



NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Les mortiers de rejointoiment pour la conservation des maçonneries anciennes

Maurenbrecher, A. H. P.; Trischu, K.; Rousseau, M. Z.; Subercaseaux, M. I.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/23001369>

Rapport de recherche (Institut de recherche en construction (Canada)), 2007-03-01

NRC Publications Record / Notice d'Archives des publications de CNRC:

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=7362f793-48ef-495c-96f0-13b41db6b82f>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=7362f793-48ef-495c-96f0-13b41db6b82f>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.





Les Mortiers de Rejointoiement pour la Conservation des Maçonneries Anciennes

RR-225F

Maurenbrecher, A.H.P.; Trischuk, K.;
Rousseau, M.Z.; Subercaseaux, M.I.

Mars 2007

:

[Copyright Notice / Droits d'auteur](#)



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

Canada

Les mortiers de rejointoiement pour la conservation des maçonneries anciennes

Rapport de recherche 225

Date de publication : mars 2007

Auteurs :

A.H. P. Maurenbrecher, K. Trischuk, M. Z. Rousseau
Institut de recherche en construction, CNRC
M. I. Subercaseaux
Direction de la conservation du patrimoine, TPSGC

Publié par
Institut de recherche en construction
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Canada)
K1A 0R6

Table des matières

Résumé

Remerciements

Partie 1 Considérations en matière de conception

1. Contexte de la conservation des maçonneries anciennes
2. Le mortier de rejointoiement
3. Conséquences d'un rejointoiement mal exécuté
4. Évaluations avant conception
5. L'intention de la conception
6. Principales propriétés d'un mortier de rejointoiement efficace
7. Conception d'un mortier de rejointoiement
8. Essais et analyses

Partie 2 Considérations de chantier

9. Considérations avant la mise en œuvre
10. Préparation des joints
11. Malaxage du mortier
12. Mise en œuvre du mortier
13. Cure et protection du mortier
14. Contrôle de la qualité
15. Entretien

16. Sommaire

17. Références

18. Lectures complémentaires

Résumé

Les propriétés et les pratiques de mise en œuvre des mortiers de rejointoiment pour maçonneries anciennes diffèrent de celles des mortiers pour maçonneries modernes. Mal conçus ou mal posés, les mortiers de rejointoiment sont susceptibles de causer des dommages permanents aux maçonneries anciennes et affecter ainsi leurs qualités esthétiques, leur valeur patrimoniale, leur performance et leur durée de vie utile. Ce rapport permet aux architectes, ingénieurs, maçons, entrepreneurs, propriétaires et gestionnaires immobiliers d'approfondir leurs connaissances sur les mortiers de rejointoiment qui contribuent à la conservation durable des maçonneries anciennes du Canada.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier John Cooke, de John G. Cooke & Associates, pour la révision du présent rapport et ses judicieux commentaires. Ils tiennent également à remercier les membres du Groupe de travail du CNRC sur les mortiers de rejointoiment pour bâtiments en maçonneries anciennes, dont les débats animés durant les ateliers semestriels ont permis d'améliorer notre compréhension collective de la performance des mortiers de rejointoiment sous les climats canadiens.

Partie 1 Considérations en matière de conception

1. Contexte de la conservation des maçonneries anciennes

Au Canada, la conservation des maçonneries anciennes représente une part de plus en plus croissante des activités de conception et de construction. Les bâtiments anciens sont aujourd'hui réparés, améliorés ou convertis à de nouveaux usages, avec l'espoir d'allonger leur durée de vie utile pour un autre demi-siècle ou plus, mais également dans le but de conserver un riche patrimoine architectural. Construites entre le XIX^e siècle et les années 1940, les maçonneries anciennes représentent une partie importante de ce patrimoine aux caractéristiques uniques et combien différentes de celles des constructions modernes. Églises, hôpitaux, musées, palais de justice, campus universitaires, grands immeubles de bureaux gouvernementaux, entrepôts industriels et simples maisons en sont autant d'exemples communs (Fig. 1).

La conservation des maçonneries anciennes exige des connaissances et des qualifications différentes de celles des maçonneries modernes, parce qu'elles ne sont pas construites avec les mêmes matériaux, ni selon les mêmes techniques. Les maçonneries anciennes s'appuyaient souvent sur leur masse pour contrôler les infiltrations d'eau. Elles ne comportaient donc que très rarement une cavité drainée pour évacuer l'eau infiltrée (Brown *et al.*, 1997¹). Elles étaient par ailleurs construites avec des mortiers plus mous que les mortiers modernes, et pouvaient par conséquent absorber les mouvements sans se fissurer (les fissures de mortier sont le principal vecteur des infiltrations d'eau). Ces mortiers, qui étaient également plus perméables à la vapeur d'eau (poreux) que les mortiers modernes, permettaient aux murs de sécher plus rapidement par les joints de mortier. La conservation des joints de mortier des maçonneries anciennes exige par conséquent des considérations spéciales.

Le rejointoiment des maçonneries anciennes doit faire partie de tout programme d'entretien régulier ou de conservation (Fig. 2) destiné à réhabiliter leur capacité à contrôler les infiltrations d'eau et à améliorer leur apparence ou leur authenticité historique. Pour le non-initié, ce travail pourrait ressembler à un travail de maçonnerie courant. Or, du choix du mortier aux conditions de sa cure, tout dans le rejointoiment des maçonneries anciennes peut avoir un effet permanent sur leur intégrité visuelle et fonctionnelle. Mal exécuté, le rejointoiment des maçonneries anciennes risque en effet de nuire à leur apparence et d'entraîner la détérioration prématurée du mortier et des éléments de maçonnerie.



Figure 1 Construit en 1902 pour servir de principal point de référence longitudinal du Canada et déterminer et transmettre l'heure aux organismes gouvernementaux (une fonction qu'il a remplie de 1905 à 1970), l'Observatoire fédéral d'Ottawa est aujourd'hui classé monument historique. Revêtu de grès de Nepean et de Credit Valley, il a été rejointoyé en 2003-2004.

2. Le mortier de rejointoiment

Le mortier de rejointoiment est essentiellement constitué de sable, d'un liant à base de ciment et/ou de chaux, d'eau (pour hydrater les liants hydrauliques et lui conférer sa plasticité) et d'adjuvants (pour améliorer sa performance). Il existe plusieurs types de mortier.

Le « mortier d'assise » se place entre les éléments de maçonnerie pour remplir une fonction structurale (distribuer les charges verticales et latérales). Le « mortier de rejointoiment » se place sur la face extérieure du joint, où il gère les charges climatiques (étanchéité à l'eau, rejet de l'eau et capacité de séchage du mortier). Le mortier de rejointoiment joue un rôle également très important dans la valeur esthétique des maçonneries. Le rejointoiment consiste à dégarnir les joints endommagés (fissurés, lâches ou désagrégés) et à les regarnir d'un nouveau mortier (Fig. 2).

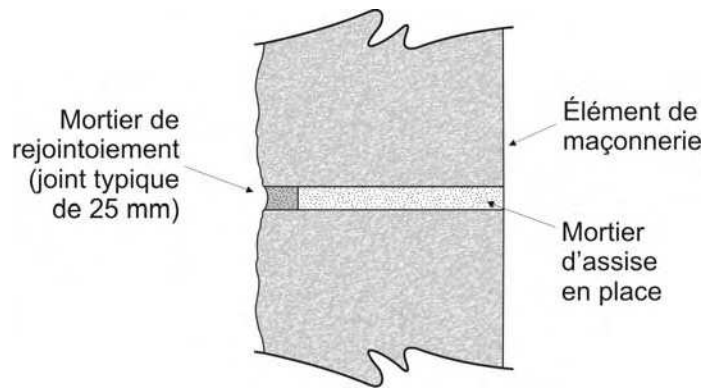


Figure 2 Mortiers d'assise et de rejointoiment

Rejointoyer la maçonnerie dans le seul but d'en améliorer l'esthétique n'est pas recommandé. Il est préférable de rejointoyer les seules parties détériorées de la maçonnerie sauf si, pour des raisons de coût, d'opportunité ou de difficulté d'accès, il devient plus avantageux de rejointoyer l'ensemble de la maçonnerie. Le rejointoiment sélectif est également conseillé dans le cas des joints minces difficiles à dégarnir ou dont le dégarnissage pourrait endommager les éléments de maçonnerie.

3. Conséquences d'un rejointoiment mal exécuté



Figure 3 La détérioration prématurée de ce joint de mortier est probablement la conséquence de l'action du gel et d'une mauvaise cure.

