Bordure en pierre naturelle

Disclaimer

La présente fiche s'adresse aux concepteurs, aux prescripteurs et aux équipes de projets de construction désireux de réemployer le matériau ou produit de construction concerné. Elle fait partie d'une collection de fiches visant à rassembler les informations disponibles à ce jour et susceptibles de faciliter le réemploi des matériaux et produits de construction.

Cette fiche a été réalisée par Rotor vzw/asbl dans le cadre du projet Interreg FCRBE - Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, soutenu par l'ensemble des partenaires du projet. Les sources d'information incluent l'expérience des fournisseurs professionnels de matériaux de réemploi et des partenaires du projet impliqués, les leçons tirées de projets exemplaires, la documentation technique disponible, etc.

Les fiches ont été réalisées entre 2019 et 2021. Le secteur du réemploi étant en pleine évolution, certaines informations, notamment celles concernant les prix et la disponibilité, sont susceptibles de varier au cours du temps.

Lorsque le texte fait référence à des normes européennes, il appartient aux auteurs de projet de se référer, le cas échéant, à leurs transpositions nationales ainsi qu'aux spécificités locales.

Il est important de noter que les informations présentées ici ne sont pas exhaustives et ne visent pas à remplacer l'expertise des professionnels. Les questions spécifiques sont toujours liées à un projet et doivent être traitées comme telles.

La collection complète des fiches (y compris la fiche d'introduction générale) est disponible gratuitement sur différents sites de référence (e.a. opalis.eu, nweurope.eu/fcrbe, futureuse.co.uk).

Un répertoire non exhaustif de fournisseurs de matériaux de construction de réemploi est disponible sur www.opalis.eu et www.salvoweb.com.

Partenariat Interreg FCRBE : Bellastock (FR), le Centre Scientifique et Technique de la Construction / CSTC (BE), Bruxelles Environnement (BE), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment / CSTB (FR), la Confédération de la Construction (BE), Rotor (BE), Salvo (UK) et l'Université de Brighton (UK).

Les informations contenues dans ce document ne reflètent pas forcément la position de l'ensemble des partenaires du projet FCRBE ni celle des autorités de financement.

Sauf mention contraire explicite, le contenu de ces fiches est crédité au format Creative Commons Attribution - Non Commercial - Share Alike format (CCBY-NC-SA).

Sauf mention explicite, les images utilisées dans ce document appartiennent à © Rotor vzw/asbl ou © Opalis. Les autres images ont fait l'objet d'une demande systématique d'autorisation auprès de leurs auteurs ou ayants droit. Lorsque celle-ci est restée sans réponse, nous avons présumé que l'utilisation projetée de l'image ne posait pas d'objection. Si cette interprétation vous paraît abusive, merci de nous le signaler.

Bordure en pierre naturelle

Description du matériau

Par définition, les bordures en pierre naturelle sont des éléments linéaires ou courbes de plus de 30 cm de longueur permettant de délimiter des espaces de circulation tels que les voiries, les trottoirs, les sentiers et autres aménagements extérieurs. Elles ont notamment pour rôle de protéger les piétons du trafic routier, de maintenir le revêtement en place et de contribuer à l'évacuation des eaux pluviales.

Pendant longtemps, elles ont été taillées manuellement à la pointe, au ciseau et au maillet, selon des gestes traditionnels. Ces bordures anciennes se reconnaissent à leurs contours plus irréguliers. Elles ont progressivement été évincées par des éléments standardisés de plus en plus réguliers et issus d'un sciage mécanique. Aujourd'hui, le béton a tendance à remplacer la pierre naturelle pour la production de bordures neuves.

A l'instar d'autres matériaux en pierre naturelle, le réemploi des bordures est une pratique relativement bien ancrée dans les travaux publics et le bâtiment. De nombreuses entreprises se sont spécialisées dans la récupération et la revente de ce matériau. L'offre en bordures de remploi est stable bien que des lots importants (plus de 500 mètres courants) de bordures identiques puissent être plus difficiles à rassembler.

Les bordures sont souvent détournées pour en faire des marches d'escalier, des margelles, des éléments d'aménagement paysager, des potelets, etc. La présente fiche se focalise principalement sur l'usage des bordures en pierre naturelle en tant qu'élément de voirie et d'aménagements paysagers.

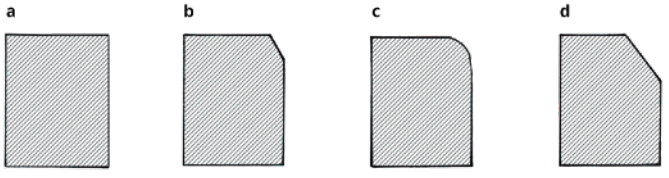
Le marché du réemploi présente une grande diversité de modèles de bordures. Ceux-ci reflètent souvent des spécificités régionales historiques. Plusieurs critères permettent de les distinguer :

→ *Type*. Il existe principalement deux grands types de bordures en pierre naturelle de réemploi :

- Les bordures de « campagne » - dites aussi « rustiques ». Elles présentent des contours plutôt irréguliers et des faces clivées ou retaillées manuellement, sont relativement courtes (30 à 50 cm) et sont essentiellement utilisées pour des aménagements paysagers.
- Les bordures de « ville » - dite aussi « de route ». Elles présentent des contours plus réguliers et une ou plusieurs faces planes, sciées ou surfacées, sont plus longues (50 à 200 cm) et proviennent généralement d'aménagements de voirie.

