03 AVRIL

BIEN CONSTRUIRE EN PIERRE NATURELLE

12E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

PHOTO : PASCAL BOIS/PANOVUES.COM

MERCREDI 3 AVRIL 2019

UNICEM / PARIS 17E

Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

12E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

BIEN CONSTRUIRE EN PIERRE NATURELLE

MERCREDI 03 AVRIL 2019

PARIS

UNICEM
3, RUE ALFRED ROLL
PARIS 17E

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
CTMNC

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

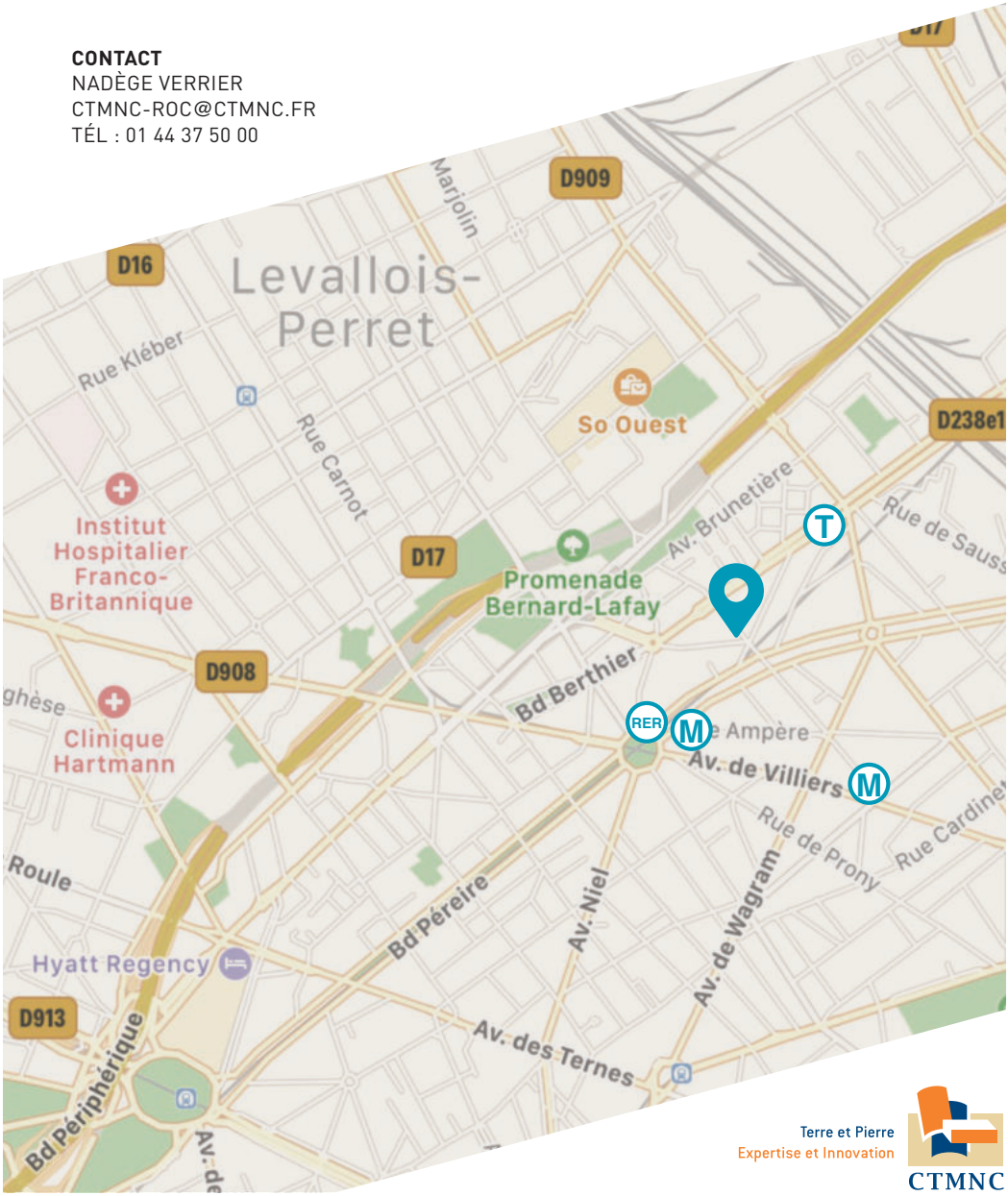
3, RUE ALFRED ROLL PARIS 17E

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



Terre et Pierre
Expertise et Innovation
CTMNC

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

1ère 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

2ème 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 3ème 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

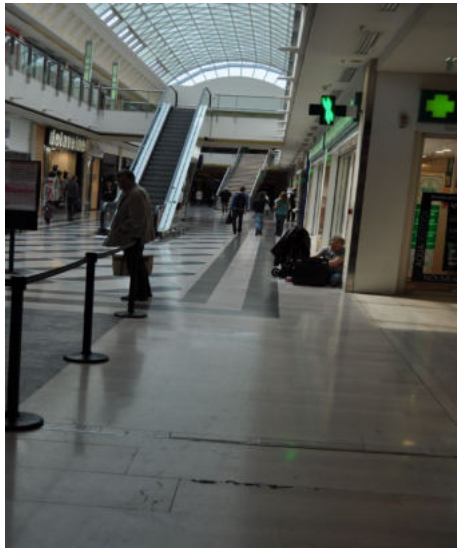
52.10 sous-couches sous chapes et carrelages