Parce qu'il est plus facile à réparer ou à remplacer que les éléments de maçonnerie, le mortier de rejointoiment doit être conçu comme l'élément « sacrificiel » de l'ensemble. Il doit être aussi durable que possible, mais il ne doit en aucun cas endommager le mortier d'assise, ni les éléments de maçonnerie. La durée de vie utile du mortier de rejointoiment dépend considérablement de sa composition et de la rudesse des conditions climatiques locales sur la façade (Fig. 3). Parce qu'il joue également un rôle dans l'étanchéité à l'eau des maçonneries, toute réduction de durée de vie du mortier de rejointoiment entraînera nécessairement une réduction de la durée de vie utile des maçonneries (Fig. 4).

Les mauvaises pratiques de rejointoiment sont autant de risques pour les maçonneries anciennes. Des risques dont le plus grave consisterait à endommager de manière permanente les éléments de maçonnerie (érosion, effritement, etc.) d'un patrimoine à préserver. Ces dommages permanents peuvent être la conséquence d'un dégarnissage des joints par outils électriques, de l'utilisation d'un mortier de rejointoiment trop dur (de résistance à la compression élevée) ou encore de l'action du gel sur les joints saturés d'eau (érosion des éléments faibles et perméables des maçonneries).

Parce qu'il est plus facile à réparer ou à remplacer que les éléments de maçonnerie, le mortier de rejointoiment doit être conçu comme l'élément « sacrificiel » de l'ensemble. Il doit être aussi durable que possible, mais il ne doit en aucun cas endommager le mortier d'assise,

Parce qu'il peut être une opération coûteuse, longue et gênante pour les occupants du bâtiment, le rejointoiment doit durer plusieurs décennies et ne pas se « sacrifier » trop rapidement. Sous les climats canadiens, la défaillance prématurée des mortiers de rejointoiment tendres semble provenir de leur faible résistance aux cycles gel-dégel, elle-même tributaire du choix, de la mise en œuvre et de la cure du mortier et de la gestion de l'eau sur les façades des ouvrages.

4. Évaluations avant conception

L'équipe de conception doit évaluer l'état du bâtiment à conserver afin de dégager toutes les informations qui lui permettront de hiérarchiser la portée et la nature de l'entretien, des réparations et des modifications nécessaires. Outre cette évaluation, qui doit comprendre une étude exhaustive de la composition et de l'état des éléments de maçonnerie et autres systèmes en interaction avec le bâtiment (toiture, systèmes CVC, fenêtres, structure, etc.), l'équipe devra élaborer une perspective historique des modifications apportées au bâtiment et des éléments qui se sont détériorés prématurément et pourquoi, ainsi que des détails des travaux de réparation effectués au fil des ans. Le concepteur devra déterminer les causes de la détérioration des matériaux (par exemple, début d'efflorescence après la mise en œuvre de l'équipement d'humidification sur les systèmes CVC) et faire effectuer tous les travaux de réparation nécessaires avant le rejointoiment.

Le concepteur doit également évaluer le type et la rudesse des intempéries subies par les différents éléments de l'ouvrage afin de choisir le mortier et la méthode de rejointoiment appropriés et de minimiser le poids des charges hygrométriques sur la maçonnerie (Maurenbrecher, 1998²). Il est reconnu que les cheminées sont généralement plus exposées aux charges extrêmes de la pluie poussée par le vent que les murs extérieurs abrités par un grand porte-à-faux, alors que les appuis de fenêtre et les projections horizontales sont plus souvent soumis à un mouillage localisé causé par la neige fondante. La réduction des charges hygrométriques sur les maçonneries permettra au concepteur de prolonger leur durée de vie utile. Un programme limité de surveillance visuelle in situ d'une église aux prises avec un problème de détérioration des joints de mortier de ses contreforts a indiqué qu'un éventail de mortiers semblait performer adéquatement après qu'une stratégie de gestion des eaux pluviales et de la neige fondante en provenance de la toiture à forte pente fût mise en place (en l'occurrence, le couronnement des contreforts par un solin métallique).

L'équipe de conception doit enfin évaluer les avantages de retenir les services d'un spécialiste en conservation de maçonneries anciennes. Cela peut s'avérer bénéfique puisque la conservation des maçonneries dites « anciennes » est un domaine d'expertise relativement jeune au Canada et par conséquent il n'est pas donné à tous les concepteurs de maîtriser les principes de conservation, et de posséder les connaissances reliées aux particularités de ce type de maçonnerie. Le spécialiste en conservation pourrait notamment aider l'équipe de conception à répondre aux questions suivantes :

- Authenticité historique : Quel mortier de rejointoiment choisir par rapport au mortier original ? Doit-on ou non utiliser des liants traditionnels ? Comment déterminer les propriétés et la composition du mortier de rejointoiment à remplacer ?



Figure 4 Le mortier de rejointoiment dense et dur a été poussé vers l'extérieur par les dommages du gel infligés au mortier d'assise. Le mortier de rejointoiment dense réduit considérablement la capacité de séchage du mur et favorise l'accumulation d'humidité dans le mur. La fissuration du joint entre le mortier et la pierre favorise considérablement les infiltrations d'eau. La qualité esthétique des joints est faible.

- Devis pour la sélection du mortier, du maçon et de la mise en œuvre du mortier, pour le contrôle de la qualité et la cure du mortier : bon nombre de matériaux et de techniques de production et d'application des mortiers traditionnels se sont perdus et des méthodes de remplacement doivent être mises de l'avant et réappries. L'expérience acquise dans des projets semblables peut s'avérer très profitable, puisque le rejointoiement des maçonneries anciennes n'est pas encore très documenté au Canada.
- Méthodes d'essai en laboratoire et au chantier : il n'existe actuellement aucun consensus concernant un protocole d'essai qui permettrait d'évaluer des matériaux utilisés pour conserver les maçonneries anciennes.

5. L'intention de la conception

La conception d'un mortier de rejointoiement pour maçonneries anciennes doit viser leur durabilité et la conservation de leur authenticité historique. À cette fin, le concepteur doit :

- S'assurer que le mortier conçu offre une résistance à la compression inférieure à celle des éléments de maçonnerie et, si possible, égale ou inférieure à celle du mortier d'assise (le mortier de rejointoiement doit être l'élément « sacrificiel »).
- Minimiser la formation de fissures aux interfaces du mortier de rejointoiement, des éléments de maçonnerie et du mortier d'assise.
- Favoriser le séchage de l'ensemble.
- Respecter la coloration et la texture du mortier en place ou le mortier original.
- Créer un équilibre favorable entre le « sacrifice » du mortier de rejointoiement et la durée de vie utile des maçonneries rejointoyées.

6. Principales propriétés d'un mortier de rejointoiement efficace

Le domaine de la conservation des maçonneries anciennes est relativement jeune au Canada, et toute recommandation sur les propriétés d'un mortier de rejointoiement pour maçonneries anciennes ne peut être, par conséquent, que de nature qualitative. Les lignes directrices proposées ici gagneront à être étoffées par de futures recherches et études sur le terrain. Le concepteur devrait opter pour un mortier ayant les caractéristiques suivantes :

- Une résistance à la compression inférieure à celle des éléments de maçonnerie existants et, si possible, égale ou inférieure à celle du mortier d'assise. Si le mortier de rejointoiement est trop résistant, la concentration des contraintes risque de provoquer l'effritement des éléments de maçonnerie.

La résistance du mortier ne doit pas dépasser les exigences structurales et de durabilité requises pour la maçonnerie. L'appréciation intuitive qui consiste généralement à croire que « ce qui est plus fort est meilleur » risque d'endommager les maçonneries ou de réduire la durée de vie utile du mortier. Dans le cas d'un mortier trop résistant, par exemple, la concentration des contraintes pourrait provoquer l'effritement des éléments de maçonnerie. Les spécifications sur la résistance à la compression devraient préciser une valeur minimale et une valeur maximale. Le mortier de faible résistance tend à être « mou » ou plus souple, et peut ainsi répondre à de faibles mouvements différentiels sans se fissurer. Les fissures favorisent les infiltrations d'eau dans les maçonneries et peuvent laisser les cycles gel-dégel endommager les maçonneries pendant les périodes froides. Dans un contexte de durabilité et de réversibilité des interventions, il est à noter que les mortiers de faible résistance seront plus faciles à dégarnir lors des travaux d'entretien ou de réparation. La norme actuelle CSA A179-04, Mortier et coulis pour la maçonnerie en éléments, porte sur les mortiers pour maçonneries modernes, mais l'annexe A discute brièvement des mortiers pour maçonneries anciennes (CSA 2004³).

Plus que tout autre élément de maçonnerie, le mortier de rejointoiement doit pouvoir absorber les contraintes exercées sur la maçonnerie (dilatation thermique, tassement différentiel, efforts exercés par le

vent, etc.) et subir, dans le cas d'une contrainte excessive, les dommages éventuels, d'où son caractère « sacrificiel ».

