

CSTC

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION



NOTE D'INFORMATION
TECHNIQUE **220**

LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE DITE PETIT GRANIT D'ÂGE GÉOLOGIQUE TOURNAISIEN (REPLACE LA NIT 156)

DE BELGIQUE DITE PETIT GRANIT D'ÂGE GÉOLOGIQUE TOURNAISIEN (REMPLECE LA NIT 156)

La présente Note d'information technique a été rédigée par un groupe de travail sous l'égide du Comité technique *Pierre et Marbre*, présidé par Monsieur H. Vanderlinden, président de la *Fédération Royale Nationale des Maîtres Marbriers de Belgique*.

Composition du groupe de travail

Membres : H. Claes (*Régie des Bâtiments, Bruxelles Capitale*)
J.P. Cnudde (*Geologisch Instituut, Universiteit Gent*)
J. Elsen (*Fysico-Chemische Geologie, Katholieke Universiteit Leuven*)
J. Glineur, W. Neckebroeck, V. Netels, F. Renier, A. Sibille, A. Tancredi
(*Fédération des producteurs de Pierre Bleue – Petit Granit*)
E. Groessens (*Service géologique de Belgique*)
I. Kinne (*Bureau de contrôle technique pour la construction – SECO*)
C. Philippart (*Institut Scientifique de Service Public – ISSeP*)
F. Tourneur (*A.S.B.L. Pierres et Marbres de Wallonie*)
J. Vanderlinden (*entrepreneur-tailleur de pierre*)
W. Van de Sande (*division Avis Techniques, CSTC*)
C. Van Reeth (*entrepreneur-tailleur de pierre, exploitant de carrières*)
R. Van Rossum (*Ministère wallon de l'Équipement et des Transports – MET*)
R. Verhees (*maître tailleur de pierre*).

Ingénieur-animateur : F. de Barquin (*division Matériaux, CSTC*).

Le CTSC tient à remercier l'A.S.B.L. *Pierres et Marbres de Wallonie* pour sa collaboration et le prêt de nombreuses illustrations.

Ont également collaboré à la rédaction de certains chapitres : K. Callebaut, D. Nicaise, A. Pien de la division *Matériaux* du CSTC.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947
Siège social : Boulevard Poincaré 79 à 1060 Bruxelles



Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.



La reproduction ou la traduction, même partielles, du texte de la présente Note d'information technique n'est autorisée qu'avec le consentement de l'éditeur responsable.

1	INTRODUCTION	4
2	NATURE ET ORIGINE DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE	5
	2.1 Définition de la pierre bleue de Belgique	5
	2.2 Localisation et description des gisements de pierre bleue de Belgique	5
	2.3 Caractéristiques de l'extraction et du sciage	9
	2.4 Labels et certifications	11
3	PRODUCTION ET DIMENSIONS, TAILLES ET FINITIONS SPÉCIFIQUES À LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE	13
	3.1 Production et dimensions	13
	3.2 Tailles et finitions	13
	3.3 Choix d'une finition pour un usage en revêtement de sol	21
4	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE	23
5	PARTICULARITÉS DE STRUCTURE DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE	24
	5.1 Bousin	25
	5.2 Géodes et moies	25
	5.3 Veines	25
	5.4 Stylolithes	25
	5.5 Taches blanches	26
	5.6 Fossiles	27
	5.7 Variations de tonalité	27
	5.8 Clous	27

6	FACTEURS QUI INFLUENCENT LES QUALITÉS TECHNIQUES : CRITÈRES	
	D'ACCEPTATION	28
	6.1 Pierres façonnées pour usage dans le bâtiment	28
	6.2 Les éléments de voirie	34
7	LES PARTICULARITÉS D'ASPECT ET LES CATÉGORIES COMMERCIALES	42
8	ENTRETIEN ET PROTECTION DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE	44
	8.1 L'entretien d'un dallage intérieur	44
	8.2 Le nettoyage et les différentes protections de la pierre bleue de Belgique en extérieur	44
	ANNEXE 1 Paléontologie et micropaléontologie	50
	ANNEXE 2 Petit granit du Bocq	52
	ANNEXE 3 Code de mesurage des pierres façonnées	54
	BIBLIOGRAPHIE	56



1 INTRODUCTION

Pierre d'emploi traditionnel, la pierre bleue de Belgique (également appelée "petit granit") s'intègre depuis de nombreux siècles à l'architecture de notre pays. Dès le Moyen Age, la pierre bleue de Belgique fut systématiquement exploitée dans le bassin carrier hennuyer si bien que l'on retrouve, dans les régions proches des zones d'extraction, de nombreux témoins monumentaux de son application, aussi bien dans des bâtiments religieux que civils, prestigieux que modestes (voir [40]).

Grâce à ses excellentes qualités, la pierre bleue de Belgique est une des meilleures pierres de construction extraites en Europe et elle peut être utilisée sous tous les climats. Elle se prête à toutes les tailles manuelles ou mécaniques et peut également être polie.

Une quinzaine de carrières sont de nos jours en activité. Elles emploient plus de 900 personnes et génèrent un chiffre d'affaires annuel de plus de 75 millions d'euros. Ces carrières de pierre bleue de Belgique alimentent directement le secteur des tailleurs de pierres et des marbriers, qui occupe pour sa part quelque 1500 personnes à travers la Belgique. Aussi la pierre bleue de Belgique est-elle un élément important de la construction en général; quelle que soit son application, presque tous les bâtiments présentent de la pierre bleue de Belgique.

Le groupe de travail *Pierres* du Comité technique *Pierre et Marbre* du CSTC a procédé à la révision du texte de la NIT 156 [8]. Rappelons ici que la pierre bleue de Belgique avait déjà fait l'objet des NIT 28 [5], 55 [6] et 99 [7].

Fig. 1 Collégiale Sainte-Waudru à Mons (reconstruite en 1450 en pierre bleue de Belgique et grès de Bray).



Fig. 2 Galeries Royales Saint-Hubert (façade) à Bruxelles.





2 NATURE ET ORIGINE DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

2.1 DEFINITION DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

La pierre bleue de Belgique, ou “petit granit”, est une pierre calcaire de teinte naturelle gris-bleu plus ou moins accentuée, caractérisée par la présence de très nombreux débris de crinoïdes. Son extraction se fait exclusivement en Belgique (§ 2.2). La dénomination “petit granit” est consacrée par l’usage et s’explique par l’aspect scintillant des éclats de la roche qui rappelle celui des granites (roches plutoniques). On lui préfère celle de “pierre bleue de Belgique” afin de la distinguer des autres pierres bleues ayant un aspect similaire extraites à l’étranger (principalement en Irlande, en Chine et au Vietnam).

En pétrographie, la pierre bleue de Belgique se définit comme un calcaire compact d’origine sédimentaire résultant de l’accumulation d’innombrables débris d’encrines ou de crinoïdes. Ils sont cimentés par une gangue microcristalline contenant du carbone très finement divisé qui confère à la pierre sa coloration bleue.

Comme dans la plupart des pierres calcaires, le minéral dominant est la calcite (CaCO_3) avec une moyenne d’environ 96 % (avec un minimum de 88 % selon l’AOL – cf. § 2.4.1).

La pierre renferme, outre les débris d’encrines, une faune riche et variée, constituée surtout de brachiopodes (coquilles) et de polypiers qui apparaissent parfois sur les tranches de pierre.

On trouvera en annexe 1 une description paléontologique complète des fossiles présents dans la pierre bleue de Belgique; cette description permet de la caractériser de façon univoque par rapport aux autres types de pierres bleues étrangères.

On y rencontre également occasionnellement des constituants minéraux secondaires comme la dolomite, le quartz, la pyrite, la marcassite et la fluorite.

La teneur en carbonate de magnésium (dolomie) peut varier de 1 à 10 %.

La silice se présente sous forme de microcristaux de quartz très dispersés (< 2 %).

Les sulfures de fer (pyrite et marcassite), minéraux jaunes à l’éclat métallique et plus durs que la calcite, sont tantôt disséminés dans la masse (clous), tantôt localisés dans les fractures (fils ou limés roux).

La fluorite, fluorure de calcium, minéral souvent violet, de dureté voisine de celle de la calcite, se situe principalement dans les géodes et les taches et veines blanches.

D’autres particularités lithologiques sont également présentes dans la pierre bleue de Belgique. Citons, entre autres, les joints stylolithiques, de teinte noire, grossièrement parallèles au lit de carrière et apparaissant sous forme de lignes ondulantes. Ces particularités sont examinées de façon plus détaillée au chapitre 5.

2.2 LOCALISATION ET DESCRIPTION DES GISEMENTS DE PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

Les formations rocheuses du système carbonifère fournissent sur le

plan économique national le plus de matériaux utiles. Ce système connaît deux sous-systèmes : le Houiller et le Dinantien.

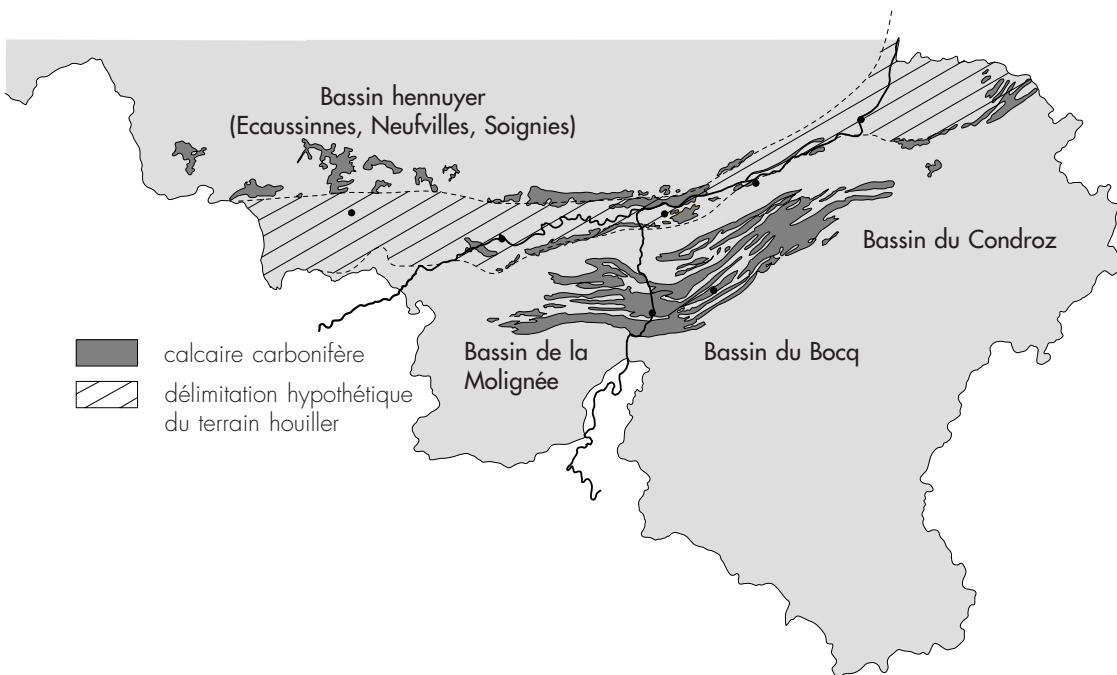
Le Houiller, représenté par une succession de bancs de grès et de schistes où s’intercalent des couches de charbon, est, comme son nom le rappelle, le réservoir privilégié des gisements de houille.

Le Dinantien, connu aussi sous le nom de “calcaire carbonifère”, est représenté par une prédominance de roches calcaires dont est extrait un volume impressionnant de matériaux à usages industriels divers.

La pierre bleue de Belgique est un faciès particulier appartenant au Dinantien (Tournaisien).

Il faut cependant noter que si, au point de vue géologique, la majeure partie des bancs exploités sous le nom de pierre bleue de Belgique appartient au Tournaisien supérieur (formation des Ecaussinnes), il existe d’autres gisements (vallée du Bocq – cal-

Fig. 3
Localisation géographique du calcaire carbonifère en Belgique.



caires de Landelies) où les matériaux extraits sont de caractéristiques techniques et esthétiques apparentées à la pierre bleue de Belgique, mais appartenant au Tournaisien moyen (voir annexe 2).

Il existe actuellement en Belgique quatre régions d'exploitation de la pierre bleue (voir fig. 3) :

- ◆ Bassin de Soignies, Ecaussinnes, Neufvilles
- ◆ Bassin du Condroz
- ◆ Bassin du Bocq
- ◆ Bassin de la Molinee.

Dans la région d'Ecaussinnes, Neufvilles, Soignies, les gisements de pierre bleue de Belgique se présentent sous la forme d'ensembles stratifiés continus et inclinés au sud, suivant une pente de 17 à 22 %. Cette disposition singulière, recoupée toutefois par des failles parfois importantes, en facilite l'exploitation (voir fig. 4).

Un niveau-repère très constant dans cette région caractérise les niveaux d'exploitation. Ce repère, appelé "débit à la terre", est représenté par une couche d'argile plastique bleue de 5 à 10 cm d'épaisseur.

Dans le Condroz, les bouleversements géologiques, qui ont affecté la région s'étendant au sud du sillon Sambre-et-Meuse, ont entraîné la formation de plis successifs, de telle sorte que les bancs exploités peuvent se trouver dans diverses positions (voir fig. 5).

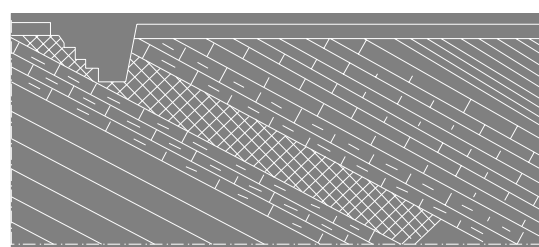


Fig. 4 Allure de la pierre bleue de Belgique dans la région d'Ecaussinnes, Neufvilles, Soignies.

Fig. 5 Allure de la pierre bleue de Belgique dans le Condroz.

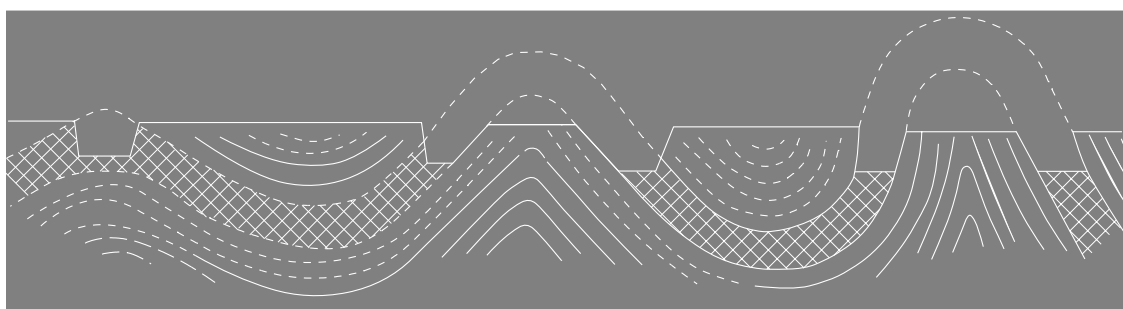
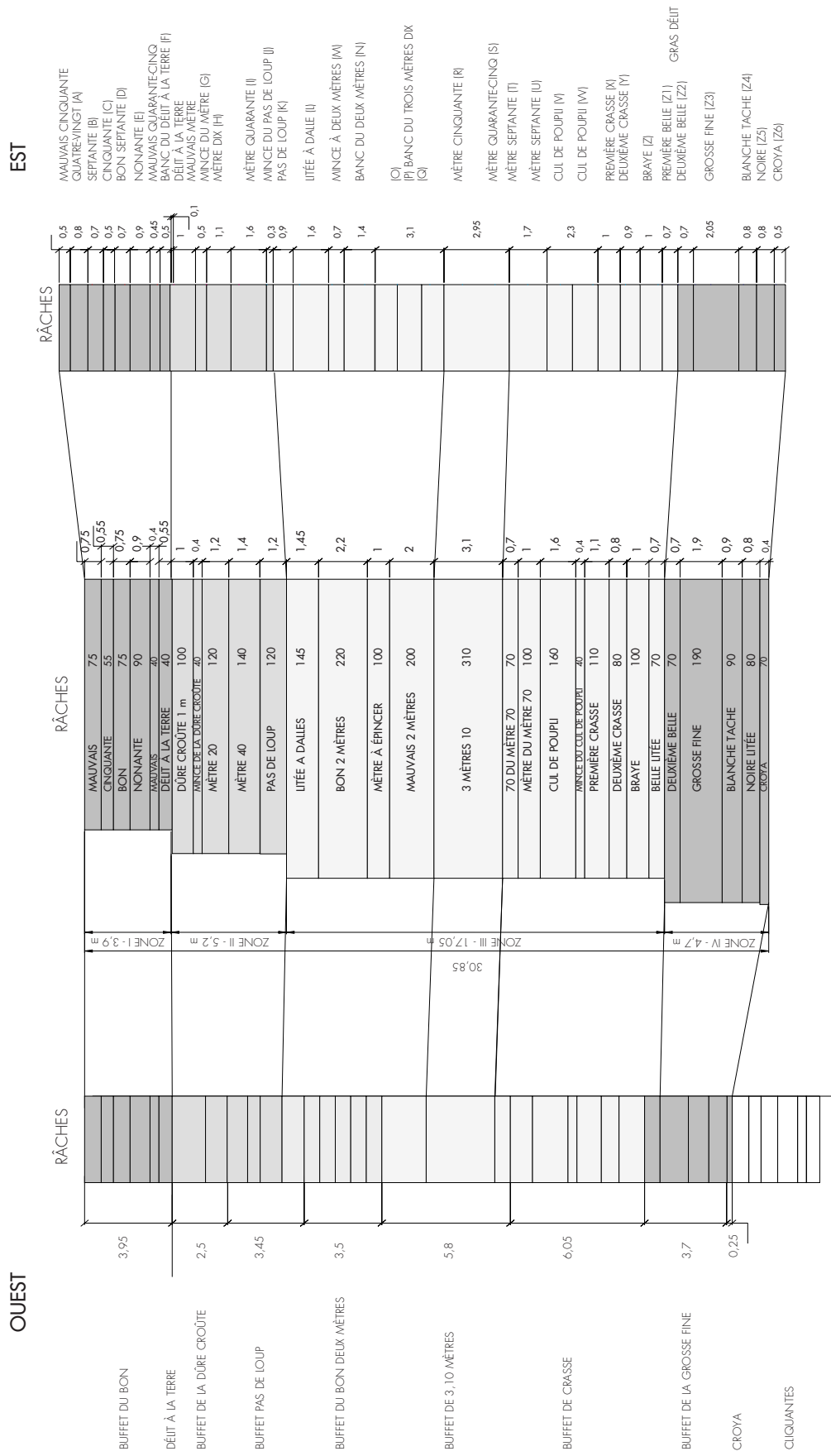


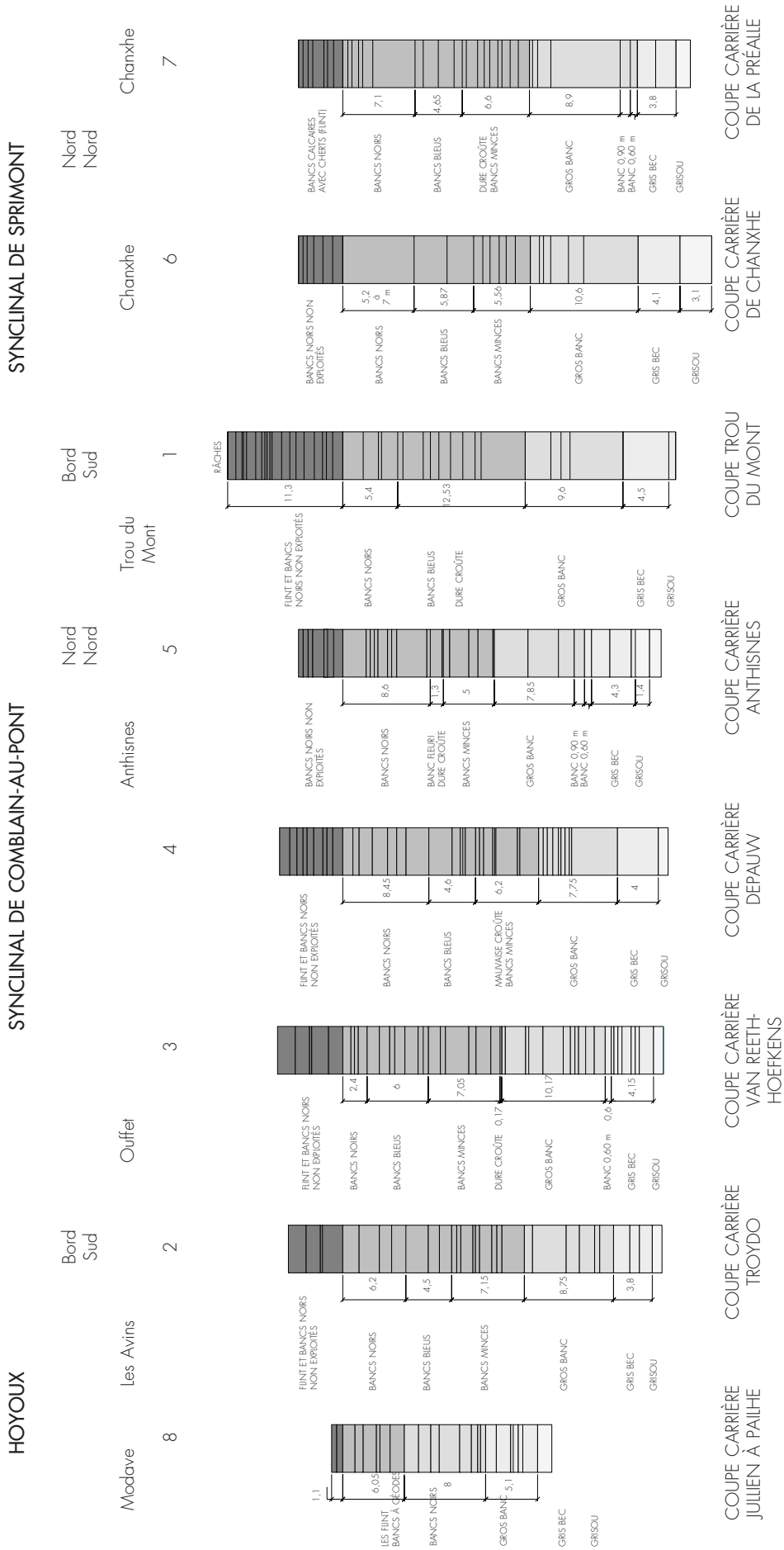
Fig. 6 Coupes géologiques de carrières.