→ *Origine géologique*. De nombreux types de roches ont été utilisés pour la fabrication des bordures. Parmi les plus courantes sur le marché du réemploi, on retrouve le grès, le porphyre, la pierre bleue et la pierre calcaire pour les bordures de « campagne ». Parmi les matériaux les plus courants pour les bordures de ville, on retrouve le granite (rose ou gris), la pierre bleue et la roche calcaire blanche, dans toutes leurs variations locales. Il existe aussi des bordures en basalte, gneiss, travertin, ardoise et d'autres roches encore mais celles-ci sont moins fréquentes sur le marché du réemploi.

→ *Profils*. Différents profils de bordures peuvent se rencontrer (*voir figures ci dessous*). Les plus courants sur le marché du réemploi sont les bordures droites ou avec un arrondi. Les bordures incurvées, les pièces d'angle et les bordures surbaissées s'y trouvent plus occasionnellement.



Profils de bordures couramment rencontrés

a. *Profil droit*
b. *Avec chanfrein*
c. *Avec arrondi*
d. *Avec fruit*

Bordure en pierre naturelle ancienne (< 19ème siècle) - taillée manuellement - forme épaisse et irrégulière. © stonecurators.com

Bordure en pierre naturelle ultérieure au début du 20ème siècle - fabrication à l'aide d'outils mécaniques - aspect uniforme et précis. © stonecurators.com

Bordure en pierre naturelle ancienne (19ème - 20ème siècle) - la face supérieure est sciée et les autres faces taillées manuellement - forme plus régulière. © stonecurators.com

Bordures de « ville » en pierre bleue. Aménagement de voirie. © Carrière de la Hazotte

Bordures de « campagne » en pierre bleue. Aménagement paysager. © Carrière de la Hazotte

Bordure en pierre naturelle

Bordures de réemploi en grès

Bordures de réemploi en granite gris

Bordures de réemploi en granite rose suédois

Bordures de réemploi en pierre bleue (calcaire)

Bordures de réemploi en calcaire blanc

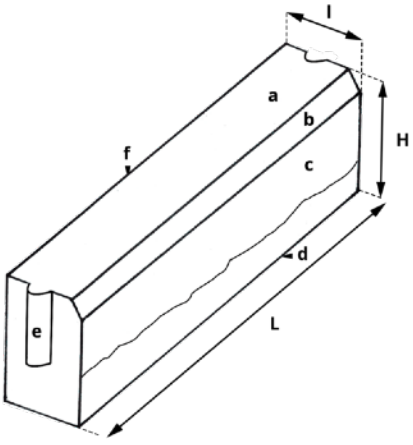
→ *Dimensions*. Le plus souvent les bordures de réemploi sont de forme parallélépipédique et possèdent des longueurs variables, des largeurs comprises entre 12 et 30 cm et des hauteurs comprises entre 20 et 40 cm. Il n'est cependant pas rare de rencontrer des éléments présentant des dimensions plus spécifiques (par exemple : bordures basses ou surbaissées, bordures biaises, etc.).

→ *Aspect*. La diversité des roches se traduit par une large palette de coloris, y compris au sein d'une même famille : gris, beige, ocre, brun, rose, bronze, etc. Un vocabulaire spécifique permet de désigner les incrustations de la pierre : veines, grains, strates, flammes, taches, etc.

Outre l'aspect original de la roche, les bordures peuvent porter les marques de leur mode de découpe (clivage, sciage) et de leur finition d'origine (flammage, sablage, grenaillage, bouchardage, etc.). Au fil du temps, leur aspect varie aussi selon les sollicitations d'usage : adoucissement, polissage de la face visible, traces de peinture, de mortier ou de bitume, développement d'organismes (mousses, lichens), etc.

Lorsqu'un ré-usinage des bordures de réemploi est envisagé (sciage, surfaçage, fraisage, etc.), celui-ci modifiera généralement l'aspect des faces visibles.

→ *Connections*. Dans certains cas, les bordures présentent un système d'encoches (mâle et femelle) à leur extrémité. L'assemblage précis des bordures dépend fortement de l'état de ce système. Au besoin, il est envisageable de scier les extrémités (de tout ou d'une partie du lot) pour faciliter sa remise en œuvre.