- Des taux d'absorption d'eau et de transmission de la vapeur d'eau équivalents ou supérieurs à ceux du mortier d'assise et des éléments de maçonnerie. En règle générale, les mortiers à base de chaux sont plus perméables à la vapeur d'eau que les mortiers à base de ciment.

Les mortiers plus perméables favorisent l'assèchement de l'ensemble, ce qui permet d'éviter une accumulation de l'humidité dans les maçonneries (notamment les maçonneries d'éléments denses). Si jamais des sels sont présents dans la maçonnerie, ceux-ci auront tendance à migrer à travers le mortier au lieu des éléments de maçonnerie. La perméance à la vapeur d'eau des mortiers diminue avec l'augmentation de l'hydraulicité du liant. Les mortiers purement à base de chaux sont les plus perméables à la vapeur d'eau, alors que les mortiers purement à base de ciment sont les plus imperméables. Les mortiers à forte perméance à la vapeur d'eau offre un trajet de faible résistance favorisant l'évaporation de l'humidité vers l'extérieur.

- Un faible retrait pour minimiser la formation de fissures et offrir par conséquent un bon contrôle des infiltrations d'eau.

Le retrait minimal des mortiers de rejointoiement (Knöfel and Huesmann 1993⁴ recommandent un retrait maximal de 1 mm/m) réduit le risque des microfissures à l'interface des éléments de maçonnerie et du mortier. Ces microfissures constituent des passages capillaires dont profite l'eau pour s'infiltrer et augmentent le risque de dommages causés par les cycles gel-dégel. Utiliser un sable propre, bien calibré, sans fines d'argile (conforme à la norme CSA A179), un mortier de faible rapport eau/liant et prévoir des conditions de cure qui minimisent l'évaporation du mortier dans les premiers jours de sa mise en œuvre. Les grains de sable anguleux permettent également de bien contrôler le retrait, car ils s'agglomèrent mieux que les grains arrondis, mais les mortiers à base de sable anguleux sont relativement plus difficiles à manier.

Le rapport ciment/chaux influe également sur le retrait du mortier : les mortiers à forte teneur en ciment (mortiers modernes) ont tendance à rétrécir davantage. Les mortiers à forte teneur en chaux, plus mous et plus souples, se déforment plutôt que de fissurer lorsque les maçonneries subissent des mouvements différentiels. La chaux possède par ailleurs un pouvoir « d'auto-guérison » qui lui permet de « colmater » des microfissures quand elle se dissout dans l'eau de pluie.

- Une adhérence entre le mortier, les éléments de maçonnerie et le mortier d'assise (liaisonnement continu, mais pas nécessairement très fort).

L'adhérence entre le mortier de rejointoiement et ses substrats dépend de la qualité du dégarnissage du mortier détérioré et du compactage et de la cure du mortier frais. Les mortiers de bonne adhérence et à faible retrait réduisent le risque de microfissuration à l'interface des éléments de maçonnerie et du mortier. C'est à cette interface et dans les joints mal remplis que l'eau aura surtout tendance à s'infiltrer dans les maçonneries. Les résistances d'adhérence en flexion minimales recommandées sont de 0,2 MPa (CSA 2004) et de 0,3 MPa (pour le grès de Nepean; Suter *et al.*, 1998⁵).

- Une résistance à l'action gel-dégel. La résistance au gel des mortiers est généralement améliorée par l'ajout d'entraîneurs d'air.

La plupart des régions canadiennes sont soumises à une importante action des cycles gel-dégel (fluctuations de la température au-dessus et au-dessous du point de congélation). Le concepteur doit accorder une attention particulière à la résistance au gel, afin d'allonger la durée de vie utile des mortiers de rejointoiement et de ne pas courir le risque de leur effritement, érosion ou fissuration prématurés. En règle générale, les cheminées, les parapets, les murs autoporteurs, les appuis de fenêtre, les escaliers extérieurs et les maçonneries situées au niveau ou en dessous du sous-sol sont les éléments architecturaux les plus exposés à un mouillage important. L'allongement de la durée de vie utile du mortier de

rejointoiement et de ces éléments de maçonnerie exige un mortier de rejointoiement doté d'une bonne résistance aux cycles gel-dégel et des détails de construction qui permettent d'éviter leur saturation en eau. Les éléments qui influent sur la résistance aux cycles gel-dégel et permettent de minimiser la fissuration du mortier de rejointoiement et des éléments de maçonnerie sont les entraîneurs d'air, la granulation et la forme du sable et les conditions de cure du mortier. Des essais en laboratoire sur de petits échantillons de maçonnerie peuvent dégager des données comparatives utiles concernant la résistance du mortier aux cycles gel-dégel (voir la Section 7).

- Une résistance aux sels (comme les sulfates, par ex.) si nécessaire. Les ciments Portland résistants aux sulfates réduisent ce risque.

Les mortiers destinés à un ensemble de maçonnerie à teneur élevée en sels, comme les sulfates ou les chlorures, devraient être évalués avant leur mise en œuvre. Un problème courant est la migration des sels de déglacage dans les maçonneries adjacentes aux routes et aux chaussées. Un entretien plus fréquent de ces ensembles de maçonnerie sera nécessaire si les sels de déglacage sont utilisés à leur proximité.

- Une compatibilité des propriétés de dilatation thermique et hygrométrique à celles de la maçonnerie.

Cette compatibilité se traduira par un mouvement différentiel plus faible entre les deux matériaux et subséquemment par un risque de concentration de contraintes et de formation de fissures plus faible.

- Une texture et une coloration compatibles avec celles du mortier à remplacer ou d'un mortier précédent, pour préserver l'authenticité historique et l'esthétique.

Le sable est non seulement le principal ingrédient d'un mortier, mais il constitue également l'élément qui lui donne l'essentiel de sa coloration et de sa texture. Quand le sable disponible ne convient pas à la coloration recherchée, on recourt parfois à des pigments pour obtenir la coloration souhaitée. Ces pigments devraient être des oxydes inorganiques dont la teneur ne devraient pas dépasser 10 pour cent de pigments par poids de liant sec, afin de ne pas altérer sensiblement les propriétés du mortier.

- Une facilité de mise en œuvre, afin d'encourager la qualité de l'exécution.

Les mortiers de faible résistance pardonnent moins les erreurs d'exécution que les mortiers des maçonneries modernes. Les mortiers de rejointoiement ont une plus faible teneur en eau que les mortiers d'assise. Cette propriété réduit le risque de tacher les éléments de maçonnerie adjacents aux joints de mortier et de préserver l'esthétique des ouvrages restaurés. Pour le rejointoiement des maçonneries anciennes, nous recommandons de faire appel uniquement à des entrepreneurs et des maçons qualifiés et expérimentés dans la conservation de ce type d'ouvrages.

7. Conception d'un mortier de rejointoiement

Le choix du mortier de rejointoiement doit tenir compte de la rudesse des conditions climatiques, de la résistance des éléments de maçonnerie, de la compatibilité du mortier d'assise et des éléments de maçonnerie, des conditions de mise en œuvre et de cure du mortier et des principes de la conservation des maçonneries anciennes. Il n'existe pas de mortier qui convienne à tous les types de maçonnerie et à tous les climats canadiens. Selon les besoins sur le terrain, les caractéristiques des maçonneries et des charges environnementales, il est parfois nécessaire d'utiliser plusieurs mortiers pour un même projet.

Types de liants

- *Liants aériens* (chaux en pâte et chaux hydratée, par ex.). Durcissent au contact de l'acide carbonique dérivé du dioxyde de carbone et de l'humidité de l'air – un processus très lent de prise de la chaux aérienne appelé « carbonatation ».
- *Liants mixtes* (chaux hydraulique et chaux contenant de la pouzzolane, par ex.). Durcissent au contact du dioxyde de carbone ou de l'eau.
- *Liants hydrauliques* (ciment de Portland, par ex.). Durcissent au contact de l'eau.

Dans certains cas, par exemple, on utilisera trois types mortiers : un premier mortier pour la base de l'ouvrage (jusqu'à 1 m), un second pour les murs (au-dessus de 1 m) et un troisième pour les parties exposées de l'ouvrage (appuis, projections horizontales, etc.).

Les mortiers sont généralement décrits par les unités de volume de leurs principaux constituants. Un mortier 1:2:9, par exemple, est un mortier qui contient une unité de volume de ciment, 2 unités de chaux et 9 unités de sable. Les types de mortier sont définis par leur liant, comme suit : mortier à base de chaux (non-hydraulique), mortier à base de chaux hydraulique et mortier à base de ciment et de chaux.

