

03 AVRIL

BIEN CONSTRUIRE EN PIERRE NATURELLE

12^E JOURNÉE TECHNIQUE DE CTMNC



PHOTO : PASCAL BOIS/PANOVUES.COM

MERCREDI 3 AVRIL 2019
UNICEM / PARIS 17^E

Terre et Pierre
Expertise et Innovation



12^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

BIEN CONSTRUIRE EN PIERRE NATURELLE

MERCREDI 03 AVRIL 2019

PARIS

UNICEM
3, RUE ALFRED ROLL
PARIS 17^E

PARTICIPATION AUX FRAIS : 35,00 € TTC

COMPREND :

ACCÈS AUX CONFÉRENCES, REPAS, PAUSE, DOSSIER

DANS LA LIMITE DES PLACES DISPONIBLES

ATTESTATION DE PARTICIPATION FOURNIE
À L'ISSUE DE LA JOURNÉE.

CONTACT

NADÈGE VERRIER

CTMNC-ROC@CTMNC.FR

TÉL : 01 44 37 50 00

**INSCRIPTION À L'AIDE DU BULLETIN JOINT,
AVANT LE 20 MARS 2019**

Terre et Pierre
Expertise et Innovation



PROGRAMME

ANIMATION DE LA JOURNÉE : **Claude Gargi**, revue Pierre Actual

9h15 **ACCUEIL**

9h30 **INTRODUCTION**

Jean-Louis Vaxelaire, Vice-président CTMNC

9h45 **RETOUR D'EXPÉRIENCE**

Jean Karpel, Expert de justice près la cour d'appel de Paris

10h45 Pause

11h15 **BIEN CHOISIR LA PIERRE NATURELLE**

Damien Lapeyronnie, CTMNC

12h00 Déjeuner

13h15 **BIEN CONSTRUIRE AVEC LA PIERRE NATURELLE**

- **MAÇONNERIE** **Julien Serri**, Responsable Technique UMGO-FFB
- **MUR DOUBLE/PIERRE ATTACHÉE** **Laurent Plagnol**, APAVE
- **MARBRERIE (décoration/ revêtements sols et murs)**
Daniel Dérudet, UNA Métiers de la Pierre CAPEB

14h45 **LE VRAI PRIX DE LA PIERRE NATURELLE**

Jean-Louis Marpillat, Président du Directoire ROCAMAT

15h00 **TABLE RONDE « LA PIERRE NATURELLE : PRODUIT D'EXCELLENCE »**

DÉBAT AVEC NOS INTERVENANTS : **Daniel Dérudet**
Eric Le Devehat
Jean Karpel
Damien Lapeyronnie
Jean-Louis Marpillat
Laurent Plagnol
Julien Serri

16h00 **SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**

Jean-Louis Vaxelaire

UNICEM

3, RUE ALFRED ROLL PARIS 17^E

MÉTRO : M3 PEREIRE - WAGRAM

TRAMWAY : T3B PORTE D'ASNIERES - MARGUERITE LONG

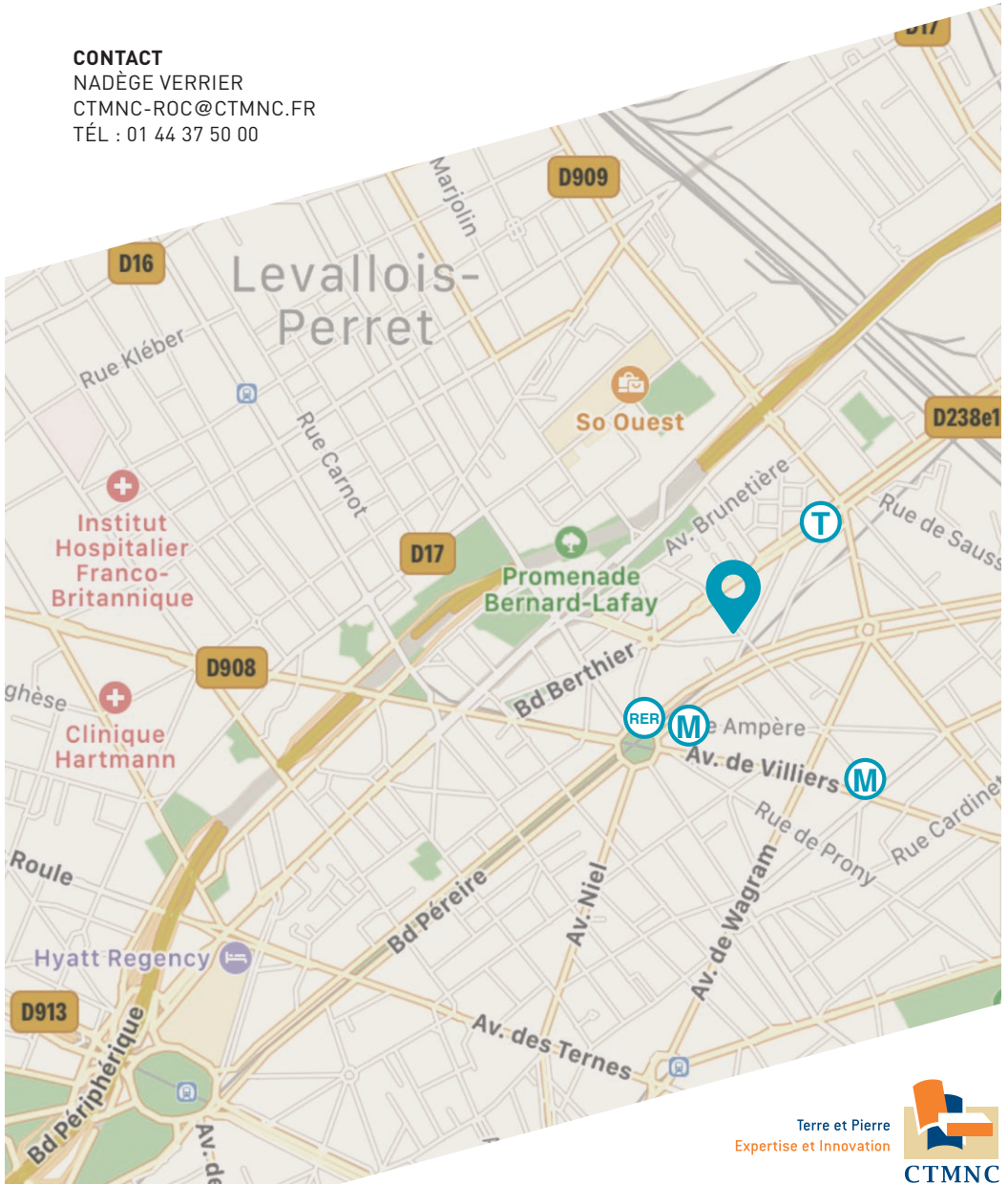
RER : RER C PEREIRE

CONTACT

NADÈGE VERRIER

CTMNC-ROC@CTMNC.FR

TÉL : 01 44 37 50 00



LES OUVRAGES EN PIERRE NATURELLE

RETOUR D'EXPERIENCE

JEAN KARPEL

**INGENIEUR GENIE CIVIL ET URBANISME INSA
EXPERT DE JUSTICE PRES LA COUR D'APPEL DE PARIS**

1^{ère} règle : les clauses contractuelles

**Le contrat définit les obligations et les garanties
à la charge du titulaire**

Le contrat de vente

Le contrat d'entreprise

2^{ème} règle : la juste prescription de la pierre

LA NORME NF B 10-601

**PRESCRIT LES CARACTERISTIQUES REQUISES
POUR LA PIERRE NATURELLE**

**POUR CHAQUE EMPLOI DANS L'OUVRAGE
SELON LES ZONES CLIMATIQUES**

La 3^{ème} règle : la mise en œuvre conforme aux règles de l'art

NORMES SPECIFIQUES NORME-DTU REVETEMENTS DE SOL

43.1 Toitures-Terrasses

26.2 Chapes et dalles

52.1 revêtements de sol scellés

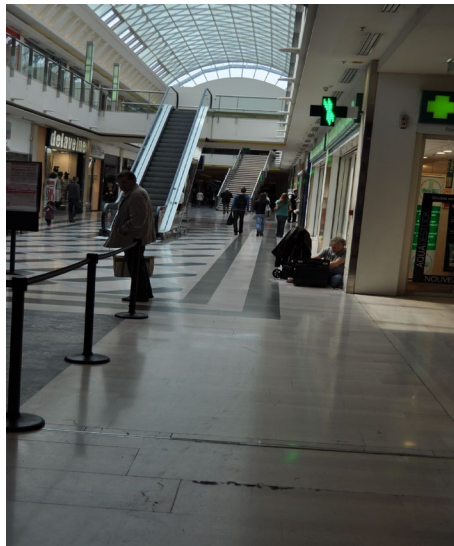
52.10 sous-couches sous chapes et carrelages

52.2 revêtements de sol collés

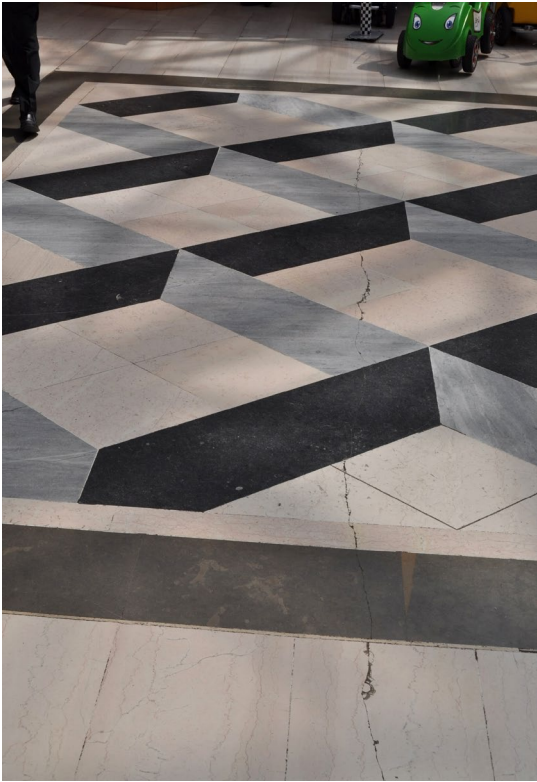
NF P 98 335

MAIS CELA NE SUFFIT PAS TOUJOURS

Les centres commerciaux



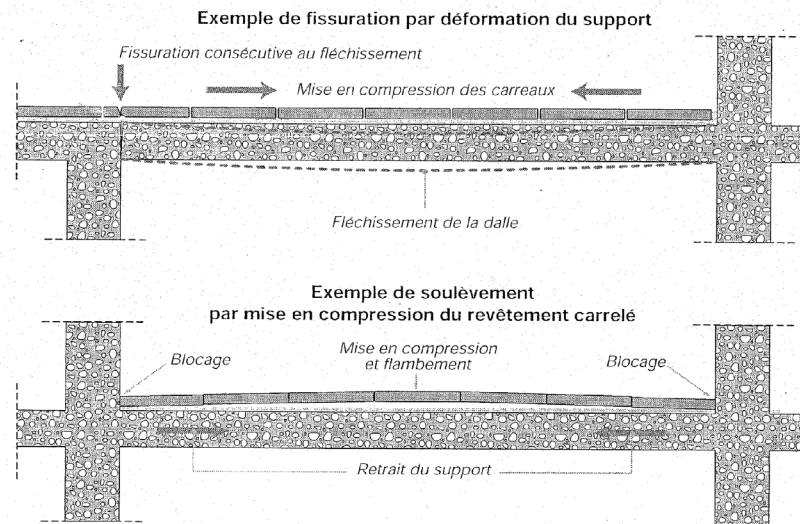
Le problème des supports





ABSENCE DE FRACTIONNEMENT ET DE DESOLIDARISATION DU REVETEMENT DE SOL

Figure 3. FISSURATION ET DÉCOLLEMENT DES CARRELAGES DE SOL DANS L'HABITAT



NUANCES & COULEURS



DELITEMENTS ET ECLATEMENTS



LES EFFETS DU GEL



DESORDRES STRUCTURELS

LES EFFETS DU GEL



écaillage, pelliculage des revêtements intérieurs



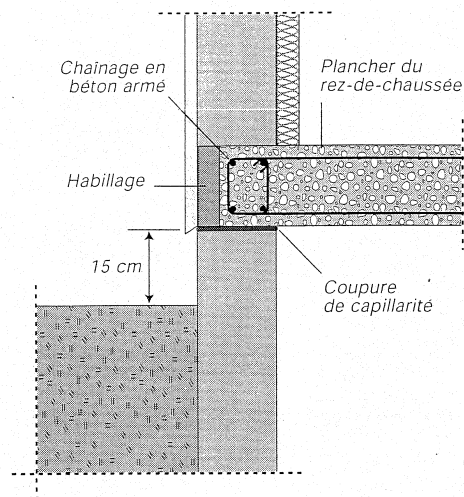
écaillage, pelliculage, desquamation en intérieur