COUPE CARRIÈRE DE CLYPOT S.A. COUPE CARRIÈRES DU HAINAUT S.A. COUPE CARRIÈRES GAUTHIER ET WINCGZ S.A.

A. BASSIN D'ECAUSSINNES, NEUFVILLES, SOIGNIES

Fig. 6 Coupes géologiques de carrières (suite).



B. BASSIN DU CONDROZ

Comme dans le cas précédent, un niveau-repère appelé “dure croûte” ou “mauvaise croûte”, ou encore “mâle croûte”, caractérise les niveaux d’exploitation. Il apparaît dans cette région sous la forme d’un lit de calcaire très siliceux soudé à un banc voisin. Son épaisseur peut atteindre 20 cm. La correspondance stratigraphique existant entre ces différents gisements est présentée sous forme de stamper.

Les calcaires de Landelies ont une remarquable uniformité dans le bassin de Dinant. Au-dessus de calcaires bien stratifiés, on trouve des calcaires crinoïdiques en gros bancs. Actuellement, ces derniers ne sont plus exploités que dans le bassin du Bocq sous le nom de “petit granit du Bocq” (voir annexe 2). Ailleurs, ils sont dolomitiques.

Les stamper que nous reproduisons à la figure 6A et B sont un exemple représentatif de la couche de terrains exploités dans les deux principaux bassins carriers belges (voir [15]).

La puissance des bancs peut varier faiblement d’un endroit d’exploitation à l’autre, mais l’allure générale donnée reste identique. De même, les appellations des bancs qui sont citées dans les stamper correspondent à des dénominations données par les praticiens en carrières. Elles ne définissent aucunement la qualité de la pierre, mais tiennent compte de difficultés plus ou moins grandes à l’extraction ou d’une configuration de certains bancs.

Le tableau 1 présente la liste des communes où la pierre bleue de Belgique peut être extraite. Cette liste a été fixée par arrêté du Gouvernement wallon le 20 mai 1999 [1] et est parue au Moniteur Belge le 10 juillet 1999.

2.3 CARACTERISTIQUES DE L’EXTRACTION ET DU SCIAGE

2.3.1 EXTRACTION DES BLOCS

Les carrières sonégiennes exploitent le calcaire crinoïdique compact qui se présente sous forme d’une série monoclinale régulière de direction quasi est-ouest et à faible pendage 10-12° sud.

Avant d’atteindre la pierre bleue de Belgique, les couches sus-jacentes sont enlevées :

- ◆ terrains meubles (limons, argiles, sables) à l’aide de pelles hydrauliques avec transport par camions
- ◆ calcaires non ornementaux par forage et abattage à l’explosif et transport.

À ce stade, la pierre bleue de Belgique affleure. L’exploitation profite de la structure des couches, naturellement séparées par des joints non adhérents (arrêt de sédimentation) entre les bancs de calcaire massifs et compacts. Le gisement de 30 m d’épaisseur est divisé en plusieurs fronts d’extraction, formant ainsi un escalier géant (fig. 7).



Fig. 7
Structure des bancs dans une carrière.

BASSIN D’ECAUSSINNES, NEUFVILLES, SOIGNIES	BASSIN DU CONDROZ	BASSIN DU BOCQ ET DE LA MOLIGNÉE
Ath Bruglette Ecaussinnes Lens Seneffe Soignies	Anthisnes Aywaille Ciney Clavier Comblain-au-Pont Durbuy Hamoir Havelange Marchin Modave Ohey Ouffet Somme-Leuze Sprimont Tinlot	Anhée Dinant Hastière Mettet Onhaye Walcourt Yvoir

Tableau 1 Communes où la pierre bleue de Belgique peut être extraite.

Fig. 8
Haveuse pour
le sciage en
carrière.



Pour l'extraction, les plans de sciage principaux, déterminant la face verticale du front, sont sciés par des haveuses. Ces "tronçonneuses sur rails" (voir fig. 8) ont un bras avec une courroie ou une chaîne rotative qui porte les plaquettes tranchantes. Le bras, pénétrant le massif, peut atteindre 5 m de longueur, ce qui facilite le dégagement des fronts les plus hauts. La rainure ouverte, parallèle au front, est large de 4 cm et longue de plusieurs dizaines de mètres. Entre le front du gradin et le trait de haveuse, la tranche de roche massive est découpée systématiquement en travers, afin de dégager bloc par bloc. Ces tranches transversales sont sciées au fil diamanté pour être ensuite basculées au sol. A ce stade, le bloc brut est libéré du gisement et est préparé pour le transport vers la surface (chantier de sciage et de façonnage). Une première sélection sur la qualité des blocs écarte les matériaux altérés, fissurés et morcelés. Les chargeuses manipulent les blocs sélectionnés en manœuvrant sur le gisement. Du fond de la carrière, les blocs bruts très volumineux sont acheminés vers la surface. Ils sont re-

montés par des chargeuses (pour les blocs de moins de 40 t) et par des ponts portiques (pour les plus lourds, jusqu'à 60 t) roulant à l'extrême bord du mur vertical.

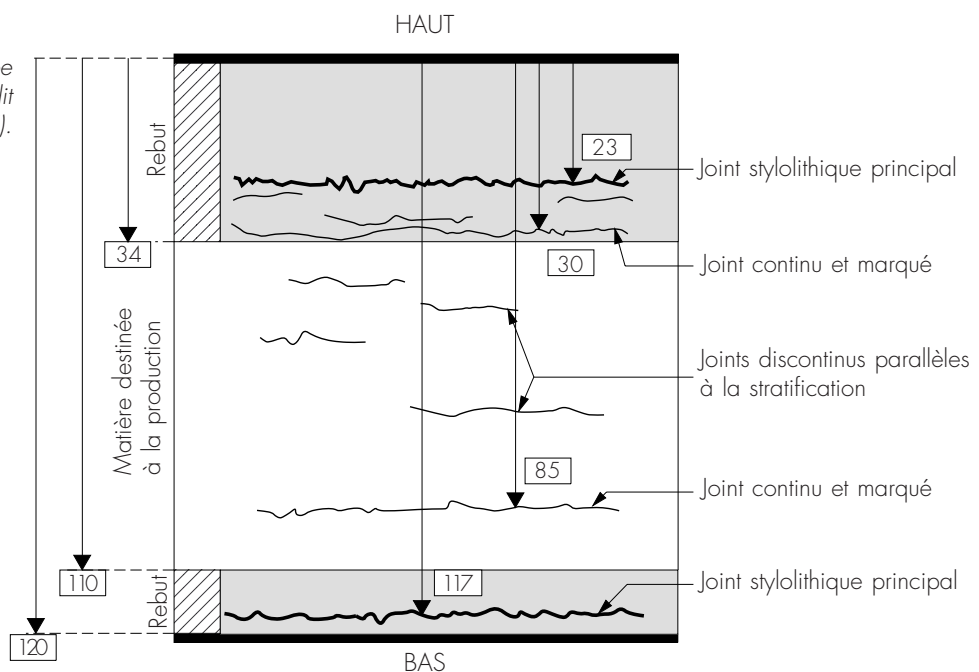
Les exploitations de pierre bleue dans les autres régions de la Belgique utilisent les mêmes moyens techniques mais l'organisation de la carrière dépend du gisement. En effet, les bancs dans ces exploitations sont diversement inclinés en fonction du plissement régional qui les a affectées.

2.3.2 SCIAGE DES TRANCHES

Le sciage des blocs en tranches d'épaisseurs variables (de 2 à 40 cm) doit tenir compte de la structure intrinsèque du (des) banc(s). Les bancs sont séparés entre eux par des joints peu adhérents (joints de stratification). Au sein d'un même banc, nous observons, parallèlement à la stratification, des joints stylolithiques plus ou moins indentés, continus et bien marqués. Le stylolithe est une structure qui correspond à une surface de dissolution de la roche sous pression; la surface de dissolution est plus ou moins fortement indentée. Les parties de tranches qui présentent de nombreuses traces de joint sont automatiquement éliminées après sciage.

L'épaisseur verticale sans joints stylolithiques majeurs et importants est comprise entre les valeurs extrêmes de 15 cm et 100 cm, selon les bancs, avec une épaisseur moyenne d'environ 35 à 45 cm.

Fig. 9 Exemple de coupe lithologique d'un banc (banc dit "Pas de loup").



2.4 LABELS ET CERTIFICATIONS

2.4.1 L'APPELLATION D'ORIGINE LOCALE (AOL)

L'appellation d'origine locale constitue une des filières de labellisation proposées par le décret du Gouvernement wallon du 7 septembre 1989 [2]. Cette appellation insiste sur les qualités d'un produit en fonction de son terroir d'origine, terroir tant au sens physique et géographique qu'humain.

Sigle de l'AOL attribuée par la Région wallonne.



Depuis 1999, la pierre bleue de Belgique bénéficie d'une Appellation d'Origine Locale (AOL) sous la dénomination précise de "pierre bleue dite petit granit d'âge géologique tournaisien" [1]. L'AOL désigne un produit originaire d'une contrée ou d'une localité de la Région wallonne et dont la qualité et les caractéristiques sont exclusivement ou essentiellement dues au milieu géographique donné. L'AOL comporte donc à la fois des critères de qualité et de provenance. En particulier, l'AOL atteste que la pierre satisfait aux exigences reprises dans les conditions publiées au Moniteur Belge du 10 juillet 1999, à savoir :

- ◆ être d'âge stratigraphique tournaisien
- ◆ être du calcaire bioclastique de teinte gris-bleu riche en crinoïdes, coraux, brachiopodes, bryozoaires et algues
- ◆ être composée de minimum 88 % de carbonate de calcium (CaCO_3)
- ◆ avoir une masse spécifique apparente supérieure à 2640 kg/m^3 (valeur minimale)
- ◆ avoir une résistance à la compression supérieure à 110 N/mm^2 (= MPa) (valeur minimale)
- ◆ avoir une porosité inférieure à 0,6 % en volume (valeur maximale).

2.4.2 LA MARQUE COMMUNAUTAIRE COLLECTIVE

A la demande de la Fédération des producteurs de pierre bleue - petit granit, une marque communautaire collective a été enregistrée par l'Office de l'Harmonisation dans le Marché Intérieur de la Communauté européenne le 5 novembre 1999 sous le numéro 000901785 et publiée le 20 décembre 1999. Elle se présente comme suit :



Marque communautaire collective de la pierre bleue de Belgique.

L'utilisation de cette marque est régie par un règlement d'usage qui en précise les modalités et donne les caractères chimiques, physiques et mécaniques que doit présenter le matériau pour pouvoir en bénéficier. Outre la pétrographie (calcaire crinoïdique), la stratigraphie (Ivorien), la composition chimique et la provenance géographique (gisements situés en Belgique), les paramètres suivants sont fixés :

- ◆ masse volumique apparente d'au moins 2640 kg/m^3
- ◆ résistance à la compression d'au moins 100 N/mm^2
- ◆ porosité de maximum 0,6 % en volume
- ◆ résistance à l'usure d'au moins $3,37 \text{ mm/1000 m}$ en donnant pour chacun le protocole normalisé de mesure. L'utilisation de cette marque déposée est ainsi strictement réglementée.

2.4.3 LA CERTIFICATION

2.4.3.1 LA CERTIFICATION ISO 9002

D'une façon générale, la mise en place d'un système de gestion de la qualité au sein d'une entreprise de production se base sur la volonté du dirigeant :

- ◆ d'une part, d'apporter la preuve de la maîtrise de ses processus de production
- ◆ d'autre part, de satisfaire ses clients par une gestion efficace des plaintes et non-conformités, avec le souci d'améliorer les fonctionnements afin d'éviter la répétition des erreurs.

Ce nouveau type de management orienté vers la satisfaction du client peut être certifié par un organisme accrédité (BCCA, par exemple), conformément aux critères de la nouvelle norme ISO 9002 [36].

Bien que facultative, cette certification est de plus en plus exigée dans certains marchés privés ou publics. Elle apporte en effet au client la preuve d'une saine gestion ainsi que de la volonté de satisfaire aux exigences demandées depuis l'offre de prix jusqu'à la livraison, voire la pose.

La norme ISO 9002 peut s'appliquer à tout type de production ou de service. Pour les ateliers de production, comme ceux où l'on découpe et façonne les produits finis en pierre bleue de Belgique, elle impose une maîtrise de l'organisation (poste de travail, flux de production, stocks, mesures ...). Les contrôles internes doivent être clairement mentionnés afin de garantir tout au long de la chaîne de production la conformité du produit aux tolérances. Les vérifications sont à définir par l'entreprise elle-même dans un plan qualité permanent.

En 2001, deux carrières disposaient de l'ISO 9002.

2.4.3.2 LA CERTIFICATION LIÉE À L'ATG (AGRÉMENT TECHNIQUE)

L'agrément technique est délivré par l'Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBAtc), qui réunit le bureau de contrôle technique pour la construction SECO et le Centre Scientifique et Technique de la Construction, sous la tutelle du "Service Qualité" (Direction de l'Agrément et des Spécifications) au Ministère fédéral des Communications et de l'Infrastructure.

Ce document est une appréciation favorable de l'aptitude à l'emploi de procédés, matériaux, éléments ou équipements non traditionnels (ou pas encore régis par des normes).

C'est en 1995 que le premier agrément technique pour une pierre de construction a vu le jour. Depuis, la plupart des carrières productrices de pierre bleue de Belgique ont demandé et obtenu l'homologation ATG. La liste des carrières disposant d'un ATG avec certification peut être obtenue auprès des services de l'UBAtc (ou consultée sur le site www.ubatc.be).

L'agrément technique donne des informations géographiques et géologiques sur le matériau, détaille ses caractères pétrographiques et lithologiques, présente une liste des produits exécutés par la carrière, fournit une méthode de réception des pierres façonnées et montre un tableau de paramètres techniques (masse volumique, porosité, dilatation thermique, résistances à la compression et à la flexion, vitesse du son, résistance à l'usure, module d'élasticité statique, largeur de rayure et résistance au gel) qui est également repris au chapitre 4 de ce document. Ces informations permettent d'apprécier si le matériau est apte à l'usage auquel on veut le soumettre.

L'agrément technique des carrières est délivré avec certification, ce qui signifie que toutes les caractéristiques décrites dans le document d'agrément sont contrôlées et certifiées pendant toute la durée de validité de l'agrément.



3 PRODUCTION ET DIMENSIONS, TAILLES ET FINITIONS SPÉCIFIQUES À LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

3.1 PRODUCTION ET DIMENSIONS

L'importance des gisements de pierre bleue de Belgique et la disposition des bancs permettent l'extraction de blocs de grandes dimensions, en tenant compte toutefois des possibilités des engins de manutention en carrière et du transport.

Les dimensions données ci-après varient donc d'un siège d'exploitation à l'autre mais représentent les surfaces ou les volumes les plus couramment commercialisés par les carrières de pierre bleue de Belgique.

3.1.1 DIMENSIONS DES BLOCS

Les blocs extraits et travaillés par les carrières ont des dimensions pratiques allant de 1,50 à 4,50 m de longueur et de 0,70 à 2,50 m de largeur, en diverses épaisseurs (hauteurs des bancs) allant de 0,30 à 2,50 m.

3.1.2 DIMENSIONS DES TRANCHES

Les dimensions habituelles des tranches varient régulièrement entre 1,50 à 4,40 m de longueur et 0,70 à 2,00 m de largeur.

Les épaisseurs normalement sciées en carrière sont :

- ◆ pour les pierres à usage marbrier : 2, 3, 4 et 5 cm
- ◆ pour les pierres de construction : 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 25, 28 et 30 cm.

3.1.3 DIMENSIONS DES PIÈCES FAÇONNÉES

Les longueurs et largeurs précitées sont des dimensions maximales qu'il faudra adapter à chaque uti-

lisation particulière de la pierre dans le bâtiment. Aussi est-il déconseillé de prescrire une surface supérieure à 0,50 m² et une longueur supérieure à 1,50 m. Au-delà de ces dimensions, il est nécessaire de prendre des mesures particulières lors de la mise en œuvre.

Pour les revêtements de sol intérieurs, les carrières débitent des dalles en dimensions standardisées de 2 et 3 cm d'épaisseur, et de longueur et largeur exprimées en cm de :

- ◆ 30 x 15, 30 x 30
- ◆ 40 x 20, 40 x 40
- ◆ 50 x 25, 50 x 50
- ◆ 60 x 20, 60 x 30, 60 x 40, 60 x 60

ainsi qu'en bandes de longueur libre et de largeur égale à 15, 20, 25, 30, 40 cm.

Ces dimensions sont données sans tenir compte des joints.

3.2 TAILLES ET FINITIONS

3.2.1 INTRODUCTION

La transformation des blocs bruts de pierre naturelle en éléments de construction peut être considérée comme un ennoblissement du matériau. Les opérations technologiques nécessaires à cet effet se répartissent en deux grandes catégories :

- ◆ opérations de mise en forme par sciage et par clivage
- ◆ opérations de façonnage des faces vues.

Ce chapitre détaille les opérations de façonnage des surfaces, que l'on peut subdiviser en deux groupes : les tailles et les finitions. L'art de la taille, qui permet d'obtenir de belles surfaces structurées, est hérité d'un savoir-faire séculaire propre aux tailleurs de pierres. On subdivise les différents types de tailles en tailles fines et tailles grossières. Les opé-

rations de finition des surfaces, qui offrent un large éventail de surfaces unies, mates ou brillantes, perpétuent la longue tradition des marbriers (voir [14]).

Le façonnage influence largement l'aspect final de la pierre. Ainsi, la teinte de la surface d'une pierre naturelle peut sensiblement varier d'une finition à l'autre. Le poli, par exemple, rendra généralement les coloris plus intenses et plus sombres, alors qu'une finition flammée adoucira le plus souvent la palette des couleurs.

Le tableau 2 reprend les types de tailles et finitions les plus courantes.

REMARQUE IMPORTANTE AU SUJET DE LA RÉALISATION DES TAILLES :

À chaque taille est associée une épaisseur minimale, dépendant de la force des coups nécessaires à sa réalisation. D'une façon générale, toute tranche de moins de 30 mm d'épaisseur est susceptible de se rompre lorsqu'elle est travaillée au marteau. C'est pourquoi des éléments de moins de 30 mm d'épaisseur en taille fine ou grossière sont difficilement réalisables. De plus, il faut considérer que les tailles mécaniques ne sont exécutables, en production courante, que sur des parements (faces planes vues) et habituellement pas sur les retours et les chants (à l'exception de la taille ciselée sur les chants des seuils et des marches).

3.2.2 DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES TAILLES ET FINITIONS

3.2.2.1 SCIÉ (SYNONYME : BRUT DE SCIAGE)

Cette appellation désigne l'état de surface d'une pierre sciée mécaniquement par des armures de sciage ou le fil diamanté pour les grands éléments (blocs bruts d'extraction), ou débitée au disque diamanté sur une scie circulaire pour les éléments plus petits.

Le sciage laisse des traces qui apparaissent sur les surfaces sous forme de petites ondulations ou de décrochements (voir fig. 10) de quelques dixièmes de millimètre de profondeur, parallèles et suivant la direction du sciage des armures ou du fil, parallèles mais d'allure circonférentielle lors du sciage au disque.

Dans le cas de la pierre bleue de Belgique, la teinte de la pierre est gris clair avec de légères nuances réparties irrégulièrement sur l'ensemble de la surface, en fonction du mode de sciage.

Tableau 2 Types de tailles et finitions courantes.

FINITION LISSE	TAILLE FINE	TAILLE GROSSIÈRE
Scié Meulé Écuré Adouci Poli	Givré Taille ancienne Ciselé 20 coups (ou plus) Sbattu fin Bouchardé fin Grenailé	Piqueté Éclaté Ciselé 15 coups Sbattu gros Bouchardé gros Gradiné Sclypé Flammé Strié

Fig. 10
Pierre bleue de Belgique sciée.



3.2.2.2 MEULÉ – ECURÉ

Ces deux finitions mécaniques qui visent à éliminer les traces de sciage peuvent s'effectuer soit à sec avec des abrasifs au carborundum, diamantés ou similaires, soit à l'eau à l'aide de plateaux de dressage diamantés. Elles se réalisent au moyen de meuleuses mécaniques pour les petites surfaces, moulures, courbes, etc. ou sur des chaînes d'adoucissage à partir de grandes tranches de pierre sciées.

La finesse de l'abrasif, c.-à-d. sa granulométrie, est généralement indiquée par la numérotation internationale de la FEPA, P, en fonction de l'ouverture des tamis (nombre de mailles par cm²), les chiffres allant croissant à mesure que les grains sont plus fins.

Jusqu'au grain P. 60, la finition est dite *écurée*. A partir du grain P. 80, on obtient une finition *meulée*.

La surface du parement (voir fig. 11) est unie, toute trace de sciage éliminée, couverte de très fines rayures circulaires (visibles sur l'écuré, peu perceptibles sur le meulé), de directions quelconques (0,2 mm de profondeur maximum pour l'écuré).

L'échelonnement des opérations de meulage permet d'offrir une large gamme de nuances. Dans le cas de la pierre bleue de Belgique, on distingue :

- ◆ le meulé gris : grain P. 14 à 40
- ◆ le meulé bleu : grain P. 60, 80, 120.

3.2.2.3 ADOUCI

L'adouci est une finition à l'eau qui se réalise sur des chaînes d'adoucissage, à partir de grandes tranches de pierre sciées (mises ensuite à dimension), ou élément par élément traité en continu. Le travail des petites surfaces, moulures, courbes, etc. s'effectue manuellement ou au moyen de meuleuses mécaniques, avec des abrasifs au grain adapté.