L'équipe de conception doit, selon les besoins et les contraintes du projet, choisir le type de mortier, établir les rapports liant/sable et définir les caractéristiques des matériaux (sable, chaux, ciment, etc.) et des adjuvants (entraîneurs d'air, etc.) qui le composent. Elle devra également choisir si le type de mortier sera prémélangé (si disponible), auquel il suffit d'ajouter de l'eau, ou doser au chantier.

Les sections qui suivent décrivent les différents types de mortier, leur utilisation et leurs limites.

Mortier à base de chaux non hydraulique

Le mortier à base de chaux non hydraulique est un mortier de chaux et de sable, dont le mélange est généralement 1:2-3 (en volume). Jusque vers la fin du XIX^e siècle, la chaux en pâte (pâte de chaux faite de chaux vive) était le liant le plus commun des mortiers. Aujourd'hui, la chaux est également disponible sous forme de poudre appelée « chaux hydratée ». Les mortiers de type S ou SA (avec entraîneur d'air) sont spécialement recommandés pour le rejointoiement, mais la chaux en pâte (directement élaborée à partir de chaux vive ou à partir de chaux hydratée mélangée à de l'eau) permet de produire un mortier plus maniable et particulièrement adapté à la conservation des maçonneries anciennes.

Le mortier à base de chaux est recommandé pour le rejointoiement de maçonneries anciennes épaisses dont le mortier à base de chaux a fait montre d'une bonne performance et d'une durée de vie utile satisfaisante, et pour le rejointoiement d'éléments de maçonnerie à l'abri des risques de saturation d'eau et du gel. La chaux est un liant qui durcit à l'air et, comme tel, elle durcit très lentement. Pour optimiser la performance d'un mortier, il est nécessaire de contrôler sa cure initiale et de le protéger des intempéries telles que la neige fondante et la pluie. Le mortier à base de chaux doit être mis en œuvre avant l'arrivée du temps froid, en raison de sa très faible résistance au gel initiale. En attendant qu'une meilleure connaissance de sa performance dans nos climats canadiens soit disponible, sa mise en œuvre à l'extérieur doit être laissée aux spécialistes de la conservation, bien qu'il soit, en principe, facile à utiliser.

Chaux hydratée et chaux en pâte

La chaux est obtenue en chauffant de la pierre calcaire (CaCO_3) à 900 °C. La chaux vive (CaO) est obtenue en sortie du four, après dégagement du dioxyde de carbone. Au Canada et aux États-Unis, la chaux utilisée dans les mortiers provient en grande partie de calcaire dolomitique contenant du carbonate de calcium et du magnésium. La chaux vive est éteinte avec de l'eau pour produire l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 que l'on utilise dans les mortiers. La chaux vive éteinte avec un excès d'eau donne la chaux en pâte et, avec une juste quantité d'eau, la chaux hydratée, une poudre sèche.

Pour accélérer le gain en résistance du mortier à base de chaux, on peut lui ajouter un adjuvant appelé « pouzzolane » (les cendres volcaniques constituent une pouzzolane traditionnelle). La pouzzolane confère à la pâte de liant des propriétés hydrauliques. Les mortiers à base de pouzzolane ne sont pas recommandés pour le rejointoiement, parce qu'ils ne garantissent pas toujours que la lente réaction hydraulique entre la chaux et la pouzzolane se produise avant la carbonatation de la chaux (le séchage du joint de mortier stoppe la réaction hydraulique).

Mortier à base de chaux hydraulique

Comme son nom l'indique, le mortier à base de chaux hydraulique possède des propriétés hydrauliques que lui confèrent les impuretés d'argile contenues dans la chaux qui a servi à le produire. La chaux hydraulique peut être faiblement, modérément ou éminemment hydraulique (la nouvelle norme européenne EN459⁶ classe ces différentes chaux selon la résistance, par ex., NHL2, 3,5 ou 5). Le mortier à base de chaux hydraulique durcit plus rapidement que le mortier à base de chaux et de sable, mais il durcit, en règle générale, beaucoup plus lentement que le mortier à base de ciment Portland.

Chaux hydraulique

Vers la fin des années 1700, la calcination d'un calcaire contenant des impuretés d'argile à de très hautes températures (jusqu'à 1200 °C) a permis de produire la chaux hydraulique, un liant aux nombreuses propriétés hydrauliques.

La performance du mortier à base de chaux hydraulique sous les climats canadiens est très peu documentée. Les rares immeubles historiques rejointoyés avec ce type de mortier et les essais en laboratoire du CNRC ont démontré sa relative efficacité et sa bonne résistance au gel, lorsque sa mise en œuvre était soigneusement programmée et contrôlée. Les essais comparatifs ont toutefois démontré que les propriétés des mortiers à base de chaux hydraulique variaient sensiblement selon leurs fabricants. La mise en œuvre du mortier à base de chaux hydraulique, relativement limitée par les conditions climatiques (en raison de la lenteur de son durcissement), exige une attention particulière, une cure plus longue et un strict contrôle de la qualité. Ces considérations supplémentaires grossissent souvent le coût des travaux de construction. Consulter un spécialiste en conservation de maçonneries anciennes ayant une expérience des mortiers à base de chaux hydraulique est recommandé pour prévenir les problèmes de performance critiques que soulèverait leur conception, leur mise en œuvre et leur cure.

Mortier à base de ciment et de chaux

Les ciments Portland et autres ciments modernes sont des liants hydrauliques. Ils contiennent des composants hydrauliques qui réagissent plus rapidement que les composants de la chaux hydraulique, assurent au mortier un durcissement plus rapide et permettent par conséquent de construire plus rapidement. Le ciment Portland contient également une petite quantité de gypse qui retarde sa prise. Aujourd'hui, de nombreux mortiers de rejointoiement sont constitués de ciment Portland blanc ou gris et d'un volume égal ou supérieur de chaux (mortiers de 1:1:6 à 1:3:12, par ex.). La chaux contribue essentiellement à la maniabilité du mortier, alors que le ciment Portland assure au mortier résistance et rapidité de prise. Les propriétés du mortier à base de ciment Portland et de chaux dépendent des proportions de ses constituants. Les mortiers riches en ciment Portland exhibent une plus grande résistance à la compression, un retrait plus important et une plus faible perméance à la vapeur d'eau que les mortiers riches en chaux. Il faut s'assurer que le mortier à base de ciment et de chaux ne présente pas une résistance à la compression supérieure à celle des maçonneries à conserver. Pour le rejointoiement, un mortier à base de ciment et de chaux riche en chaux (mortier de type O - Norme CSA A179-04, Annexe A, par ex.) est plus compatible avec les ensembles de maçonneries anciennes.

Le ciment Portland est fait à partir d'un mélange de matériaux argileux et de chaux calcinés à une température d'environ 1450 °C, température à laquelle les matériaux sont agglomérés, fondus, broyés puis cuits. Pour retarder la prise du ciment, on y ajoute du gypse. Le ciment Portland a été breveté en Grande-Bretagne en 1824, mais ce n'est qu'en 1845 que le précurseur du ciment Portland moderne a été créé, toujours en Grande-Bretagne. Aux États-Unis, la fabrication du ciment Portland a commencé dans les années 1870; au Canada, elle a vu le jour dans les années 1890.

Pour un même mélange de mortier les résistances à la compression minimales attendues des mortiers d'assise typiques (norme CSA A179-04) représentent une sous-estimation des résistances des mortiers de rejointoiement, parce que ces derniers ont une teneur en eau initiale plus faible que les mortiers d'assise. Cette faible teneur en eau initiale contribue au développement d'une résistance à la compression finale relativement plus élevée.

Le ciment Portland et les autres ciments modernes font aussi partie des mortiers de maçonnerie et des mortiers de ciment qui sont des liants prémélangés contenant des entraîneurs d'air et autres adjuvants destinés à améliorer la maniabilité, le temps de prise, la rétention d'eau et la durabilité des mortiers. Le concepteur doit s'assurer que la limite supérieure de la résistance à la compression des mortiers fabriqués avec ces ciments n'est pas excessive. Les praticiens de la conservation ont souvent opté pour le mortier à base de ciment Portland et de chaux, parce qu'ils en connaissent les constituants et qu'ils peuvent en ajuster les proportions pour en contrôler la résistance à la compression.

Mortier prémélangé

Le concepteur peut choisir d'utiliser un mortier prémélangé, commercialisé ou dosé et fabriqué sur mesure, auquel il suffira d'ajouter de l'eau. Au Canada, la plupart de ces mortiers contiennent un entraîneur d'air qui améliore leur résistance aux cycles gel-dégel. Les mortiers prémélangés permettent un meilleur contrôle in situ de leur homogénéité, mais ils présentent parfois une résistance réelle bien supérieure à la résistance minimale déclarée, parce que leurs fabricants y ajoutent une dose supplémentaire de liant pour être sûr que la résistance sera réellement obtenue. Le concepteur doit s'assurer que la résistance réelle du mortier de rejointoiement prémélangé n'est pas excessive.

