

LE MORTIER DE CHAUX HYDRAULIQUE

Pour ouvrages de pierres, briques et parpaings

Geoffrey Allen
Jim Allen
Nick Elton
Michael Farey
Stafford Holmes
Paul Livesey
Mileva Radonjic

Sommaire

Avant-propos

Préface

1 Introduction

- 1.1 Mortier – fonctions
- 1.2 Mortier – propriétés

2 Matériaux

- 2.1 La chaux naturelle hydraulique (CNH)
- 2.2 L'agrégat
- 2.3 L'eau
- 2.4 Les ajouts

3 Etude du mélange du mortier

- 3.1 Généralités
- 3.2 Diamètre maximum de l'agrégat
- 3.3 Granulométrie de l'agrégat
- 3.4 Le liant
- 3.5 Les pouzzolanes

4 Propriétés du mortier

- 4.1 Généralités
- 4.2 Propriétés plastiques du mortier
- 4.3 Résistance
- 4.4 Perméabilité
- 4.5 Résistance au gel
- 4.6 Résistance aux sulfates
- 4.7 Résistance aux effets combinés du gel et dégel + sulfates
- 4.8 Carbonatation

5 Fabrication

- 5.1 Stockage des matériaux
- 5.2 Dosage
- 5.3 Mélange
- 5.4 Absorption de l'eau par les éléments de maçonnerie
- 5.5 Retravailler les mortiers
- 5.6 Protection

6 Etude de la solidité

- 6.1 Généralités
- 6.2 Solidité du mortier

7 Sélection du mortier pour la durabilité

- 7.1 Généralités
- 7.2 Résistance au vent et à la pluie
- 7.3 Résistance au gel
- 7.4 Résistance aux sulfates
- 7.5 Résistance aux sulfates et aux conditions de gel
- 7.6 Carbonatation

8 Evaluation de la conformité

- 8.1 Généralités
- 8.2 Cahier des charges
- 8.3 Responsabilités
- 8.4 Matériaux
- 8.5 Mélange(s) approuvé(s)
- 8.6 Conditions de fabrication
- 8.7 Tests pour l'évaluation de la conformité

9 Guide de Bonne Pratique de l'Artisan

- 9.1 Conseils généraux pour le mélange et l'utilisation des chaux naturelles hydrauliques

- 9.2 Techniques d'utilisation des mortiers dans la construction de murs et dans le jointoiement
- 9.3 Protection et entretien des mortiers à la chaux
- 9.4 Règles de sécurité lors de l'utilisation de la chaux naturelle hydraulique

Bibliographie

Autres références

Lexique

Appendice A

Procédé pour l'évaluation de la conformité des mortiers élaborés sur le chantier

Appendice B

Ajouts

Appendice C

Microstructure des mortiers

Participants au projet Foresight Lime Project

Les personnes et organisations suivantes ont contribué aux recherches et à l'élaboration de ce guide.

Mr M. Farey, Hydraulic Lias Lime Ltd, responsable de projet
Professeur G. Allen, Interface Analysis Centre, Université de Bristol
Dr J. Allen, Ellis & Moore, Ingénieurs consultants
Dr N. Elton, Université de Bristol (auparavant chez Imery's Minerals Ltd)
Mr S. Holmes, Rodney Melville & Partners, Architectes
Mr P. Livesey, Castle Cement Ltd
Dr M. Radonjic, Interface Analysis Centre, Université de Bristol

Avant-propos

Cette publication est le fruit d'un programme de recherche de trois ans basé à l'Université de Bristol, financé à 50 pour cent par l'Engineering and Physical Science Research Council (EPSRC). Le reste considérable du coût total fut pris en charge par les membres de l'équipe, chacun d'entre eux, à l'exception de moi-même, représentant un énorme panel de compétences et d'expériences au sein de l'industrie du bâtiment britannique et de la communauté scientifique.

L'Interface Analysis Centre de l'Université de Bristol, dirigé par Professeur Geoff Allen, fournit la base de recherche et Dr Mileva Radonjic se chargea de l'utilisation du microscope électronique. Dr Jim Allen, ingénieur consultant chez Ellis & Moore, fut un élément vital en ingénierie pour l'équipe, aidant souvent au début des recherches à orienter le travail sur ce qui était réalisable.

Puis vient Stafford Holmes, architecte et co-auteur de *Building With Lime* (Construire à la Chaux), dont les partenaires tolérants de chez Rodney Melville and Partners ont appris à accepter sa passion. Stafford travailla sans cesse, apportant au site observation et contrôle ainsi que l'accès à son immense banque de données personnelle.

Manifestement, l'élément de l'équipe le moins attendu fut Paul Livesey qui, quel que soit son poste officiel au sein de l'entreprise, n'est autre que le responsable scientifique de Castle Cement. On peut comprendre que durant le projet son directeur à Castle Cement lui ait demandé « Paul, je croyais que nous étions une compagnie de ciment, pas une compagnie de chaux ? » Cette interrogation indique clairement la quantité de travail que Paul et le personnel de son laboratoire entreprirent sur les trois ans. Ses chiffres montrent que, en plus des programmes de tests normaux des laboratoires, plus de 1500 échantillons individuels furent élaborés et testés.

Quand la recherche était en cours de préparation, l'entreprise English China Clay (ECC) était l'un des membres et mit à disposition Dr Nick Elton, membre très talentueux de son équipe de recherche aux Laboratoires Pat Moore à St Austell. Alors que le projet commençait, ECC fut reprise et peu de temps après, le département de recherche ferma rendant inutile presque tout le personnel, y compris Nick. Nous fumes tous attristés pour Nick et son important apport nous manqua.

L'équipe doit aussi des remerciements au National Trust et au Church Preservation Trust pour leur aide respectivement à Hardwick Hall et au Château de Richmond.

En même temps que de vous fournir, vous lecteur, des informations et une meilleure compréhension de l'utilisation la chaux hydraulique, l'équipe avait un autre objectif : faire avancer la production de chaux hydrauliques fabriquées au Royaume Uni plutôt que de dépendre des imports.

Michael J Farey
Avril 2003

Préface

Malgré une utilisation très satisfaisante pendant de nombreux siècles, les chaux hydrauliques furent reléguées au passé (ainsi que la manière de les utiliser) alors que l'utilisation ciment ordinaire de Portland (OPC) se répandit largement. Aujourd'hui,

pour tout un ensemble de raisons, leurs avantages, et plutôt légitimement, sont en train d'être réévalués.

Donc que sont les chaux hydrauliques ? Dans notre contexte, cela veut dire qu'elles peuvent prendre partiellement sous l'eau, résultat d'une réaction chimique. Sans eau, la prise pourra aussi se faire par carbonatation.

Inversement, les chaux non-hydrauliques ne peuvent prendre que par carbonatation, consistant en l'absorption de dioxyde de carbone de l'air. Le niveau de prise attribuée à une réaction chimique, et non pas par carbonatation, déterminera les caractéristiques et performances de chaque chaux hydraulique. De plus, d'autres variations peuvent être créées par les différences dans les composants chimiques présents dans les chaux. Dans l'ensemble, ces facteurs donnent aux concepteurs et aux entrepreneurs une flexibilité considérable dans la sélection d'un matériau adéquat pour le travail à effectuer. La publication de ce livre ainsi que les données des fabricants devraient, pour la première fois, aider à faire en sorte que les chaux hydrauliques soient décrites et utilisées avec succès.

Cette publication est le produit d'une recherche exécutée au sein du Engineering and Physical Science Research Council (EPSRC)/ Department of Trade and Industry, projet de recherche Foresight sur les « Performances, applications et classifications des chaux hydrauliques et des pouzzolanes pour l'industrie du bâtiment britannique ».

Cette recherche traite des matériaux constitutifs, de la conception du mélange, des propriétés du mortier, de la fabrication, de l'apparence, des exigences de solidité, et de la conception pour la durabilité de la construction en relation au mortier de chaux hydraulique. Il est entendu que cet ouvrage devrait être utilisé conjointement à d'autres normes nationales et internationales et autres Codes de Pratique apparentés à la construction générale, la fonction et l'apparence du bâtiment.

Sauf précisé autrement, toutes les références à des proportions se rapportent à des proportions par volume.

1 Introduction

1.1 Mortier – fonctions

Les principales fonctions d'un mortier durci dans une construction sont :

- Fournir une assise régulière de façon à ce que le poids du mur soit réparti équitablement sur toute l'aire de portance des éléments de maçonnerie ;
- Faire adhérer les éléments ensemble et les aider à résister aux forces latérales ;
- Sceller les joints contre la pénétration de la pluie.

1.2 Mortier – propriétés

De façon à atteindre les fonctions exigées, un mortier se doit d'être :

- Facilement malléable pour permettre au maçon de produire un travail satisfaisant à un niveau économique ;
- Suffisamment résistant une fois durci pour s'adapter aux mouvements mineurs de la structure, à la diminution ou à l'expansion de la construction ;
- Pas plus dur que les éléments de maçonnerie pour qu'ils puissent adhérer ;
- Durable afin de correspondre à l'objectif de l'élément de construction ;
- Plaisant esthétiquement en apparence, conçu pour éviter les imperfections et le manque d'harmonie une fois le mur terminé. Pour un travail de façade, il doit se distinguer et non se fondre dans les éléments de maçonnerie et être en accord avec la nature attrayante des matériaux naturels comme la brique ou la pierre.

La restauration d'anciens bâtiments exige du mortier qu'il corresponde parfaitement à l'original à la fois pour les fonctions et pour l'apparence. Un bon mortier maintient les éléments et évite les contrastes déplorables. La bonne correspondance de performance entre le nouveau et l'ancien mortier réduit aussi l'apparition de fissures ou bien permet de mettre en place des résistances aux mouvements différentiels et aux conditions atmosphériques dans les espaces entre les deux types de mortier.

2 Matériaux

2.1 La chaux naturelle hydraulique NHL (Natural Hydraulic Lime)

La chaux naturelle hydraulique est un produit issu de la cuisson de calcaires argileux ou siliceux réduits ensuite en poudre par extinction avec ou sans broyage. Toutes les chaux naturelles sont composées de silicates et aluminates de calcium associés à de l'hydroxyde de calcium et à des matières inertes n'ayant pas réagit. La température de cuisson est normalement stabilisée en deçà de la température de clinkerisation de façon à ce que le silicate de calcium soit majoritairement présent sous forme de di-silicate (bélite) avec seulement des traces du très réactif tri-silicate (alite) formé au cours du processus de clinkérisation du ciment de Portland. Les NHL ont comme propriété de pouvoir prendre et se solidifier sans contact avec l'air et même sous l'eau. Lors d'une exposition à l'air, la carbonatation, produit d'une réaction avec le dioxyde de carbone de l'air, contribue à la solidification.

La quantité de matière argileuse et/ou siliceuse activée pendant la cuisson détermine la réactivité hydraulique. Une nouvelle norme britannique et européenne (British Standard, BS, European Norm, EN), BS EN 459, spécifie les propriétés et la désignation de 'HL' et 'NHL', respectivement chaux hydraulique et chaux naturelle hydraulique. Les chaux hydrauliques sont classifiées selon leur réactivité déterminée selon le développement de la résistance à la compression dans un mortier standard. Le mortier utilisé pour leur classification a été choisi dans le but de fournir une force significative avec le minimum de variations possibles dans un temps limité, pour permettre son utilisation comme paramètre de contrôle de la qualité de production. Ce mortier est constitué d'une part de

chaux pour trois parts de sable de norme européenne, parts définies selon leur masse. De même, la quantité d'eau est juste suffisante pour élaborer un mortier pouvant être compacté par de fortes vibrations. En termes plus communément reconnus dans l'industrie du bâtiment, il correspond à un mortier d'environ 1:1 par volume ayant une consistance de terre sèche de très basse malléabilité, c'est-à-dire que des mélanges dans ces proportions élaborés sur le chantier, avec une quantité d'eau nécessaire pour obtenir une malléabilité adéquate, n'atteindront pas ces résistances.

Le mortier spécifié en EN 459 range les chaux de construction selon des classes de résistance de 2, 3,5 ou 5, résistance minimum à la compression en N/mm² obtenue au 28^{ème} jour de tests en laboratoire. Il est tentant de faire correspondre ces valeurs aux termes plus traditionnels de faiblement hydraulique, modérément hydraulique et éminemment hydraulique. Cependant, les deux systèmes de classification ont des bases différentes, la traditionnelle étant liée à la prise sous l'eau alors que la classification actuelle est liée à la résistance. Il est probable que la résistance à la compression obtenue avec des mortiers de chaux hydraulique modernes est meilleure que celle des mortiers élaborés avec des chaux de construction traditionnelles.

2.2 L'agrégat

L'agrégat des mortiers et normalement classé comme sable ou 'particules fines' pour les grains de diamètre de 2,36 mm et moins, et comme gros sable ou 'particules grossières' pour les grains de plus de 2,36 mm. Dans chaque cas, l'agrégat doit être propre et dépourvu de vase ou argile, ce qui augmenterait la nécessité en eau du mortier, réduirait la résistance à la fois de compression et de flexion ainsi que la perméabilité et élèverait le risque de formation de fissures dans le mortier solidifié. L'argile peut ne pas être distinguée parmi d'autres matériaux fins si, une fois séchée sur des particules, elle ne se sépare pas par tamisage à sec. Elle doit être identifiée par séparation par l'eau comme décrits dans le BS 812. Les particules poreuses ou les gros grains de brique agissant comme des pouzzolanes doivent être considérés comme faisant partie du mélange d'agréats.

Là où la résistance et la durabilité sont la priorité, l'agrégat ne doit pas contenir de matériaux nocifs comme des pyrites de fer, des sels, du charbon ou autres impuretés organiques, du mica, du schiste ou des matériaux laminés similaires, ni de particules floconneuses ou allongées de telle forme ou en telle quantité que cela pourrait affecter irrémédiablement la solidification, la résistance ou la durabilité du mortier.

Si des matériaux autres que le sable traditionnel sont nécessaires dans l'agrégat pour des raisons esthétiques ou autres, ceux-ci affecteront la résistance finale du mortier. Des tests nécessaires en laboratoire seraient nécessaires afin de déterminer le degré auquel ils affectent la performance globale du mélange.

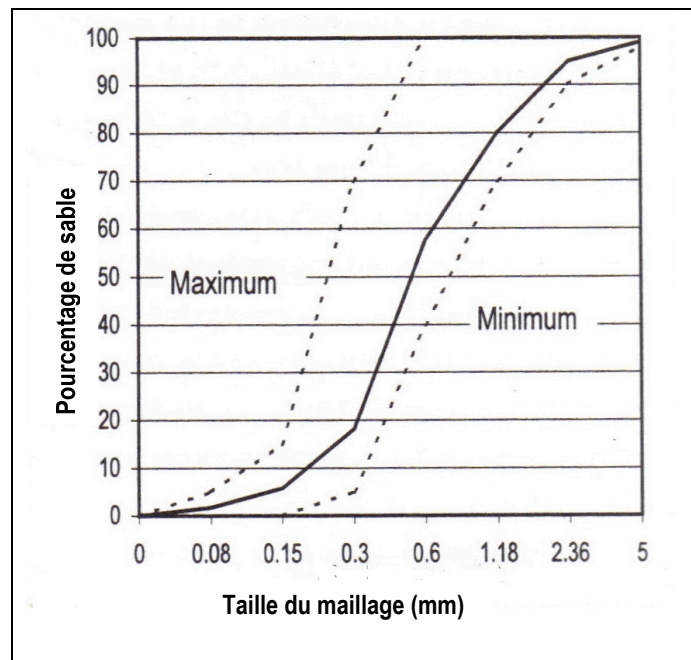
Les mortiers anciens présentent fréquemment des traces de cendre, charbon et/ou charbon de bois ainsi que de matériaux organiques comme des agents imperméabilisants et des protéines entraîneuses d'air. Il est possible que ceux-ci contribuaient à la résistance au gel en empêchant l'absorption de l'humidité et ainsi le gel, tout en permettant une certaine porosité offrant aux secteurs de compression un soulagement pendant la gelée. Ces aspects et les besoins du mortier seront traités plus précisément en section 4.5.

Le choix du sable et des autres agrégats est des plus importants. L'agrégat est responsable de la structure du mortier, qui joue un rôle clé dans le développement de la résistance et la perméabilité. Les courbes de granulométrie (figure 1) montrent la proportion en masse de sable retenu dans des tamis standard de 5 mm à 0,075 mm (75 microns) et peuvent être comparés à la granulométrie précisée pour les mortiers dans le BS 1200 : Type S. La courbe de granulométrie doit montrer une bonne répartition entre les différents calibres. Une trop grande concentration d'un ou deux calibres, même si conformes aux exigences du BS 1200 : Type S, diminuera la malléabilité et demande l'ajout de plus d'eau pour atteindre la consistance correcte, et peut mener à des remontées et former des tâches sur le mortier (voir section 2.3). Un sable constitué principalement de particules de charbon sera dur et difficile à travailler. La Norme

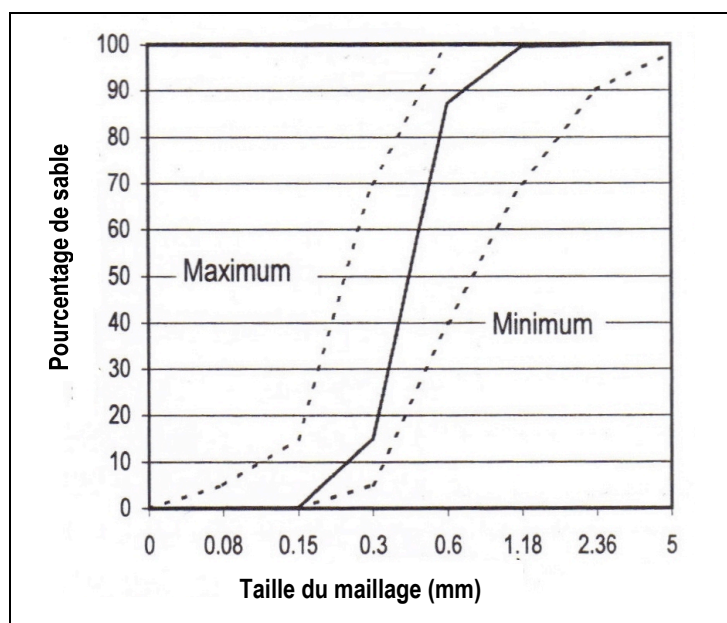
Européenne, EN 13139 Agrégats pour mortier, donne quelques conseils utiles quant à la création des mortiers de chaux.