Dans le cas de la pierre bleue de Belgique, on distingue :

- ◆ l'adouci bleu clair : grain P. 220
- ◆ l'adouci bleu foncé : grain P. 320-400
- ◆ l'adouci foncé dit poli mat (satiné) : grain P. 400-500.

La taille adoucie produit de très légers reflets. La surface est unie, mate, sans aucune rayure apparente.

Fig. 11
Pierre bleue
de Belgique
meulée.



Fig. 12
Pierre bleue
de Belgique
adoucie.



Fig. 13
Pierre bleue
de Belgique
polie.



Fig. 14
Pierre bleue
de Belgique
givrée.



3.2.2.4 POLI

Dans la plupart des cas, les tranches de pierre sont polies mécaniquement sur les trains de polissage et mises ensuite à dimension.

Le poli fait ressortir les caractéristiques propres de la pierre (voir fig. 13) : les taches blanches, veines, limés, ... sont mis en évidence; la nature et la structure des fossiles apparaissent distinctement (articles de crinoïdes, coquilles de brachiopodes, coraux, ...). C'est au polissage que les teintes, accentuées, apparaissent avec leurs différentes nuances. La surface devient réfléchissante et très brillante.

Une surface mal polie est mate et parcourue de bandes de polissage (plus marquées sur les pierres de teinte foncée). Ce phénomène se produit également sur les grandes tranches de pierre (longueurs inadaptées aux polisseuses).

L'abrasif utilisé pour le polissage est habituellement dans la gamme des P. 600 à P. 1000. Un dernier passage avec une solution légèrement acide

(mélange d'acide oxalique, d'oxyde d'aluminium et d'oxyde d'étain) permet d'éliminer toute rugosité résiduelle.

3.2.2.5 GIVRÉ

Le givrage est une finition mécanique des parements typique de notre époque. Il s'effectue au moyen de cinq ciseaux dotés chacun de quatre lames et pivotant à la fois sur eux-mêmes et sur la pierre. Le parement est rugueux et présente l'aspect du givre.

3.2.2.6 TAILLE ANCIENNE MANUELLE (SYNONYMES : HEPPELÉ, RETONDU)

La taille ancienne manuelle était une taille d'affinage (taille heppelée ou retonte) du travail du tailleur de pierres. C'est un ciselé effectué sans nombre de coups bien déterminé (± 20 à 30 coups par dm), les stries étant discontinues, parallèles aux arêtes ou légèrement inclinées.

3.2.2.7 TAILLE ANCIENNE MÉCANIQUE

La taille ancienne mécanique est une appellation des carriers pour désigner une taille effectuée au ciseau pneumatique; elle ne présente que peu d'analogies avec la taille ancienne manuelle telle que définie ci-avant et ressemble pratiquement à un sbattu très fin (voir fig. 15).

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est gris clair.

3.2.2.8 CISELÉ MANUEL

C'est la taille traditionnelle par excellence. Les ciseaux en acier sont de forme prismatique ou cylindrique avec une extrémité plate tranchante en carbure de tungstène. La largeur du tranchant varie de 1 cm (ciselets) à 5 ou 8 cm (ciseaux larges), en fonction des différents travaux de ciselage à effectuer.

Le parement présente de nombreuses stries (1 à 2 mm de profondeur) de profil dissymétrique légèrement incliné, entre lesquelles apparaissent de fines lignes de matière brute d'éclatement.

Réalisé sur une surface sciée, éventuellement rectifiée à la meule, avec 10 à 30 coups par dm, le ciselé est généralement parallèle à l'une ou l'autre des arêtes, parfois oblique.

Il existe de nombreuses variantes exclusivement manuelles, réalisables pour certains travaux de restauration ou de décoration, tels la taille ancienne, le ciselé en chevrons ou, plus rares, la taille en damier et la taille mosaïque (ou cathédrale).

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est en général gris clair, de légères variations de teinte s'observant en fonction de l'orientation des stries et de la lumière.

3.2.2.9 CISELÉ MÉCANIQUE

Une fraise multiple munie de dents diamantées attaque la tranche sciée, perpendiculairement à la surface, en donnant à la ciselure mécanique son profil plat caractéristique. L'avance automatique de la machine assure le parallélisme des ciselures et leur espacement régulier (de 10 à 28 stries par dm, standards commerciaux : 15 ou 20 stries par dm).

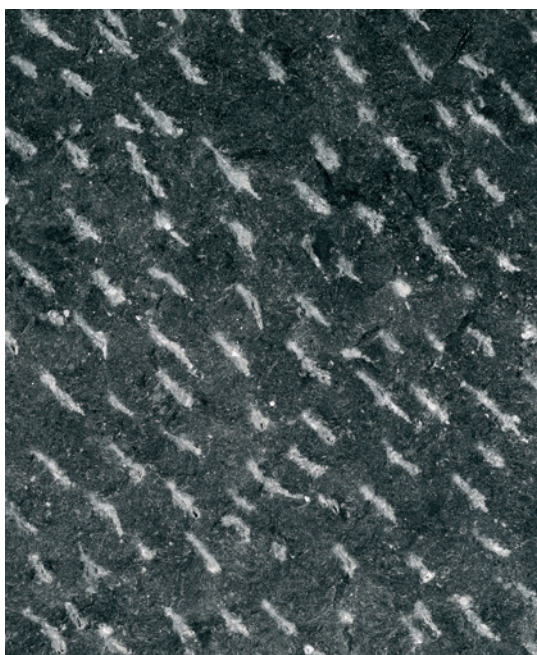
Cette finition de surface produit parfois des effets non désirés : par exemple, des ciselures obliques sur un revêtement de façade peuvent canaliser les eaux de ruissellement dans une direction bien précise et y favoriser l'incrustation de salissures et d'agents de pollution divers.

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est généralement gris clair.

Fig. 15
Pierre bleue de Belgique en taille ancienne mécanique.



Fig. 16
Pierre bleue de Belgique sbattue (taille manuelle).



3.2.2.10 SBATTU (SYNONYME : SMILLÉ)

La taille manuelle est effectuée à la pointe sur une surface sciée ou clivée.

Le sbattu mécanique se réalise uniquement sur de grandes surfaces sciées (tranches), à l'aide d'un outil possédant 1 à 4 dents ou lames en carbure de tungstène, qui sont montées sur un marteau mécanique de force variable. La mise à dimensions des produits finis s'effectue après la taille.

On note de nombreuses petites traces courtes, isolées, plus ou moins parallèles entre elles (largeur : 1 à 5 mm, longueur : 5 à 25 mm, profondeur : 2 à 7 mm), en oblique ou parallèles par rapport aux arêtes ($\pm 45^\circ$ à 60°) et séparées par des cassures d'éclatement très marquées (voir fig. 16). Le sbattu est gros ou fin selon la fréquence des coups (espacés de 5 à 20 mm en manuel, de 1,5 à 7 mm en mécanique).

Le sbattu manuel, dit "à la pointe", se distingue du sbattu mécanique par son aspect plus brut, le nombre réduit et l'irrégularité des coups de pointe. Le sbattu fin mécanique, quant à lui, présente beaucoup d'analogies, dans sa réalisation et son aspect, avec la taille ancienne mécanique.

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte de fond est gris sombre et parsemée de coups blanchâtres.

Variantes : sbattu gros, sbattu fin.

3.2.2.11 BOUCHARDÉ MANUEL

Le bouchardé manuel s'effectue à l'aide de la boucharde, marteau à une ou deux têtes interchangeables en acier, composées chacune d'un damier de pointes pyramidales, dites "pointes de diamant". La boucharde efface toute trace des tailles précédentes (le sciage, par exemple) et imprime des quadrilatères de coups qui empiètent les uns sur les autres et sont alignés sommairement, parallèlement aux arêtes ou légèrement en courbe. Les nombreuses traces (petits points de 1 à 3 mm de largeur et de profondeur) sont plus ou moins espacées selon la denture de l'outil. On distingue le bouchardé gros (16 à 36 dents) ou fin (49 à 64 dents).

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble d'une surface bouchardée est gris clair (points blanchâtres sur un fond sombre).

Variantes : bouchardé gros, bouchardé fin.

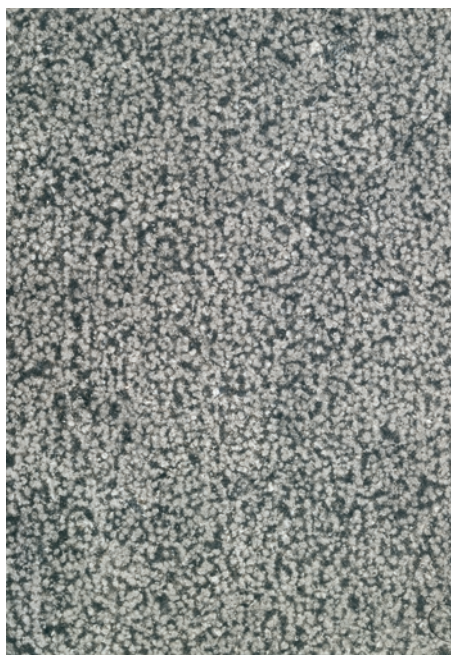
3.2.2.12 BOUCHARDÉ MÉCANIQUE

Pour le bouchardé mécanique, on utilise un marteau pneumatique ou hydraulique muni d'une tête de boucharde qui effectue le travail en continu, sur de grandes surfaces sciées (tranches) (avant leur mise à dimension). Les faces coupées des éléments finis permettent ainsi de distinguer si le bouchardage a précédé ou suivi le découpage.

Fig. 17 Pierre bleue de Belgique bouchardée mécanique.



A. BOUCHARDÉE FIN



B. BOUCHARDÉE GROS

L'aspect de la surface (voir fig. 17) varie selon la taille du marteau (en général 3,5 x 3,5 cm), le nombre de pointes de l'outil (8 et 16 pour le bouchardé gros, 25 pour le bouchardé fin) et sa force de frappe. Les nombreuses traces (petits points de 1 à 3 mm de largeur et de profondeur) sont plus ou moins espacées selon la denture de l'outil et réparties régulièrement sur l'ensemble de la surface.

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est gris très clair pour le bouchardé fin, et gris foncé pour le bouchardé gros; on y distingue des points blanchâtres.

Variantes : bouchardé gros, bouchardé fin.

3.2.2.13 PIQUETÉ

Le piqueté est un bouchardage mécanique réalisé au moyen d'un plateau circulaire. Le travail s'effectue uniquement sur de grandes surfaces sciées (tranches). Le résultat montre une surface parfaitement antidérapante, les parties en relief étant acérées, contrairement à celles du bouchardé qui sont arrondies. La teinte d'ensemble est gris clair.

3.2.2.14 ECLATÉ OU CLIVÉ (SYNONYMES : TRANCHÉ, BRUT DE CLIVAGE, BRUT, ECLATÉ)

Le clivage, mécanique ou manuel, permet la réalisation de moellons.

Le clivage mécanique s'effectue à la cliveuse, presse hydraulique composée d'une lame qui sépare en deux les éléments de pierre sciés. Elle permet la refente économique de tranches de 5 à 20 cm d'épaisseur. Le plan de clivage ainsi obtenu est dit "clivé".

Le clivage manuel s'effectue à l'aide de burins plats (ou "brichauts"). Cet éclatage présente l'aspect naturel de la pierre : une surface à gros éclats, avec

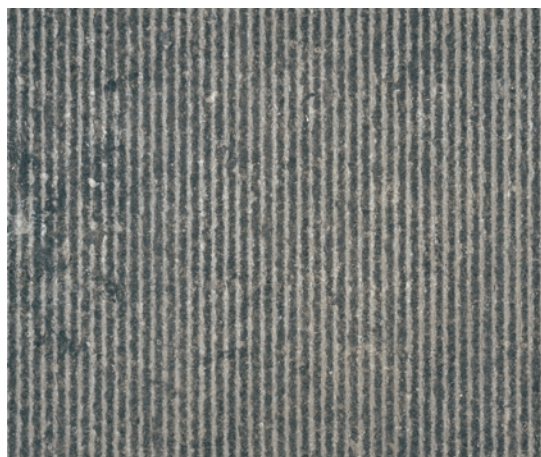


Fig. 18
Pierre bleue de Belgique gradinée.

des bosses et creux de formes diverses, répartis irrégulièrement.

Variante : croûtes.

3.2.2.15 GRADINÉ

La gradine est un ciseau d'acier en forme de peigne; la dimension des dents tranchantes et la largeur de la panne sont variables.

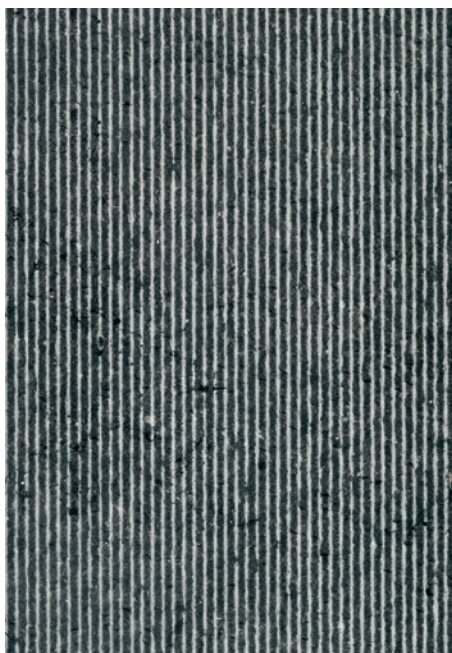
Il s'agit d'une taille essentiellement mécanique, effectuée à la fraise sur de grandes surfaces sciées (tranches) mises ensuite à dimension.

Le parement présente de nombreux sillons en U sensiblement parallèles (largeur : 3 à 7 mm; profondeur : ± 3 mm) et diversement espacés selon l'outil utilisé (voir fig. 18) :

- ◆ gradiné manuel (devenu rare) : environ 10 traits par dm
- ◆ gradiné mécanique : 8, 10, 12 et 15 traits par dm
- ◆ standard commercial : en général, 10 et 12 traits par dm.

Dans le cas de la pierre bleue de Belgique, les stries gris clair contrastent avec la pierre brute gris sombre.

Fig. 19
Pierre bleue
de Belgique
sclypée.



3.2.2.16 SCLYPÉ (SYNONYME : LAYÉ)

Le sclypé est une taille exclusivement mécanique effectuée à la laye mécanique (fraise fixe), directement sur de grandes surfaces sciées (tranches), mises ensuite à dimension.

Le parement plan est constitué de fines stries en V parallèles, de 1 à 5 mm de profondeur, entre lesquelles la matière est brute d'éclatement (voir fig. 19). Le nombre de stries ou traits peut varier de 10 à 20 coups par dm; certains producteurs proposent un standard commercial de 12 coups par dm.

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est gris moyen (les sillons gris-bleu alternant avec la pierre gris sombre).

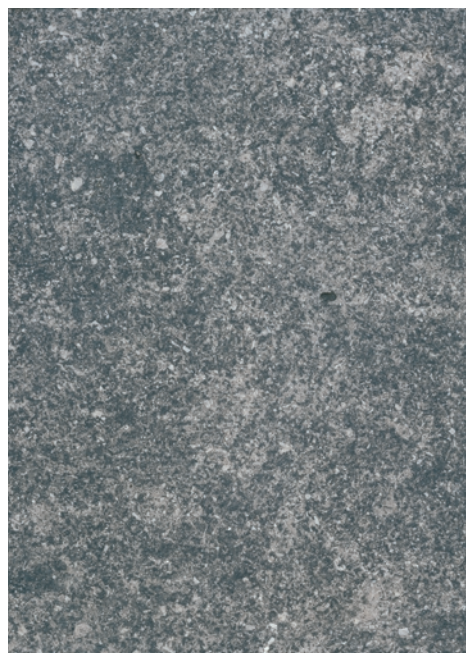
3.2.2.17 FLAMMÉ

C'est une finition spécifiquement mécanique obtenue par passage d'un jet de flamme sur une tranche de pierre sciée, avant la mise à dimension des produits finis. Elle ne s'applique que sur de grandes surfaces; les chants et retours vus ne peuvent pas être flammés.

La flamme forme un angle d'environ 45° et parcourt automatiquement toute la surface du parement. Le choc thermique fait éclater les grains superficiels et donne la texture spécifique de cette finition (voir fig. 20).

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte d'ensemble est gris clair. Le détail présente une multitude

Fig. 20
Pierre bleue
de Belgique
flammée.



de taches blanchâtres de formes irrégulières, légèrement scintillantes et réparties plus ou moins uniformément sur un fond gris moyen. Un aspect gris bleuté peut être obtenu par broissage de la surface flammée (appellation : flammé bleu).

3.2.2.18 SABLÉ (SYNONYME : TAILLE BROCHÉE)

Le sablage sous pression est une manière d'obtenir rapidement une surface rugueuse.

3.2.2.19 STRIÉ

Cette taille manuelle est réalisée à la pointe (ou à la broche) sur une surface généralement clivée.

Le parement présente des traits continus, sensiblement parallèles entre eux et espacés de 15 à 30 mm (largeur : 1 à 5 mm; profondeur : 2 à 7 mm), en oblique par rapport aux arêtes ($\pm 45^\circ$ à 60°) et séparés par des cassures d'éclatement très marquées.

La taille brochée est un strié très grossier dont les sillons, espacés de 4 à 8 cm (largeur : 5 à 10 mm, profondeur : 15 à 20 mm), sont réalisés à la broche.

La taille quadrillée est une variante combinant deux tailles striées plus ou moins perpendiculaires.

Sur la pierre bleue de Belgique, la teinte de fond est gris sombre et parcourue de lignes blanchâtres.

Variante : quadrillé.

3.3 CHOIX D'UNE FINITION POUR UN USAGE EN REVÊTEMENT DE SOL

De par sa bonne résistance à l'usure (voir § 4), la pierre bleue de Belgique peut être utilisée pour tous les usages en revêtement de sol

(logement individuel, bâtiment collectif d'usage moyen ou intense), tant en intérieur qu'en extérieur.

Cependant, la finition des dalles doit être choisie judicieusement de façon à :

- ◆ permettre un vieillissement homogène du revêtement tout au long de son usage
- ◆ garantir la sécurité vis-à-vis de la glissance des personnes y circulant.

Une étude menée au CSTC [13] pour différentes finitions de la pierre bleue de Belgique a permis d'établir des relations entre les caractéristiques de surface suivantes :

- ◆ la rugosité moyenne
- ◆ la brillance
- ◆ la résistance à la glissance déterminée de deux façons :
 - par la méthode du Floor Slide Control 2000 (non normalisée)
 - par la méthode du pendule de frottement (Skid Pendulum) conformément à la norme NBN EN 1341 [33] relative aux dalles pour travaux de pavage extérieur.

Dans les deux cas, les mesures de glissance ont été réalisées avec un patin de caoutchouc sur des dalles humides.

En ce qui concerne les finitions lisses, le tableau 3 reprend les valeurs possibles de chacune de ces caractéristiques en fonction du type de finition.

En ce qui concerne la durabilité de l'aspect du dallage, il est important de signaler que les finitions polies sont susceptibles de perdre rapidement leur brillance au cours de leur usage pour retrouver dans les zones sollicitées un aspect plus proche des finitions adoucies (voir fig. 21).

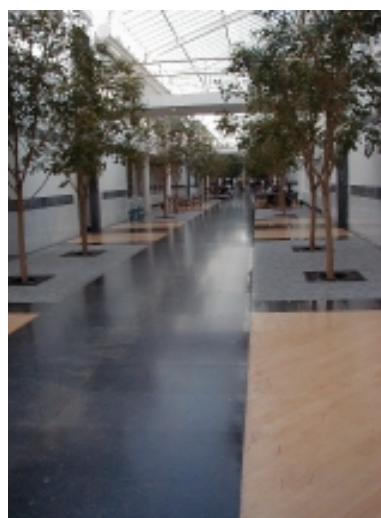


Fig. 21
Zone de circulation d'un bâtiment important.

Tableau 3 Valeurs des caractéristiques de surface en fonction du type de finition.

TYPE DE FINITION	GRANULOMÉTRIE DE L'ABRASIF UTILISÉ POUR LE POLISSAGE	RUGOSITÉ MOYENNE DE LA SURFACE	BRILLANCE	RÉSISTANCE À LA GLISSANCE SELON LE FSC 2000	RÉSISTANCE À LA GLISSANCE SELON LE SKID PENDULUM
MEULÉ GRIS	< 60	> 1,43 µm	< 5 %	> 0,59	> 42
MEULÉ BLEU	entre 60 et 120	entre 0,97 µm et 1,43 µm	entre 5 % et 15 %	entre 0,52 et 0,59	entre 34 et 42
ADOUCI BLEU CLAIR	entre 120 et 220	entre 0,54 µm et 0,97 µm	entre 15 % et 33 %	entre 0,36 et 0,52	entre 26 et 34
ADOUCI BLEU FONCÉ	entre 220 et 400	entre 0,34 µm et 0,54 µm	entre 33 % et 42 %	entre 0,26 et 0,36	entre 20 et 26
ADOUCI FONCÉ (POLI MAT)	entre 400 et 600	entre 0,25 µm et 0,34 µm	entre 42 % et 45 %	entre 0,24 et 0,26	entre 17 et 20
POLI	entre 600 et 900	entre 0,19 µm et 0,25 µm	entre 45 % et 70 %	entre 0,18 et 0,24	entre 15 et 17
POLI BRILLANT	> 900	< 0,19 µm	> 70 %	< 0,18	< 15

On observe à la figure 21 que le couloir central, initialement poli comme les bandes latérales, a perdu son aspect brillant suite à la circulation intensive. Les caractéristiques mesurées le confirment :

- ◆ pour les bandes latérales :
 - brillance : 60 %
 - résistance à la glissance (selon FSC 2000) : 0,25
- ◆ pour le couloir central :
 - brillance : 30 %
 - résistance à la glissance (selon FSC 2000) : 0,35.

Cette évolution est inévitable, sauf si l'on applique sur le revêtement des traitements de protection filmogène efficaces. Les caractéristiques et conditions d'application de ce type de traitement ont été détaillées au § 7.2 de la NIT 213 [9].