PIERRE DE BUXY

**Taux d'humidité :
70 à 90%**

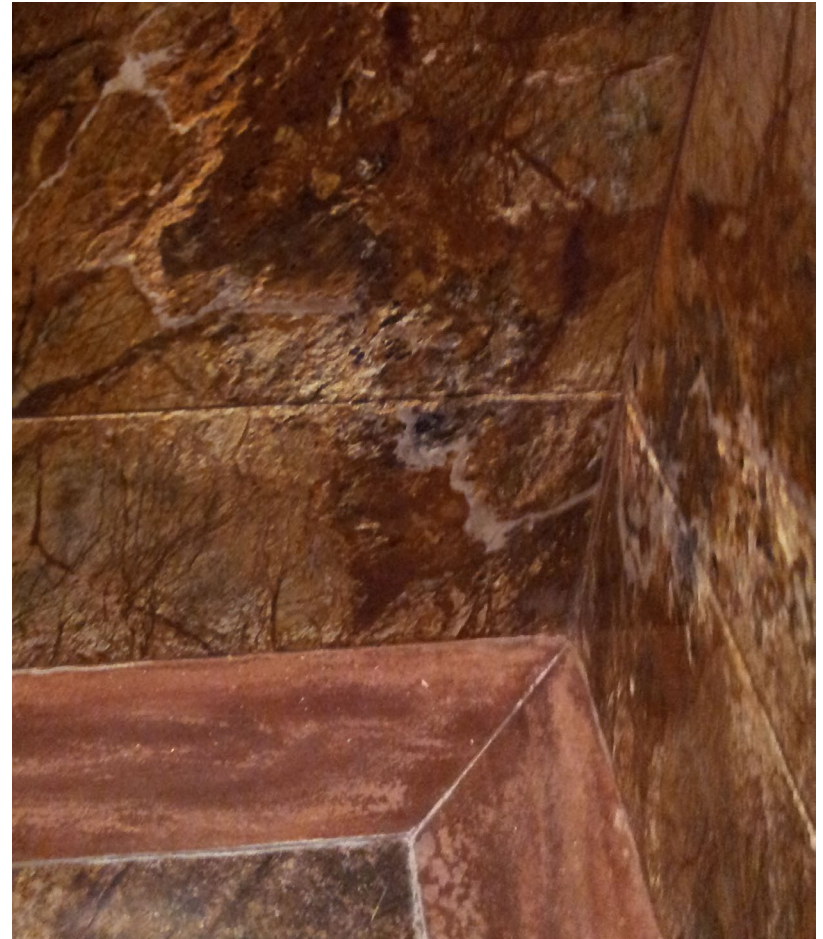
ABSENCE DE COUPURE DE CAPILLARITE SOUS LE REVETEMENT DE SOL INTERIEUR



**PROTECTION CONTRE LES
REMONTEES D'HUMIDITE
DU SOL Selon DTU 20.1**

Écaillage pelliculage desquamation

revêtement intérieur (cabine de douche)



EFFLORESCENCES



**DEPOTS BLANCHATRES
A LA SURFACE DE LA
PIERRE APPARAISSANT
DANS LES HEURES
SUIVANT CHAQUE PLUIE**

**ANALYSES DU LABORATOIRE
CTMNC**

**SULFATE DE CALCIUM
 CaSO_4**

**DE CONSISTANCE FLOCONNEUSE,
CES SELS S'ELIMINENT PAR
SIMPLE RUISSELLEMENT D'EAU**

REACTIONS PHYSICO-CIMIQUES

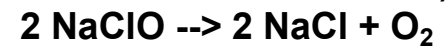
EFFLORESCENCES



**EFFLORESCENCES
BLANCHES POUFREUSES**

**CONSTITUEES DE NaCl
(CHLORURE DE SODIUM)**

**EAU DU BASSIN ASSAINIE
AUX PASTILLES DE « SEL »
(HYPOCHLORITE DE SODIUM)**



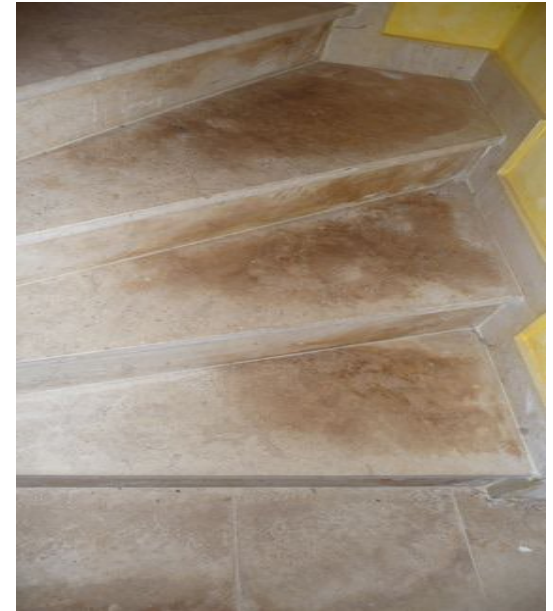
**AMBIANCE CLIMATISEE
(TEMPERATURE ET HYGROMETRIE)**

EFFLORESCENCES et CARBONATATION



- **Dissolution des alcalins libres du ciment:**
$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$$
- **Migration gravitaire des eaux chargées des d'hydroxydes**
- **Résurgence à l'air libre par débordement**
- **cristaux de carbonates néoformés par réaction entre les hydroxydes et le gaz carbonique de l'air :**
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

EFFLORESCENCES ET TACHAGE



REACTIONS PHYSICO CHIMIQUES

LES SELS

SELS	SODIUM	POTASSIUM	MAGNESIUM	CALCIUM
CHLORURES	NaCl (halite)	KCl (Sylvite)	MgCl ₂ , 6H ₂ O	CaCl ₂ , 6H ₂ O
SULFATES	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	MgSO ₄ , H ₂ O epsomite	CaSO ₄ , 2H ₂ O gypse poudre blanche peu soluble
NITRATES	NaNO ₃	KNO ₃ (salpêtre) flocons blancs Filamenteux	Mg (NO ₃) ₂ , 6H ₂ O	Ca (NO ₃) ₂ , 4H ₂ O
CARBONATES	Na ₂ CO ₃ , H ₂ O NaHCO ₃ natron		MgCO ₃ , 3H ₂ O	CaCO ₃ Calcite, aragonite cristallisée

CONTAMINATIONS

ORGANISMES BIOLOGIQUES

LICHENS ALGUES BACTERIES



LES TRAITEMENTS DE SURFACE HYDROFUGES, OLEOFUGES et MINERALISANTS



LES OUVRAGES EN PIERRE NATURELLE

LES REVETEMENTS MURAUX

JEAN KARPEL

INGENIEUR INSA GENIE CIVIL ET URBANISME
EXPERT DE JUSTICE PRES LA COUR D'APPEL DE PARIS

3^{ème} règle... de l'art de la mise en œuvre

NF-DTU 55.2 Pose attachée
NF-DTU 52.2 Pose scellée

LES CONTRAINTES MECANIQUES ET CLIMATIQUES

- 1/ Déformations, dilatations, propres et différentielles,
- 2/ Chocs soubassements- résilience
- 3/ Contraintes thermiques : le gel et l'enseuillement
- 4/ Fixations mécaniques garantes de la stabilité et de la libre déformation
pierre/support
- 5/ Décohésion (marbres cristallins)
- 6/ Délitement, dégarnissement des veines et stylolithes
- 7/ Relâchement des contraintes tectoniques (fentes et fissures)

EXEMPLE DE LA DILATATION DE LA PIERRE

Module d'élasticité dynamique (E) : Pierre de Lens : 35 000 MPa Acier : 210 000 MPa

- La déformation (allongement/raccourcissement)

Exemple : $\varepsilon = \Delta L / L = 0,18 \text{ mm/m}$ avec $\delta = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m/m} \cdot ^\circ\text{C}$, $\Delta T = 30^\circ\text{C}$

$$(\Delta L / L = \delta * \Delta T)$$

- Les contraintes générées par la déformation empêchée

$$\text{(Loi de Hooke)} \quad \sigma = E * \varepsilon$$

$$\sigma = 35000 * 0,18 \cdot 10^{-3} = 6,3 \text{ MPa} \simeq 63 \text{ daN/cm}^2$$

$$F = \sigma * S = 63 * 100 = 6300 \text{ daN} \quad (S=100 \text{ cm}^2)$$

LES REACTIONS CHIMIQUES

L'EAU EST LE VECTEUR DE LA DEGRADATION MAIS N'EN EST PAS LA CAUSE

1. Pluies acides (H_2SO_4), ruissellements : désagréations superficielles, éclats, délitements, dissolution du calcaire, dégarnissement veines, stylolithes,
2. Embruns marins, (chlorures, ...) : désagréations superficielles, perte matière
3. Remontées capillaires : taches d'humidité, cristallisations de sels, désagréations superficielles, développement micro-organismes, (bactéries, champignons, lichens)
4. Tachage : par les liants en contact (ciments, mastics élastomères, plâtre,..)
par dissolution des minéraux organiques par les alcalins
par migration des solutions aqueuses dans le milieu perméable
par colmatage des suies, décoloration,

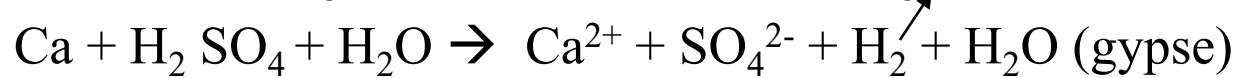
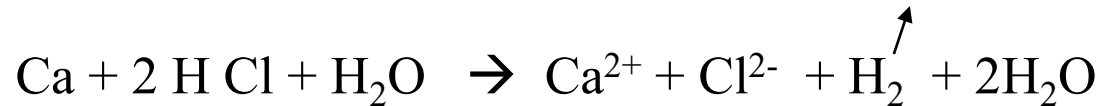
Hôtel Huis Ter Duin (Hollande)

Revêtement en pierre de Savonnières

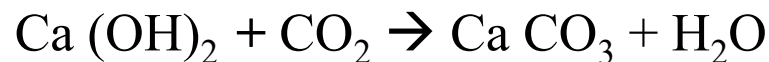
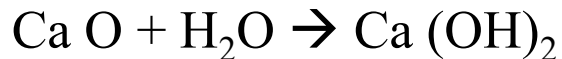


REACTIONS CHIMIQUES SUR LE CALCAIRE

Les réactions acides



Les réactions alcalines (ciments par exemple)



LA RESISTANCE AUX CHOCS DES PIERRES ATTACHEES

- DTU 55.2 : obligation de renforcer les soubassements en fonction de leur exposition aux chocs et de la destination de l'ouvrage
- LES NORMES D'ESSAIS DE CHOC : NF P 08 301 et 302
- Exemple : exemple d'une exposition Q4 :
ép. 40 mm avec $R_a > 100$ daN et 30 mm avec $R_a > 150$ daN

