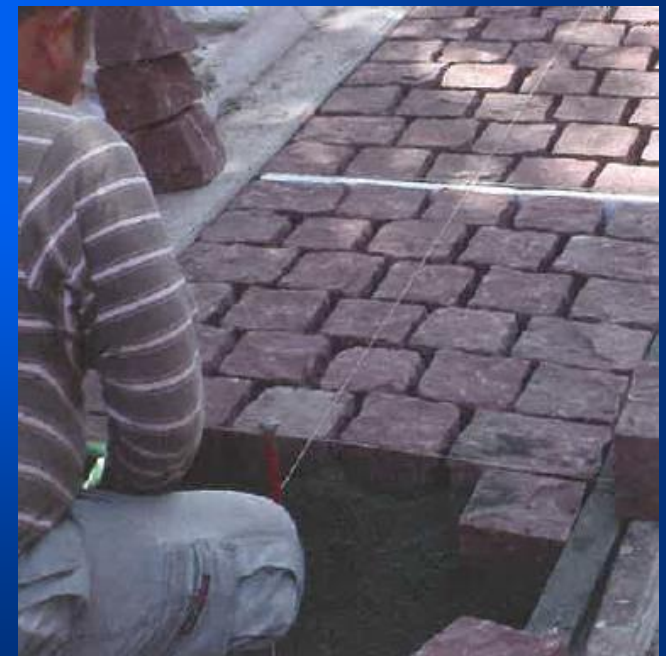
Les matériaux du génie civil : la pierre



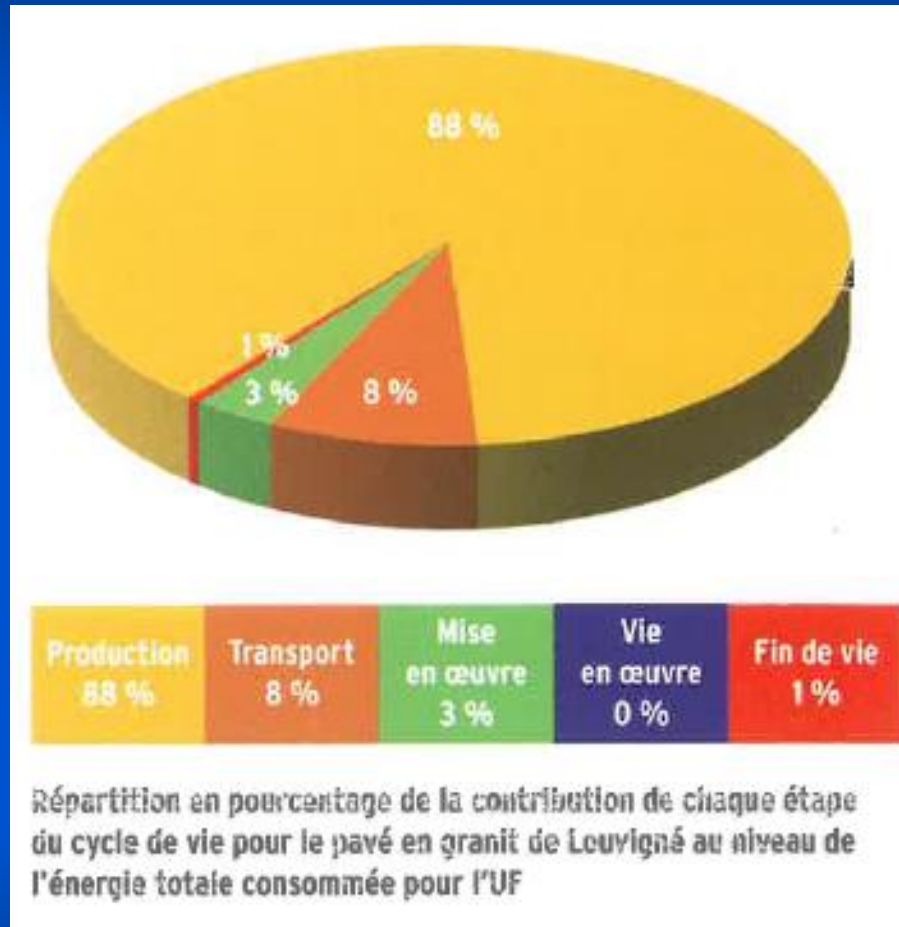
Les matériaux du génie civil : la pierre



Pavage des avenues de Paris (1930)



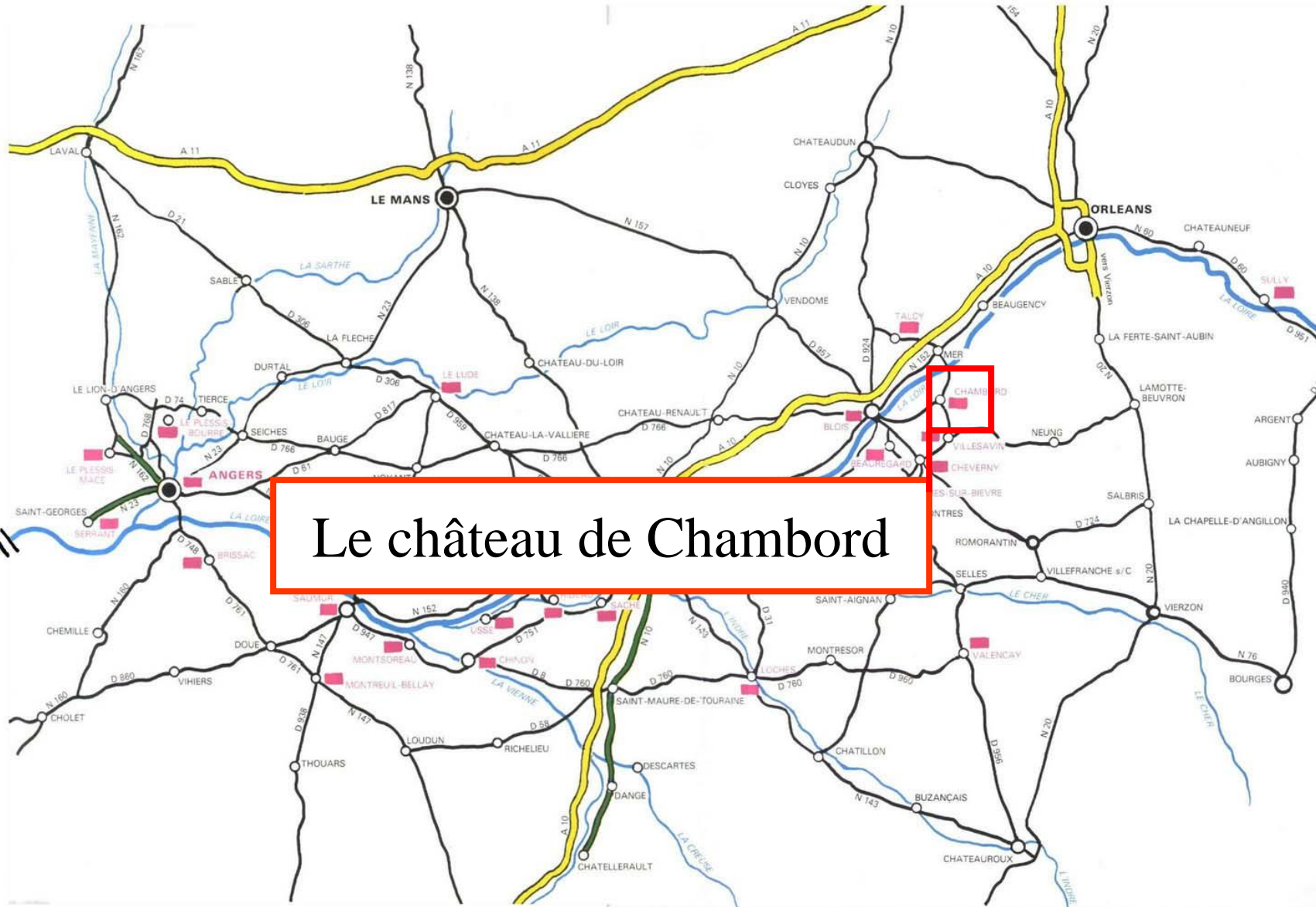
Analyse du cycle de vie



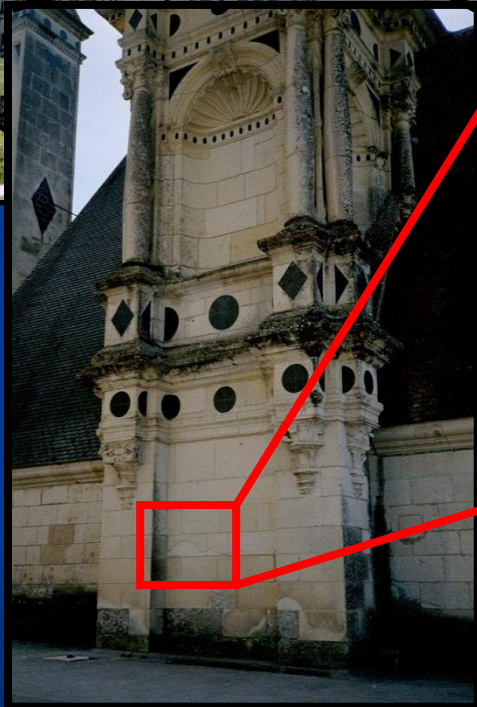
UF : unité fonctionnelle (1 m² de revêtement)

Source: Pierres naturelles (ouvrage CTMNC)

Le patrimoine bâti en Val de Loire



Le château de Chambord



Construit à la demande de François I^{er} à partir de 1519, le château de Chambord, mesurant



inachevé.
Altération en plaque

→ *Étape n°1 :*

Connaître la pierre !

Il existe 3 grands types de roches utilisées en construction :

- A: Les roches magmatiques :

- A1: Les roches plutoniques (granites, ...) cristallisées en profondeur de la Terre
- A2: Les roches volcaniques (basalte, ...) formées par le refroidissement de la lave

- B: Les roches sédimentaires :

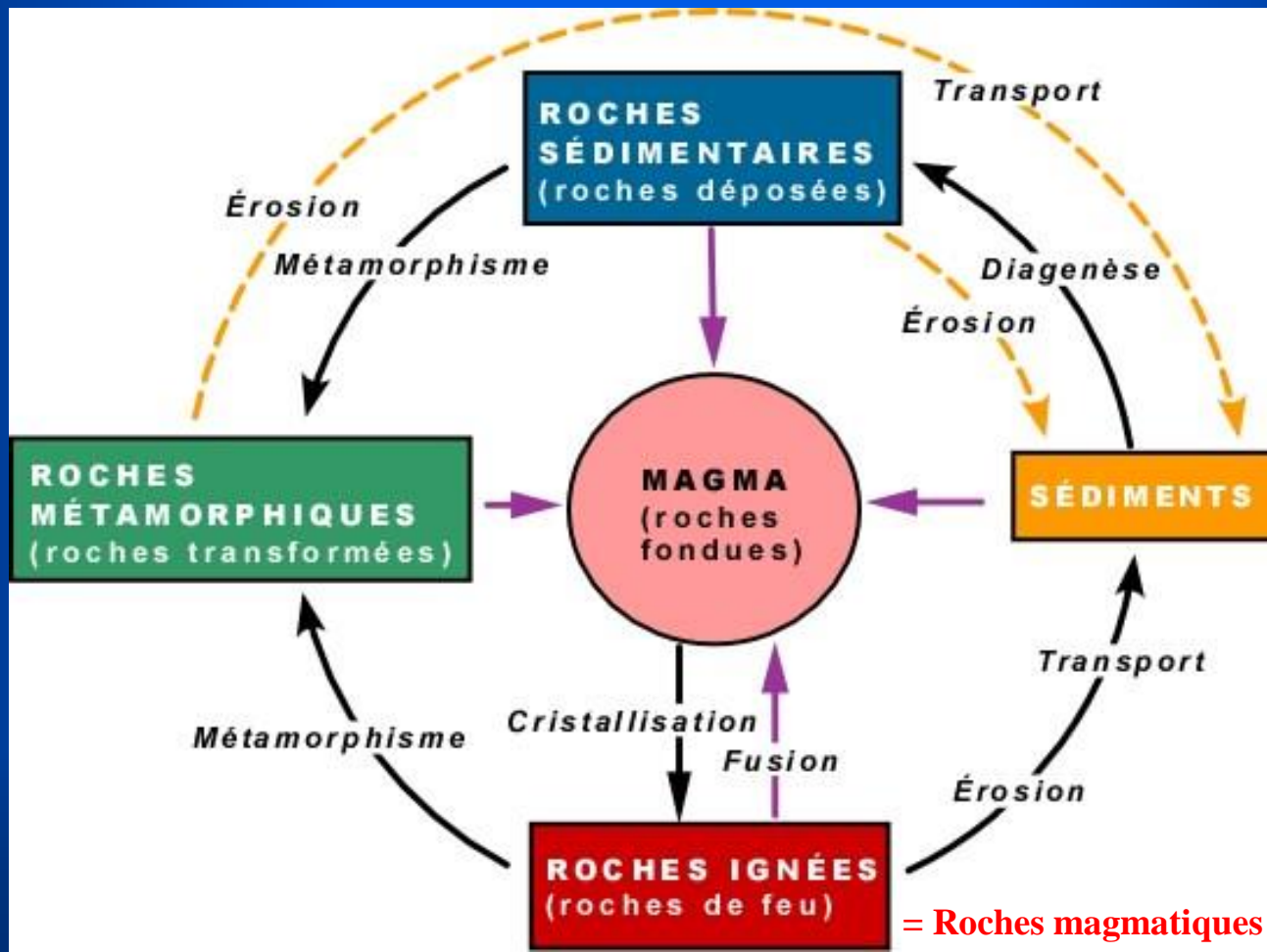
- B1: Les roches siliceuses (grès, ...)
- B2: Les roches carbonatés (calcaire, ...)

- C: Les roches métamorphiques (marbre, ardoise, ...) :

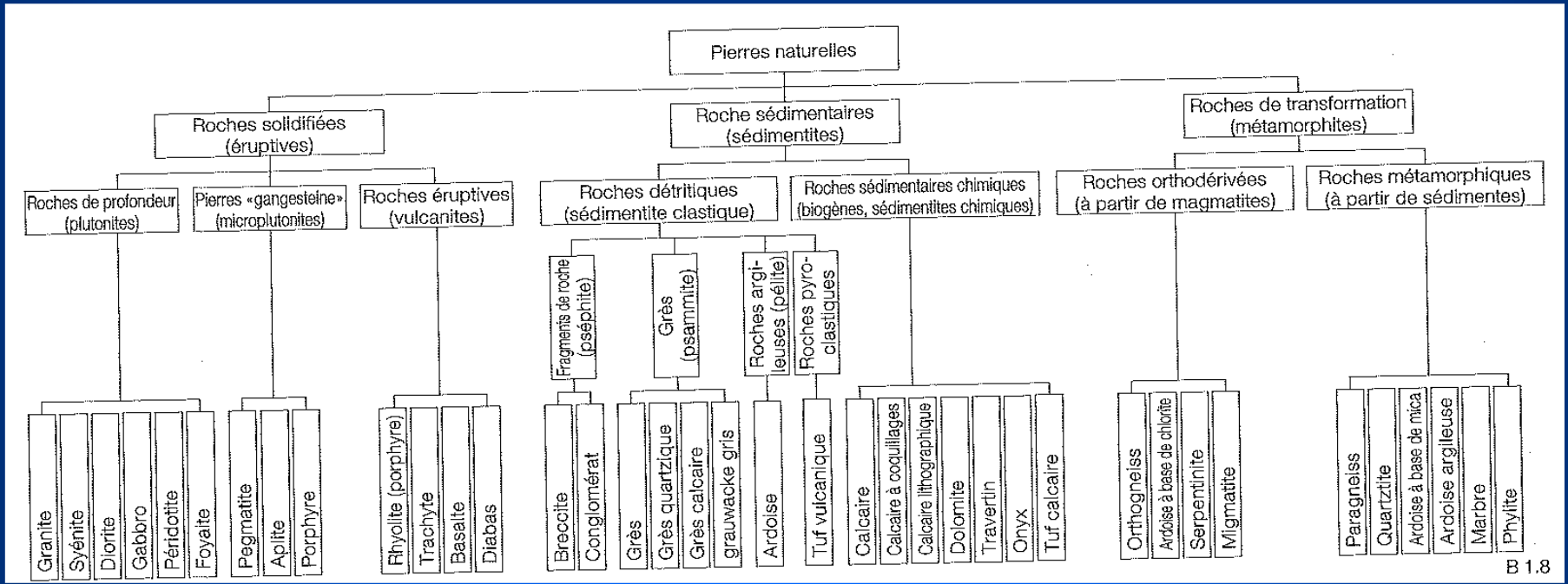
résultant de la transformation par haute pression et haute température des roches magmatiques et sédimentaires

Connaître la pierre !

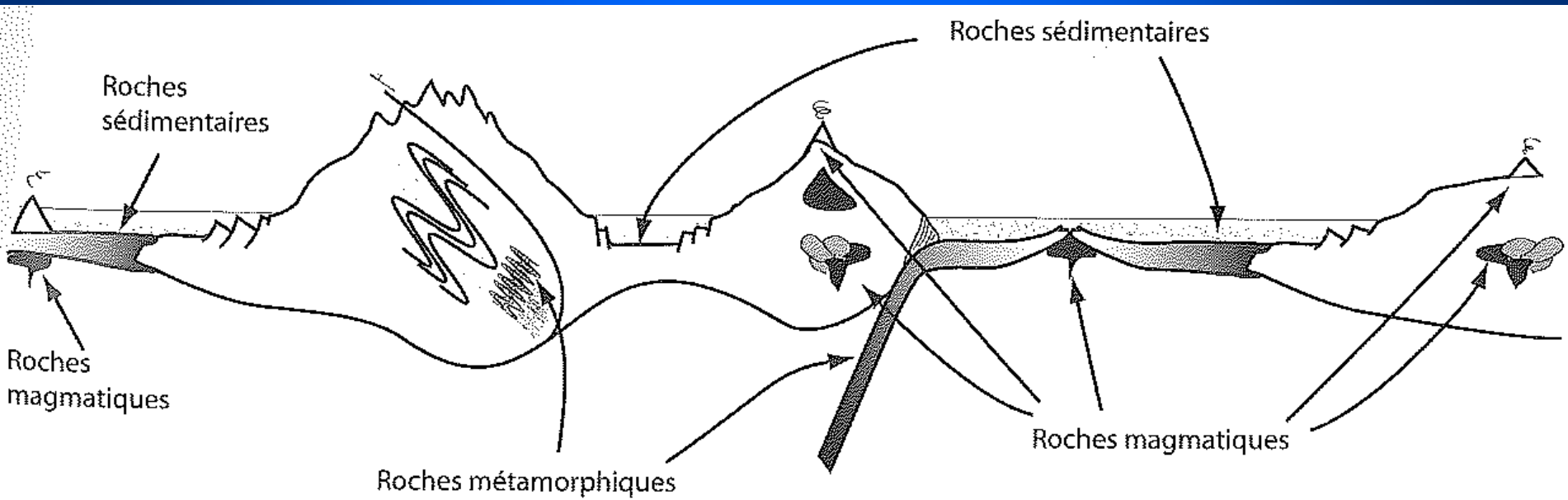
Il existe 3 grands types de roches utilisées en construction :