En ce qui concerne la résistance à la glissance des revêtements, les critères suivants sont proposés selon la méthode utilisée :

- ◆ pour la méthode du FSC 2000 (voir [24]) : voir tableau 4

- ◆ pour la méthode du pendule de frottement : une annexe informative à la norme NBN EN 1341 [33] renseigne que des valeurs supérieures à 35 sont considérées comme sûres.

On fera également très attention au danger de glissance des marches d'escalier si elles sont des finitions lisses. Une finition plus rugueuse sur le nez de celles-ci offrira une sécurité accrue à cet égard (par exemple, une bande ciselée ou bouchardée).

De même, pour les tailles mécaniques, parfois utilisées également en sol intérieur, on sera attentif à la durabilité de certaines tailles trop superficielles (flammé, bouchardé et heppelé trop fins) dont le relief initial risque de s'atténuer rapidement. A titre d'exemple, des mesures du coefficient de friction réalisées selon la méthode FSC 2000 sur un dallage flammé sollicité de façon intense ont montré une chute de 0,74 à 0,48 en quelques années.

On prendra également en considération les problèmes d'entretien et d'encrassement rapide dans le cas de tailles très structurées.

Tableau 4 Critères pour la résistance à la glissance des revêtements selon la méthode FSC 2000.

VALEUR DU COEFFICIENT DE FRICTION	NIVEAU DE SÉCURITÉ
< 0,21	très incertain
entre 0,22 et 0,29	incertain
entre 0,30 et 0,42	moyennement sûr
entre 0,43 et 0,63	sûr
> 0,64	tout à fait sûr



4 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

Les caractéristiques techniques reprises au tableau 5 ont été déterminées dans le cadre de l'homologation UBAtc (Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction) des carrières de pierre bleue de Belgique en 2000. Les valeurs moyennes mentionnées sont obtenues par le calcul des moyennes arithmétiques de l'ensemble des éprouvettes

testées sur la totalité des bancs échantillonnés dans le bassin de Soignies (30 prélèvements parmi les différents bancs) et du Condroz (38 prélèvements parmi les différents bancs). Tous les essais ont été réalisés par le CSTC et l'ISSeP (Institut Scientifique de Service Public).

Tableau 5 Caractéristiques techniques de la pierre bleue de Belgique.

CARACTÉRISTIQUE	RÉFÉRENCE	NOMBRE D'ÉPROUVETTES	UNITÉS	MOYENNE	ÉCART TYPE
Masse volumique apparente	NBN B 24-213 [32]	131	kg/m ³	2687	15
Porosité (sous vide de 740 mm Hg)	NBN B 24-213 [32]	131	% vol	0,28	0,13
Dilatation thermique (20° C à 75° C)	NIT 205 [12]	68	mm/mK	0,0046	0,0010
Résistance à la compression (5 x 5 x 5 cm)	NBN B 15-220 [28]	338	N/mm ² (MPa)	157,9	19,0
Résistance à la traction par flexion (25 x 10 x 3 cm)	NBN B 15-214 [27]	339	N/mm ² (MPa)	16,7	2,5
Vitesse du son dans le plan (épaisseur)	NIT 205 [12]	87	m/s	5527 (4981)	160 (170)
Résistance à l'usure (méthode Amsler)	NBN B 15-223 [29]	137	mm/1000 m	2,87	0,40
Module d'élasticité statique	NBN B 15-203 [26]	136	GPa	86,9	8,4
Module d'élasticité dynamique	NBN B 15-230 [30]	137	GPa	77,6	2,7
Largeur de rayure (3 rayures/éprouvette; 10 mesures/rayure; scléromètre de Martens)	NIT 80 [11]	68	mm	0,22	0,03

Remarques :

- Toutes les éprouvettes provenant des différents bancs soumises à selon la norme NBN B 17-001 [31] l'essai, se sont montrées ingélives.
- L'essai d'exposition au SO₂ réalisé conformément à la prénorme prEN 13919 [19] confirme que la pierre est peu sensible à l'action de la pollution atmosphérique.
- Des mesures de radioactivité ont été effectuées sur la pierre bleue de Belgique. L'exhalation totale de radon a été estimée à 1,1.10⁻⁷ Bq/kg, ce qui signifie qu'il s'échappe 1,1.10⁻⁷ atome de radon par kilogramme de pierre et par seconde, soit environ un atome tous les 100 jours. Comparée aux 60 Bq/kg représentant une valeur typique de la radioactivité totale de la pierre naturelle, une valeur aussi faible d'exhalation s'attribue à la très faible porosité de la pierre bleue de Belgique. À titre comparatif, l'exhalation moyenne de radon d'une brique de terre cuite se situe à un niveau deux fois supérieur. Mais dans un cas comme dans l'autre, ces valeurs sont très éloignées des taux d'exposition jugés dangereux par les autorités.
- La résistance à l'usure selon la méthode Capon (NBN EN 1341 [33]) a été mesurée sur cinq dalles d'un même banc. Une valeur moyenne de 22 mm a été obtenue.



5 PARTICULARITÉS DE STRUCTURE DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

La pierre bleue de Belgique est une pierre naturelle qui, comme tous les matériaux extraits du sol, présente des particularités de structure en fonction des conditions géologiques ayant déterminé sa formation durant des millions d'années.

Les qualités de durabilité de la pierre bleue de Belgique sont bien connues, pour autant que l'on choisisse des pierres aux particularités qui, tout en lui donnant un aspect spécifique, ne compromettent pas sa longévité.

Il faut donc faire une nette distinction entre les particularités d'aspect de la pierre pouvant justifier l'existence de différentes catégories commerciales

(voir § 7) et les défauts techniques de la pierre bleue de Belgique qui justifient pleinement le rebut de la pierre qui en est affectée (voir § 6).

La pierre bleue de Belgique se prête à de nombreuses tailles où se fondent les irrégularités originales du matériau. D'autres utilisations les laissent cependant apparentes, car ces particularités d'aspect confèrent à la pierre un caractère de sincérité architecturale parfois recherché.

On trouvera ci-après les définitions de chacune de ces particularités, illustrées par des photos. Une collection d'échantillons de référence est également consultable au CSTC.

Tableau 6
Particularités de structure de la pierre bleue de Belgique.

APPELLATIONS DES PARTICULARITÉS DE STRUCTURE UTILISÉES DANS LES CAHIERS DES CHARGES OU EN USAGE DANS LES CARRIÈRES ET CHANTIERS DE TAILLE	APPELLATION GÉNÉRALE PRÉCONISÉE
Bousin, Grisou	Bousin
a. Géode, Fontaine b. Moie, Fontaine terreuse	a. Géode b. Moie
Veine, Limé, Fil, Fil franc, Poil a. Veine blanche, Fil blanc, Limé blanc vicieux b. Veine rouille, Fil roux, Limé roux c. Veine noire, Fil noir	Veine a. Veine blanche b. Veine rouille c. Veine noire
a. Terrasse, Joint stylolithique b. Plage de stratification, Nœud de noirure, Noirure	a. Stylolithe (terrasse) b. Stylolithe (noirure)
Tache blanche, Tache blanche de différentes nuances	Tache blanche
Gaillet, Pas de loup, Tache de calcite, Coquillage, Fossile, Polypiers, Syringopora, Nids d'abeilles	Fossile
Clou, Clou blanc, Clou jaune	Clou
Tache noire non charbonneuse, Pierre foncée ou claire, "Grise veine"	Variations de teintes

5.1 BOUSIN

Un bousin est une zone d'altération de couleur gris-brun, de faible résistance et de capacité de rétention d'eau plus importante que celle de la pierre saine.

La présence de zones friables ou de matériau altéré au sein du calcaire s'explique par la dissolution et/ou par la dolomitisation. La dolomitisation est la transformation d'un carbonate de calcium en un carbonate de calcium-magnésium (fig. 22).

Fig. 22
Bousin.



5.2 GEODES ET MOIES

Les géodes et les moies (fig. 23) sont des cavités centimétriques entièrement ou partiellement remplies, provenant souvent du vide laissé par un fossile. Les géodes sont tapissées de cristaux (souvent de calcite) et contiennent parfois de l'eau (fontaines). Les moies ou "fontaines terreuses" sont des cavités principalement remplies de matières argileuses ou sableuses; elles sont particulièrement rares. Si une géode est entièrement refermée et cristallisée de façon homogène, on parle de tache blanche (voir § 5.5).

Fig. 23
Géode.



5.3 VEINES

Les veines sont des structures rectilinéaires, formées par une cicatrisation naturelle, partielle ou complète, de fractures ou fissures par un matériau minéral. Ces veines peuvent être soit parallèles, soit obliques par rapport à la stratification de la roche. Lorsque ces

veines sont très fines (< 1 mm), elles sont fréquemment dénommées "fils".

Ces fractures aléatoires (fissures) sont liées à l'histoire géologique du gisement. On distingue :

◆ *veines blanches*

Les veines blanches (fig. 24) sont des fissures ou des fractures soudées par une matière blanche : la calcite.

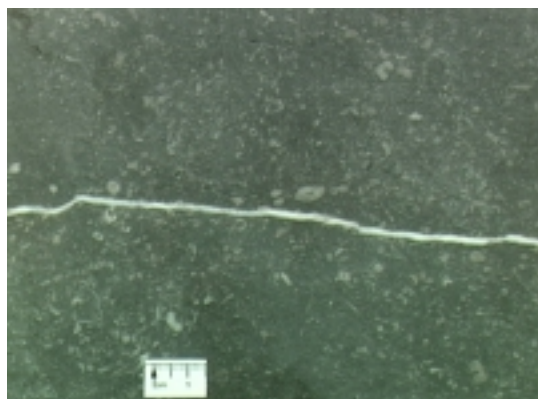
◆ *veines rouilles*

Beaucoup plus rares que les précédentes, les veines ou fils rouilles sont des fissures mal soudées, tapissées de cristaux de pyrite ou marcasite partiellement transformée en limonite (jaune ocre à brun-noir).

◆ *veines noires*

Dans ce cas, les fissures ou fractures sont colmatées par une importante quantité de matières argileuses et charbonneuses qui réduisent de ce fait la cohésion de la pierre. On ne retrouve jamais de veines noires dans les produits finis car la fragilité de celles-ci provoque systématiquement la cassure des éléments lors du débitage ou du façonnage.

Fig. 24
Veine blanche.



5.4 STYLOLITHES

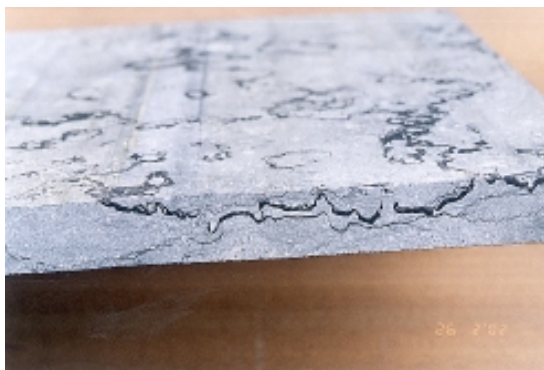
Ce sont des joints irréguliers dans le banc, globalement parallèles à la stratification, sous l'apparence d'une ligne charbonneuse, et faisant corps avec la masse. Ces joints (fig. 25), qui apparaissent généralement comme des lignes zigzaguant plus ou moins fortement, sont surtout visibles sur les faces débitées perpendiculairement à la stratification (débitées à contre-passe) et sont constitués principalement d'argiles à fraction carbonatée et de matières organiques. Ces joints sont issus d'une dissolution sous pression du banc. Suivant la découpe réalisée, perpendiculairement (à contre-passe) ou parallèlement (à passe) au sens de la stratification, l'apparence et l'appellation des stylolithes sont différentes.

◆ débités à contre-passe (perpendiculairement à la stratification) : terrasses (fig. 26)

- ◆ débités à passe (parallèlement à la stratification) : noirures (fig. 27).

Ces deux appellations s'appliquent à n'importe quelle face lorsque les stylolithes ne sont pas parallèles à la stratification.

Fig. 25
Terrasses et
noirures.



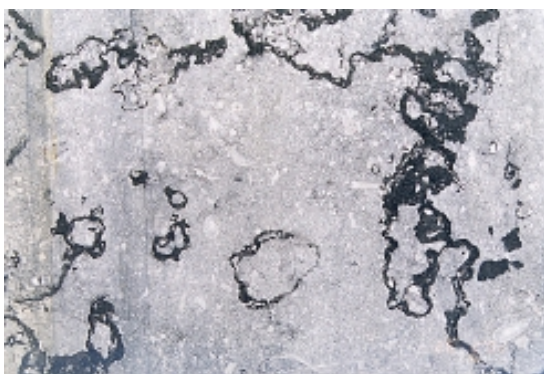
Terrasses : parfois faussement dénommées “veines noires”, elles apparaissent sous forme de lignes zigzagantes, globalement parallèles à la stratification. Elles sont surtout visibles sur les faces débitées perpendiculairement à la stratification.

Fig. 26
Terrasses.



Noirures : appelées aussi “nœuds de noirure” ou “plages de stratification”, elles apparaissent sur les faces sciées à passe à travers un joint stylolithique. Elles sont donc généralement vues en parement et sur des dalles de sol et sont représentées par des traces noires foncées ou, si le stylolithe est très échancré, par des anneaux noirs.

Fig. 27
Noirures.



Les structures nuageuses présentes dans les pierres en provenance des “Bancs Noirs” du Bassin de Condroz (fig. 28) ne correspondent pas à cette définition.



Fig. 28
Structure
nuageuse
typique d'un
Banc Noir.

Il est important de souligner qu'il ne faut pas confondre les stylolithes avec les veines, surtout lorsque ces dernières sont noires. Les stylolithes sont des joints irréguliers (zigzagants) caractérisés par une matière insoluble (argile, produits carbonneux, matières organiques, oxydes de fer). Dans l'histoire géologique de la formation de la roche, les stylolithes sont antérieurs aux veines. Ils correspondent à une dissolution du carbonate sous la pression du massif rocheux sous-jacent.

Les veines, quant à elles, sont des zones étroites d'une couleur différente de la roche (blanche, rouille ou noire). Elles trouvent leur origine dans les fractures du massif après sa formation (durcissement ou lapidification). La percolation d'eau carbonatée au travers de celles-ci en a permis la soudure plus ou moins complète, selon les cas, le plus fréquemment par de la calcite.

5.5 TACHES BLANCHES

Comme la calcite est le minéral dominant dans la pierre calcaire, il n'est pas étonnant de la retrouver à l'état pur au sein de celle-ci (fig. 29) sous forme de géodes ou de nodules compacts.

Parmi les taches blanches, certaines présentent des variations de tonalité violettes. Il s'agit d'un autre

Fig. 29
Taches
blanches.



minéral, la fluorite, de teinte violette qui se mélange à la calcite au sein d'une géode.

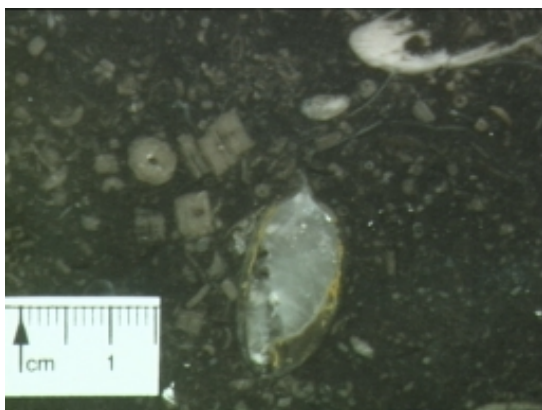
5.6 FOSSILES

La pierre bleue de Belgique est constituée de nombreux organismes fossilisés à morphologie particulière. Les fossiles peuvent être blancs, gris ou noirs.

Outre les crinoïdes (fig. 30), les fossiles les plus communément rencontrés sont :

- ◆ les coquilles de brachiopodes ou "coquillages"
- ◆ les colonies de polypiers, "nids d'abeilles" (ou michelinia) et "brins de souris" (ou syringopora) (fig. 31)
- ◆ les éponges en "pas de loup" (ou asteractinella) peuvent être fluoritisées.

Fig. 30
Crinoïdes
et fossiles.



5.7 VARIATIONS DE TONALITE

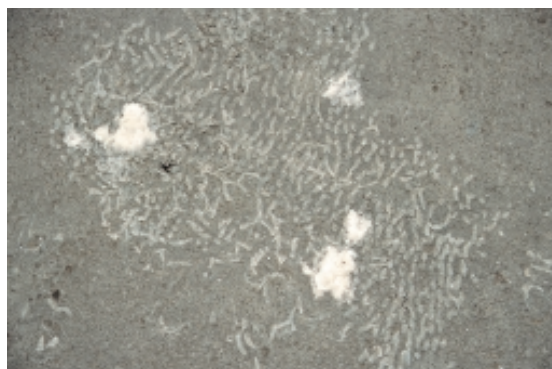
Comme toute autre pierre naturelle, la pierre bleue de Belgique présente des variations de tonalité. Ces différences de tonalité se manifestent d'un banc de pierre à l'autre. Il faut savoir que ces variations de teinte s'atténuent dans le temps avec la patine.

Cependant, des écoulements d'eau préférentiels peuvent entraîner des variations dans la patine se traduisant par des nuances de teinte difficiles à éliminer.

5.8 CLOUS

Les clous sont des concrétions ou des hétérogénéités dans la pierre et le plus souvent constitués de silice (clous blancs) ou de pyrite (clous jaunes).

Fig. 31
Taches
blanches et
syringopora.





6 FACTEURS QUI INFLUENCENT LES QUALITÉS TECHNIQUES : CRITÈRES D'ACCEPTATION

6.1 PIERRES FAÇONNÉES POUR USAGE DANS LE BATIMENT

Le tableau 7 reprend les critères généraux d'acceptation recommandés pour pierres façonnées pour usage dans le bâtiment. Ces critères sont ensuite appliqués au cas par cas pour les trois produits finis courants, détaillés ci-après, en prenant également en compte les spécifications des nouvelles normes européennes.

mandés pour pierres façonnées pour usage dans le bâtiment. Ces critères sont ensuite appliqués au cas par cas pour les trois produits finis courants, détaillés ci-après, en prenant également en compte les spécifications des nouvelles normes européennes.

6.1.1 LES DALLES POUR LE REVÊTEMENT DES SOLS ET DES ESCALIERS

Au sens de la prénorme prEN 12058 [18], le terme "dalle" désigne toute pièce de pierre naturelle d'épaisseur supérieure à 12 mm, destinée au revêtement de sols et des escaliers intérieurs ou extérieurs (hors voirie). Les dalles sont mises en œuvre sur un support adéquat au mortier(-colle) ou par tout autre système de construction (dallage sur plots, par exemple). Pour les escaliers, cette catégorie comprend aussi bien le plat de marche que la contremarche, à condition que l'épaisseur soit supérieure à 12 mm dans les deux cas.

Les marches en pierre massive ne sont pas incluses dans cette catégorie. Cette norme contient une série d'exigences pour les dalles dont les principales sont relatives aux caractéristiques dimensionnelles.

Toutefois, cette norme ne fait pas la distinction entre les dalles pour un dallage standard et celles pour un dallage marbrier, distinction qui est pourtant habituelle dans notre pays. Pour rappel, la NIT 213 consacrée aux revêtements de sols intérieurs en pierre naturelle définit comme suit les deux types de dallage :

- ◆ par dallage *standard*, nous entendons un ensemble de dalles de pierre naturelle de choix courant, dont le débitage est exécuté industriellement au départ de tranches (ou parfois direc-

tement de blocs) et en grande série. Ces dalles ont des formats réguliers, aux dimensions commerciales imposées par le producteur. Ces dimensions sont également qualifiées de standard (p. ex. : 30 x 30 cm, 40 x 40 cm, 40 x 60 cm, ...). Aucune pièce n'est repérée. La pose de ce type de dallage nécessite le mélange harmonieux préalable des dalles

- ◆ un dallage *marbrier* désigne un ensemble (pierre blanche, marbre, granit, ...) dont le débitage est exécuté dans une marbrerie par un marbrier, sur base d'un plan de calepinage précis et de bordereaux de fabrication. Les tranches qui serviront au découpage des dalles sont sélectionnées au départ par le marbrier en carrière. Toutefois, le maître d'ouvrage ou l'architecte peuvent également sélectionner les tranches. Toutes les pièces sont repérées sur le plan de calepinage pour en permettre la pose sur chantier.

Les tolérances dimensionnelles proposées dans la NIT 213 reprennent dans une large mesure celles de la prénorme prEN 12058 sur les dalles et de la prénorme prEN 12057 [17] sur les plaquettes modulaires. Elles avaient également été adaptées pour des dallages marbriers qui nécessitent des tolérances plus sévères. Les tableaux suivants résument les principales exigences dimensionnelles pour les dalles en



Fig. 32 Dalles pour le revêtement des sols.