Anatomie générale d'une bordure en pierre naturelle de réemploi

Profil de bordure surbaissée

Bordures à encoches (pierre bleue)

Bordures à encoches (granite)

a. Face supérieure (finition spécifique)
b. Arête visible (avec chanfrein, arrondi ou fruit)
c. Face avant (finition spécifique sur une partie de la hauteur)
d. Face inférieure (brute de sciage ou clivée)
e. Extrémité (à encoche ou brute de sciage ou clivée)
f. Face arrière (brute de sciage ou clivée)

L x l x H : Longueur x Largeur x Hauteur

Récupération du matériau

Les bordures en pierre naturelle sont de bons candidats au réemploi, soit sur site, soit via les filières professionnelles de revendeurs de matériaux. Ceux-ci peuvent également assurer la fourniture de lots de bordures prêtes à la pose. Ils sont généralement en mesure d'assurer le bon déroulement des opérations suivantes :

→ *Test de démontage* (ou avis expert). Il permet en pratique de s'assurer de la faisabilité et la rentabilité d'une dépose. Un « œil expert » permet généralement d'estimer l'intérêt d'un lot sur base de plans, de photos, de documents historiques ou par une visite sur place. Pour les bordures, les points d'attention seront entre autres :

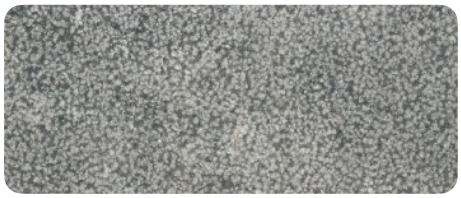
- l'état général du lot et le mode de pose : état de la pierre, formats et dimensions, nature du lit de pose, caractéristiques des joints, etc.
- l'intérêt commercial, selon le modèle, la quantité, le potentiel de récupération et de revente, les spécificités régionales, etc.
- les dispositions logistiques, notamment en matière de délai, temps de travail, manutention, transport, etc.

→ *Dépose*. Le démontage soigneux des bordures doit assurer la sécurité des travailleurs et l'intégrité des éléments récupérés. Une attention particulière doit être portée aux risques liés à la présence d'impétrants (câbles et canalisations enterrées). Le risque de détérioration du matériau est généralement faible lors du démontage, sauf pour les éléments en pierre tendre, ou de section réduite, nécessitant une attention accrue. Les bordures sont d'abord décrochées à l'aide d'engins mécaniques (i.e. marteau piqueur) puis déplacées à l'aide d'outils de levage adaptés (i.e. pince-bordure).

→ *Nettoyage et tri*. Les bordures récupérées sont triées par qualités, couleurs et dimensions. Les éléments présentant des dégradations (délitage) ou des défauts importants sont écartés (dans le cas des bordures en roches sédimentaires, grès ou calcaire, il est important de s'assurer que le plan de clivage ou plan de sédimentation soit parallèle au sens de pose). Un nettoyage à l'eau (haute pression) ou par grattage est généralement suffisant pour enlever les résidus de couche de pose, produits de jointoiement et autres éléments qui pourraient y adhérer.

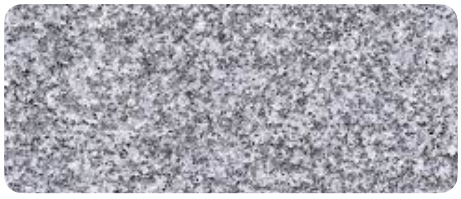
→ *Traitements*. Si certaines bordures peuvent être réemployées telles quelles après un nettoyage sommaire, d'autres peuvent nécessiter des opérations complémentaires telles que :

- *Sciage* : afin d'obtenir de faces latérales plates et verticales ou pour homogénéiser les dimensions des bordures (par exemple, leur conférer une hauteur constante en vue de faciliter leur remise en œuvre). Il est fréquent de scier les extrémités pour rattraper d'éventuelles dégradations ou adapter les systèmes d'encoches.
- *Taille et usinage* : afin de reprendre et corriger le profil des bordures et des arêtes.
- *Finition* : afin d'homogénéiser l'aspect de la pierre ou lui conférer un aspect rugueux sur les parties visibles. Plusieurs techniques sont possibles selon la nature de la pierre et les performances attendues : bouchardage, sablage, flammage, grenaillage, piquage, etc. Un vocabulaire spécifique détermine le type de finition selon le type de roche en jeu. Quelques exemples :



Pierre bleue bouchardée

Pierre bleue ciselée



Granite flammé

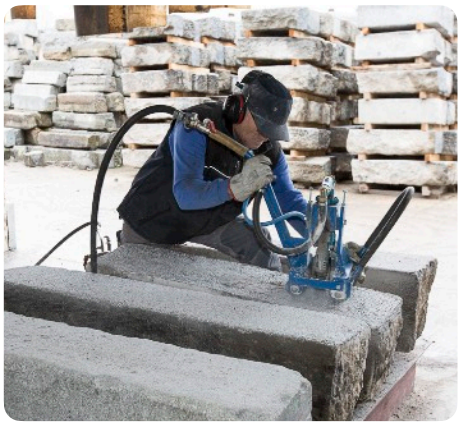
- *Clivage* : les bordures impropres à la retaille peuvent être fendues afin de former des pavés.

Ces différentes opérations peuvent être réalisées par des revendeurs spécialisés au sein de leurs installations. Elles peuvent également être envisagées sur site, à condition que la logistique du chantier le permette.

Astuce conception !

De manière générale, le coût des bordures augmente en fonction du nombre d'opérations exigées. Lorsque les exigences d'usage le permettent, les bordures brutes sont la solution la plus économique. Le sciage constitue toutefois une exception à cette règle puisqu'il permet, en une opération relativement simple, de doubler la quantité de matière potentiellement disponible ! Il convient toutefois de s'assurer que les éléments découpés répondent bien aux exigences d'usage (notamment pour leurs dimensions).