Des exemples de sable bien calibré et de sable de calibre unique sont montrés dans les graphiques 1. Les courbes 1a et 1b montrent la forme traditionnelle pour comparer les calibres au moyen de gammes de spécification. Les graphiques 1c et 1d montrent la distribution entre les calibres plus clairement.

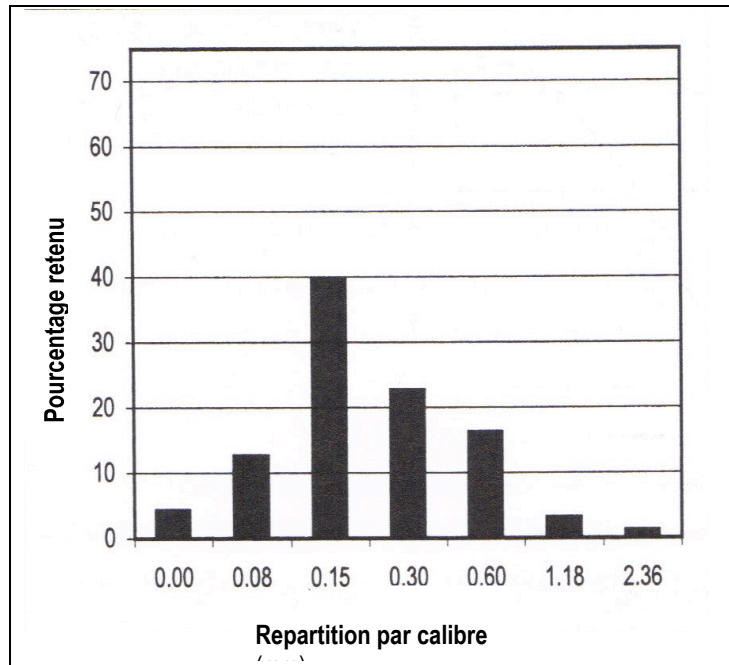
En général, le diamètre maximum d'une particule de sable et agrégat ne doit pas excéder la moitié de la largeur du joint. Pour des applications utilisant des joints de 8 à 12 mm, le diamètre maximum s'accordera avec le BS 1200, à 5 mm. Dans certaines applications, telles qu'un travail de la pierre de taille aux jointures fines, il pourrait être nécessaire de réduire le calibre maximum à 3 mm ou moins, tout en gardant une bonne répartition entre les calibres. Alternativement, là où on a des joints plus larges, un agrégat grossier de 5 mm ou plus peut être incorporé.



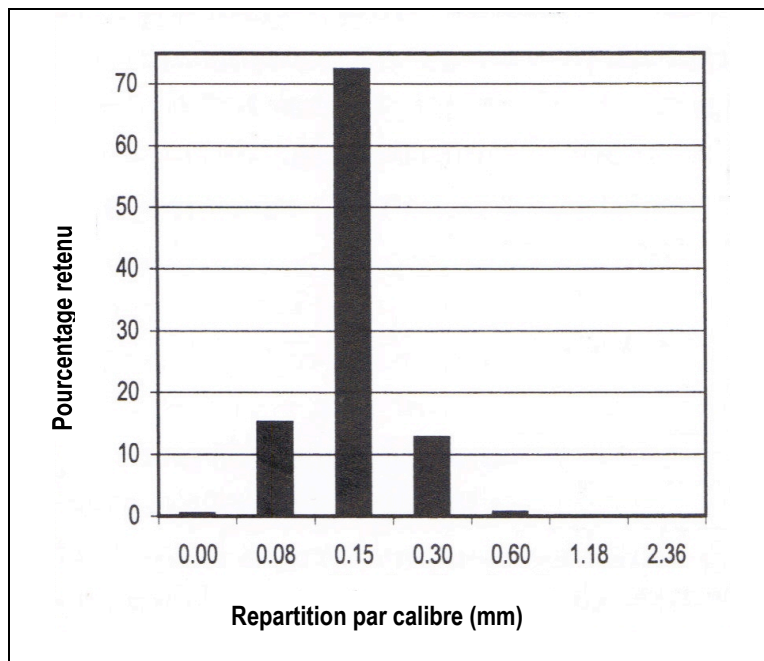
Graphique 1a : Exemple de sable bien calibré comparé aux exigences du BS 1200



Graphique 1b : Exemple de sable mal calibré comparé aux exigences du BS 1200



Graphique 1c : Exemple de sable bien calibré montrant la répartition par calibre



Graphique 1d : Exemple de sable mal calibré montrant la répartition par calibre

L'utilisation d'agrégat grossier augmentera la dureté du mélange, de cette manière, la quantité utilisée doit être ajustée pour conserver la malléabilité. L'agrégat grossier doit être calibré et analysé séparément en utilisant des tamis de 6,3 mm, 10 mm, 14 mm selon les cas.

La répartition des calibres du sable est importante dans le but d'obtenir une densité serrée dans la structure du mortier. Même avec une bonne répartition, il y aura des vides entre les différentes particules et ceux-ci devront être remplis avec le liant. L'espace entre les particules de sable, le vide, peut être mesuré en vérifiant la quantité d'eau nécessaire pour remplir les espaces. Les propriétés d'un bon mortier doivent inclure une quantité de liant suffisante pour remplir l'espace vide. Ce remplissage ne doit pas être confondu avec le degré de perméabilité déterminé par les produits caractéristiques d'hydratation du liant.

Bien que ce qui vient d'être dit soit considéré comme 'bonne pratique', il est souvent plus économique d'utiliser des matériaux locaux, même si cela peut entraîner un mélange plus riche, plutôt que de faire venir un agrégat de bien plus loin. C'est souvent le cas lorsqu'il s'agit de créer un mélange correspondant à un mortier préexistant sur un vieux bâtiment. Il faut préciser que, bien qu'il y ait des propriétés désirables pour une bonne granulométrie, il n'existe pas de granulométrie idéale, et d'excellents mortiers ont été élaborés à partir d'une grande variété de calibres d'agrégat. Un des traits importants d'un agrégat satisfaisant est l'uniformité constante de la granulométrie sur tout le projet afin que les caractéristiques du mortier ne changent pas à chaque livraison.

2.3 L'eau

La qualité de l'eau peut affecter la solidification et la résistance du mortier. De l'eau potable ou de l'eau correspondant aux exigences BS 1008 sont appropriées. D'autres types d'eau peuvent être utilisés mais ne doivent pas contenir de solides en suspension qui s'ajouteraient aux limons, ni de solides dissous qui pourraient provoquer des tâches dans le mortier durci. Des sels dissous peuvent être néfastes pour la durabilité du mortier et des impuretés organiques peuvent affecter le durcissement et la durabilité. Les matériaux organiques traditionnels et synthétiques ajoutés pour améliorer les propriétés, comme des agents entraîneurs d'air améliorant la résistance au froid, devraient être testés afin de s'assurer qu'ils n'aient pas d'effet détériorant.

2.4 Les ajouts

Généralités

Les ajouts sont des matériaux ajoutés à un mortier pour améliorer ses propriétés plastiques ou pour perfectionner les propriétés de durcissement. Ils peuvent être inertes ou posséder les propriétés des pouzzolanes, c'est-à-dire qu'en les mélangeant avec de l'eau et de la chaux ils formeront des produits d'hydratation similaires à ceux obtenus par l'hydratation des chaux hydrauliques. Les détails des ajouts, leur composition chimique, la taille des particules et leur hydraulicité sont détaillées dans l'Appendice B.

Pouzzolanes

Les pouzzolanes ne durcissent pas en soit quand elles sont mélangées à de l'eau mais, une fois broyées et en présence d'eau, elles réagissent à température ambiante normale avec l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2) pour former des composés développant la résistance tels que le silicate de calcium et l'aluminate de calcium. Ces composés sont similaires à ceux formés pendant le durcissement des matériaux hydrauliques. Les pouzzolanes sont constituées essentiellement de dioxyde de silicium (SiO_2) et d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) réactifs, le reste étant plus ou moins inerte comme le fer (Fe_2O_3) et autres oxydes. Elles contiennent rarement des proportions significatives d'oxyde et hydroxyde de calcium réactif.

Les pouzzolanes naturelles sont généralement des matériaux d'origine volcanique ou des roches sédimentaires de composition chimique et minéralogique correspondante. Le terme 'pouzzolane' est utilisé pour référer au matériau générique alors que le terme 'pozzolana' se restreint au matériau traditionnel de Pozzuoli en Italie.

Les pouzzolanes se doivent d'être correctement préparées, c'est-à-dire sélectionnées, homogénéisées, séchées ou chauffées et concassées, selon leur état à la production ou à la livraison. Les pouzzolanes naturelles ou artificielles, sous forme de brique ou tuile de terre cuite, sont traditionnellement utilisées dans les mortiers pour provoquer ou

améliorer la prise hydraulique ou les propriétés de durcissement. Les pouzzolanes fines doivent être considérées comme faisant partie du liant. Les pouzzolanes plus grossières, souvent poreuses, peuvent être utilisées pour améliorer la perméabilité du mortier et sont donc traitées comme faisant partie de l'agrégat.

La chaux pure

La chaux pure, ou chaux aérienne, est produite sous différentes formes : la chaux vive, la chaux éteinte à sec ou la chaux en pâte. Elle est utilisée comme constituant d'un mortier depuis les temps les plus reculés. Le matériau moderne, CL90 selon le BS EN 459-1, est une forme extrêmement pure d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2), et ainsi ne contribue pas directement à l'activité hydraulique. Elle peut être utilisée dans les mortiers de chaux hydraulique pour augmenter la quantité de chaux simple, améliorer la plasticité de mortiers hydrauliques plus pauvres, fournir une source additionnelle de chaux disponible dans le mortier durci et accroître la réparation autogène.

La chaux en pâte ou en mottes

La chaux en pâte est une autre forme de chaux pure disponible sous forme de suspension de chaux dans l'eau. Puisqu'il y a humidité, il est essentiel qu'elle soit conservée dans des conteneurs étanches et qu'une couche d'eau soit maintenue à la surface de la suspension afin que la carbonatation ne se produise pas. Un stockage prolongé de chaux en pâte permet qu'elle se dissolve et se recristallise sans cesse, ce qui engendrera des cristaux plus fins que la normale et améliorera les facultés plastiques de la chaux. En d'autres termes, elle agit comme de la chaux pure sèche bien que la petite taille des particules et la forme solide en suspension accroissent le besoin en eau du mortier, réduisant de ce fait la résistance une fois solidifié et augmentant la tendance à la rétraction lors du séchage. Lors du projet Foresight, il a été démontré que plus de 10% du volume de chaux en pâte par volume de chaux naturelle hydraulique sèche classe 3,5 réduisait de manière significative la résistance et la durabilité.

Matières de charge

Les matières de charge sont de fines particules incorporées au mortier, en général pour améliorer les propriétés du mortier humide. Le diamètre des particules de charge est en général inférieure à 90 microns et peuvent être du calcaire broyé, de la craie, du sable ou de l'argile. Ces matériaux ont l'avantage de pouvoir compléter la granulométrie de sables pauvres en particules fines là où remplir les vides des structures avec de la chaux hydraulique résulterait en un mortier trop dur.

3 Etude du mélange du mortier

3.1 Généralités

Pour atteindre une performance optimale et constante de n'importe quel mortier, il est essentiel que les proportions correctes des constituants soient reproduites sur le chantier. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un système précis de dosage des matériaux. Au mieux, on les dosera au poids. Si cela n'est pas possible, on mettra en place un ensemble de jauges de volume. On obtiendra la meilleure fiabilité si on utilise un malaxeur suffisamment grand pour permettre à des sacs entiers de chaux d'être mélangés en même temps ; une jauge à sable telle qu'un seau dur ou différents récipients, tout en ayant un nombre donné de seaux ou récipients pleins pour chaque mélange établi ; une jauge similaire pour chaque autre constituant anhydre ; un apport d'eau comme précisé dans le chapitre 'fabrication' (voir chapitre 5). Il faudra prendre garde que le sable ne soit ni trop sec ni trop humide de façon à ce que l'effet de foisonnement soit limité lors de l'ajout d'eau. L'effet de foisonnement peut entraîner des erreurs aussi importantes que 40% par masse lors du dosage. L'effet de l'humidité sur la masse volumique apparente du sable doit être déterminé lors de l'élaboration du mélange.

3.2 Diamètre maximum de l'agrégat

Plus la particule d'agrégat sera grosse, moins la surface à humidifier sera grande. De cette manière, augmenter le diamètre de l'agrégat au-delà des 5 mm traditionnels réduit le volume d'eau du mélange de façon à ce que, pour une malléabilité définie et une richesse du mélange, cela entraîne une moindre tendance au retrait et une amélioration générale des capacités. Il y a des limitations pratiques à cela et le conseil général à suivre serait que le diamètre maximum de l'agrégat ne dépasse pas 50% de la largeur du joint de mortier. Pour un joint traditionnel de 10-12 mm, on retiendra donc le diamètre traditionnel de 5 mm. Pour des joints fins requis pour le travail de la pierre de taille, on aura un diamètre maximum de 3 mm, voire même des joints sans agrégat du tout ; et

dans le cas de murs fabriqués à partir de gravats, il sera approprié d'ajouter des particules jusqu'à 10 mm.

Pour un type d'agrégat de diamètre supérieur à 5 mm, on utilisera du gravier de même origine que le sable ou, préférablement, de la pierre broyée du même type que celle utilisée pour le mur, ou bien encore, lorsqu'une plus grande perméabilité est requise, un agrégat plus poreux. Dans l'ensemble, la mesure de l'agrégat devra suivre les principes du BS 1200 restreignant la quantité de chaque calibre à utiliser afin de permettre une répartition homogène au sein de l'agrégat. Lorsqu'un agrégat grossier est compris dans le mélange, cette répartition homogène peut s'effectuer en vérifiant d'une part, la quantité au-delà de 5 mm indiquant la proportion de vides et en s'assurant d'une autre part, que le volume de mortier chaux/sable est suffisant pour remplir ces vides.

L'utilisation d'agrégat grossier de cette manière ne doit pas être confondue avec le rocaillage en plein, le comblement ou l'insertion où de gros fragments sont introduits dans des cavités afin d'augmenter de la stabilité et d'éviter des sections de mortier trop épaisses. De telles techniques sont destinées à contrer la tendance des larges surfaces de mortier à se rétracter plus amplement que lors d'une utilisation générale d'un mortier. Des joints de mortier d'une épaisseur excessive contenant simplement un agrégat fin peuvent entraîner un plus grand risque de fissures précoces

3.3 Granulométrie de l'agrégat

L'agrégat fin doit être analysé séparément et le choix du calibre de sable a déjà été traité en section 2.2. Dans certains cas, il sera peut-être nécessaire de combiner différents sables afin d'obtenir la granulométrie voulue. L'espace de vides au sein même du sable doit être vérifié et doit être inférieur au volume de particules de chaux dans le mélange. Pour les mélanges incluant de fines pouzzolanes, le volume de ces particules doit être ajouté selon le volume de chaux et en fonction des espaces vides du sable. Un ajout insuffisant de liant pour remplir les espaces vides résultera en un mortier dur qui nécessitera un grand apport d'eau non nécessaire et résistera moins bien au froid. Dans le cas d'un apport insuffisant de liant pour remplir les espaces vides, la granulométrie du sable et la proportion de liant doivent être revus. Le choix d'un type de liant, et de l'ajout ou non de pouzzolane, apporte de nouvelles options quant à l'ajustement nécessaire au remplissage des vides. Les pigments ou sables et agrégats colorés ajoutés pour obtenir une certaine couleur doivent être traités comme faisant partie de l'agrégat et inclus dans le calibrage.

3.4 Le liant

La quantité de liant sera déterminée par le type de chaux utilisée et le type de mortier exigé. Le tableau 1 (voir page 19) expose les proportions des différents types de mortiers. Cela induit le choix du type de mortier, ce qui permettra de s'accorder à la classification et la sélection spécifiées selon ce qui est le plus approprié en fonction des matériaux disponibles, ou de correspondre aux exigences nécessaires au remplissage des vides du sable.

3.5 Les pouzzolanes

Les ajouts ont pour but d'améliorer la performance du mortier ou les propriétés du mortier fluide. Il est habituel de prendre en compte les pouzzolanes comme ajouts aux dosages déterminés pour la chaux et le sable, ainsi, ces volumes ayant été déterminés,

ils ne doivent pas être modifiés et le volume de pouzzolane, lui, doit être dosé en plus (par exemple, un mélange peut être décrit tel que 1:3 + 10%). En pratique, les pouzzolanes agissent comme remplacement partiel de la chaux et du sable. Lors de l'évaluation des performances de mélanges modifiés par des pouzzolanes, une attention particulière doit être portée à tout changement dans la densité du mortier et à chacun des constituants des pouzzolanes qui pourraient affecter la résistance aux agents chimiques. La chaux pure (chaux vive, ou chaux éteinte à sec) est considérée comme faisant partie du liant. Une convention a été développée en Scandinavie dans laquelle les liants incorporant de la chaux calcium sont décrits dans leurs proportions par masse, par exemple 80:20 NHL 5:CC90 serait constituée de 80% par masse de chaux hydraulique et de 20% par masse de chaux pure. Les détails de ces mesures sont présentés dans l'appendice B.