Les matériaux du génie civil : la pierre



B 1.8

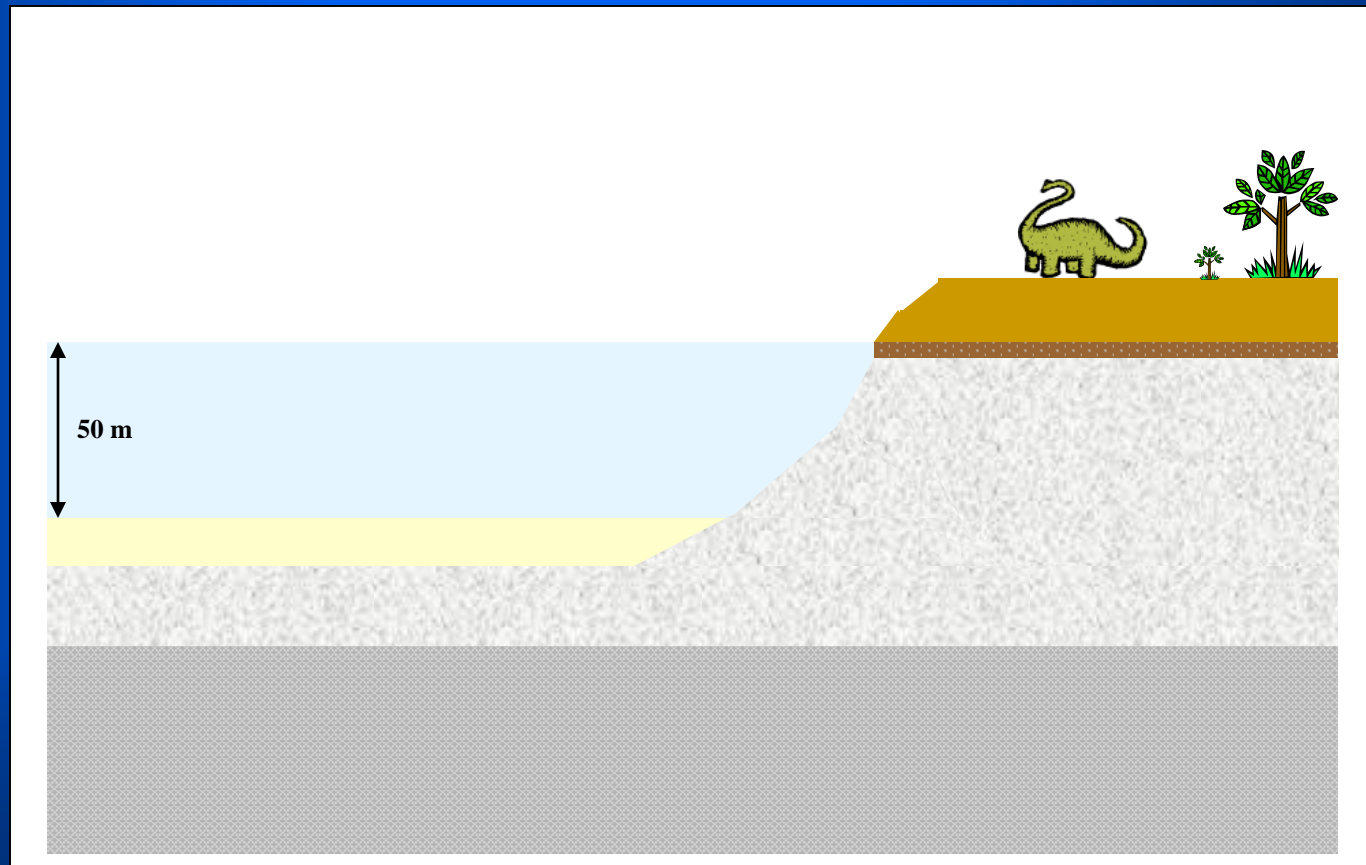


Du sédiment à la roche

Dans la région du Val de Loire

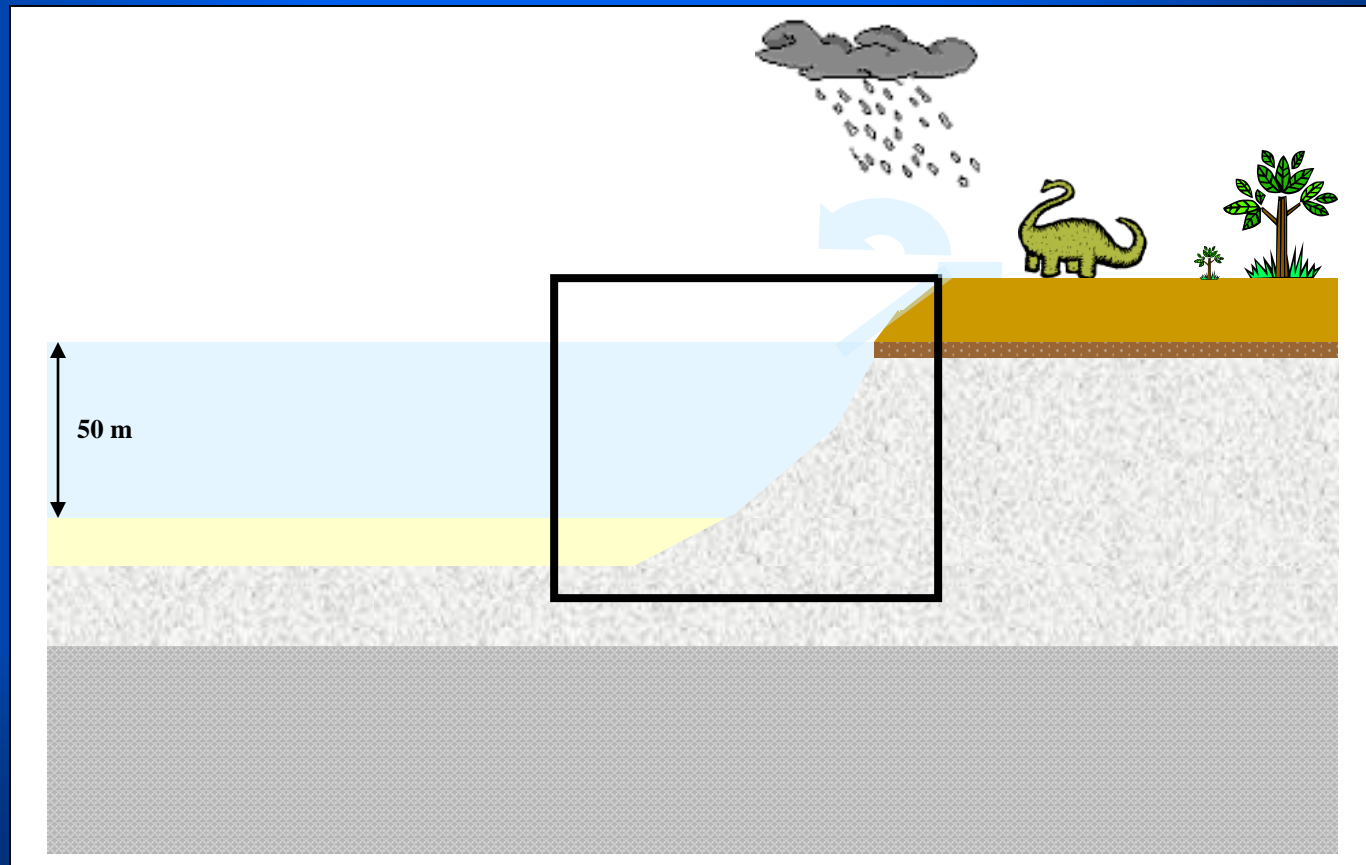
Cas du tuffeau ...

Il y a ... 90 millions d'années !!!

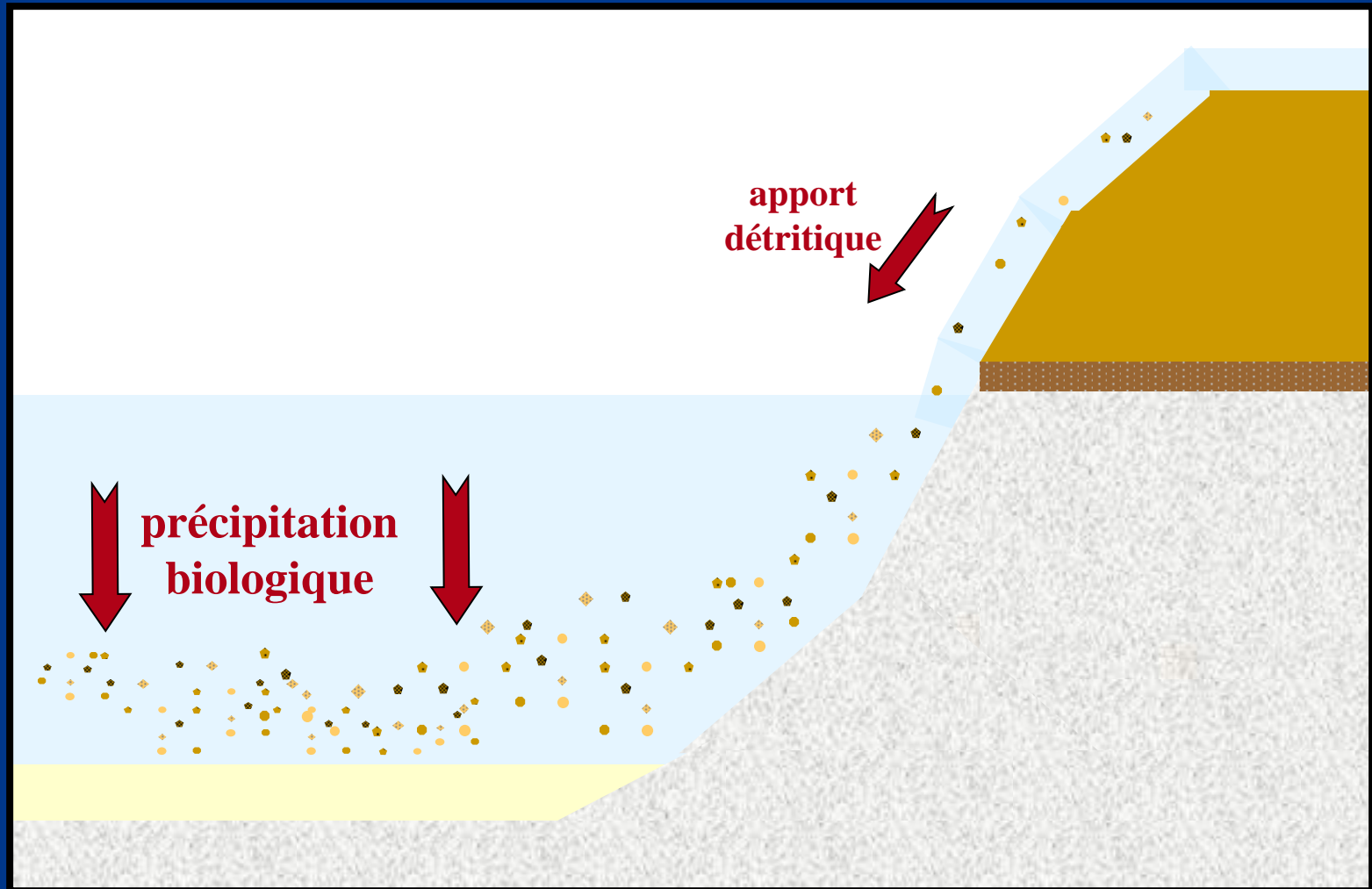


Du sédiment à la roche

Une boue calcaire se forme à partir des fragments de roches arrachés au continent et apportés dans la mer ...



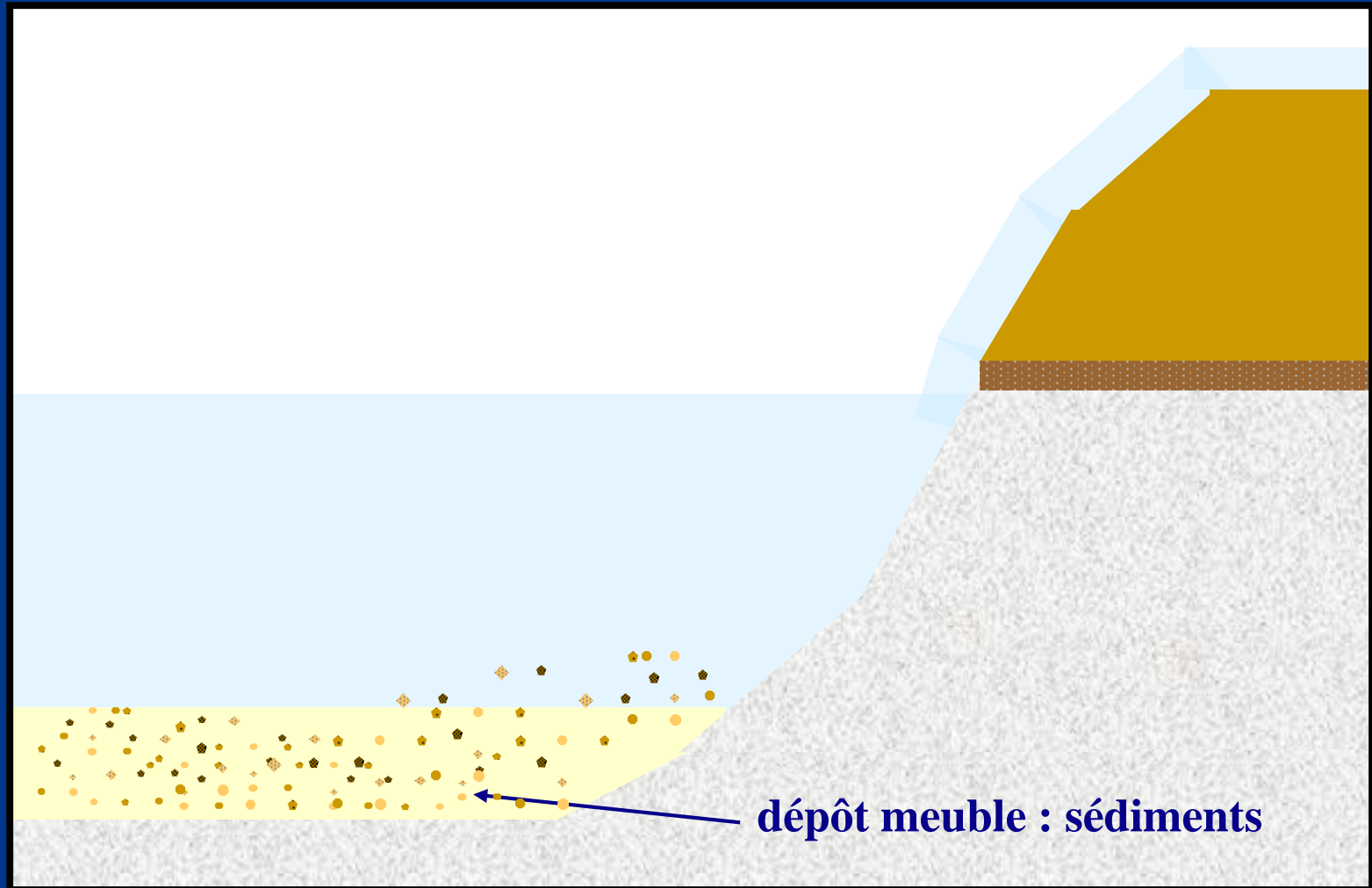
Du sédiment à la roche



La boue calcaire s'accumule pendant
des millions d'années ...



Du sédiment à la roche

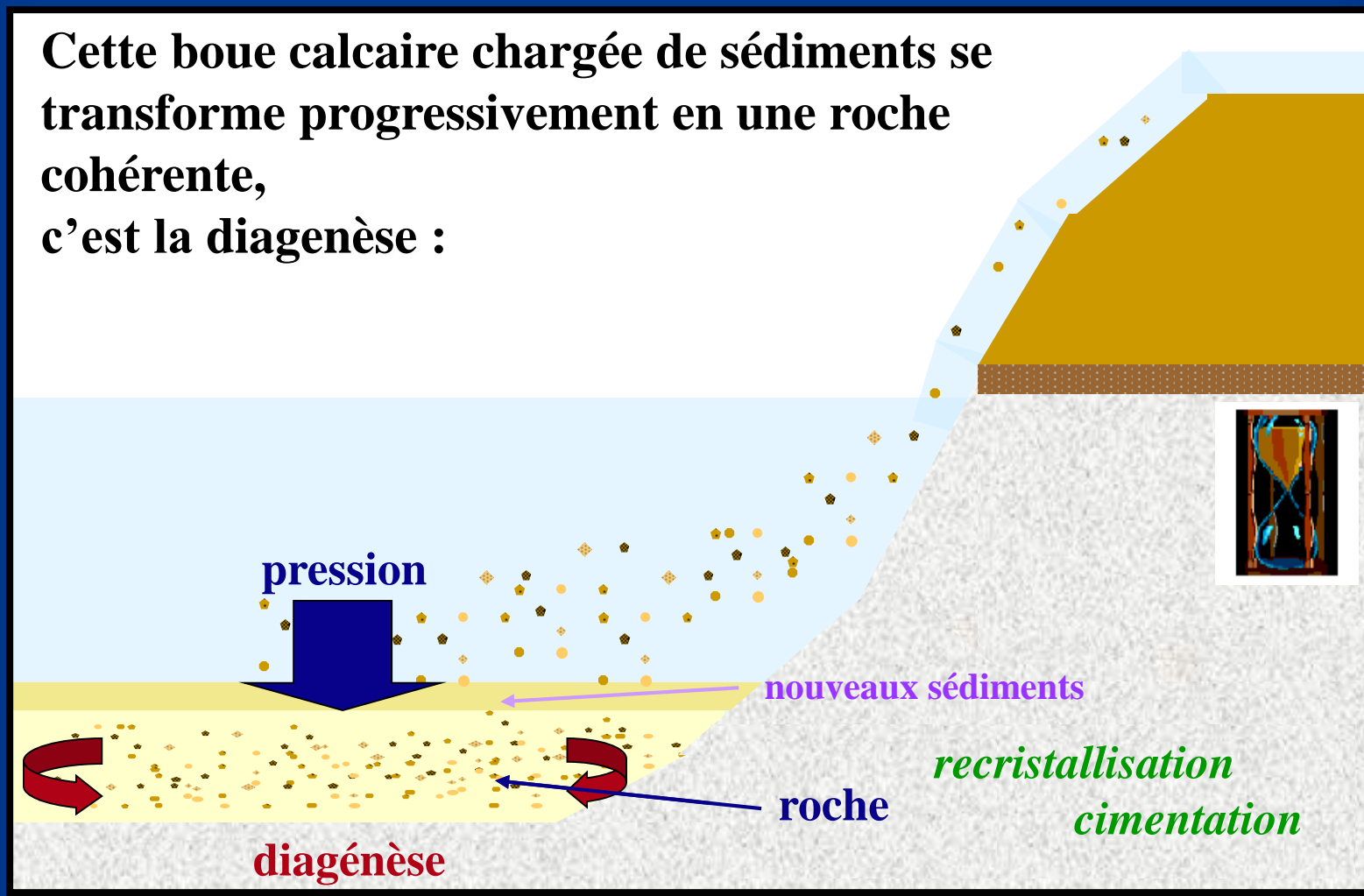


La boue calcaire s'accumule pendant
des millions d'années ...



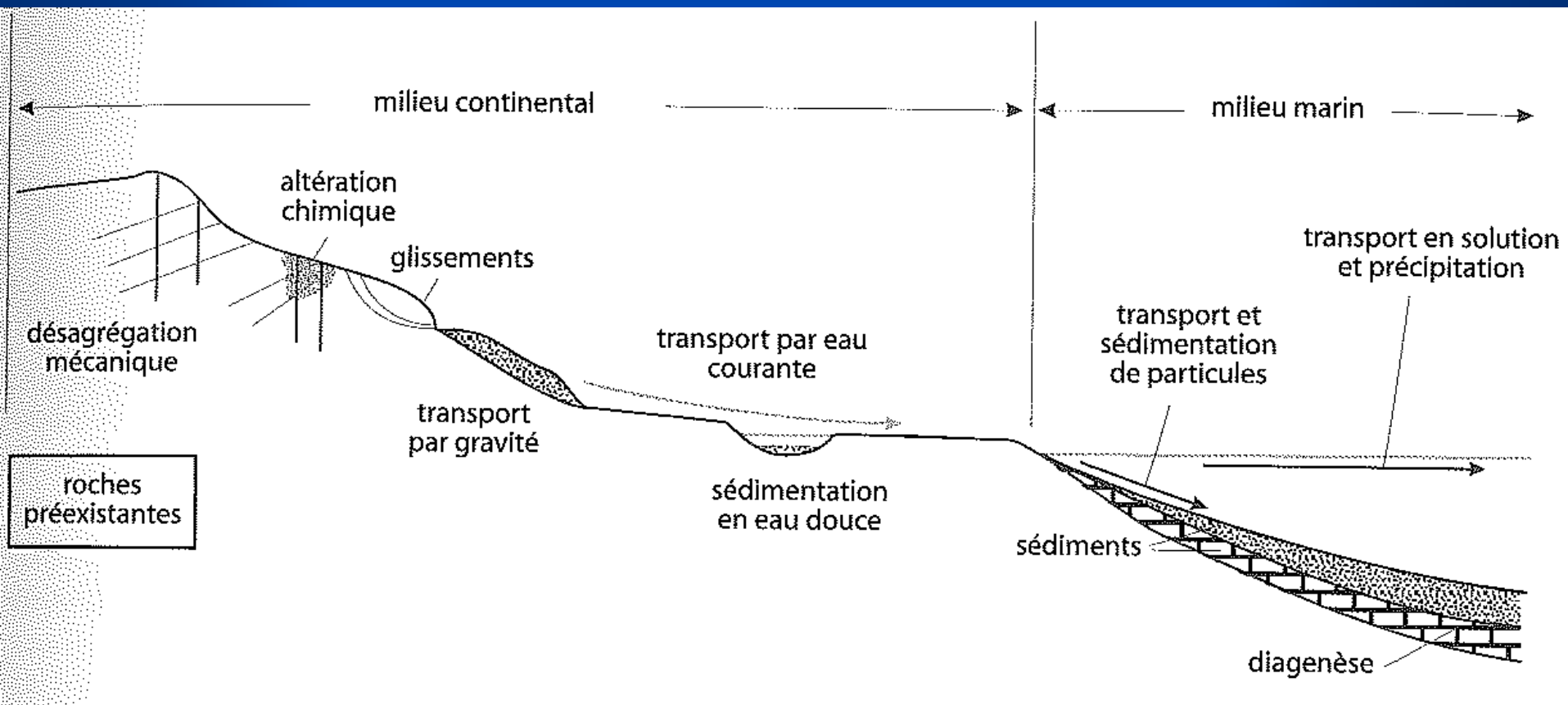


Cette boue calcaire chargée de sédiments se transforme progressivement en une roche cohérente, c'est la diagenèse :



compaction, recristallisation, cimentation, dégradation organique

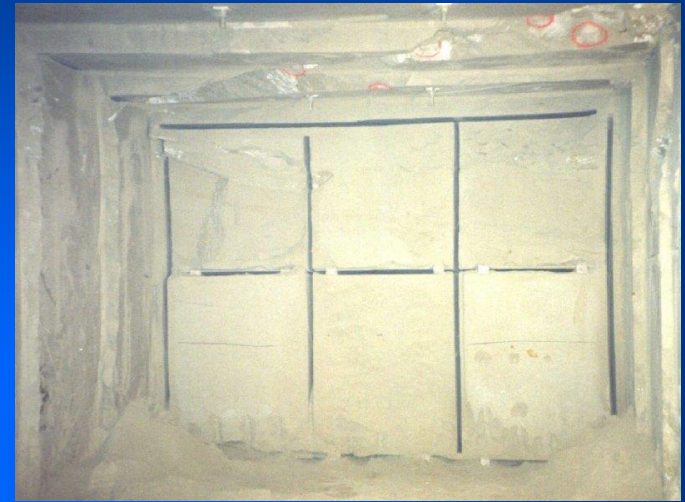
Du sédiment à la roche



De la roche à la pierre

Extraction en carrière souterraine

St-Cyr-en-Bourg (Maine & Loire)