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	CRITÈRE D'ACCEPTATION RECOMMANDÉ
Bousin	Le bousin doit être rebuté, quelle que soit l'application envisagée.
Géodes et moies	Les géodes et les moies entraînent le rebut de la pierre.
Styloolithes	<p>Styloolithes/Terrasses : L'aspect et la durabilité de la pierre peuvent se modifier après la mise en œuvre à cause de la présence de styloolithes. Lorsqu'elles sont situées en face vue et qu'elles sont très prononcées, les styloolithes peuvent servir de voie de pénétration d'eau et s'accroître graduellement. On rebutera dès lors les éléments comportant sur une face vue des terrasses continues de plus de 1 mm d'épaisseur moyenne (l'épaisseur moyenne d'une terrasse étant déterminée sur base de 10 mesures régulièrement réparties sur toute la longueur de la terrasse).</p> <p>Styloolithes/Noirures : Des noirures issues de styloolithes très échancrés peuvent provoquer des piqûres individuelles affectant généralement peu l'aspect de la pierre. Étant donné le caractère naturel et les répercussions négligeables du phénomène sur la longévité du matériau lorsqu'elles sont de petite taille, on estime que des piqûres (noirures écaillées) de moins de 2 mm peuvent être tolérées pour les éléments de finition lisse (*) utilisés en intérieur ou en extérieur, à condition qu'elles soient isolées et que leur nombre reste limité. Pour un dallage, on admettra un nombre maximum de dalles affectées égal à 5 % du nombre total de dalles composant le revêtement. Ce pourcentage correspond au nombre maximum de dalles qui présentent après pose ce phénomène, alors qu'au moment de la pose, celles-ci ne manifestaient aucun défaut d'aspect. Pour respecter cette recommandation, un tri rigoureux des dalles doit être organisé en carrière. De plus, il est conseillé d'écarter lors de la pose toute dalle qui aurait échappé au tri et qui présenterait déjà des piqûres (noirures écaillées).</p> <p>Pour les éléments avec finition mécanique (taillée), la dimension maximale acceptable des noirures écaillées sera portée à 5 mm pour les tailles fines (par exemple de la taille ancienne) et à 20 mm pour les tailles grossières (par exemple le bouchardé gros (**)).</p> <p>Remarque importante : les critères d'acceptation et de rebut relatifs aux noirures ne seront d'application que moyennant le respect des conditions de pose et d'entretien (***). L'humidité joue en effet un rôle prépondérant dans le mécanisme d'écaillage des noirures. Il convient donc d'en limiter au maximum la présence.</p>
Veines	<p>La cicatrisation des fissures par la calcite ou un autre minéral est tantôt complète, n'affectant dès lors pas les qualités mécaniques de la pierre, tantôt partielle de sorte qu'un choc ou une tension faible peut causer la fracturation de la pierre au cours de son façonnage et de sa mise en œuvre, voire après.</p> <p>L'aspect des veines est important car il permettra de juger si celles-ci sont dangereuses ou non. Les veines provoqueront le rebut de l'élément dans trois cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - si les veines retiennent l'humidité, c.-à-d. lorsqu'elles restent plus longtemps humides que le reste de l'élément (visible en mouillant la surface de la pierre puis en la laissant sécher) - si elles sont minéralisées par des gros cristaux de calcite peu soudés - si les parois sont bordées d'un liseré noir ou rouille. <p>En particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les veines blanches (limés, fils) sont dangereuses et entraînent le rebut lorsqu'elles retiennent l'eau, ce qui se passe lorsque les parois sont bordées d'un liseré noir ou contiennent des impuretés (de teinte noire ou violette). Dans ce cas, la soudure avec les parois est incomplète et le fil blanc est peu homogène; le manque de cohésion avec la masse et le danger de rupture sont accrus. - La présence de veines noires (fils noirs) offre un danger d'autant plus grand que leur teinte foncée se confond bien souvent avec la teinte de la pierre elle-même. Comme les précédents, les fils noirs sont dangereux et entraînent le rebut lorsqu'ils retiennent l'eau. - Les veines rouilles (fils roux) entraînent le rebut de la pierre.

Tableau 7
Critères d'acceptation recommandés pour pierres façonnées pour usage dans le bâtiment.

(suite en p. 30)

Tableau 7
Critères
d'acceptation
recommen-
dés pour
pierres
façonnées
pour usage
dans le
bâtiment
(suite).

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	CRITÈRE D'ACCEPTATION RECOMMANDÉ
Taches blanches	Les sections dans les nodules compacts intimement soudés à la masse ne présentent aucun danger. Par contre, certaines taches blanches sont dangereuses, quoique rares, car elles masquent les géodes situées à faible distance de la surface.
Fossiles	Pour autant qu'ils soient comblés et bien soudés à la masse, les fossiles ne présentent aucun danger; ils valorisent le matériau par leur esthétique particulière.
Clous	Les clous blancs n'affectent pas la qualité technique de la pierre. En raison du risque d'oxydation de la pyrite, pouvant provoquer un éclat par gonflement, les clous jaunes sont à rebuter.
<p>(*) Toutes les finitions marbrières ainsi que les finitions meulées et brutes de sciage, cf. tableau 2. (**) Les différents types de finition lisse, taille fine et taille grossière sont repris au § 3.2.1. (***) Ces recommandations sont détaillées dans les documents suivants : - NIT 213, <i>Les revêtements de sol intérieurs en pierre naturelle</i>, 1999 [9] - CSTC-Magazine, <i>Revêtements de sol en pierre calcaire organoclastique</i>, décembre 1993, pp 32-36 [39]. Il y a lieu de se référer également aux recommandations du producteur.</p>	

Tableau 8
Résumé des
principales
exigences
dimension-
nelles pour
les dalles.

TOLÉRANCE MAXIMALE ADMISSIBLE	DIMENSIONS DE L'ÉLÉMENT	DALLAGE STANDARD (prEN 12058)	DALLAGE MARBRIER (NIT 213)
SUR L'ÉPAISSEUR NOMINALE (e) (mm) (*)	12 mm < e ≤ 15 mm	± 1,5 mm	± 1,5 mm
	15 mm < e ≤ 30 mm	± 10 %	± 2 mm
	30 mm < e ≤ 80 mm	± 3 mm	± 3 mm
SUR LA LONGUEUR (l) ET LA LARGEUR (b) (**)	l ou b ≤ 600 mm	± 1 mm	± 0,25 mm
	Autres cas	± 2 mm	± 0,25 mm
SUR L'ÉQUERRAGE (GABARIT) (**)(***)	l ou b ≤ 300 mm	± 1 mm	± 0,25 mm
	Autres cas	± 2 mm	± 0,25 mm
SUR LA PLANÉITÉ (****)	e ≤ 30 mm	± 0,2 % de la dimension contrôlée avec un maximum de 3 mm	± 0,15 % de la dimension contrôlée si l'épaisseur est ≤ 30 mm
	e > 30 mm		± 0,2 % de la dimension contrôlée si l'épaisseur est supérieure à 30 mm
<p>(*) La norme européenne précise que des tolérances plus strictes peuvent être d'application, notamment pour des dalles posées en couche mince (ou mortier-colle). La NIT 213 propose dans ce cas une tolérance maximale de ± 1 mm, ce qui nécessite un calibrage dans l'épaisseur. (**) Plutôt que de faire la distinction sur les dimensions dans le plan, la NIT 213 propose une distinction sur l'épaisseur des dalles (inférieure ou supérieure à 30 mm), ce qui selon nous correspond mieux à la réalité des processus de fabrication. (***) L'équerrage est vérifié à l'aide d'un gabarit à angle droit dont un côté est aligné sur une arête de la dalle. La tolérance admissible ne doit être dépassée en aucun point du côté perpendiculaire. (****) La NIT 213 propose la même distinction pour le dallage standard.</p>			

tenant compte de celles reprises dans la prénorme prEN 12058 pour les dalles du type standard et de la NIT 213 pour les dalles du type marbrier.

Les dalles en pierre bleue de Belgique sont toujours débitées à passe, c.-à-d. parallèlement à la stratification. Les dimensions standard pour les éléments de dallage sont les suivantes: 30 x 30 cm, 40 x 40 cm, 30 x 60 cm, 50 x 50 cm, 40 x 60 cm, 60 x 60 cm et 40 x 80 cm en épaisseurs de 2, 3 ou 5 cm. Les épaisseurs des dalles doivent être choisies en fonction de leurs dimensions, de leur usage et du mode de pose.

Pour les usages en intérieur, la finition est généralement adoucie. Pour l'extérieur, les finitions antidérapantes sont évidemment recommandées. Ces éléments sont généralement réalisés dans la catégorie "bâtiment courant" (voir § 7). En ce qui concerne les particularités de structures acceptables, le tableau 9 est d'application.

Il existe actuellement, sur le marché, des dalles sous différentes appellations commerciales, auxquelles les producteurs donnent une apparence vieillie artificiellement. Ces dalles peuvent présenter toutes les particularités de structure nécessaires à l'imitation d'anciens dallages. Les critères définissant les défauts acceptables sont ceux du tableau 27 relatifs aux pavés.

6.1.2 LES PLAQUETTES MODULAIRES

Selon la prénorme prEN 12057, les plaquettes modulaires sont des éléments de pierre naturelle destinés au recouvrement des murs, sols et escaliers et dont l'épaisseur est inférieure à 12 mm. Ces plaquettes modulaires sont normalement destinées à être mises en œuvre à la colle ou au mortier-colle sur support stable. Elles peuvent être utilisées en intérieur et en extérieur, puisque les caractéristi-

Tableau 9 Particularités de structure acceptables dans le cas de dalles pour le revêtement des sols.

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	CRITÈRE D'ACCEPTATION RECOMMANDÉ (*)	
	Face vue	Chants et face de pose
BOUSIN	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLE RETENANT L'EAU	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	A
TERRASSES	– Pour le chant vu des marches d'escalier, l'épaisseur moyenne des terrasses continues sera limitée à 1 mm	A Pour autant que le critère sur les noirures soit satisfait
NOIRURES (**)	Les noirures écaillées sur la face vue des dalles de finition lisse sont acceptées aux conditions suivantes : – leur diamètre est inférieur à 2 mm – leur nombre est limité de façon à ce que moins de 5 % des dalles composant le dallage soient affectés. Pour les dalles à taille fine et grossière, le même critère est d'application, à l'exception de la dimension maximale des noirures admissibles, qui est portée respectivement à 5 et 20 mm	Chants : – Face de pose : A

(*) R = à rebuter; A = accepté; – = pas d'application

(**) Il est très difficile de repérer, lors de la pose, des noirures pas encore écaillées sur des dalles de finition adoucie. Un tri rigoureux doit donc être réalisé en usine avant l'opération d'adoucissage, car c'est à ce moment que les noirures sont les plus visibles. Il est toutefois possible que quelques dalles échappent à cette vérification. C'est pourquoi les critères d'acceptation et de rebut relatifs aux noirures restent valables après la pose, moyennant le respect des conditions de pose et d'entretien. On estime qu'une noirure devant s'écailler le fera au cours des cinq premières années de vie du dallage.

ques de la pierre bleue de Belgique le permettent. Les plaquettes de pierre bleue de Belgique sont généralement réalisées dans la catégorie “bâtiment courant” (voir § 7). Elles sont disponibles dans les formats standard 30 x 30 cm, 40 x 40 cm et 30 x 60 cm, en épaisseur de 10 mm.

Les finitions sont adoucies ou polies, la finition polie étant fortement déconseillée en revêtement de sol. Une finition flammée est également possible.

Rappelons ici que la pose en couche mince d'éléments de grand format (plus de 40 x 40 cm) implique une planéité parfaite du support (cf. NIT 213 aux § 5.2.3 et 5.4.4.2)

Les exigences de la prénorme sur les caractéristiques dimensionnelles de ces éléments sont reprises au tableau 10; par contre, en ce qui concerne les particularités de structure, il y a lieu de se référer au tableau 11.

Tableau 10
Exigences de la prénorme sur les caractéristiques dimensionnelles pour les plaquettes modulaires.

TOLÉRANCES MAXIMALES ADMISSIBLES	TYPE DE PLAQUETTES	
	<i>plaquettes non calibrées</i>	<i>plaquettes calibrées</i>
SUR LES DIMENSIONS l ET b	± 1 mm	± 0,5 mm
SUR L'ÉPAISSEUR e	± 1,5 mm	± 0,5 mm
SUR LA PLANÉITÉ (d'application uniquement pour les surfaces lisses)	0,15 % de la dimension contrôlée	0,15 %
SUR L'ÉQUERRAGE AU GABARIT	0,15 %	0,15 %

Tableau 11
Particularités de structure acceptables pour les plaquettes modulaires.

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	CRITÈRE D'ACCEPTATION RECOMMANDÉ (*)	
	<i>Face vue</i>	<i>Chants et face de pose</i>
BOUSIN	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLE RETENANT L'EAU	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	A
TERRASSES	–	A Pour autant que le critère sur les noirures soit satisfait
NOIRURES (**)	Les noirures écaillées sur la face vue des plaquettes de finition lisse sont acceptées aux conditions suivantes : – leur diamètre est inférieur à 2 mm – leur nombre est limité de façon à ce que moins de 5 % des plaquettes composant le dallage soient affectés. Pour les plaquettes de finition flammée, le même critère est d'application, à l'exception de la dimension maximale des noirures admissibles, qui est portée respectivement à 5 mm.	Chants : – Face de pose : A

(*) R = à rebuter; A = accepté; – = pas d'application

(**) Il est très difficile de repérer, lors de la pose, des noirures pas encore écaillées sur des éléments de finition adoucie. Un tri rigoureux doit donc être réalisé en usine avant l'opération d'adoucissage, car c'est à ce moment que les noirures sont les plus visibles. Il est toutefois possible que quelques plaquettes échappent à cette sélection. C'est pourquoi les critères d'acceptation et de rebut relatifs aux noirures restent valables après la pose, moyennant le respect des conditions de pose et d'entretien. On estime qu'une noirure devant s'écailler le fera au cours des cinq premières années suivant la mise en œuvre.

6.1.3 LES PLAQUES POUR LE REVÊTEMENT DES FAÇADES

Les plaques pour le revêtement des façades sont définies dans la prénorme prEN 1469 [16] comme des éléments de pierre naturelle coupés à dimensions, destinés à revêtir des murs (ou plafonds), intérieurs ou extérieurs, et fixés mécaniquement à la structure (généralement en application extérieure) ou en adhérence au moyen de mortier(-colle). Ces éléments ont une longueur 'l', une largeur 'b' et une épaisseur 'e', généralement exprimés en mm. La NIT 146 [10] détaille la technique de fixation mécanique des plaques en façade, qui est certainement la plus utilisée actuellement et fortement recommandée pour des questions de sécurité. On y trouve également des caractéristiques d'emploi des pierres, notamment des caractéristiques dimensionnelles qui seront comparées plus loin aux exigences de la prénorme prEN 1469.

La pose en adhérence d'éléments de revêtement de façade implique un choix extrêmement rigoureux du mortier-colle afin de tenir compte de l'état du support et des mouvements de celui-ci (retrait, fluage, tassements, dilatation thermique). La tenue des performances de ces produits dans le temps doit également être vérifiée. Les plaques en pierre bleue de Belgique pour le revêtement des façades



Fig. 33
Plaques pour le revêtement des façades.

AMPHITHÉÂTRE DE TEBROUPE - LIÈGE ARCH. D. DETHIER, 1996

extérieures sont généralement fixées mécaniquement et ont une épaisseur minimale de 3 ou 5 cm. L'épaisseur est à déterminer selon les dimensions en plan des plaques et le système de fixation choisi (cf. NIT 146). Toutes les tailles et finitions décrites au § 3.2 sont réalisables, à l'exception des finitions adoucies et polies qui sont fortement déconseillées pour l'extérieur. Les exigences sur les caractéristiques géométriques définies dans la prénorme prEN 1469 sont reprises au tableau 12.

CARACTÉRISTIQUE GÉOMÉTRIQUE	DIMENSIONS DE L'ÉLÉMENT	TOLÉRANCE MAXIMALE ADMISSIBLE
ÉPAISSEUR NOMINALE (e) pour des plaques fixées mécaniquement ou à l'aide de mortier (*)	$e \leq 30$ mm	± 10 %
	$30 \text{ mm} < e \leq 80$ mm	± 3 mm
	$e > 80$ mm	± 5 mm
LONGUEUR (l) ET LARGEUR (b) (**)	l ou $b \leq 600$ mm	± 1 mm
	autres cas	± 2 mm
PLANÉITÉ (***)	quelle que soit l'épaisseur	$\pm 0,2$ % de la dimension concernée avec un maximum de 3 mm
ÉQUERRAGE (GABARIT) (****)	l ou $b \leq 600$ mm	± 1 mm
	autres cas	± 2 mm

Tableau 12
Exigences sur les caractéristiques géométriques de plaques pour le revêtement des façades.

- (*) – Si les plaques sont posées en adhérence au mortier-colle, des tolérances plus sévères sont d'application. La prEN 1469 cite une tolérance de 0,5 mm et limite l'épaisseur à 40 mm.
– La NIT 146 cite des tolérances comparables pour les épaisseurs courantes d'utilisation (± 2 mm, voire ± 3 mm pour les granits).
- (**) Ces tolérances sont très proches de celles citées dans la NIT 146, à savoir ± 1 mm pour des dimensions inférieures à 700 mm et $\pm 1,5$ mm pour les dimensions supérieures.
- (***) Il faut être conscient que des plaques de grande dimension (plus de 50 cm) et présentant une courbure (concave ou convexe) acceptable vis-à-vis de ce critère, pourront difficilement être mis en œuvre sans donner lieu par endroits à des désaffleurements supérieurs à 1 mm. Ce problème sera d'autant plus important si l'appareillage est à joints alternés.
- (****) L'équerrage est vérifié à l'aide d'un gabarit à angle droit dont on aligne un côté sur une arête de la dalle. La tolérance admissible ne doit être dépassée en aucun point du côté perpendiculaire.

Pour les plaques destinées à une fixation mécanique, la prénorme prEN 1469 précise également une tolérance de ± 2 mm pour l'emplacement, le diamètre et la profondeur des trous dans lesquels sont placés les goujons.

Les plaques pour revêtement de façade en pierre bleue de Belgique sont réalisées en catégorie "bâtiment courant", sauf celles destinées au rez-de-chaussée qui sont réalisées en "bâtiment exceptionnel" (voir § 7). Les particularités d'aspect admissibles au niveau de la durabilité sont résumées au tableau 13.

6.2 LES ELEMENTS DE VOIRIE

- ◆ les bordures
- ◆ les dalles
- ◆ les pavés.

On distingue parmi les éléments de voirie pour le pavage extérieur :

Depuis janvier 2000, chacun de ces produits doit être conforme à la norme européenne correspondante (voir [33], [34] et [35]).

Cette conformité, qui doit être garantie par un système de contrôle en usine, comporte principalement trois parties :

- ◆ le respect des tolérances dimensionnelles précisées dans les normes
- ◆ la conformité de certaines caractéristiques physiques et mécaniques par rapport aux valeurs déclarées de référence
- ◆ la conformité d'aspect de toute fourniture par rapport à des échantillons de référence définissant l'apparence du travail fini et l'aspect approximatif en termes de couleur, veinage, structure physique et finition de surface.

Tableau 13
Particularités de structure admissibles au niveau de la durabilité pour les plaques pour façades.

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	CRITÈRE D'ACCEPTATION RECOMMANDÉ (*)	
	Face vue	Chants et face non vue
BOUSIN	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLE RETENANT L'EAU	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	A
TERRASSES	–	Les terrasses sur chants sont acceptées si elles ont une épaisseur moyenne inférieure à 1 mm et pour autant que le critère sur les noirures soit satisfait. En cas de fixation mécanique, on évitera de forer les trous de scellement des goujons au droit d'une terrasse.
NOIRURES	Les noirures écaillées sur la face vue des plaques de finition lisse sont acceptées aux conditions suivantes: – leur diamètre est inférieur à 2 mm – leur nombre est limité de façon à ce que moins de 5 % des plaques composant l'ouvrage soient affectées. Pour les plaques à taille fine ou grossière, le même critère est d'application, à l'exception de la dimension maximale des noirures admissibles, qui est portée respectivement à 5 et 20 mm.	Chants : – Face de pose : A

(*) R = à rebuter; A = accepté; – = pas d'application

On trouvera ci-après, pour chacune des trois applications de voirie, le détail des critères relatifs aux tolérances dimensionnelles telles que définies dans ces normes européennes, ainsi qu'aux défauts techniques non acceptables et propres à la pierre bleue de Belgique.

Il est important de souligner qu'il s'agit ici de particularités de structure propres à la pierre bleue de Belgique et affectant directement la durabilité des éléments. Aucun aspect esthétique n'est pris en compte dans ces critères car les éléments de voirie sont normalement de catégorie "choix technique" (définie au § 7).

6.2.1 LES BORDURES

Les bordures sont traditionnellement des éléments linéaires qui délimitent des espaces de circulation et qui limitent également les caniveaux. Elles ont donc pour rôle de protéger les piétons du trafic routier – en résistant aux chocs des roues et au frottement des pneus – et de canaliser les eaux évacuées. Il importe donc qu'elles soient assises sur une fondation solide et suffisamment contrebutées pour ne pas déverser.

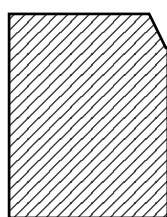
Différentes sections transversales sont possibles selon les usages. On distinguera principalement les bordures avec chanfrein (fig. 34A), avec arrondi (fig. 34B) ou avec fruit (fig. 34C).

Les écarts admissibles sur la largeur et la hauteur nominale doivent être conformes aux valeurs déclarées de la norme NBN EN 1343. On retiendra que les écarts admissibles entre deux faces surfacées (sens transversal) sont de ± 3 mm pour la largeur (l) et de ± 10 mm pour la hauteur (H). Pour les écarts admissibles dans le sens longitudinal (L), le tableau 14 est d'application (pour les bordures droites uniquement).

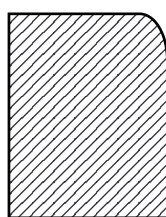
Les bordures en pierre bleue de Belgique sont soit brutes de sciage, soit meulées, soit ciselées dans la longueur sur la face horizontale (à recommander pour l'effet antidérapant). L'arête côté voirie peut être soit chanfreinée, soit arrondie, soit avec fruit. Les bordures en pierre bleue de Belgique sont débitées en fonction des joints stylolithiques parallèles au plan de pose, ceci pour leur conférer une durabilité maximale. Le producteur doit savoir, préalablement à la découpe de l'élément, quelle sera la profondeur enterrée, ceci afin de localiser d'éventuels défauts ou particularités d'aspect acceptables dans la partie non vue. Les défauts tels que bousins, géodes, moies et veines retenant l'eau sont à écarter, même pour les parties enterrées. Il convient également d'éviter la présence de joints stylolithiques trop épais dans la zone émergente (zone III) si l'on veut limiter le risque de rupture de la bordure en cas de choc brutal.

Dans le même esprit, la zone supérieure de la bordure ne devra pas comporter de joints stylolithiques

A. BORDURE AVEC CHANFREIN



B. BORDURE AVEC ARRONDI



C. BORDURE AVEC FRUIT

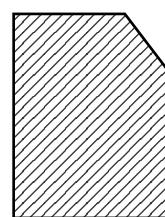


Fig. 34
Sections de bordures possibles.