52.2 revêtements de sol collés

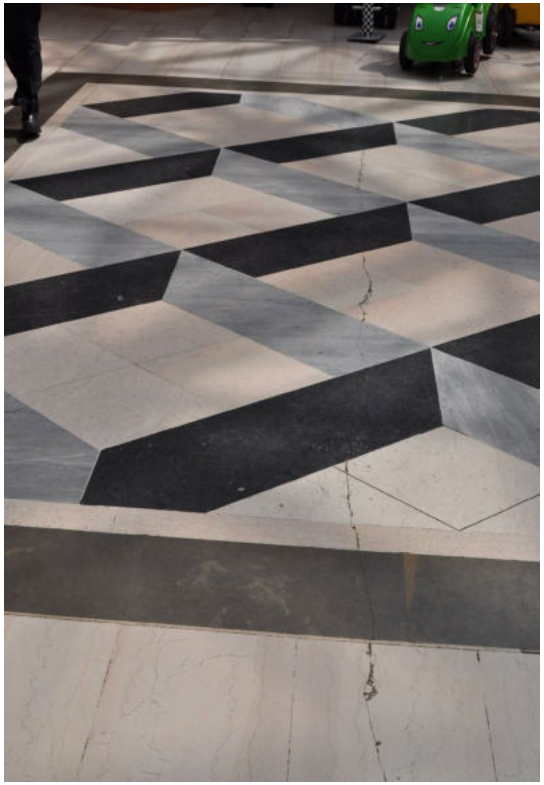
NF P 98 335

MAIS CELA NE SUFFIT PAS TOUJOURS

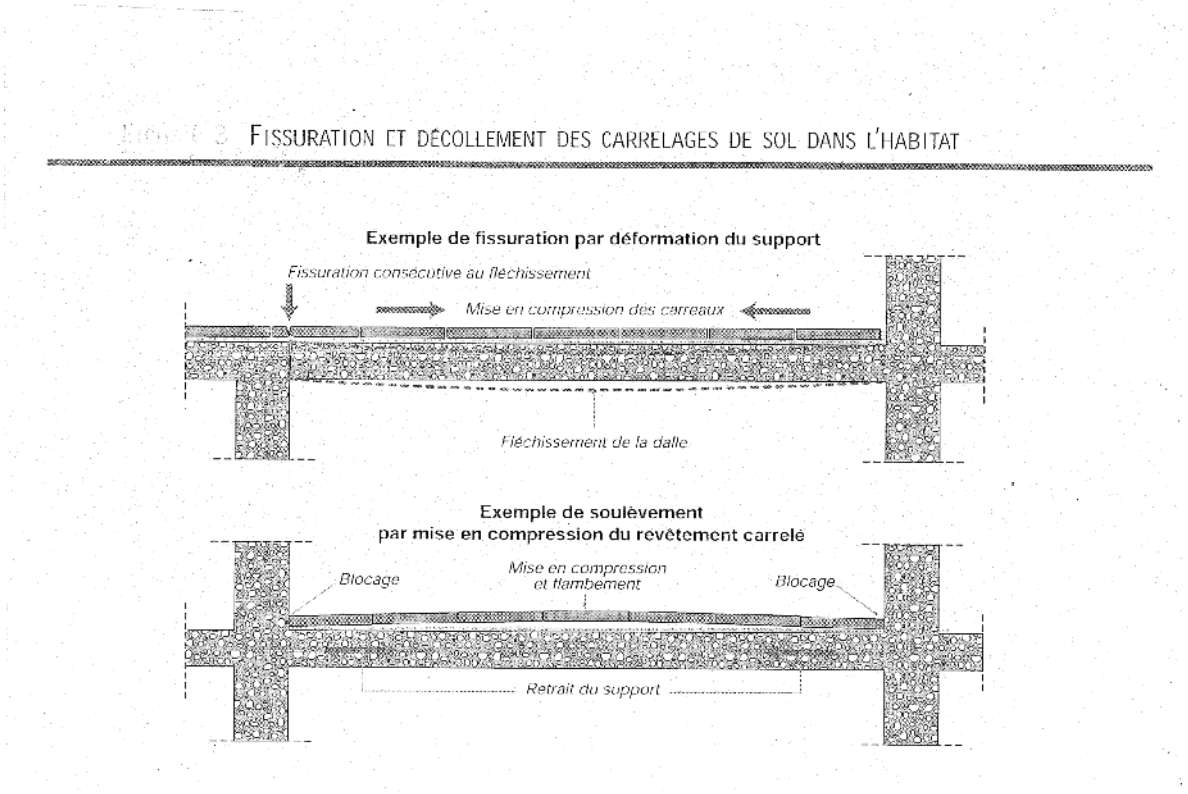
Les centres commerciaux



Le problème des supports



ABSENCE DE FRACTIONNEMENT ET DE DESOLIDARISATION DU REVETEMENT DE SOL



NUANCES & COULEURS

DELITEMENTS ET ECLATEMENTS

LES EFFETS DU GEL

LES EFFETS DU GEL

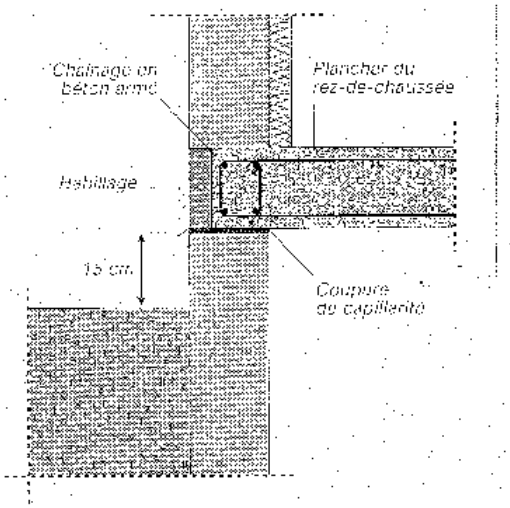
écaillage, pelliculage des revêtements intérieurs

écaillage, pelliculage, desquamation en intérieur

PIERRE DE BUXY

Taux d'humidité :
70 à 90%

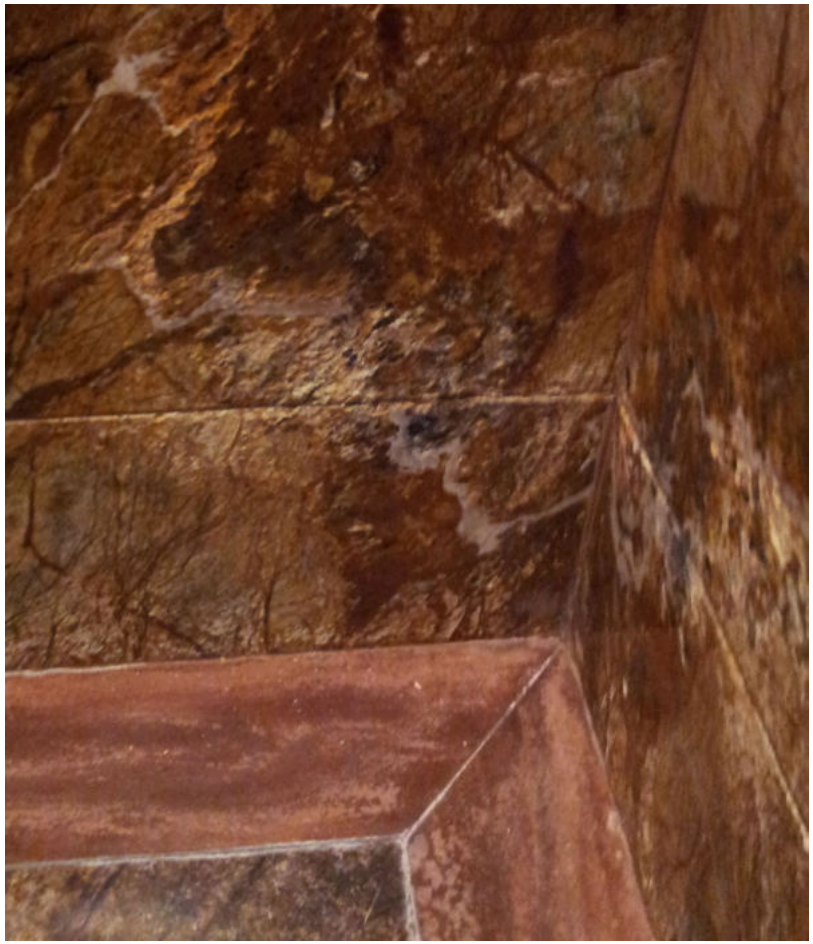
ABSENCE DE COUPURE DE CAPILLARITE SOUS LE REVETEMENT DE SOL INTERIEUR



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

$Na_2 SO_4$

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

EFFLORESCENCES

EFFLORESCENCES BLANCHES POUDREUSES

CONSTITUEES DE NaCl
(CHLORURE DE SODIUM)

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

$2\ NaClO \rightarrow 2\ NaCl + O_2$

$3\ NaClO \rightarrow 2\ NaCl + NaClO_3$

AMBIANCE CLIMATISEE
(TEMPERATURE ET HYGROMETRIE)

EFFLORESCENCES et CARBONATATATION

- **Dissolution des alcalins libres du ciment:**

  $$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

- **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 :**

  $$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

EFFLORESCENCES ET TACHAGE

LES SELS

SELS	SODIUM	POTASSIUM	MAGNESIUM	CALCIUM
CHLORURES	NaCl (halite)	KCl (Sylvite)	$MgCl_2$, $6H_2O$	$CaCl_2$, $6H_2O$
SULFATES	Na_2SO_4	K_2SO_4	$MgSO_4$, H_2O epsomite	$CaSO_4$, $2H_2O$ gypse poudre blanche peu soluble
NITRATES	$NaNO_3$	KNO_3 (salpêtre) flocons blancs Filamenteux	$Mg\ (NO_3)_2$, $6H_2O$	$Ca\ (NO_3)_2$, $4H_2O$
CARBONATES	Na_2CO_3 , H_2O $NaHCO_3$ natron		$MgCO_3$, $3H_2O$	$CaCO_3$ Calcite, aragonite cristallisée

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

3ème 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'ensoleillement

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 : $\varepsilon = \Delta L / L = 0{,}18$ mm/m avec $\delta = 6.10^{-6}$m/m .°C, $\Delta T = 30°C$

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

- Les contraintes générées par la déformation empêchée

(Loi de Hooke) $\sigma = E * \varepsilon$

$\sigma = 35000 * 0{,}18.10^{-3} = 6{,}3$ MPa $\simeq$ 63 daN/cm2

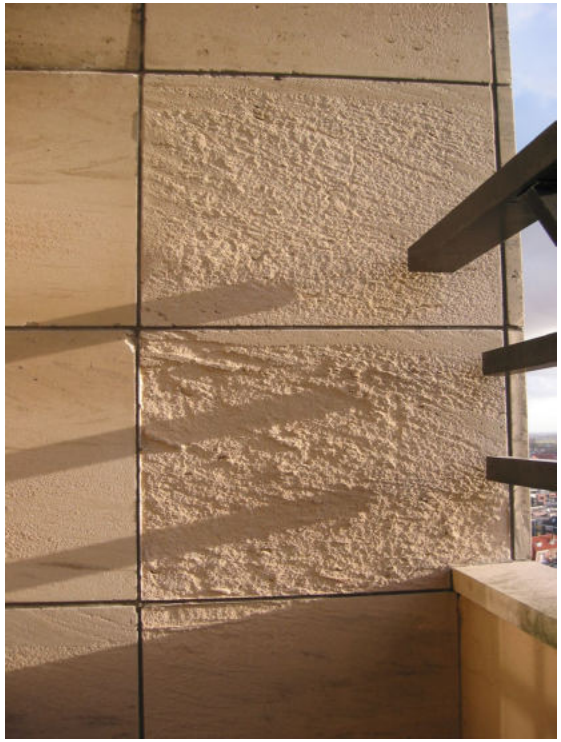
$F = \sigma * S = 63 * 100 = 6300$ daN ($S=100$ cm²)

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 : désagrégations superficielles, éclats, délitements, dissolution du calcaire, dégarnissement veines, stylolithes,
2. Embruns marins, (chlorures, …) : désagrégations superficielles, perte matière
3. Remontées capillaires : taches d'humidité, cristallisations de sels, désagrégations 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

$$Ca + 2\,H\,Cl + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + Cl^{2-} + H_2\uparrow + 2H_2O$$

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2\,SO_3 \text{ (acide sulfureux)} \qquad H_2\,SO_3 + ½\,O_2 \rightarrow H_2\,SO_4$$

$$Ca + H_2\,SO_4 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + H_2\uparrow + H_2O \text{ (gypse)}$$

$$Ca\,SO_4, 2H_2O + \text{bactéries} \rightarrow S + H_2\,S$$

Les réactions alcalines (ciments par exemple)

$$Ca\,O + H_2O \rightarrow Ca\,(OH)_2$$

$$Ca\,(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$$

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 Ra > 100 daN et 30 mm avec Ra > 150 daN