De la roche à la pierre

Extraction en carrière souterraine

St-Cyr-en-Bourg (Maine & Loire)



De la roche à la pierre

Extraction en carrière à ciel ouvert

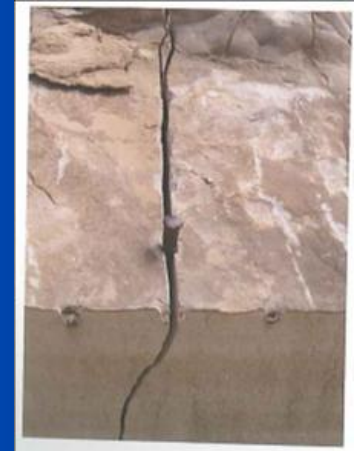
Usseau (Vienne)



De la roche à la pierre

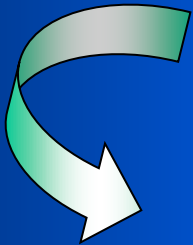
Extraction en carrière à ciel ouvert

Usseau (Vienne)

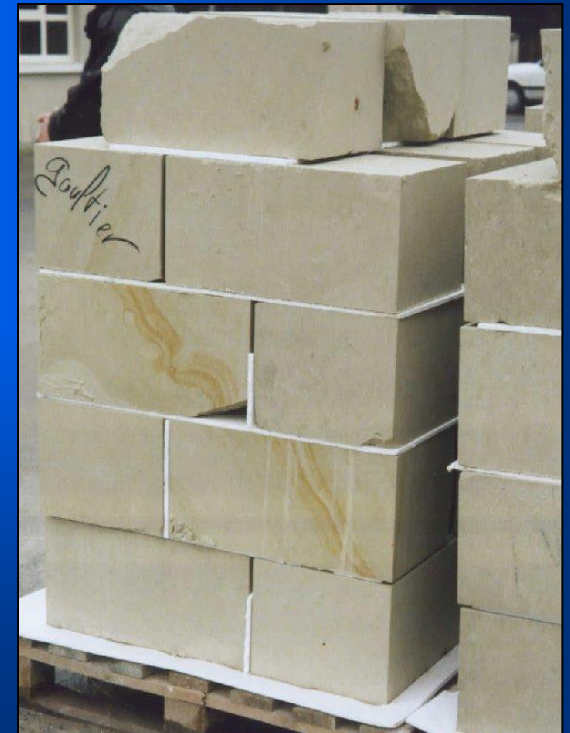


De la roche à la pierre

Extraction en carrière



**Restauration
&
Construction**



Différents traitements de surface



Présentation d'échantillons



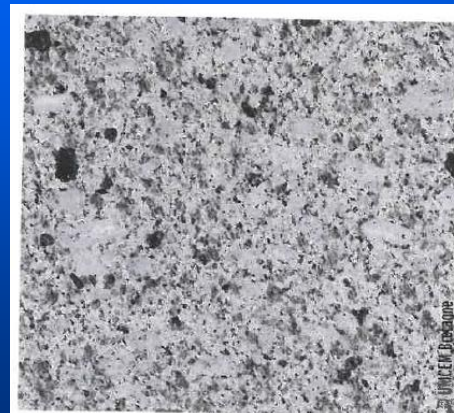
bouchardé



poli



Palette de livraison avec échantillon de référence



Exemple sur du granit gris

Différents traitements de surface



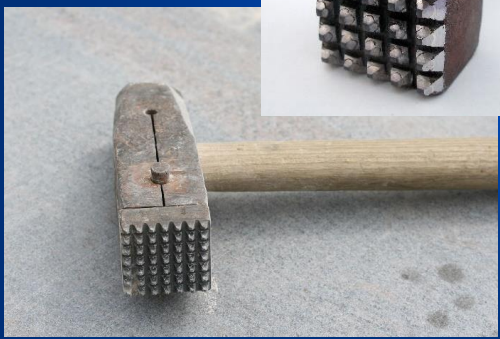
Aspect martelé fin
avec une boucharde
à 36 points

Aspect martelé gros
avec une boucharde
à 16 points

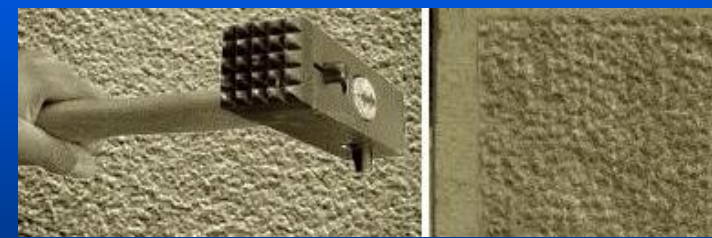
Source : www.memoiredepierres.com



bouchardé



Source : www.fr.wikipedia.org/wiki/boucharde



Source : www.pierres-info.fr



Source : www.pierretesol.com

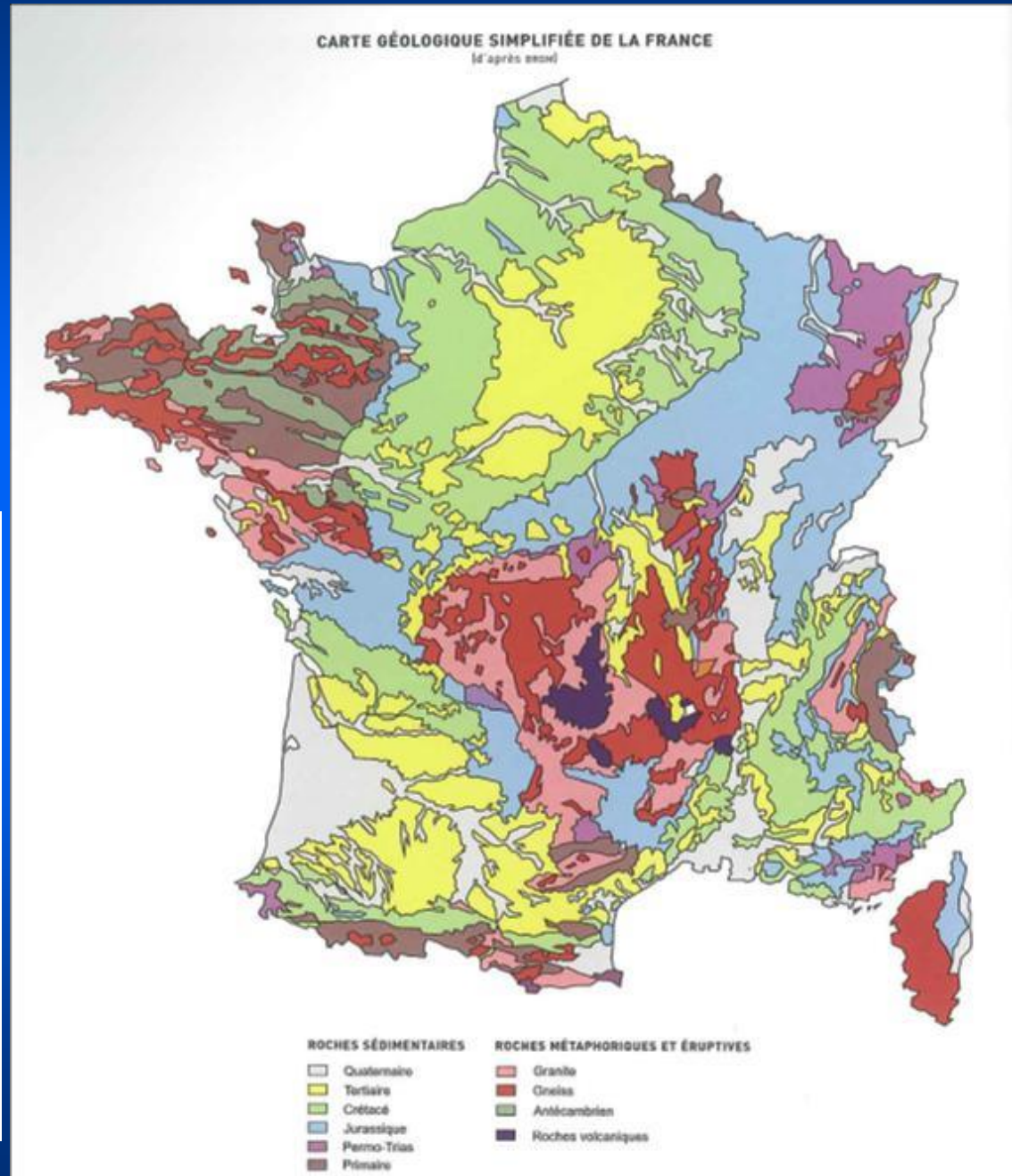
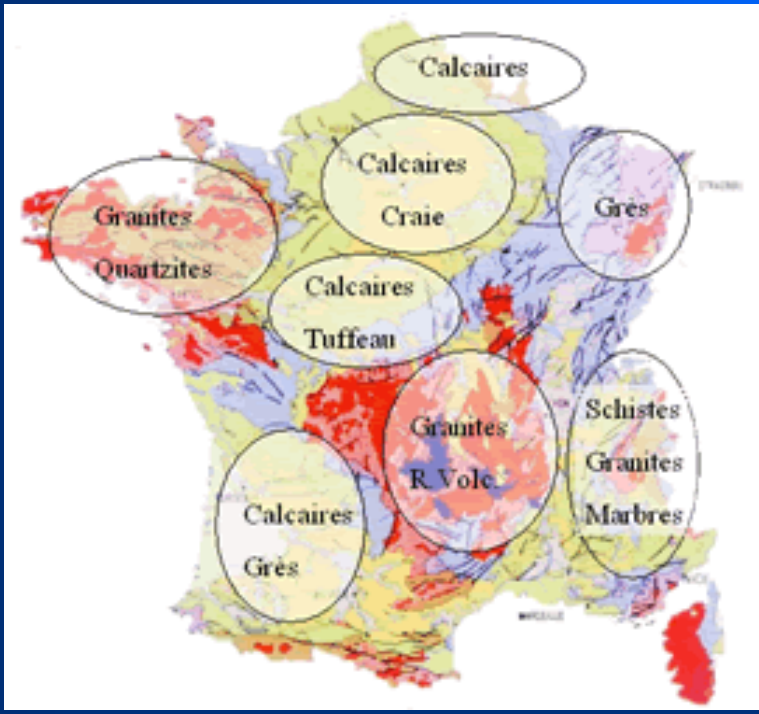
Finition	Description
Scié	Finition mécanique. Le sciage laisse des traces sur les surfaces sous forme de petites ondulations ou décrochements
Meulé	Essentiellement sur des pierres dures afin d'éliminer les traces de sciage . La pierre est dégrossie à l'aide d'une meule
Adouci	Finition à l'eau qui produit de très légers reflets sur une surface unie, mate, sans rayure apparente.
Poli	<p>L'aptitude au polissage est déterminée par l'aptitude au polissage des minéraux qui la composent et par sa texture. Les minéraux durs se prêtent mieux à ce type de finition. Cet état de surface fait ressortir les caractéristiques propres à chaque pierre : veines, limés, structure des fossiles ...</p> <p>Brillante et réfléchissante, cette surface est obtenue par le passage à grande vitesse et successif de meules abrasives de granulométries dégressives. Le polissage peut être poursuivi manuellement, pour certains travaux, par un polisseur.</p> <p>Cette surface est déconseillée pour les sols en extérieurs</p>
Givré	Finition mécanique au moyen de cinq ciseaux dotés de lamelles, pivotant sur eux-même et sur la pierre. L'aspect est rugeux
Bouchardé	<p>Nombreux points ronds de meurtrissures disposés en quadrillage empiétant l'un sur l'autre.</p> <p>Surface rugueuse (creux et bosses de 1 à 3 mm de profondeur) obtenue par la frappe d'une boucharde, outil muni de pointes plus ou moins espacées ; Le bouchardage éclaircit la surface pierres.</p>
Flammé	<p>L'éclatement de la couche superficielle de la pierre, au passage d'un jet de flamme, rend la surface plane et rugueuse. Cette finition qui s'applique sur des grandes surfaces est souvent utilisée en aménagements urbains.</p> <p>Toutes les pierres ne réagissent pas de la même manière à ce façonnage qui s'effectue surtout sur des pierres dures</p>

Finition	Description
Clivé/Eclaté	Sous la pression des mâchoires d'une cliveuse (ou éclateuse), la pierre éclate dans les dimensions choisies ou selon ses plans de faiblesse naturelle. Permet la réalisation de moellons. Le clivage révèle l'aspect naturel de la pierre.
Smillé (ou sbattue)	La surface éclatée de la pierre est frappée par un marteau à deux pointes (un smille) ou une broche. Les bosses les plus importantes sont diminuées pour présenter une surface plus homogène (généralement appliqué aux bordures).
Grenailé	Obtenu par projection de billes inox sur la pierre, et éclatement superficiel de la pierre, ce façonnage permet d'obtenir une surface rugueuse (antidérapante) qui résiste plus longtemps.
Egrisé	Surface unie et plane, où persiste de fines rayures. Elle est obtenue à l'aide de meules abrasives de grains plus larges que pour l'adoucissage et le polissage. L'aspect dépend alors du grain de la pierre et de la dernière meule utilisée.
Brossé	Finition obtenue par le frottement de brosses plastiques et métalliques. Cette finition apporte un toucher doux de la pierre.
Bossagé	Aspect obtenu en frappant fortement la face de la pierre de façon à conserver un éclat important en conservant la face centrale en saillie par rapport aux arêtes
Broché ou layé	Longs sillons parallèles séparés par des bandes en relief de cassures d'éclatement très grossières Chaque sillon est constitué de traces profondes pouvant être discontinues, et dont le dessin général est droit ou légèrement courbe. Ces sillons sont grossièrement parallèles et vont d'un bord à l'autre de la face dans une direction sensiblement à 45° des arêtes

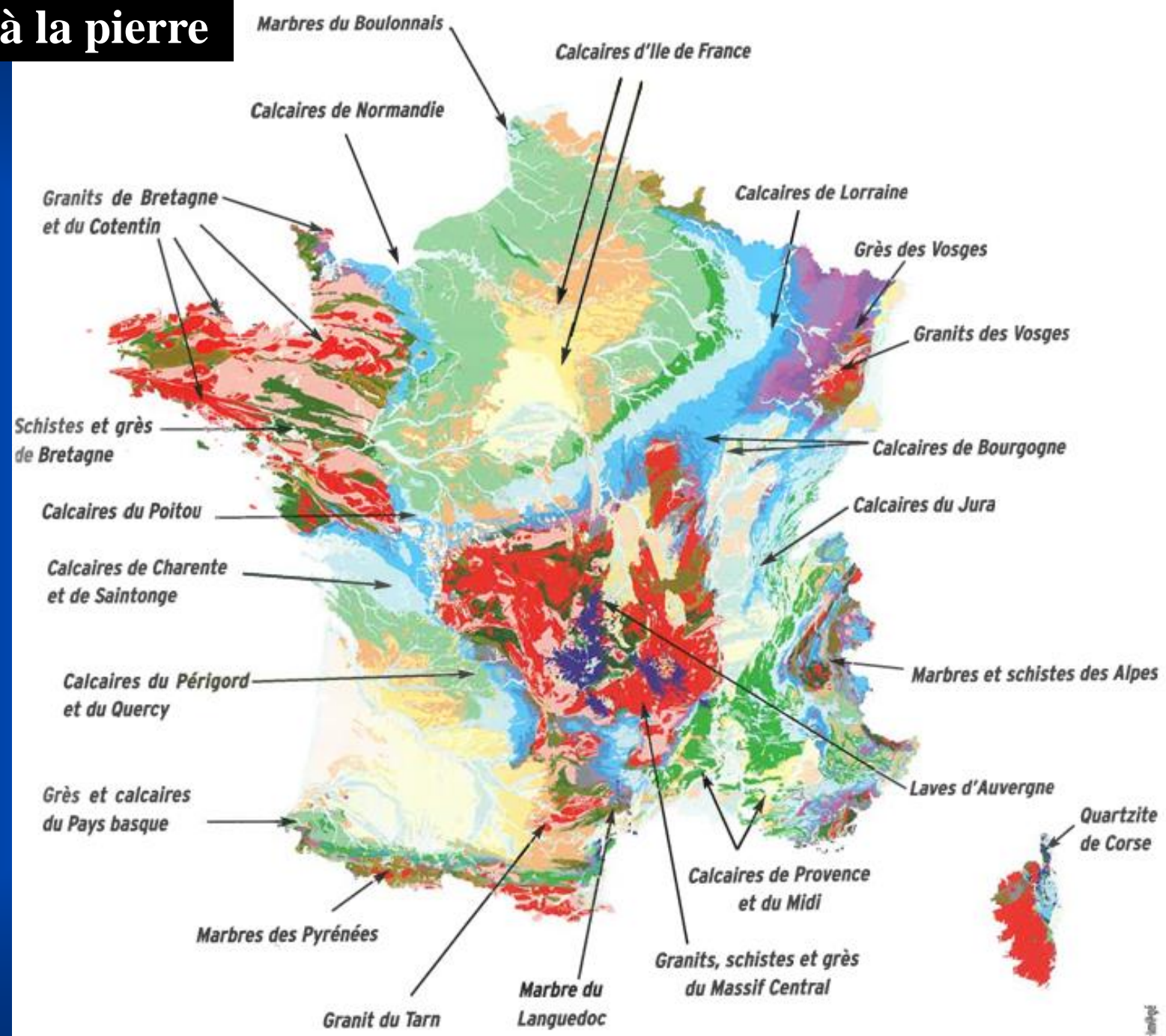
De la roche à la pierre

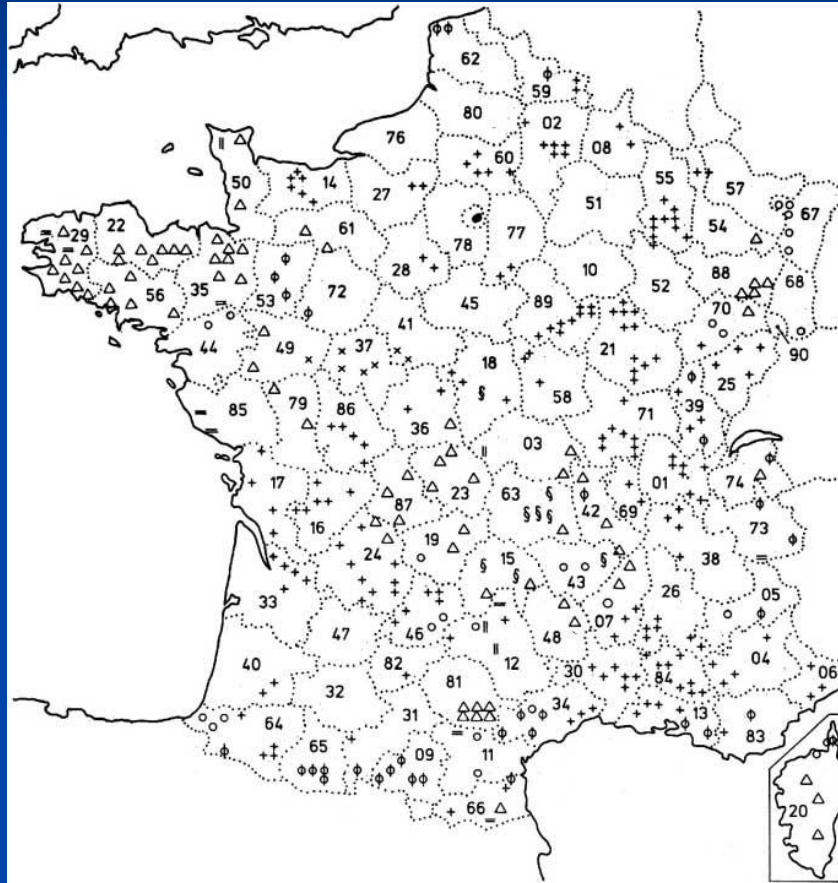
Extraction en carrière

Carte géologique de la France (BRGM)