4 Propriétés du mortier

4.1 Généralités

Le mortier doit être facilement malléable afin que le maçon puisse fournir un travail de qualité et à un coût raisonnable. Un bon mortier tiendra sur la truelle et s'étalera aisément. Il ne doit pas perdre d'eau facilement ou se durcir au contact des éléments de maçonnerie ayant une absorption modérée (les éléments de maçonnerie ayant une absorption de 7 à 12%, montrent normalement une absorption modérée en présence de

mortiers de chaux hydraulique, selon les tests du BS 3921 : Appendice E). Lors de l'utilisation de maçonneries ayant une forte absorption, il est nécessaire de la limiter en humidifiant préalablement les éléments, en prenant garde qu'il n'y ait pas d'eau à la surface lorsque le mortier est appliqué. Lors de l'utilisation de maçonneries ayant une faible absorption, il est nécessaire d'élaborer le mortier de manière à ce qu'il adhère bien, en général en augmentant le volume de particules fines et/ou en réduisant le volume d'eau et/ou en augmentant le volume de chaux libre. De telles propriétés aideront à développer une adhérence entre les briques et le mortier et réduiront le risque d'infiltration d'eau dans le mur fini. De l'attention et de l'expérience sont nécessaires afin d'obtenir un mélange correct pour des applications spécifiques.

4.2 Propriétés plastiques du mortier

Le tableau 1 présente un guide des propriétés plastiques des mortiers et propose des conseils pour tester l'élaboration et la conformité des mortiers. Les valeurs du tableau 1 pour les proportions par masse des mélanges, le rapport eau/chaux, le contenu de chaux hydraulique et la densité fluide sont présentés ici comme conseils et peuvent varier selon la nature du sable, l'exigence en eau pour atteindre la malléabilité désirée et le volume d'air du mortier fluide. Il est nécessaire d'établir des valeurs pour les combinaisons et facteurs applicables aux différents mortiers.

Type de chaux hydraulique	Proportions par volume (chaux:sable)	Proportions par masse (chaux:sable)	Rapport eau/chaux_	Quantité de chaux hydraulique (kg/m ₃)	Densité fluide (kg/m ₃)
NHL 2	1:2 1:2,5 1:3	1:6 1:7,5 1:9	1,00 1,35 1,45	260 210 180	2045 2035 2035
NHL 3,5	1:1 1:1,5 1:2 1:2,5 1:3 1:4 1:5	1:2,5 1:4 1:5 1:6 1:7,5 1:10 1:15	0,70 0,85 1,00 1,10 1,40 1,75 2,80	455 330 270 245 190 150 100	1930 1870 1910 1945 1885 1900 1900
NHL 5	1:2 1:3 1:4	1:4 1:6 1:8	0,65 1,00 1,40	375 265 200	2105 2090 2110

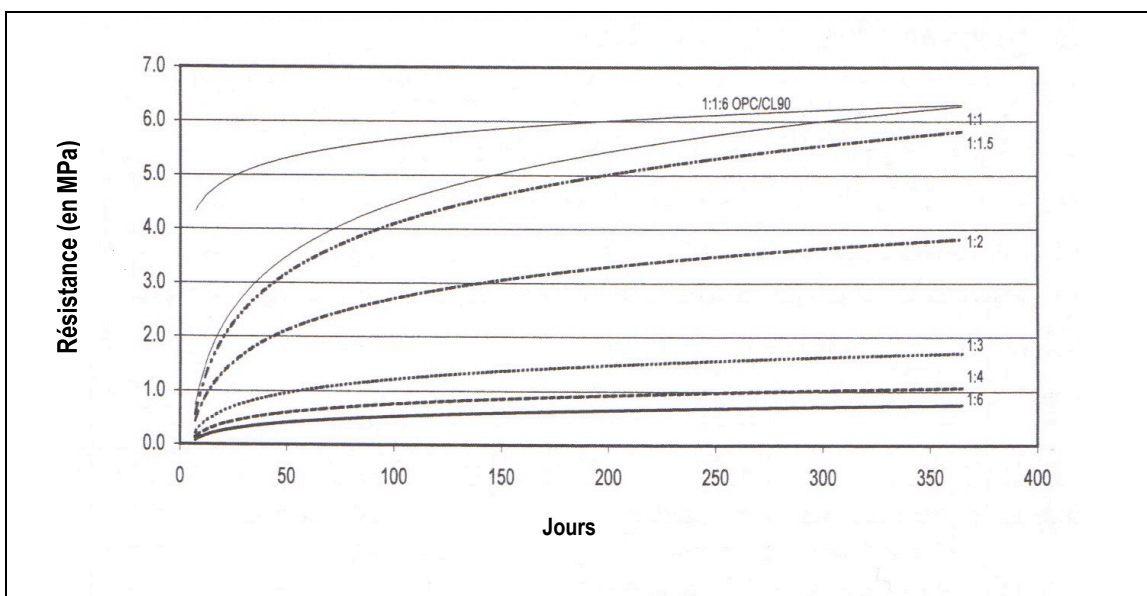
Tableau 1 : Proportions et propriétés typiques des mortiers testés lors du projet Foresight

_ Le volume d'eau a été ajusté de façon à obtenir la malléabilité typique utilisée sur les chantiers.

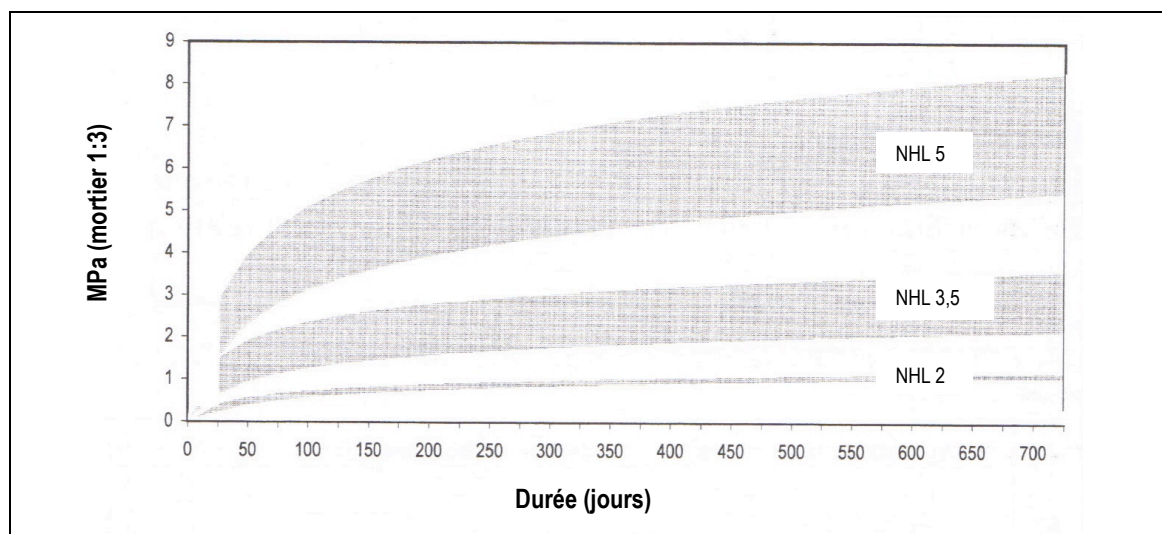
4.3 Résistance

Résistance à la compression

La résistance d'un mortier dépendra de ses constituants, particulièrement du type de chaux utilisé et de la présence ou non de pouzzolanes, des proportions, du volume d'eau ajouté, de son ancienneté, de la température et de l'humidité auxquelles il est arrivé à maturation. Le graphique 2 présente le développement de la résistance du mortier de chaux hydraulique NHL 3,5 échantillonné comme dans l'appendice A, selon les proportions de mélange et la maturation à 20°C.



Graphique 2 : Développement de la résistance des mortiers de chaux hydraulique NHL 3,5 par proportions de mélange



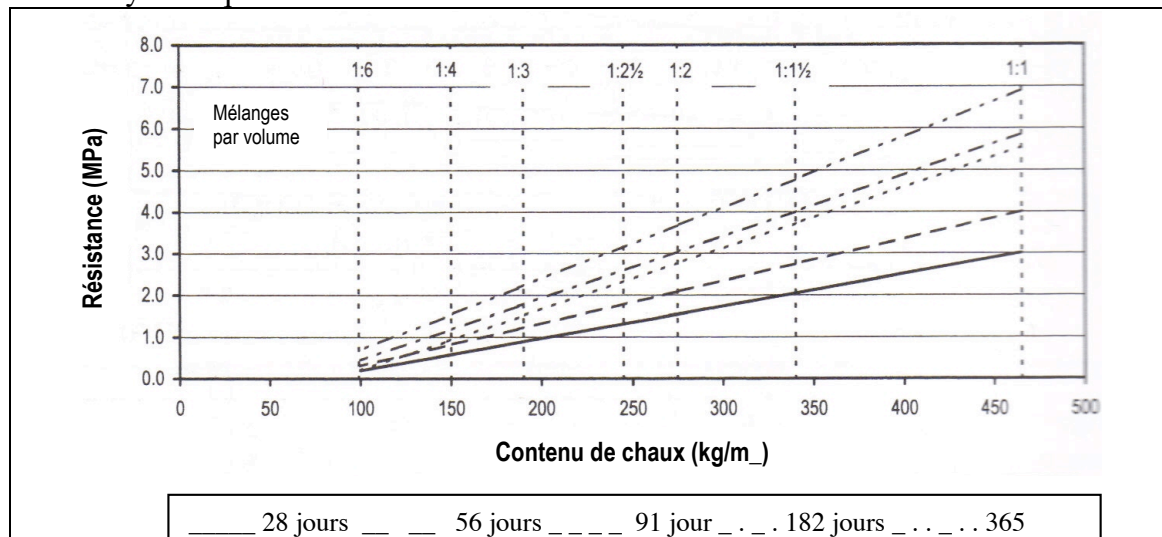
Graphique 3 : Développement de la résistance des mortiers de chaux naturelle hydraulique par type de chaux

Le graphique 3 représente le développement de la résistance pour une série de mortiers 1:3 contenant des chaux naturelles hydrauliques selon les trois classes de résistance disponibles au Royaume Uni au moment du projet Foresight. On peut y voir que,

majoritairement, la classification standard selon la résistance se retrouve relativement dans la performance des mortiers typiques.

Dosage en chaux

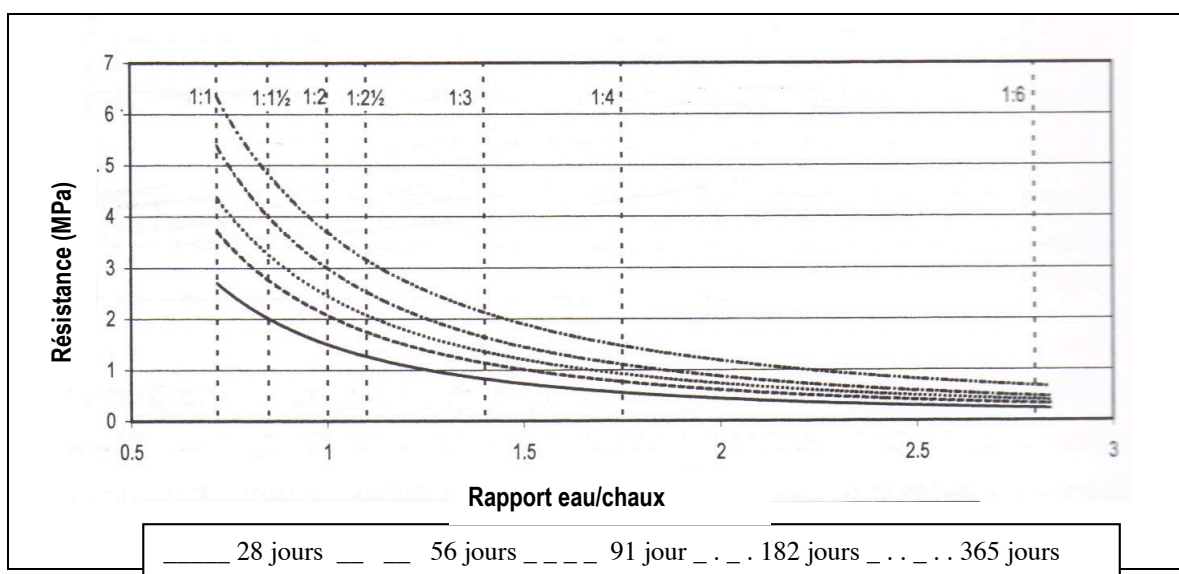
La résistance, pour une chaux hydraulique donnée, est définie par le dosage en chaux hydraulique du mélange. Le graphique 4 montre la relation typique entre le contenu de chaux hydraulique et la résistance.



Graphique 4 : Relation entre le contenu de chaux CNH 3,5 et la résistance à la compression

Rapport eau/chaux

La résistance, pour une chaux hydraulique et un contenu de chaux donnés, est définie par le rapport eau/chaux du mélange. Le graphique 5 montre une relation typique entre le rapport eau/chaux et la résistance.



Graphique 5 : Relation entre le rapport eau/chaux et la résistance

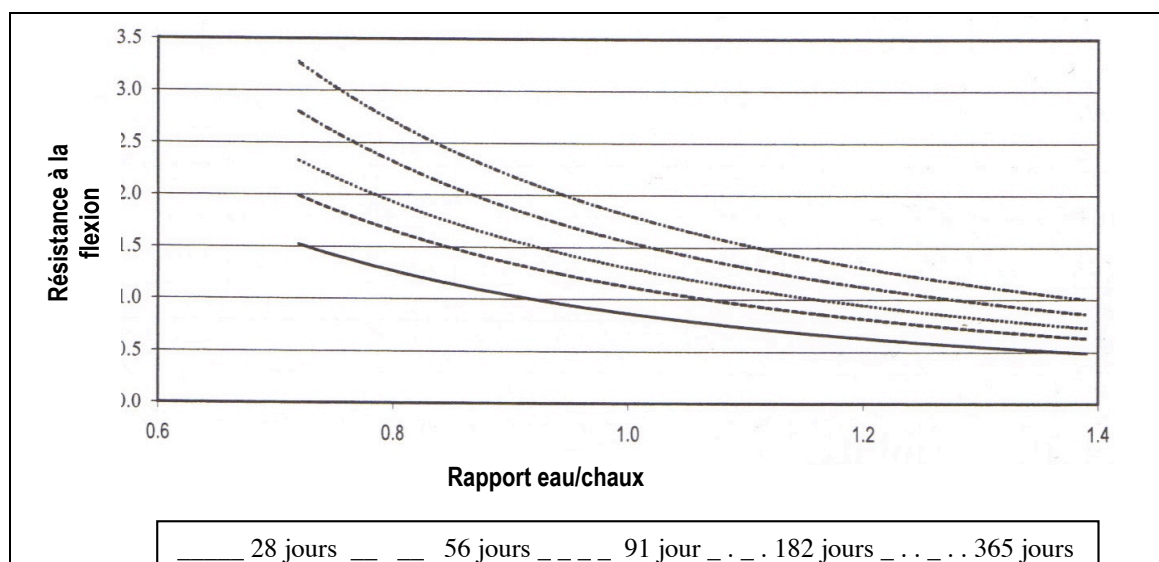
Résistance à la flexion

La force de flexion est aussi une propriété significative des mortiers de chaux hydraulique. Le tableau 2 présente la relation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression de mortiers de chaux hydraulique de type 3,5 et pour un

ciment de Portland + mortier de chaux. Une réduction de la résistance à la flexion comme pourcentage de la résistance à la compression indique une fluidité réduite et une augmentation de la fragilité. Le graphique 6 montre une relation typique entre la force de flexion et le rapport eau/chaux pour un mortier de chaux hydraulique de type 3,5.

Temps (jours)	Résistance à la flexion (comme pourcentage de la résistance à la compression) (proportions par volume)				
	NHL 1:1 type 3,5 sable	NHL 1:1,5 type 3,5 sable	NHL 1:2 type 3,5 sable 3,5	NHL 1:3 type 3,5 sable	Ciment de Portland + chaux pure 90 1:1:6 sable
7	76	78	80	80	30
14	52	54	64	70	31
28	47	49	56	67	32
56	44	46	53	65	33
91	42	45	51	64	33
182	40	44	50	61	34
365	39	43	49	55	34

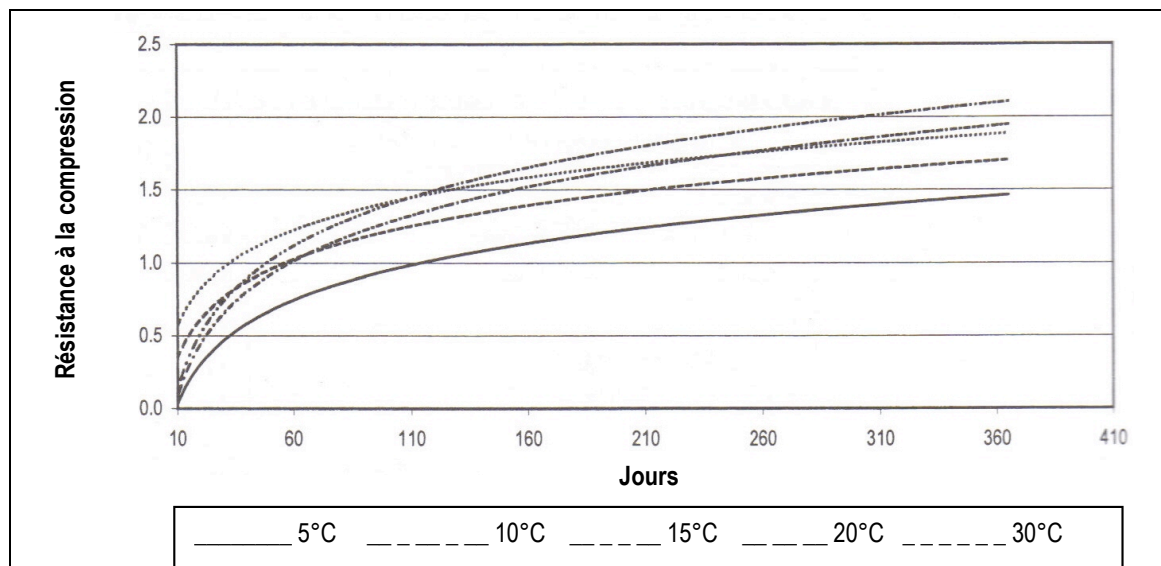
Tableau 2 : Relation entre la résistance à la flexion et à la compression des mortiers



Graphique 6 : Relation entre la résistance aux forces de flexion et le rapport eau/chaux

Effets de la température

La résistance, pour une chaux hydraulique donnée, son contenu de chaux et son rapport eau/chaux, est affectée par la température à laquelle le mélange repose. Le graphique 7 montre une relation typique entre la température et la résistance à la compression. Le tableau 3 présente les maturités des mortiers relativement aux températures auxquelles ils ont reposé.