FACADE EN MARBRE BLANC DE CARRARE

Façade agrafée

Chevilles zamac + fil zintane
+ polochons ciment blanc

Blanc Statuarietto

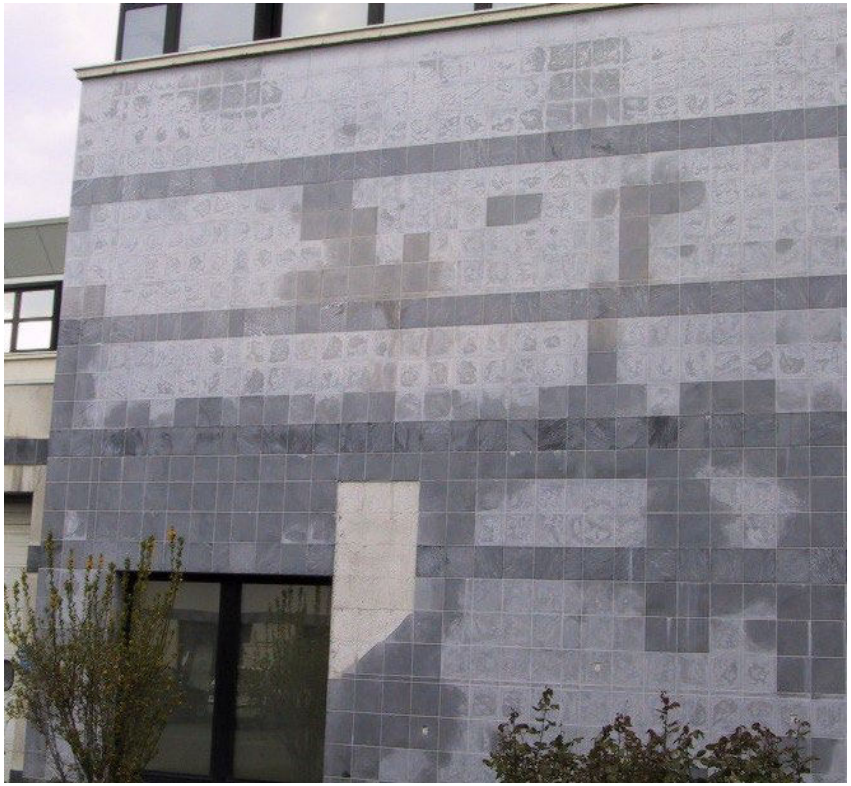
Construction de 1972

Neuilly sur Seine

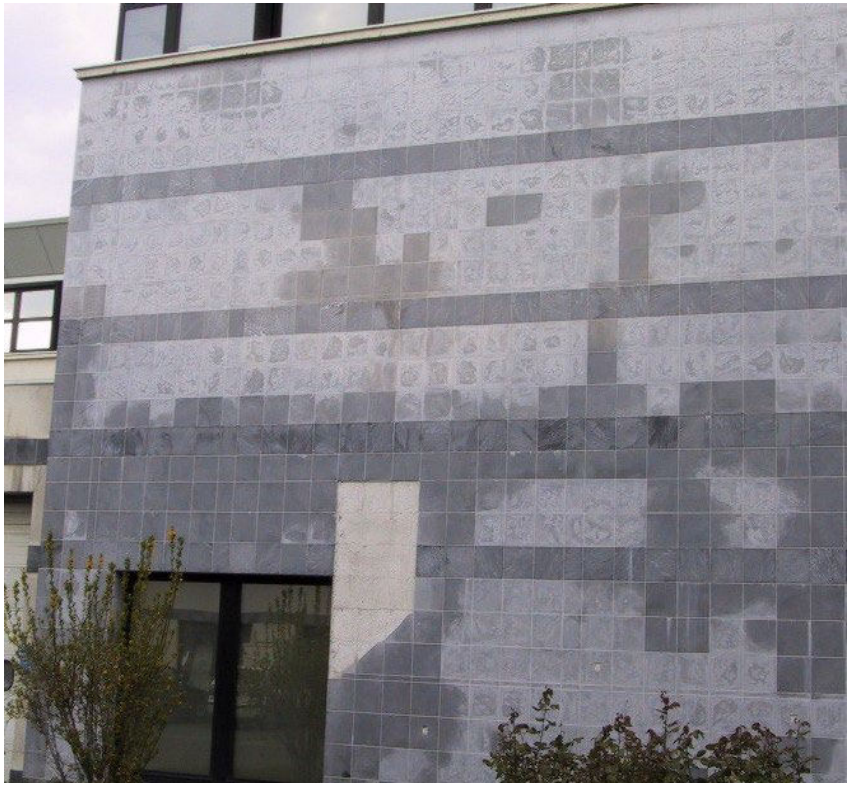
Absence/insuffisance de fractionnement

REVETEMENT DE FACADE
EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE

REVETEMENT DE FACADE
EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE

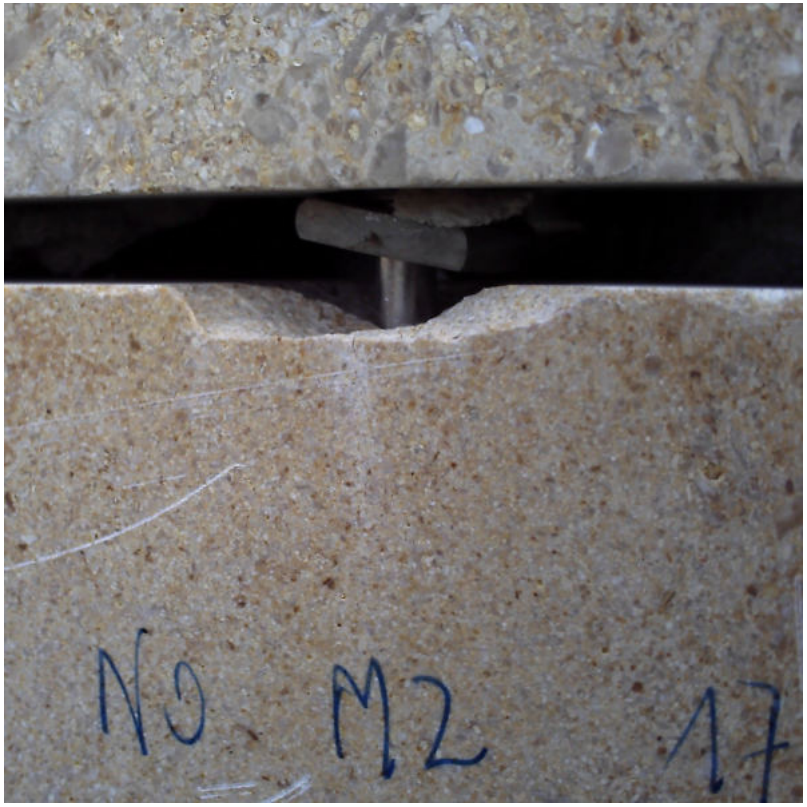


REVETEMENT DE FACADE
EN PIERRE COLLEE AU MORTIER-COLLE



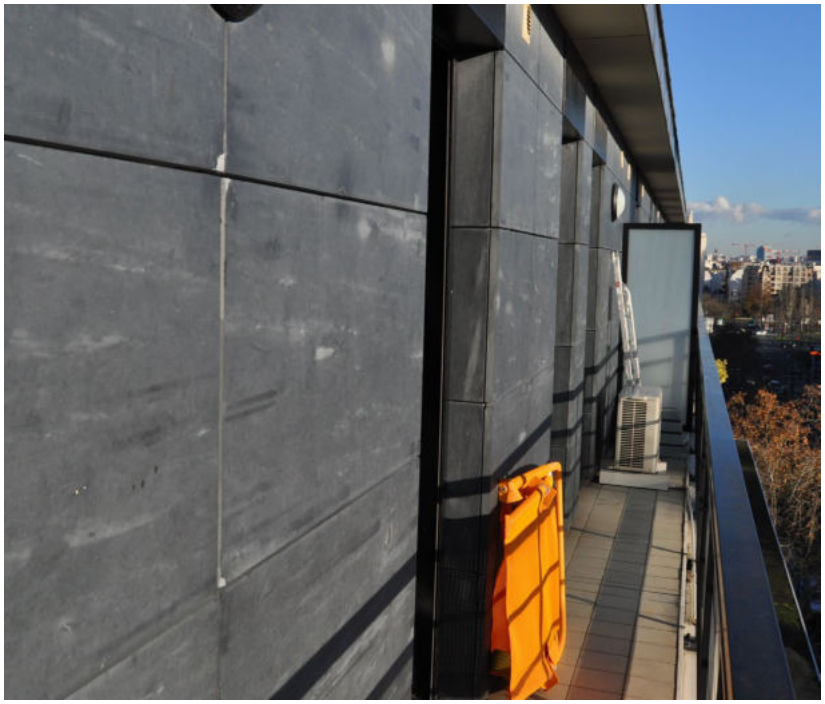
POSE ATTACHEE SUR OSSATURE INTERMEDIAIRE

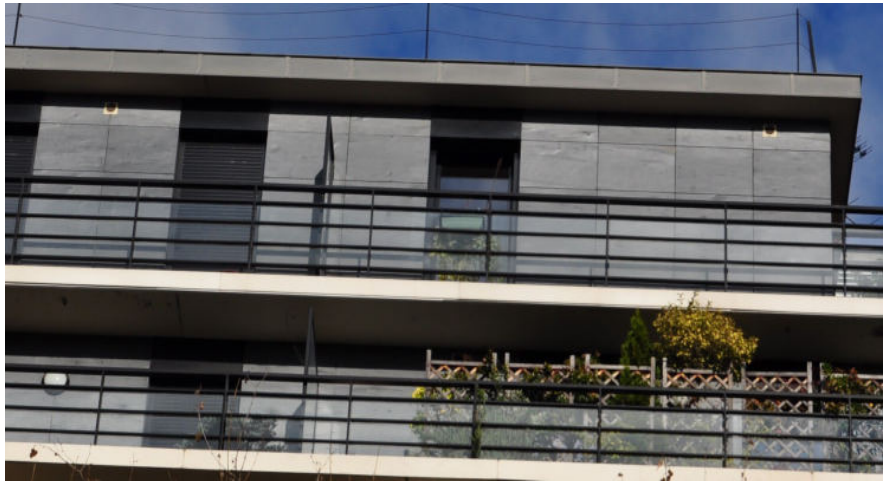
POSE ATTACHEE SUR OSSATURE INTERMEDIAIRE