De la roche à la pierre





+ roches calcaires y compris marbrières
 △ granit
 || gneiss

○ grès
 ⊕ marbre
 = schiste-ardoise

x tuffeau
 § roches volcaniques

01 - Ain
 Champdor ⊕
 Drom ⊕
 Grand Corent ⊕
 Hauteville Lompnès ⊕
 Nattage ⊕

02 - Aisne
 Billy +
 Noyant +
 Septmonts +
 St Pierre Aigle +
 Vassens +

03 - Allier
 Droiturier △
 Mayet de Montagne △
 Saint Saurien ||

04 - Alpes-de Haute Provence
 Banon +
 Clumanc +
 Mane +
 Mont Ventoux +

05 - Hautes-Alpes
 Guillestre ⊕
 Montmaur ⊕
 Roche des Arnauds +

06 - Alpes-Maritimes
 La Turbie ⊕
 Saint André +
 Saint Vallier ⊕

07 - Ardèche
 Chambonnas ⊕
 Chomerac ⊕

Labeaume ⊕
 St Paul le Jeune ⊕

08 - Ardennes
 Chooz ⊕
 Hannogne St Martin +

09 - Ariège
 Esplas de Serou ⊕
 Montegut ⊕
 St Girons ⊕
 Seix ⊕
 Uchentein ⊕

11 - Aude
 Caunes Minervois ⊕
 La Nouvelle ⊕
 La Palme ⊕
 Les Martyrs =

12 - Aveyron
 Brusque +
 Espalion +
 Le Cayrol =
 Mauriac ⊕
 Nauviale ⊕
 Pons =

13 - Bouches-du-Rhône
 Cassis ⊕
 Fontvieille ⊕
 La Ciotat ⊕
 Le Canet ⊕
 Les Baux de Provence +
 Roynes +

14 - Calvados
 Bretteville +
 Cintheaux +
 Creully +
 St Pierre Canivet +

15 - Cantal
 Bouzentes §
 Leucamp △
 Menet △
 Saint Just △

16 - Charente
 Pombretton +
 Pranzac +
 St Fraigne +
 St Même +
 Sireuil +
 Vilhonneur +

17 - Charente-Maritime
 Courçon +
 Pons +
 St Martin de Ré +
 Thenac +

18 - Cher
 St Florent ⊕
 St Georges sur la Prée +
 Sancoins ⊕

19 - Corrèze
 Collonges ⊕
 Eyrein △
 Monstier △

20 - Corse
 Ajaccio △
 Appietto △
 Brando ⊕
 Corte ⊕
 Porto ⊕
 St Florent ⊕

De la roche à la pierre



Exemple de site web
« lithothèque » de pierre en
œuvre :

<http://www.infopierre.com>

Nom de la pierre : Saint Cyr en Bourg
Autres appellations : Tuffeau de St Cyr en Bourg, Tuffeau de Touraine

Ere : Secondaire
Epoque : Crétacé Supérieur
Etage : Turonien-Ligérien

Nature : Calcaire
Exploité : Oui
Commune d'exploitation : Brézé
Département : 49 Maine-et-Loire

Description :
Craie micacée quartzique à grain fin, très homogène, de couleur blanc légèrement jaunâtre. Le tuffeau, très riche en silice - il n'est d'ailleurs pas considéré comme un véritable calcaire par les géologues (moins de 50% de CaCO₃) - est très abrasif malgré



Couleur(s) : Blanc
Aspect : Homogène
Grain : Fin
Structure : Finement poreux

Utilisations recommandées :
Restauration M.H., réhabilitation, cheminées (bonne résistance au feu)

Caractéristiques techniques :
Masse volumique apparente : de 1270 à 1532 kg/m³
Porosité : 49.00 %
Absorption d'eau par capillarité : 42.50
Rés. à la compression : de 66 à 82 kg/cm²
Vitesse de propagation du son : de 1351 à 2040 m/s
Largeur de la rayure : de 2.20 à 2.92 mm

Références :
Architecture :
Château de Saumur - Saumur - Maine-et-Loire - France
Château d'Angers - Angers - Maine-et-Loire - France

→ *Étape n°1 :*

Connaître la pierre !

À part la couleur, qu'est-ce qui différencie les pierres ?

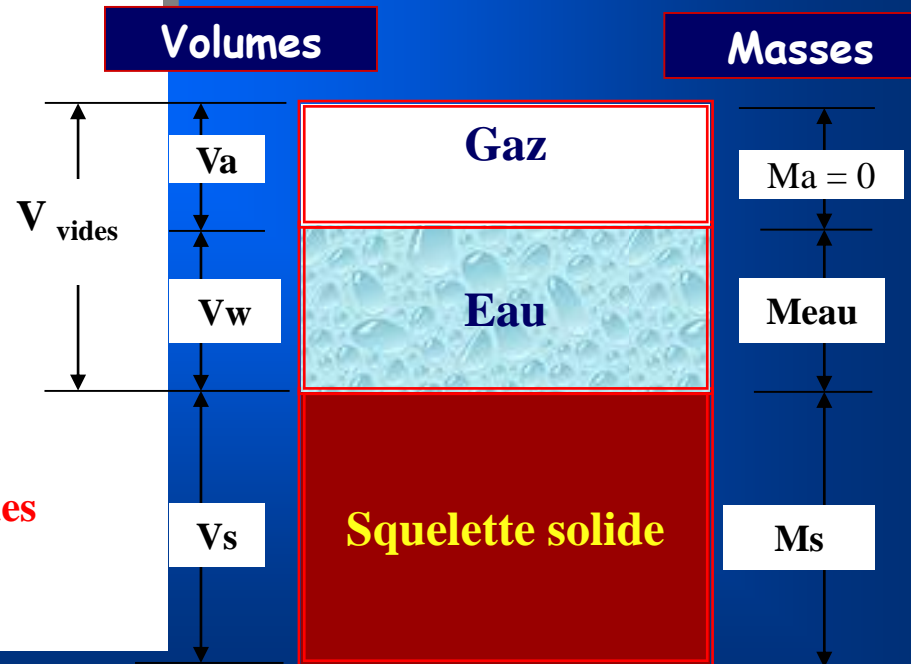
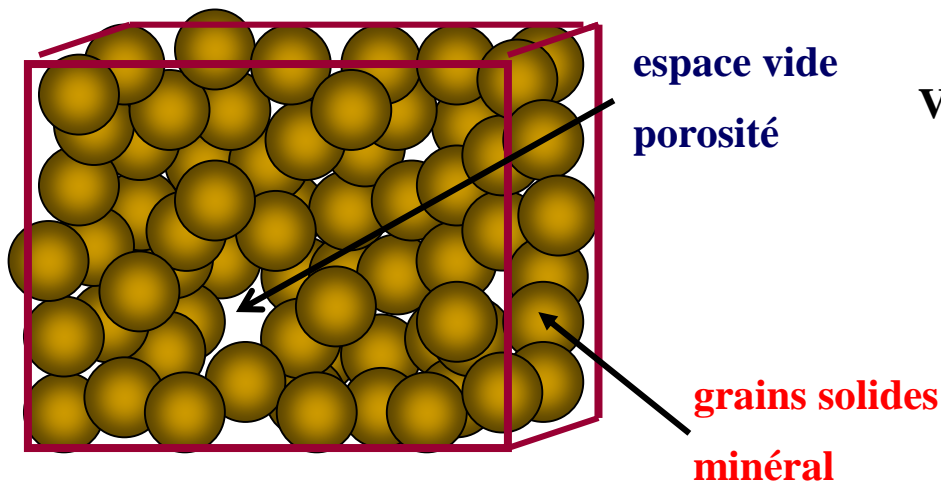
→ *Étape n°1 :*

Connaître la pierre !

analyse des minéraux constitutifs
du milieu poreux

Porosité :
$$N = \frac{V_v}{V}$$

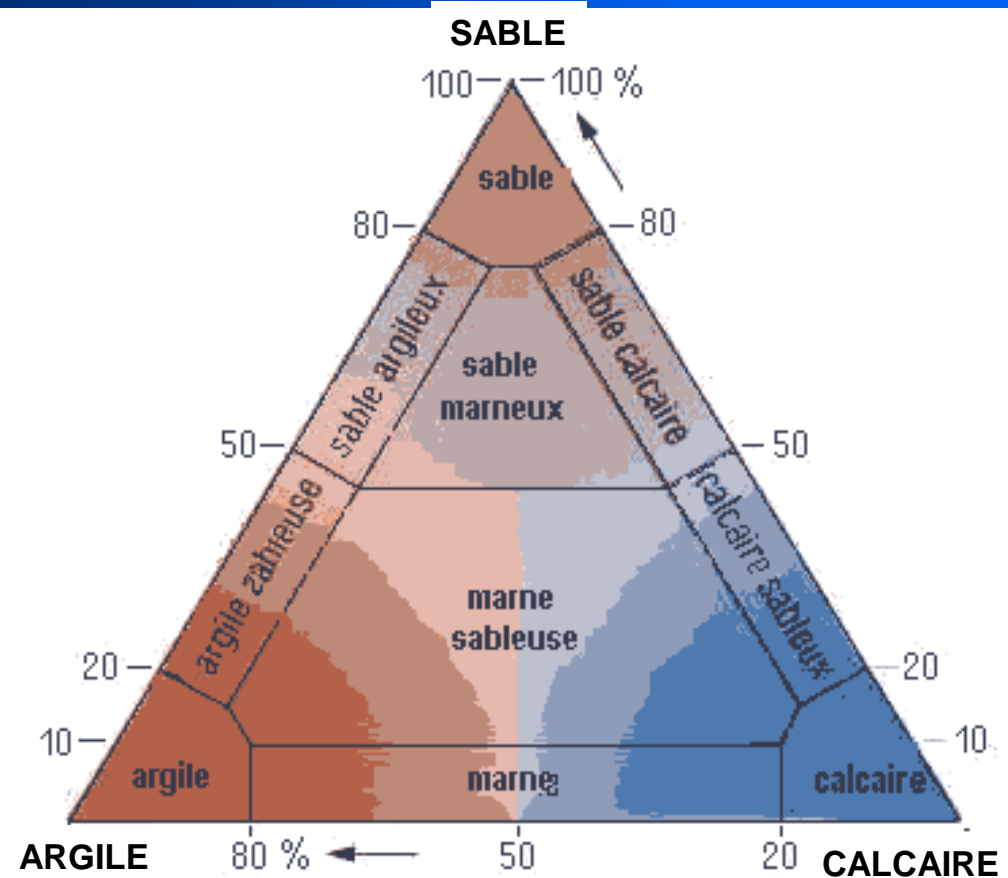
D'un point de vue schématique,
une pierre, c'est :



Connaître la pierre !



analyse des minéraux constitutifs
du milieu poreux



La classification d'une roche dépend de la nature des sédiments !

La porosité

Masse volumique réelle

Masse volumique apparente

$$p = \frac{V_{vides}}{V_{apparent}}$$

La porosité

Masse volumique réelle
Masse volumique apparente

$$p = \frac{V_{vides}}{V_{apparent}}$$

$$p = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$$

QUELQUES VALEURS DE POROSITÉ TOTALE DE ROCHES DE CONSTRUCTION

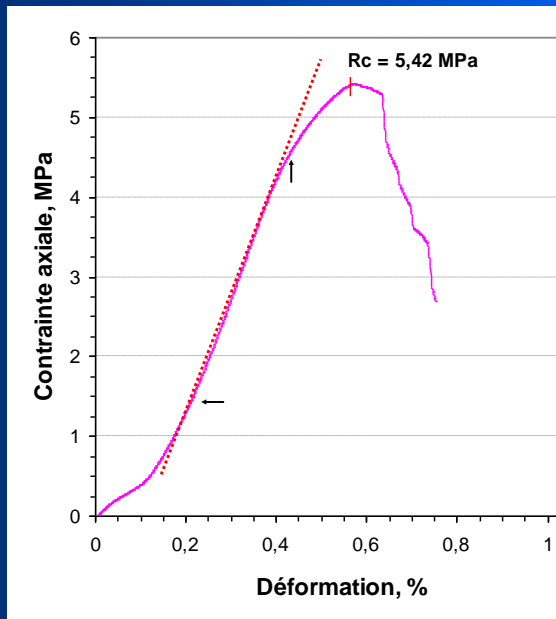
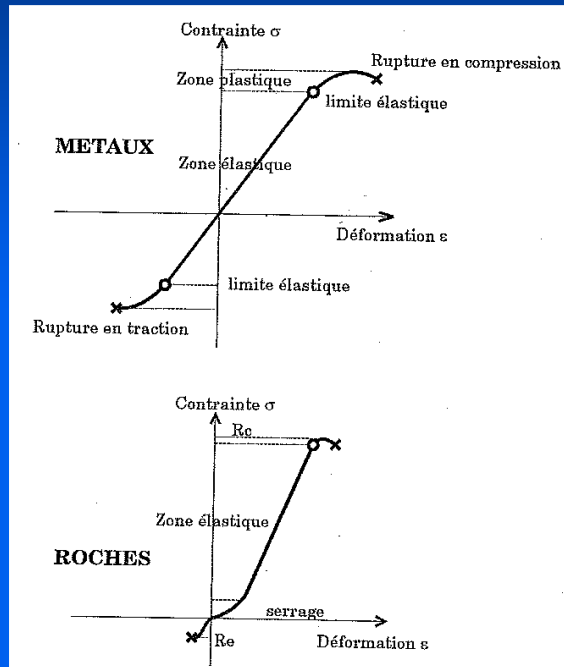
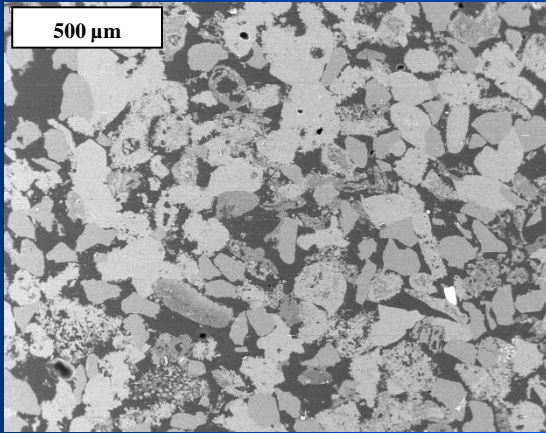
Roches	Porosité (%)
Calcaire	0,3 à 48
Tuffeau	30 à 45
Grès & quartzite	0,7 à 22
Granite	0,1 à 1,8
Marbre	< 0,1

MASSES VOLUMIQUES RÉELLES DES ROCHES

Roches	ρ_s (kg/m ³)
Calcaire	2 500 à 2 800
Grès	2 000 à 2 500
Granite	2 400 à 2 800
Porphyre	2 200 à 2 800
Basalte	2 500 à 2 800
Marbre	2 700 à 2 900
Ardoise	2 800

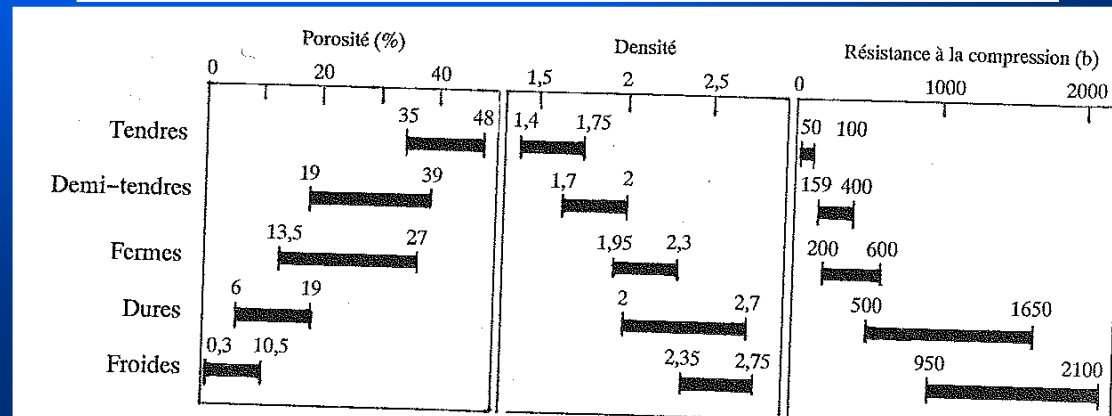
Les matériaux du génie civil : la pierre

Propriétés mécaniques : résistance à la compression



exemple de courbe contrainte-déformation pour une roche tendre

Ancienne classification des pierres calcaires



Propriétés mécaniques :

Résistance à la compression

Résistance à la traction

Résistance à la flexion

Module d'Young

Coefficient de Poisson

Vitesse du son (module élastique)

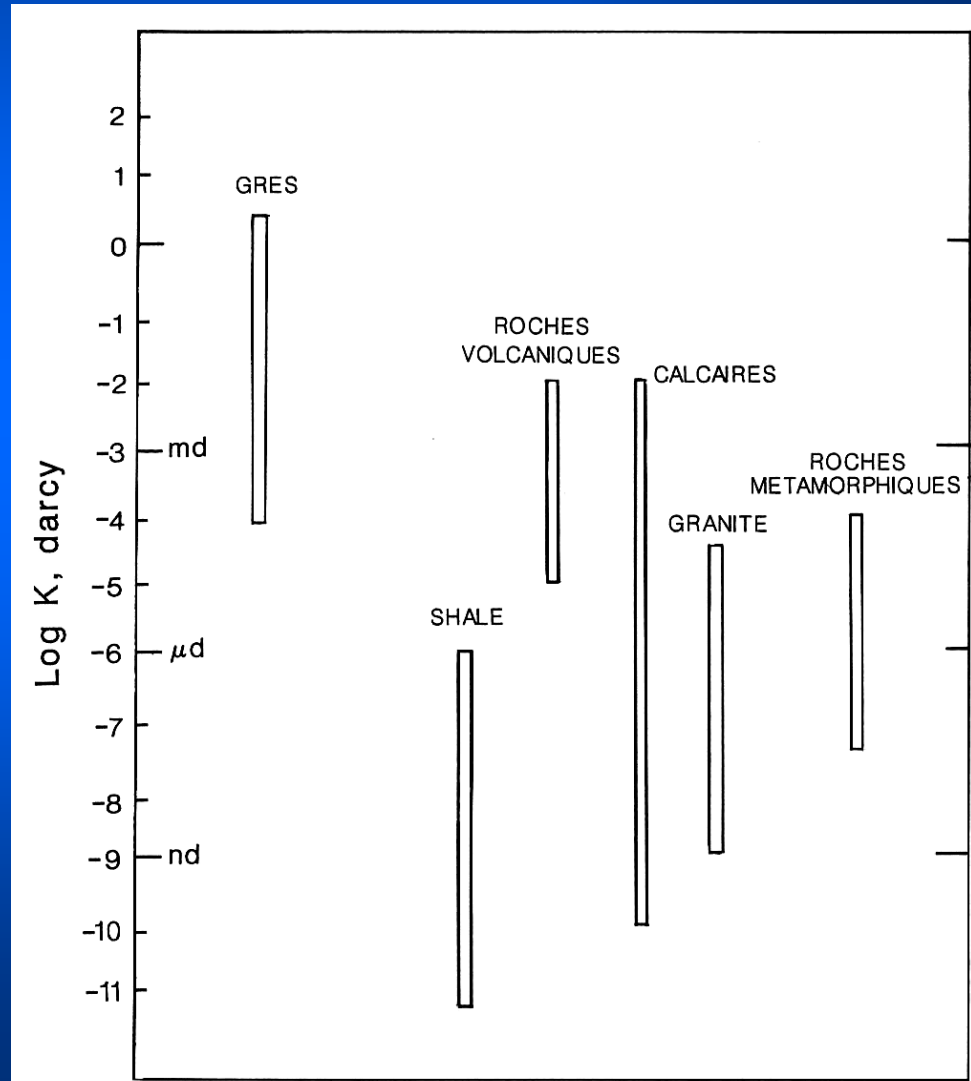
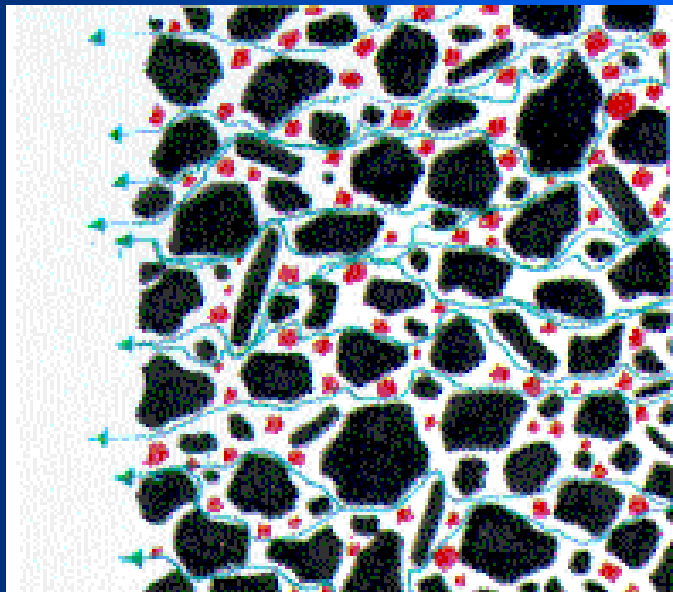
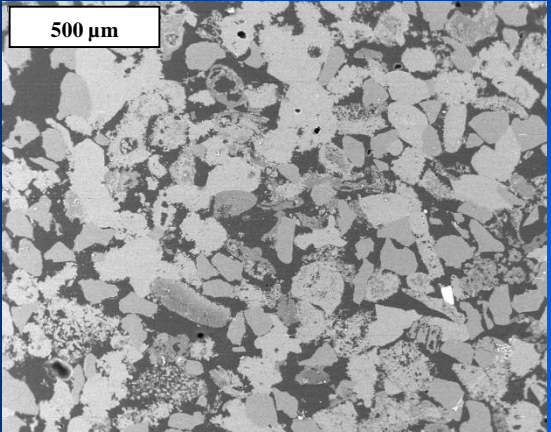
Dureté / résistance à l'usure

...

$$E = \frac{(1+\nu).(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot \rho_s \cdot V^2$$

Propriétés hydriques : *perméabilité*

$$Q = k S \frac{\Delta h}{l}$$



Propriétés hydriques :

Perméabilité

Cinétique d'imbibition par capillarité

Saturation à 48h

Rétention d'eau

Cinétique d'évaporation

...