Graphique 7 : Développement de la résistance d'un mortier selon la température. La température donnée est celle des 28 premiers jours, par la suite le mortier a reposé à 20°C.

Temps (jours)	Résistance à la compression (pourcentage de la résistance à 20°C)				
	à 5°C	à 10°C	à 15°C	à 20°C	à 30°C
28	40	65	80	100	145
56	65	90	100	100	125
91	75	100	110	100	120
182	85	110	120	100	115
365	90	120	130	100	110

Tableau 3 : Effets de la température sur la maturité des mortiers à 1/3 de chaux + sable (par volume) de type 3,5

4.4 Perméabilité

Les mortiers de chaux possèdent la caractéristique d'être très perméables, particulièrement à la vapeur. Mesurer la perméabilité aux vapeurs de spécimens fragiles tels que les mortiers de chaux hydraulique n'entrent pas dans les possibilités de l'actuel projet Foresight et de telles méthodes sont plus adaptées aux recherches environnementales. Cependant, la perméabilité à l'eau peut être déterminée relativement simplement et fournit une base de comparaison pour les caractéristiques de perméabilité générales des différents mortiers. La méthode choisie fut la capillarité : un prisme de mortier de 40 mm _ 40 mm _ 160 mm, ayant reposé pendant 90 jours et pré-conditionné en laboratoire par une exposition à un air à 60 pour cent d'humidité et à 20°C pendant 7 jours, fut posé sur sa face de 40 mm _ 40 mm et immergé dans 10 mm d'eau. L'augmentation de la capillarité mesurée par le niveau d'absorption d'eau permet de donner une mesure de la perméabilité. La méthode est aussi applicable aux éléments de maçonnerie. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Augmentation de la capillarité des mortiers et pierres naturelles

Il est à noter que la capillarité de certaines pierres variera selon le lieu et le niveau de prélèvement dans la

Catégorie (augmentation de la capillarité en mm après 6 heures)	Mortiers
Très haute (126-150)	NHL 2 1:3 NHL 3,5 1:4 NHL 3,5 1:6 NHL 3,5 1:3 + 10% de chaux en pâte NHL 3,5 1:3 + 30% de chaux pure 90 Mortiers de chaux pure 90 Chaux pure 90 + 30% de métakaolin (de même pour la pierre de Ketton)
Haute (101-125)	NHL 2 1:2 NHL 3,5 1:3 + 10% de chaux pure 90 NHL 3,5 1:3 + 5% de chaux en pâte
Modérée (76-100)	NHL 3,5 1:2_ NHL 3,5 1:3_ NHL 3,5 1:3 + poudre de terre cuite NHL 5 1:4 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:3:12, la pierre d'Ancaster et la pierre de Portland)
Faible (51-75)	NHL 3,5 1:1 NHL 3,5 1:1_ NHL 3,5 1:2_ NHL 3,5 1:3 + pouzzolanes naturelles NHL 3,5 1:3 + chaux pure 90 NHL 3,5 1:3 + scories, cendres volantes, métakaolin, microsilice NHL 5 1:3 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:2:9 et la pierre de Cadeby)
Très faible (<51)	NHL 5 1:2 (de même pour COP+chaux pure 90 de type 1:1:6, le ciment de maçonnerie de type 1:4, la pierre de Clipsham et la pierre de Stokeground)

carrière.

4.5 Résistance au gel

La résistance des différents mortiers à des cycles de gel à -5°C et de dégel à 20°C est présentée dans le tableau 5. Le protocole utilisé fut de faire reposer des spécimens à 20°C et à 90% et plus d'humidité relative pendant 91 jours; ils furent ensuite immergés totalement dans de l'eau puis séchés jusqu'à SSS (Saturation de la Surface Sèche) et pesés ; les spécimens furent ensuite gelés pendant au moins six heures, la surface à travailler vers le haut, les autres isolées ; puis ils ont dégelé à l'air pendant au moins douze heures ; ils ont été pesés et examinés afin de détecter l'apparition de fissures ; ils ont été finalement replongés dans l'eau pendant au moins six heures. Les résultats sont représentés par le nombre de cycles jusqu'à la destruction, c'est-à-dire lorsque les

spécimens se cassent. Les mortiers de chaux hydraulique de type 3,5 et matures en proportion de 1:2_ à 1:1_ sont reconnus comme ayant une forte résistance au gel.

Catégorie de résistance	Mortier (proportions par volume)
Très haute (>50 cycles)	NHL 3,5 1:2 NHL 5 1:2 NHL 5 1:3 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:1:6 et le ciment de maçonnerie de type 1:4)
Haute (26 à 50 cycles)	NHL 3,5 1:2_ NHL 3,5 1:1_ NHL 5 1:4 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:2:9)
Modérée (10 à 25 cycles)	NHL 3,5 1:1 NHL 3,5 1:3 NHL 3,5 1:4
Faible (<10 cycles)	NHL 3,5 1:6 NHL 2 1:2 NHL 2 1:3 (de même pour les mortiers de chaux pure 90)

Tableau 5 : Résistance à des cycles de gel et dégel

4.6 Résistance aux sulfates

Les résultats de la résistance à une solution de sulfate (2% de potassium de sulfate) sont présentés dans le tableau 6. Le procédé utilisé a été de laisser reposer des spécimens 20°C et à 90% et plus d'humidité relative pendant 91 jours ; ils furent ensuite immergés dans une solution de sulfate de potassium (2% SO₄), la surface à travailler vers le haut ; on les a fait sécher à 20°C et à 65% d'humidité relative deux fois par semaine ; ils ont été pesés et examinés afin de détecter l'apparition de fissures puis immergés de nouveau. Les résultats sont représentés par le nombre de cycles jusqu'à la destruction, c'est-à-dire lorsque les spécimens se cassent. Toutes les chaux naturelles hydrauliques présentent une bonne résistance aux sulfates sans détérioration remarquable quant à leur teneur en aluminium et en sulfates. Par comparaison, le Building Research Establishment a confirmé le mélange COP+chaux pure 90+sable comme correspondant aux exigences de résistance aux sulfates pour les mortiers.

Catégorie de résistance	Mortiers
-------------------------	----------

Très haute (>50 cycles)	NHL 3,5 1:1 NHL 3,5 1:1_ NHL 3,5 1:2 NHL 3,5 1:2_ NHL 3,5 1:3 NHL 3,5 1:4 NHL 5 1:2 NHL 5 1:3 NHL 5 1:4 (de même pour les mortiers de chaux pure 90 de type 1:1:6, le COP+chaux pure 90 et le ciment de maçonnerie résistant aux sulfates de type 1:4)
Haute (26 à 50 cycles)	NHL 2 1:2 NHL 2 1:3 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:2:9)
Modérée (10 à 25 cycles)	NHL 3,5 1:6
Faible (<10 cycles)	COP+mortiers fluidifiants

Tableau 6 : Résistance à l'exposition aux sulfates

4.7 Résistance aux effets combinés du gel et dégel + sulfates

Le tableau 7 présente les résultats de tests sur la résistance aux effets combinés des sulfates et du gel. Le procédé utilisé a été de laisser reposer des spécimens 20°C et à 90% et plus d'humidité relative pendant 91 jours ; ils furent ensuite immergés dans une solution de sulfate de potassium (2% SO₄), la surface à travailler vers le haut ; les spécimens furent ensuite gelés à -5°C pendant au moins six heures, la surface à travailler vers le haut, les autres isolées ; puis ils ont dégelé à l'air pendant au moins douze heures ; ils ont été pesés et examinés afin de détecter l'apparition de fissures, puis ré-immersés. Les résultats sont représentés par le nombre de cycles jusqu'à la destruction, c'est-à-dire lorsque les spécimens se cassent. Les mortiers de chaux hydraulique de type 3,5 et matures en proportions de 1:2_ à 1:1_ sont reconnus comme ayant une haute résistance aux effets combinés du gel et des sulfates.

Catégorie de résistance	Mortier
Très haute (>50 cycles)	CNH de type 5 1:2 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:1:6 et le ciment de maçonnerie résistant aux sulfates de type 1:4)

Haute (26 à 50 cycles)	CNH de type 3,5 1:1_ CNH de type 3,5 1:2_ CNH de type 3,5 1:2_ CNH de type 5 1:3 CNH de type 5 1:4 (de même pour le COP+chaux pure 90 de type 1:2:9)
Modérée (10 à 25 cycles)	CNH de type 3,5 1:1 CNH de type 3,5 1:3 CNH de type 3,5 1:4
Faible (<10 cycles)	CNH de type 3,5 1:6 CNH de type 2 1:2 CNH de type 1:3 CNH de type 3,5 1:3 + métakaolin (de même pour les mortiers de chaux pure 90)

Tableau 7 : résistance à des cycles de gel et dégel et à l'exposition aux sulfates

4.8 Carbonatation

La carbonatation peut profiter aux mortiers de chaux hydraulique puisqu'elle améliore le processus de durcissement. Le tableau 8 présente les résultats de tests sur des mortiers de chaux exposés à un air à 20°C et en conditions de haute humidité relative (>90%). Plus les mortiers sont perméables, plus la carbonatation se fera rapidement. Des surfaces texturées incitent une carbonatation plus en profondeur et plus rapide que lorsque l'on a des finitions unies ou très travaillées. L'incorporation de particules poreuses et d'adjuvants entraîneurs d'air aident aussi au processus de carbonatation. Le niveau de carbonatation dépend des conditions ambiantes. La carbonatation se fait plus rapidement dans des conditions humides mais pas saturées ; dans des conditions sèches ou saturées, la carbonatation se fait lentement, voire pas du tout. Les résultats sont donc comparatifs et des taux absolus ne peuvent leur être attribués.

Catégorie de carbonation	Mortiers
Très haute	Mortiers de chaux pure 90
Haute	CNH de type 2 1:2 CNH de type 2 1:3 CNH de type 3,5 1:4 CNH de type 3,5 1:6 Chaux pure 90 + métakaolin

Modérée	CNH de type 3,5 1:2_ CNH de type 3,5 1:3 CNH de type 3,5 1:3 + poudre de terre cuite + pouzzolanes naturelles CNH de type 5 1:4 Chaux pure 90 + métakaolin
Faible	CNH de type 3,5 1:1 CNH de type 3,5 1:1_ CNH de type 3,5 1:2 CNH de type 3,5 1:3 + 10% de chaux en pâte CNH de type 3,5 1:3 + 50% de chaux pure 90 CNH de type 3,5 1:3 + scories, cendres volantes, métakaolin, microsilice CNH de type 5 1:2 CNH de type 5 1:3
Très faible	COP+chaux pure 90 de types 1:1:6 et 1:2:9 et le ciment de maçonnerie de type 1:4

Tableau 8 : Taux de carbonatation pour des mortiers exposés à l'air libre à 20°C et à 90% d'humidité ambiante

5 Fabrication

5.1 Stockage des matériaux

La chaux, les pouzzolanes et autres matériaux en sacs doivent être stockés sur un sol surélevé et dans un entrepôt au sec jusqu'à leur utilisation. Ils doivent être empilés de manière à pouvoir permettre une rotation avec chaque nouvelle livraison qui sera

séparée du reste. Tout le contenu d'un sac de chaux doit être utilisé le jour même de son ouverture. Si un sac est abîmé ou bien ouvert depuis plus d'une journée, la chaux qu'il contient ne doit pas être utilisée car ses propriétés liantes se détériorent lors de l'absorption de dioxyde de carbone et de l'humidité de l'air.

Les agrégats et sables doivent être entreposés en piles séparées sur des bases solides et propres pour permettre un drainage facile. Il faut éviter le mélange et la propagation d'autres matériaux de construction, débris ou matériaux nuisibles. Les agrégats et sables doivent être couverts afin d'éviter une humidification ou un séchage non désirés et leur humidité doit être vérifiée à chaque livraison.

L'approvisionnement en eau doit se faire par la mise en place d'un robinet adéquat qui fournira de l'eau nécessaire, un tuyau d'une longueur suffisante y sera adapté, ou bien, par la mise à disposition d'un conteneur d'eau d'une taille suffisante et disposant d'un robinet. Il doit être mis en place un moyen de réchauffer l'eau si les travaux continuent par temps froid, bien que travailler à une température ambiante de moins de 5°C ne soit pas recommandé en raison des risques de gel.

5.2 Dosage

Bien que nous ayons déjà traité des principes de dosage dans la section 3, il est toujours judicieux de les souligner car ils sont extrêmement importants pour obtenir des performances optimum et constantes de n'importe quel mortier.

Il est essentiel que les proportions correctes des constituants soient reproduites sur le chantier. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un système précis de dosage des matériaux. Au mieux, on les dosera au poids. Si cela n'est pas possible, on mettra en place un ensemble de jauges de volume. On obtiendra la meilleure fiabilité si on utilise un malaxeur suffisamment grand pour permettre à des sacs entiers de chaux d'être mixés en même temps ; une jauge à sable telle qu'un seau solide ou différents récipients tout en ayant un nombre donné de seaux ou récipients pleins pour chaque mélange établi ; une jauge similaire pour chaque autre constituant anhydre ; un apport d'eau comme précisé dans le chapitre 5.3. Il faudra prendre garde que le sable ne soit ni trop sec ni trop humide de façon à ce que l'effet de foisonnement soit limité lors de l'ajout d'eau. L'effet de foisonnement peut entraîner des erreurs aussi importantes que 40% par masse lors du dosage.

5.3 Mélange

Le but du mélange est d'obtenir une dispersion régulière des constituants au sein de chaque dosage produit. La chaux en particulier, en raison de ses très fines particules, a tendance à former des paquets de grains individuels, qui, malgré leur petite taille eux-mêmes, ne permettent pas une hydratation totale du mélange, nécessitant souvent un ajout d'eau trop important afin d'atteindre la malléabilité correcte.

Une grande variété de malaxeurs ayant des efficacités variées peut être utilisée. Ceci va des traditionnels malaxeurs à cylindres, en passant par les malaxeurs à bras, les mélangeurs horizontaux et les mélangeurs à chape, aux moins efficaces mais plus fréquentes bétonnières à tambour. Tous peuvent produire des mortiers de bonne qualité à condition qu'une attention particulière soit portée au déroulement et à la cadence des ajouts, le temps nécessaire pour faire le mélange et le niveau d'eau ajouté. On doit garder à l'esprit que le but est d'obtenir un mélange pleinement homogène ayant la malléabilité exigée et en ayant ajouté le moins d'eau possible. Dans le but de maintenir une bonne granulométrie du mélange sable/agrégat, les cylindres d'un mélangeur à cylindres doivent être placés à une hauteur appropriée de la base afin d'éviter de broyer les plus gros grains de l'agregat utilisé.

Le principe du mélange est d'obtenir une bonne dispersion de la chaux et des autres constituants avec le sable 'sec' avant l'ajout d'eau. Cela aidera à ce que la nature abrasive du sable casse les agglomérats de particules de chaux. Le sable doit être

humide ou mouillé pour que la quantité de poussière de chaux se dispersant dans l'air, parfois considérable, soit limitée. On y parviendra en ajoutant à tour de rôle un peu de sable puis un peu de chaux, tout en mélangeant entre chaque ajout. Avec un malaxeur de moindre efficacité, ceci peut prendre dix minutes, alors qu'un malaxeur très efficace ne prendra que 5 minutes. Une fois le mélange 'sec' bien dispersé, l'eau doit être ajoutée doucement afin que celle-ci puisse s'imprégner totalement avant de procéder aux ajustements nécessaires à l'obtention de la malléabilité requise. Si la demande en mortier sur le chantier est telle que ce procédé est trop lent, plutôt que de réduire le temps essentiel du mélange, un autre malaxeur doit être fourni.

D'autres façons de mélanger sont possibles selon lesquelles la chaux sera mélangée directement avec une partie de l'eau, de manière à diminuer la quantité de chaux pouvant s'éparpiller dans l'air. Dans ce cas, le temps nécessaire au mélange pourra être allongé pour permettre la dispersion complète et éviter la formation de 'grumeaux' avec les particules d'agrégat.

Les malaxeurs n'ont pas besoin de tourner indéfiniment ; si on n'a pas besoin immédiatement du mortier complètement mélangé, le malaxeur doit être arrêté, puis remis en route un court moment de façon à malaxer de nouveau le mortier avant de finalement vider le tout. Alternativement, le mortier peut être déposé dans une benne et couvert afin de garder son humidité avant d'être de nouveau mélangé avant son utilisation (voir chapitre 5.5).

5.4 Absorption de l'eau par les éléments de maçonnerie

L'absorption de l'eau du mortier par les éléments de maçonnerie aide à l'adhérence entre les deux. Cela contribue à la prise rapide du mortier et à la stabilité de la construction. De même, cela permet aux fines particules de chaux de s'insérer dans de petits espaces vides, améliorant ainsi l'adhérence.

Les éléments de maçonnerie ayant une grande capacité d'absorption peuvent aspirer tellement d'eau que le mortier perdra de sa malléabilité rapidement ne permettant pas un étalage efficace ainsi que l'ajustement horizontal et vertical. Dans de tels cas, les éléments de maçonnerie doivent être pré-humidifiés sur les faces supérieures et inférieures. Il est préférable d'effectuer cette opération bien avant la disposition de ces éléments afin que l'eau soit absorbée. L'ensemble ne doit ni être trop humidifié, ce qui empêcherait l'absorption de l'eau du mortier, ni complètement recouvert d'eau, ce qui pourrait entraîner un glissement de la couche de mortier et des tâches sur la surface finie. Les éléments de maçonnerie ne doivent pas être mouillés dans le cas d'un risque de gel.