Sciage de bordure
© Carrière de Bonneuil-sur-Marne



Finition des bordures par bouchardage
© Carrière de Bonneuil-sur-Marne

Clivage des bordures © Arnaud Bouissou - TERRA

→ *Stockage et conditionnement*. Les bordures sont généralement stockées à l'extérieur, conditionnées et sanglées sur palettes. Elles sont disposées horizontalement. Idéalement, elles sont séparées par des éléments de calage afin de limiter les risques d'endommagement. Les sangles métalliques sont à éviter au risque de tacher la pierre (rouille). Les bordures prêtes à la pose sont clairement identifiées et étiquetées par lots homogènes. Les bordures courtes (type bordures de campagne) peuvent aussi être conditionnées en big bag ou en caisse. Le conditionnement doit tenir compte de la masse importante des éléments (les palettes peuvent devoir supporter des charges de plus de 2 t). Des moyens de transport et de levage appropriés sont également à prévoir.

Les bordures en pierre naturelle de réemploi sont généralement vendues au mètre linéaire ou à la tonne. La plupart des fournisseurs sont en mesure de fournir une fiche technique reprenant leurs caractéristiques principales (type de roche, dimensions nominales et tolérances, finition, applications prévues) et, dans certains cas, leur provenance.

Stockage en vrac © Pavés de rue

Stockage sur palettes sanglées © Hofman NV-SA

Stockage sur palette © Van Dijck

Centre de dépôt du pavé parisien, Bonneuil-sur-Marne. Stock de pavés et bordures en pierre prêt à être triés, nettoyés et réemployés dans des chantiers de la ville de Paris (FR) © Ville de Paris, Florence Morisson.

Le saviez-vous ?

Certaines villes possèdent leur propre stock de matériaux de voirie. À Paris par exemple, il est obligatoire de réutiliser sur site les pavés et bordures qui s'y prêtent ou de les dévier vers un stock centralisé, dans lequel les entrepreneurs doivent également se fournir pour les nouveaux aménagements. Cette plateforme, mise en place il y a plus de 20 ans, assure entre autres les opérations de collecte, tri, nettoyage et stockage des pavés et bordures parisiens. En plus de minimiser les coûts liés à l'achat de matériaux neufs, elle permettrait d'éviter la mise en décharge de 7000 à 8000 tonnes de granite par an, correspondant à 600 Tonnes de CO2 non émis. (Source : Centre de Maintenance et d'Approvisionnement (CMA) de la mairie de Paris, ADEME).

Applications et mise en œuvre

Les bordures de réemploi s'utilisent principalement pour la délimitation des voiries ou pour des applications moins exigeantes d'aménagements paysagers (délimitation, muret, marche, bancs, potelets, etc.).

Le choix d'un type de bordure dépend des sollicitations propres à l'usage envisagé : trafic, conditions climatiques, règles urbanistiques, etc. En voirie, les bordures doivent pouvoir résister aux chocs des roues et au frottement des pneus. Elles doivent également pouvoir canaliser les eaux pluviales. Il importe donc qu'elles soient posées sur une fondation solide et suffisamment contrebutées pour ne pas déverser.

La majorité des points d'attention liés à la mise en œuvre des bordures en pierre de réemploi ne diffèrent pas de ceux liés aux bordures neuves - notamment, et de façon non exhaustive : nature et dimensions des bordures, nature de la fondation et de la couche de pose, type de jointoiement, dispositions de contrebutage, filet d'eau, nature du revêtement de voirie, etc.

Il appartient à l'auteur de projet de se reposer sur les réglementations, les règles de l'art et les normes techniques en vigueur dans ce domaine. Il est à noter que certains guides locaux de référence sur la mise en œuvre des éléments de revêtement en pierres intègrent déjà le cas des bordures de réemploi (par exemple : le référentiel Qualiroute développé en Région wallonne, Belgique).

Selon les lots envisagées, le réemploi des bordures de trottoir peut nécessiter une attention particulière aux aspects suivants :

- Hauteur variable des bordures. Il est possible que les bordures présentent des hauteurs différentes en raison des irrégularités de la face inférieure. Au besoin, celle-ci peut être rattrapée en adaptant la couche de fondation.
- Longueur variable des bordures. Du fait de la longueur variable des bordures, il est plus pratique d'utiliser des pinces venant saisir les bordures dans leur largeur. Ceci implique toutefois que les bordures soient posées avant le pavage, de façon à ce qu'il y ait suffisamment d'espace pour la pince.
- Traces visibles. Les bordures avec des traces visibles d'un autre matériau (asphalte, peinture, mortier, etc.) peuvent être réparties de façon régulière sur la longueur concernée. Si nécessaire, les bordures porteuses de ces traces peuvent aussi être réservées à des usages moins exigeants à cet égard.
- Irrégularités des extrémités. Au besoin, celles-ci peuvent être sciées de façon à offrir des surfaces latérales plates.
- Jonction avec des bordures spéciales. Lorsque des éléments neufs sont intégrés à l'ouvrage (par exemple : bordures surbaissées, bordures incurvées, éléments d'angles, etc.), il convient de s'assurer de leur compatibilité avec les bordures de réemploi prévues.