FACADE EN MARBRE BLANC DE CARRARE



Façade agrafée

Chevilles zamac + fil zintane
+ polochons ciment blanc

Blanc Statuarietto

Construction de 1972
Neuilly sur Seine

Absence/insuffisance de fractionnement



REVETEMENT DE FACADE EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE



REVETEMENT DE FACADE EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE



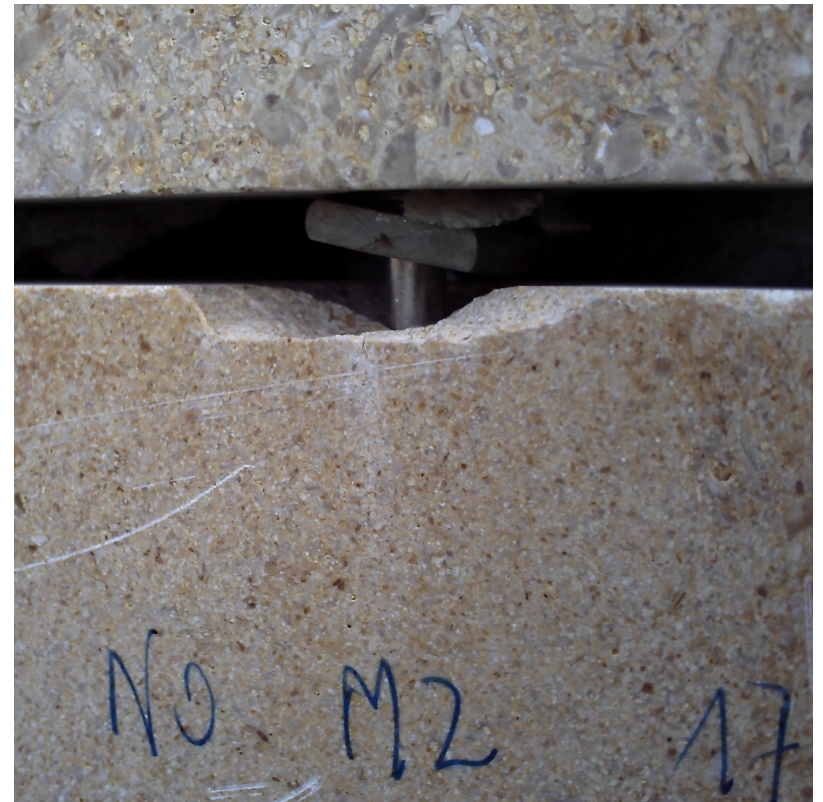
REVETEMENT DE FACADE EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE



POSE ATTACHEE SUR OSSATURE INTERMEDIAIRE



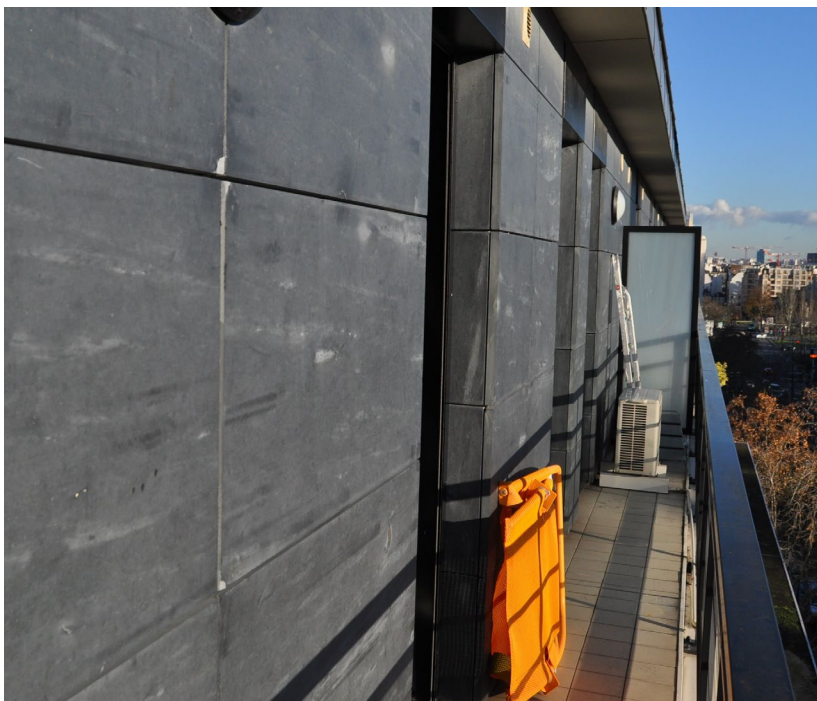
POSE ATTACHEE SUR OSSATURE INTERMEDIAIRE



Tachage par le silicone



Revêtement de façade attachée en ardoise espagnole





REVETEMENT DE FACADE COLLEE



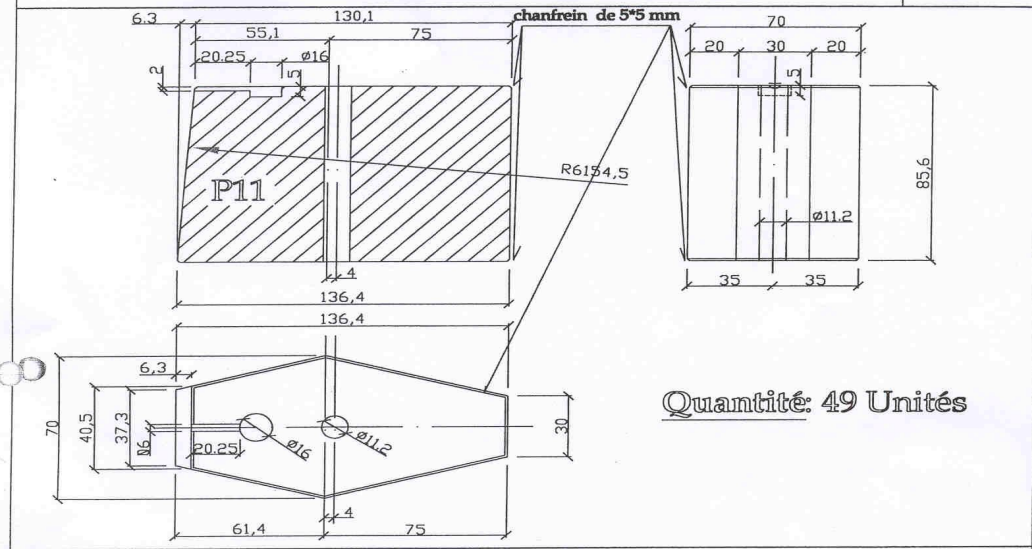
PIERRE MASSIVE PRECONTRAINTE



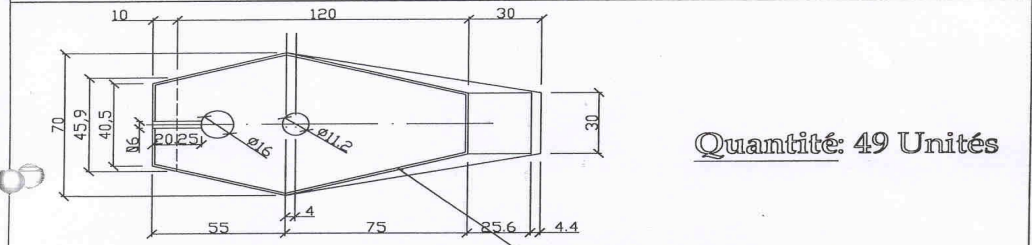
Elévation
Pierre de Lens

Soubassement
Montcaume

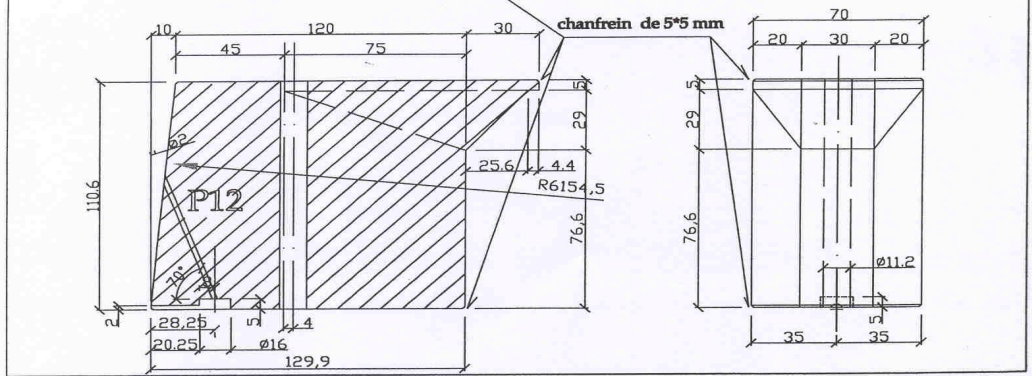
64 colonnes
Hauteur 16 m



Quantité: 49 Unités



Quantité: 49 Unités



Pièce courante
 logement pour
 bracon et
 évidement central

Pièce de tête
 avec trou incliné
 pour remplissage au
 mortier du logement
 du bracon

Aire de stockage des pièces emballées



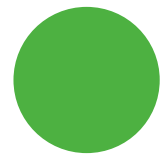
Colonnes terminées équipées des pièces métalliques d'appui de la couverture et des bracons pour verrières



PIECE D'APPUI DE LA COUVERTURE



MERCI DE VOTRE ATTENTION



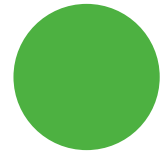
Pierres attachées

Murs doubles





- Les documents de références
- Les grands principes des ouvrages
- La justification des ouvrages situés en zones sismiques



Pierres attachées



Pierres attachées / Documents de référence

- NF DTU 55.2 P1-1 – Cahier des clauses techniques types (CCT)
- NF DTU 55.2 P1-2 – Critères généraux de choix des matériaux (CGM)
- NF DTU 55.2 P2 – Cahier des clauses administratives spéciales types (CCS)
(mise en oeuvre d'une ossature métallique uniquement aux points singuliers)
- Avis technique de système de bardage rapporté (ex VETISOL VETICLIP) ou de vêtture (ex ROCAMAT VET2)
(présence d'une ossature métallique ou d'une fixation traversante)
- Avis technique de système de patte attache (ex HALFEN HRM)



Pierres attachées / Grands principes

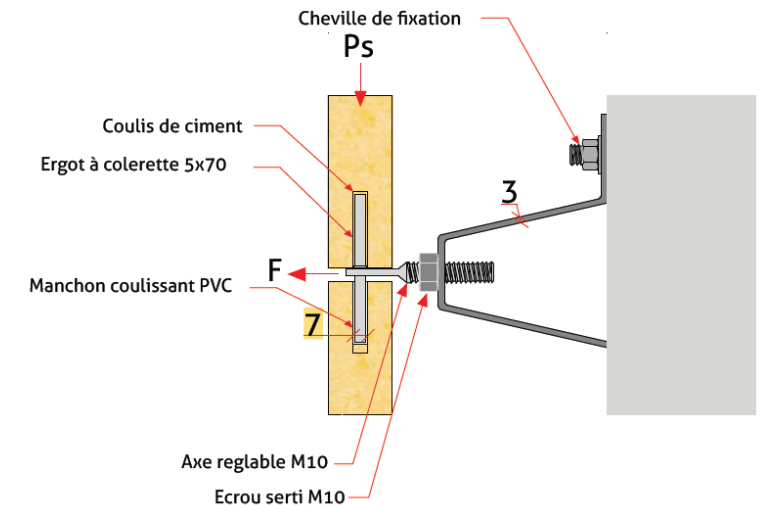
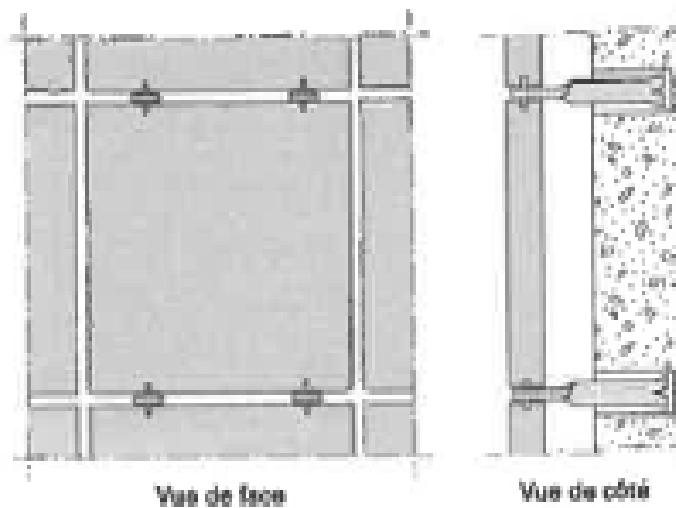
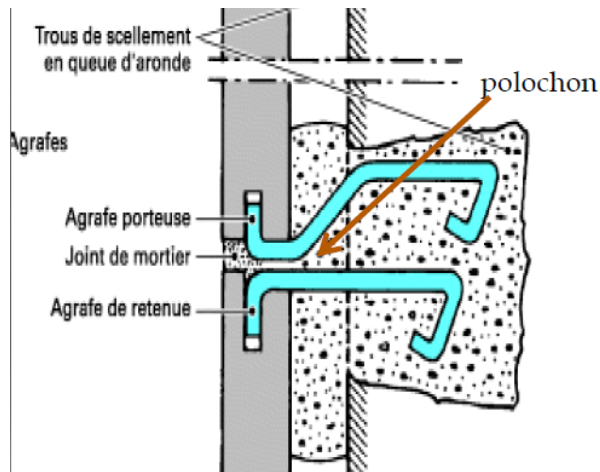
- **Matériaux:**