Tachage par le silicone

Revêtement de façade attachée en ardoise espagnole





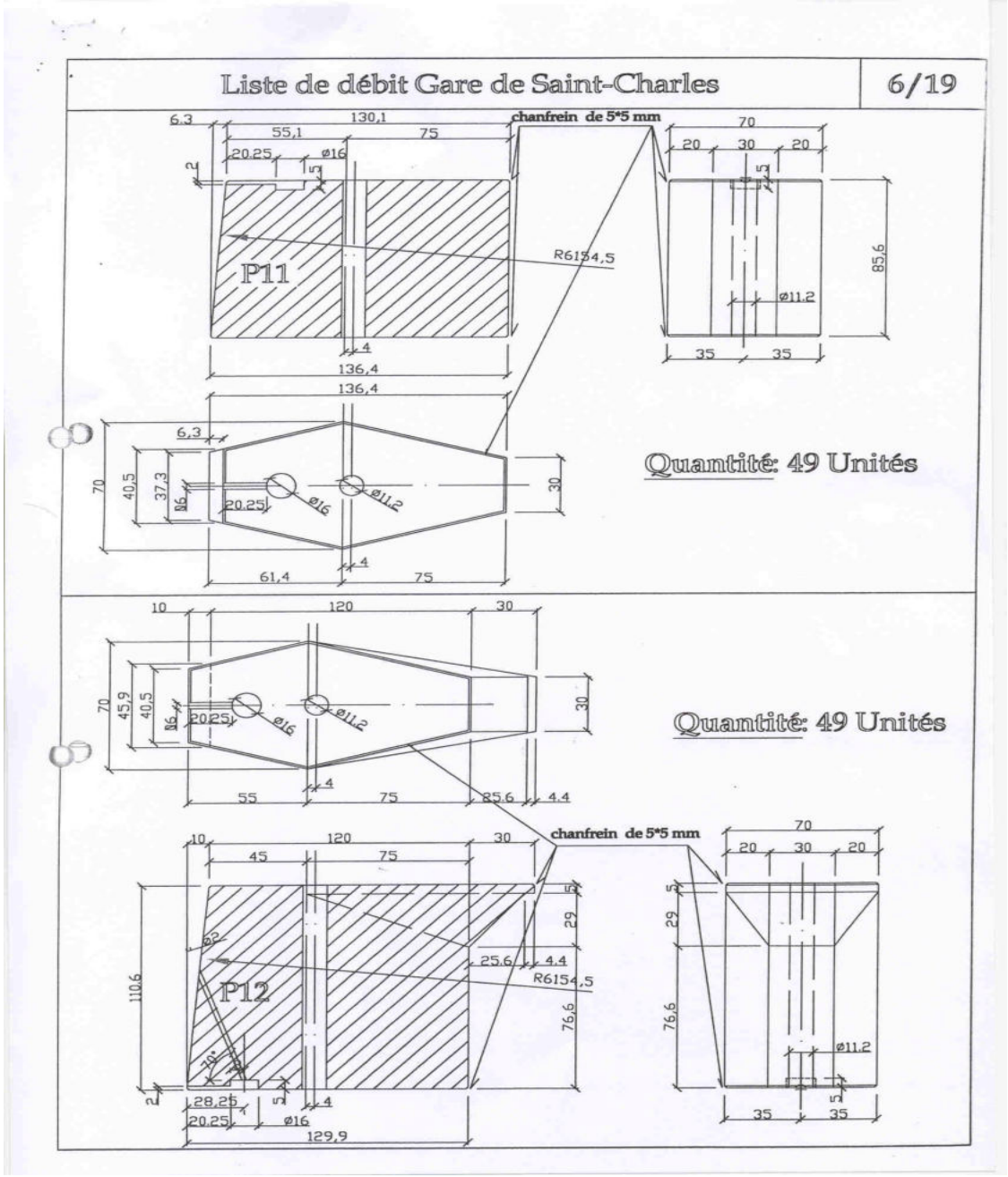
REVETEMENT DE FACADE COLLEE

PIERRE MASSIVE PRECONTRAINTE

Elévation
Pierre de Lens

Soubassement
Montcaume

64 colonnes
Hauteur 16 m



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

Laurent PLAGNOL

JT CTMNC du 03/04/2019

- 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 vêture (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 jointoiement de recette ou pré dosé

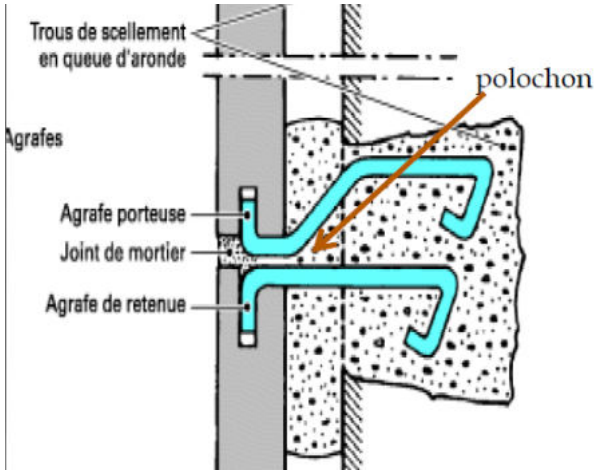
(essai de compatibilité mastic/mortier avec pierre naturelle repris en annexe D)

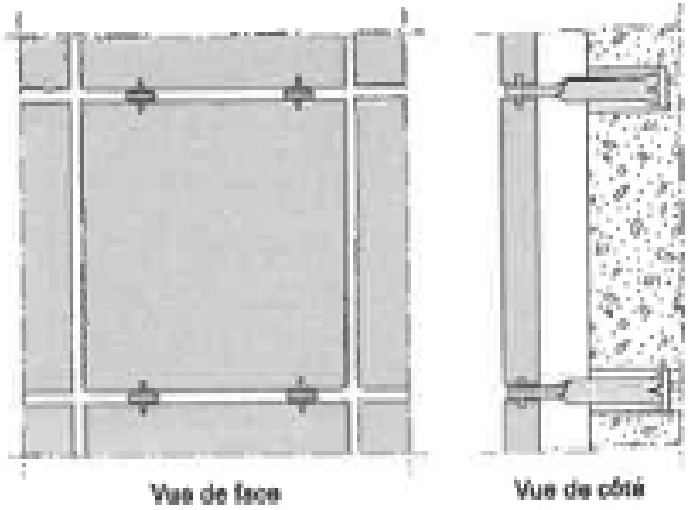
Pierres attachées / Grands principes

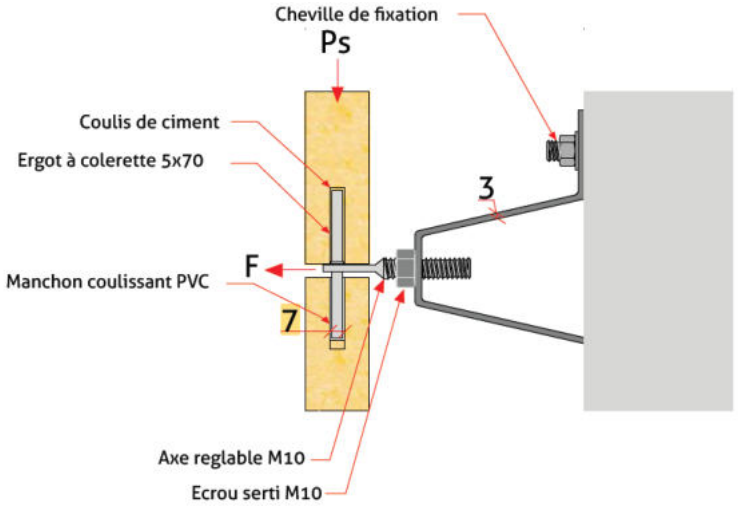
- Aptitude de la paroi support à recevoir le revêtement

(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

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.