Par ailleurs, des prescriptions adéquates de mise en œuvre doivent être spécifiées pour couvrir la grande variété d'applications possibles des bordures de réemploi.

De manière générale, la recherche d'un lot avec des caractéristiques très précises peut s'avérer compliqué. Il est souvent préférable d'identifier un lot de bordures de réemploi brutes et d'envisager des opérations de traitement complémentaires. L'expertise des professionnels peut être précieuse à cet égard.

Les caractéristiques suivantes peuvent être décrites et précisées lors de la rédaction des prescriptions techniques liées à la livraison d'un lot de bordures de réemploi :

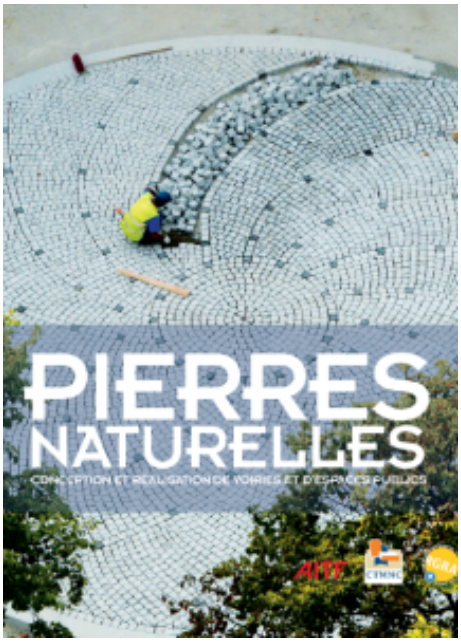
→ *Composition du lot*. Le lot de bordures de réemploi est constitué d'éléments de même type (bordure « de campagne » ou « de ville »), de même nature géologique (grès, granite, porphyre, calcaire blanc) voire d'un même usage d'origine (usage en voirie fréquentée, zone soumise au gel, etc.). Des lots de bordures mélangées peuvent toutefois convenir pour des applications moins exigeantes.

→ *Dimensions*. De manière générale, les dimensions doivent être homogènes en largeur et en épaisseur. Les bordures doivent présenter une planéité et une rectitude suffisantes. Selon la conception, le lot peut être fractionné en sous-lots de dimensions différentes. Pour limiter les coûts et favoriser l'identification de lot de bordures de récupération, il est préférable d'être assez souple sur les dimensions en optant pour une pose en longueur libre, en définissant uniquement une longueur minimale (par exemple, min. 40 cm) ou en fixant un intervalle assez large (par exemple, longueur comprise entre 80 et 120 cm). Si nécessaire, il est également possible d'exiger des caractéristiques dimensionnelles plus précises (ainsi que des tolérances dimensionnelles plus strictes). Ceci peut avoir pour conséquence d'entraîner une transformation plus lourde du matériau (sciage, réusinage).

→ *Texture et finition*. Selon les exigences requises (fonctionnelles et esthétiques) et le type de roche, il convient de préciser l'aspect des faces visibles (bouchardé, flammé, smillé, grenaillé, etc.), des faces non visibles et des extrémités (scié, clivé). Selon la profondeur d'enfouissement, la face peut n'être surfacée que sur une partie de la hauteur. Celle-ci doit alors être précisée.

→ *Profil*. Idem. Si nécessaire, il convient de préciser le profil des bordures et l'état de chaque arête (scié droit, chanfrein, arrondi, avec fruit, sans exigence, etc.). Pour une plus grande homogénéité de profil, il convient d'être précis sur les dimensions (et leurs tolérances dimensionnelles respectives) et de prévoir éventuellement une transformation des bordures.

→ *Teinte*. Par nature, les pierres naturelles présentent une grande variété de teintes et d'aspects. Selon les exigences d'usage (par exemple, dans un contexte de rénovation patrimoniale), il est possible de préciser cette caractéristique en se référant à une teinte générale ou à un coloris précis.



Pierres naturelles - Conception et réalisation de voiries et d'espaces (2019), RGRA, 440 p., ISBN : 978-2-913414-52-5

→ *Etat*. Outre des traces de résidus de mortier, de peinture et de bitume, les bordures de réemploi peuvent présenter des altérations mineures telles que des traces d'usure superficielle, des éclats, des fissures légères, des cratères, des écaillements légers, des taches, des restes de mousse, etc. Ces détériorations peuvent influencer les performances techniques et esthétiques des bordures, ainsi que leur remise en œuvre, mais ne constituent pas un obstacle majeur au réemploi - sauf pour des usages très spécifiques (*voir § « Caractéristiques et aptitudes à l'usage »*).

Selon la nature de la roche, d'autres aspects peuvent être considérés comme des imperfections majeures. Par exemple, les bordures en roche sédimentaire (i.e. grès, calcaire) doivent nécessairement présenter un plan de clivage (et des joints stylolithiques) parallèles au sens de pose sous peine de voir la pierre se déliter. Autre exemple : certaines roches calcaires (i.e. pierre bleue) peuvent présenter des joints stylolythiques susceptibles de fragiliser la pierre. Ces imperfections peuvent parfois convenir pour les parties de bordures non visibles. Dans une large mesure, la documentation technique existante permet d'apprécier ces divers aspects au cas par cas. Des professionnels peuvent également être consultés.

