

Les revêtements extérieurs en pierre naturelle attachée constituent depuis de nombreuses années une très belle solution esthétique pour habiller les façades. Les exigences auxquelles doivent satisfaire les systèmes constructifs intégrant ce type de revêtement sont toutefois multiples. La résistance au vent en fait partie...

Fixation de pierre naturelle en façade : une mince affaire... de résistance au goujon

Contexte

Depuis quelques années, les ingénieurs de la division Avis technique du CSTC sont fréquemment interrogés à propos de l'utilisation de pierres peu compactes (correspondant plus ou moins aux pierres tendres) d'une épaisseur inférieure à 4 cm sous forme de revêtements verticaux agrafés, en particulier pour des bâtiments élevés. Dans l'attente de la révision de la NIT 146, il n'existe actuellement pas de recommandations à ce sujet en Belgique.

Du point de vue de la résistance au vent, nous verrons néanmoins dans cet article que cette application peut être vérifiée en fonction des propriétés mécaniques de la pierre naturelle et du mode de montage, et ce, en suivant une approche de dimensionnement inspirée des Eurocodes.

La fixation des pierres naturelles sur la façade est réalisée selon divers procédés :

- par attaches mécaniques chevillées dans le support
- par attaches scellées dans un mortier
- par fixation dans une ossature intermédiaire.

Cet article se focalise sur la résistance mécanique du système le plus couramment utilisé chez nous, à savoir l'agrafage des pierres par goujons (ergots) et attaches mécaniques chevillées (voir figure ci-contre). Ce système nécessite de réaliser un joint horizontal suffisamment large, de sorte que le poids propre des pierres ne soit pas transféré d'une plaque à l'autre. D'autres systèmes de fixation, tels que les clips répartis, existent sur le marché, mais ne seront pas abordés dans cet article.

La vérification de la résistance mécanique du système peut s'articuler sur les principes des Eurocodes qui intègrent, entre autres, l'utilisation de variables caractéristiques pour décrire les sollicitations et les résistances ainsi que l'application de coefficients de

sécurité sur ces variables, afin que le coût soit maîtrisé tout en garantissant la fiabilité et la sécurité du couple pierre/fixations.

Du côté des sollicitations, c'est bien entendu le poids propre de la pierre naturelle et l'action du vent (W_d) qui sont les actions dominantes. Toutefois, d'autres effets devront également être évalués (actions climatiques, impacts, chocs thermiques, vibrations/actions sismiques, ...).

La résistance mécanique du système de pierre agrafée se vérifie à différents niveaux (voir figure) :

- 1 : résistance de la cheville dans le support
- 2 : résistance de l'attache mécanique
- 3 : résistance de la tige filetée
- 4 : résistance en flexion de la pierre naturelle perpendiculaire à la façade
- 5 : résistance de la pierre au niveau du goujon d'ancrage.

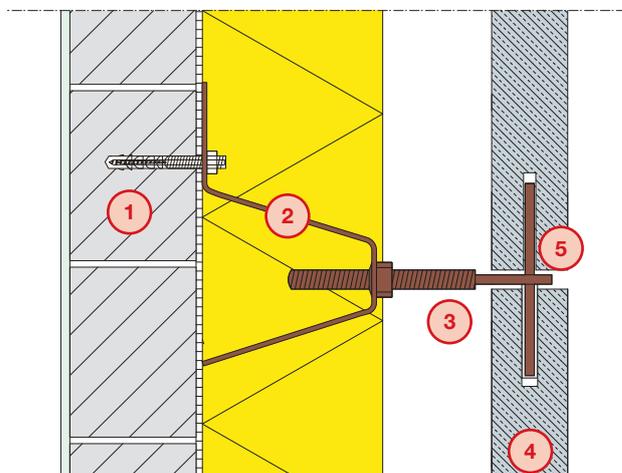
Les points 1 à 3 étant généralement vérifiés par les fournisseurs des attaches (dont certaines disposent d'un agrément technique), nous nous concentrerons sur les points 4 et 5 relatifs à la pierre naturelle.