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

- 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 ≤ 1 m²
- ✓ plus grande dimension ≤ 1.4 m
- ✓Longueur/largeur < 3
- ✓Épaisseur maximale des pierres de 80 mm pour pose sans polochon (60 mm pour pose avec polochon)
- ✓Epaisseur minimale des pierres de 27 mm
- ✓Epaisseur 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

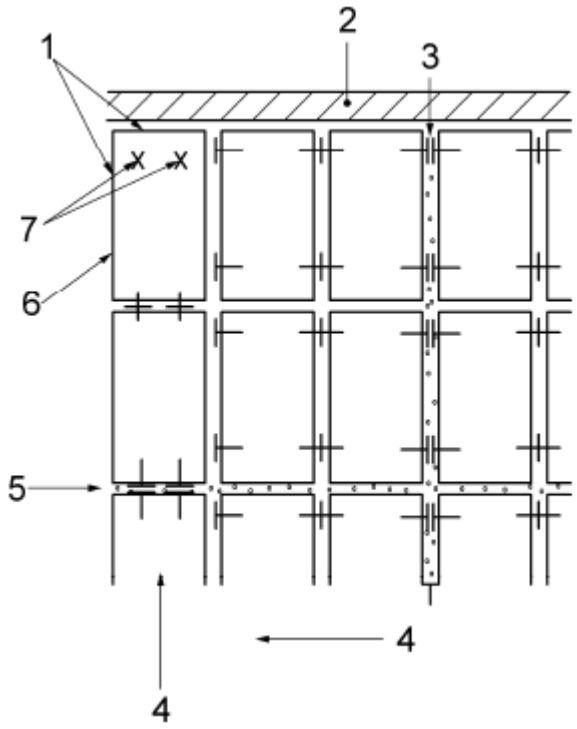
- **Conditions sur les attaches et les ergots**
  - ✓ **attache mécanique répondant aux critères d'évaluation de l'annexe B du CGM (limites de déformation sous charge verticale, sous charges horizontales de compression et de traction et sous charges combinées)**
  - ✓ **Diamètre de l'ergot (de 4 à 6 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**



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

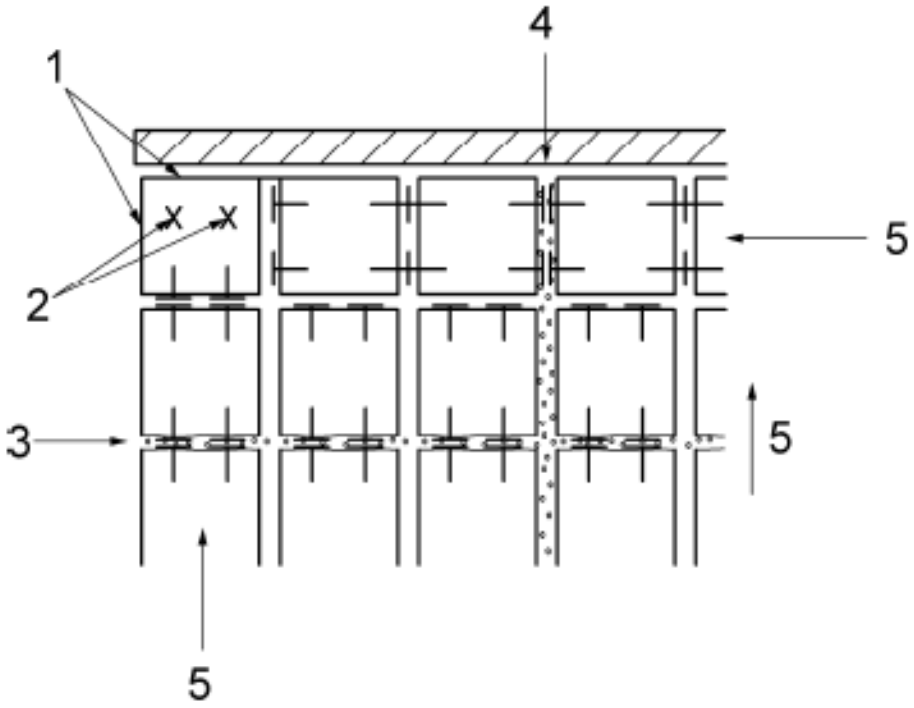
Joints de fractionnement fermés au mastic dans cas des joints courant fermés au mortier:
-fractionnement horizontal tous les 3 m,
- fractionnement vertical tous les 8 m et à moins de 3 m des angles des façades.

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 »

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

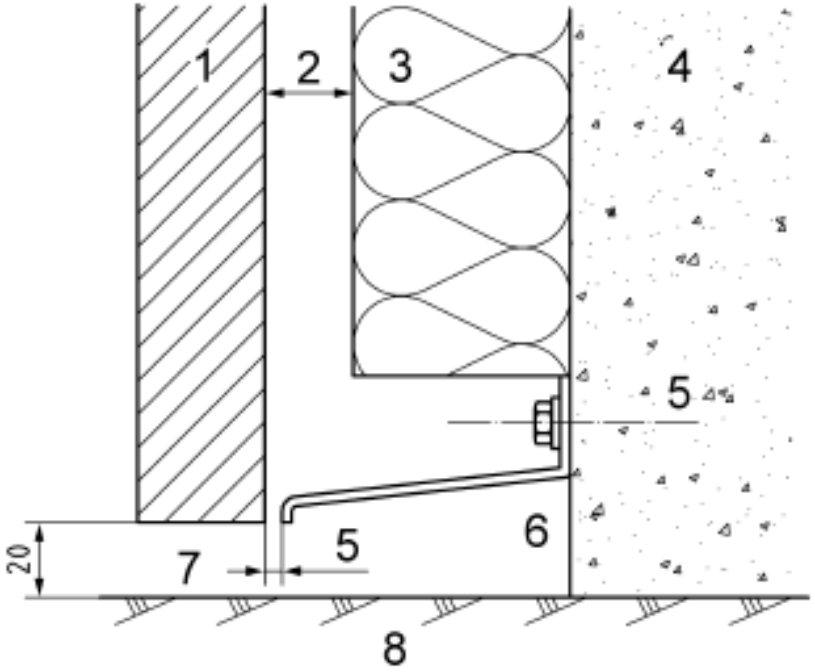
Pierres attachées / Grands principes

➢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

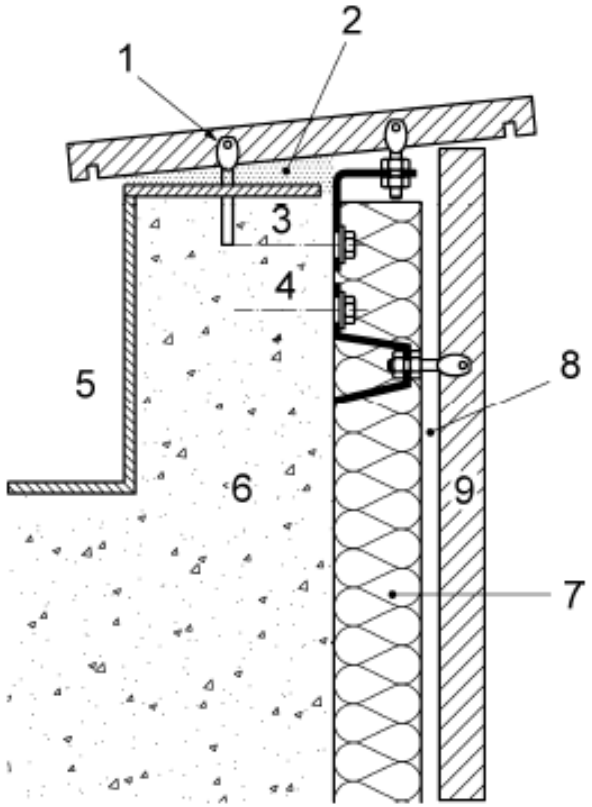
➢Points singuliers

✓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



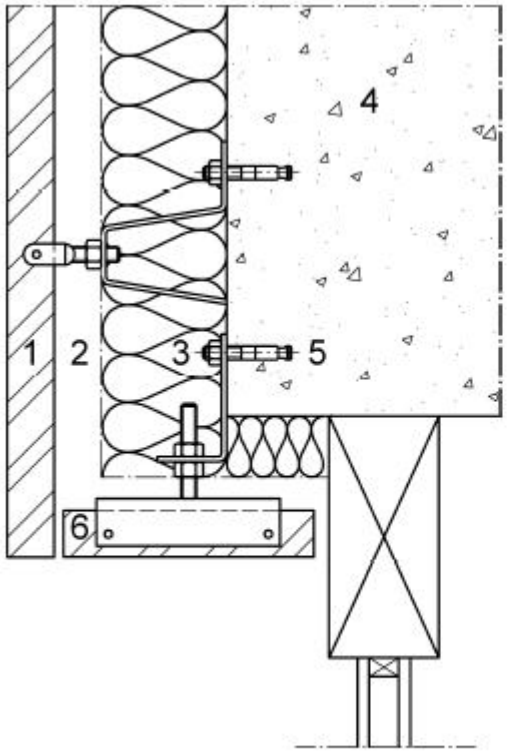
Pierres attachées / Grands principes

➢Points singuliers

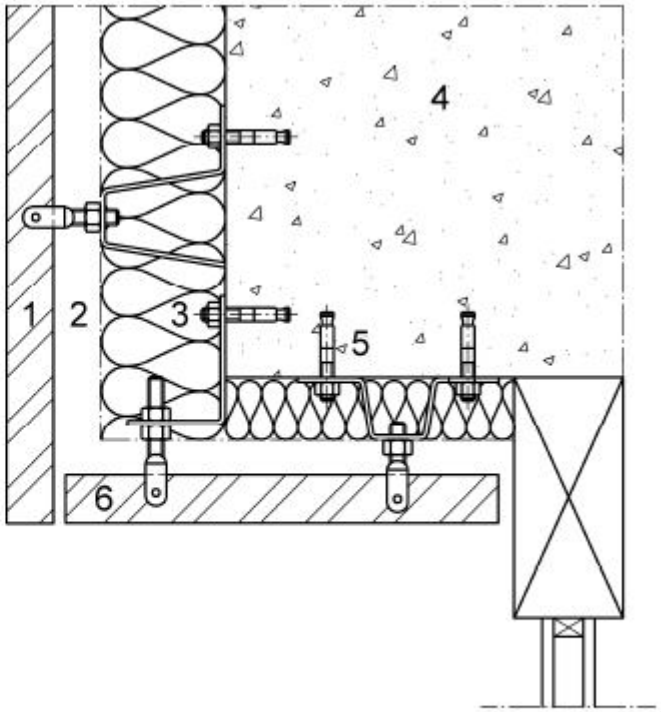
✓menuiseries

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

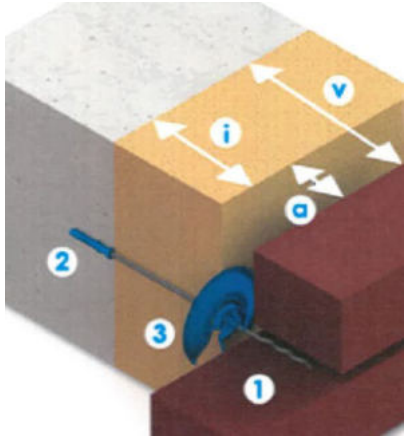
- NF DTU 20.1 P1-1 – Cahier des clauses techniques types (CCT)