Les matériaux du génie civil : la pierre

Propriétés thermiques :

PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES PIERRES UTILISÉES DANS LA CONSTRUCTION

	Porosité (%)	Dilatation thermique linéaire ($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)	Conductibilité thermique (10^{-5} Kcal/s/cm)	Chaleur spécifique (10^3 cal/g)
Granite	< 0,5	90	970	190
Porphyre Microgranite	< 0,5	80	840	-
Diorite	0,5	70	550	190
Basalte	0,5	50	700	200
Calcaire	2	110	800	240
	10	90	500	200
	20	70	400	180
	30	50	300	160
	40	25	200	150
Grès	30	-	240	170
	20	110	600	160
	10	110	1 100	220
Quartzite	0,5	115	1 920	225
Schistes	3	90	780	182
Gneiss	1	-	800	195

Mur massif en pierre de taille à assise régulière



Mur en moellons d'assise irrégulière



Colonne accueillant la retombée des voutes



Maçonnerie d'époque romaine à parement en moellons



Association de pierres appareillées formant le chaînage de l'édifice et de moellons pour la maçonnerie courante



Fenêtre à meneaux



**La pierre sédimentaire
est un matériau
anisotrope !**

Pose dans le sens du lit

Utilisation de la pierre naturelle :

- bâtiment
- voirie
- décoration
- restauration
- funéraire

– bâtiment :

revêtements de sols intérieurs et extérieurs,
escaliers intérieurs et extérieurs,
murs et revêtement de murs extérieurs et intérieurs, massifs et minces
(maçonnés, collés, ou attachés),
murets extérieurs,
éléments de couverture (ardoise) ;



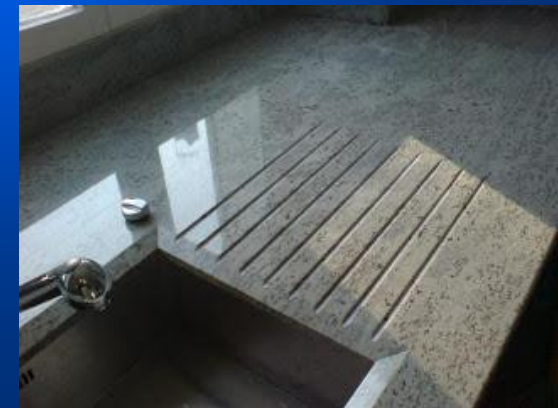
– voirie :

pavés,
dalles,
bordures,
mobilier urbain (bancs, bornes, etc.),
éléments décoratifs (fontaines, etc.) ;



– décoration :

cheminées,
mobilier d'intérieur et d'extérieur (tables, objets divers),
plans et vasques de salle de bains,
plans de travail de cuisine,
éléments de décoration et d'aménagement du jardin,
margelles de piscines,
sculptures ;



– **restauration :**

ouvrages d'arts,
patrimoine classé (châteaux, églises, etc.),
patrimoine non classé (immeubles, bâtiments divers, bâtisses, fermes,
lavoirs, etc.) ;



– **funéraire** :
monuments,
urnes,
chapelles,
articles funéraires.



Le numéro d'identification I attribué est un outil de sélection basé sur trois caractéristiques physiques (NF B 10-301, datant de 1975).

Compris entre 0,5 et 14,

$$I = \frac{V}{5\,435} + 2,91 D + \frac{5,14}{R} - 4,59$$

avec V (m/s) valeur moyenne de la vitesse de propagation du son,

D (g/cm³) valeurs de la masse volumique apparente,

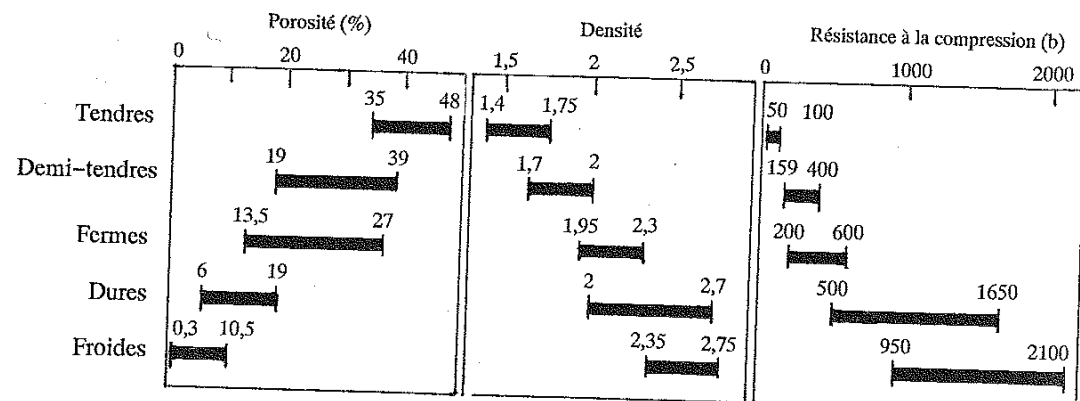
R (mm) valeur médiane de la dureté superficielle.

Les essais à réaliser sur les pierres prélevées sont donc :

- la détermination de la masse volumique apparente ;
- la mesure de la dureté superficielle à l'aide du scléromètre de Martens ;
- la mesure de la vitesse de propagation du son.

LES CLASSES D'IDENTIFICATION DES PIERRES CALCAIRES

Catégorie de pierre	I	Résistance en compression (MPa)	MV _{app} kg/m ³	porosité %
Très tendre	0,5 à 1,5	5 à 10	1 400 à 1 500	40 - 48
Tendre	2 à 3,5	8 à 15	1 500 à 1 750	35 - 45
Demi-ferme	4 à 5,5	9 à 40	1 700 à 2 150	17 - 39
Ferme	6 à 7,5	20 à 60	1 950 à 2 300	13,5 - 27
Dure	8 à 10,5	50 à 165	2 000 à 2 700	6 - 19
Froide	11 à 14	95 à 220	2 350 à 2 750	0,3 - 10,5

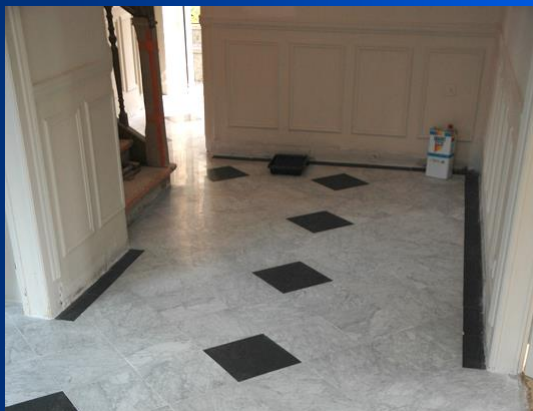


Certains travaux de recherche proposent une démarche à la fois de **compatibilité et de durabilité**, en déterminant un indice nommé **IDC** pour lequel les mesures à réaliser, en plus de la caractérisation pétrographique et minéralogique, sont :

- la quantification des argiles hydrophiles ;
- la mesure de la porosité ;
- la mesure de la résistance mécanique (échantillons secs et saturés) ;
- la mesure des coefficients d'absorption et de capillarité.



Matériau de Génie Civil



- adapté
- adapté sous certaines conditions

Construction massive

Revêtement de façade

Revêtement de sol

Aménagements extérieurs

Roches éruptives

Granit	•	•	•	•
Syénite	•	•	•	•
Diorite	•	•	•	•
Gabbro	•	•	•	•
Péridotite	•	•	•	•
Trachyte	○	○	○	○
Basalte	○	•	•	•
Diabas	○	•	•	•

Roches sédimentaires

Brekzie	○	○	○	○
Conglomérat	○	○	•	•
Grès	•	•	○	○
Grès calcaire	•	•	○	○
Grauwacke	○	•	•	•
Tuf volcanique	○	○		•
Calcaire	•	•	○	○
Calcaire à coquillages	•	•	○	○
Calcaire stratifié lithographique de Solnhof			•	
Dolomite	•	•	•	○
Tuf calcaire	•	•		•
Travertin	○	•	○	○

Roches de transformation

Orthogneiss	•	•	•	•
Ardoise à base de chlorite	○	○	○	○
Migmatite	•	•	•	•
Paragneiss	•	•	•	•
Quarzite	○	•	•	•
Ardoise à base de mica		•	○	○
Ardoise argileuse		•	○	○
Marbre	○	○	•	•

La réglementation de l'utilisation de la pierre
(norme NF B10-601 juillet 2006)

Les prescriptions applicables, suivant la destination, sont regroupées en cinq familles :

1. pierre naturelle massive ;
2. revêtements muraux attachés en pierre mince ;
3. revêtements muraux collés ;
4. revêtements de sol intérieur et extérieur hors voirie, scellé ou collé (sol et escalier) ;
5. revêtements de sol extérieur de voirie.

On considère comme revêtement de sol extérieur de voirie tout ouvrage à usage public soumis aux intempéries et physiquement accessibles ou non aux véhicules. Dans ce cas le revêtement doit obligatoirement avoir une épaisseur égale ou supérieure à 40 mm.

Les essais retenus, permettant de caractériser la pierre selon les différentes destinations, sont les suivants :

- détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité selon la norme NF EN 772-11 ;
- résistance à la compression selon les normes NF EN 1926 et NF EN 772-11 ;
- détermination des masses volumiques réelle et apparente, et des porosités ouverte et totale selon la norme NF EN 1936 ;
- détermination de la résistance au gel des éléments en pierre naturelle selon la norme EN 12371 ;
- détermination de la résistance à la flexion sous charge centrée selon la norme NF EN 12372 ;
- détermination de l'effort de rupture au niveau du goujon de l'agrafe selon la norme NF EN 13364 ;
- détermination de la résistance à l'usure selon la norme NF EN 14157 ;
- détermination de la résistance à la glissance selon la norme NF EN 14231 ;
- détermination de la résistance aux chocs thermiques selon la norme NF EN 14066.

La « gélivité » est ainsi un des critères les plus importants de mise en oeuvre du matériau.

Une prise en compte de la destination géographique de la pierre doit également être effectuée.

La carte de France regroupe 4 zones de gel (A : très faible, B : faible, C : modéré et D : sévère), qui sont définies, en tenant compte de l'altitude, par les conditions suivantes mesurées en moyenne annuelle sur les 30 dernières années :

— **A : Gel très faible :**

pas plus de 2 jours ayant atteint une température inférieure à -5 °C ;

— **B : Gel faible :**

pas plus de 4 jours ayant atteint une température inférieure à -6 °C ;

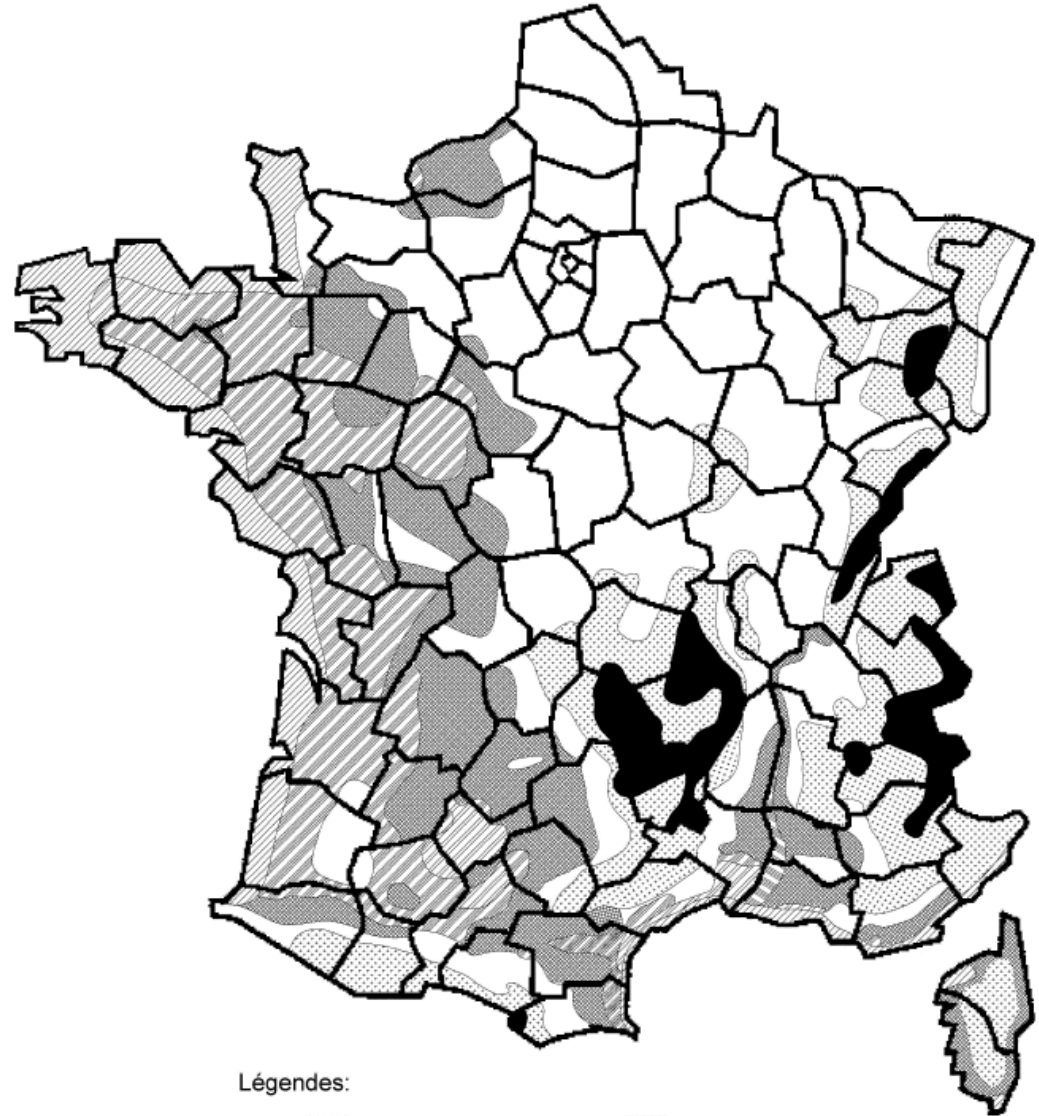
— **C : Gel modéré :**

pas plus de 10 jours ayant atteint une température inférieure à -10 °C ;








— **D : Gel sévère :**

plus de 10 jours ayant atteint une température inférieure à -10 °C .

Carte de France
illustrant la répartition
des zones de gel



Légendes:

- | | |
|--|---|
|  Gel très faible (Classe A) |  Gel modéré (Classe C) |
|  Gel très faible (Classe A)
à gel faible (Classe B) suivant l'altitude |  Gel modéré (Classe C)
à gel sévère (Classe D) suivant l'altitude |
|  Gel faible (Classe B) |  Gel sévère (Classe D) |
|  Gel faible (Classe B)
à gel modéré (Classe C) suivant l'altitude | |

Méthode d'essai pour pierre naturelle :

Détermination de la résistance au gel

Norme NF EN 12371

basée sur des cycles de gel à l'air et dégel dans l'eau

	Température au cœur de l'éprouvette équipée du dispositif de contrôle de la température	Durée
Début du cycle	$\geq + 5 \text{ °C} \leq + 20 \text{ °C}$	T_0
Étape 1	$\leq 0 \text{ °C} \geq - 8 \text{ °C}$	$T_0 + 2,0 \text{ h}$
Étape 2	$\leq - 8 \text{ °C} \geq - 12 \text{ °C}$	$T_0 + 6,0 \text{ h}$
Étape 3	Immersion totale	$T_0 + 6,5 \text{ h}$
Étape 4	$\geq + 5 \text{ °C} \leq + 20 \text{ °C}$	$T_0 + 9,0 \text{ h}$
Étape 5	$\geq + 5 \text{ °C} \leq + 20 \text{ °C}$	$T_0 + 12,0 \text{ h}$



Un maximum de 240 cycles sera appliqué,

Norme NF EN 12371

	Essai technologique (Essai A)				Essai d'identification (Essai B)
	Résistance en flexion	Charge au niveau du trou du goujon	Choc thermique	Résistance à la compression	
Dimensions de l'éprouvette en mm	(voir note 1)	200 × 200 × t_1 ou 300 × 300 × t_2 (voir note 2)	200 × 200 × 20	(voir note 4)	50 × 50 × 300
Nombre minimum d'éprouvettes	21	5 ou 7 (voir note 3)	15	13	7
NOTE 1	Dimensions de l'éprouvette conformément à l'EN 12372 ou au prEN 13161.				
NOTE 2	30 mm ≤ t_1 ≤ 65 mm ; 65 mm < t_2 ≤ 80 mm.				
NOTE 3	Le nombre des éprouvettes est fonction de la présence de plans anisotropes.				
NOTE 4	Les dimensions de l'éprouvette sont fonction de l'EN 1926.				

Essai d'identification:

3 critères sont utilisés pour évaluer l'action des cycles de gel/dégel sur les éprouvettes :

- l'examen visuel
- La mesure du volume apparent (pesée hydrostatique)
- la mesure du module élastique dynamique (méthode acoustique)

L'essai continue jusqu'à ce qu'au moins deux éprouvettes soient considérées comme altérées selon l'un des critères suivants :

- La note attribuée à l'examen visuel atteint 3
- La diminution du volume apparent atteint 1%
- La diminution du module d'élasticité dynamique atteint 30%

Les pierres n'étant pas altérées après 240 cycles sont considérées comme non-gélives

Examen visuel :

Après les cycles de gel/dégel, les éprouvettes sont examinées sur toutes les faces et la note de leur état est évalué par :

- 0 Éprouvette intacte
- 1 Dommages très mineurs (arrondissement mineur des angles et arêtes) qui ne compromettent pas l'intégrité de l'éprouvette
- 2 Une ou quelques petites fissures (de largeur $< 0,1\text{ mm}$) ou détachement de petits fragments ($< 10\text{ mm}^2$)
- 3 Une ou plusieurs fissures, trous et détachement de fragments plus importants que ceux définis pour la Note 2, ou altération du matériau au droit des veines
- 4 Éprouvette cassée en deux ou comportant d'importantes fissures
- 5 Éprouvette cassée en plusieurs morceaux ou désagrégée

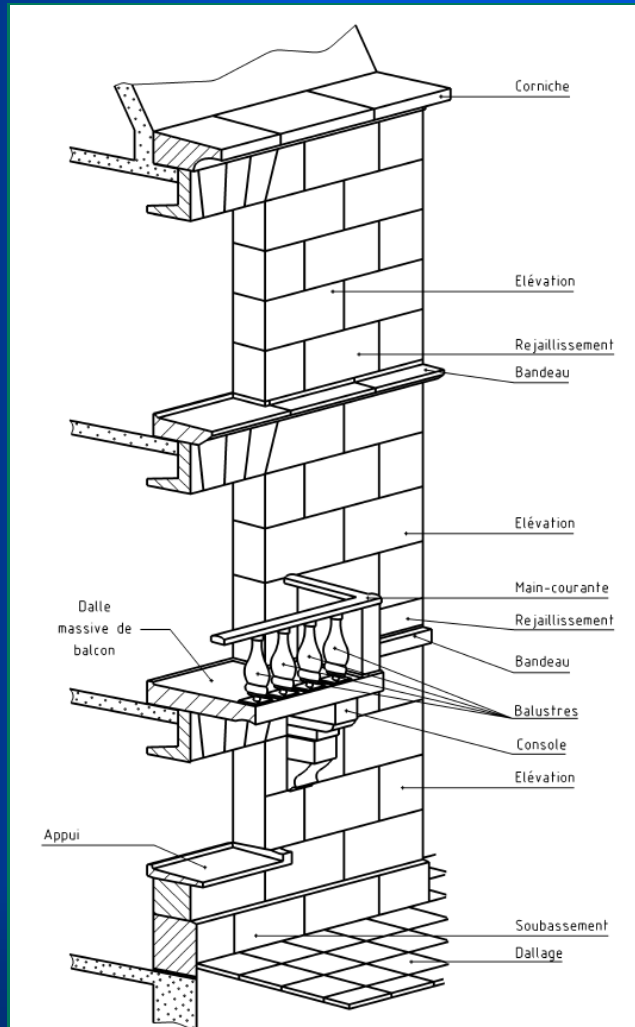
CHOIX EN FONCTION DE LA POSITION DANS L'EDIFICE