5.5 Retravailler les mortiers

Les mortiers de chaux naturelle hydraulique contenant des chaux de type 2 et 3,5 peuvent généralement être retravaillés ou 'ravivés' jusqu'à 24 heures après leur élaboration. Ce temps sera plus court pour des mortiers contenant de la chaux naturelle hydraulique de type 5 ou d'autres mortiers plus résistants contenant des pouzzolanes hautement actives. Pendant le repos, l'eau agira sur chacun des agglomérats de chaux restant afin de les disperser, améliorant ainsi la malléabilité. En même temps, les aluminates et silicates de calcium commenceront à s'hydrater, consommant une partie de l'eau, ce qui provoquera ultérieurement une perte de la malléabilité. Ces actions doivent s'équilibrer approximativement, il sera donc possible de retravailler le mortier pour obtenir la malléabilité voulue avec le minimum d'eau. ***Si le mélange nécessite un ajout d'eau important, c'est que la réaction dans le mortier est allée trop loin pour qu'il soit utilisable, il doit donc être jeté.*** Les mortiers dont on a l'intention de se servir de nouveau, doivent être couverts et protégés des influences environnementales afin de perdre le moins d'eau possible.

5.6 Protection

On doit prendre en compte la protection de tous les mortiers après la pose, c'est-à-dire, la protection contre des conditions extrêmes de température et d'humidité, y compris les précipitations et les vents asséchants. Parfois, le temps sera suffisamment doux et humide pour que la protection ne soit pas nécessaire. Cela étant une exception, des dispositions doivent être prises et des procédures mises en place afin que le mortier puisse toujours être protégé aux premiers jours après la pose. Le niveau et le temps de protection dépendront des conditions ambiantes.

Le travail ne doit pas continuer si la température est inférieure à 5°C. S'il est prévu que la température pendant les premiers jours tombe à 5°C ou moins, la structure doit être protégée de toile de jute imbibée d'eau afin de préserver l'humidité, et suffisamment de couverture, comme du papier bulle ou des matériaux d'isolation, pour protéger la structure elle-même et le mortier contre le gel. Des précautions supplémentaires peuvent être prises, comme éventuellement un moyen de chauffage, pour protéger le travail fini pendant de longues périodes de gel.

Le travail ne devrait pas se faire en plein soleil, particulièrement lors de grosses chaleurs, mais si cela est inévitable, l'ouvrage doit être couvert de toile de jute humide pour maintenir l'humidité, elle-même recouverte pour qu'elle ne se dessèche pas. Pour des meilleurs résultats, l'humidité doit être maintenue tout en permettant à l'air de circuler sur le mortier, aussi longtemps que possible.

6 Etude de la solidité

6.1 Généralités

La construction doit être conçue de manière à avoir une stabilité inhérente et une résistance aux forces qui lui sont imposées. Ces forces peuvent venir de charges qui lui sont appliquées, ou potentiellement applicables, de la pression du vent, d'impact et autres forces latérales et du poids de la construction en elle-même. La solidité d'un ouvrage de briques peut être affectée par la présence d'encoches dans les briques elles-mêmes, la plus grande encoche devant se trouver en haut, les autres devant être remplies de mortiers là où la plus grande résistance est requise. L'effet sur la solidité est réduit lorsque les éléments ne comportant qu'une seule encoche sont disposés l'encoche vers le bas. Il faudra prendre en compte l'augmentation de masse, la solidité du mortier devant être accrue en fonction de la masse au fur et à mesure de l'avancement de la construction.

La solidité du mortier est rarement un facteur limitant lors de la fabrication de celui-ci, cependant, la sélection des éléments de maçonnerie et du mortier pour la durabilité (voir chapitre 7) entraînera invariablement une plus grande solidité que celle directement nécessaire pour résister aux forces imposées à la construction.

Le risque de fissure des éléments de maçonnerie augmente la menace de destruction et est influencé à un degré significatif par les caractéristiques de l'assise du mortier. Le choix des mortiers doit prendre en compte les caractéristiques à la fois du mortier et des éléments de maçonnerie, ce qui aidera ainsi au soulagement des fortes tensions qui pourraient autrement provoquer des fissures dans les éléments de maçonnerie. Il est essentiel que la solidité du mortier n'excède pas celle des éléments de maçonnerie à faire adhérer.

6.2 Solidité du mortier

La sélection du type adéquat de mortier pour n'importe quel usage est de la plus grande importance. Sa solidité et sa durabilité doivent se baser sur la classification des recommandations selon l'orientation, tableau 9 (voir page 36), sur le type de construction, l'orientation du bâtiment, le degré d'exposition au vent et à la pluie, la possibilité d'exposition précoce au gel, et sur le type d'élément utilisé. La prise en compte de ces facteurs en relation au tableau 9 mènera à la sélection d'une des désignations de mortiers listées dans le tableau 10 (voir page 38), mais dans la plupart des cas, on aura le choix entre plusieurs mortiers correspondant à cette désignation.

La solidité des mortiers de chaux hydraulique mélangés sur le chantier-même est présentée dans le tableau 10. Les résistances à la compression données pour les désignations des mortiers sont plus faibles et moins durables que celles proposées dans le BS 5628, Première partie, tableau 1 pour les mortiers au ciment de Portland. Les mortiers des chaux hydraulique ont une résistance plus longue dans le temps et disposent d'une plus grande résistance à la compression et à la flexion que les mortiers au ciment de Portland (voir tableau 2, page 19). Par conséquent, ils sont plus durables et leur résistance aux fissures est meilleure relativement à la résistance à la compression.

Une quantité variable d'eau du mortier sera perdue lors de l'usage de celui-ci, ceci dû à l'absorption exercée par les éléments de maçonnerie. Le mortier verra sa solidité accrue avec le temps et ceci doit être pris en compte pendant la construction ; des conseils sur le développement de la solidité avec le temps sont donnés par le graphique 3 (page 17).

Il faudra aussi prendre en compte les conditions atmosphériques, particulièrement la température ; des conseils sur les effets de la température sur le développement se trouvent dans le graphique 7 (page 19).

7 Sélection du mortier pour la durabilité

7.1 Généralités

La classification selon les expositions (voir tableau 9) servira de guide pour les éléments de maçonnerie les plus recherchés pour une construction et les spécifications du mortier doivent être déterminées pour correspondre aux unités de maçonnerie et aux exigences environnementales.

7.2 Résistance au vent et à la pluie

La durabilité d'un mortier et le comportement d'un bâtiment dans son habilité à rejeter le vent et la pluie dépendra jusqu'à un certain point de son degré d'orientation aux

éléments. Ce degré d'orientation peut être évalué par l'utilisation d'un index des précipitations. Les détails apparaissent dans le *Building Research Establishment Digest 127* et dans le BS 8104 : Code de Pratique pour évaluer l'exposition de murs aux vents et pluies. La prise en compte du lieu à l'aide de cartes aidera à classer les localisations comme protégées, tempérées ou rigoureuses. Une attention particulière doit être portée aux situations particulières telles que des bâtiments extrêmement hauts ou exposés. Les conditions locales qui peuvent affecter la classification globale en raison d'un microclimat doivent aussi être prises en compte lors de l'évaluation de l'orientation.

Éléments de construction en pierres, briques ou parpaings ¹² Conditions d'exposition		Classifications proposées de la durabilité du mortier pour les éléments de construction ³⁴
Paroi interne des murs creux et murs internes		1-2
Soutien des murs externes solides		2-4
Murs externes y compris paroi externes des murs creux, localisations abritées et modérées	Sans enduit extérieur	1-4
	Enduit extérieur ⁵	3-4
Murs externes faisant office de façades des constructions solides		2-7
Travail en sous-sol ou au ras du sol	En sous-sol ou au dessus mais pas à plus de 150 mm au dessus du sol	5-7
	En sous-sol ou au dessus mais à au moins 150 mm du sol *	5-7
Seuils et corniches		5-8
Murs externes autonomes (murs de chapeautement et de couronnement exclus)		5-7
Parapets (murs de chapeautement et couronnement exclus)	Enduit extérieur *	5-8
	Sans enduit extérieur	5-8
Murs de chapeautement, couronnement et soubassement		5-9
Cheminées et finitions *		6-9
Murs de soutènement *		6-10
Murs des égouts et autres murs externes sans revêtement destinés à la collecte des eaux *		8-10
Murs pour quais, caniveaux, écluses et autres infrastructure normalement sous le niveau de l'eau *		9-10

Tableau 9 : *Variété proposée de durabilité pour les mortiers selon les orientations variées d'un bâtiment. Ceci sert de conseils généraux seulement, chaque situation doit être analysée individuellement en raison du nombre conséquent de variables pouvant permuter.*

Le tableau 9 prend aussi en compte la localisation des éléments au sein de la structure et la nécessité d'utiliser un mortier ayant une plus grande durabilité pour des éléments exposés comme les cheminées, les parapets, les murs de couronnement...

¹Guide général de classification. La sélection du mortier doit prendre en compte tous les besoins de la structure, le type de construction y compris le type des éléments de construction, la position du bâtiment, son degré d'orientation et les propriétés générales du mortier (voir le BS 5628, Partie 3, 2001, tableau 13).

² Si les éléments ont été mouillés par inadvertance et qu'il y a risque de gel pendant ou juste après la construction, les précautions présentées dans les chapitres 5.4 et 5.6 doivent être prises.

³ S'il y a risque de gel pendant la construction, la classe de mortier choisie doit être supérieure à celle choisie normalement, les précautions du chapitre 5.6 devront être prises. Cependant, dans certaines circonstances, cette procédure n'empêchera pas les dommages.

⁴ Durabilité du mortier : échelle 1 = exposition minimum ; 10 = exposition maximum dans le bâtiment (voir tableau 10). Par la suite, la valeur dans l'échelle de durabilité doit être ajustée en prenant en compte les conditions atmosphériques, par exemple les vents dominants, localisation côtière, en altitude ou abritée...

⁵ *Les mortiers résistants aux sulfates doivent être pris en compte (voir chapitre 7.3 et 7.4) quand cela est en lien avec les conditions locales.

Dans le cas de vieux bâtiments, les éléments de maçonnerie les plus résistants aux conditions les plus rigoureuses n'étaient pas toujours disponibles. Il faudra donc faire attention à sélectionner le mortier approprié, suffisamment durable mais pas plus solide que les éléments de maçonnerie adjacents. Cet équilibre est difficile à obtenir et des tests supplémentaires sur des échantillons de mortiers peuvent être nécessaires. Des surfaces moins durables peuvent être protégées par des enduits de chaux, méthode traditionnellement utilisée dans le passé.

7.3 Résistance au gel

Les conditions d'orientation indiqueront aussi le degré du risque de gel sur le site de la structure. La situation au sein de la structure indiquera la classe de mortier à utiliser pour ce risque de gel (voir chapitre 4.5 et 4.7). Lors de l'utilisation du tableau 9 en relation avec la résistance des mortiers équivalent, il ne faudra faire en sorte que la résistance au gel soit aussi prise en compte.

7.4 Résistance aux sulfates

Le mortier est soumis aux sulfates dans des formes variées. Ils peuvent être présent dans les éléments de maçonnerie eux-mêmes, peuvent venir du sol là où la structure est en contact avec la terre ou soumise à des infiltration d'humidité depuis le sol, ils peuvent aussi venir d'éléments comme les cheminées exposées à des gaz sulfuriques ou à des gaz contenus dans un air pollué. Les résultats présentés dans le tableau 6 (page 23) pourront servir de guide dans le choix du mortier approprié.

7.5 Résistance aux sulfates et aux conditions de gel

Les éléments externes d'une structure peuvent être exposés à des conditions de gel et peuvent aussi être touchés par des sulfates selon les moyens cités ci-dessus. Le tableau 7 (page 24) pourra servir de guide dans la sélection du mortier adéquat pour ces conditions.

7.6 Carbonatation

La carbonatation est bénéfique aux mortiers de chaux hydraulique car elle accélère le processus de durcissement. Plus les mortiers sont perméables, plus ils seront sujets à la carbonatation. La réaction chimique entre la chaux et le dioxyde de carbone entraîne la formation d'acide carbonique, par la dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau, qui réagit ensuite avec la chaux dissoute pour former du carbonate de calcium. Le carbonate de calcium est peu soluble dans l'eau et une fois son seuil atteint, il précipite en cristaux, généralement sous forme de calcite. Des mortiers définitivement secs ne connaîtront pas la carbonatation. De même, des mortiers dont la surface est continuellement couverte d'une couche d'eau, auront une carbonatation lente puisque la couche en surface deviendra vite saturée, empêchant ainsi l'absorption de dioxyde de carbone dans le corps même du mortier. L'incorporation de particules poreuses ou d'adjuvants entraîneurs d'air peut accélérer le processus de carbonatation.

Mortier (Mortier de Chaux Hydraulique)	CNH 2 chaux:sable (vol:vol)¹	CNH 3,5 chaux:sable (vol:vol)*	CNH 5 chaux:sable (vol:vol)*	Résistance à la compression moyenne (MPa à 91 jours)²	Classification de la durabilité du mortier³
MCH 5 ⁴	—	1:1	1:2	5,0	9-10
MCH 3,5	—	1:1	1:3	3,5	7-8
MCH 2,5**	—	1:2	1:4	2,5	5-6
MCH 1**	1:2	1:3	—	1,0	3-4
MCH 0,5	1:3	1:4	—	0,5	1-2

Tableau 10 : *Equivalents pour les mortiers de chaux hydrauliques (MCH)*

8 Evaluation de la conformité

8.1 Généralités

Dans tout système d'évaluation de la conformité, le cahier des charges doit être la base de l'évaluation. Une publication claire et précise détaillant les travaux, les matériaux, la production et le système d'évaluation est fondamentale. La quantité de détails que comprend la vérification et son degré impliquent une réflexion murie afin que celle-ci soit à la hauteur de l'importance des travaux. Il peut être simplement suffisant de requérir des matériaux conformes aux normes et de suivre les mesures suivantes : inspection visuelle de la propreté des matériaux à la réception, description générale des

¹ *Les proportions du tableau 10 sont par volume. Pour des proportions par masse, voir le tableau 1.

² Résistance à la compression d'un échantillon de mortier prélevé sur le site, laissé en repos puis testé selon le plan présenté en Appendice A

³ Classification de la durabilité du mortier selon le tableau 9

⁴ **Classifications de mortiers MCH à 91 jours, correspondant aux classifications à 28 jours du BS EN 998-2

mélanges par volume, utilisation d'instruments de mesure adéquats, s'assurer de la malléabilité appropriée, garder les relevés de température pendant les périodes de travail hivernales et protéger les travaux finis. Si les travaux sont plus élaborés, il peut être nécessaire d'employer une entreprise indépendante d'inspection de la qualité pour contrôler chaque détail. Les principes d'un système de qualité sont présentés dans le BS EN ISO 9002.

8.2 Cahier des charges

La rédaction du cahier des charges doit prendre en compte chaque détail en rapport avec :

- Les matériaux dont l'usage a été permis
 - Le ou les mélange(s) à utiliser
 - Toute condition spéciale pour la fabrication du mortier
 - Le contrôle des documents et données
 - La qualité des tests de contrôle exigés
 - Les tests d'évaluation de la conformité exigés
 - Les procédures de compte-rendu
 - Les procédures dans le cas de non-conformité
 - La qualité du travail fini, à la fois physique et esthétique
- Les détails du cahier des charges doivent être à la hauteur de l'importance des travaux.

8.3 Responsabilités

Le maître d'œuvre et le rédacteur du cahier des charges devront définir dans le contrat les personnes responsables qui dirigent, effectuent et vérifient les travaux, déterminant ainsi la qualité, leur autorité et les relations interpersonnelles.

Le maître d'œuvre doit s'assurer que la personne responsable a la formation adéquate et a l'autorité pour :

- Initier l'action pour éviter les non-conformités
- Maintenir des relevés en rapport avec le cahier des charges, les matériaux et les mélanges
- Identifier et contrôler les besoins spéciaux lors de la fabrication
- Contrôler les avancements et s'assurer de la correction de toute déficience
- Communiquer avec le responsable du cahier des charges quant aux notifications et aux comptes-rendus.

Le responsable du cahier des charges doit s'assurer que la personne responsable a la formation adéquate et a l'autorité pour :

- Etablir avec l'entrepreneur les arrangements pour l'évaluation de la conformité
- Confirmer que les exigences du cahier des charges sont satisfaites
- S'accorder avec l'entrepreneur quant aux arrangements pour résoudre toute non-conformité
- Contrôler que des mesures correctives ont été menées
- Certifier à la fin des travaux que ceux-ci ont été accomplis en accord avec le cahier des charges.

8.4 Matériaux

Si besoin est, le contrat écrit précisera les matériaux à utiliser, leurs modalités d'achat et les fournisseurs agréés. L'entrepreneur devra garder des doubles des bons de commandes et livraisons, et des relevés de toute inspection ou test afin de s'assurer de la qualité des matériaux achetés. Il est conseillé pour les maîtres d'œuvre de présenter les procédures clairement, ils assureront ainsi une protection satisfaisante, une rotation du stock et le renouvellement des matériaux.

8.5 Mélange(s) approuvé(s)

Le maître d'œuvre doit conserver les documents des procédures définissant :

- Les détails du/des mélange(s) spécifié(s) et leur(s) point(s) d'application dans la structure
- Les équipements et services nécessaires à la fabrication
- Le matériel de dosage
- Les procédures de contrôle de la qualité
- Les procédures d'entretien

8.6 Conditions de fabrication

Les maîtres d'œuvre ont la responsabilité de soumettre et conserver les documents des procédures définissant :

- Les qualifications et l'expérience appropriée du personnel
- Tout besoin particulier pour le stockage des matériaux avant la distribution sur le chantier
- Le matériel de dosage, l'identification et la vérification
- Les procédures des mélanges, y compris toute approbation pour raviver
- Des mesures de contrôle de l'absorption de l'eau des éléments de maçonnerie
- Des mesures de protection du travail fini.