- Pierres répondant aux spécifications de la norme NF B 10-601 (prescriptions d'emploi reprise en annexe A)
- Agrafes en acier inox austénitique (critère d'évaluation mécanique reprise en annexe B)
- Ossature éventuelle en aluminium ou en acier inox austénitique
- Mastics pâteux à extruder conformes à la norme NF EN ISO 11600
- Mortier de jointoiment de recette ou pré dosé (essai de compatibilité mastic/mortier avec pierre naturelle repris en annexe D)



Pierres attachées / Grands principes

- Aptitude de la paroi support à recevoir le revêtement (pose sur maçonneries creuses ou de granulats courants ou légers)
- Attache avec polochon, attache scellée, attache fixée mécaniquement





Pierres attachées / Grands principes

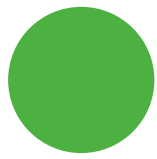
- Hauteurs d'ouvrage en fonction du type d'attache et de la paroi support (CCT - §5.5 - tableau 1)

		supports maçonnerie		supports béton banché	
		situations autorisées	hauteur maximale (m)	situations autorisées	hauteur maximale (m)
Attaches avec polochons	joints fermés	a, b, ou c	28	a, b, c ou d	28
Pose par attaches métalliques sans polochon ou pose sur ossature intermédiaire	joints fermés	a, b, c ou d	28	a, b, c ou d	28
	joints ouverts	a, b ou c	50	a, b ou c	100
		d	28	d	50

Nota: joints fermés limités à 28m suite aux risques de report de charges et de manque d'efficacité de la lame d'air

NOTE 3 Les situations a, b, c et d sont, à la date de publication du présent document, définies dans la partie 3 du DTU 20.1.

- Un lame d'air ventilée de 2 cm minimum est ménagée entre le revêtement et le support ou l'isolation



Pierres attachées / Grands principes

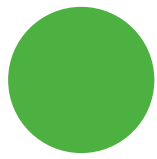
➤ Conditions géométriques sur les pierres

- ✓ surface maximale $\leq 1 \text{ m}^2$
- ✓ plus grande dimension $\leq 1.4 \text{ m}$
- ✓ Longueur/largeur < 3
- ✓ Épaisseur maximale des pierres de 80 mm pour pose sans polochon (60 mm pour pose avec polochon)
- ✓ Épaisseur minimale des pierres de 27 mm
- ✓ Épaisseur minimale des pierres de 20 mm si hauteur maximale de l'ouvrage de 6 m et largeur minimum de pierre de 600 mm
- ✓ Condition sur la résistance aux attaches dans la pierre pour la pose en zones exposées aux chocs



Pierres attachées / Grands principes

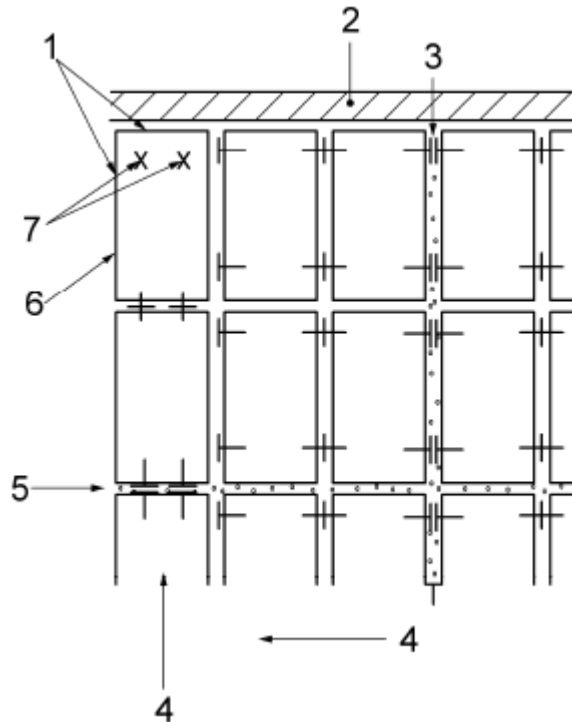
- **Conditions sur les attaches et les ergots**
 - ✓ **attache mécanique répondant aux critères d'évaluation de l'annexe B du CGM (limites de déformation sous charge verticale, sous charges horizontales de compression et de traction et sous charges combinées)**
 - ✓ **Diamètre de l'ergot (de 4 à 6 mm) en fonction de l'épaisseur de la pierre**
- **Conditions sur le système pierre/attache**
 - ✓ **La jonction pierre/attache répondant aux critères d'évaluation de l'annexe A2 du CCT (résistances en flexion de la pierre et à la liaison ergot/pierre)**



Pierres attachées / Grands principes

- **Conception:**

- **Pose dans les chants verticaux**



Légende

1 Bords libres

2 Bandeau

3 Joint souple vertical de fractionnement

4 Sens de pose

5 Joint souple horizontal de fractionnement

6 Retour d'angle du bâtiment

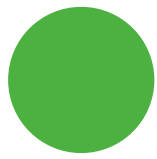
7 Attaches « en culotte »

Largeur des joints:

- 6 mm minimum pouvant être réduit à 3 mm au niveau de l'attache,
- 15 mm maximum.

Joint de fractionnement fermés au mastic dans cas des joints courant fermés au mortier:

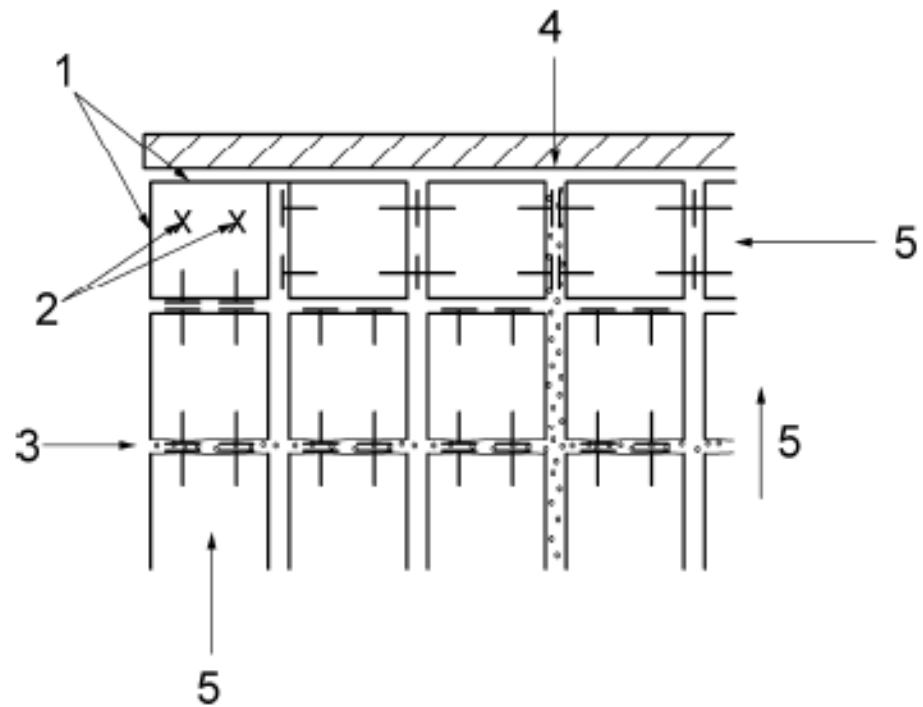
- fractionnement horizontal tous les 3 m,
- fractionnement vertical tous les 8 m et à moins de 3 m des angles des façades.



Pierres attachées / Grands principes

- **Conception:**

- **Pose dans les chants horizontaux**



Légende

- 1 Chants vus
- 2 Attaches en culotte
- 3 Joint souple horizontal de fractionnement

- 4 Joint souple vertical de fractionnement
- 5 Sens de pose



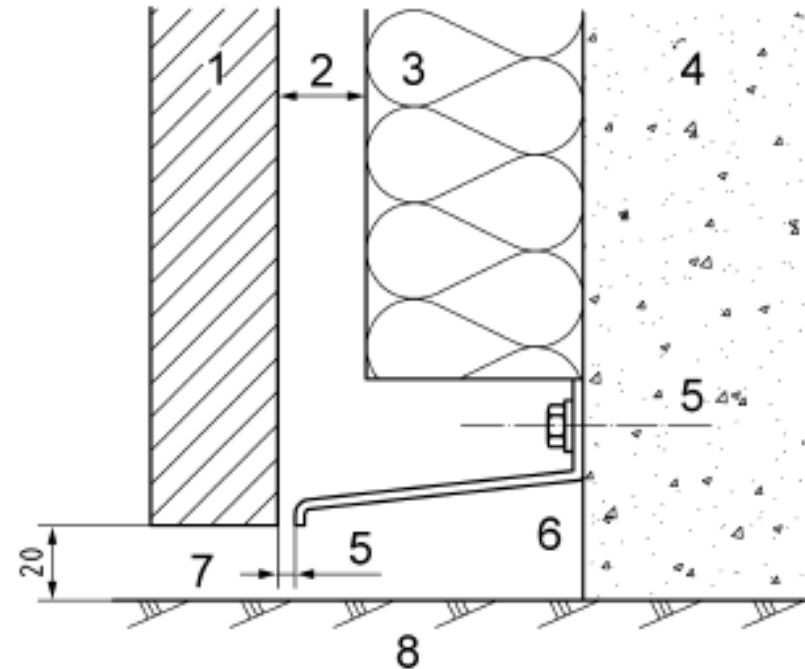
Pierres attachées / Grands principes

➤ Points singuliers

✓ départ

Légende

- 1 Pierre
- 2 Vide minimum de 20 mm
- 3 Isolant
- 4 Béton
- 5 Cheville
- 6 Grille anti-rongeurs perforée
- 7 Joint vide
- 8 Sol





Pierres attachées / Grands principes

➤ Points singuliers

✓ acrotère

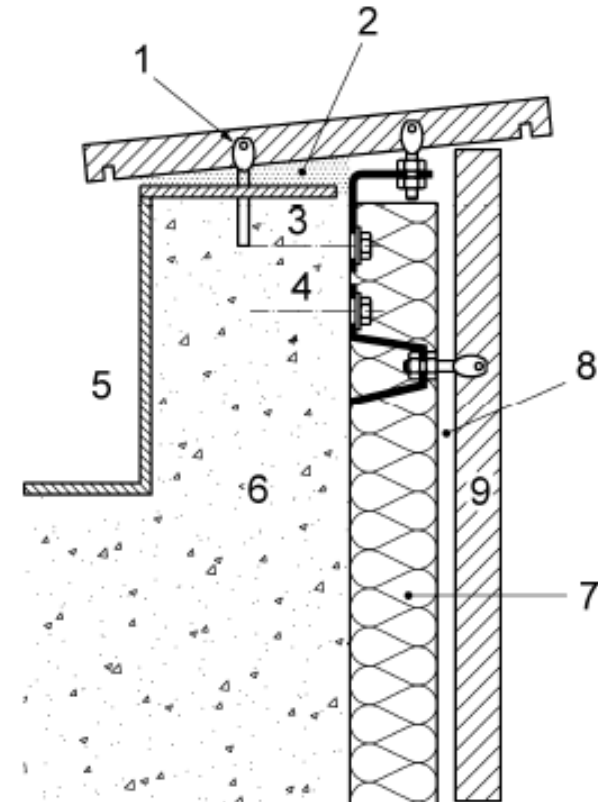
Nota: chaperon avec:

- pose à bain de mortier en plus des attaches,
- joints souples de fractionnement dito façade,
- pente minimale de 10% orientée vers la terrasse,
- gouttes d'eau de chaque coté.