POSITION	CHOIX	POROSITE	CAPILLARITE	GELIVITE
Elévation	Pierre tendre et très tendre	$\leq 47 \%$	Voir DTU 20.1 C_2 suivant épaisseur du mur	Pas de valeur limite
Assise de rejaillissement	Pierre demi-ferme		$C_2 \leq 193.5 \text{ g/m}^2\text{s}^{0.5}$ (15) ¹	$N \geq 24^2$ dans les zones de gel
Corniche, bandeau	Pierre ferme et dure		$C_1 \leq 193.5 \text{ g/m}^2\text{s}^{0.5}$ (15) ¹	$N \geq 24^2$ en zone de gel faible $N \geq 48^2$ en zone de gel modéré et de gel sévère
Balcon	Pierre ferme dure et froide		$C_1 \leq 90.3 \text{ g/m}^2\text{s}^{0.5}$ (7) ¹	$N \geq 96^2$ en zones de gel faible et modéré $N \geq 144^2$ en zone de gel sévère
Soubassement	Pierre dure et froide		C_1 et $C_2 \leq 90.3 \text{ g/m}^2\text{s}^{0.5}$ (7) ¹	$N \geq 48^2$ en zones de gel faible et modéré $N \geq 96^2$ en zone de gel sévère

¹ valeur déterminée suivant l'ancienne norme NF B 10-502

² N : valeur médiane des nombres de cycles de tenue au gel des 5 éprouvettes

1 — Pierres naturelles massives d'épaisseur ≥ 80 mm



Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables
Élévation en partie courante, sans possibilité de rejaillissement	Capillarité	NF EN 772-11	$C_{w,s}$ (parallèle au lit) ^{a)}
	Gélimité	NF EN 12371	A, B et C aucune $D \geq 12$ cycles
	Compression	NF EN 772-1	Dimensionnement ^{b)}
Assise de rejaillissement ^{c)} Appui de fenêtre ^{d)}	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 24 cycles D ≥ 48 cycles
	Compression	NF EN 772-1	Dimensionnement ^{b)}
Console ^{c)}	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 24 cycles D ≥ 48 cycles
	Compression	NF EN 772-1	Dimensionnement ^{b)}
Corniche ^{d)} Couronnement ^{d)}	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 36 cycles B ≥ 48 cycles C ≥ 96 cycles D ≥ 96 cycles
Main courante ^{d)} Bandeau ^{d)}	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
Soubassement ^{e)}	Capillarité	NF EN 772-11	$C_{w,s}$ (perpendiculaire et parallèle au lit) ≤ 130 g/m ² .s ^{0,5}
	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 36 cycles B ≥ 36 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
	Compression	NF EN 772-1	Dimensionnement ^{b)}
Dalle massive de balcon ^{d) f) g)}	Gélimité	NF EN 12371	A ≥ 96 cycles B ≥ 96 cycles C ≥ 96 cycles D ≥ 144 cycles
Pile de pont ^{g)}	Gélimité	NF EN 12371	A, B, C, D ≥ 144 cycles
Gargouille ^{g)}	Gélimité	NF EN 12371	A, B, C, D ≥ 144 cycles

a) Pour calculer l'épaisseur d'un mur selon le critère de capillarité $C_{w,s}$ (parallèle au lit), se reporter à la norme P 10-202 (référence DTU 20.1).

b) Selon la norme P 10-202 (référence DTU 20.1).

c) Assise de rejaillissement : toute pierre dont le chant inférieur est à moins de 15 cm au-dessus d'une surface en saillie (autre que le sol).

d) S'il est prévu une protection métallique réalisée selon les normes appropriées de la sous-classe P 34, il n'y a pas d'exigence de gélimité.

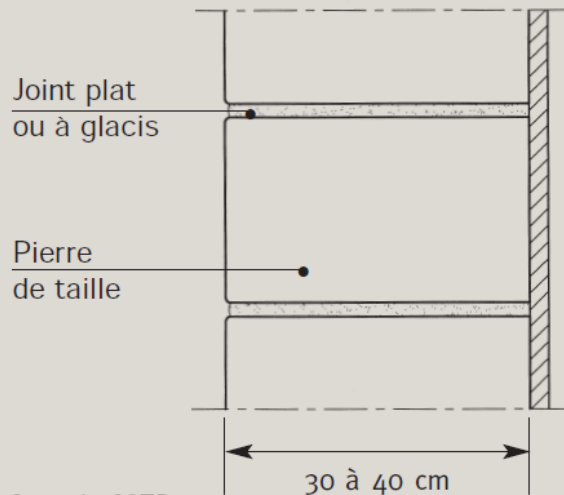
e) Soubassement : toute pierre dont le chant inférieur est à moins de 15 cm du sol fini.

f) Les dalles porteuses font l'objet d'une justification particulière lors de leur conception.

g) Un cahier des charges doit préciser les essais mécaniques nécessaires.

Les pierres doivent être choisies en fonction de leur capillarité, de leur tenue au gel et de leur résistance à la compression

Mur porteur type I



Croquis CSTB

Épaisseur des joints :
de 0,8 cm à 1,5 cm.

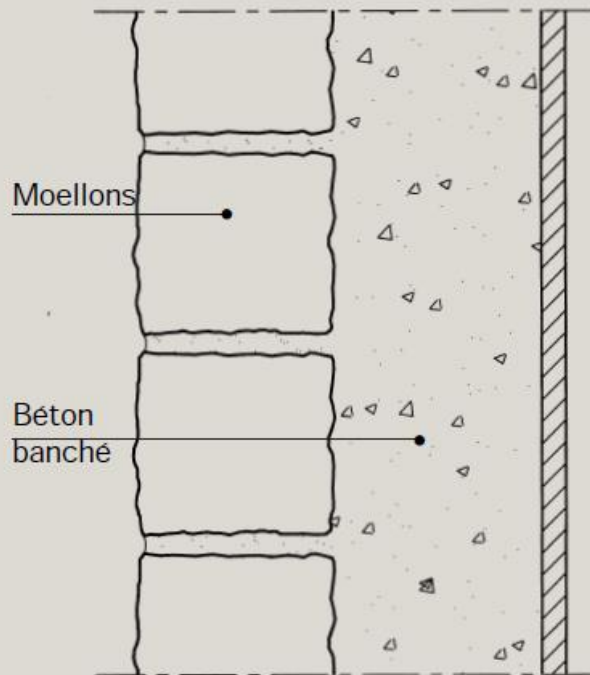


Hôtel de Région du Limousin - Limoges.

Architectes : C. Langlois, J.L. Dufour, L. Arsène Henry, P. Sangenberger.

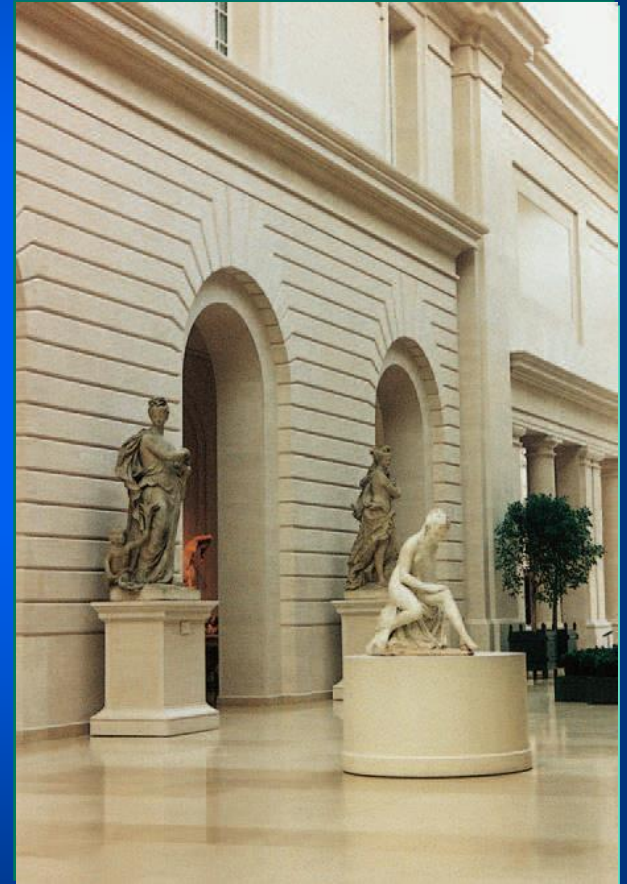
Les pierres doivent être choisies en fonction de leur capillarité, de leur tenue au gel et de leur résistance à la compression

Mur banché type I



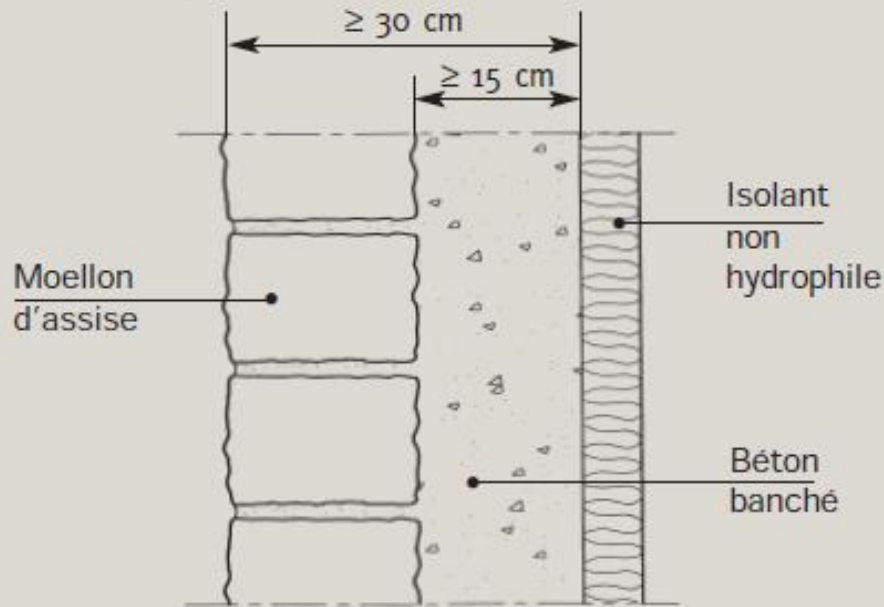
Croquis CSTB

Épaisseur minimale : 30 cm pour le mur dont 15 cm au moins pour le béton.

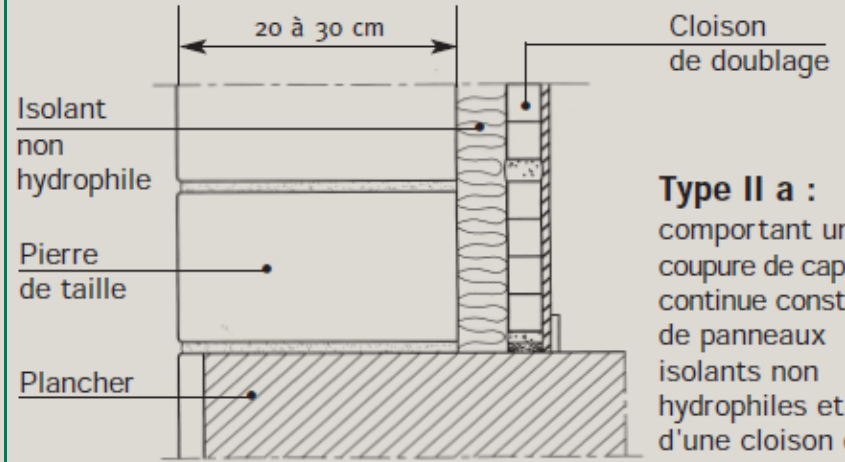


Metropolitan Museum of Art - New York.
Architectes : Kevin Roche et John Dinkeloo Associés.

Mur banché de type II a



Mur porteur de type II a



Croquis CSTB

Type II a :
comportant une coupure de capillarité continue constituée de panneaux isolants non hydrophiles et d'une cloison de doublage maçonnée ou sèche - jointolement effectué en montant.

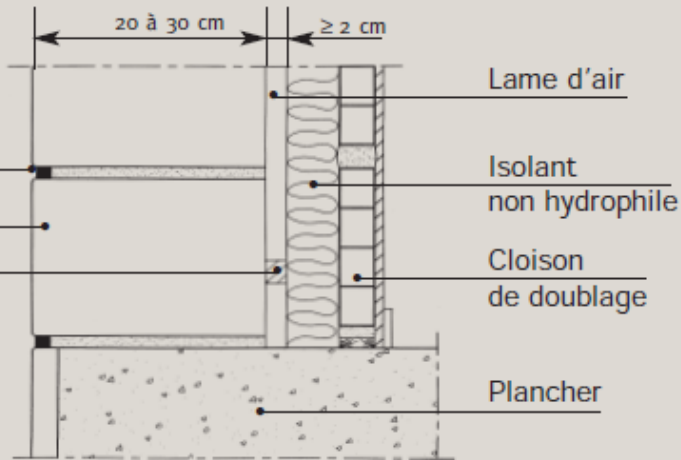
Mur porteur de type II b

Épaisseur minimale
selon le coefficient
de capillarité

Joint

Pierre

Cales ou plots
imputrescibles



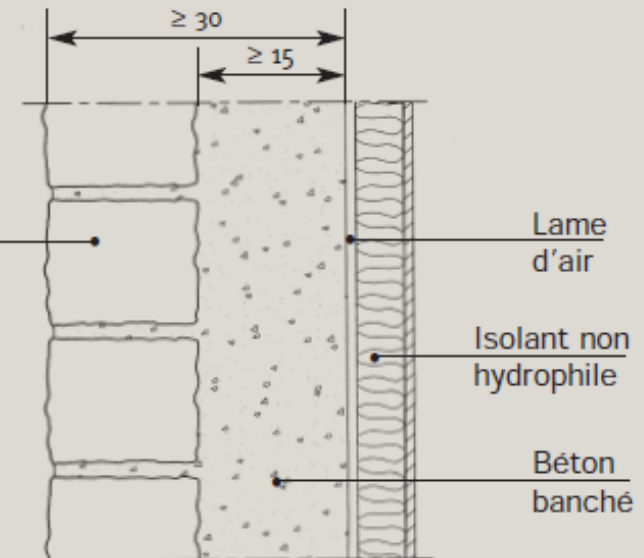
Croquis CSTB

Type II b :

comportant une coupure de capillarité continue constituée par une lame d'air entre la face arrière de l'ouvrage et la cloison de doublage, jointolement effectué en montant.

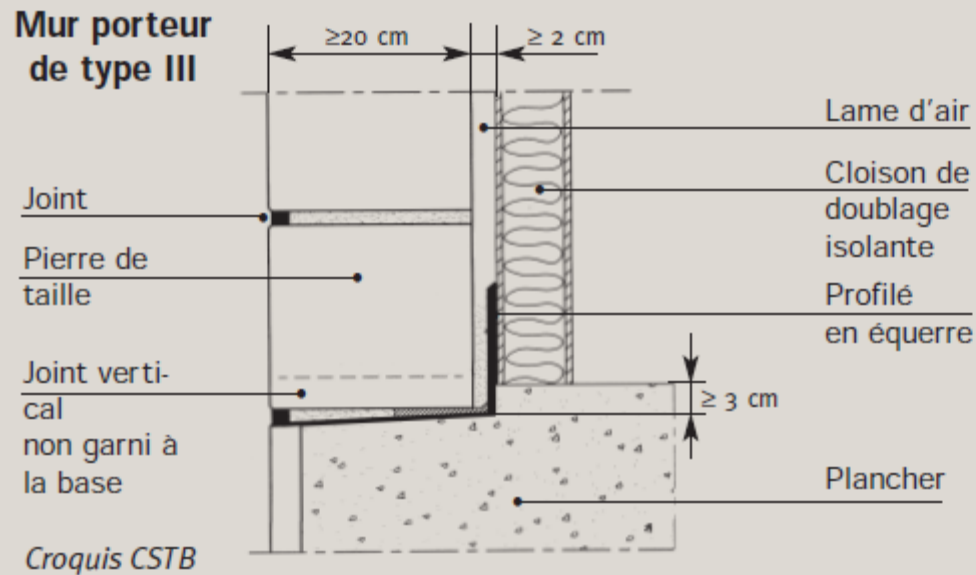
Mur banché de type II b

Moellon assisé
ou maçonnerie
apparente
de pierre



Croquis CSTB

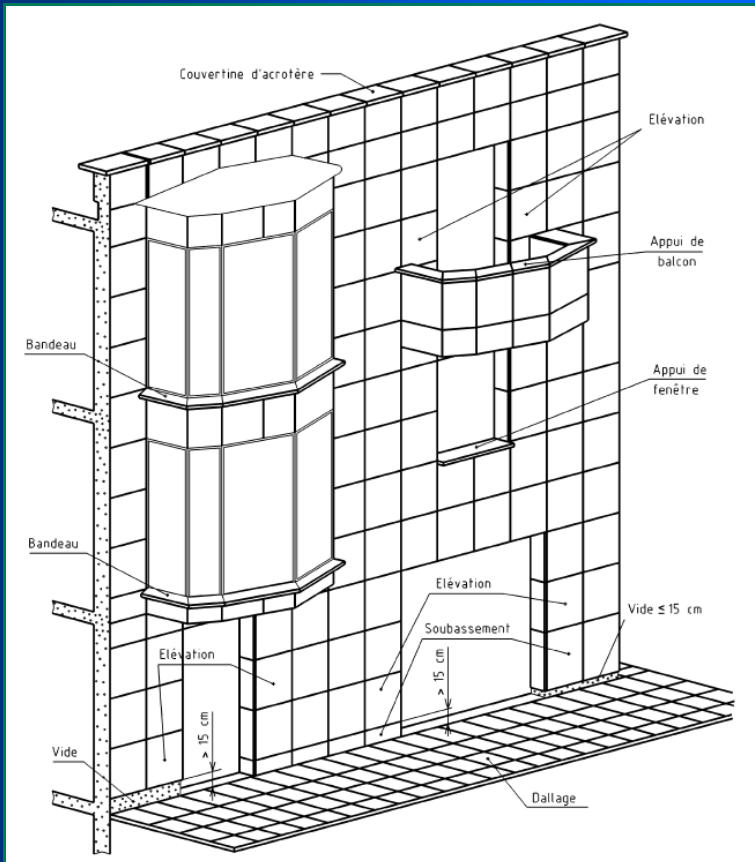
Mur porteur de type III



Type III :

comportant une coupure de capillarité constituée par une lame d'air entre la face arrière de la pierre et la cloison de doublage, un décrochement d'au moins 3 cm dans le plancher ou équivalent, avec dispositif d'évacuation vers l'extérieur des eaux d'infiltration éventuelles, jointoiement effectué après coup.

2 — Pierres naturelles pour revêtements muraux attachés en pierre mince d'épaisseur < 80 mm



Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables
Revêtements intérieurs			
Revêtement attaché	Résistance moyenne aux attaches	NF EN 13364	≥ 200 N ^{a)}
Revêtements extérieurs			
Revêtement attaché Élévation en partie courante (y compris rejaillissement autre que soubassement)	Géllivité	NF EN 12371	A, B et C aucune D ≥ 12 cycles
	Résistance moyenne aux attaches ^{b)}	NF EN 13364	≥ 300 N ^{a)}
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	^{c)}
Bandeau Appui de balcon	Géllivité ^{d)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 48 cycles
	Résistance moyenne aux attaches	NF EN 13364	≥ 300 N ^{a)}
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	^{c)}
Appui de fenêtre ^{d)}	Géllivité ^{d)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 24 cycles D ≥ 48 cycles
	Résistance moyenne aux attaches	NF EN 13364	≥ 300 N ^{a)}
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	^{c)}
Soubassement ^{e)}	Géllivité	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
	Résistance moyenne aux attaches ^{b)}	NF EN 13364	^{b)}
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	^{c)}
Revêtement mince de couronnement d'acrotère ou autre ouvrage similaire	Géllivité ^{d)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
	Résistance moyenne aux attaches	NF EN 13364	≥ 300 N ^{a)}
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	^{c)}

a) Pour le dimensionnement, voir NF P 65-202 (DTU 55.2).

b) Pour le dimensionnement et la tenue au choc, voir NF P 65-202 (DTU 55.2).

c) Ne concerne que les marbres (roches métamorphiques, voir 3.1.3) qui ne peuvent pas être utilisés à l'extérieur sauf s'ils peuvent justifier de leur tenue à la décohésion granulaire selon l'essai de la norme NF EN 14066.

Soit, après 20 cycles :

- aucun changement dans l'apparence ;
- aucune perte de masse à 0,02 % près ;
- diminution du module d'élasticité dynamique < 6 %.

d) S'il est prévu une protection métallique selon les normes appropriées de la sous-classe P 34, il n'y a pas d'exigence de géllivité.

e) Soubassement : toute pierre dont le chant inférieur est à moins de 15 cm du sol fini.

Il s'agit d'un revêtement porté : chaque plaque de 3 cm d'épaisseur en général est maintenue par des attaches qui assurent sa stabilité.