8.7 Tests pour l'évaluation de la conformité

Il est recommandé que le contrat écrit détaille sous quelles circonstances et par quels moyens les tests doivent être administrés pour évaluer la conformité des travaux avec le cahier des charges. Il doit exposer :

- Les raisons pour initier et exécuter les tests
- La fréquence des tests
- L'échantillonnage devant se faire selon les procédures d'échantillonnage
- Les tests pour vérifier la qualité des matériaux à leur réception
- Les tests pour vérifier les jauges de dosage, leur identification, leur état et leur utilisation
- Les tests pour vérifier la malléabilité du mortier : visuellement, en y faisant tomber une balle ou sur une table d'écoulement
- Les tests pour vérifier les propriétés du mortier : sa densité fluide et la quantité d'air contenue
- Les tests pour vérifier les propriétés de durcissement du mortier, y compris les moules à utiliser, le temps de pose à appliquer, le moment auquel réaliser les tests, les tests à appliquer et les laboratoires approuvés pour prendre en charge ces tests
- Les résultats limites de conformité
- Les comptes-rendus à préparer, à quelle(s) étape(s) les préparer et les diffuser
- Les mesures à prendre dans le cas de non-conformité.

Un exemple de plan d'évaluation de la conformité pour un mortier fabriqué sur place est présenté dans l'Appendice A.

9 Guide de Bonne Pratique de l'Artisan

9.1 Conseils généraux pour le mélange et l'utilisation des chaux naturelles hydrauliques

Pour obtenir les meilleures performances des mortiers de chaux, il est essentiel que les ratios corrects de sable et d'eau soient utilisés. Ceci inclura l'évaluation des éléments de maçonnerie et la conception des résistances nécessaires pour la structure. Pour des travaux sur des bâtiments locaux où les mêmes sables, pierres et briques sont utilisés, ceci ne prendra que quelques minutes. Les facteurs pouvant affecter la résistance d'un mortier sont :

- Le type de sable. Des sables fins composés de petites particules sphériques font des mortiers pauvres. Des sables grossiers composés de particules angulaires, y compris des gravillons de 3-4 mm produisent les mortiers les plus solides.
- L'eau. Trop d'eau amoindrit la solidité du mortier en gardant les particules séparées laissant ainsi des structures ouvertes une fois le mortier sec. Cet effet peut être dramatique.
- La quantité de liant. Le but général du liant est de maintenir les particules de sable ensembles et de remplir les espaces vides entre les grains de sable.
- Le type de liant. Les liants les plus solides sont ceux contenant du ciment de Portland. Les plus friables sont les mortiers contenant un haut taux de chaux pure. Entre les deux se trouvent les chaux hydrauliques catégorisés en trois types de résistance : CH 2 - CH 3,5 - CH 5. L'ajout de la lettre N (comme CNH 2 ou CNH 3,5) indique une chaux naturelle hydraulique sans additifs.

Stockage de la chaux et des agrégats :

Les chaux naturelles sont fournies sous forme de poudre sèche en sacs. Selon la source et la solidité (CNH 2, 3,5 ou 5), la couleur peut varier du blanc, au beige ou au gris. Gardés sur des étagères, ces matériaux ont une durée de vie de six mois, à moins qu'ils ne soient stockés dans des sacs en plastique ce qui peut augmenter cette durée. Les sacs doivent être gardés dans un entrepôt au sec et, une fois ouverts, doivent être utilisés le jour même. Des sacs partiellement utilisés peuvent être conservés jusqu'au jour suivant à condition que le haut du sac soit replié et que le matériau soit gardé au sec.

Sables et agrégats :

Il y a de nombreux types de sables de mauvaise qualité sur le marché. Pour un travail de la chaux de bonne qualité – tout simplement, pour obtenir une construction de qualité – ces sables fins, contenant souvent de l'argile, ne sont pas acceptable pour la plupart des ouvrages. Des sables propres, composés de gros grains et bien calibrés doivent être retenus. Un bon fournisseur doit aussi pouvoir fournir une analyse de tamisage à laquelle l'analyse de l'échantillon page 50 peut être comparée.

Les agrégats doivent être couverts puisque, si exposées à l'humidité, les fines particules peuvent se diluer dans l'eau et le matériau en soit peut se désolidariser petit à petit. Ceci fera que l'agrégat sera moins bien calibré, ce qui pourra affaiblir la durabilité du mortier. Couvrir l'agrégat permettra aussi de stabiliser la quantité d'eau et faire en sorte que le mélange soit plus constant.

Proportion de vides dans le sable :

Si on trouve un sable local, qui peut être utilisé à répétition, établir la proportion de vides est un exercice très utile et particulièrement important lorsque l'on travaille avec des matériaux inconnus. La proportion de vides dans le sable donnera la quantité de liant à utiliser afin de remplir ces vides. Si trop peu de liant est utilisé, le matériau sera affaibli et sera rendu vulnérable aux dommages du gel. La procédure permettant de trouver cette proportion de vides est la suivante :

1. Prendre un récipient d'un volume connu (un récipient d'un litre ou deux est idéal).
2. Prendre un échantillon représentatif du sable choisi et les faire sécher complètement au four étalé sur une plaque.
3. Placer le sable dans le récipient et le remplir au maximum.
4. Prendre un récipient gradué d'eau et ajouté celle-ci petit à petit jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles remontant à la surface et que l'eau ait saturé le sable.
5. La proportion de vide sera donc :

$$\frac{\text{volume d'eau ajouté}}{\text{volume de sable}} \times 100$$

Si le résultat par exemple est de 33%, alors un volume de chaux pour trois volumes de sables remplira les vides.

Quantité d'eau et éléments de maçonnerie :

Plus il y a d'eau restant dans le mortier ou l'enduit, plus faible sera le résultat final. Cependant, trop peu d'eau empêchera les réactions chimiques existant dans le mortier et affaiblira le matériau. L'absorption des l'eau par les éléments de maçonnerie a une importance considérable en ce qui concerne la solidité finale puisque ceci joue sur la quantité d'eau restant dans le mortier.

Les maçons ajouteront normalement assez d'eau pour obtenir la malléabilité désirée. Cependant, si les ouvriers ne sont pas habitués aux mortiers contenant des gros sables, il est possible que trop d'eau soit ajoutée.

Il est fortement recommandé que :

- L'on obtienne les taux d'absorption de la maçonnerie par le fabricant
- Ou que les tests suivants soient exécutés :
 1. Les briques ou pierres sont séchées au four puis pesées
 2. Elles sont ensuite placées dans un seau d'eau pendant deux heures puis pesées de nouveau

Le pourcentage d'eau qui sera absorbé par la maçonnerie peut être ainsi établi. Il est probable que la solidité obtenue soit atteinte si la quantité d'eau finale dans le mortier est aussi établie. Typiquement, ce taux sera d'environ 15% de la masse après absorption de l'eau par la maçonnerie et en ayant utilisé un sable grossier typique à 36% de vides. Une méthode simple et alternative à ce procédé est de faire tremper toutes les briques avant leur utilisation. Cependant, les briques ne doivent pas être trempées par un temps très froid ou de gel, une humidification de la surface sera adéquate.

Mélange et technique

Un mélangeur à ciment traditionnel peut convenir, mais pour des projets plus vastes, un mélangeur à cylindres ou à bras sera préférable. Ceux-ci deviennent plus facilement disponibles, l'intérêt pour la chaux s'étant accru de nouveau. Le mélange variera selon la gamme indiquée dans le tableau 1 ((page 16), et selon les conditions et la localisation. Le dosage doit toujours se faire à l'aide à un récipient ou seau gradué. Mesurer à la pelleté n'est pas acceptable puisque les quantités ne sont pas constantes. Les mélangeurs à bras sont préférables aux mélangeurs à cylindres puisque ceux-ci peuvent écraser les agrégats s'ils ne sont pas placés suffisamment haut par rapport à la base.

Les mortiers de chaux mélangés dans des bétonnières à tambour sont sujets à la formation de grumeaux et l'utilisation de techniques particulières de mélange peut réduire cet effet. Le conseil à suivre est donc d'ajouter une petite quantité d'eau dans la bétonnière lorsque celle-ci ne tourne pas, puis la quantité suffisante de chaux. Lorsque la bétonnière est mise en marche, la chaux doit se changer en un mortier de ciment humide. Le sable est ensuite ajouté à ce mortier avec un peu plus d'eau et mélangé pendant au moins 15-20 minutes. Des méthodes de mélange différentes, comme ajouter la chaux et le sable avant l'eau, peuvent être employées lorsque celles-ci ne provoquent pas de formation excessive de poussière. Il ne faut pas trop remplir le mélangeur car ceci peut empêcher un bon mélange.

Le mélange, au départ, doit sembler plutôt sec mais, au fur et à mesure du mélange, le mortier deviendra plus 'gras'. Au bout des vingt minutes, si besoin est, il est possible de rajouter de l'eau afin d'obtenir la malléabilité voulue. Si trop d'eau est ajoutée, alors le risque de retrait augmentera et la solidité finale sera réduite.

Utilisation des agents entraîneurs d'air :

Il est possible d'utiliser des agents entraîneurs d'air. Une plus grande quantité que ce qui est recommandé pour les mortiers de ciment sera nécessaire. La malléabilité sera améliorée et la durabilité à long terme sera allongée. De manière générale, un agent entraîneur d'air développera la performance des mortiers et enduits en augmentant la résistance au gel, en améliorant la malléabilité et en réduisant les dommages causés par l'eau.

Pouzzolanes additionnelles :

Par temps froid ou pour certaines applications autres, il peut être avantageux d'ajouter des pouzzolanes dans le but d'accélérer le temps de prise et/ou d'augmenter la solidité. Il est conseillé de requérir l'avis d'un professionnel ou de consulter le fabricant de chaux ou un agent local quant aux quantités de ces matériaux à ajouter puisque celles-ci varieront selon le type de travaux en cours.

Entretien :

Le mortier doit rester humide pendant plusieurs jours après la pose. Le temps de maturation dépendra des conditions atmosphériques. Il est important de se souvenir que l'eau est essentielle à la fois pour la carbonatation et pour la prise hydraulique ; puisque l'on veut maintenir le mortier humide, il est important de prévenir un séchage rapide dû au vent et au soleil direct. La meilleure procédure est donc de couvrir le travail de toile de jute imbibée d'eau et de maintenir cette humidité.

S'il y a risque de gel, la toile doit elle-même être couverte. Du papier bulle ou autres matériaux isolants peuvent être utilisés. Pour plus de détail sur l'entretien, voir le chapitre 9.3.

9.2 Techniques d'utilisation des mortiers dans la construction de murs et dans le jointoiement

Désignation de la solidité du mortier :

Les désignations de mortier se trouvent dans le BS5628, partie 1, tableau 1. Pour la majorité des constructions conventionnelles, un mortier Type IV sera adéquat. On obtiendra une résistance de compression de 1,5 newtons/mm² avec une chaux CNH 3,5, à condition que la température atmosphérique soit supérieure à 10°C. En deçà de cette température, le temps nécessaire pour atteindre cette solidité pourra ralentir les travaux. Pour des travaux extérieurs, lorsque l'épaisseur des joints de mortier le permet, le sable doit contenir une petite proportion de gravillons de 3-4 mm.

Généralement, une proportion chaux/sable de 1:3 pour une chaux CNH 3,5 sera suffisante pour obtenir un mortier Type IV.

Pour les endroits exposés du bâtiment requérant une durabilité supplémentaire, un mélange 1:2 sera nécessaire (ou des chaux CNH 5 ou CNH 3,5 1:1_ et/ou des pouzzolanes additionnelles, requises pour les endroits les plus exposés sujets aux pressions des maçonneries adjacentes). Ces endroits sont :

- Les cheminées
- Les parapets
- Les murs de couronnement
- Les endroits exposés aux éclaboussures à la base des murs
- Les endroits en sous-sol

Les mélanges devront aussi être ajustés en prenant en compte l'orientation environnementale, c'est-à-dire la direction des précipitations, le vent, le gel, localisations côtières ou abritées.

De plus, si les besoins de la structure exigent une solidité de mortier Type III, la préparation et l'entretien deviennent cruciaux. Les points suivants doivent être soulignés :

- Le mortier doit être extrêmement bien mélangé – les grumeaux doivent être évités. L'utilisation d'agents entraîneurs d'air doit être prise en compte. Les mesures doivent toujours être faites à l'aide de récipients ou jauges graduées.
- Ne pas laisser les mortiers sécher trop vite. Ceci est tout particulièrement important avec des éléments de maçonnerie poreux, qu'il faudra peut-être humidifier avant la construction.
- Les mortiers doivent être utilisés dans les deux heures puis laissés à prendre. Il peut être avantageux de broser la surface plus tard le même jour pour exposer les gravillons.
- Ne pas utiliser si la température est trop basse : 5°C ou moins.
- Il faut se préparer à protéger les mortiers du gel, du soleil trop direct ou des vents asséchants.
- Les joints doivent être maintenus humides pendant sept jours à 10°C. Les variations des températures affecteront le temps de prise. La prise chimique ne peut se faire qu'en présence d'eau.

Il est sans doute possible de construire à la même cadence que celle attendue pour des bâtiments de deux étages construits avec des mortiers au ciment de Portland, mais il faut garder à l'esprit que la prise initiale des mortiers de chaux hydraulique est relativement lente et que le mortier continuera de gagner de la solidité pendant plusieurs semaines.

9.3 Protection et entretien des mortiers à la chaux

Effets de la pluie et de la température :

Sans aucun doute, la différence la plus significative entre l'utilisation de COP (ciment ordinaire de Portland) et de mortiers et enduits à base de chaux est le niveau de solidité atteint par temps froid qui a pour conséquence :

- Un rythme plus lent de pose ;
- Une protection nécessaire contre une saturation en eau et le gel.

En condition hivernales douces, les travaux aux mortiers de chaux hydraulique peuvent continuer normalement à condition qu'une protection en cas de pluie et/ou gel soit immédiatement disponible.

De manière à mieux comprendre ce besoin de protection, les rédacteurs du cahier des charges et les maîtres d'œuvre doivent reconnaître que le niveau de prise de la chaux hydraulique dépend plus de la température que le ciment. Alors que des mortiers posés pendant la période estivale peuvent atteindre leur résistance au gel en un mois, les travaux effectués à des moments plus froids de l'année prendront certainement plus longtemps. Par conséquent, la protection sera nécessaire pendant une période plus longue, peut-être même pendant le temps restant de l'hiver. La pire combinaison de conditions atmosphériques dans notre cas est de fortes pluies suivies de ciels dégagés et de gel. Des murs saturés d'eau souffriront des dommages du froid bien plus facilement que des murs protégés.

Des pluies latérales représentent un moindre risque par rapport à des pluies pénétrant par le haut du mur. Par conséquent, une protection au sommet du mur débordant de 300

mm de chaque côté, pourra faire en sorte que le mur reste sec, réduisant ainsi les risques de dommages.

Un autre facteur à garder à l'esprit est la porosité des éléments de maçonnerie. Les matériaux poreux peuvent retenir de très grandes quantités d'eau. Les mortiers de chaux sont élaborés de manière à aider l'évaporation. Ce procédé d'évaporation provoque une chute de la température, ainsi le mortier présent dans de nouveaux murs retenant beaucoup d'eau prendra lentement à cause justement de cette baisse de température. Une bonne partie de l'eau contenue dans les maçonneries s'évaporerait par les joints de mortier. Cet effet assurera une température constamment basse au sein du mortier de chaux jusqu'à ce que le mur entier commence à sécher. Les mortiers de ciment sont beaucoup moins perméables et une grande proportion de l'eau devra s'évaporer par la face des éléments de maçonnerie.

Protection contre le gel :

Comme nous l'avons dit précédemment, une maçonnerie humide est bien plus vulnérable au gel. La protection contre le gel sera la plus efficace si on utilise de la toile de jute, du papier bulle, ou un matériau isolant similaire. Pendant les journées d'hiver, si le soleil est suffisamment réchauffant, les couvertures doivent être enlevées afin de permettre l'absorption de chaleur, puis replacées en fin d'après-midi. Et même lors de conditions plus rudes, il est important de maintenir la circulation d'air entre les couvertures et la maçonnerie.

9.4 Sécurité, hygiène et environnement : utilisation de la chaux naturelle hydraulique

Produit :

Chaux naturelle hydraulique.

Généralités :

Les sacs et les documents de livraisons possèdent une étiquette de sécurité indiquant que la chaux est un irritant.

Identification de la substance :

Poudre blanche inodore. Une fois mélangée avec du sable et de l'eau, elle devient un liant utilisé pour la construction.

Fabricant :

Le nom et l'adresse doivent être spécifiés sur tous les sacs.

Composition/information sur les ingrédients :

Description chimique : constituant principal : hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 + silicates de calcium, aluminates, ferro-aluminates et sulfates. Petites quantités de magnésium et traces d'autres éléments.

Ingrédients dangereux : hydroxyde de calcium, silicates et alkalis.

Identification du danger :

Irritation de la peau et des yeux. Peut provoquer des brûlures en présence d'eau. Le produit a un effet asséchant sur la peau. Mélangé à de l'eau, le produit forme une solution alcaline puissante pouvant causer des brûlures chimiques sans douleur ressentie immédiatement.

Mesures de premiers secours :

Contact avec les yeux : laver immédiatement à l'eau claire pendant au moins vingt minutes. SOLLICITER UNE ASSISTANCE MEDICALE IMMEDIATEMENT.

Contact avec la peau : laver abondamment la zone affectée à l'eau propre. Retirer les vêtements contaminés et laver avant nouvelle utilisation.

Ingestion : ne pas provoquer de vomissement. Laver la bouche à l'eau et boire beaucoup d'eau. Solliciter une assistance médicale si nécessaire.

Inhalation : irriguer le nez et la gorge à l'eau pendant 20 minutes au moins. Il est recommandé de solliciter une assistance médicale. Le patient ne doit pas inhaler de façon prolongée et répétée de fortes doses de la substance.

Mesures de lutte contre les incendies :

La chaux naturelle hydraulique n'est pas un combustible.