Légende

- 1 Tige scellée inoxydable
- 2 Mortier
- 3 Cheville
- 4 Cheville

- 5 Etanchéité
- 6 Béton
- 7 Isolant
- 8 Vide minimum de 20 mm
- 9 Pierre





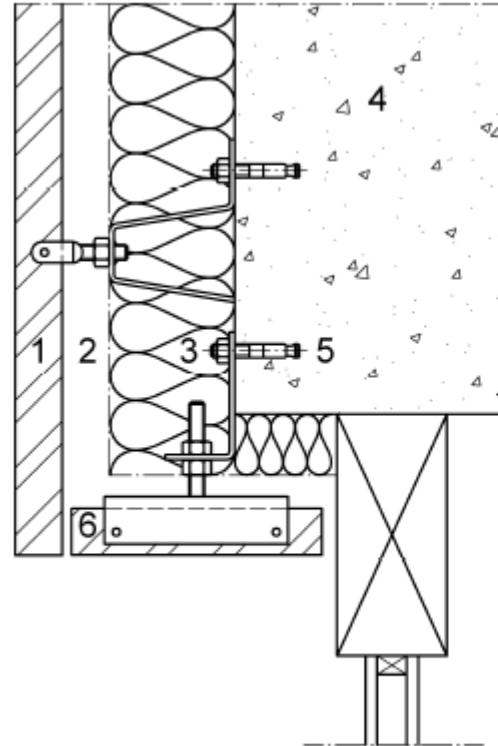
Pierres attachées / Grands principes

➤ Points singuliers

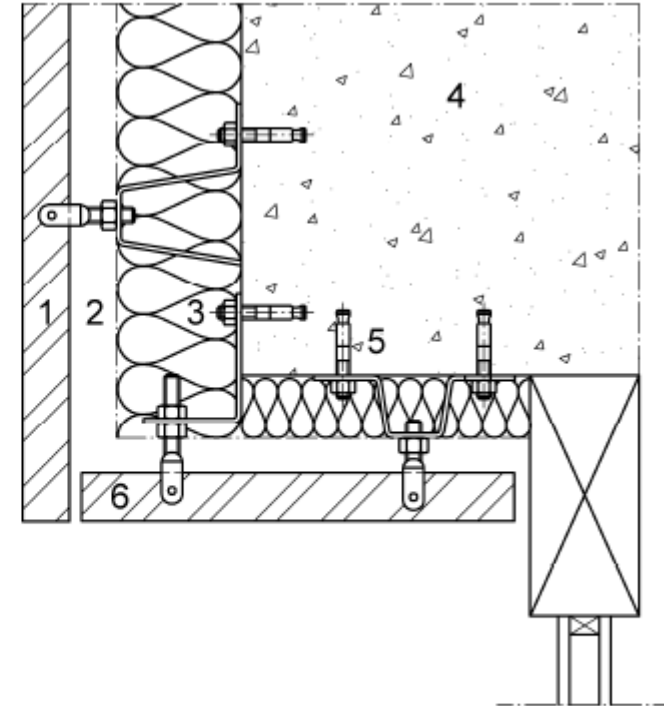
✓ menuiseries

Légende

- 1 Pierre
- 2 Vide minimum de 20 mm
- 3 Isolant
- 4 Béton
- 5 Cheville
- 6 Pierre en voussure



a) voussure à 1 fixation



b) voussure à 2 fixations

Nota: des pattes spéciales sont fabriquées pour traiter les points singuliers



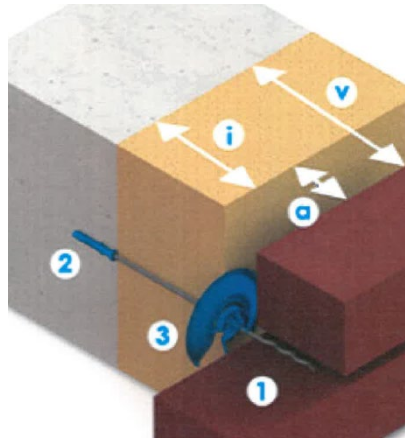
Murs doubles/ Documents de référence

- NF DTU 20.1 P1-1 – Cahier des clauses techniques types (CCT) (§3.1.14 Murs doubles – définition)

Les murs doubles sont constitués de deux parois parallèles séparées par une lame d'air et, éventuellement, d'un isolant. Les deux parois des murs doubles sont reliées entre elles par des attaches.

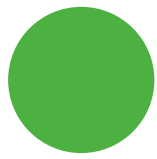
La pierre peut concerner le mur porteur intérieur ou la paroi non porteuse extérieure.

Nota: lorsque la paroi non porteuse extérieure est attachée, la paroi intérieure porteuse est en béton armé.



1 = mur extérieur non porteur
2 = mur intérieur porteur
3 = attache

i = épaisseur d'isolant
a = largeur de l'ame d'air
v = vide (isolant + lame d'air)



Murs doubles/ Documents de référence

- Les recommandations professionnelles RAGE « Murs doubles avec isolation thermique par l'extérieur » de Mars 2014
- NF DTU 20.1 P1-2 – Critères généraux de choix des matériaux (CGM)
- NF DTU 20.1 P2 – Cahier des clauses administratives spéciales types (CCS)

Observations:

- la norme NF DTU 20.1 et les recommandations professionnelles RAGE sont quant aux configurations de mise en œuvre de maçonneries de murs doubles avec parois extérieures de pierres hourdées (montées au mortier),
- la mise en œuvre de maçonneries de murs doubles avec parois extérieures en pierres attachées se rapprochent en conception et en réalisation de la mise en œuvre de pierres attachées selon la norme NF DTU 55.2.



Murs doubles/ Grands principes

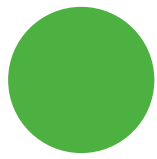
Les caractéristiques dimensionnelles maximales pour le **mur intérieur en pierres porteuses**:

trois assises minimum par étage;

- ✓ Les pierres coté intérieur porteuse ont une épaisseur supérieure ou égale à 15 cm
- ✓ si $15 \text{ cm} \leq \text{épaisseur} < 30 \text{ cm}$, alors élancement (longueur élément / hauteur d'assise) ≤ 3 ;
- ✓ si épaisseur $\geq 30 \text{ cm}$, alors élancement (longueur élément / hauteur d'assise) ≤ 5 .

Le choix de la résistance mécanique des éléments en pierre naturelle est déterminé par référence au NF DTU 20.1 P3. En maçonnerie porteuse, la résistance caractéristique en compression minimale est de 3 MPa. La résistance moyenne à la compression normalisée f_b exprimée en MPa, est déclarée par le fabricant selon la NF EN 771-6.

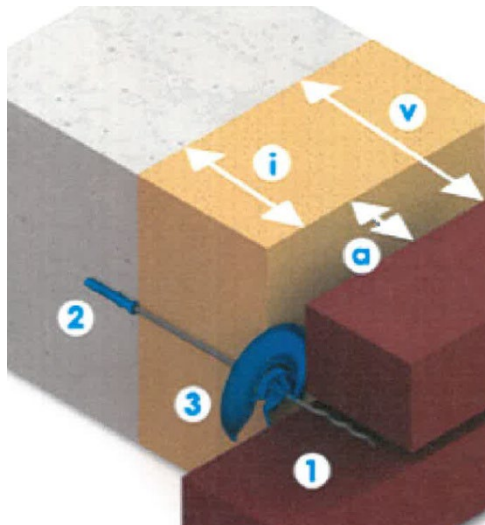
Nota: associées uniquement à paroi extérieur non porteuse en pierres hourdées.



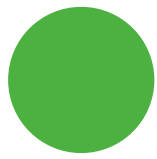
Murs doubles/ Grands principes

- **Matériaux:**

- Pierres conformes à la norme NF EN 771-6 et répondant aux spécifications de la norme NF B 10-601
- Pour les parois extérieures en pierres hourdées: les composants accessoires sont définis dans la série de normes NF EN 845



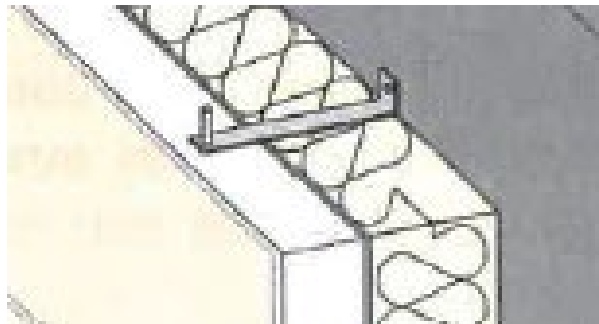
3 = attache (fil + cheville + rondelle)



Murs doubles/ Grands principes

- **Matériaux:**

- Pour les parois extérieures en pierres attaches:
 - ✓ plats d'épaisseur minimum de 3 mm en acier inox austénitique A2 ou A4 (couvre les classes d'exposition MX1 à MX4)
 - ✓ ergots diamètre 6 mm en acier inox austénitique



- Mastics pâteux à extruder conformes à la norme NF EN ISO 11600



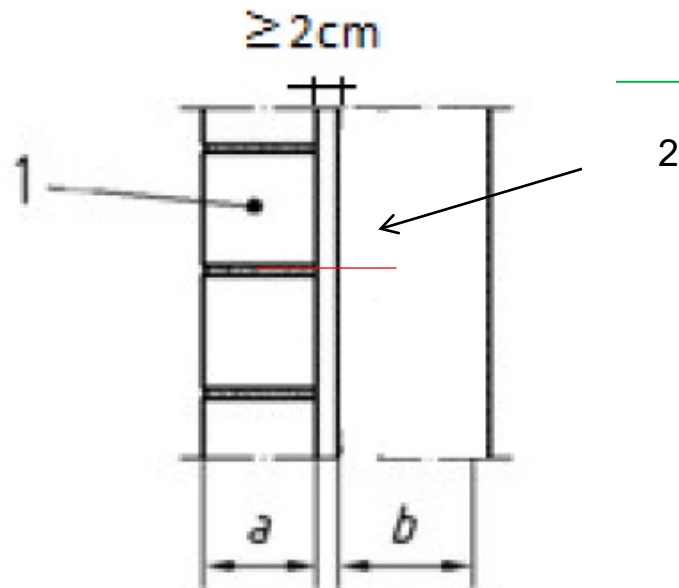
Murs doubles/ Grands principes

- Mortiers de montage ou de jointoiement de recette ou pré dosé définis au NF DTU 20.1 P1-2
- Pierres Hourdées
 - ✓ Le mur intérieur porteur est monté au mortier d'épaisseur 0.8 à 3 cm.
 - ✓ Le mur extérieur non porteur est monté au mortier d'épaisseur 0.3 à 1 cm.