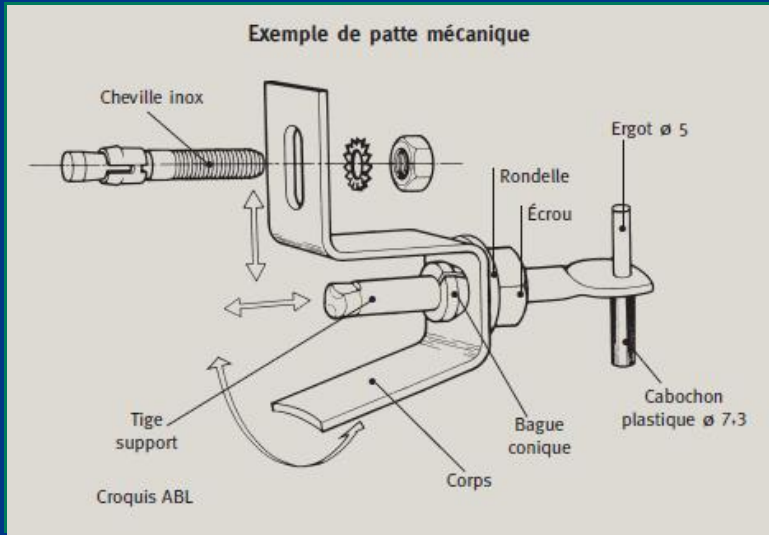
Une lame d'air ventilée est ménagée entre la face arrière des plaques et le support, ou la sous-couche d'isolation fixée sur ce support.

- Joints garnis au mortier ou vides
- hauteur de façade limitée à 28 m
- surface des plaques limitée à 1 m²
- plus grande dimension inférieure à 1,40 m
- joints de fractionnement obligatoires
- pas d'interposition possible d'un isolant Thermique sauf pour attaches avec pattes
- vide d'air ventilé de 2 cm minimum

Revêtement mural attaché avec pattes mécaniques



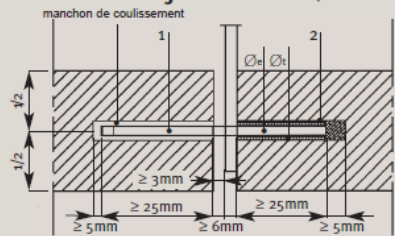
Champ de Mars - Rouen –
Architecte : Cabinet Elie.



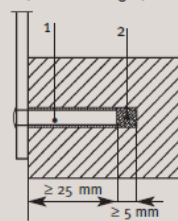
Les pattes mécaniques en métal inoxydable dans la masse et ancrées par des chevilles métalliques inoxydables au support.



Attache dans le joint vertical (avec manchon)

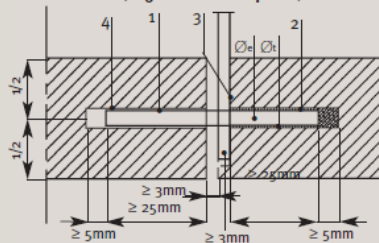


Attache dans le joint vertical (avec 1/2 ergot)

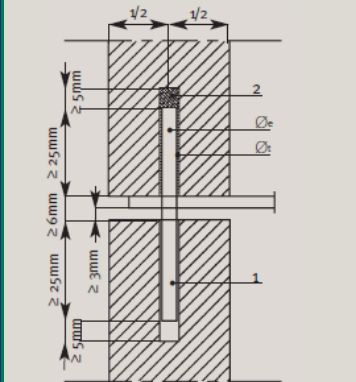


- 1- Ergot couissant avec ou sans manchon
- 2- Coulis ciment ou mortier colle
- 3- Engravure
- 4- $\varnothing_i > \varnothing_e$
+ (0,5 à 1 mm)

Attache dans le joint vertical (engravée dans la pierre)



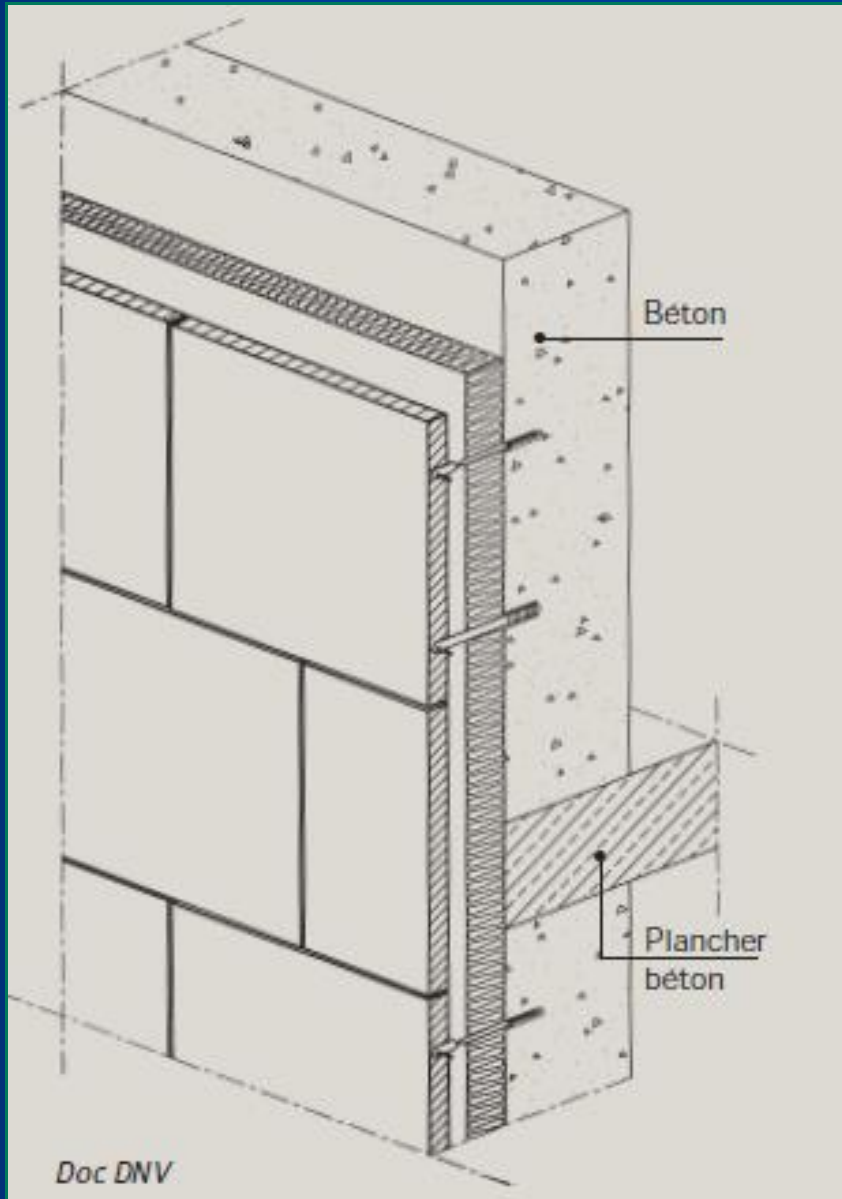
- \varnothing_e - Diamètre de l'ergot
 \varnothing_i - Diamètre du trou dans la pierre



Attache dans le joint horizontal

Exemple de pose avec attaches dans le joint vertical

**Revêtement mural attaché
avec pattes scellées**

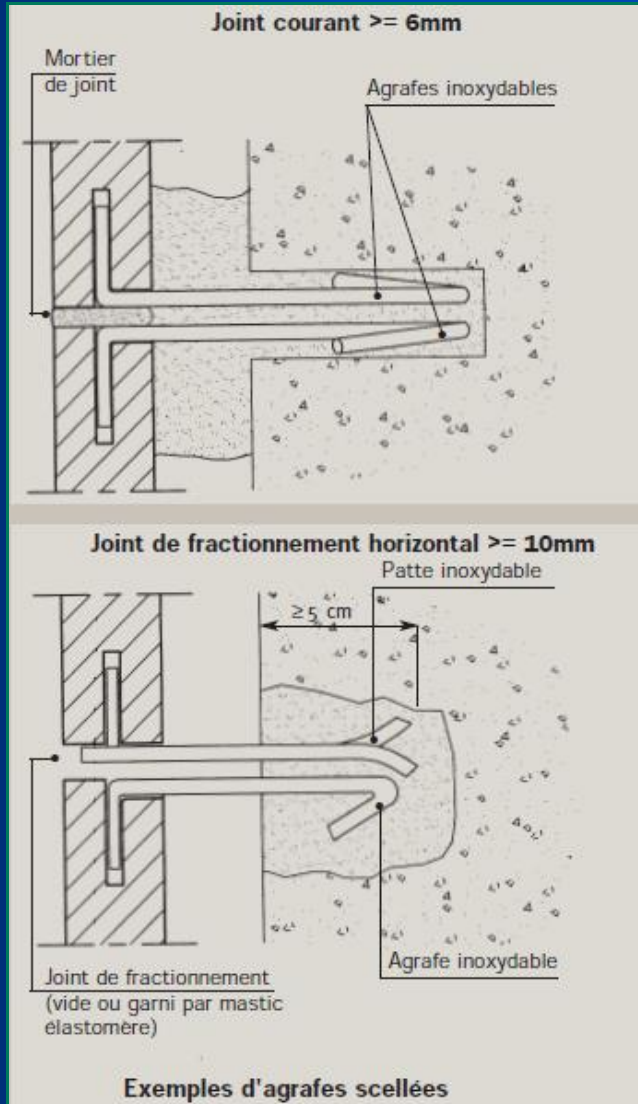


Amphithéâtre Gutenberg - Dijon.
Architectes : Roche, Lentz - Dijon.

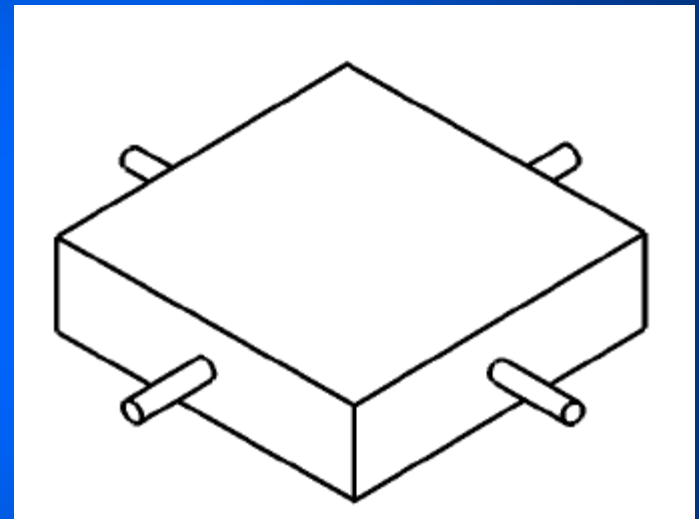
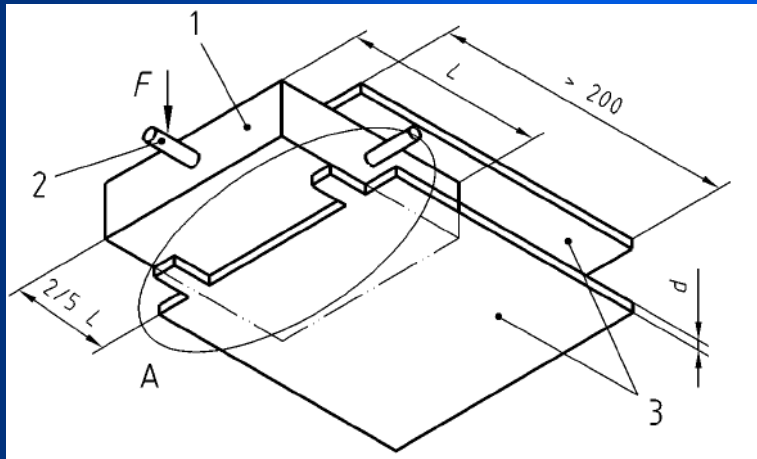
Revêtement agrafé avec polochon de mortier

Hauteur du bâtiment:

La hauteur de la façade doit être inférieure à 28 m si les joints sont garnis de mortier et inférieure à 18 m si les joints sont laissés vides.



Mesure de la résistance aux attaches
(NF EN 13364 septembre 2002)



Dalles carrées : 200 mm de côté et 30 mm d'épaisseur

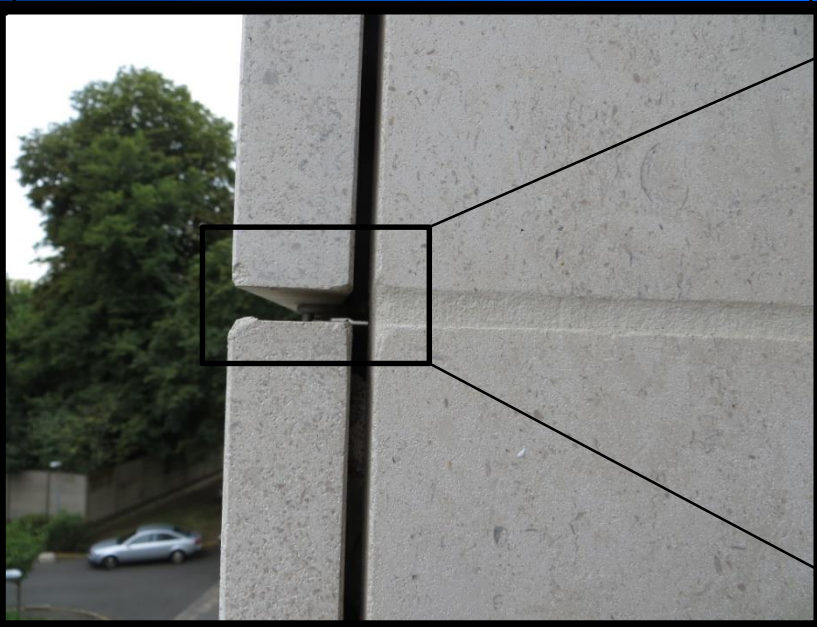
Goujon de 100 mm de diamètre

Moyenne sur 30 essais

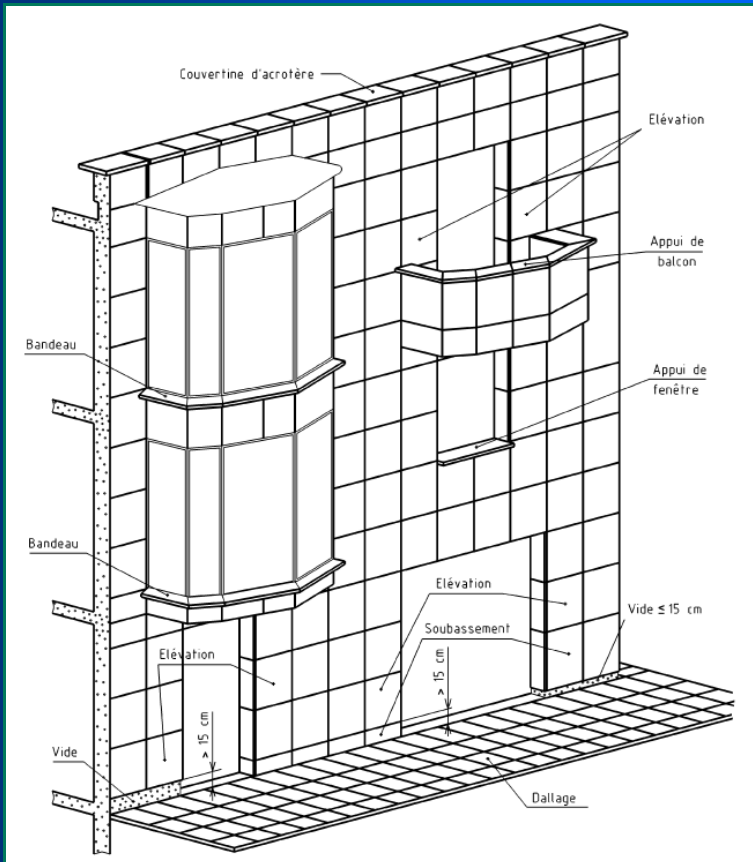


**Exemple de revêtement mural
attaché**

Immeuble d'habitation à Orléans



3 — Pierres naturelles pour revêtements muraux collés



Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables
Revêtements intérieurs			
Revêtements collés uniquement	Porosité	NF EN 1936	a)
Revêtements extérieurs			
Revêtements collés uniquement	Porosité	NF EN 1936	a)
Élévation en partie courante (y compris rejaillissement autre que soubassement)	Géivité	NF EN 12371	A, B aucune C ≥ 12 cycles D ≥ 24 cycles
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	b)
Bandeau Appui de balcon	Géivité ^{c)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 48 cycles
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	b)
Appui de fenêtre	Géivité ^{c)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 24 cycles D ≥ 48 cycles
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	b)
Soubassement ^{d)}	Géivité	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 12 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	b)
Revêtement mince de couronnement d'acrotère ou autre ouvrage similaire	Géivité ^{c)}	NF EN 12371	A ≥ 12 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles
	Résistance aux chocs thermiques	NF EN 14066	b)

a) Le mode d'encollage et le choix des mortiers-colles dépendent de la porosité de la pierre ; les critères sont donnés par le e-cahier du CSTB (n° 3528). Voir détail en Bibliographie.

b) Ne concerne que les marbres (roches métamorphiques, voir 3.1.3) qui ne peuvent pas être utilisés à l'extérieur sauf s'ils peuvent justifier de leur tenue à la décohéation granulaire selon l'essai de la norme NF EN 14066.

Soit, après 20 cycles :

- aucun changement dans l'apparence ;
- aucune perte de masse à 0,02 % près ;
- diminution du module d'élasticité dynamique < 6 %.

c) S'il est prévu une protection métallique selon les normes appropriées de la sous-classe P 34, il n'y a pas d'exigence de géivité.

d) Soubassement : toute pierre dont le chant inférieur est à moins de 15 cm du sol fini.

Joints de dilatation

Joints d'au moins 5 mm de largeur et garnis d'une matière déformable, imputrescible et non tâchante, sur toute l'épaisseur de la pierre et du mortier-colle.

Ménager des joints de fractionnement horizontaux tous les 3 m environ (ou tous les étages) et verticaux tous les 6 à 8 m.



Hôtel des Finances - Créteil.

Architectes : Saunier, Brunet - Paris.



**Exemple de revêtement mural collé
et
Désordre structurel (tassement ?)
entraînant une fissuration**

Immeuble d'habitation à Orléans



4 — Pierres naturelles pour revêtement de sol intérieur et extérieur, (sol et escalier) scellé ou collé, hors voirie

Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables		
			Usage individuel	Usage collectif	
				Modéré	Intense ^{a)}
Revêtement de sol intérieur					
Sols et escaliers intérieurs ^{b)}	Abrasion ^{c) d)}	NF EN 14157 méthode A ^{e)}	≤ 42 mm	≤ 32 mm	≤ 22 mm
	Flexion ^{d)}	NF EN 12372	Dimensionnement des dalles réalisé selon l'Annexe C		
	Porosité	NF EN 1936	f)		
Revêtement de sol extérieur					
Sols et escaliers extérieurs	Abrasion ^{d)}	NF EN 14157 méthode A ou NF EN 1341 ou NF EN 1342	≤ 42 mm	≤ 32 mm	≤ 22 mm
	Glissance ^{d)}	NF EN 14231 mode opératoire en milieu humide ou NF EN 1341 ou NF EN 1342	> 35		
	Flexion ^{d) g)}	NF EN 12372	Dimensionnement des dalles réalisé selon l'Annexe C		
	Géllivité	NF EN 12371	A ≥ 24 cycles B ≥ 24 cycles C ≥ 48 cycles D ≥ 96 cycles		
	Porosité ^{h)}	NF EN 1936	f)		
<p>a) L'usage collectif intense correspond aux mails ou galeries commerciales, aux aéroports, aux gares, etc.</p> <p>b) On considère comme revêtement de sol intérieur tout ouvrage non soumis aux intempéries.</p> <p>c) Les halls d'entrée d'immeubles de bureaux ou d'habitation de type IGH sont classés en usage intensif au regard de l'abrasion uniquement.</p> <p>d) Les caractéristiques considérées essayées sont des valeurs moyennes.</p> <p>e) Il est admis que l'essai des normes NF EN 1341 et NF EN 1342 s'applique pour les sols intérieurs.</p> <p>f) Le dimensionnement, le mode d'encollage, et le choix des mortiers-colles dépendent de la porosité de la pierre ; les critères sont donnés par les e-cahiers du CSTB. Voir détail en Bibliographie.</p> <p>g) Ne concerne que les dalles : tout élément de pierre naturelle utilisé comme matériau de pavage dont la largeur nominale dépasse 150 mm et est généralement égale à au moins deux fois l'épaisseur.</p> <p>h) Ne concerne que les revêtements de sol collés.</p>					
<p>1) On considère comme hors voirie tout ouvrage accessible aux piétons et physiquement inaccessible aux véhicules.</p> <p>2) Pour le dimensionnement des dalles sur plots, voir l'Annexe D (Tableau D.2).</p>					

5 — Pierres naturelles pour revêtement de sol extérieur de voirie

Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables
Revêtement de sol extérieur (dalles, pavés, bordures) de voirie	Abrasion	NF EN 14157 méthode A ou NF EN 1341 ou NF EN 1342	≤ 22 mm
	Compression ^{a)}	NF EN 1926	≥ 60 MPa (résistance moyenne)
	Flexion ^{b)}	NF EN 12372	^{c)}
	Glissance	NF EN 14231 mode opératoire en milieu humide ou NF EN 1341 ou NF EN 1342	> 35
	Géivité ^{d)}	NF EN 12371	A ≥ 96 cycles B ≥ 96 cycles C ≥ 144 cycles D ≥ 144 cycles

a) La compression ne concerne que les pavés.