Il appartient à l'auteur de projet de définir le degré d'imperfection toléré, selon l'usage défini et les conditions de mise en œuvre, en spécifiant le degré d'altérations acceptables (par exemple : éclats, fissures et écaillages < x cm² tolérés sur les faces visibles, coins et bords cassés tolérés sur les parties non visible, etc.).

A noter que des bordures présentant des irrégularités ou des traces de bitume sont parfaitement adaptées à certaines applications et reviennent moins cher que des bordures plus calibrées.

→ *Quantités*. Pour augmenter la quantité de bordures disponibles, l'auteur de projet peut envisager de réunir différents lots (par exemple : granit + grès) et/ou de prévoir un délai pour que le fournisseur puisse réunir la quantité recherchée. Dans le cas d'un scénario de réemploi sur site, il est conseillé de prévoir un stock de bordures de réserve afin de procéder aux réparations ultérieures et de remplacer les bordures abîmées.

La plupart des fournisseurs professionnels sont en mesure de garantir la conformité des lots livrés à ces exigences. Une procédure d'essai de contrôle sur base d'un échantillon contractuel et d'un échantillonnage à la réception peut être mise en place.

La plupart des matériaux de construction de réemploi sont vendus en l'état. Les conditions de ventes peuvent cependant contenir des garanties particulières propres au matériau. Certains fournisseurs sont en mesure d'indiquer la provenance du matériau et/ou de fournir de la documentation sur le produit acheté (pour plus d'information, consulter la fiche introductive).

Astuce conception !

Il est préférable de commander une quantité exprimée en mètres courants plutôt qu'en nombre de pièces, étant donné les longueurs irrégulières des bordures de réemploi.

Exemple de joints stylolythiques

Place de la Bastille, Paris (FR). Réemploi de 10 000 anciennes bordures de trottoir sciées en deux pour être transformées en dalles. © Benjamin Randow

Réemploi de bordures en marches d'escalier (FR). © Noblema

Caractéristiques et aptitudes à l'usage

La norme harmonisée européenne EN 1343 établit les caractéristiques pertinentes (selon le contexte) en vue de déterminer l'aptitude à l'usage des bordures en pierre naturelle destinées au pavage extérieur. Bien que détaillées pour des matériaux neufs issus de l'extraction et de la transformation des pierres naturelles, ces caractéristiques peuvent s'avérer utiles pour envisager le cas particulier des bordures de réemploi.

Caractéristiques	Commentaires
Provenance géologique et description pétrographique	Les bordures de réemploi proviennent d'ouvrages susceptibles d'avoir été réalisés à partir de lots d'origines multiples. S'il est possible de caractériser visuellement le type de roche en présence, il est cependant plus difficile d'affirmer avec certitude que leur provenance géologique est identique, à moins qu'il n'existe des traces permettant de l'attester (par exemple : un certificat d'origine, des documents d'archives...). Ceci est d'autant plus valable pour les lots constitués par le regroupement de bordures d'origines diverses.
Provenance géographique	Comme pour la provenance géologique, l'information sur la provenance géographique d'origine d'un lot de bordures de réemploi est difficile à attester avec certitude. En revanche, on peut déduire certaines caractéristiques si l'on sait où les bordures ont été démontées. Ainsi, des bordures en bon état qui ont été démontées dans une région soumises à de forts cycles de gel/dégel témoignent vraisemblablement d'une bonne résistance au gel. Autre exemple : des bordures en bon état provenant d'une rue soumise à un passage intensif de véhicules lourds témoignent d'une certaine façon de leur bonne résistance à la flexion. Ainsi, à défaut d'information sur la carrière d'origine, il peut être utile de disposer d'informations sur la voirie ou la région d'où proviennent les bordures.
Masse volumique apparente et porosité ouverte	Ces caractéristiques sont propres à chaque pierre. La masse volumique [kg/m³] donne une indication sur le degré de compacité de la pierre. De manière générale, plus une roche est compacte, moins elle est poreuse. La porosité ouverte d'une pierre correspond à la proportion des pores reliés entre eux et accessibles à l'eau. Elle est exprimée en [% en volume]. Elle est généralement estimée par une mesure de l'absorption d'eau (masse d'eau absorbée par rapport à la masse d'une éprouvette sèche). Cette caractéristique influence notamment le degré de résistance aux taches et aux salissures. Elle ne conditionne pas directement la sensibilité au gel de l'élément en pierre (c'est plutôt sa capacité à restituer l'eau absorbée qui importe à ce niveau). Ces informations peuvent être estimées sur base de documentation technique relative aux pierres naturelles (voir tableau ci après). Si nécessaire, ces caractéristiques peuvent être mesurées plus précisément par un essai d'identité tel que défini par la norme d'essai EN 1936.
Caractéristiques géométriques	Ces caractéristiques peuvent être estimées en procédant à des mesures simples. Elles sont étroitement liées au degré de tri et de nettoyage des bordures de réemploi ainsi qu'aux opérations de transformations entreprises sur le matériau. Dans le cas de bordures destinées à êtres réusinés ou retaillés, il est conseillé de définir avec le fournisseur les tolérances dimensionnelles applicables à chacune des dimensions (largeur, épaisseur, longueur, rayon de l'arrondi, géométrie du chanfrein, etc.) au regard de l'appareillage requis, du type de pierre et de la fonctionnalité de l'ouvrage (ces divers aspects sont décrits dans la norme EN 1343). Il convient également de détailler les exigences en termes de planéité et de rectitude. De manière générale, les bordures de réemploi brutes présentent des irrégularités de forme liées à la fabrication d'origine et au degré d'usure.
Glissance	Cette caractéristique influence le confort et la sécurité des usagers. Elle dépend principalement de la rugosité et de la texture du revêtement. Elle peut être évaluée visuellement. Plus elle est grossière, plus elle est antidérapante. Cette caractéristique évolue avec le temps, sous l'influence de l'usure du revêtement, de la présence de salissures, des conditions d'entretien, de la pente, de la densité des joints et du contexte climatique (pluviosité). L'évaluation approfondie de la résistance au glissement (encadrée par la norme d'essai EN 14231) est pertinente lorsque l'ouvrage est destiné à la circulation des piétons. La norme stipule par ailleurs que des bordures surfacées en relief ou clivées, et dont la rugosité de surface est supérieure à 1.0 mm, satisfont aux exigences de glissance sans mesures d'essai préalables. Dans le cas des bordures de réemploi, un traitement de finition spécifique et adapté au type de pierre peut être envisagé. Certaines finitions (flammage, par exemple) peuvent éventuellement être appliquées en cours d'usage afin de satisfaire aux exigences en vigueur.
Résistance à l'usure	Cette caractéristique de durabilité dépend de l'intensité et de la nature du trafic, de la présence de particules abrasives et des conditions d'entretien. S'il existe une norme d'essai qui permet d'évaluer cette caractéristique avec précision (EN 14157 - essai Capon), on peut également l'approcher, pour les bordures de réemploi, en s'appuyant sur la façon dont celles-ci ont résisté aux sollicitations de leur premier usage. De manière générale, les granites et porphyres conviennent aux sollicitations intenses et résistent davantage à l'usure que les grès et les calcaires.