CARACTÉRISTIQUE	SURFACÉE (*)
Rectitude des arêtes parallèles au plan de la face supérieure (type A)	± 3 mm
Rectitude des arêtes perpendiculaires au plan de la face supérieure (type B)	± 3 mm
Perpendicularité entre la face supérieure et la face vue (angles B1-C)	± 7 mm
Planéité de la face supérieure	± 5 mm
Perpendicularité entre la face supérieure et les faces d'extrémité (angles A1-B1 et A2-B2)	± 5 mm
(*) La NBN EN 1343 précise également les tolérances dimensionnelles pour d'autres caractéristiques géométriques, tels le rayon de courbure ou la géométrie du fruit. Nous renvoyons à ce document pour plus d'informations.	

Tableau 14
Ecart admissible sur les dimensions de bordures.

Fig. 35
Dimensions
des bordures.

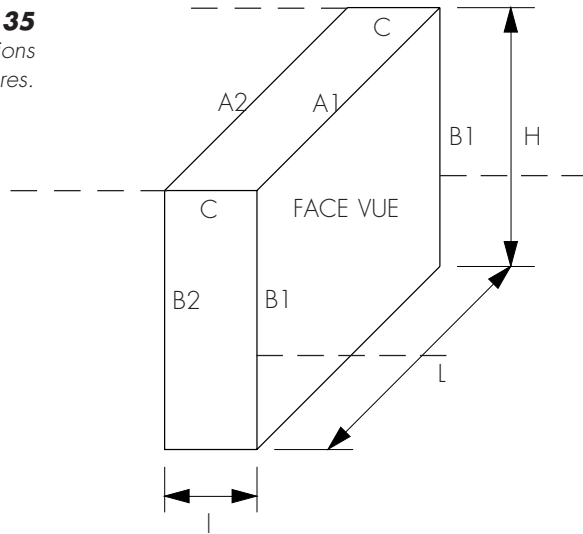
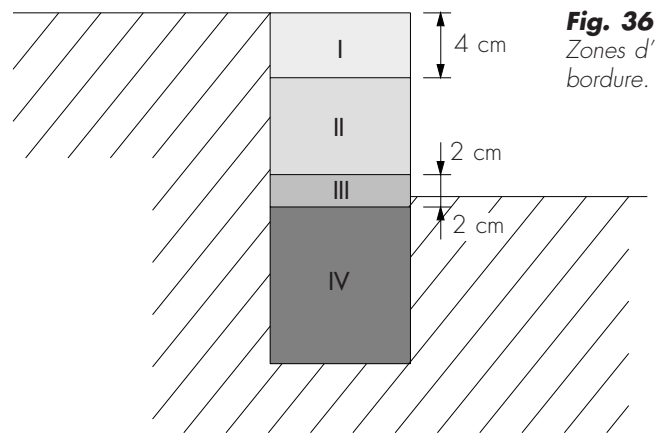


Fig. 36
Zones d'une
bordure.



(terrasses) trop épais si l'on veut éviter des problèmes de durabilité : on admettra de fines terrasses peu visibles (c.-à-d. invisibles d'une distance de 3 m) sur une épaisseur de 4 cm à partir de la face supérieure. En dessous de cette zone, des terrasses de moins de 1 mm d'épaisseur moyenne seront admises dans la partie vue. Dans la partie non vue située 2 cm sous le niveau de pose, aucun critère sur les terrasses n'est retenu. En ce qui concerne les noirures, le critère de 2 mm de diamètre qui avait été retenu pour la pierre de bâtiment reste d'application pour les parties vues de finition lisse, c.-à-d.

toutes les finitions marbrières à l'eau en plus des finitions brutes de sciage et meulées (cf. tableau 2). Pour les faces vues avec finition mécanique (taillées), le diamètre maximum acceptable est de 5 mm pour les tailles fines à 20 mm pour les tailles grossières. Pour les parties enterrées, aucun critère sur les noirures n'est à considérer.

En conclusion, on peut diviser une bordure en quatre zones (voir fig. 36) et définir pour chacune d'elles les critères d'acceptation repris au tableau 15.

Tableau 15
Critères
d'acceptation
des quatre
zones d'une
bordure
(voir fig. 36).

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	ZONES (*)			
	I	II	III	IV
BOUSIN	R	R	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLES RETENANT L'EAU	R	R	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	R	R	A
TACHES BLANCHES	A	A	A	A
TERRASSES	A, si elles sont fines et peu visibles (= invisibles à 3 m)		A, si elles ont une épaisseur moyenne ≤ 1 mm	
NOIRURES	A, si leur dimension maximale est : - ≤ 2 mm pour les finitions lisses - ≤ 5 mm pour les tailles fines - ≤ 20 mm pour les tailles grossières		A	A
(*) R : à rebuter; A : accepté				

Fig. 37 Vue générale d'un dallage de voirie.



passé 150 mm et est égale à au moins deux fois l'épaisseur. La face supérieure est le plus souvent brute de sciage, parfois taillée mécaniquement (piqueté, grenailé, sbattu ou bouchardé), tandis que les chants sont éclatés ou sciés.

La norme de référence pour ces éléments est la norme NBN EN 1341 [33].

On y trouve notamment les écarts admissibles sur les dimensions, parfois exprimés en fonction des classes. Les classes et ces écarts admissibles sont résumés aux tableaux 16 à 20.

6.2.2 LES DALLAGES DE VOIRIE

Les dalles pour le dallage extérieur de voirie (fig. 37) sont généralement définies comme des éléments prismatiques dont la longueur nominale dé-

En ce qui concerne les dimensions maximales des dalles par rapport à leur usage prévu, la norme NBN EN 1341 propose une méthode pour déterminer la

Tableau 16
Écarts sur les dimensions en plan.

CLASSE	Classe 1	Classe 2
MARQUAGE	P1	P2
Chants sciés L ≤ 700 mm	± 4 mm	± 2 mm
Chants sciés L > 700 mm	± 5 mm	± 3 mm
Chants éclatés	± 10 mm	± 10 mm

CLASSE	DIAGONALE	ÉCART
MARQUAGE	D1	D2
1	< 700	6 mm
	≥ 700	8 mm
2	< 700	3 mm
	≥ 700	6 mm

Tableau 17
Écarts sur les diagonales.

Tableau 18
Écart sur l'épaisseur.

DALLES SURFACÉES	CLASSE 0	CLASSE 1	CLASSE 2
MARQUAGE	T0	T1	T2
≤ 30 mm d'épaisseur	Pas d'exigence pour le mesurage de l'épaisseur	± 3 mm	± 10 %
> 30 mm ≤ 60 mm d'épaisseur		± 4 mm	± 3 mm
> 60 mm d'épaisseur		± 5 mm	± 4 mm

SUR LE CÔTÉ LE PLUS LONG	0,5 m	1 m	1,5 m
Parement surfacé fin (= finition lisse + taille fine)	± 2 mm	± 3 mm	± 4 mm
Parement surfacé en relief (= taille grossière)	± 3 mm	± 4 mm	± 6 mm

Tableau 19
Écart sur la planéité des arêtes.

Tableau 20

Écart sur la planéité des faces.

ÉCART SUR LA PLANÉITÉ DES FACES	ÉCART ENTRE REPÈRES (mm)	ÉCART CONVEXE MAXIMUM (mm)	ÉCART CONCAVE MAXIMUM (mm)
Surfacé fin	300	2,0	1,0
	500	3,0	2,0
	800	4,0	3,0
	1000	5,0	4,0
Surfacé en relief	300	3,0	2,0
	500	4,0	3,0
	800	5,0	4,0
	1000	8,0	6,0

charge de rupture et définit 7 classes d'usage ainsi que les charges de rupture minimales qui y sont associées (voir tableau 21). L'application de cette méthode au cas de la pierre bleue de Belgique, pour des formats courants d'utilisation, est reprise au tableau 22.

Les dalles en pierre bleue de Belgique sont toujours débitées "à passe", c.-à-d. parallèlement à la stratification. Les critères définissant les défauts acceptables sont repris au tableau 23.

Tableau 21

Charge de rupture.

CLASSE	CHARGE DE RUPTURE EN FLEXION (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, places de marché empruntées occasionnellement par les véhicules de livraison et de secours
5	14,0	Zones de circulation fréquemment empruntées par des poids lourds
6	25,0	Routes et rues, stations-service

CLASSES D'USAGE SELON LA NORME NBN EN 1341 (EN ADOPTANT UNE RÉSISTANCE À LA FLEXION DE 12,7 N/mm ²)			
DIMENSIONS (cm)	ÉPAISSEUR		
	3 cm	5 cm	8 cm
15 x 15	2	4	6
20 x 20	2	4	6
25 x 25	2	4	6
30 x 30	2	4	6
30 x 15	1	3	5
40 x 40	2	4	6
40 x 20	1	3	5
50 x 50	2	4	6
50 x 25	1	3	5
60 x 60	2	4	6
60 x 40	1	3	5
60 x 30	1	3	5
80 x 40	1	3	5

Tableau 22
Classes d'usage pour la pierre bleue de Belgique, selon la norme NBN EN 1341.

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	FACE VUE (*) (**)	FACES NON VUES (*) (**)
BOUSIN	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLES RETENANT L'EAU	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	A
TACHES BLANCHES	A	A
TERRASSES	–	A
NOIRURES	A, si elles ont une dimension maximale de – 2 mm pour les finitions lisses – 5 mm pour les tailles fines – 20 mm pour les tailles grossières	A

(*) – : pas d'application; R : à rebuter; A : accepté
(**) Les critères relatifs à la face vue étant différents de ceux de la face inférieure, il est important que le producteur identifie clairement le sens de pose (surtout pour du brut de sciage) et que le poseur se réfère systématiquement à ces indications.

Tableau 23
Critères définissant les particularités de structure des dalles débitées "à passe".

6.2.3 LES PAVÉS

Les pavés se définissent comme des éléments dont les dimensions en plan sont comprises entre 5 et 15 cm et dont l'épaisseur minimale est 5 cm. Aucune des deux dimensions en plan ne dépasse deux fois l'épaisseur du pavé. La norme de référence pour ces éléments est la norme NBN EN 1342 [34].

Les dimensions courantes des pavés en pierre bleue de Belgique sont :

- ◆ 8 x 8 x 5 cm
- ◆ 10 x 10 x 5 cm
- ◆ 12 x 12 x 6 cm
- ◆ 15 x 15 x 8 cm.

Les faces supérieures et inférieures sont généralement éclatées, tandis que les chants sont sciés.

Comme tous les travaux de pavage au sens général du terme, la mise en œuvre de pavés nécessite une main d'œuvre qualifiée, un savoir-faire traditionnel. Cette note se limitant au matériau "pierre bleue de Belgique", nous renvoyons à des documents techniques spécifiques, par exemple [38], pour la description des techniques de pose.

En ce qui concerne les caractéristiques géométriques des pavés, les exigences de la norme NBN EN 1342 sont reprises aux tableaux 24, 25 et 26.

Les pavés en pierre bleue de Belgique sont généralement produits "à passe", c.-à-d. avec leur face vue parallèle à la stratification et à partir de la matière "choix technique" (cf. § 7).

Les critères définissant les défauts acceptables pour les pavés sont repris au tableau 27.

Tableau 24

Tolérances sur les dimensions en plan nominales des pavés.

MESURÉES OÙ ?	TOLÉRANCES SUR LES DIMENSIONS EN PLANS NOMINALES
Entre 2 faces éclatées	± 15 mm
Entre une face surfacée et une face éclatée	± 10 mm
Entre deux faces surfacées	± 5 mm

Tableau 25

Tolérances sur l'épaisseur nominale pour pavés.

MESURÉES OÙ ?	TOLÉRANCES SUR L'ÉPAISSEUR NOMINALE (*)	
	Classe 1	Classe 2
Entre 2 faces éclatées	± 30 mm	± 15 mm
Entre une face surfacée et une face éclatée	± 30 mm	± 10 mm
Entre deux faces surfacées	± 30 mm	± 5 mm

(*) Les pavés en pierre bleue de Belgique sont toujours de classe 2 en ce qui concerne la tolérance sur l'épaisseur nominale.

Tableau 26

Amplitude des inégalités de surface pour pavés.

MESURÉES OÙ ?	AMPLITUDE DES IRRÉGULARITÉS DE SURFACE MESURÉE AU GABARIT DE PROFIL
Face éclatée	5 mm
Face surfacée	3 mm

PARTICULARITÉS DE STRUCTURE	FACE VUE (*)	FACES NON VUES (*)
BOUSIN	R	R
GÉODES ET MOIES	R	R
VEINES BLANCHES, NOIRES OU ROUILLES RETENANT L'EAU	R	R
FOSSILES TENDRES OU NON ADHÉRENTS	R	A
TACHES BLANCHES	A	A
TERRASSES	–	A
NOIRURES	A	A
(*) – : pas d'application; R : à rebuter; A : accepté		

Tableau 27
Critères définissant les particularités de structure acceptables des pavés.



7 LES PARTICULARITÉS D'ASPECT ET LES CATÉGORIES COMMERCIALES

Le chapitre précédent a défini une série de critères techniques visant à sélectionner les pierres pouvant être utilisées dans un bâtiment ou en voirie sans problème de durabilité. Ce chapitre traite uniquement des particularités d'aspect envisageables lorsque les pierres ont satisfait à ces critères techniques. Ces particularités d'aspect, en fonction de leur effet sur l'esthétique des éléments, définissent trois catégories commerciales. Elles sont reprises au tableau 28. Il est important de souligner que ces catégories commerciales ne se différencient que par des considérations esthétiques et que, quelle que soit la catégorie à laquelle appartiennent les éléments, ceux-ci ne présentent pas de problèmes de durabilité. Pour chaque application en bâtiment ou en voirie, il existe une catégorie recommandée pour les produits. Ceux-ci peuvent néanmoins être obtenus dans une autre catégorie, moyennant variation de prix. Les catégories recommandées selon les applications sont les suivantes :

◆ produits extérieurs :

- catégorie bâtiment exceptionnel :
- couvre-mur

- parement de façade rez-de-chaussée
- balustre
- colonne
- encadrement de porte et fenêtre
- console
- élément décoratif
- catégorie bâtiment courant :
 - escalier + marche
 - revêtement de façade sauf rez-de-chaussée
 - dallage
 - plinthe
 - soubassement
 - mobilier urbain
- choix technique :
 - caniveau
 - dallage voirie
 - croûte
 - moellons
 - pavés
 - bordures
 - bande structurante

◆ produits intérieurs : ils sont recommandés en catégorie bâtiment courant.

Tableau 28
Catégories commerciales en fonction des particularités d'aspect.

PARTICULARITÉS D'ASPECT	DÉFINITIONS		CATÉGORIE BÂTIMENT EXCEPTIONNEL	CATÉGORIE BÂTIMENT COURANT	CATÉGORIE TECHNIQUE
TACHES BLANCHES (*)	La surface des taches et leur nombre sont totalisés à l'intérieur d'un cadre mobile de 1 m de côté				
	Surface de parement $S_p \geq 100 \text{ dm}^2$	Surface de chaque tache t Surface totale des taches S_t	$t \leq 0,25 \text{ dm}^2$ $S_t \leq 0,75 \text{ dm}^2$	$t \leq 1 \text{ dm}^2$ $S_t \leq 3 \text{ dm}^2$	Sans spécifications particulières pour autant que soient respectées les prescriptions concernant la durabilité définies au § 6.
	Surface de parement $S_p < 100 \text{ dm}^2$	Surface de chaque tache t Surface totale des taches S_t $R = S_t/S_p$	$t \leq 0,2 \text{ dm}^2$ $S_t \leq 0,5 \text{ dm}^2$ $R \leq 1/150$	$t \leq 0,75 \text{ dm}^2$ $S_t \leq 2 \text{ dm}^2$ $R \leq 1/50$	

(suite en p. 43)

Tableau 28
Catégories
commerciales
en fonction des
particularités
d'aspect (suite).

PARTICULARITÉS D'ASPECT	DÉFINITIONS		CATÉGORIE BÂTIMENT EXCEPTIONNEL	CATÉGORIE BÂTIMENT COURANT	CATÉGORIE TECHNIQUE
LIMÉS BLANCS (**)	Le nombre de limés et leur épaisseur sont comptés à l'intérieur d'un cadre mobile de 1 m de côté				Sans spécifications particulières pour autant que soient respectées les prescriptions concernant la durabilité définies au § 6.
	Surface de parement $S_p \geq 100 \text{ dm}^2$	Nombre de limés N_l	$N_l \leq 3$	$N_l \leq 4$	
		Épaisseur des limés E	$E \leq 2,5 \text{ mm}$	$E \leq 6 \text{ mm}$	
Surface de parement $S_p < 100 \text{ dm}^2$	Nombre de limés N_l	$N_l \leq 2$	$N_l \leq 3$		
	Épaisseur des limés E	$E \leq 2,5 \text{ mm}$	$E \leq 6 \text{ mm}$		
TERRASSES	Les terrasses prises en considération affectent l'aspect de la pierre examinée à 3 m de la distance et apparaissent sur des parements. Les épaisseurs des terrasses sont comptées sur une moyenne de 10 lectures régulièrement espacées le long de la terrasse prise en considération.				
	–	Épaisseur moyenne de la terrasse E_t	$E_t \leq 0,5 \text{ mm}$	$E_t \leq 1 \text{ mm}$	
		Épaisseur du parement E_p	$E_p \leq 20 \text{ cm}$		
NOIRURES	Critères identiques à ceux définis au § 6 et communs aux 3 catégories.				
PRÉSENCE DE FOSSILES ET VARIATIONS DE TONALITÉ	La pierre est un matériau naturel formé à partir de fossiles divers parfaitement cimentés. Il est donc normal d'y rencontrer des accumulations de coquilles visibles. De même, il peut exister d'un banc à l'autre, au sein d'un même banc ou d'une tranche, des variations de tonalité, propres à tous les matériaux pierreux naturels. Ces variations s'atténuent dans le temps avec la patine. Afin de limiter celles-ci, les pierres d'une même fourniture proviendront autant que possible d'un même banc.				
(*) Il n'est pas tenu compte des taches blanches dispersées dont la surface est $\leq 0,005 \text{ dm}^2$. (**) Il n'est pas tenu compte des limés blancs dont l'épaisseur est $\leq 1 \text{ mm}$.					



8 ENTRETIEN ET PROTECTION DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE

De par sa dureté et de sa porosité très faible, la pierre bleue de Belgique présente une résistance particulièrement bonne aux salissures, aux graffitis et aux contraintes de l'environnement. Toutefois (et comme pour tous les matériaux), ceci n'exclut pas un minimum de suivi, d'entretien et de traitements éventuels si l'on désire favoriser la durabilité et le maintien de l'aspect des éléments. C'est dans cette optique que sont résumées dans ce chapitre les différentes recommandations concernant les éléments posés en intérieur ou extérieur.

8.1 L'ENTRETIEN D'UN DALLAGE INTERIEUR

Avant toute opération, il est indispensable de laisser sécher le dallage fraîchement posé. Une période de 3 à 6 mois est indis-

pensable pour évaporer l'eau du support et du produit de pose ainsi que l'humidité contenue dans les dalles qui sont rarement sèches au moment de leur mise en œuvre. Plus l'apport d'eau pour la construction du complexe sol est important, plus la période de séchage doit être longue. Une pose au mortier sur une chape adhérente reposant sur une dalle en béton neuve est à ce point de vue particulièrement exigeante en eau. Au cours de cette période de séchage, seul un nettoyage à la serpillière humidifiée dans de l'eau claire est conseillé, afin d'éviter un "bouche-porage" du matériau qui ralentirait ou bloquerait l'évaporation de l'eau.

Après cette période, l'utilisation d'un savon neutre, tel le "savon de Marseille" en paillettes dilué dans de l'eau chaude est recommandée. Ce savon devra toutefois être utilisé dans des proportions raisonnables (une poignée dans 10 litres d'eau), tout excès de savon formant une pellicule inesthétique sur la surface du revêtement. Les produits d'entretien acides sont évidemment à proscrire. On trouve également dans le commerce des produits du type "lave et cire" spécifiques pour la pierre naturelle. Ces produits donnent pour la plupart de bons résultats à condition de respecter scrupuleusement les indications du fabricant.

En ce qui concerne l'enlèvement de la laitance consécutive à la pose et au rejointoiement, n'ayant pas pu être complètement éliminée après un nettoyage aux copeaux de bois blanc par exemple, il est recommandé de procéder de la façon suivante :

- ◆ laisser sécher la laitance
- ◆ aspirer le sol
- ◆ récurer à l'aide d'un produit légèrement alcalin (pH maximum de 10) et surtout pas d'un produit acide. Cette opération est facilitée par l'utilisation d'une monobrosse équipée d'un feutre imprégné du produit. Dans tous les cas, il est préférable de travailler par petites surfaces et de ne pas répandre directement le produit sur toute la surface à récurer
- ◆ rincer à la serpillière humidifiée à l'eau claire.

Pour de plus amples informations à ce sujet, nous renvoyons au [37].

8.2 LE NETTOYAGE ET LES DIFFERENTES PROTECTIONS DE LA PIERRE BLEUE DE BELGIQUE EN EXTERIEUR

8.2.1 LE NETTOYAGE

8.2.1.1 OBJECTIF

Suivant la NIT 197 [4], le nettoyage devrait, sauf cas particuliers, se limiter à une intervention destinée à obtenir un état de propreté suffisant, c.-à-d. l'élimination des poussières et suies peu adhérentes, les éléments conservant la marque du temps et leur patine. Cette définition, qui concerne l'ensemble des matériaux rencontrés en façade, ne répond pas toujours aux souhaits de nombreux maîtres d'ouvrages, qui voient dans le nettoyage d'éléments en pierre bleue de Belgique un moyen d'obtenir une surface de tonalité uniforme et gris clair. Ce résultat nécessite non seulement l'élimination des encrassements, mais également l'utilisation de tech-

niques abrasives destinées à éliminer les patines superficielles aux couleurs différentes et liées aux zones d'écoulements différentiels. Heureusement et compte tenu des épaisseurs très faibles concernées par la patine, le nettoyage abrasif soigné de la pierre bleue de Belgique n'influence que très peu la texture superficielle ou la durabilité potentielle des pierres.

Fig. 38
Nettoyage de
façade.