Le tableau 1 présente une compilation des proportions typiques d'un mortier et la fourchette correspondante attendue des résistances à la compression. Consulter la Section 8 et les méthodes d'essai en laboratoire, pour la caractérisation de la résistance à la compression.

Tableau 1 Mortiers de rejointoiement (proportions en volume)

Type de mortier		Liant				Sable**	Résistance du cube*** (MPa)
		Ciment Portland	Mortier de ciment ou mortier de maçonnerie	Chaux hydraulique (NHL 2, 3,5 et 5)	Chaux hydratée ou chaux en pâte*		
À base de ciment Portland et de chaux	Type N	1			1	5-6	7-15
	Type O	1			2	8-9	3-9
	Type K	1			3	10-12	2-8
À base de ciment	Type N		1			2-3	7-15
À base de chaux	Chaux hydraulique			1		2-3	1-10
	Chaux				1	2-3	0,5-2

Notes:

* La densité de la poudre de chaux hydratée diffère parfois d'un fabricant à l'autre et la chaux en pâte contient beaucoup plus de chaux que le même volume de chaux hydratée. Pour cette raison le volume de chaux devrait être ajusté en conséquence.

** La norme canadienne sur les mortiers (CSA A179) suppose que les mortiers mélangés conformément aux proportions spécifiées seront composés de sable humide. Les mortiers ainsi produits sont parfois trop résistants (le sable humide occupant plus de volume, sa proportion pourrait être amoindrie). Il est préférable de déterminer la résistance du mortier avant le début des travaux.

Le rapport sable/pâte de liant optimal se situe généralement entre 2 et 3 (la norme CSA A179 recommande 2¼ à 3 pour les mortiers à base de ciment). Le rapport sable/liant dépend essentiellement de la gradation et de la forme du sable (influent sur le volume du vide entre les grains de sable). Pour un sable bien calibré, ce volume du vide est d'environ 30 %, ce qui explique le rapport sable/liant de 3 généralement utilisé. La pâte de liant devrait combler les vides.

*** Dans l'attente de meilleures données, les fourchettes de résistance à la compression présentées ici doivent être considérées comme de simples indications des résistances de cubes de mortier de rejointoiement de 50 mm (dont la consistance pourra être évaluée par le cône de Vicat; voir section 11). L'âge d'essai des mortiers de type N et O était de 28 jours (testés humides) et de 60 à 90 jours pour les autres mortiers de la liste (testés secs à l'air). Le test du cube de mortier est un *test de contrôle de la qualité*. La résistance du cube n'est pas directement représentative de la résistance du mortier d'un joint de maçonnerie.

Adjuvants

Les adjuvants peuvent améliorer un aspect de la performance des mortiers (adhérence, maniabilité, résistance au gel, coloration, etc.). Le concepteur doit évaluer leur effet sur le mortier avant leur incorporation. En conservation de maçonneries anciennes, les adjuvants sont généralement déconseillés car, s'ils améliorent certaines propriétés, ils peuvent en dégrader d'autres. Les adjuvants posent également un problème de contrôle de la qualité lorsqu'ils sont ajoutés au mortier au chantier (les changements mineurs dans le dosage ont parfois de lourdes conséquences). Pour éviter les erreurs au chantier, il est conseillé de prémélanger les adjuvants avec l'un des constituants du mortier (aux liants ou aux mortiers prémélangés, par ex.). Les entraîneurs d'air ajoutés au chantier doivent être liquides et idéalement dissous dans de l'eau). L'entraînement de l'air améliore la résistance au gel et la maniabilité des mortiers. Les entraîneurs d'air ne donnent pas de bons résultats avec des mortiers de rejointoiement très secs. La fourchette d'entraînement de l'air recommandée est de 10 à 16 pour cent.

8. Essais

Dans le cadre de projets de conservation importants et complexes, des essais avant la construction peuvent aider le concepteur à déterminer le mortier de rejointoiement approprié. Des essais plus élaborés exigent cependant beaucoup de temps et de planification pour obtenir des résultats utiles pour le projet. Un spécialiste en conservation de maçonneries anciennes expérimenté devrait faire partie de l'équipe avant de les entreprendre.

L'analyse des échantillons de mortier de rejointoiement à remplacer permet de fournir des renseignements utiles sur les liants et le type et la gradation des granulats, mais elle ne permet pas de déterminer la composition exacte des matériaux à remplacer. La caractérisation des propriétés physiques du mortier existant peut se faire sur des échantillons de mortier suffisamment grands. Les résultats des essais de résistance à la compression, d'absorption d'eau et/ou de transmission de vapeur d'eau peuvent en effet fournir au concepteur un point de référence dans son choix du mortier de rejointoiement approprié. De même, la gradation du mortier original lui permettra de choisir le sable qui entrera dans le mortier de rejointoiement.

Pour caractériser les mortiers, le concepteur peut recourir aux essais habituels suivants :

- L'analyse pétrographique, pour dégager des données sur le type, la taille et les caractéristiques du sable et du liant.
- L'analyse de la gradation du sable et de la résistance à la compression du mortier, conformément à la nouvelle édition de la norme canadienne sur les mortiers (CSA A179-04). Les mortiers à base de chaux peuvent être soumis aux mêmes conditions de cure que le mortier de type K (voir le tableau A3 de la norme). Les mortiers de type K et les mortiers à base de chaux devraient être testés à 60 ou 90 jours, plutôt qu'à 28 jours, en raison de la lenteur de leur prise de résistance (leur résistance peut augmenter considérablement pendant deux ans ou plus jusqu'à carbonatation totale de la chaux).
- Les essais d'adhérence en flexion, pour établir l'adhérence entre les éléments de maçonnerie et le mortier (CSA A179, ASTM C1357⁷).
- Les essais de durabilité au gel, pour dégager des données comparatives sur la résistance au gel de plusieurs mortiers. Des échantillons d'ensembles de maçonnerie à échelle réduite (appelés



Figure 5 Essai sur prismes de maçonnerie dans le caisson d'essai des cycles gel-dégel de l'IRC-CNRC. Le caisson utilise une méthode d'essai de cycles unidirectionnels adaptée aux climats canadiens¹.

« prismes ») peuvent être soumis à des cycles gel-dégel unidirectionnels dans le caisson d'essai de l'IRC-CNRC (Fig. 5).

- L'analyse des contaminants du mortier existant (en cas de soupçon sur la nature de ses constituants), par microscope électronique à balayage ou diffractomètre X.

Partie 2 Considérations au chantier

Moins résistants, les mortiers de rejointoiment recommandés pour les maçonneries anciennes assurent aux éléments de maçonnerie une durée de vie plus longue que les mortiers modernes. La réussite de leur exécution exige toutefois une attention particulière à la programmation des travaux de rejointoiment, à la qualification des ouvriers, à la préparation des joints de mortier et au malaxage, à la mise en œuvre et à la cure du mortier. Les exigences pour ces activités devront toutes être précisées dans les spécifications.

9. Considérations pré-mise en œuvre

Programmation des travaux. Le rejointoiment des maçonneries anciennes doit tenir compte des conditions saisonnières, parce que les mortiers à faible résistance sont sensibles aux conditions climatiques extrêmes pendant leur mise en œuvre et leur cure (le séchage accéléré du mortier par la chaleur et le gel par exemple, nuiront à sa durabilité). Sous les climats nordiques, la période de mise en œuvre des mortiers pour maçonneries anciennes peut être très courte.

Dans sa programmation des travaux de rejointoiment, le concepteur doit prendre en compte les désagréments occasionnés au fonctionnement de l'édifice par l'installation prolongée d'échafaudages (Fig. 6) ainsi que le bruit et la poussière générés par le dégarnissage des joints.

Choix d'entrepreneurs qualifiés. La réussite du rejointoiment des maçonneries anciennes repose également sur le choix d'entrepreneurs qualifiés et expérimentés. L'agrément de l'entreprise de maçonnerie par un organisme reconnu constitue une première assurance de la formation des ouvriers qui exécutent les travaux. Les travaux de conservation d'immeubles historiques devraient être confiés à des maçons qualifiés avec un minimum de cinq d'expérience ou encadrés par un maçon ayant une expérience semblable (Fig. 7). Des formations en conservation de maçonneries anciennes sont offertes au Canadaⁱⁱ, et les fabricants de mortiers de rejointoiment pour maçonneries anciennes initient volontiers les personnes intéressées à leurs produits.