Caractéristiques	Commentaires
Résistance à la flexion	La résistance à la flexion Rf [MPa] est une caractéristique mécanique qui permet de renseigner sur la capacité à résister à des forces de flexion en usage. Elle varie selon le type de pierre et est généralement déterminée au moyen d'essais de flexion encadrés par la norme EN 12372. La résistance à la flexion permet de déterminer la charge de rupture [kN] admissible des bordures, en fonction de leurs dimensions, selon la formule suivante : $P = \frac{Rf \times W \times t^2}{1500 \times L \times Fs}$ où P : charge de rupture [kN] W, L, t : largeur, longueur et épaisseur [mm] Rf : résistance à la flexion [MPa] Fs : facteur de sécurité, généralement Fs = 1,6 Dans le cas des bordures de voiries, les exigences applicables peuvent se résumer au tableau suivant : **Usage recommandé** / **Charge de rupture (kN)** décoration / pas d'exigence usage piétonnier uniquement / > 0.75 zones piétonnières et cyclables / > 3.5 accès occasionnel de véhicules légers, entrées de garage / > 6 zone de circulation piétonnière, places de marché, circulation occasionnelle de véhicules de livraison/ secours / > 9 zone de circulation piétonnière fréquemment employée par des poids-lourds / > 14 routes et rues / > 25 Néanmoins, dans le cas des bordures de réemploi, on peut supposer que des éléments ayant été, au cours de leur vie, soumis à des sollicitations élevées, continueront à satisfaire à des niveaux d'exigence similaires ou inférieurs. Un examen détaillé des conditions d'usage initial permet dès lors d'apprécier la capacité de résistance à la flexion des bordures de réemploi, sans mesure d'essai spécifique.
Résistance au gel/dégel (et aux sels de déverglaçage)	Pour une application extérieure, les éléments en pierre naturelle doivent pouvoir résister au gel/dégel sans que leur aspect ou que leurs caractéristiques mécaniques ne soient affectés. La provenance et l'état d'un lot de bordures de réemploi peuvent offrir une indication utile pour déterminer leur résistance au gel/dégel. Beaucoup de bordures anciennes sont en effet susceptibles d'avoir résisté, au cours de leur premier usage, à davantage de cycles de gel/dégel que ce que préconise la norme d'essai qui permet d'évaluer cette performance (EN 12371). Il importe donc de se renseigner sur l'origine géographique du lot pour s'assurer des conditions climatiques d'origine (par exemple, un lot provenant d'un climat continental au nord de l'Europe conviendra vraisemblablement à une application dans le climat méditerranéen du sud de la France. L'inverse n'est pas forcément vrai). De manière générale, les bordures les moins résistantes qui ont subi des dégâts dûs au gel auront été vraisemblablement écartées lors des étapes de tri et de nettoyage.
Résistance aux salissures	Cette caractéristique dépend fortement de la porosité des pierres et du degré de finition. Il est possible d'évaluer cette performance en observant le degré de salissure sur la face visible des bordures de réemploi non transformées (non sciées). Si nécessaire, des traitements de surface spécifiques peuvent également être préconisés pour améliorer cette performance, en ralentissant l'infiltration de substances huileuses dans les vides de la pierre (traitement de surface avec des silanes, des siloxanes, du téflon, etc).