Murs doubles/ Grands principes

Les caractéristiques dimensionnelles des **pierres extérieures non porteuses** répondent à deux types bien distinctes de mise en œuvre :

➤ Les pierres hourdées dont l'épaisseur brute est supérieure ou égale à 8 cm et inférieure ou égale à 20 cm; **Le poids propre de la pierre est repris en pied de paroi, le déversement et le vent sont repris par les attaches.**



2 Attache

1 Pierre naturelle

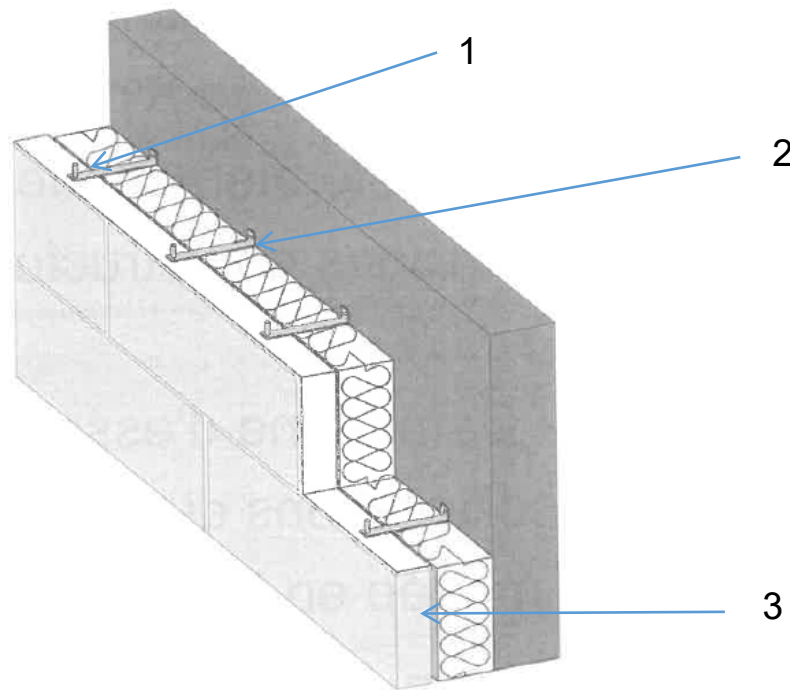
$8\text{ cm} \leq a \leq 20\text{ cm}$

$b \geq 15\text{ cm}$



Murs doubles/ Grands principes

- Les pierres attachées à une paroi support en béton dont l'épaisseur brute est supérieure ou égale à 8 cm et inférieure ou égale à 10 cm. **Le poids propre, le déversement et le vent sont repris par les attaches et les fixations mécaniques.**



1 Attache

2 Fixation mécanique

3 Paroi externe en pierre

$8 \text{ cm} \leq e \leq 10 \text{ cm}$



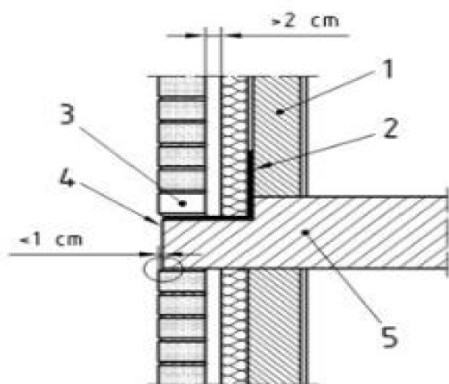
Murs doubles/ Grands principes

- Vérification d'un mur double avec paroi extérieure hourdée (cf §6.5.6 du NF DTU 20.1 P3)

Il existe des **dispositions forfaitaires** suivant l'épaisseur de la paroi externe non porteuse et du mode de repos.

Catégorie A1 : le bandeau où le chaînage est apparent

en tête de mur, un matage au mortier est mis en œuvre.

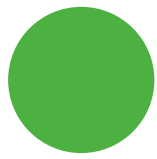


Paroi externe d'épaisseur comprise entre $8 \text{ cm} \leq e < 9 \text{ cm}$

Nombre de niveaux(*) La hauteur de la façade ne doit pas dépasser 8m(*)	
	A1
1	2/m ²
2 ou hauteur < 6 m (**)	2/m ²
2 ou hauteur < 8 m (**)	5/m ²

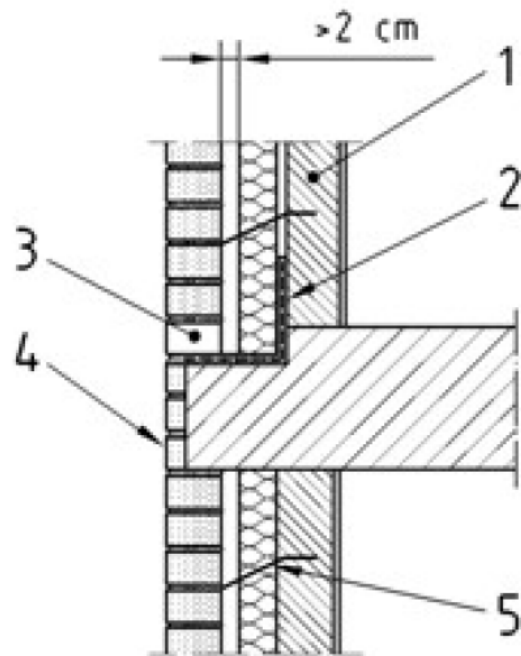
(*) Nombre de niveaux de hauteur courante devant lesquels file la paroi externe.

(**) Dans le cas de murs pignons, cette hauteur comprend celle de la pointe de pignon.



Murs doubles/ Grands principes

Catégorie A2 : le bandeau où le chaînage est masqué par un élément rapporté après coulage du béton (Figure 61) : l'épaisseur de cet élément est telle que la paroi extérieure repose sur le plancher sur les 2/3 au moins de son épaisseur ; pour les parois en pierre, pour lesquelles le raccord en partie supérieure est tel qu'il n'existe pas de risque de mise en compression, le repos peut être réduit à la moitié de l'épaisseur de la paroi. (Le repos du mur extérieur en pierres est équivalent à la catégorie A3) ∴. En tête de mur, un matage au mortier est mis en œuvre.



Paroi externe d'épaisseur comprise entre $9\text{ cm} \leq e < 15\text{ cm}$

Nombre de niveaux(*) La hauteur de la façade ne doit pas dépasser 10m (pour la catégorie A3, dans le cas d'un R+3, la hauteur de 10m peut être dépassée)	Repos		
	A1	A2	A3
1	2/m ²	2/m ²	3/m ²
2 ou hauteur < 6 m (**)	3/m ²	5/m ²	
2 ou hauteur < 8 m (**)	3/m ²	5/m ²	
3	3/m ² (***)		

(*) Nombre de niveaux de hauteur courante devant lesquels file la paroi externe

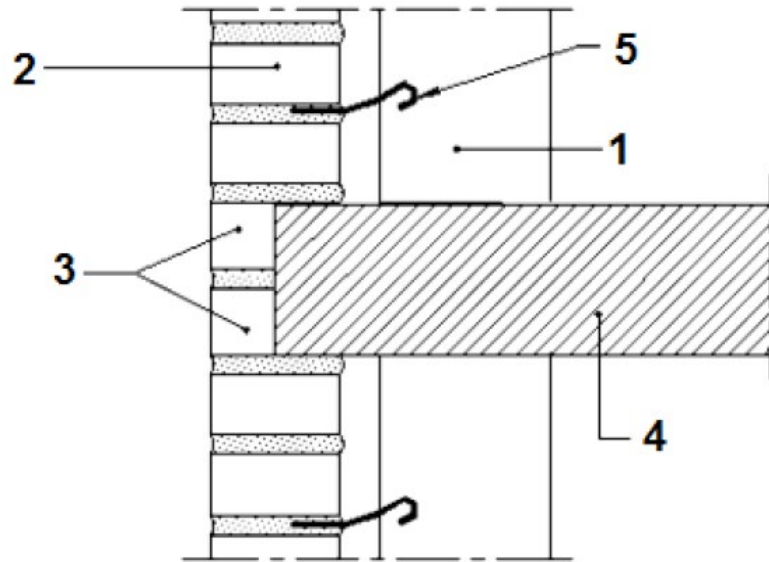
(**) Dans le cas de murs pignons, cette hauteur comprend celle de la pointe de pignon.

(***) Dans ce cas, en plus des trois attaches au mètre carré en partie courante, les attaches supplémentaires sont disposées au droit des éléments raidisseurs de la paroi interne (planchers, refends, etc.) à raison d'une par mètre.



Murs doubles/ Grands principes

Catégorie A3 : le bandeau où le chaînage est masqué par un habillage constitué de demi-éléments de maçonnerie (mulots) mis en fond de coffrage avant coulage du béton. Cette disposition n'est admise que pour les constructions d'au plus R + 3. En tête de mur, un matage au mortier est mis en œuvre.

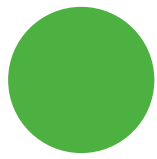


Paroi externe enduite d'épaisseur comprise entre $15 \text{ cm} \leq e \leq 20 \text{ cm}$

hauteur maximale entre points d'appuis. La hauteur de la façade ne doit pas dépasser 10m(*)	A1
1	2/m ²
2 ou hauteur < 6 m (**)	2/m ²
2 ou hauteur < 8 m (**)	2/m ²
>3	3/m ²

(*) Nombre de niveaux de hauteur courante devant lesquels file la paroi externe

(**) Dans le cas de murs pignons, cette hauteur comprend celle de la pointe de pignon.



Murs doubles/ Grands principes

Configurations sortant des catégories précédentes:

- la largeur de vide (lame d'air + isolant) est supérieure à 6 cm
- la hauteur de la façade est \leq aux valeurs indiquées ci-dessous,

alors

le nombre d'attaches peut être déterminée forfaitairement en fonction de la pression du vent.

(cf P1-3 tableau 15 repris ci-après)



Murs doubles/ Grands principes

Nombre forfaitaire d'attaches au mètre carré en fonction des pressions/dépressions de vent et de l'épaisseur de vide

Ep du vide (mm)	Pression/dépression de vent à l'ELU (N/m ²)						
	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000
60	5	5	5				
70	5	5	5				
80	5	5	5				
90	5	5	5				
100	5	5	5				
110	5	5	5				
120	5	5	5				
130	5	5	5				
140	5	5	5				
150	5	5	5				
160	5	5	5	7			
170	5	5	5				
180	5	5	5				
190	5	5	5				
200	5	5	5				
210	5	5	5				
220	5	5	5				
230	5	5	5				
240	5	5	5		8		
250	5	5	5		8	10	13
260	5	5	5		9	10	14
270	5	5	6	8	9	11	15
280	5	5	6	8	10	12	16
290	5	5	7	9	11	13	17
300	5	5	7	9	11	14	18

utilisable si les hypothèses suivantes sont vérifiées:

- Attaches de retenue: résistance moyenne de l'attache de 660N et diamètre de 4 mm
- Coefficient de sécurité de l'EC6: 2,2 (correspond à IL2)
- Vide (lame d'air + isolant) ≤ 300 mm
- $F_y = 450 \text{ MPa}$



Murs doubles/ Grands principes

➤ Pierres attachées du mur extérieur sur une **paroi intérieure en béton armé**

✓ **Conditions sur les attaches et les ergots**

Attache mécanique répondant aux critères d'évaluation de l'annexe B du CGM du DTU 55.2 (limites de déformation sous charge verticale, sous charges horizontales de compression et de traction et sous charges combinées)

✓ **Conditions sur le système pierre/attache**

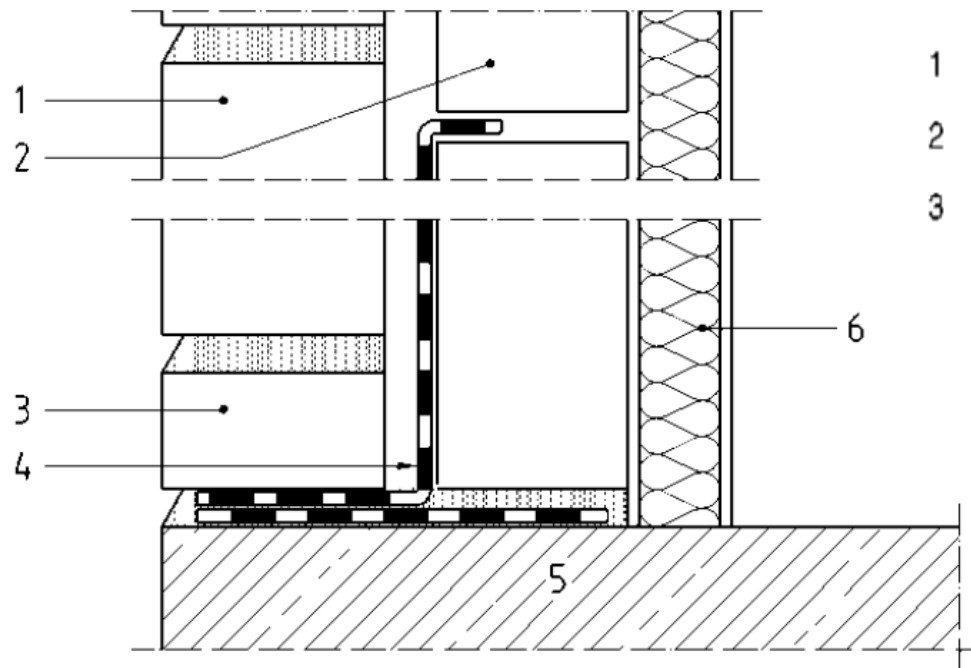
La jonction pierre/attache répondant aux critères d'évaluation de l'annexe A2 du CCT du DTU 55.2 (résistances en flexion de la pierre et à la liaison ergot/pierre)

Nota : la rédaction d'un référentiel spécifique CTMNC pour la technique des murs extérieurs en pierres attachées à une paroi intérieure en béton armé est à venir.