Essais de référence. Des travaux de rejointoiment sont faits sur des petites sections représentatives moins visibles de la maçonnerie. Ces sections serviront de référence permettant d'établir une norme de travail acceptable, d'évaluer la qualité des ouvriers et la compatibilité de la coloration et la texture du mortier ainsi que les finitions des surfaces des joints sélectionnés pour les travaux.



Figure 6 L'échafaudage doit protéger le mortier de rejointoiment frais de l'ensoleillement direct.

ⁱⁱ Un collège communautaire de l'est de l'Ontario offre un diplôme en conservation de maçonneries anciennes basé sur trois semestres de formation.

10. Préparation des joints

La préparation soignée des joints facilite le compactage du nouveau mortier dans le joint et favorise l'adhérence du mortier frais, aux éléments de maçonnerie et au mortier d'assise. Les pratiques inappropriées, l'utilisation malhabile des outils et le manque de savoir-faire risquent d'endommager les arêtes des éléments de maçonnerie, nuire à leur valeur esthétique et accélérer les dommages causés par les intempéries. Les joints à rejointoyer doivent être découpés proprement à angle droit (Fig. 8). En règle générale, les joints à rejointoyer doivent être dégarnis sur une profondeur égale au double de leur épaisseur (environ 25 mm). Il s'agit ensuite de débarrasser les joints à rejointoyer de tous les matériaux friables. Plus les joints sont profonds, plus il est difficile d'y compacter le mortier frais. Dans le cas des joints de mortier minces, uniquement les parties détériorées devraient être dégarnies, pour éviter d'endommager les éléments de maçonnerie. Évaluer les conséquences de l'importance et de la profondeur du dégarnissage des joints sur la stabilité de la façade à rejointoyer et les contraintes qu'elle subit avant de déterminer la superficie à rejointoyer à la fois. Le mortier des maçonneries anciennes contient parfois des contaminants, comme le plomb. Dans ce cas des mesures particulières s'imposent pour gérer ces contaminants.



Figure 7 Le maçon au travail devrait être qualifié en conservation de maçonneries anciennes.

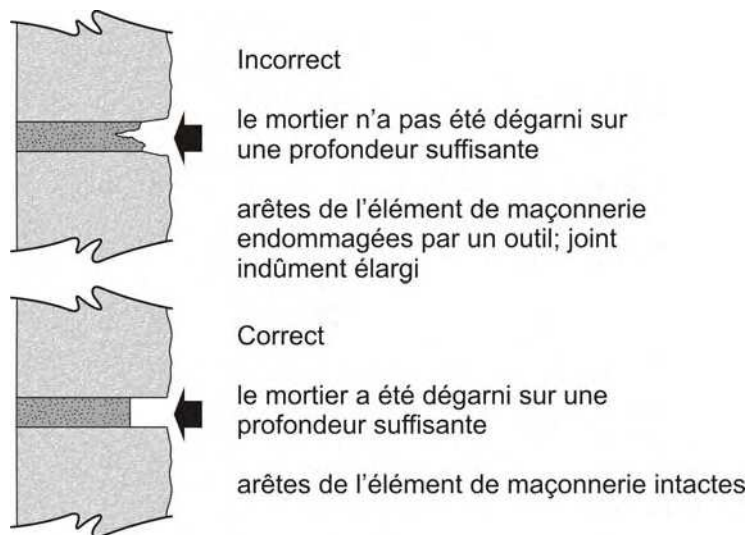


Figure 8 Dégarnissage correct et incorrect des joints avant le rejointoiement.

Les joints à rejointoyer sont traditionnellement dégarnis à l'aide d'outils à main, comme les burins ou les petits burins pneumatiques. Ces outils réduisent le risque d'endommager les éléments de maçonnerie (Fig. 9). Ne pas utiliser de scies ou de meuleuses électriques sur les joints minces ou verticaux, pour ne pas endommager les arêtes des éléments de maçonnerie. Par contre dans le cas de joints *horizontaux* larges et uniformes, une meuleuse électrique peut être utilisée avec beaucoup de précautions, pour briser un mortier dur avant de compléter le dégarnissage du joint à l'aide d'un marteau et d'un burin. De même, il peut être nécessaire d'utiliser une meuleuse pour briser la partie centrale des joints de mortier dur entre des pierres tendres afin

d'en faciliter le dégarnissage. Avant d'accepter une méthode non-manuelle de dégarnissage des joints, il est recommandé de s'assurer que l'ouvrier est compétent pour ce travail, en faisant un essai sur une section de mur. Après le dégarnissage, brosser ou nettoyer les joints à l'air comprimé pour éliminer les

matériaux friables et la poussière, puis rincer les joints au jet d'eau en commençant par le haut de l'ouvrage vers le bas.

11. Malaxage du mortier

Les liants devraient être entreposés à l'abri de l'humidité. Le sable devrait être protégé des contaminants des matériaux au sol et de la pluie. Le dosage (mesure) des constituants du mortier par poids donne des gâchées plus uniformes que le dosage en volume. Le dosage en volume induit d'importantes variations, parce que le niveau de compactage des conteneurs de mesure varie selon les ouvriers. Il reste que la pratique courante au chantier consiste à doser les constituants par volume. Dans ce cas une bonne pratique consiste à utiliser des conteneurs uniformes marqués des volumes nécessaires des différents composants au début des travaux et à confier le dosage et le malaxage à une même personne, pour assurer une homogénéité au mortier (le compactage des constituants sera plus constant d'un mélange à l'autre). Les mortiers prémélangés et emballés auxquels il suffit d'ajouter de l'eau sont une des solutions proposées à la variabilité du dosage au chantier.

Parce que le sable humide peut occuper jusqu'à 30 pour cent de plus de volume que le sable sec (phénomène appelé « foisonnement ») et que la teneur en humidité du sable varie pendant la durée d'un chantier, le dosage en volume risque de produire des mortiers de différentes résistances à la compression. Pour prévenir ce risque, le concepteur du mortier/rédacteur de devis doit revoir et ajuster éventuellement la composition du mortier le premier jour de sa mise en œuvre (et régulièrement, par la suite, en fonction des conditions climatiques, par ex., périodes de fortes pluies ou de chaleur intense), en vérifiant le foisonnement du sable. Il devra également tenir compte de la teneur en humidité, si le sable est dosé par poids.

Le mélange des constituants du mortier doit donner un produit homogène. Le malaxage mécanique est préférable, soit par malaxeur à pales standard ou par broyeur à mortier (le broyeur sert normalement à confectionner les mortiers ayant la chaux en pâte comme principal liant). Pour une petite gâchée, utiliser une perceuse à main munie d'un fouet (comme pour le plâtre) ou encore mélanger vigoureusement à la main - sans toutefois mélanger plus nécessaire pour obtenir un mélange homogène. Le concepteur doit spécifier les procédures de malaxage avant le début des travaux. Ces procédures diffèrent selon le type de liant utilisé (se conformer aux spécifications des fabricants). La chaux en pâte (chaux mélangée à de l'eau) est parfois prémélangée au sable. Le mélange chaux/sable se conserve indéfiniment tant qu'il reste humide. Le ciment Portland peut être ajouté au mélange chaux en pâte/sable juste avant la mise en œuvre. Le mortier purement à base de chaux en pâte peut ne pas nécessiter d'ajout d'eau une fois mélangé au sable, mais il doit être bien travaillé pour obtenir une bonne plasticité. Sa plasticité s'améliore avec le temps de malaxage, mais il faut éviter qu'une quantité d'air excessive ne s'introduise dans le mélange en présence d'un entraîneur d'air. En règle générale, le malaxage recommandé ne doit pas dépasser cinq minutes. Une fois malaxé, le mortier est parfois laissé au repos pendant quelques minutes pour bien humecter ses constituants. Cette procédure est notamment importante si du sable sec a été utilisé (cas des mortiers prémélangés, par ex.). Le mortier peut être brièvement remalaxé, et de l'eau peut être ajoutée après cette période de repos. Pour obtenir un mortier homogène, assigner une seule personne au malaxage.



Figure 9 Dégarnissage des joints de mortier ancien à l'aide d'un maillet et d'un burin.