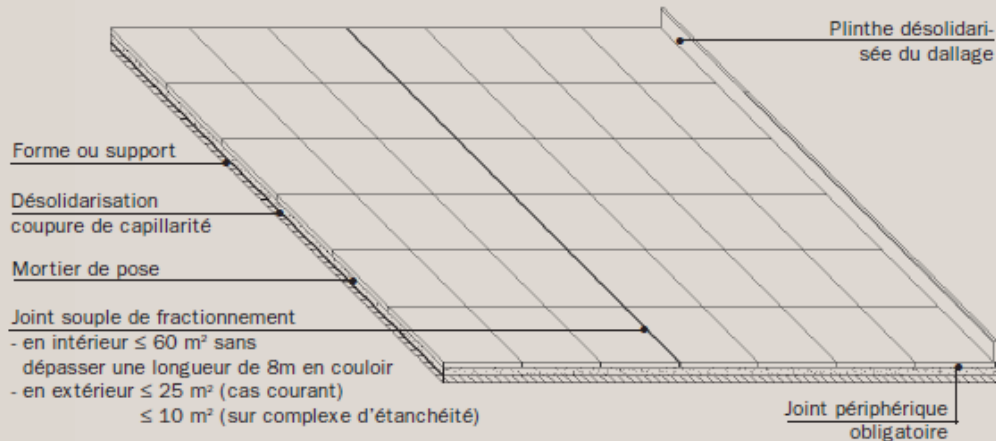
b) La flexion ne concerne que les dalles et les bordures.

c) L'Annexe D (Article D.1 «Classes des dalles en fonction de leur destination (voirie)», tableaux D.1 «Pose sur sable, mortier ou béton» et D.2 «Pose sur plots») permet de déterminer l'épaisseur requise des dalles en fonction de la résistance à la flexion de la pierre selon NF EN 12372.

d) Ces prescriptions ne tiennent pas compte de l'influence des sels de déverglaçage.

Revêtement de sol scellé

Réservation pour mise en œuvre du dallage :
épaisseur de la pierre + épaisseur (3 à 5 cm) du mortier de pose



- Sols intérieurs : pose jointive interdite. Joints marbriers de 1 mm au minimum. Joints courants de 2 à 3 mm.
- Sols extérieurs : joints de 5 mm au minimum. Pente $> 1,5\%$ (drainage)

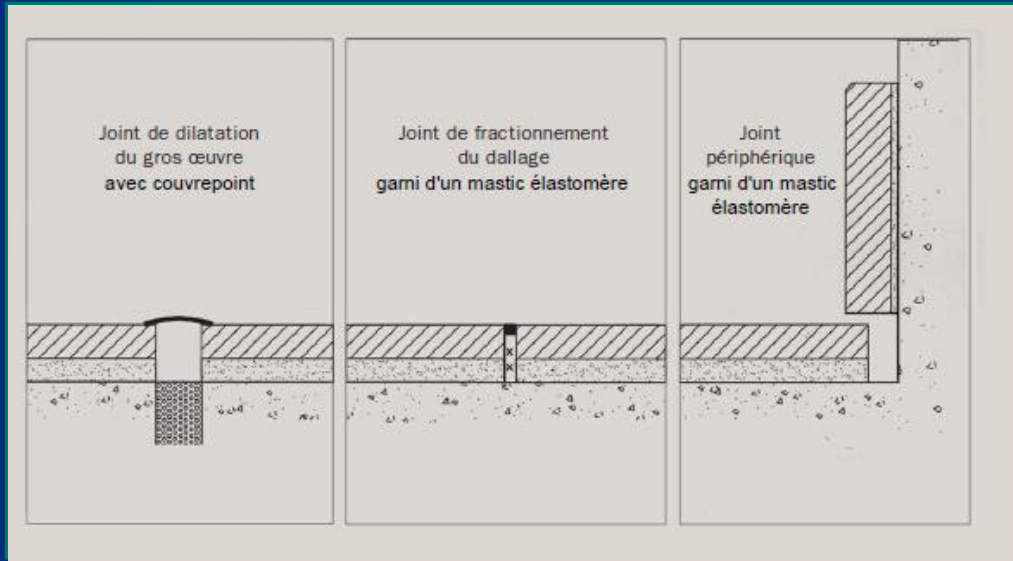
- Épaisseurs courantes :
1,5 et 2 cm en intérieur,
2, 3 et 4 cm en extérieur (hors voirie).

- Formats courants :
Dalles carrées de 30 x 30 cm et 40 x 40 cm.
Dallage en bandes :
Largeurs : 15, 20, 30, 40 cm.
Longueurs : de 40 à 80 cm.



Grand Louvre - Paris.

Architectes : I.M.Pei, M. Macary - Paris.



Revêtement de sol scellé

- Sols intérieurs : pose jointive interdite. Joints marbriers de 1 mm au minimum. Joints courants de 2 à 3 mm.
- Sols extérieurs : joints de 5 mm au minimum
Pente > 1,5% (drainage)

- Épaisseurs courantes :
1,5 et 2 cm en intérieur,
2, 3 et 4 cm en extérieur (hors voirie).

- Formats courants :
Dalles carrées de 30 x 30 cm et 40 x 40 cm.
Dallage en bandes :
Largeurs : 15, 20, 30, 40 cm.
Longueurs : de 40 à 80 cm.



Farmer's Market - New Port Beach.
Architecte : RTKL - Los Angeles - USA.

Calcul des charges de rupture relatives aux dalles

$$P = \frac{R_{tf} W t^2}{1\,500 L \times 1,6}$$

Norme NF EN 1341
Fév. 2003

où :

R_{tf} est la résistance à la flexion de la pierre, (MPa) ;

W est la largeur de la dalle, (mm) ;

t est l'épaisseur de la dalle, (mm) ;

L est la longueur de la dalle entre appuis, (mm) ;

P est la charge de rupture (kN).

NB: La valeur 1,6 est intégrée en tant que coefficient de sécurité

L'épaisseur t requise de la dalle en millimètres (mm),
quelle que soit la classe d'utilisation, peut être calculée :

$$t = \sqrt{\frac{1,6 \times 1\,500 LP}{R_{tf} W}}$$

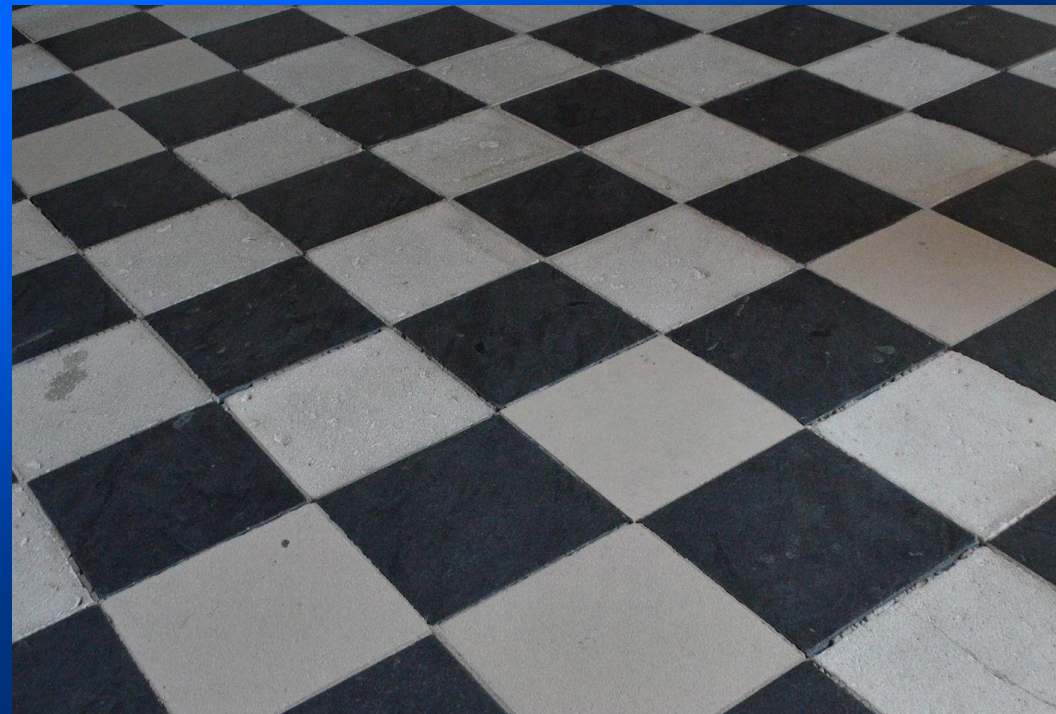
Calcul des charges de rupture relatives aux dalles

$$P = \frac{R_{tf} W t^2}{1\ 500 L \times 1,6}$$

Classe	Charge de rupture (min) kN	Usage caractéristique
0	Aucune exigence	Décoration
1	0,75	Dalles posées sur mortier, usage piétonnier uniquement
2	3,5	Zones piétonnières et cyclables. Jardins, balcons
3	6,0	Accès occasionnel de véhicules automobiles, de véhicules légers et de motocyclettes. Entrées de garage
4	9,0	Zones de circulation piétonnière, places de marché empruntées occasionnellement par les véhicules de livraison et de secours
5	14,0	Zones de circulation piétonnière fréquemment empruntées par des poids lourds
6	25,0	Routes et rues, stations-service



**Dallage de la grande galerie
(château de Chenonceau)
et
Résistance à l'usure**

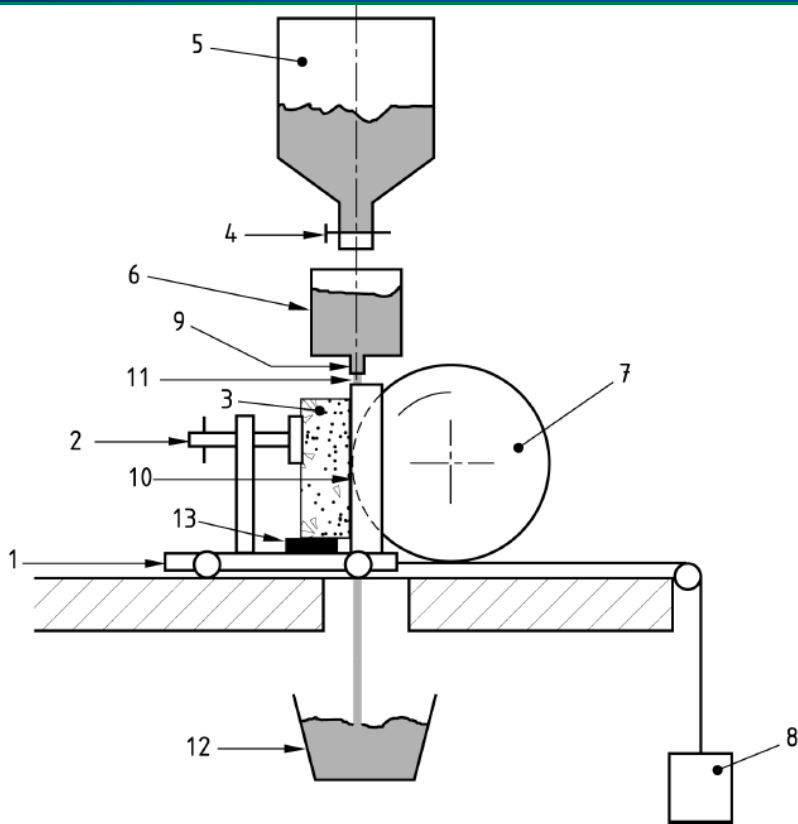


Mesure de la valeur de la résistance à l'usure (norme NF EN 1341 Février 2003)

L'abrasif est le corindon (alumine fondue blanche) avec une taille de grain de 80, coulant à 2,5L/min.

Le disque en acier tourne à 75 tr/min.
L'essai dure 1 min.

Mesure de la largeur de l'empreinte au pied à coulisse précis à 0,1 mm.



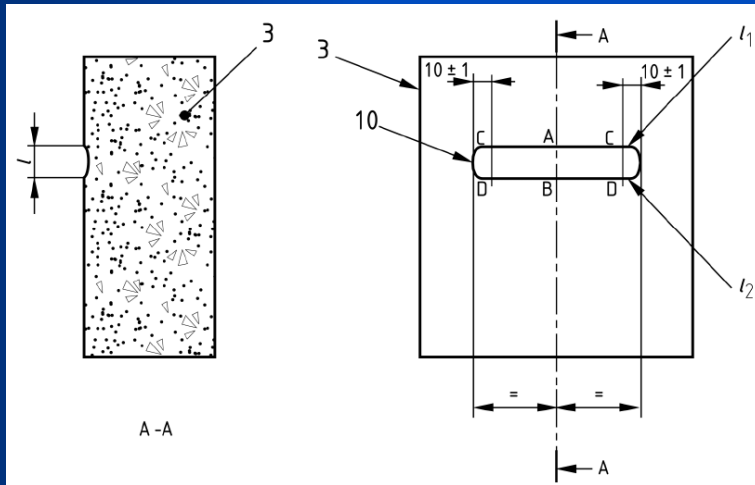
Légende

- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Dispositif porte-épreuve | 8 Contrepoids |
| 2 Vis de fixation | 9 Fente |
| 3 Échantillon | 10 Empreinte |
| 4 Vanne | 11 Débit du matériau abrasif |
| 5 Trémie d'alimentation | 12 Collecteur de l'abrasif |
| 6 Dispositif de régulation de l'écoulement | 13 Cale |
| 7 Disque abrasif large | |



Machine d'usure

Mesure de la valeur de la résistance à l'usure (norme NF EN 1341 Février 2003)

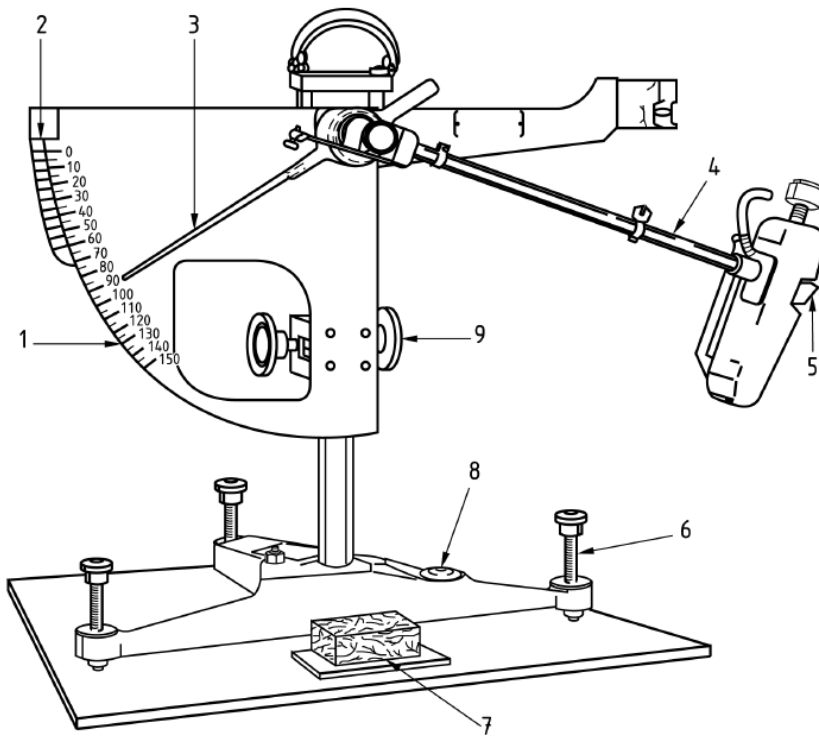


Destination dans l'ouvrage	Essais d'aptitude à l'emploi	Référence de la norme correspondante	Prescriptions applicables		
			Usage individuel	Usage collectif	
				Modéré	Intense ^{a)}
Revêtement de sol extérieur					
	Abrasion ^{d)}	NF EN 14157 méthode A ou NF EN 1341 ou NF EN 1342	≤ 42 mm	≤ 32 mm	≤ 22 mm

**Dallage de la place du Martroi
et
Résistance à la glissance**



Mesure de la valeur de la résistance à la glissance (norme NF EN 1341 Février 2003)



Légende

- | | |
|--|--|
| 1 Échelle C (longueur coulissante de 126 mm) | 6 Vis de réglage de niveau |
| 2 Échelle F (76 mm d'échelle mobile) | 7 Support de l'échantillon d'essai |
| 3 Aiguille | 8 Niveau à bulle |
| 4 Pendule | 9 Vis d'ajustement vertical ou crémaillère |
| 5 Patin en caoutchouc | |

L'échantillon est immergé dans l'eau à 20°C pendant 30min.
Le patin en caoutchouc est pré-humidifié.
Le réglage se fait au contact patin-échantillon.
Le bras du pendule + patin est de 1,50 kg.

À l'oscillation du pendule, la force de friction entre le patin et la surface d'essai est mesurée par la réduction de la longueur d'oscillation en utilisant une échelle calibrée pour évaluer les propriétés de friction de l'échantillon.

Pendule à frottement

Mesure de la valeur de la résistance à la glissance (norme NF EN 1341 Février 2003)

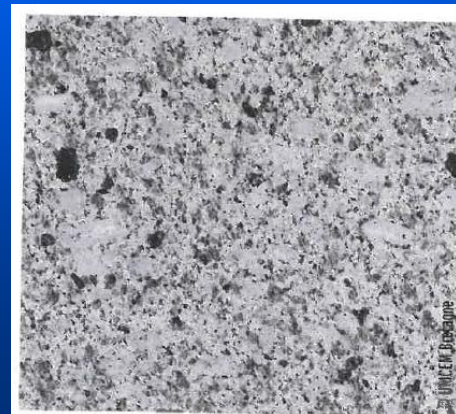


Glissance > 35

Le résultat dépend
du traitement de surface

bouchardé

poli



	Trafic T5 (*) 0 à 25 PL/j	Trafic T4 (*) 26 à 50 PL/j	Trafic T3 (*) 51 à 150 PL/j	Trafic T2 (*) et T1 (*) > 150 PL/j
Compression, R _c (MPa) NF EN 1926	Minimum de la norme ≥ 60 (NF B 10-601)	Recommandé ≥ 100	Recommandé ≥ 110	Recommandé ≥ 120
Flexion, R _{tf} (MPa) NF EN 12372	Uniquement pour les dalles valeurs à déterminer par le calcul de dimensionnement en flexion			
Abrasion, R _a (mm) NF EN 14157	Minimum de la norme ≤ 22	Recommandé ≤ 22	Recommandé ≤ 20	Recommandé ≤ 20
Glissance, R _g NF EN 14231	Minimum de la norme ≥ 35	Recommandé ≥ 40	Recommandé ≥ 40	Recommandé ≥ 45
(les paramètres ci-après sont indépendants des classes de trafic PL)				
Gel-dégel, R _{gd} NF EN 12371	Zone A Gel très faible	Zone B Gel faible	Zone C Gel modéré	Zone D Gel sévère
nombre de cycles	96 (**) (144)	96 (**) (144)	144 (**) (168)	144 (**) (168)
Porosité, V _p NF EN 1936	Exposition aux salissures			
	Convient pour toutes contraintes d'exploitation et conditions d'exposition			
en %	≤ 4 %			

SYNTHÈSE DES ESSAIS À RÉALISER PAR TYPE D'UTILISATION ET TAILLE DES ÉCHANTILLONS À FOURNIR*

DESTINATION DANS L'OUVRAGE	PIERRE NATURELLE MASSIVE	REVÊTEMENT MURAL ATTACHÉ	REVÊTEMENT MURAL COLLÉ	REVÊTEMENT DE SOL INTÉRIEUR & EXTÉRIEUR HORS VOIRIE	REVÊTEMENT DE SOL EXTÉRIEUR DE VOIRIE
NF EN 1936 Masse volumique apparente et porosité ouverte (1)			X	X	
NF EN 772-11 Mesure du coefficient d'absorption d'eau par capillarité (2)	X (perpendiculaire et parallèle au lit)				
EN 12371 Essai de gélivité (3)	X	X Extérieur uniquement	X Extérieur uniquement	X Extérieur uniquement	X
NF EN 1926 Mesure de la résistance à la compression (4)					X
NF EN 772-1 Mesure de la résistance à la compression (5)	X				
NF EN 13364 Détermination de l'effort de rupture au niveau du goujon de l'agrafe (6)		X			
NF EN 14157 Essai d'usure au disque métallique (7)				X	X
NF EN 12372 Mesure de la résistance à la flexion (8)				X Dalles uniquement	X Dalles et bordures uniquement
NF EN 14066 Résistance aux chocs thermiques (9)**		X Extérieur uniquement	X Extérieur uniquement		
NF EN 14231 Détermination de la résistance à la glissance (10)				X Extérieur uniquement	X

(1) (2) (4) (5) 6 éprouvettes 70 x 70 x 70 mm

(3) 7 éprouvettes 300 x 50 x 50 mm

(6) 8 éprouvettes 200 x 200 x 30 mm

(7) 6 éprouvettes 100 x 100 x 30 mm

(8) 10 éprouvettes 300 x 50 x 50 mm

(9) 7 éprouvettes 200 x 200 x 20 mm

(10) 6 éprouvettes 150 x 100 x 15 mm

* Extrait de la norme NF B 10-601, Editions Afnor.

** Remarque : ne concerne que les marbres dans le but de mettre en évidence la décohésion granulaire

Merci pour votre attention !

et

A suivre ...