Mesures en cas d'accident :

Précautions personnelles : voir le paragraphe 'contrôles de l'exposition/protection personnelle' ci-dessous.

Nettoyage : ramasser le matériau répandu et le maintenir au sec si possible. Minimiser la création de poussière et éviter la contamination des tuyaux et cours d'eau. Dans l'éventualité de dissémination dans des cours d'eau, l'Agence pour l'Environnement doit être alertée. Garder les enfants à l'écart lors de l'opération de nettoyage.

Stockage et manutention :

Stockage : les sacs doivent être empilés de manière stable et prudente. Garder à l'écart de matériaux inflammables et chimiques avec lesquels elle pourrait réagir.

Manutention : les techniques de manipulation doivent adhérer aux réglementations de Manual Handling Operations Regulations (Royaume Uni). Chacun se doit de porter un équipement personnel de protection correspondant aux conseils donnés dans le paragraphe 'Contrôle de l'exposition/protection personnelle' de ce rapport.

Généralités : les sacs doivent être manipulés avec précaution afin d'éviter de les abîmer et de générer de la poussière.

Contrôle de l'exposition/protection personnelle :

Limite d'exposition en activité (LEA) : limite recommandée : 4mg/m₃ (8h/TWA)

Protection respiratoire : si le niveau de poussière dans l'air est supérieur à la LEA, des masques respiratoires doivent être utilisés afin d'assurer une exposition inférieure à la LEA.

Protection des yeux : des lunettes de protection anti-poussière doivent être portées pour empêcher la poussière et le mélange eau/chaux de pénétrer dans les yeux.

Peau : des vêtements de protection doivent être portés pour empêcher le contact de la poussière et du mélange chaux/eau avec la peau, à savoir des bleus de travail à manches longues et imperméables, des bottes, et des gants en caoutchouc ou matériau composite.

Propriétés physiques et chimiques :

Données physiques :

Etat physique : particules – poudre sèche fine

Odeur : odeur possible de terre

Couleur : crème

PH : 12 (environ) en solution aqueuse

Masse volumique apparente : 600kg/m₃

Solubilité dans l'eau : 1,76g/L de solution saturée à 10°C

Composition chimique :

Mélange principalement de : CaO, SiO₂, AL₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, SO₂

Stabilité et réactivité :

Stable. Eviter le contact avec l'humidité. Réagit avec les acides lors des changements de température.

Information toxicologiques :

Effet à court terme suite à une exposition :

Contact avec les yeux : Peut être très douloureux. Peut causer une perte partielle ou totale de la vue si non traité.

Contact avec la peau : Irritation de la peau. Peut causer des brûlures en présence d'humidité.

Ingestion : Corrosion et lésions de la paroi gastro-intestinale.

Inhalation : irritation des voies respiratoires.

Effets à long terme : peut causer des irritations de la peau et dermatites. Une inhalation répétée et prolongée d'une forte concentration du produit peut endommager les voies respiratoires.

Informations écologiques :

Mobilité : soluble dans l'eau sous forme d'hydroxyde de calcium, formation d'une solution alcaline.

Persistance et dégradation : non-biodégradable, réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour former du carbonate de calcium (calcaire)

Potentiel bio-accumulatif : toxicité dans l'eau : non toxique ; toxicité dans l'eau de la chaux pure 50 : >100mg/L ; PH : 12 (environ) en solution aqueuse. Solubilité dans l'eau : 1,76g/L de solution saturée à 10°C.

Conditions d'élimination :

La chaux naturelle hydraulique et son conditionnement doivent être jetés uniquement dans les déchetteries agréées. L'élimination des déchets doit être en accord avec la législation locale et nationale.

Informations pour le transport :

Classification de transport : aucune. Non classé comme dangereux pour le transport routier ou ferroviaire.

Information de régulation :

Régulation des produits chimiques (Conditionnement et Information sur la Dangerosité) 1993

Instruments obligatoires 1746.

Classification du produit : irritant

Risques : Irritation de la peau (R38)

Risque de graves lésions oculaires (R41)

Sécurité : Ne pas inhaler de poussière (S22)

Porter des protections oculaires et faciales (S39)

En cas de contact, rincer immédiatement à grande eau et solliciter une assistance médicale (S26)

Législation et autres informations (Royaume-Uni) :

- Health and Safety Work Act 1974
- Control of Substances Hazardous to Health (Regulations) 1988
- HSE Occupational Exposure Criteria Document Summaries 1993 Edition
- HSE Guidance Note EH26 (Occupational Skin Diseases – Health and Safety Precautions) (HMSO 1981)
- HSE Guidance Note EH 40 (Occupational Exposure Limits)
- Tout manuel autorisé à propos des premiers secours par St John's Ambulance, St Andrew's et la Croix Rouge
- Manual Handling Operations Regulations 1992
- Environmental protection Act

Nom du produit :

Mélange de sable grossier BS1200 :1976

Type 'S'

Nom minéral :

Silex/quartz

Analyse mécanique :

Taille du tamis (mm + 0,001mm)	% passant	BS 1200 'S'
10 mm	100	100
5 mm	100	98-100
2,36 mm	90	90-100
1,18 mm	76	70-100
600 µm	51	40-100
300 µm	26	5-70
150 µm	8	0-15
75 µm	1,5	0-5
Analyse chimique		
Silice	SiO ₂	97,39%
Aluminium	Al ₂ O ₃	0,20%
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	0,81%
Titanium	TiO ₂	0,05%
Oxyde de calcium	CaO	0,26%
Oxyde de magnésium	MgO	0,30%
Oxyde de potassium	K ₂ O	0,14%
Oxyde de sodium	Na ₂ O	0,02%
Manganèse	MnO	0,05%
Perte au départ		0,67%
Propriétés physiques		
Densité relative (séché au four)		2,54
Densité relative (surface sèche saturée)		2,57
Densité relative (apparente)		2,60
Absorption de l'eau		0,99%

Graphique 8 : Données techniques d'un mélange de sable grossier, valeurs typiques

Bibliographie

British Standards (BS)/European Norm (EN):

BS EN 459: Part 1: 2001. Building Lime – definitions, specifications and conformity criteria

BS EN 459: Part 2: 2001. Building Lime – test methods

BS 812: Testing aggregates. Part 103: 1985. Method for determination of particle size distribution

BS EN 998: Part 2: 2002. Specification for mortar for masonry

BS EN 1008: 2002. Mixing water for concrete

BS 1199 / BS 1200: 1976. (Superseded by BS EN 13139) Specifications for building sands from natural sources

BS 1200: 1996. Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwalling and masonry

BS 3148: 1980. Water for making concrete (including notes on the suitability of the water)

BS 3921: 1995. Specification for clay bricks

BS 4551: Part 1: 1998. Methods for testing mortars – physical testing

BS 5628: Part 1: 1992. Code of practice for use of masonry – structural use of unreinforced masonry
 BS 5628: Part 3: 2001. Code of practice for use of masonry – materials and components, design and workmanship
 BS 8104: 1992. Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain
 BS EN ISO 9002: 1994. Quality systems. Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing
 BS EN 13139: 2002. Aggregates for mortar
Building Research Establishment Digest 127. An index of exposure to driving rain.

Autres références

Chapman, S. and Fidler, J. (eds.), *English Heritage Directory of Building Sands and Aggregates*, Donhead Publishing, Shaftesbury, 2000
 Cowper, A.D., *Lime and Lime Mortar*, facsimile of 1927 edition, Donhead Publishing, Shaftesbury, 1997
 Dimes, F.G. and Ashurst, J., *Conservation of Building and Decorative Stone*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1998
 Gibbons, P., *Preparation and Use of Lime Mortars*, Historic Scotland, Edinburgh, revised 1995
 Hill, P.R. and David, J.C.E., *Practical Stone Masonry*, Donhead Publishing, London, 1995
 Historic Scotland, *Traditional Building Materials*, Conference Proceedings, Historic Scotland, 1997
 Holmes, S. and Wingate, M., *Building with Lime*, Intermediate Technology Publications, 1995, revised 2002
 Howe, J.A., *The Geology of Building Stones*, facsimile of 1910 edition, Donhead Publishing, Shaftesbury, 2001
 Leslie, A. and Gibbons, P., *Scottish Aggregates for Building Conservation*, Historic Scotland, 1999
 Lynch, G., *Brickwork*, Volumes 1 and 2, Donhead Publishing, Shaftesbury, 1994
 Lynch, G., *Gauged Brickwork*, Donhead Publishing, Shaftesbury, first published by Gower, Aldershot, 1990
 Nash, W.G., *Brickwork repair and Restoration*, second edition, Attic Books, Las Vegas, 1989
 Pasley, C., *Observations on Lime*, facsimile of 1838 edition, Donhead Publishing, Shaftesbury, 1997
 Pepperell, R. *Stonemasonry Detailing*, Attic Books, Las Vegas, 1990

Schofield, J., *Lime in Building*, Black Dog Press, Crendon, 1995
Teutonico, J.M. (ed.), *English Heritage Directory of Building Limes*, Donhead Publishing, Shaftesbury, 1997

Lexique

Acide carbonique : acide très faible formé lorsque le dioxyde de carbone se dissout dans l'eau. Les sels de cet acide sont les carbonates et bicarbonates.

Adhérence : adhérence entre deux surfaces, par exemple le mortier et l'élément de maçonnerie.

Agent entraîneur d'air : matériaux entraînant l'air dans un mélange de mortier. La taille et l'espace entre les bulles d'air déterminera leur influence sur les propriétés du mortier.

Agrégat : matière de charge dure, telle que du sable et des pierres, dans les mortiers, plâtres, enduits et bétons.

Ajout : matériau finement divisé et non-organique utilisé pour améliorer ou obtenir certaines propriétés. Il peut être actif, c'est-à-dire possédant les propriétés des pouzzolanes, ou inerte, comme les pigments ou matières de charge.

Alite : Silicate de tri-calcium, constituant principal du ciment de Portland, formé par le chauffage de calcaire siliceux à très haute température (plus de 1200°C). Peu présent dans les chaux naturelles hydrauliques contenant peu d'eau, mais en plus grande quantité lorsque le volume d'eau augmente.

Aluminates : composé d'aluminium et d'oxygène, souvent en présence de chaux ou de silice.

Aluminates de calcium : minéraux formés lorsque des argiles sont chauffées à haute température avec du calcaire, la plupart d'entre eux étant de l'aluminate de tri-calcium, de l'alumino-ferrite de tétra-calcium ou 'brownmillerite' ou de l'aluminosilicate de di-calcium ou 'gehlenite'.

Argile : fines particules issues de l'érosion des roches, chaque particule ne dépassant pas deux microns de diamètre. Chimiquement, ce sont des aluminosilicates et physiquement, elles prennent la forme de fines plaques empilées les unes sur les autres.

Argileux : se dit d'un matériau contenant des particules d'argile, généralement de pierres ou marnes.

Aspiration : passage de l'eau du mortier aux éléments de maçonnerie, processus améliorant l'adhérence mais qui, si mal contrôlé, peut entraîner une perte rapide de malléabilité, de la solidité finale ou même la défaillance d'un mortier.

Bélite : Silicate de di-calcium, constituant réactif principal des chaux hydrauliques, présent aussi en tant que composant du ciment de Portland où il réagit plus lentement que l'alite.

Brique : élément de maçonnerie en terre cuite.

Calcaire : toute pierre ou roche dont les principaux constituants sont les carbonates de calcium et/ou de magnésium.

Calcite : forme minérale du carbonate de calcium, cristal en forme de losange. Forme commune trouvée dans les mortiers de chaux carbonatés auxquels elle donne la solidité. On la trouve naturellement sous forme de Spath d'Islande et possède une unique double réflexion de la lumière pouvant expliquer l'apparence blanche de surfaces chaulées.

Calcium : élément métallique blanc et meuble, trouvé souvent sous forme d'oxyde, hydroxyde, carbonate ou autre composé.

Carbonatation, carbonaté : processus de formation des carbonates, dans notre contexte, la formation de carbonate de calcium à partir d'hydroxyde de calcium. On dit d'un mortier de chaux aérienne qu'il a carbonaté quand le liant a réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour former du carbonate de calcium et a développé sa solidité, solidité achevée simplement par séchage.

Carbonate de calcium : matériau composé d'oxyde de calcium combiné à du dioxyde de carbone et à partir duquel la chaux est préparée. Les formes naturelles sont le calcaire, la craie, les coquillages et les coraux. Il est aussi fabriqué comme sous-produit industriel, dans les fabriques d'acétylène. Les mortiers, enduits, plâtres et bétons contenant de l'hydroxyde de calcium absorbent le dioxyde de carbone de l'air pour former du carbonate de calcium, méthode par laquelle les chaux aériennes développent leur solidité.

Cendre volante : cendre très fine recueillie dans filtres d'échappement, les chaudières et les fours, en général dans l'industrie de production énergétique. De telles cendres ont des phases de vitrification et des propriétés de pouzzolanes selon leur composition et la température de chauffe.

Chaux aérienne : chaux se solidifiant par la carbonatation et non par réaction avec l'eau.

Chaux de classe A : chaux non-hydrauliques, chaux aériennes connues aussi comme chaux riches ou grasses. Grande pureté en termes d'hydroxyde de calcium et généralement très blanches, la couleur n'étant pas un bon indice de qualité. Classifiées maintenant comme chaux calcium (chaux calcium 90) dans le BS EN 459-1.

Chaux de classe B : chaux non-hydrauliques produites à partir de calcaires et craies moins pures. Elles sont chauffées à basse température ce qui ne permet pas de convertir les composants argileux en composants hydrauliques mais peut les activer afin de leur donner des caractéristiques de pouzzolanes, ce qui entraînera une prise hydraulique lente. Classifiées maintenant comme chaux pures (chaux pure 70 et 80) dans le BS EN 459-1.

Chaux de classe C : trouvées le plus souvent sous forme de chaux hydraulique et contenant une quantité considérable d'argile active qui peut leur conférer des propriétés hydrauliques de façon à ce qu'elles prennent en présence d'eau. Classifiées aujourd'hui comme chaux naturelles hydrauliques (CNH) dans le BS EN 459-1 ayant les valeurs de 2, 3,5 ou 5 selon leur réactivité hydraulique.

Chaux éminemment hydraulique : auparavant nommée chaux de classe C3, maintenant classifiée par le BS EN 459-1 comme chaux CNH 3,5 et CNH 5. La résistance maximum attendue aux forces de compression de la traditionnelle chaux C3 éminemment hydraulique était de 10 N/mm². Le maximum pour une chaux CNH 5 aujourd'hui est en moyenne de 15 N/mm², au maximum de 20 N/mm² à 28 jours. Elle est préparée à partir de calcaire contenant une grande quantité d'argiles actives et convient mieux aux ouvrages hydrauliques. La différence entre ce type de chaux et un ciment naturel est qu'elle contient assez de chaux libre pour lui permettre de se décomposer et s'hydrater en présence d'eau, alors que le ciment doit être broyé finement pour cela.

Chaux éteinte : hydroxyde de calcium formé par l'action de l'eau sur la chaux vive.

Chaux faiblement hydraulique : chaux légèrement hydraulique, autrefois chaux de classe C1. Elle contient une petite quantité d'argiles actives, en général moins de 12%, et doit prendre en présence d'eau en quinze à vingt jours ou plus. La résistance maximum attendue aux forces de compression de la chaux C1 était de 1,3 à 2 N/mm². Cette valeur est en deçà des valeurs recommandées par les nouvelles classifications du BS EN459 pour la CNH, qui sont de 2 à 7 N/mm². Il apparaît donc qu'il n'y ait pas de normes actuelles couvrant correctement la traditionnelle chaux faiblement (légèrement) hydraulique C1.

Chaux grasse : auparavant nommée chaux en pâte de classe A, ayant une bonne malléabilité, classifiée aujourd'hui par le BS-EN 459-1 comme chaux calcium (chaux calcium 90).

Chaux en pâte/en mottes : chaux éteinte, ayant été stockée dans un excédent d'eau pour la rendre plus grasse. Ce procédé permet aussi aux particules moins réactives de s'hydrater avant l'utilisation. A l'époque romaine, la chaux en pâte utilisée pour les plâtrages de haute qualité devait être stockée pendant trois ans avant son utilisation. On fait régulièrement la distinction entre une pâte préparée à base de chaux éteinte à sec et une pâte préparée à base de chaux vive, la dernière étant considérée comme supérieure lorsqu'une bonne fluidité et une bonne carbonatation sont requises. La différence est due aux différences de taille et de forme des cristaux. Une pâte ayant une bonne maturation se désagglomère, se dissout et re-précipite pendant le stockage formant ainsi un produit plus fin. La chaux éteinte à sec est composée principalement de particules bien plus grossières et nécessite d'être transformée en pâte puis laissée en maturation pour donner de meilleurs résultats.

Chaux éteinte, (1) éteinte à sec : hydroxyde de carbone sous forme de poudre sèche. La chaleur émise par le procédé d'extinction de la chaux est nécessaire à la dissipation de toute humidité excessive avant l'emballage dans des contenants tels que des sacs en papier ordinaire ou disposés dans des cuves en vrac. **(2) chaux en pâte/en mottes :** hydroxyde de calcium sous forme de pâte.

Chaux hydraulique : classe des chaux naturelles hydrauliques, CNH, préparées par le chauffage de calcaires ou craies contenant des impuretés argileuses. Elles sont constituées principalement de silicates et aluminates de calcium associés à un excédant de chaux libre et ont la propriété de pouvoir prendre et durcir sous l'eau. La carbonatation par réaction avec le dioxyde de carbone de l'air contribue aussi au processus de durcissement. Les chaux hydrauliques artificielles, classe CHZ, peuvent contenir des matériaux hydrauliques ou des pouzzolanes, y compris des ciments de Portland. Les chaux hydrauliques sont les plus adéquates dans le cas de construction sujettes à de fréquentes saturations ou à une humidité constante et dans le cas d'ouvrages hydrauliques tels que les canaux, les murs portuaires ou les piles de ponts.