Le volume d'eau requis par un mortier dépend des conditions climatiques. Ce volume est souvent laissé à l'appréciation du maçon, mais il ne faudrait pas négliger certains points. Le mortier de rejointoiment a moins besoin d'eau que le mortier d'assise. Un mortier sec est plus propre à travailler (il ne tache pas les éléments qui entourent les joints rejointoyés), plus facile à compacter dans le joint et moins propice au retrait pendant la cure. De même, il arrive qu'un mortier de rejointoiment soit trop sec. Or, un mortier excessivement sec peut ne pas activer les entraîneurs d'air qui lui ont été ajoutés pour améliorer sa résistance au gel. Les mortiers trop secs ont, en définitive, un très faible rendement. L'essai du cône de Vicat permet de vérifier très rapidement au chantier la maniabilité d'un mortier (Fig. 10) (ASTM C780⁸). Pour les mortiers de rejointoiment, le cône de Vicat indique généralement des valeurs qui fluctuent dans une fourchette de 15 à 30 mm, selon le type de mortier, le type des éléments de maçonnerie et des conditions de chantier.

Par temps chaud, couvrir le conteneur de mortier d'un chiffon humide pour éviter qu'il sèche. Évaluer sa maniabilité par un essai du cône de Vicat. Remettre les travaux de rejointoiment à une date ultérieure lorsque la température de l'air dépasse 27°C.

12. Mise en œuvre du mortier

Le rejointoiment devrait se faire du sommet de la façade vers le bas, à l'abri du soleil. Adapter l'échafaudage pour abriter l'ouvrage du soleil. Avant de mettre en œuvre le mortier, humecter les joints afin de minimiser la perte d'eau du mortier frais par capillarité dans la maçonnerie. La pré-humectation conserve le joint de mortier humide plus longtemps, favorise sa cure et réduit le risque de tacher les éléments de maçonnerie. Le joint à rejointoyer devrait être humide sans être détrempé. Le niveau d'intervention nécessaire pour pré-humecter dépend de la capacité d'absorption d'eau de la maçonnerie et de la température.

La qualité du compactage du mortier frais dans le joint influe sur son liaisonnement aux substrats (et sur sa résistance aux cycles gel-dégel). Un fer à rejointoyer court permet d'exercer une plus grande pression. Les mortiers à base de chaux et de sable sont habituellement compactés à nouveau lorsqu'ils ont durci. Les joints verticaux sont généralement mis en œuvre avant les joints horizontaux. Pour les joints de moins de 25 mm de profondeur, rejointoyer les couches successivement, sans interruption. Dans le cas d'un rejointoiment profond, rejointoyer la première couche en laissant au joint une surface rugueuse, laisser reposer pendant un jour, remouiller le joint et continuer le rejointoiment. Éviter d'étaler le mortier sur la surface des éléments de maçonnerie. Dans le cas des joints minces, couvrir les éléments de maçonnerie adjacents d'un ruban protecteur pour ne pas les tacher.

Le mortier à base de ciment Portland et de chaux devrait être utilisé dans les 2 heures suivant l'ajout d'eau au mélange quand la température de l'air est inférieure à 25 °C (1½ heure pour des températures plus élevées). Le mortier à base de chaux hydraulique se conserve beaucoup plus longtemps (jusqu'à 24 heures, selon son hydraulicité) et le mortier à base de chaux et de sable se conserve indéfiniment, tant qu'il est humide. Un remalaxage avec de l'eau peut être nécessaire si le mélange est devenu trop sec durant sa vie utile. Un mortier à base de ciment Portland et de chaux ne devrait pas être remélangé avec de l'eau plus d'une fois. Quant aux mortiers contenant un adjuvant colorant, ils ne devraient pas être remélangés avec de l'eau sous peine d'affecter la coloration du mortier.



Figure 10 Le cône de Vicat tombe librement dans un cylindre de mortier et la profondeur de pénétration dans le mortier donne un indice de la consistance du mortier.

La finition (le façonnage) de la surface du joint de mortier influe sur sa résistance à l'eau (Fig. 11). Éviter de faire déborder le mortier sur la surface des éléments de maçonnerie. Les bavures de mortier s'effritent facilement, collectent de l'eau et donnent aux joints une fausse impression d'épaisseur (Fig. 11c). Les finitions typiques vont du joint concave (11a – meilleur compactage et meilleure résistance à l'infiltration de l'eau) au joint en retrait (11b – le moins efficace). Si les éléments de maçonnerie ont des arêtes érodées, encastrer légèrement le mortier. Ajuster la texture du mortier à l'aide d'une brosse en soie dure pour boucharder le mortier une fois sec (dur au toucher). Pour obtenir l'effet esthétique désiré, d'autres finitions et des outils particuliers peuvent être nécessaires.

Une brosse en soie naturelle ou en nylon peut être utilisée pour enlever les bavures de mortier autour du joint, une fois le mortier dur au toucher. Quand le travail est bien exécuté, il n'est pas nécessaire de nettoyer la maçonnerie. La nettoyage de la maçonnerie pourrait entraîner l'évacuation de la chaux contenue dans le mortier et causer des taches sur la maçonnerie.

13. Cure et protection du mortier

Les joints de mortier frais doivent être protégés de la pluie, du vent et du soleil et être maintenus humides pendant trois à sept jours, selon le type de mortier. Éviter que le mortier ne sèche trop vite car cela peut entraîner des fissures de retrait. Les mortiers à base de liants hydrauliques à durcissement lent, comme la chaux hydraulique, devraient être soumis à une cure humide d'au moins sept jours, et les mortiers de ciment Portland et de chaux de type N et O à une cure humide de trois à quatre jours. Pour créer les conditions de la cure humide, installer une toile de jute humide recouverte d'une membrane de plastique sur la maçonnerie et ré-humecter régulièrement la toile de jute avant qu'elle ne sèche. Tenir la toile de jute hors de contact de la maçonnerie pour éviter de tacher le mortier. L'humectation régulière seule de la maçonnerie ne suffit pas, car l'évaporation de l'eau à la surface de la maçonnerie peut se produire très rapidement par temps chaud, sec et venteux. Éviter que l'eau ne s'écoule des joints de mortier pendant la cure humide, sous peine de lessiver la chaux contenue dans le mortier et de tacher le mortier.

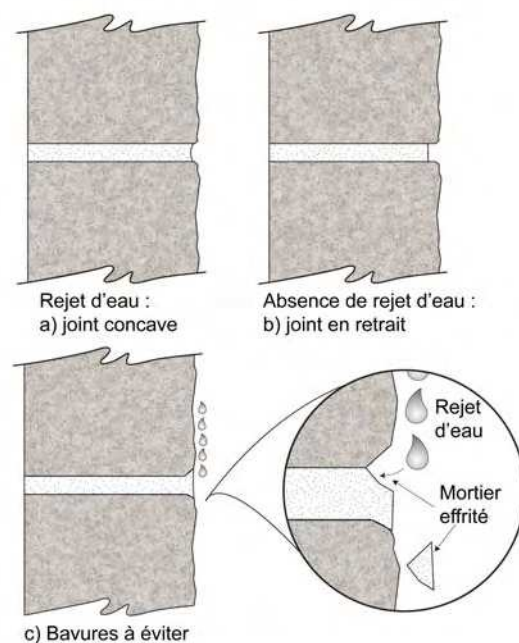


Figure 11 Différents types de façonnage de joints.

Veiller à rejointoyer bien avant ou bien après les périodes de gel. Si le rejointoiement s'est involontairement poursuivi dans la saison froide, protéger du gel le mortier fraîchement placé pendant au moins trois à quatre jours, pour un mortier 1:2:8 (CP:chaux:sable) ou les mortiers plus résistants, et au moins sept jours pour les mortiers moins résistants. Un mortier avec un entraîneur d'air est aussi recommandé. (Maurenbrecher *et al.*, 2005⁹). Pour protéger le mortier du gel, construire un abri à l'extérieur de l'ensemble de maçonnerie où règne une température supérieure à 10 °C et une humidité relative élevée. Quand l'air extérieur est réchauffé, l'air dans l'abri peut devenir très sec ; dans ce cas des mesures particulières d'humidification devraient être prises pour éviter le séchage du mortier. Après la période de cure initiale recommandée, protéger le mortier du gel et des précipitations pendant trois à quatre jours supplémentaires pour lui permettre de sécher partiellement avant son exposition au gel. Les mortiers de faible résistance, comme le mortier à base de chaux non hydraulique, doivent parfois être protégés des précipitations pour éviter qu'ils ne deviennent trop humides. Le concepteur devrait conserver un registre des températures et de l'humidité dans l'abri.

14. Contrôle de la qualité

Le spécialiste en conservation chargé de la supervision des travaux et du contrôle de la qualité doit se rendre sur le chantier plus souvent qu'il ne le fait pour les projets de construction de maçonnerie moderne. La performance des mortiers de faible résistance est tributaire de la qualité de leur mise en œuvre. Une inspection quand les joints sont dégarnis, nettoyés et découpés en angle droit, après un rejointoiment en profondeur (>25 mm) et quand le rejointoiment est complété, contribuent à la qualité des travaux (Fig. 12).