8.2.1.2 DIAGNOSTIC

Le choix d'une technique de nettoyage optimale implique une connaissance des matériaux en présence et de leur finition (adoucie, polie, ciselée, ...), des états de surface (patine éventuelle), d'éventuelles altérations (p. ex. : terrasses), de l'intensité et du type d'encrassement, ainsi que du résultat final souhaité (voir § 8.2.1.1). Dans la plupart des cas, ce diagnostic se réalisera par l'entreprise de nettoyage ou par l'architecte chargé de la restauration du bâtiment. Il aura non seulement pour but d'orienter le choix des techniques utilisables, mais également et surtout de limiter les risques d'effets secondaires néfastes. Dans certains cas d'altérations importantes, le diagnostic peut mettre en évidence l'intérêt d'un traitement de "préconsolidation" (voir § 8.2.1.3) avant toute intervention de nettoyage. Pour les travaux importants, il pourra être utile de s'aider de l'avis de spécialistes et de prévoir d'éventuelles analyses (par exemple par microscopie optique en lame mince).

8.2.1.3 CHOIX DES TECHNIQUES

D'après le diagnostic précité, une première sélection des techniques pourra se réaliser, par exemple sur base du tableau récapitulatif de la NIT 197.

En cas de nettoyage courant destiné à éliminer les poussières et suies, l'eau sous haute pression (voisine de 10 MPa) est conseillée, quelle que soit la surface des pierres (lisses ou rugueuses). Dans certains cas, l'efficacité du nettoyage à haute pression peut être améliorée par une application préalable :

- ◆ de gels alcalins à base de potasse caustique, en cas de dépôts poisseux ou d'éventuelles traces de peintures à l'huile de lin
- ◆ des solvants gélifiés en émulsion, en présence de graffitis courants.

Pour des nettoyages où l'utilisation de l'eau est exclue (par exemple en intérieur), le nettoyage à l'aide de pâtes au latex (caoutchouc naturel) constitue une solution intéressante. Ces techniques à l'eau sous pression ou de pâtes au latex sont également conseillées pour des surfaces polies, au même titre que les pâtes à base d'argile.

En cas de nettoyage visant à obtenir un aspect gris clair uniforme, les techniques abrasives (sablages ou grésages hydropneumatiques) s'imposent, avec de préférence :

- ◆ des granulats classiques (180 à 350 microns) pour les pierres rugueuses
- ◆ des granulats fins (< à 180 microns) pour les pierres lisses.

Des pressions d'air de projection relativement élevées, voisines ou supérieures à 0,4 MPa à la sortie du compresseur, permettent le travail à des distances suffisantes pour favoriser l'obtention d'un travail uniforme. Signalons que le sablage à sec présente l'avantage de pouvoir visualiser le résultat final du nettoyage en cours de travail, mais que son utilisation entraîne des contraintes importantes pour le manipulateur et pour l'environnement

8.2.2 ESSAIS PRÉALABLES

Pour tous les chantiers d'une certaine importance, un essai préalable est plus que conseillé. Cet essai concernera la ou les techniques de nettoyage sélectionnées sur base du diagnostic, de l'expérience et des données bibliographiques existantes (voir point précédent). Il se réalisera sur une zone représentative de dimension restreinte. Cet essai présente de nombreux avantages, parmi lesquels on peut citer :

- ◆ le choix définitif de la méthode la plus performante
- ◆ la possibilité d'affiner au mieux les paramètres de travail en fonction du résultat souhaité
- ◆ une appréciation directe, avant les travaux, de l'efficacité et des effets secondaires du nettoyage
- ◆ l'obtention d'une zone de référence permettant de réduire les risques de litiges après les travaux.

Cet essai revêt une importance d'autant plus grande que l'utilisation de procédés ou de paramètres de travail inadaptés entraîne le plus souvent des dégâts irréversibles.

REMARQUES :

Les techniques de nettoyage à l'eau nécessitent le contrôle préalable de l'étanchéité des baies de fenêtre et de porte, ainsi que la réfection des joints de "resserrage" si nécessaire. L'utilisation de techniques abrasives implique en plus la mise en place de protections mécaniques (plastique collé en périphérie, caches rigides, ...). Si les techniques utilisant uniquement de l'eau n'entraînent pas de gêne particulière pour le manipulateur et/ou l'environnement, l'utilisation de techniques abrasives implique une évacuation des déchets conformément à la législation. De plus, le sablage à sec fait l'objet de restrictions au niveau du RGPT (Règlement général pour la protection du travail), est interdite dans de nombreuses communes et nécessite dans tous les cas l'usage de granulats exempts de silice (verres broyés, olivine, ...). Sur base de l'expérience et d'essais en laboratoire, la technique de nettoyage à l'aide d'un laser ne convient pas pour la pierre bleue de Belgique (voir [4]).

8.2.3 TRAITEMENTS BIOCIDES

La porosité très faible de la pierre bleue de Belgique n'entraîne que très peu de problèmes de développements biologiques et la question de traitements biocides éventuels pour ce type de pierre ne se pose en général pas en façades. Par contre, l'utilisation courante en statuaire et pierres tombales entraîne des conditions particulières de colonisation et de développement d'algues, de mousses, de lichens, ... qui n'épargnent aucun support.

La bibliographie étant très peu fournie à ce sujet, nous renvoyons aux [23] et [25].

8.2.3.1 TRAITEMENTS CURATIFS

Jusqu'à présent, le traitement curatif le plus utilisé consistait à éliminer mécaniquement les développements par lavage en cas de surfaces polies ou à l'aide d'une brosse métallique pour les pierres taillées. Ce dernier type de nettoyage est à proscrire de par son action abrasive peu contrôlée et des risques d'apparition de traces brunâtres liées à l'oxydation des limailles d'acier piégées dans la

texture superficielle. Le traitement curatif (destruction des développements) à l'aide d'un produit biocide est nettement préférable. Les formulations commercialisées sont le plus souvent à base d'ammonium quaternaire. Ces solutions appliquées à la brosse, au pulvérisateur, ... n'entraînent pratiquement pas de taches ou de modifications d'aspect des pierres et attaquent les éléments biologiques présents qui s'éliminent ensuite naturellement sous l'action des pluies ou par un nettoyage à l'eau sous pression.

8.2.3.2 TRAITEMENTS PRÉVENTIFS

Les nettoyages et/ou traitements curatifs précités n'empêchent pas ou ne retardent pas sensiblement la nouvelle colonisation des surfaces traitées et n'ont donc pratiquement aucun effet préventif. Afin de cumuler une action immédiate et d'offrir une certaine efficacité dans le temps, certains formulateurs mélangent des produits biocides à une résine biodégradable; la lente dégradation de cette dernière permettant une libération différée des substances actives. Cette solution peut s'avérer intéressante, à condition de s'assurer par un essai préalable de l'acceptabilité d'aspect du matériau après le traitement.

8.2.4 CONSOLIDATION SUPERFICIELLE - COLLAGES

Lors de travaux de restauration, on peut se trouver en présence de pierres altérées, nécessitant un traitement de consolidation avant (éléments très friables) ou après le nettoyage. Pour la majorité des grès ou des pierres calcaires tendres, les altérations se présentent sous la forme de pulvérulences liées à la dissolution du liant superficiel et/ou aux effets de la cristallisation des sels. Les traitements de consolidation consistent dans ces cas en l'application de produits de durcissement à base de silicates d'éthyle ou de résines fortement diluées. Ce type d'altération est rare pour des petits granits, même très anciens. Par contre, on se trouve régulièrement confronté pour ces pierres à des phénomènes de désagrégation ou de solubilisation de terrasses, noirures, joints stylolithiques qui peuvent entraîner :

- ◆ la formation et le décollement d'écailles de dimensions importantes et, à la limite, le détachement de morceaux de pierres en cas de phénomènes parallèles à la surface
- ◆ des ravinelements plus ou moins profonds s'accompagnant d'écornures, d'ébréchures, d'épaufrures, ... pour des phénomènes perpendiculaires à la surface.

Dans ces deux cas, il est possible de prévoir des traitements de consolidation au moyen de résines, afin de fixer ou de stabiliser les zones problématiques.

Ces traitements seront à étudier et à adapter au cas par cas, en fonction d'un diagnostic préalable particulièrement fouillé (examens microscopiques de lames minces). De manière générale, on utilisera de préférence pour ces types de traitements :

- ◆ des résines pures tixotropes pour le collage d'écaillés importantes ou de morceaux de pierres
- ◆ des résines légèrement ou moyennement diluées, pour l'imprégnation des zones ravinnées présentant une certaine friabilité.

Pour le choix des résines, deux options fondamentalement opposées peuvent être envisagées :

- ◆ soit mettre l'accent sur une très grande stabilité des résines en invoquant la durabilité des traitements réalisés. Dans ce cas, on optera le plus souvent pour des acryliques ou des polyesters, en sachant que les inévitables débordements, taches et coulées inesthétiques de produits ne s'atténueront que très difficilement dans le temps
- ◆ soit utiliser des résines moins stables aux rayonnements ultraviolets, en considérant que la matière active, restant en surfaces est inesthétique, doit disparaître et laisser apparaître le matériau pierreux fixé et/ou la charge minérale ajoutée à la résine. Les résines époxydes seront retenues dans cette optique.

Lors de la fixation d'éléments plus ou moins importants, il peut s'avérer utile, pour des raisons de sécurité, d'assurer les collages par la mise en place de barres d'ancrages noyées à la résine dans des trous préalablement forés. Il s'agit d'une technique couramment utilisée pour la restauration de linteaux

REMARQUES :

Lors de travaux de consolidation à l'intérieur, les problèmes d'odeur et de toxicité des solvants sont à prendre en considération, de même que des mesures spéciales concernant la ventilation des lieux.

Les emballages et excès de produits seront évacués conformément à la législation.

Il y a lieu d'être attentif à l'évolution des réglementations : certains solvants seront probablement interdits d'usage dans le futur afin de préserver la couche d'ozone et de limiter l'effet de serre.

ou d'éléments en porte-à-faux. Rappelons que les ancrages travaillent principalement en traction et accessoirement en cisaillement. Leur implantation sera donc définie en ce sens.

8.2.5 RAGRÉAGES

La technique de ragréage consiste à reproduire le profil des pierres présentant localement des éclats, des épaufrures, des cavités, ... Les mortiers utilisés sont à base de liants résineux (polyesters, époxydiques, ...) ou de minéraux (ciments, chaux, oxychlorure de zinc) et de poudres de pierre. Ils imitent au mieux la couleur et la texture de surface du matériau à réparer. Utilisée avec discernement, cette technique permet d'éviter le remplacement des matériaux et de sauvegarder ainsi l'unité d'aspect et la valeur historique et architecturale des éléments. Dans tous les cas, un essai préalable est à réaliser sur une surface restreinte afin de s'assurer de l'acceptabilité d'aspect et de texture de la réparation par rapport au support. Cette appréciation se fera après durcissement et séchage complet des mortiers (délai de quelques semaines). Il faut donc tenir compte des remarques suivantes :

- ◆ l'application des mortiers de ragréage nécessite des surfaces saines débarrassées des parties pulvérulentes ou peu adhérentes
- ◆ les réparations porteront sur des longueurs limitées (maximum 30 à 40 cm) si l'on désire limiter les risques de fissurations et de décollement. En cas de longueurs plus importantes, il y a lieu de prévoir des joints ouverts, aptes à reprendre les mouvements de retrait et de dilatation
- ◆ les épaisseurs supérieures à quelques centimètres font l'objet de traitements en plusieurs couches en prévoyant des ancrages fixés mécaniquement dans la pierre support et le renforcement du mortier dans sa masse par des armatures en métal inoxydable
- ◆ le plus souvent, la surface apparente du mortier de ragréage est travaillée durant sa phase de durcissement afin de reproduire le profil souhaité et la texture de la pierre voisine. Après le durcissement, il est possible de parfaire ce travail à l'aide d'outils habituels de taille
- ◆ le plus souvent, il est possible d'obtenir une bonne similitude d'aspect entre le mortier de ragréage et la pierre voisine ... à l'état sec. Par contre, de par les différences inévitables de porosité et de composition, des variations sensibles peuvent apparaître lors de l'humidification des surfaces
- ◆ lors du choix des matériaux de ragréage et surtout pour les mortiers à liants minéraux, il est important que le fabricant puisse fournir un rap-

port d'essai qui mentionne, entre autres, la résistance au gel du mortier durci pour la formulation proposée. A ce sujet, signalons que la simple modification de la granulométrie de la poudre de pierre d'un mortier, peut fondamentalement influencer sa tenue ou sa sensibilité au gel.

REMARQUES :

Les enseignements des essais en laboratoire et du suivi sur chantier mettent en évidence :

- ◆ pour les *mortiers à liants minéraux*, des problèmes potentiels d'adhérence qui, cumulés au retrait, se traduisent par des microfissurations entre les mortiers et les supports. Pour les formulations adaptées à la pierre bleue de Belgique, on note également des risques de gélivité liés à la finesse des charges utilisées pour reproduire l'aspect compact des pierres
- ◆ pour les *mortiers à liants résineux*, des coefficients de dilatation thermiques ($12 \text{ à } 50.10^{-6}$ par $^{\circ}\text{C}$), nettement supérieurs aux pierres ($5 \text{ à } 10.10^{-6}$ par $^{\circ}\text{C}$), entraînant des contraintes de cisaillement sur la surface de contact avec le support. Toutefois, dans le cas de la pierre bleue de Belgique, ces mortiers sont le plus souvent préférés, compte tenu de leur bonne adhérence et d'un aspect compact plus proche de la structure de la pierre bleue.

Cette technique, limitée à des interventions locales et de petites dimensions, présente de nombreux avantages et permet de sauvegarder les matériaux en place. Par contre, son usage généralisé pour "reprofilier" des pierres altérées conduit le plus souvent à une durabilité insuffisante à moyenne échéance, surtout si l'on a affaire à des réparations de grandes longueurs et/ou à des épaisseurs insuffisantes (placages). Nous renvoyons à ce sujet au [22].

8.2.6 HYDROFUGATION

Il s'agit d'un traitement non filmogène destiné à protéger d'un encrassement trop rapide, à faciliter les entretiens ultérieurs et à limiter les pénétrations d'eau dans les matériaux, afin de réduire les effets néfastes de la pollution.

L'effet et la bonne durabilité des hydrofuges sont liés à une certaine porosité des matériaux permettant la pénétration des produits dans les supports. En général, ces traitements ne s'appliquent pas aux pierres compactes telle la pierre bleue de Belgique. Toutefois, ces pierres font partie intégrante de très

nombreuses façades sous la forme de soubassements, seuils, linteaux, cordons, ... et sont donc hydrofugées lors du traitement global.

Les produits hydrofuges ne pouvant pénétrer la pierre, ils "polymérisent" en surface et entraînent la formation de taches et coulées d'autant plus inesthétiques que les façades ont souvent fait l'objet d'un nettoyage préalable. Afin d'éviter ces problèmes et de protéger la pierre bleue de Belgique lors des traitements hydrofuges, il est prescrit la mise en place de protections sous la forme de films plastiques fixés en périphérie au moyen de papiers collants. Cette solution entraîne en général une aggravation du phénomène, suite à la dissolution des colles des papiers adhésifs par les solvants hydrofuges, suivi de la pénétration des produits et leur séchage derrière le film. Dans la mesure où un traitement hydrofuge est à réaliser sur une façade comprenant des pierres bleues de Belgique, on peut envisager les solutions suivantes :

- ◆ *si la surface occupée par la pierre bleue de Belgique est importante* : appliquer des solutions fortement diluées de produits hydrofuges courants ou encore retenir des hydrofuges n'affectant que très peu l'aspect des pierres (certains hydrofuges en phase aqueuse notamment). Dans tous les cas, un essai préalable est à réaliser et des résultats négatifs peuvent inciter à l'abandon du traitement de la façade entière
- ◆ *si les éléments en pierre bleue de Belgique sont peu courants* : traiter normalement la façade à refus et rincer et/ou essuyer les pierres bleues à l'aide d'un chiffon imbibé de solvant, AVANT le séchage du produit.

Signalons à ce sujet qu'après séchage et hydrolyse ("polymérisation"), les traces de produits hydrofuges sont très tenaces et leur élimination nécessite le plus souvent un traitement abrasif (grésage, sablage, ...). Nous renvoyons à ce sujet aux [3] et [20].

8.2.7 TRAITEMENTS PRÉVENTIFS ANTI-GRAFFITI

Bien que nettement moins sensible que les autres pierres aux taches de toutes sortes, la pierre bleue de Belgique peut présenter des difficultés de nettoyage en cas de graffitis réalisés à l'aide de peintures en phases solvants. Pour ces graffitis, on constate non seulement un dépôt superficiel de pigments facile à nettoyer, mais également une pénétration d'une partie des liants et des solvants, avec formation d'une "ombre" tenace, cette ombre ne pouvant être atténuée que par traitement abrasif.

Un traitement préventif anti-graffiti peut donc s'avérer utile pour ce type de pierre à condition de sélectionner avec soins les produits susceptibles de ne pas trop modifier l'aspect de surface de ce type de pierre particulièrement sensible à ce niveau. Il en est de même pour la protection face aux taches de toutes sortes.

Nos laboratoires ont testé l'efficacité et les effets secondaires de la majorité des systèmes commercialisés dans notre pays sur quatre supports (parmi lesquels la pierre bleue de Belgique). Les rapports CSTC, disponibles auprès des firmes, sont basés sur une procédure d'essais commune, qui permet la comparaison des rapports et produits entre eux. Nous renvoyons aussi au [21].

8.2.8 TACHAGE DES MASTICS SILICONES

Certains mastics silicones utilisés pour la réalisation de joints souples, notamment entre plaques de revêtement de façade, peuvent poser des problèmes de tachage. On observe en effet parfois l'apparition d'auréoles sombres comparables à des taches de graisse après plusieurs semaines aux endroits où la pierre est en contact avec le mastic.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de traitement fiable permettant d'éliminer ces taches. Nous conseillons donc fortement de contrôler au préalable sur un échantillon la compatibilité du mastic utilisé avec la pierre. Toutefois, dans certains cas, l'incompatibilité ne se manifeste qu'au bout de plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Une autre possibilité consiste alors à demander au fournisseur du mastic la garantie que son produit ne provoquera pas de taches.



Fig. 39 Tachage de mastics silicones.

PALÉONTOLOGIE ET MICROPALÉONTOLOGIE

Le petit granit est particulièrement riche en fossiles diversifiés, dont les squelettes généralement calcitiques se dessinent en blanc sur la gangue grise de la roche. Avec un peu d'expérience, ceux-ci peuvent être identifiés assez aisément et permettent de distinguer rapidement le petit granit d'autres pierres bleues belges ou étrangères. De même, une approche microscopique permet de différencier avec certitude les variétés de pierres bleues.

Parmi les fossiles visibles à l'œil nu, les plus abondants sont bien sûr les crinoïdes qui forment l'essentiel de la masse rocheuse. Les représentants de la classe des échinodermes, dont les crinoïdes font partie, consistent essentiellement en fragments de tiges, nommés "articles", petits tambours cylindriques ou aplatis, percés en leur milieu d'un fin canal, parfois de profil pentalobé (la symétrie d'ordre 5 caractérise ces organismes); il peut arriver que plusieurs articles soient restés réunis en segments décimétriques. Les sections arrondies ou étirées de ces crinoïdes ponctuent de leurs taches claires le fond sombre de la pierre.

Le deuxième groupe important de fossiles est celui des coraux, comportant les rugueux (avec de nombreuses structures radiaires minces à l'intérieur des tubes) et les tabulés (dépourvus de ces structures radiaires). Les rugueux sont présents avec de petites formes solitaires, en cônes incurvés, de dimensions centimétriques; le petit granit du Bocq se distingue par l'abondance de grands éléments en croissants décimétriques, aux éléments squelettiques épais; les pierres bleues plus jeunes, d'âge viséen, montrent des rugueux coloniaux, soit en tubes centimétriques parallèles, soit en colonies massives aux cellules polygonales irrégulières, toujours striées à l'intérieur de structures radiaires.

Les tabulés sont représentés par des colonies à fins tubes cylindriques millimétriques subparallèles et

unis sporadiquement par des connexions ténues, du genre *syringopora*, nommé "brins de souris" dans le langage imagé des ouvriers carriers, et par des colonies massives constituées de cellules polygonales de diamètre centimétrique, dont l'intérieur est dépourvu de stries concentriques, du genre *melinina* ou "nids d'abeilles", de par la ressemblance avec les gâteaux de cire que construisent ces insectes. Dans le petit granit du Bocq, ces colonies se distinguent par des parois très épaisses finement perforées.

Peu fréquents mais spectaculaires et aisément reconnaissables, les éponges ou spongiaires montrent de grands individus en forme d'étoiles décimétriques, du genre *asteractinella* ou encore "pas de loup", composées de minuscules éléments souvent transformés en fluorite, minéral violet. L'abondance de ces fossiles dans certains niveaux du bassin de Soignies leur a fait donner le nom de "banc à pas de loup".

Dispersées ou au contraire concentrées en véritables lumachelles, différents types de coquilles appartiennent aux brachiopodes (bivalves avec une structure spiralée à l'intérieur de la coquille) ou aux mollusques, soit aux gastéropodes spiralés, soit aux céphalopodes à l'intérieur subdivisé en logettes, soit aux lamellibranches à deux coquilles articulées. Parmi ces derniers, le genre *conocardium* se distingue par de grandes coquilles très arquées, dont le profil évoque un cœur, et qui présentent une structure celluleuse dans leur coque épaisse. Les coquilles sont fréquemment associées à des taches blanches lorsqu'elles sont remplies totalement ou partiellement de calcite.

D'autres éléments peuvent être observés, comme les bryozoaires (fragments de frondes de fénestelles) ou des débris de poissons; ces derniers se caractérisent par une teinte sombre, presque noire et une

texture très finement celluleuse. On trouve exceptionnellement des restes de poissons pluridécapédés (plaques osseuses ou pointes).

Au microscope, la roche se distingue par l'abondance des crinoïdes et des bryozoaires (fénestelles, branchus ou formes encroûtantes); on ne note qua-

siment pas de foraminifères, alors que ceux-ci abondent souvent dans les calcaires du Viséen et se retrouvent fréquemment dans le petit granit du Bocq. Ce groupe d'organismes microscopiques, très bien étudiés, permet d'établir avec assurance l'âge stratigraphique de la plupart des calcaires carbonifères et, par conséquent, de bien discerner les différents types de pierres bleues, belges et étrangères.