Murs doubles/ Grands principes

✓ Départ mur type IIb



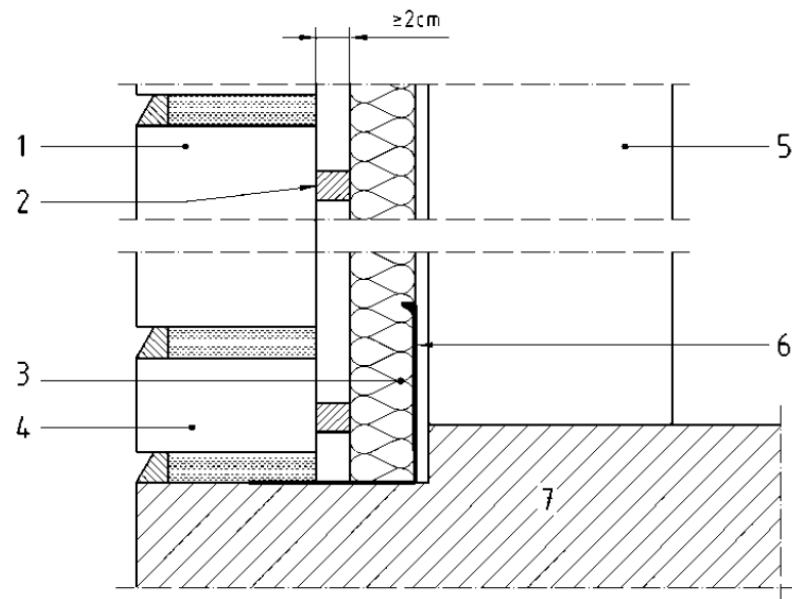
- 1 Paroi externe
- 2 Paroi interne
- 3 Joint vertical non garni

- 4 Feutre bitumé ou polyéthylène
- 5 Plancher
- 6 Isolant



Murs doubles/ Grands principes

✓ Départ mur type III



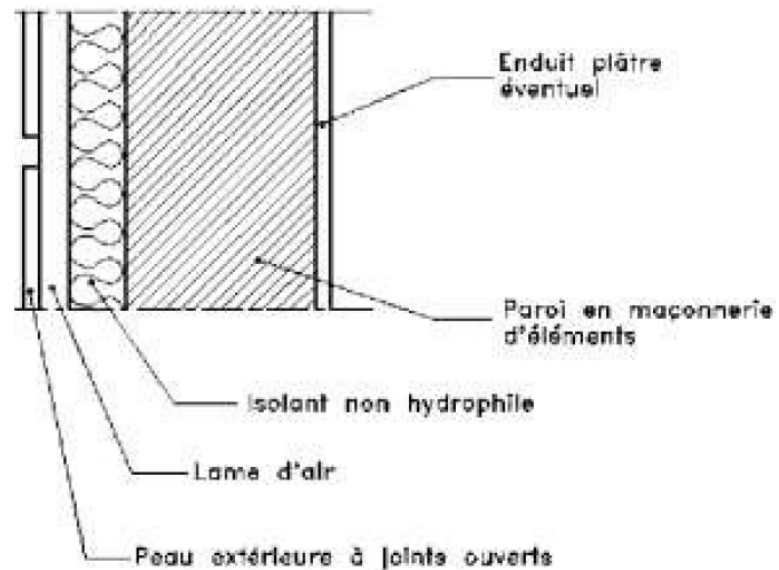
Légende

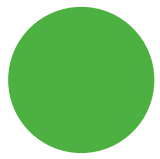
- | | | | |
|---|--|---|-----------------|
| 1 | Paroi externe | 5 | Paroi interne |
| 2 | Cale ou plot | 6 | Cornière en PVC |
| 3 | Isolant rigide ou semi-rigide non hydrophile | 7 | Plancher |
| 4 | Joint vertical non garni | | |



Murs doubles/ Grands principes

✓ Pierres attachées : mur type XIII





Murs doubles/ Grands principes

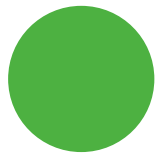
➤ Points singuliers

✓ Acrotère

Pas de figure

✓ départ

Pas de figure



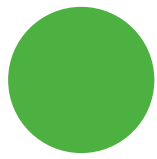
Pierres attachées / Grands principes

➤ Points singuliers

✓ menuiseries

Pas de figure

Nota: des pattes spéciales sont fabriquées pour traiter les points singuliers

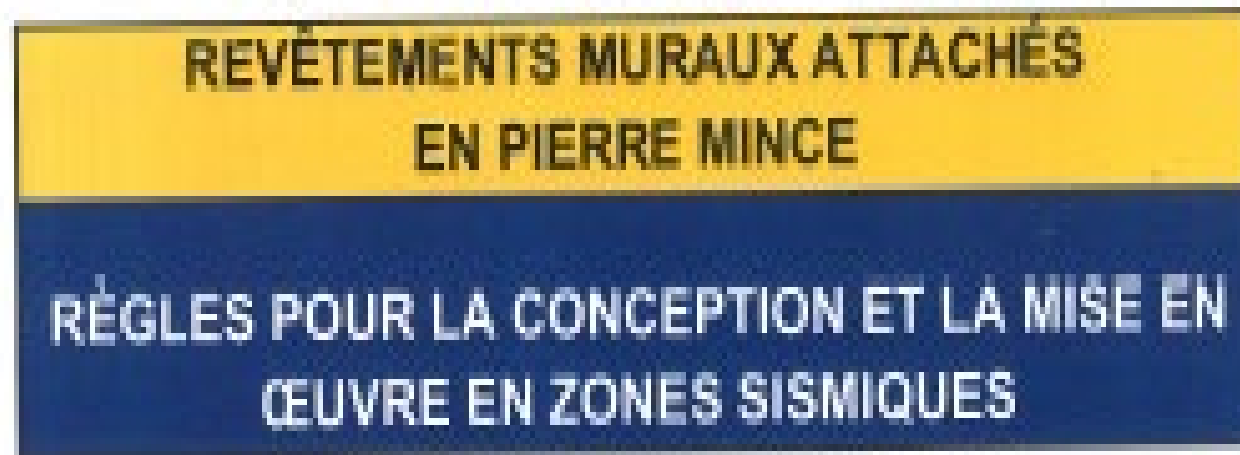


La justification des ouvrages situés en zones sismiques

➤ Référentiels

✓ Pierres attachées

Disponible sur le site <http://www.ctmnc.fr>





La justification des ouvrages situés en zones sismiques

Contexte de la justification

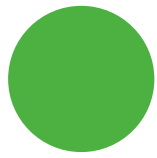
- Conservation des limites constructives des pierres du DTU 55.2 (dimensions, épaisseur, élancement)
- Vise les travaux neufs et la rénovation dans les conditions définies Arrêté du 15 septembre 2014
- Evaluation expérimentale de la raideur du corps de l'attache suivant l'annexe A du DTU 55.2 pour les sollicitations perpendiculaires au revêtement (risque de chocs entre l'attache et son support) et suivant l'annexe des règles pour les sollicitations parallèle au revêtement (risque d'entrechoquement des pierres)



La justification des ouvrages situés en zones sismiques

Limitations eu égard à l'état de l'art à la rédaction du document

- Limitation à la France Métropolitaine (zone de sismicité 5 non visée, pas d'accélération verticale)
- Limitation aux techniques proposées par le DTU 55.2 ayant fait l'objet d'essais en grandeur (exit les attaches avec polochons et les pattes scellées)
- Limitation aux parois supports dont il est possible de trouver un organe de fixation validée pour des emplois sismiques dans le cadre d'un ATE (exit les supports autres que le béton armé)
- Limitation à des conceptions de montage permettant de respecter les critères de justification (montage des pattes attaches dans les joints horizontaux, joints vides)



La justification des ouvrages situés en zones sismiques

Hypothèses du dimensionnement propres aux systèmes de pierres attachées

- Le procédé d'attaches métalliques satisfait aux conditions de ductilité et de redondance et autorise à prendre un coefficient de comportement $q_a = 2$ (qui est la valeur par défaut de l'EC 8.1 § 4.3.5.4) pour le calcul de sollicitation sismique horizontale F_a
- Le revêtement en pierre présente un comportement fragile à la rupture: les vérifications sur la résistance de la pierre se menées en prenant un coefficient de comportement $q_a = 1$ (soit à multiplier par 2 la valeur de F_a)
- Eu égard au rapport de dimensions entre une pierre par rapport à la hauteur de l'étage courant, la compatibilité avec déformations de la structure n'est pas à justifier
- Calcul enveloppe du coefficient sismique $S_a(z=H, T_a=T_1)$;
Possibilité toutefois de mener une étude plus fine si nécessaire



La justification des ouvrages situés en zones sismiques

Déroulements du dimensionnement

- Calculer la force sismique horizontale F_a au centre de gravité de la pierre en fonction de l'excitation sismique et du poids de la pierre ,
- Calculer les forces sur les attaches aux lieux de leur liaison en fonction du type de montage,
- Calculer les sollicitations dans les chevilles en fonction de la géométrie de l'attache
- Vérifier que ces forces sur les attaches sont dans leur domaine de résistance et n'engendrent pas déformation parasite (choc sur support)



La justification des ouvrages situés en zones sismiques

Déroulements du dimensionnement

- Vérifier que les efforts aux ergots et que les sollicitations en flexion sont dans le domaine de résistance de la pierre
- Vérifier que la largeur de joints verticaux est suffisante de telle sorte que les mouvements horizontaux des pierres parallèles au plan du revêtement n'induisent pas d'entrechoquement entre pierres
- Choisir des chevilles sous ATE ayant un domaine d'emploi et des caractéristiques satisfaisantes

La justification des ouvrages situés en zones sismiques

✓ Murs double en pierres attachées

Le §6 des recommandations professionnelles RAGE suggère des dispositions constructives mais pas de méthode de justification.

La disposition minimale de 5 attaches par m² n'a pas fait l'objet de recoupement par des essais en grandeur.

Nota : la rédaction d'un référentiel CTMNC spécifique pour la technique des murs extérieurs en pierres attachées à une paroi intérieure en béton armé est à venir.



La justification des ouvrages situés en zones sismiques

✓ Murs double en pierres hourdées

Le §6 des recommandations professionnelles RAGE suggère des dispositions constructives mais pas de méthode de justification.

Ces recommandations n'ont pas fait l'objet de recoupement par des essais en grandeur.