Figure 12 Inspection et discussion des techniques de façonnage du joint pendant l'essai de référence.

Les essais de contrôle de la qualité comprennent la résistance à la compression des cubes de mortier (3 cubes par mélange, ou plus si les résultats obtenus ne sont pas acceptables), le foisonnement du sable, la teneur en air du mortier frais, le rapport liant/sable et la consistance du mortier. Le cône de Vicat est un outil qui permet aux responsables du contrôle de la qualité de vérifier rapidement au chantier la consistance du mortier et de surveiller sa perte d'eau par temps chaud. Les essais avec les cubes de mortier ne peuvent pas servir à des vérifications immédiates, parce qu'une cure de 7 ou 28 jours (pour le mortier à base de ciment Portland) ou de 60 jours ou plus (pour le mortier à base de chaux et le mortier à base de chaux hydraulique) est nécessaire avant de faire les essais. Ces cubes sont surtout utiles aux essais d'avant mise en œuvre. Dans le cadre de projets importants, ces essais peuvent être utilisés comme tests de contrôle de la qualité supplémentaires pour consultations futures. Il semble nécessaire, à cette fin, de documenter les emplacements du mur où le mortier a été mis en œuvre et les cubes de mortier correspondants pour résoudre les problèmes que pourraient soulever les résultats des essais.

15. Entretien

Une fois le rejointoiment terminé, le concepteur devrait fournir au propriétaire de l'ouvrage un manuel d'entretien contenant l'évaluation avant travaux de l'ouvrage, les matériaux et les pratiques utilisés pour la conservation, la recommandation d'une inspection visuelle régulière des signes de sa détérioration (Fig. 13) idéalement sous forme de liste de vérification, un calendrier d'entretien, la composition du mortier pour le futur rejointoiment d'entretien, la date du futur entretien et, en cas d'utilisation de sels comme moyen de déglacage et de déneigement du périmètre de l'ouvrage, la recommandation d'inspections plus fréquentes. De l'espace devrait être laissée pour enregistrer les données à venir durant la vie de service de l'édifice.

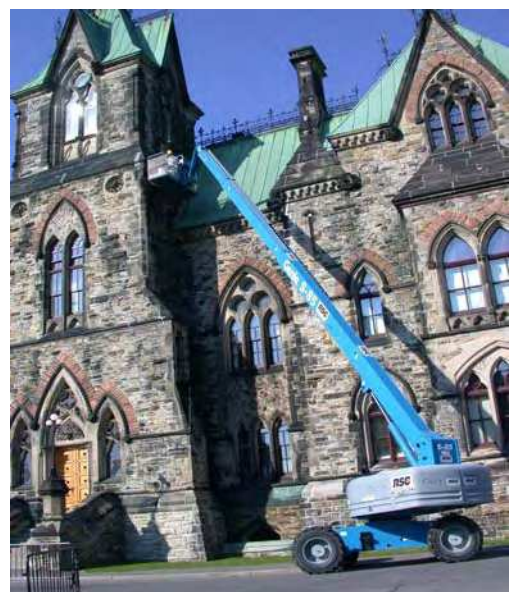


Figure 13 Grue mobile servant à l'inspection périodique de l'état de la maçonnerie.

16. Sommaire

Les considérations sur les mortiers de rejointoiment utilisés dans la conservation des maçonneries anciennes peuvent se résumer ainsi :

- Les maçonneries anciennes se comportent souvent différemment des maçonneries modernes.
- Les problèmes des maçonneries anciennes et des sous-systèmes connexes doivent être évalués et corrigés à la lumière de l'efficacité des stratégies de gestion de l'humidité.
- Les mortiers de rejointoiment devraient être conçus pour être sacrificiels par rapport aux éléments de maçonnerie et au mortier d'assise et avoir une perméance à la vapeur d'eau élevée et une bonne adhérence.
- Un mortier de rejointoiment universel n'existe pas. Le choix du mortier doit être adapté à la maçonnerie et à la rudesse des conditions climatiques.
- Les mortiers traditionnels (les mortiers à base de chaux, par ex.) sont en voie de reprendre une place dans les travaux de conservation. Il s'agit d'évaluer correctement leur capacité pour résister aux charges climatiques, notamment leur résistance aux cycles gel-dégel.
- Les spécialistes en conservation de maçonneries anciennes devraient être consultés pour les grands projets de conservation du patrimoine architectural.
- La conservation d'immeubles historiques devrait être confiée à des entrepreneurs, des maçons et des professionnels qualifiés dans ce domaine.
- Les conditions de chantier, comme la programmation des travaux, la qualification des ouvriers, la préparation des joints, le mélange et la cure du mortier sont des éléments d'une importance majeure dans le rejointoiment des maçonneries anciennes.
- Un excellent contrôle de la qualité du rejointoiment est nécessaire au chantier. Les mortiers de faible résistance pardonnent moins les erreurs d'exécution.
- L'entretien régulier du rejointoiment permet d'allonger la durée de vie utile des maçonneries anciennes.

Le rejointoiment opportun et bien exécuté des maçonneries anciennes contribue à la conservation de leur intégrité visuelle et de leur étanchéité à l'eau. La mise en oeuvre des lignes directrices présentées ici à partir des évaluations d'avant conception, des considérations de conception, des pratiques de chantier jusqu'à l'entretien pendant la durée de vie utile, contribuera à assurer aux maçonneries anciennes une longue performance satisfaisante.

17. Références

1. W C Brown, G A Chown, G F Poirier, M Rousseau. 1997. *Évolution de la conception des murs en vue d'empêcher la pénétration de la pluie*. Solution constructive n° 9. Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada.
2. A.H P Maurenbrecher. 1998. *Comment éloigner l'eau des façades en maçonnerie*. Solution constructive n° 23. Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada.
3. CSA (Association canadienne de normalisation), 2004, Mortier et coulis pour la maçonnerie en éléments, CSA A179-04.
4. Knöfel D & Huesmann M . 1993. "Mörtel zur Fugeninstandsetzung an Historischen Bauwerken" (Mortar for pointing maintenance in historic structures). *Bautenschutz + Bausanierung* 16. pp 30-34.
5. G T Suter, M L Thomson & L Fontaine. 1998. "Mortar Study of Mechanical Properties for the Repointing of the Canadian Parliament Building". *Association of Preservation Technology Bulletin*, Vol 29(2), p 51-58.
6. EN459-2001. Building Lime. Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria. Part 2: Test methods. European standard available from the British Standards Institution.
7. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2002. "Standard Test Methods for Evaluating Masonry Bond Strength." ASTM C1357-02.

8. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. "Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry." ASTM C780-00.
9. AHP Maurenbrecher, K. Trischuk, M. Subercaseaux and G. Suter. 2005. "Cold Weather Protection Requirements for a Low Strength Repointing Mortar", Proceedings 10th Canadian Masonry Symposium, Banff.

18. Lectures complémentaires

L'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) propose des informations complémentaires sur les mortiers de rejointoiement et des liens vers d'autres sites Web sur la question, à l'adresse http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bes/hmpe/masonry/index_f.html. Ci-après, une sélection de documents pratiques supplémentaires sur les mortiers pour maçonneries anciennes.

- de Vekey, Bob. 2005. "Building Masonry with Lime-Based Bedding Mortars", BRE GBG 66, Building Research Establishment, UK, November, 8 p.
- Hughes, J.J. and J. Valek. 2003. "Literature Review – Mortars in Historic Buildings". Historic Scotland.
- Jeffs, P., PJ Materials Consultants Limited. Nd. "Repointing Masonry Walls – Matching the Techniques for Success of Failure." Technical Workshop Restoration, Reconstruction and Maintenance of Masonry Structures, Dalhousie University Continuing Technical Education.
- Mack, Robert C. and John P. Speweik. 1998. "Repointing Mortar Joints in Historic Masonry Buildings". Preservation Brief No. 2. Washington DC: National Park Service, October. <http://www2.cr.nps.gov/tps/briefs/brief02.htm>
- Maurenbrecher, A.H.P. 2004. "Mortars for Repair of Traditional Masonry", Practice Periodical on Structural Design and Construction, ASCE May 2004.
- The Society for the Protection of Ancient Buildings. 2002. "Repointing Stone and Brick Walling". Technical Pamphlet 5. United Kingdom. 17 p. <http://www.spab.org.uk>
- Suter, G. T, C.P. Borgal and K. Blades. 2001. "Overview of Mortars for Canadian Historic Structures". Proceeding of the 9th Canadian Masonry Symposium. Fredericton: University of New Brunswick, <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/mortar/paper9.pdf>

Note : Tous les localisateurs de ressources uniformes étaient confirmés au moment de la publication.