A titre indicatif, le tableau suivant reprend quelques-unes des performances connues de quelques familles de roches constitutives des bordures fréquemment réemployées. Il est important de préciser que chaque pierre présente des spécificités et que deux lots de bordures de la même roche peuvent présenter des performances assez différentes.

	Masse volumique apparente (kg/m³)	Résistance à la flexion (MPa)	Porosité	Comportement à l'usure
Grès	2000 - 2700	20 - 30	peu poreux (0,5 à 10%)	++(+)
Pierre calcaire tendre (ex : pierre blanche)	< 2500	-	poreux (5 à 50 %)	++
Pierre calcaire compacte (ex : pierre bleue)	> 2500	10 - 25	peu poreux (0,2 à 5%)	++
Porphyre	2000 - 2800	15 - 30	très peu poreux (0,2 à 2%)	+++
Granite	2500 - 3000	15 - 30	très peu poreux (0,2 à 2%)	+++

Bordure en pierre naturelle

Disponibilité

Il existe de nombreux professionnels qui vendent des bordures en pierre naturelle de réemploi. Cependant les stocks des fournisseurs ne sont pas toujours stables. Il est recommandé de se renseigner assez tôt auprès des professionnels en cas de grosse commande (plusieurs centaines de mètres linéaires).

Prix indicatifs (Hors Taxes)

Un échantillonnage non exhaustif du marché du réemploi d'Europe du Nord Ouest (Belgique, France, Grande-Bretagne et Pays-Bas) a permis d'extraire quelques prix indicatifs. Ceux-ci varient selon le format, les dimensions et le type de pierre, ainsi que du degré de tri et de nettoyage demandé.

- Bordures de campagne de réemploi :
  ~ 25 - 30€ /mètre linéaire
- Bordure de route de réemploi :
  ~ 40 - 70€ /mètre linéaire

Trouver des prestataires spécialisés

SALVO salvoweb.com — salvoweb.com

OPALIS — opalis.eu

Place du Panthéon, Paris (FR). Les Monumentales (Emma Blanc, Collectif ETC, Genre et Ville, Albert and co.). Réemploi de 400 bordures de trottoir (ou blocs) de granit en aménagement paysager.
© Lucas Bonnel et © Samuel Colin-Canivez

Le saviez-vous ?

Les éléments de voirie en granit rose qu'on trouve actuellement sur le marché du réemploi en Belgique trouvent leur origine dans des carrières suédoises. Ces pavés et bordures étaient utilisés comme ballast dans les cales des navires qui circulaient entre la Belgique et la Suède. Une fois déchargés dans les villes portuaires, ils y trouvaient de nouveaux usages dans les travaux d'aménagement des espaces publics.

Lower Mystic Lake House (USA). Reclamation of stone kerbs. © matthew-cunningham.com

Selon les sources et le type de pierre, réutiliser 100 mètres linéaire de bordure en pierre naturelle de réemploi permet de prévenir la production de ~680 à ~7 880 kg de CO_2 eq. liés à la fabrication de bordures neuves (phase de production uniquement). Selon les sources, cela correspond à un trajet de ~4 050 à ~47 250 km effectué dans une petite voiture diesel.

Dans le cas où le réemploi des bordures en pierre naturelle se substitue à des bordures neuves en béton, ce gain est également intéressant.

Embodied carbon (Cradle to gate - production A1-A3)	kg CO_2 eq./m linéaire	kg CO_2 eq./kg
Base de donnée INIES (FR) - Donnée générique - Bordure en pierre naturelle *	35,8	-
Base de donnée INIES (FR) - Donnée générique - Bordure en béton **	29,0	-
Base de donnée ICE (UK) - Granite ***	78,8	0,7
Base de donnée ICE (UK) - Calcaire ****	10,1	0,09
Base de donnée ICE (UK) - Grès *****	6,8	0,06

** Valeur indicative pour assurer la fonction d' 1 mètre linéaire de bordure de voirie en pierre naturelle pendant une durée de vie de référence de 150 ans.*

*** Valeur indicative pour assurer la fonction d' 1 mètre linéaire de bordure de voirie en béton pendant une durée de vie de référence de 50 ans.*

**** Valeur indicative pour 1 mètre linéaire de bordure en granite (largeur = 15 cm, épaisseur = 30 cm, masse volumique = 2500 kg/m³).*

***** Valeur indicative pour 1 mètre linéaire de bordure en calcaire (largeur = 15 cm, épaisseur = 30 cm, masse volumique = 2500 kg/m³).*

****** Valeur indicative pour 1 mètre linéaire de bordure en grès (largeur = 15 cm, épaisseur = 30 cm, masse volumique = 2500 kg/m³).*