Pierres attachées / Murs double

Merci pour votre attention

ROCAMAT



« Bien construire en pierre naturelle »
12ième Journée Technique du CTMNC
le vrai prix de la pierre naturelle

Jean-Louis Marpillat

Paris 3 avril 2019

Le message

Dialoguer avec les professionnels pour optimiser l'usage et le cout de la pierre naturelle



Rocamat Saint Maximin analyse d'un prototype

L'industrie de la pierre

Casser un mythe, **la pierre c'est le luxe**



COGEMAD Château Louis XIV Louveciennes



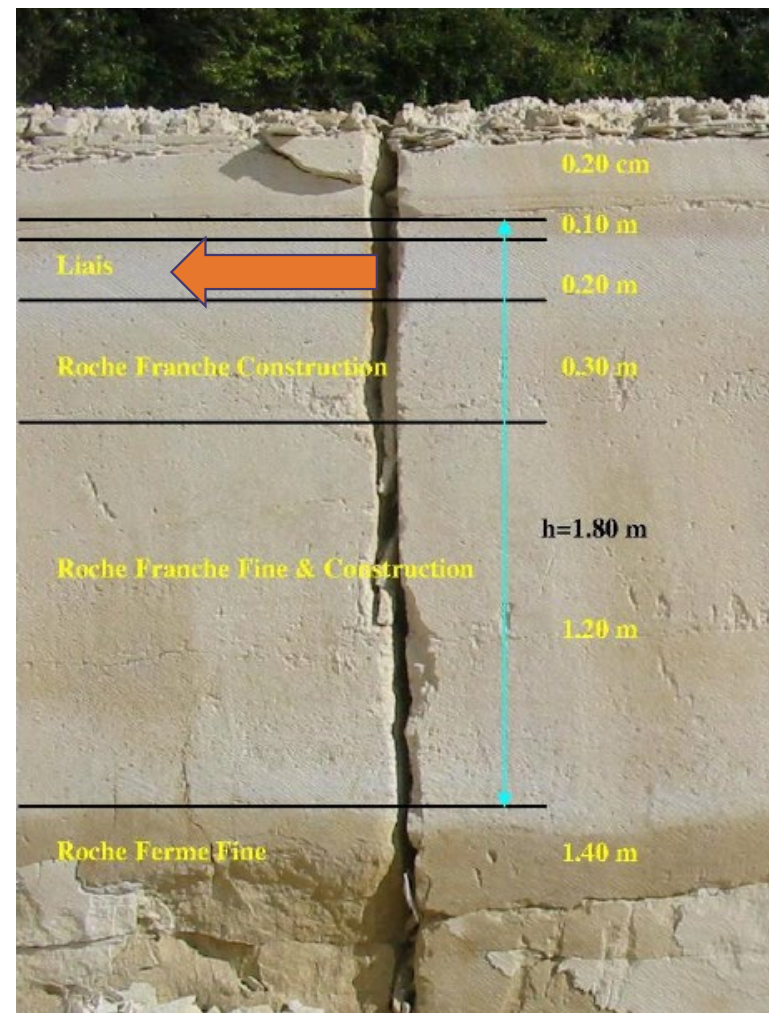
Ce qui influence le prix d'une fourniture en pierre naturelle

La matière

Plus une pierre est **rare** plus elle est **chère**



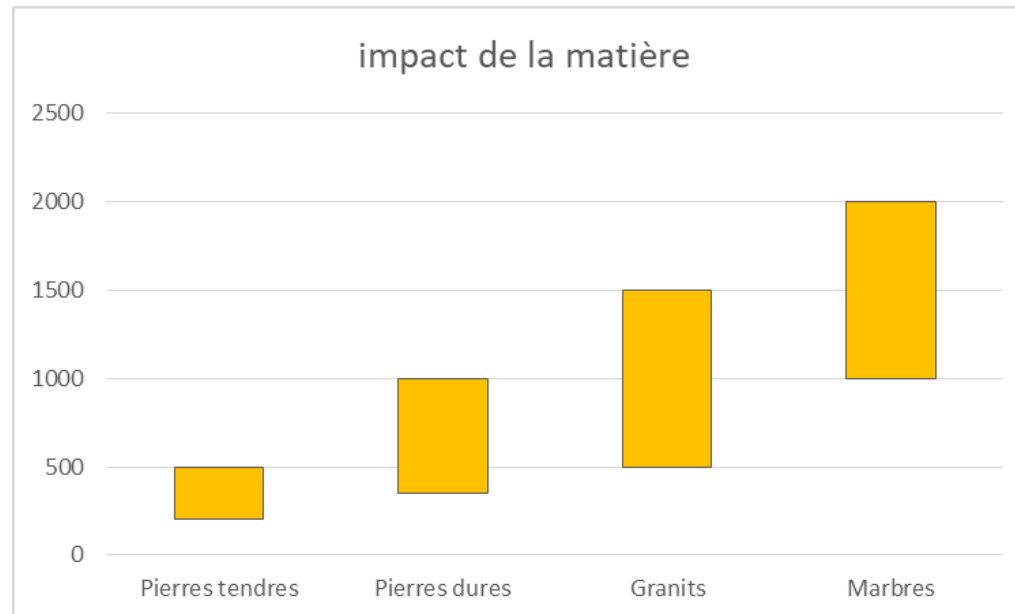
Blocs marbre Grand Antique ESCAVAMAR



Partie supérieure de la carrière de Saint Maximin

La matière

Plus une pierre est dure plus elle est chère
couts de fabrication, caractéristiques, capacité d'emploi



L'industrie de la pierre

La production de pierre est une industrie de découpe et d'usinage

moins de limites, pas d'effet de série

Transformation l'emporte sur la matière



Sciage châssis multilâmes ROCAMAT



Produits finis usines ROCAMAT



Produits finis usines ROCAMAT

Esthétique et sélection matière

La recherche d'une homogénéité d'aspect renchérit le prix de la fourniture

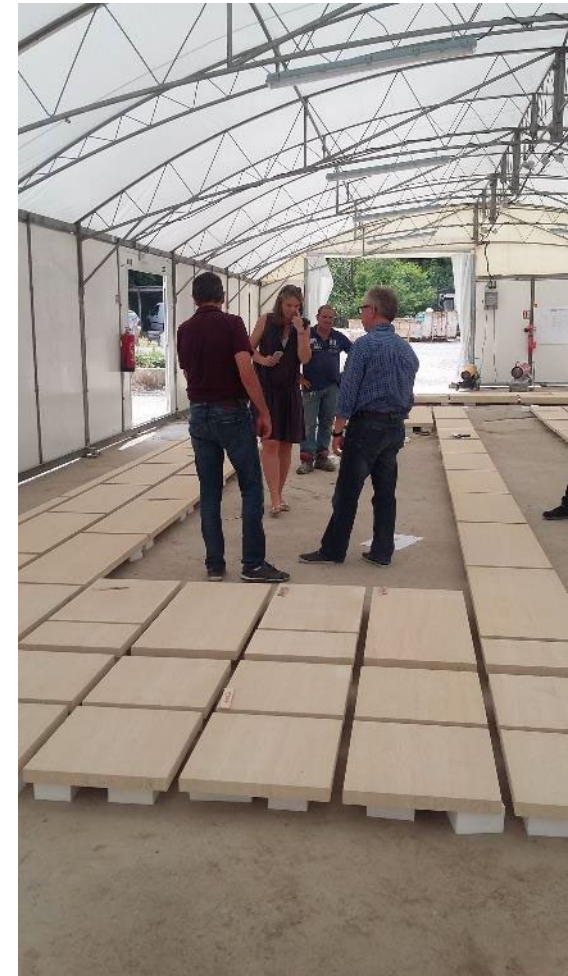


Esthétique et sélection matière

La recherche d'une homogénéité d'aspect renchérit le prix de la fourniture



Prototype pour projet ROCAMAT



Contrôle qualité client usines ROCAMAT

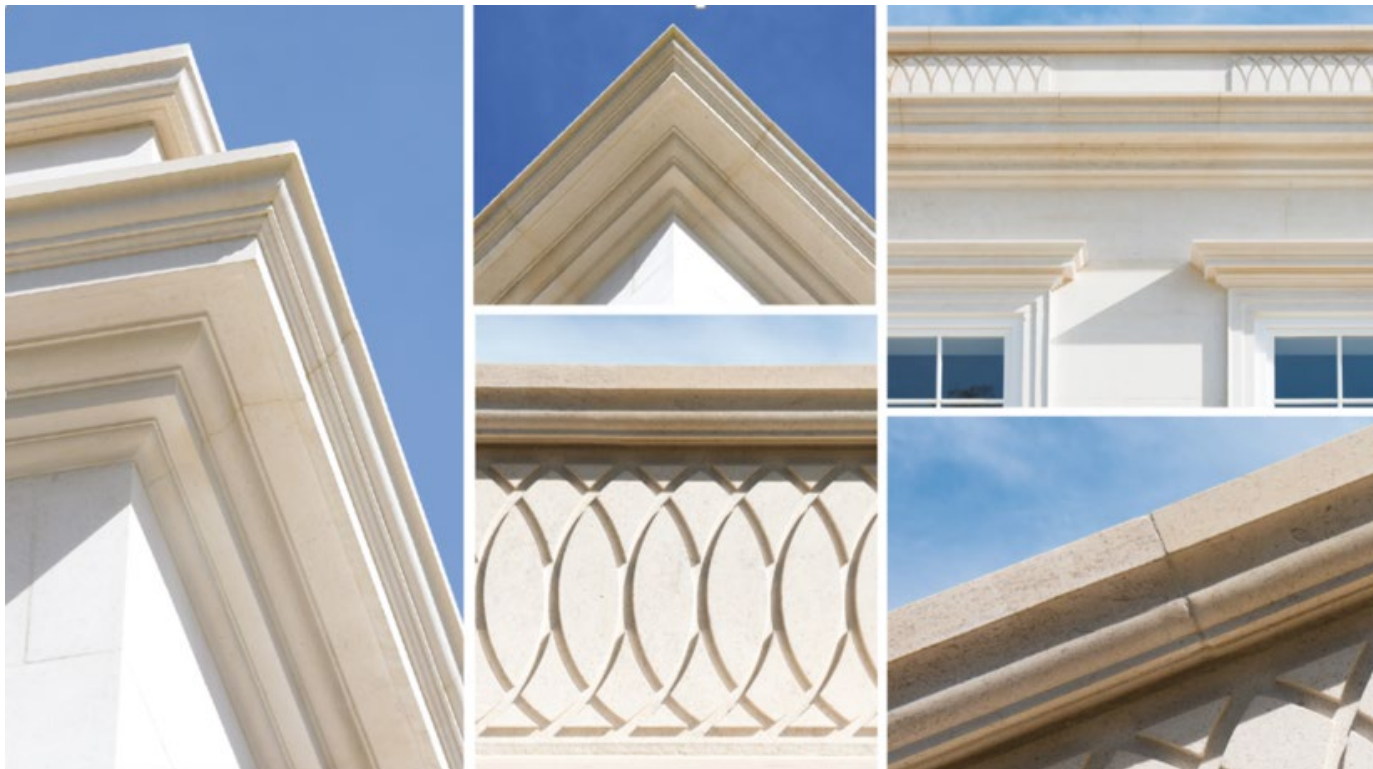
Esthétique et sélection matière

L'impact des états de surface sur le prix



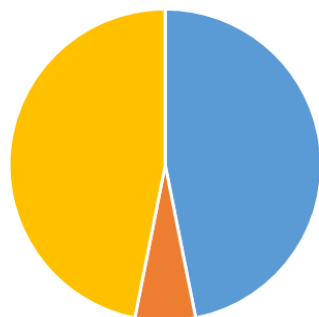
Les éléments de construction

- La taille des éléments
- La complexité des éléments
- L'adaptation aux techniques de fabrication (découpe et usinage)



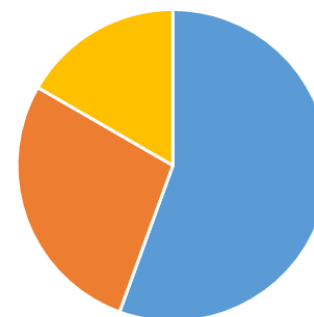
Influence de la mise en œuvre

Pierre Massive 350 à 600 €/m²



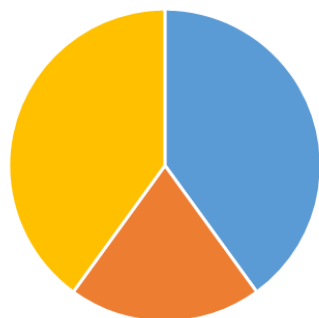
■ Mise en oeuvre ■ ingrédients ■ Pierre

Pierre Attachée 150 à 300 €/m²



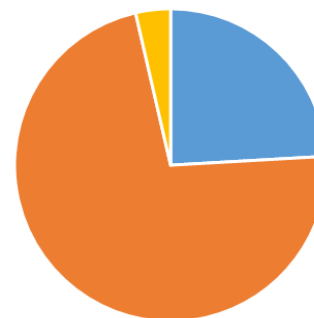
■ Mise en oeuvre ■ ingrédients ■ Pierre

autoporteur 250 à 400 €/m²



■ Mise en oeuvre ■ ingrédients ■ Pierre

NIDA 700 à 900 €/m²



■ Mise en oeuvre ■ ingrédients ■ Pierre

L'industrie de la pierre

- Payer le vrai prix, **préservons la filière**



Enfants esclaves carrière en Afrique



Optimisation

Dialoguer avec les professionnels pour optimiser l'usage de la pierre naturelle
Optimiser les couts annexes (transport)



Une fourniture optimisée



Une fausse bonne idée

ROCAMAT




Merci de votre attention



ROCAMAT Pierre Naturelle
84 rue Charles Michels
93200 SAINT DENIS
France
www.rocamat.fr

Labellisé par l'Etat



www.patrimoine-vivant.com

Suivez ROCAMAT sur