(§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 cm ≤ épaisseur < 30 cm, alors élancement (longueur élément / hauteur d'assise) ≤ 3 ;
- ✓ si épaisseur ≥ 30 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 fb exprimée en MPa, est déclarée par le fabricant selon la NF EN 771-6.

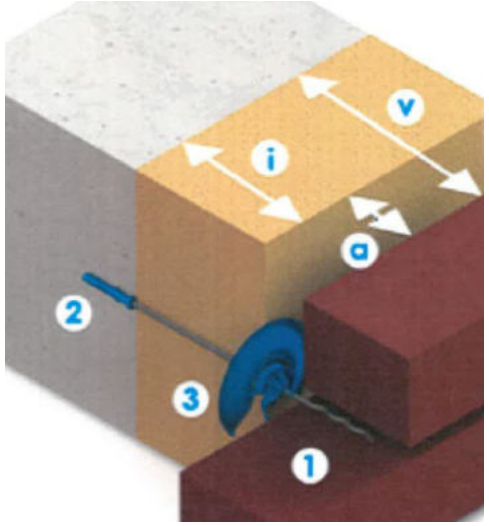
Nota: associées uniquement à paroi extérieur non porteuse en pierres hourdées.

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

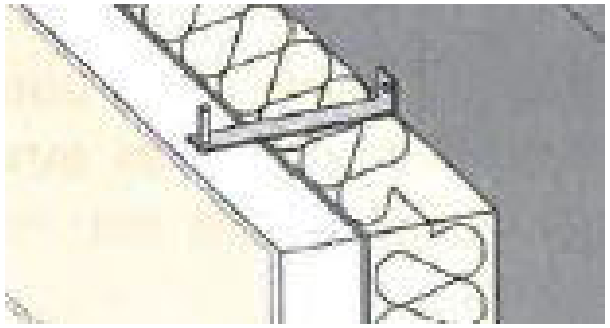


3 = attache (fil + cheville + rondelle)

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

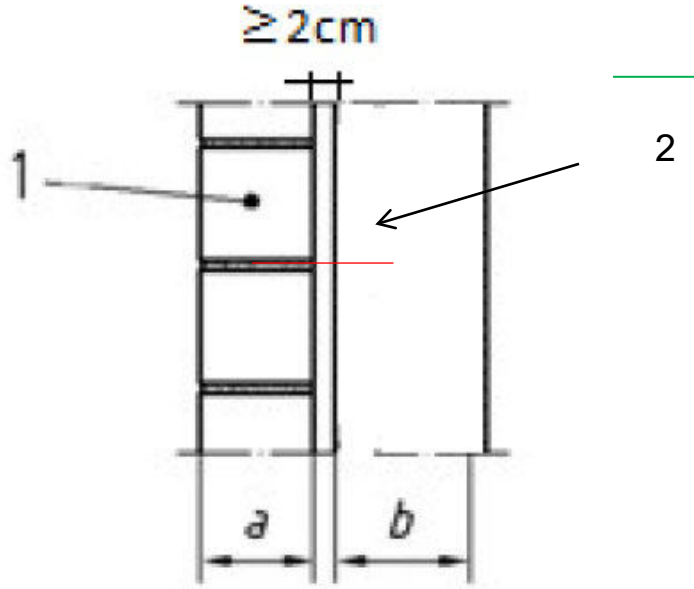
- Mortiers de montage ou de jointoiement de recette ou pré dosé définis au NF DTU 20.1 P1-2

- 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

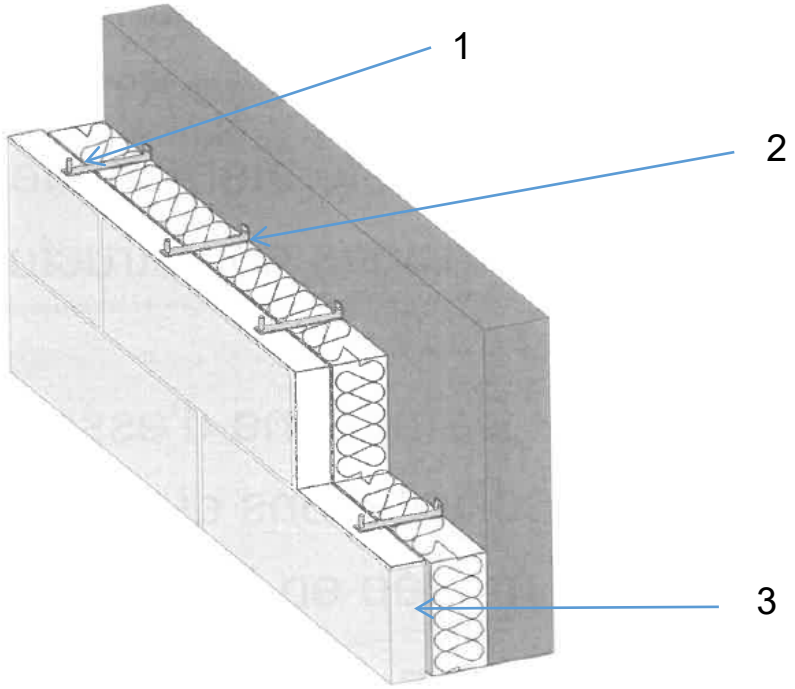
1 Pierre naturelle

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

$b \geq 15\ \text{cm}$

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

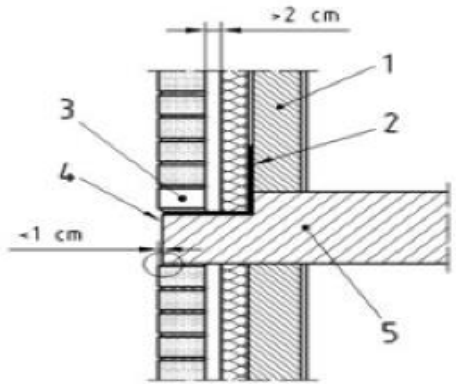
- Vérification d'un mur double avec paroi extérieure hourdée

(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 cm ≤ e < 9 cm

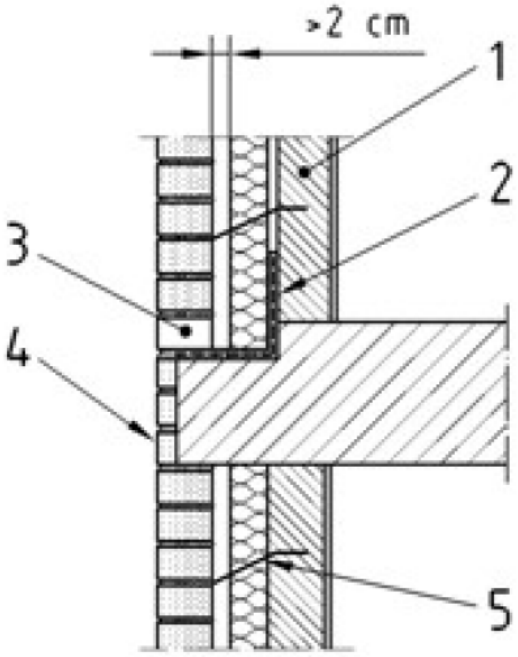
Nombre de niveaux(*) La hauteur de la façade ne doit pas dépasser 8m(*)	A1
1	2/m²
2 ou hauteur < 6 m (**)	2/m²
2 ou hauteur < 8 m (**)	5/m²

(*) 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 cm ≤ e < 15 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/m²	2/m²	3/m²
2 ou hauteur < 6 m (**)	3/m²	5/m²	
2 ou hauteur < 8 m (**)	3/m²	5/m²	
3	3/m² (***)		