PETIT GRANIT DU BOCQ

Il existe d'autres niveaux de calcaires crinoïdiques que la pierre bleue de Belgique (petit granit) dans les terrains primaires du socle de la Belgique. Certains d'entre eux ont été exploités comme roche ornementale avec des caractéristiques techniques et esthétiques proches de celles du petit granit. C'est le cas du calcaire encore extrait de nos jours dans la vallée du Bocq, affluent de la rive droite de la Meuse, et connu sous le nom traditionnel de "petit granit du Bocq".

Dans la Formation de Landelies, d'âge stratigraphique hastarien (anciennement "Tn2b", tournaisien moyen, carbonifère) se rencontrent des bancs massifs de calcaires crinoïdiques surmontant d'autres calcaires bien stratifiés et surmontés eux-mêmes de schistes calcaires. Ces calcaires crinoïdiques sont très semblables d'aspect au petit granit classique, dont ils ne se distinguent que par une répartition plus inégale des débris de crinoïdes et par la taille très variable de ces derniers, ainsi que par la présence localement abondante de fossiles coquilliers et coralliens. Parmi ces coraux fossiles, on retiendra de grands rugueux solitaires du genre *siphonophyllia* (voir fig. A1) caractérisés par une forme en corne incurvée (de quelques centimètres de diamètre pour plus d'une dizaine de centimètres de long) avec des structures squelettiques

épaissies asymétriquement, ce qui donne un profil de croissant très reconnaissable, se détachant en blanc sur le fond sombre de la roche.

D'un point de vue microscopique, le petit granit du Bocq se différencie du petit granit classique que par la présence de structures algaires tubulaires (du genre *girvanella*) et de foraminifères pluriloculaires aux loges en forme de gouttes – bien distincts de ceux qui caractérisent les calcaires viséens.

Les paramètres chimiques et mécaniques du petit granit du Bocq sont très comparables à ceux du petit granit classique. Le tableau suivant (repris de l'ATG du petit granit du Bocq) en reprend les principales caractéristiques.

Le petit granit du Bocq se prête à tous les usages habituels des pierres bleues, aussi bien en taille qu'en marbrerie; on notera que les finitions adouci foncé et poli brillant accentuent particulièrement la tonalité sombre de la roche, ponctuée de fossiles clairs. Ce matériau a été autrefois exploité dans plusieurs régions – près de Landelies sur la Sambre, dans l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Condroz – et on l'observe assez fréquemment tant dans des réalisations urbaines que rurales.

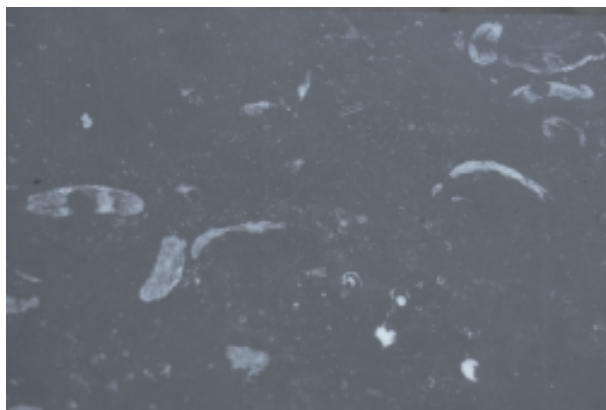


Fig. A1 *Siphonophyllia*, fossiles caractéristiques du petit granit du Bocq

Tableau A1 Principales caractéristiques du petit granit du Bocq.

CARACTÉRISTIQUE	RÉFÉRENCE	NOMBRE D'ÉPROUVETTES	UNITÉS	MOYENNE	ÉCART TYPE
Masse volumique apparente	NBN B 24-213 [32]	6	kg/m ³	2703	6
Porosité (sous vide de 740 mm Hg)	NBN B 24-213 [32]	6	% vol	0,19	0,14
Dilatation thermique (20° C à 75° C)	NIT 205 [12]	3	mm/mK	0,0048	0,0010
Résistance à la compression (5 x 5 x 5 cm)	NBN B 15-220 [28]	15	MPa	159,4	31,2
Résistance à la traction par flexion (25 x 10 x 3 cm)	NBN B 15-214 [27]	15	MPa	16,2	2,4
Vitesse du son dans le plan (épaisseur)	NIT 205 [12]	6	m/s	5550 (5265)	163 (96)
Résistance à l'usure (méthode Amsler)	NBN B 15-223 [29]	6	mm/1000 m	2,94	0,16
Module d'élasticité statique	NBN B 15-203 [26]	6	GPa	86,3	4,0
Module d'élasticité dynamique	NBN B 15-230 [30]	6	GPa	78,4	1,0
Largeur de rayure (4 rayures/éprouvette; 10 mesures/rayure; scléromètre de Martens)	NIT 80 [11]	6	mm	0,19	0,04

Remarques :

- Tous les échantillons testés se sont montrés ingélifs.
- L'essai d'exposition au SO₂ montre que la pollution affecte peu la pierre.
- Dans ce tableau, les valeurs moyennes (X) sont celles obtenues par le calcul des moyennes arithmétiques de l'ensemble des éprouvettes testées sur la totalité des bancs échantillonnés (3 prélèvements parmi les différents bancs). De même, les écarts type (S) correspondent, pour rappel, à la racine carrée des écarts à la moyenne sur l'ensemble des éprouvettes testées.
- Tout échantillon représentatif (nombre d'éprouvettes conformes à la norme appliquée) devra donner une valeur moyenne (x) et un écart type (s) qui soient tels (ce qui correspond à un intervalle de confiance de 95 %) :
 $(x \pm 1,96s) \in (X \pm 1,96S)$.

ANNEXE 3

CODE DE MESURAGE DES PIERRES FAÇONNÉES

Cette annexe, basée sur l'usage et consacrée par la pratique, porte sur le mesurage des pierres taillées employées en maçonnerie ou en revêtement de parement.

Bien qu'il existe de nombreuses analogies, ce texte en tant que tel ne s'applique pas aux travaux de pavement ou de maçonnerie en moellons, ni aux ouvrages relevant de l'art monumental ou funéraire.

1 PRINCIPES DE MESURAGE

Le mesurage des pierres de taille entrant dans la réalisation d'un ouvrage s'effectue généralement sur plan. Selon qu'il s'agit de surfaces ou de volumes, il se fait suivant le plus petit rectangle ou parallépipède rectangle qui circonscrit la pierre. Toute mesure de longueur comportant un ou des millimètres est arrondie au centimètre supérieur. L'épaisseur d'une pierre est égale à l'épaisseur commerciale de fabrication de la tranche de pierre.

Pour les pierres vendues au m², toute pierre dont la surface est inférieure à 10 dm² est considérée comme telle. De plus, toute surface unitaire comportant des fractions de dm² est arrondie au dm² supérieur. Exemple :

- ◆ 21,55 dm² = 22 dm²
- ◆ 21,05 dm² = 22 dm².

Pour les pierres vendues au m³, toute pierre dont le volume minimum est inférieur à 10 dm³ est considérée comme telle. Toute pierre dont le volume comporte des fractions de dm³ est arrondie au dm³ supérieur. Exemple :

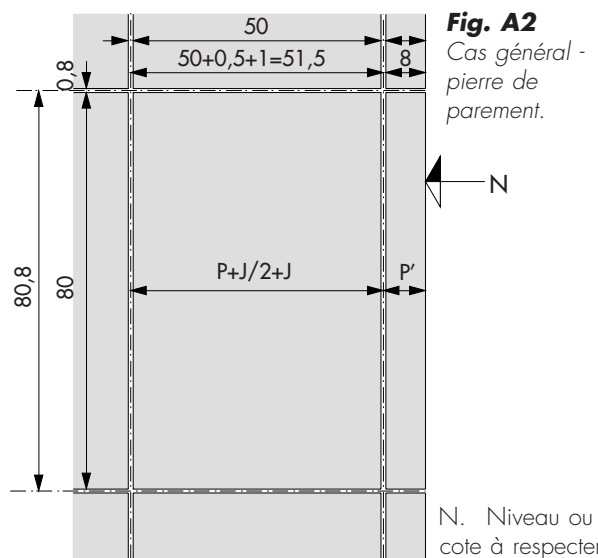
- ◆ 33,650 dm³ = 34 dm³
- ◆ 33,020 dm³ = 34 dm³.

Dans le calcul du volume, seules les mesures linéaires et volumiques peuvent être arrondies suivant les principes précités.

2 EXEMPLES

2.1 CAS GÉNÉRAL

Les mesures du parement visible d'une pierre sont prises dans l'axe des joints qui la délimitent, à l'exception des pierres d'angle donnés au croquis de la figure A2 et des cas spéciaux exposés au § 2.2 ci-après. L'épaisseur considérée est l'épaisseur commerciale de fabrication de la tranche de pierre.



REMARQUES :

dimensions de la plaque
longueur $80 + 0,4 + 0,4 = 80,8 \text{ cm} \leq 81 \text{ cm}$
largeur $50 + 0,5 + 1 = 51,5 \text{ cm} \leq 52 \text{ cm}$
épaisseur: $8 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm}$

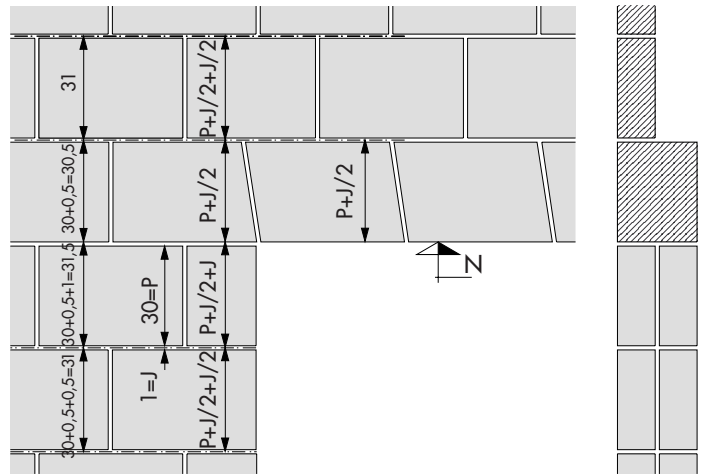
mesure de la pierre au m²
 $S = 0,81 \times 0,52 = 0,4212 \text{ m}^2 = 0,43 \text{ m}^2$

mesure de la pierre au m³
 $V = 0,81 \times 0,52 \times 0,08 = 0,33696 \text{ m}^3 = 0,034 \text{ m}^3$

2.2 CAS SPÉCIAUX

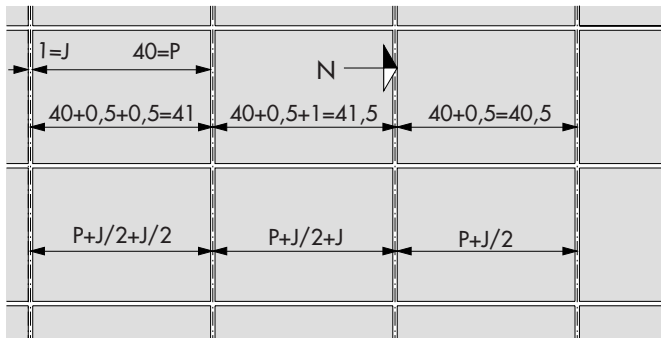
Certains cas spéciaux (seuils de fenêtres, couvertures de murs, bandeaux, linteaux, pierres d'angle, ...), qui ont tous l'existence de cotes ou niveaux précis à respecter lors de la construction, font l'exception au principe général de mesurage exposé ci-avant. Dans ces cas, la pierre la plus voisine de l'endroit où le niveau est imposé est mesurée joint entier compris jusqu'à ce niveau. Les croquis des figures A3 à A7 illustrant quelques-uns de ces cas feront mieux comprendre le mesurage.

Fig. A3 Cas spéciaux – Exemple 1 : linteau.



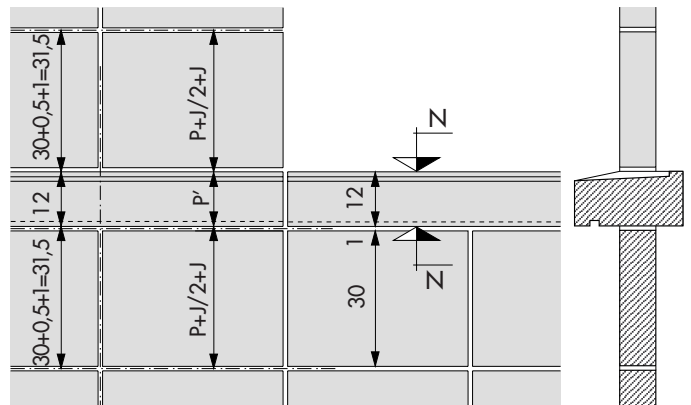
N. Niveau ou cote à respecter

Fig. A4 Cas spéciaux - Exemple 2 : décrochement, maçonnerie de coin.



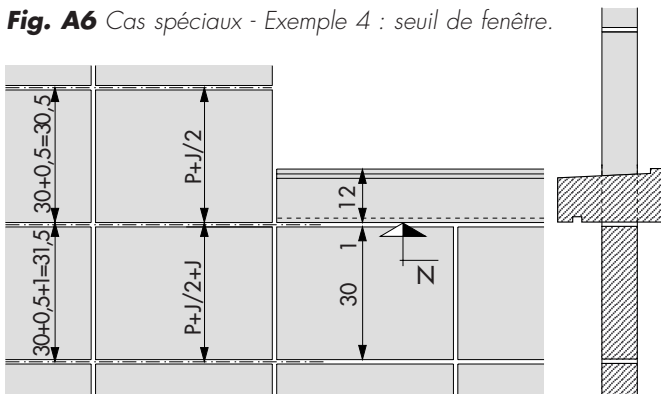
N. Niveau ou cote à respecter

Fig. A5 Cas spéciaux - Exemple 3 : bandeau.



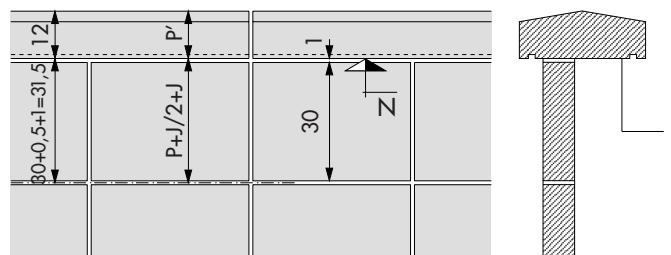
N. Niveau ou cote à respecter

Fig. A6 Cas spéciaux - Exemple 4 : seuil de fenêtre.



N. Niveau ou cote à respecter

Fig. A7 Cas spéciaux - Exemple 5 : couvre-mur.



N. Niveau ou cote à respecter

BIBLIOGRAPHIE

1. ...
Arrêté du Gouvernement wallon du 20 mai 1999 concernant l'attribution de l'appellation d'origine locale pierre bleue dite "petit granit d'âge géologique tournaisien". Bruxelles, Moniteur Belge du 10 juillet 1999.
2. ...
Décret du Gouvernement wallon du 7 septembre 1989 concernant l'attribution l'appellation d'origine locale et l'appellation d'origine wallonne. Bruxelles, Moniteur Belge du 28 novembre.
3. Centre scientifique et technique de la construction
Hydrofuges de surface. Choix et mise en œuvre. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 140, février 1982.
4. Centre scientifique et technique de la construction
Le nettoyage des façades. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 197, septembre 1995.
5. Centre scientifique et technique de la construction
Le petit granit. Fiche technique. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 28, 1962 (remplacée par NIT 156).
6. Centre scientifique et technique de la construction
Le petit granit. Fiche technique (NIT 28 remaniée). Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 55, 1965 (remplacée par NIT 156).
7. Centre scientifique et technique de la construction
Le petit granit. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 99, 1973 (remplacée par NIT 156).
8. Centre scientifique et technique de la construction
Le petit granit. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 156, décembre 1984.
9. Centre scientifique et technique de la construction
Les revêtements de sol intérieurs en pierre naturelle. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 213, septembre 1999.
10. Centre scientifique et technique de la construction
Les revêtements extérieurs verticaux en matériaux pierreux naturels de mince épaisseur. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 146, avril 1983.
11. Centre scientifique et technique de la construction
Pierres blanches naturelles. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 80, décembre 1970.
12. Centre scientifique et technique de la construction
Pierres naturelles. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 205, septembre 1997.
13. Centre scientifique et technique de la construction
Recherche sur la caractérisation de surface des revêtements de sol. Convention CC-CIF-659, Bruxelles, CSTC, biennale 1999-2001.
14. Cnudde C., Harotin J.J. et Majot J.P.
Pierres et marbres de Wallonie, Ministère de la Région wallonne (Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement), Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles, 1987.
15. Cnudde J.P. et Cnudde V.
Coupes géologiques réalisées dans le cadre de l'homologation UBAtc des carrières, UBAtc.
16. Comité européen de normalisation
prEN 1469 Natural stone – Finished products, slabs for cladding – Specifications. Bruxelles, CEN, 2000.
17. Comité européen de normalisation
prEN 12057 Natural stone – Finished products, modular tiles – Specifications. Bruxelles, CEN, 2000.
18. Comité européen de normalisation
prEN 12058 Natural stone – Finished products, slabs for floors and stairs – Specifications. Bruxelles, CEN, 2000.

19. Comité européen de normalisation
prEN 13919 Natural stone test methods –
Determination of resistance to aging by SO₂
action in the presence of humidity, revised
version. Bruxelles, CEN, 2000.
20. De Bruyn R., De Clercq H., De Witte E. et
Pien A.
Efficacité et durabilité des hydrofuges de sur-
face : proposition prénormative. Bruxelles,
Centre scientifique et technique de la con-
struction, CSTC-Magazine, printemps 2000.
21. De Bruyn R. et Pien A.
Traitement préventifs anti-graffiti. Bruxelles,
Centre scientifique et technique de la con-
struction, CSTC-Magazine, printemps 1995.
22. De Bruyn R., Pien A. et Venstermans J.
Matériaux pierreux naturels : 2. altérations et
traitements. Bruxelles, Centre scientifique et
technique de la construction, CSTC-Magazine,
été 1993.
23. De Cuyper K., Desmyter J., Simons B. et
Vandaele L.
Règles d'or pour la construction durable.
Bruxelles, Centre scientifique et technique de
la construction, CSTC-Magazine, été 2000.
24. Derler S.
Slip resistance of floors : changes through use
and maintenance. Nachhaltige Material- Und
Systemtechnik, EMPA, pp 345-357.
25. Dinne K. et Loutz S.
Salissures et altérations des matériaux pier-
reux par les micro-organismes. Bruxelles,
Centre scientifique et technique de la con-
struction, CSTC-Magazine, été 2000.
26. Institut belge de normalisation
NBN B 15-203 Essais des bétons – Module
d'élasticité statique en compression. Bruxel-
les, IBN, 1990.
27. Institut belge de normalisation
NBN B 15-214 Essais des bétons – Détermi-
nation de la résistance à la flexion. Bruxelles,
IBN, 1984.
28. Institut belge de normalisation
NBN B 15-220 Essais des bétons – Détermi-
nation de la résistance à la compression.
Bruxelles, IBN, 1990.
29. Institut belge de normalisation
NBN B 15-223 Essais des bétons – Usure.
Bruxelles, IBN, 1997.
30. Institut belge de normalisation
NBN B 15-230 Essais des bétons – Essais non
destructifs – Mesure de la fréquence de réso-
nance (avec erratum). Bruxelles, IBN, 1976.
31. Institut belge de normalisation
NBN B 17-001 Pierres naturelles – Gélivité :
imprégnations d'eau – Cycles de gel – Dé-
gel – Critères d'emploi. Bruxelles, IBN, 1999.
32. Institut belge de normalisation
NBN B 24-213 Essais des matériaux de ma-
çonnerie – Absorption d'eau sous vide. Bruxel-
les, IBN, 1976.
33. Institut belge de normalisation
NBN EN 1341 Dalles de pierre naturelle pour
le pavage extérieur – Exigences et méthodes
d'essai. Bruxelles, IBN, 2000.
34. Institut belge de normalisation
NBN EN 1342 Pavés de pierre naturelle pour
le pavage extérieur – Exigences et méthodes
d'essai. Bruxelles, IBN, 2000.
35. Institut belge de normalisation
NBN EN 1343 Bordures de pierre naturelle
pour le pavage extérieur – Exigences et mé-
thodes d'essai. Bruxelles, IBN, 2000.
36. International Organization for Standardization
ISO 9002 Quality Systems – Model for quality
assurance in production, installation and
servicing. Genève, ISO, 1994.
37. Jacobs J. et Pollet V.
Le diagnostic des bétons. Bruxelles, Centre
scientifique et technique de la construction,
CSTC-Magazine, automne 1998.
38. Ministère de la Région wallonne
La Pierre et la Rue. Namur, Ministère de la
Région wallonne, avril 1998.
39. Salomez L.
Revêtements de sol en pierre calcaire
organoclastique : remarques suscitées par leur
emploi. Bruxelles, Centre scientifique et tech-
nique de la construction, CSTC-Magazine,
hiver 1993.
40. Tourneur F.
La pierre bleue dans le patrimoine architectu-
ral belge, pierre bleue du Hainaut, Ed. BETA-
PLUS, 1998.

éditeur responsable : Carlo De Pauw
CSTC, Boulevard Poincaré 79
1060 BRUXELLES

imprimerie : Claes Printing sa
lay-out : Meersman I.D.



BRUXELLES

Siège social



Boulevard Poincaré 79
B-1060 Bruxelles

direction générale



02/502 66 90



02/502 81 80

publications



02/529 81 00



02/529 81 10

ZAVENTEM

Bureaux



Lozenberg 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
(Zaventem)



02/716 42 11



02/725 32 12

avis techniques - communication - qualité
informatique appliquée construction
techniques de planification
développement & innovation

LIMELETTE

Station expérimentale



Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette



02/655 77 11



02/653 07 29

recherche
laboratoires
formation
documentation
bibliothèque