La résistance en flexion de la pierre naturelle doit être déclarée par le producteur, conformément au marquage CE stipulé dans la norme NBN EN 1469. Elle peut être évaluée selon la norme d'essai NBN EN 12372.

La résistance au niveau du goujon d'ancrage, quant à elle, peut être évaluée suivant la norme NBN EN 13364, mais la valeur ne doit pas obligatoirement être déclarée dans le marquage CE. Par conséquent, si l'on projette d'utiliser une pierre mince en façade, il sera nécessaire de vérifier la disponibilité de cette information ou de faire réaliser des essais pour vérifier l'usage envisagé.

Principe de dimensionnement

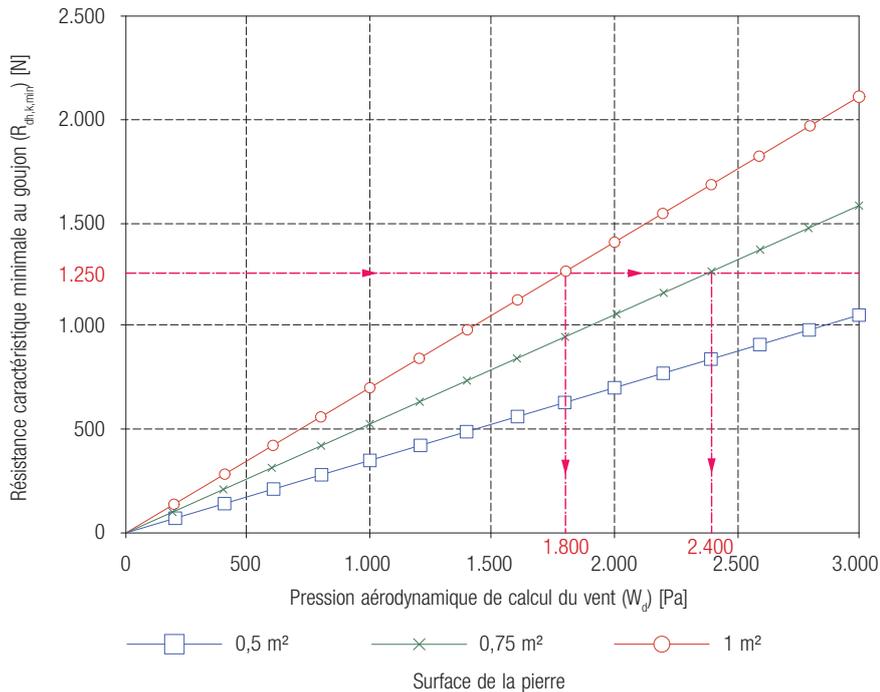
L'approche spécifique pour la vérification sous l'action du vent, transitant de la pierre vers les goujons, passe d'abord par le calcul de l'action du vent, puis par le contrôle de la résistance en flexion de la pierre naturelle et, enfin, par la vérification de la rupture potentielle localisée au niveau des goujons d'ancrage. Cet article se focalise sur ce dernier volet.



1 | Système de pierre naturelle agrafée en façade (ici dans les bords horizontaux)



2 | Valeur minimale de la résistance caractéristique au goujon d'ancrage en fonction de la surface de la pierre



Pression du vent W_d [Pa] calculée pour $v_{b,0} = 25$ m/s (région bruxelloise, par exemple)

Classe de rugosité du terrain (*)	Hauteur du bâtiment		
	10 m	30 m	60 m
I	1.622	1.874	2.232
II	1.379	1.647	2.033
III	968	1.239	1.637
IV	612	863	1.196

(*) Catégorie conforme à la norme NBN EN 1991-1-4 (Eurocode 1, partie 4)