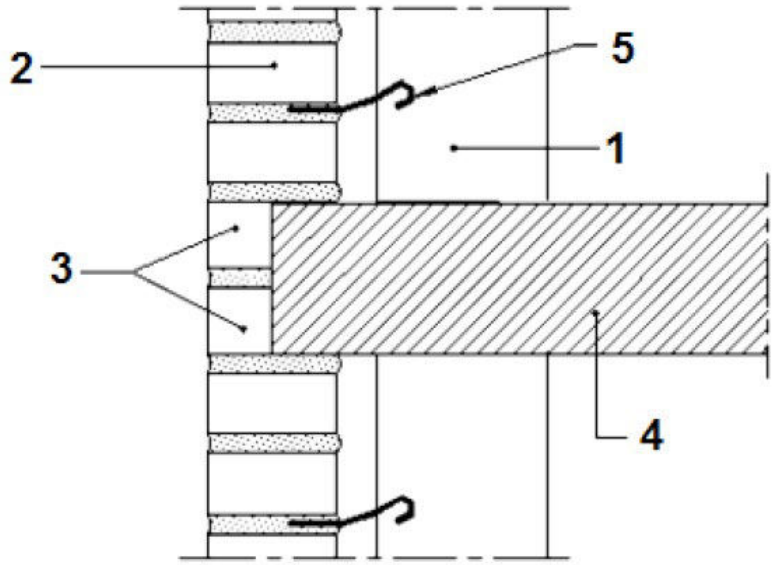
(*) Nombre de niveaux de hauteur courante devant lesquels file la paroi externe

(**) 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 cm ≤ e ≤ 20 cm

hauteur maximale entre points d'appuis. La hauteur de la façade ne doit pas dépasser 10m(*)	A1
1	2/m²
2 ou hauteur < 6 m (**)	2/m²
2 ou hauteur < 8 m (**)	2/m²
>3	3/m²

(*) 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 ≤ 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/m²)						
	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		8		
150	5	5	5			10	13
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
- Fy = 450 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)

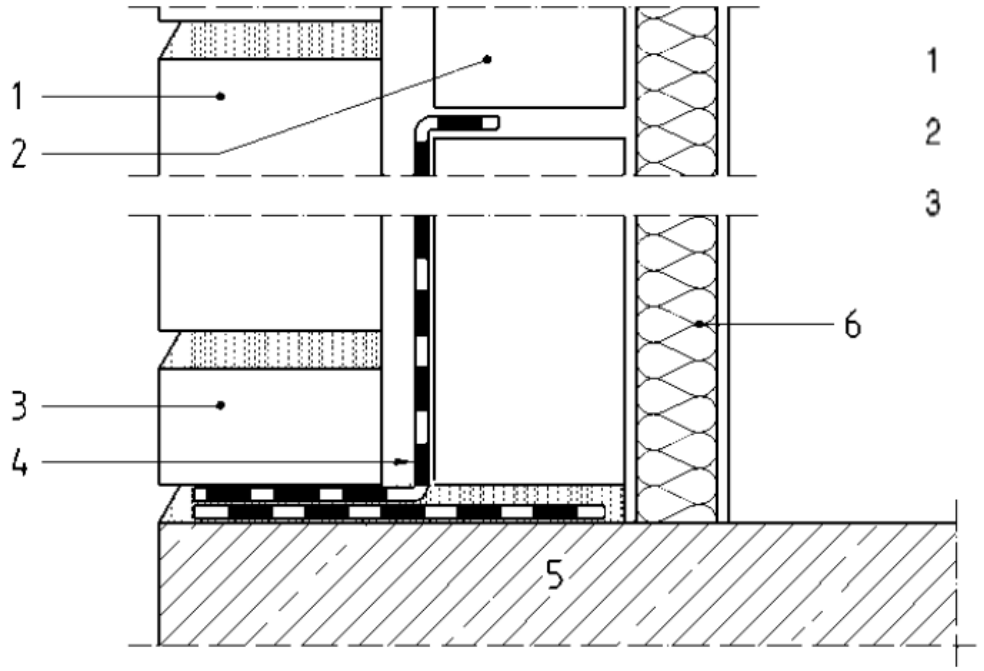
✓ **Conditions sur le système pierre/attache**

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

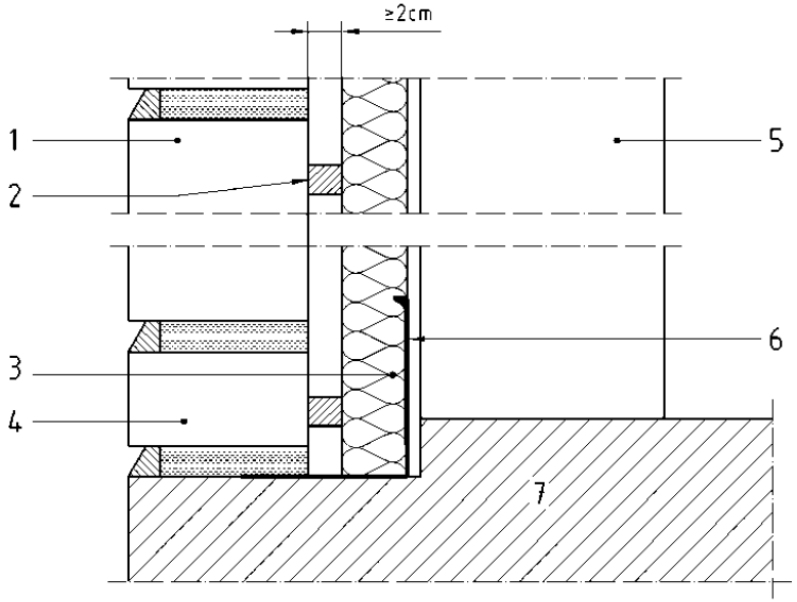
✓Départ mur type IIb



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

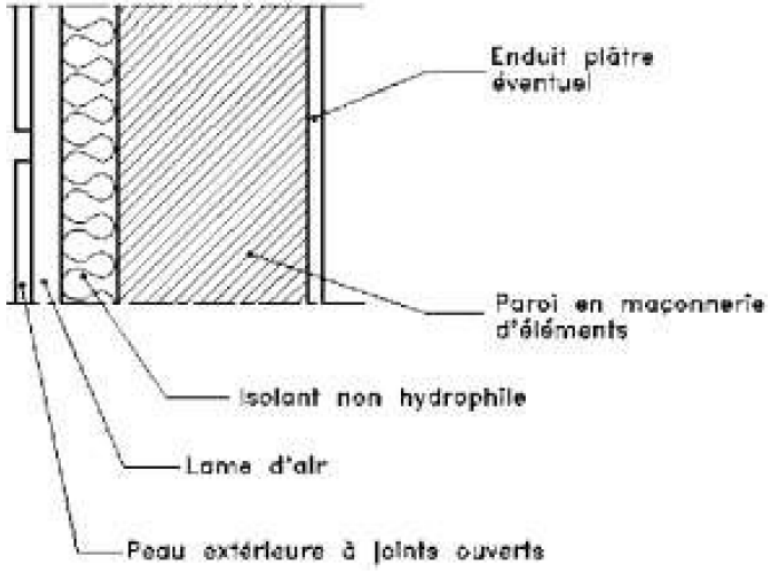


Légende

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

depart

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 qa = 2 (qui est la valeur par défaut de l'EC 8.1 § 4.3.5.4) pour le calcul de sollicitation sismique horizontale Fa

- 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 qa = 1 (soit à multiplier par 2 la valeur de Fa)

- 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 Sa (z= H , Ta=T1);
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 Fa 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 lieus 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

« Bien construire en pierre naturelle »

12ieme 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

Casser un mythe, la pierre c'est le luxe

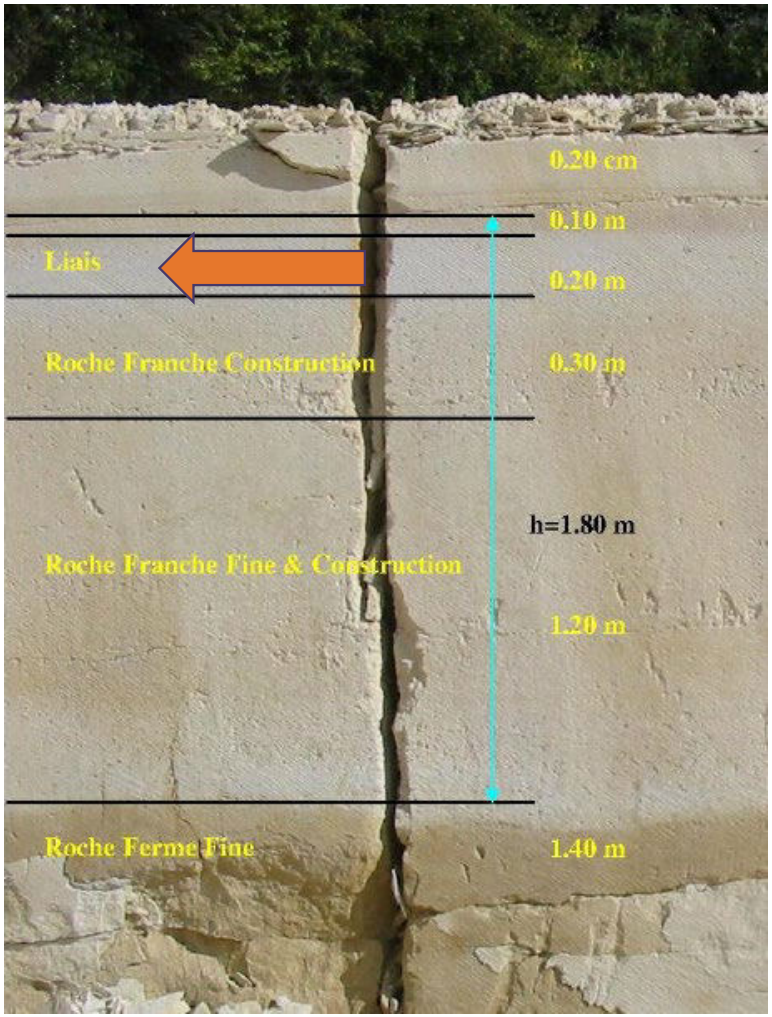
COGEMAD Château Louis XIV Louveciennes

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

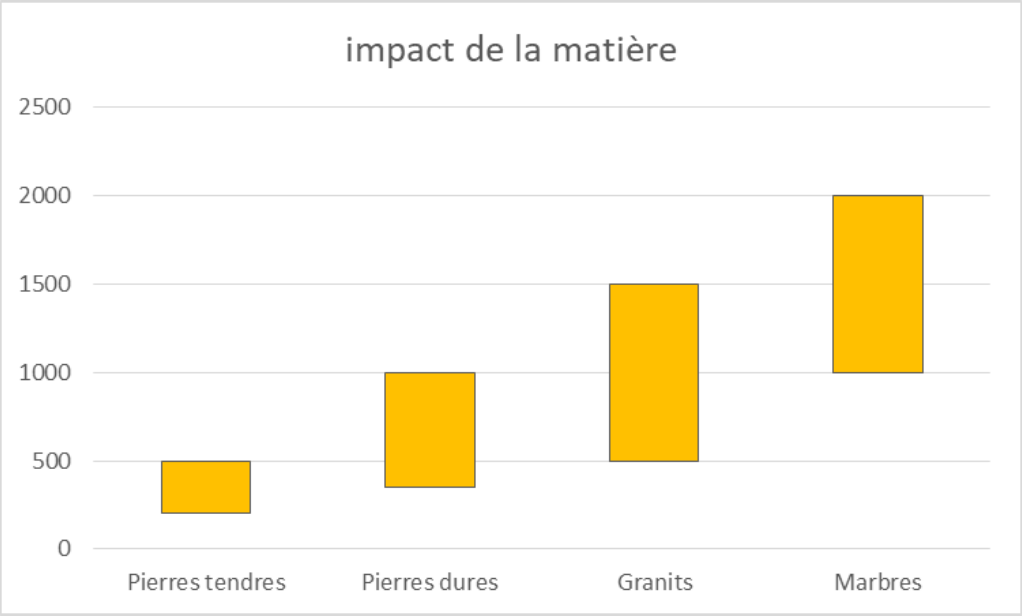


Partie supérieure de la carrière de Saint Maximin

La matière

Plus une pierre est dure plus elle est chère

couts de fabrication, caractéristiques, capacité d'emploi



ROCAMAT

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

Produits finis usines ROCAMAT

Sciage châssis mutilâmes ROCAMAT

Produits finis usines ROCAMAT

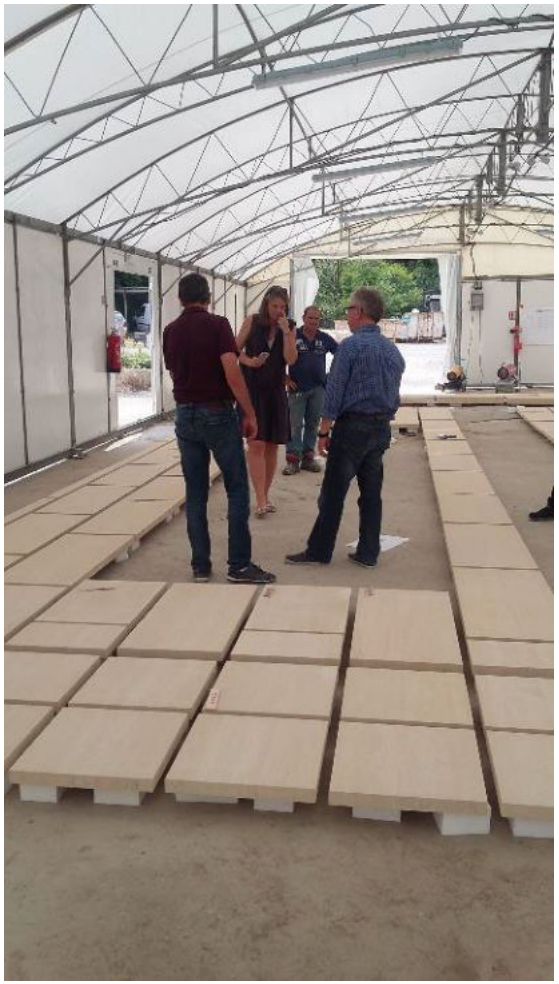
Esthétique et sélection matière

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



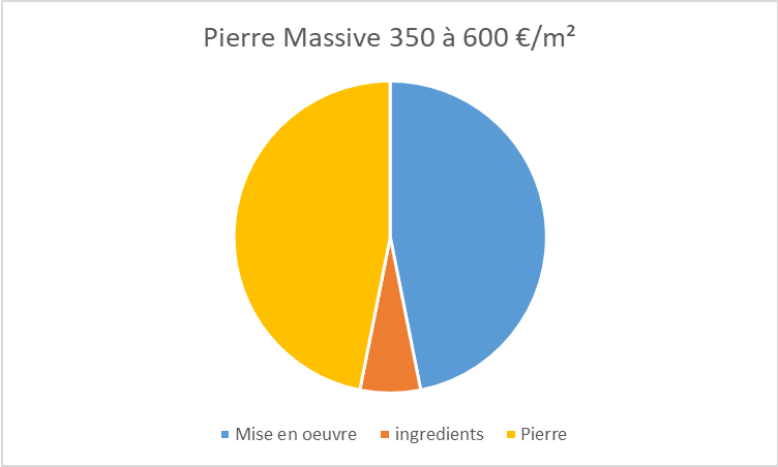
Contrôle qualité client usines ROCAMAT

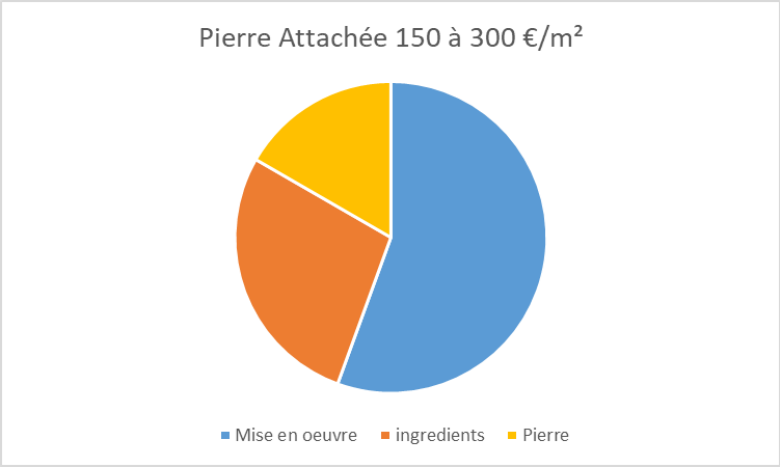
L’impact des états de surface sur le prix

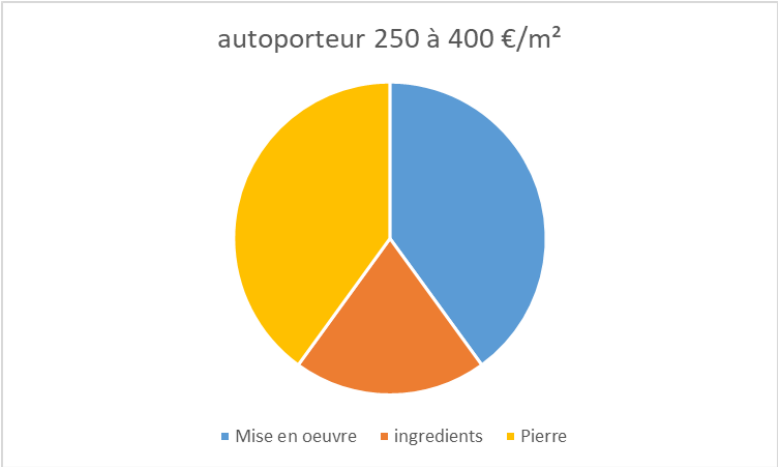
Les éléments de construction

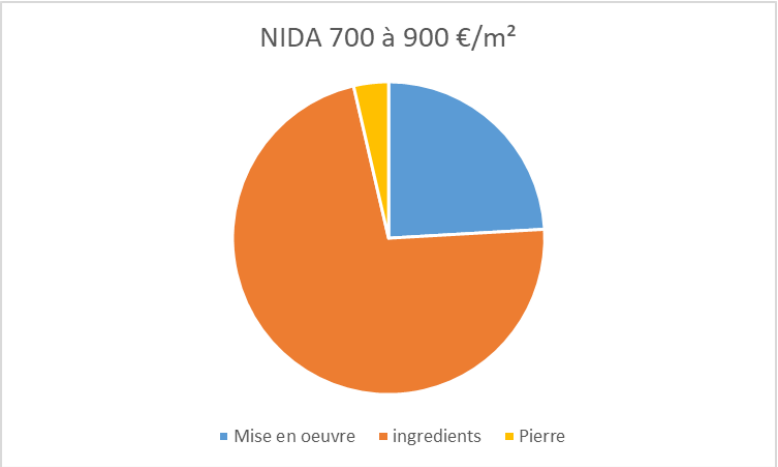
- La taille des éléments
- La complexité des éléments
- L'adaptation aux techniques de fabrication (découpe et usinage)

Influence de la mise en œuvre









- 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

Merci de votre attention

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

Suivez ROCAMAT sur