Vérification de la résistance de la pierre naturelle aux goujons d'ancrage

Les goujons sont habituellement au nombre de quatre par plaque et sont insérés dans les bords horizontaux ou verticaux. Il faut noter à ce stade que les goujons ne reprennent jamais la même intensité de réaction, étant donné la grande rigidité de la plaque et les tolérances de mise en œuvre. La distribution de ces réactions sous une charge uniforme répartie perpendiculairement à la surface (S) de la pierre indique que seuls deux goujons (un dans chaque chant) reprennent, à amplitude égale et simultanément, l'action du vent. Par conséquent, on dimensionnera la pierre de manière à ce qu'elle puisse reprendre, au niveau de chacun des goujons, la moitié de l'action du vent ($W_d/2$).

La résistance caractéristique (ou 'valeur

minimale attendue', suivant la norme d'essai) de la pierre au goujon d'ancrage ($R_{dh,k}$) doit également être réduite par un facteur de sécurité, suivant l'approche des Eurocodes, pour déterminer une valeur de calcul $R_{dh,d} = R_{dh,k} / \gamma_{dh}$. En l'état actuel des connaissances, il semble adéquat de prendre $\gamma_{dh} = 1,40$. Cette valeur peut être réduite si une analyse plus précise du mécanisme de ruine au niveau des goujons (ruptures en série) est prise en compte, en particulier si le coefficient de variation des résultats expérimentaux de la résistance au goujon est $\geq 30\%$, entraînant une pénalité importante sur le calcul de la valeur caractéristique au départ de la valeur moyenne.

Il faut alors vérifier :

$$\frac{W_d \cdot S}{2} \leq R_{dh,d}$$

Etant donné qu'il n'existe pas de relation

théorique entre la résistance au goujon d'ancrage et l'épaisseur de la pierre, il n'est malheureusement pas possible de déterminer directement une épaisseur minimale de pierre en fonction des autres paramètres, sans passer par un essai spécifique sur la pierre d'épaisseur envisagée.

Evaluons le cas d'une pierre naturelle de 3 cm présentant une résistance caractéristique au goujon d'ancrage de 1.250 N (*). D'après la figure 2, elle ne peut être utilisée que pour des pressions de vent atteignant maximum 1.800 Pa si sa surface fait 1 m² et jusqu'à environ 2.400 Pa si sa surface est de l'ordre de 0,75 m² (0,55 x 1,40 m, par exemple).

Les pressions de vent obtenues par calcul pour trois hauteurs de bâtiment et une valeur de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0} = 25$ m/s sont indiquées dans le tableau ci-contre. Dans le premier cas (surface de 1 m²), cela signifie qu'un bâtiment de 30 m en classe de rugosité I, ou un bâtiment de 60 m de haut en classe I ou II, ne sera pas envisageable. Dans le deuxième cas de figure, les façades de bâtiment jusqu'à 75 m de haut seraient, de ce point de vue, concevables.

Conclusion

La résistance en flexion de la pierre naturelle est rarement mise en défaut pour les applications en agrafage sur façade. Du point de vue de l'action du vent, c'est plutôt la résistance au goujon d'ancrage qui sera déterminante en fonction de la hauteur du bâtiment et de la surface envisagée des pierres. En fonction de la nature de celles-ci, la hauteur maximale d'application en façade peut être évaluée sur la base de l'approche présentée dans cet article et davantage détaillée dans la version longue de celui-ci. On constate que pour des pierres compactes et des dimensions modérées (surface de l'ordre de 0,75 m²), l'application en épaisseur de 3 cm est tout à fait possible jusqu'à des hauteurs importantes pour une très grande partie du pays.

B. Parmentier, ir., chef de la division Structures, CSTC

D. Nicaise, dr. sc., chef du laboratoire Minéralogie et microstructure, CSTC

(*) Cas d'une pierre compacte comme la pierre bleue de Belgique de 3 cm d'épaisseur, par exemple (valeur purement informative).