Chaux libre : chaux qui dans un mortier reste à l'état d'hydroxyde de calcium et n'a pas encore carbonaté ou n'a pas été combiné avec une pouzzolane ou un autre minéral ou composant. Elle est plus soluble que le carbonate de calcium, peut être transportée sous forme de solution et peut servir à réparer de fines fissures : réparation autogène. Ne pas confondre avec la chaux libre présente sous forme d'oxyde de calcium dans le ciment de Portland en moindre quantité et étant une mesure de l'efficacité du chauffage, c'est-à-dire qu'une faible quantité de chaux libre équivaut à un chauffage satisfaisant d'un ciment de Portland.

Chaux modérément hydraulique : auparavant chaux de classe C2 ayant une résistance de force de compression de 2 à 6 N/mm². La chaux naturelle hydraulique CNH 3,5 la remplace aujourd'hui mais offre une plus ample résistance aux forces de compression, allant de 3,5 à 10 N/mm² voire jusqu'à 14 N/mm² à 28 jours. La chaux C2 est supposée prendre sous l'eau en environ six à huit jours, mais cette durée peut être plus longue.

Chaux naturelle hydraulique : chaux hydraulique produite par le chauffage à haute température d'un mélange d'argiles, calcaires ou craies trouvées dans la nature. Dans le BS EN 459-1, on leur donne la dénomination CNH associée à une valeur numérique (2, 3,5 ou 5) selon leur activité hydraulique.

Chaux non-hydraulique/aérienne : chaux généralement à haute teneur en calcaire de grande pureté, chaux pure 90, peut aussi être dolomitique.

Chaux pure : '*calcium lim'e*' : nouveau terme introduit dans le BS EN 459-1 faisant référence à la chaux vive, l'hydroxyde de calcium en poudre sèche (voir chaux hydratée) ou mastic. Autre terme souvent utilisé : chaux à air.

Chaux vive : chaux ayant été chauffée à haute température et non éteinte. Appelée 'vive' en raison de sa vive affinité pour l'eau. Peut être produite selon des combinaisons variées d'oxyde de calcium, d'oxyde de magnésium ou de mélange d'oxydes de calcium et magnésium et sous des formes variées allant de la poudre aux gros morceaux en passant par les cailloux.

Ciment : liant à prise rapide pour la fabrication de mortiers, enduits, plâtres et bétons.

Le ciment le plus répandu est le ciment de Portland. Il est aussi utilisé avec ce qu'on pouvait appeler les ciments romains et naturels, aujourd'hui nommés plus correctement les chaux hydrauliques, préparées autrefois en chauffant des argiles calcaires ou nodules d'argile calcaire (comme les Septaria ou formations rocheuses de même composition). La différence avec les autres chaux hydrauliques est que les ciments doivent être broyés très finement afin qu'ils puissent réagir rapidement avec l'eau.

Ciment de Portland : fabriqué par frittage d'un mélange spécifique de matériaux bruts (métal brut, solide ou liquide), contenant des éléments le plus souvent sous formes d'oxydes, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , et de petites quantités de matériaux autres. Ce clinker hydraulique est constitué de deux tiers de la masse de silicates de calcium ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ et $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), le reste étant de l'aluminium et du fer contenant des phases de clinker et autres composants. Le clinker est broyé finement avec une petite proportion de gypse qui pourra permettre de maîtriser la prise rapide, mélangé puis mis en vrac ou compacté dans des sacs de papier. Aujourd'hui désigné comme CEM I en accord avec le BS EN 197-1.

Clinker, clinker de ciment : matériau dur et solide formé par la fusion des phases liquides et des composés cristallins du ciment lorsque les matériaux sont chauffés à très haute température

CNH : abréviation pour Chaux Naturelle Hydraulique.

Comblement : petites pierres insérées dans les joints afin de stabiliser la maçonnerie et de réduire le volume de mortier nécessaire.

Consistance : mesure de la malléabilité d'un mortier pouvant être transporté, posé, et terminé facilement sans ségrégation.

Construction : structure globale constituée de plusieurs éléments, chacun d'entre eux devant être considérés séparément afin que tous les besoins concernant l'orientation, la durabilité et la nature physique de l'élément soient pris en compte lors de la spécification des matériaux.

Contraction, rétrécissement : contraction en taille, en général due au séchage, et cause majeure de fissures dans les mortiers, enduits et plâtres, qui ne sont pas protégés tant qu'ils n'ont pas suffisamment de solidité pour résister aux forces de contraction.

COP : abréviation pour Ciment Ordinaire de Portland.

Craie : forme commune de carbonate de calcium ayant une structure très fine. Calcaire de l'ère crétacée, généralement très poreux et se colorant du blanc au gris.

Cuisson : procédé thermique par lequel des matériaux sont cuits, souvent dans une étuve, pour éliminer l'eau qui y est contenue et créer un changement minéral, par exemple, changer des calcaires argileux en chaux hydraulique.

CVP : abréviation pour Cendre Volante Pulvérisée (voir cendre volante).

Dosage : procédé par lequel les matériaux sont ajoutés dans le mélangeur selon les quantités prescrites, ces constituants formant donc une seule charge.

Durabilité : faculté d'une construction à résister aux dégradations causées par les conditions environnementales et aux mécanismes de détérioration durant sa vie.

Durcissement : processus par lequel un mortier ou plâtre perd de sa fluidité par l'évaporation de l'eau des maçonneries dans l'air, par le commencement de la prise hydraulique, par carbonatation ou par une combinaison de ces mécanismes.

Elément de maçonnerie : brique, pierre ou parpaing à partir desquels sont construits des murs.

Encoche : entaille sur la surface d'appui d'une brique destinée à améliorer l'adhérence avec le mortier et augmenter la résistance aux forces latérales. L'encoche peut être sur une ou deux des surfaces d'appui de la brique. Si cette encoche ne se trouve que sur l'une des deux surfaces, la meilleure résistance aux forces latérales sera obtenue en plaçant cette surface vers le haut.

Enduit : mortier-plâtre spécialement élaboré pour être appliqué en extérieur.

Etat fluide : état humide initial d'un mortier lors duquel il est encore malléable.

Extinction : action de la chaux vive réagissant avec l'eau. Si on a un excédent d'eau, une pâte se formera ; dans le cas la quantité d'eau est maintenue au minimum, de la chaux éteinte à sec se formera. L'extinction peut aussi se produire lorsque la chaux vive est exposée à l'air, mais ceci dépendra du volume d'air et du taux d'humidité.

Façade : face exposée d'un élément ayant reçu des finitions, un revêtement de protection ou une attention particulière lors de l'utilisation de matériaux naturels afin de perfectionner son apparence.

Four : structure de briques ou pierres, ou de métal couvert de briques, dans lequel des matériaux sont chauffés pour provoquer des réactions chimiques, telles que des calcinations de la chaux consistant en un rejet de dioxyde de carbone et une formation de carbonate de calcium.

Floculation : assemblage ou coagulation de fines particules dispersées formant ainsi de larges agglomérats.

Foisonnement : propriété des sables à augmenter en volume lorsqu'ils sont mouillés réduisant ainsi la densité en vrac et pouvant entraîner des erreurs de dosage si le dosage n'est effectué que par volume sans compensation.

Fragilité: tendance aux fissures si soumis à des forces de flexion.

Frittage, fritté : se dit d'un matériau ayant été porté à une température suffisamment haute pour qu'il commence à fusionner en une seule masse.

Gravillon : agrégat fin produit en broyant ou tamisant des roches naturelles ou des graviers fins.

Granulométrie : proportion par masse d'un agrégat selon les différentes tailles de particule.

Hydroxyde de calcium : matériau composé d'oxyde de calcium combiné à de l'eau et de la chaux éteinte ou hydratée, de la chaux en pâte et du lait de chaux, selon la quantité résiduelle d'eau dans le mélange.

Indicateur de phénolphthaleïne : indicateur chimique largement disponible pouvant différencier les conditions acides des conditions basiques. Par conséquent, il restera incolore en contact avec le carbonate de calcium mais deviendra d'un rouge-bordeaux foncé au contact de l'hydroxyde de calcium. Si on en pulvérise sur une zone de mortier récemment cassée, on pourra voir le niveau de carbonatation.

Jauge : récipient d'un volume spécifié dans lequel les constituants d'un mortier peuvent être mesurés pendant le dosage.

Joint : espace entre les éléments de maçonnerie, généralement rempli de mortier afin de distribuer les charges verticales de manière régulière, améliorer la résistance aux forces latérales et maîtriser les infiltrations d'eau.

Liant : matériau formant la matrice entre les particules d'agrégat dans le mortier, le plâtre, l'enduit ou le béton. Pâte fluide au départ mais devant se solidifier afin de maintenir l'agrégat consistant. Généralement utilisé avec des chaux pures, chaux hydrauliques, des ciments et gypses et à leurs combinaisons avec des pouzzolanes.

Liant hydraulique : liant dont la prise et le développement de la solidité se font par réaction chimique avec l'eau, il pourra prendre sous l'eau.

Maçonnerie : assemblage de briques, pierres ou parpaings scellés dans le mortier.

Malléabilité : facilité avec laquelle un mortier peut être utilisé. Cette propriété importante est difficile à définir, mais elle induit une grande fluidité et une bonne rétention de l'eau. Un liant très fluide, tel qu'une bonne chaux en pâte ou de la chaux pure hydraulique, peut permettre l'utilisation de sables plus grossiers qu'avec, par exemple, un liant cimenteux. Ces sables grossiers contribuent à la durabilité du mortier.

Matière de charge : calcaire broyé ou autre minéral inerte ayant au minimum la finesse d'un ciment et utilisé comme complément du liant pour remplir les vides du sable.

Maturité : degré auquel un mortier progresse jusqu'à sa complète hydratation. Le temps de maturation est affecté par la température augmentant avec la température et diminuant avec la baisse de l'humidité. Il est aussi affecté par la présence d'accélérateurs et de retardateurs.

MCH : abréviation pour Mortier de Chaux Hydraulique.

Métakaolin : pouzzolane aluminosilicate hautement réactive produite par calcination de kaolin (argile utilisée pour la porcelaine).

Microsilice, poussière de silice : pouzzolane siliceuse extrêmement fine et hautement réactive, sous-produit de l'industrie de ferro-silicium.

Mortier : matériau de construction, généralement constitué de sable, d'un liant et d'eau ; fluide et pouvant être posé à la truelle ; devenant solide une fois posé et pouvant être utilisé pour créer une assise aux éléments de maçonnerie et les faire adhérer ensemble.

Mortier de chaux hydraulique : mélange d'une chaux hydraulique, d'un agrégat et d'eau.

Mortier riche : mortier contenant une proportion de liant ou d'agrégat supérieure à la normale ou contenant un liant particulièrement lisse. Il s'écoulera particulièrement bien et sera facile à utiliser mais, à moins que la quantité d'eau soit soigneusement maîtrisée, il sera plus enclin à la contraction.

Maçonnerie de moellons : murs construits à partir de pierres rugueuses, non pas pour produire de fines jointures, mais parfois équarris et arasés.

Oxyde de calcium : fait référence à la chaux vive, composé chimiquement d'une part de calcium pour une part d'oxygène.

Parpaing : élément de maçonnerie.

Pâte/motte : voir chaux en pâte.

Perméabilité : l'aise avec laquelle un liquide ou vapeur pourra traverser un matériau solide.

Pierre : élément de maçonnerie fait de roche naturelle.

Pierre de taille : maçonnerie cubique et régulière.

Pigment : matériau colorant à partir duquel des peintures décoratives, des mortiers, des enduits ou des bétons peuvent être fabriqués. On peut les trouver sous forme de poudre ou dilués dans l'eau, et dans le cas de l'utilisation pour un mortier, ils doivent être stables en conditions basiques.

Porosité : état d'un matériau pourvu de pores ou vides.

Pouzzolane : matériau contenant généralement des aluminates et silicates réactifs, qui se combinera à température normale à la chaux en présence d'humidité pour former les hydrates stables du liant. Il peut être utilisé avec une chaux grasse afin de transmettre à un mortier des propriétés hydrauliques. Un broyage fin améliorera sa réactivité mais peut aussi, avec des matériaux poreux, accentuer la demande en eau diminuant ainsi, en partie ou entièrement, le gain de solidité.

Pozzolana : matériau d'origine volcanique originaire de la région du Pozzuoli au pied du Vésuve en Italie. Il était utilisé dans les mortiers antiques et a donné son nom aux pouzzolanes génériques.

Prise : état auquel une pâte résistera à la force d'une sonde standard. Dans le cas des chaux hydrauliques, il s'agit du moment où le processus d'hydratation devient continu. Dans le cas des mortiers, cela peut aussi inclure l'effet de raidissement par la perte d'eau.

Protection : procédé consistant à couvrir le travail fini, afin de résister aux effets des conditions atmosphériques pouvant geler ou dessécher, jusqu'à ce que la réaction hydraulique et/ou de carbonatation soit suffisamment avancée pour être auto-protectrice.

Raidissement : première étape une fois qu'un mortier n'est plus malléable, cela étant dû principalement à l'aspiration de l'eau par les éléments de maçonnerie.

Raviver : procédé consistant à retravailler un mortier ayant été mélangé auparavant puis laissé en attente avant usage. Pour les mortiers contenant de la chaux hydraulique, ceci ne doit s'effectuer que si l'on peut retrouver la malléabilité souhaitée sans ajouter de trop grandes quantités d'eau.

Réactivité (de la chaux) : capacité d'une chaux à créer rapidement des réactions chimiques, particulièrement lors du processus d'extinction. Elle dépend en partie du calcaire utilisé et surtout de la température et la durée de cuisson. Les chaux réactives ont une structure poreuse et ont un grand nombre de faces, les chaux cuites à haute température sont moins réactives et les chaux trop cuites ou calcinées sont complètement inertes.

Remontée : processus au sein d'un mortier frais lors duquel l'eau se sépare du mélange en raison d'un manque de cohésion et d'une élaboration défectueuse du mélange.

Répartition des tailles de particules : proportions de particules de différentes tailles d'un matériau. Dans le cas d'un sable utilisé pour un mortier, les meilleurs résultats seront obtenus si l'on utilise un sable ayant une répartition égale entre au moins quatre différentes tailles.

Résistance à la compression : propriété d'un mortier ou béton solidifié à résister aux forces de compression et peut être exprimée en newton par mm² ou en mégapascals par mm².

Résistance à la flexion : propriété d'un mortier ou béton solidifié à résister aux forces de flexion et peut être exprimée en newton par mm₂ ou en méga-pascals par mm₂.

Résistance au gel : capacité à résister à un nombre donné de cycles de gel et dégel en fonction de l'orientation environnementale prévue.

Résistance aux sulfates : capacité d'un mortier ou liant à résister à l'expansion due à la réaction avec des sels sulfatés naturels.

Rétention de l'eau : capacité d'un mortier à retenir l'eau qu'il contient en dépit de la force d'aspiration des éléments de maçonnerie. Jusqu'à un certain point, l'absorption de l'eau des mortiers améliore l'adhérence entre la maçonnerie et le mortier. En revanche, si l'eau est absorbée trop rapidement, le mortier devient impossible à travailler et la qualité de la maçonnerie se perdra.

Retravailler : procédé consistant à retravailler un mortier ayant été mélangé auparavant puis laissé en attente avant usage. Pour les mortiers contenant de la chaux hydraulique, ceci ne doit s'effectuer que si l'on peut retrouver la malléabilité souhaitée sans ajouter de trop grandes quantités d'eau.

Rocaillage en plein : insertion de petits morceaux de pierre ou de carreaux dans un mortier sur la façade des murs leur conférant ainsi une grande solidité ainsi qu'un aspect décoratif.

Rocaillage à la terre cuite : insertion de petits morceaux de terre cuite dans un mortier sur la façade des murs leur conférant ainsi une grande solidité ainsi qu'un aspect décoratif.

Sable : particules de roches issues d'un broyage ou de l'érosion ayant en général une haute teneur en silice, plus petites que les gravillons mais plus grosses que les sédiments, leur diamètre allant la plupart du temps de 0,06 mm à 5 mm. Les particules doivent être dures et ne doivent pas s'effriter par abrasion. Le sable est utilisé comme agrégat dans les mortiers, les enduits et les plâtres et est un des composants du béton.

Scories de haut-fourneau en granules : aluminosilicate de calcium sous forme vitrifiée se formant rapidement lors de l'extinction des scories d'un haut fourneau de ferrometallurgie. Une fois broyé aussi finement que des ciments, ce matériau aura les propriétés des pouzzolanes selon aussi sa composition chimique et la rapidité de l'extinction.

Sédiment : argiles et fines particules de moins de 75 microns présents dans les agrégats réduisant la résistance et la durabilité en augmentant l'exigence en eau et empêchant une bonne adhérence entre le liant et la surface de l'agrégat. Un simple test de la sédimentation du terrain est disponible pour les contrôles de routine du chantier.

Sel : composé chimique formé lorsqu'un acide réagit avec un alcali. Les sels sont nommés selon l'acide et le métal alcalin desquels ils proviennent. L'action de l'acide sulfurique ou de l'un de ses dérivés sur un composé de calcium forme du sulfate de calcium, à la fois de manière naturelle ou bien en milieu industriel.

Silicates : forme la plus commune de silice que l'on trouve dans les roches naturelles, et composant jusqu'à 95% de la croûte terrestre. Ils se forment aussi lorsque des matériaux contenant de la silice sont chauffés avec des composés de calcium, magnésium et aluminium ainsi que lors de la fabrication de la chaux hydraulique.

Silicates de calcium : minéraux formés quand des argiles ou autres matériaux siliceux sont chauffés avec du calcaire. La bélite, silicate de di-calcium, en est la forme à réaction lente et se transforme en alite, silicate de tri-calcium, plus réactive, si chauffée avec la chaux disponible à de plus hautes températures. Les silicates de calcium réagissent avec l'eau, réaction hydraulique, formant les composants cimentaires principaux des mortiers de chaux hydraulique et de ciment et du béton.

Siliceux(se) : se dit d'un matériau contenant du silicium, sous forme généralement d'oxyde, de la silice ou l'un de ses composants.

Temps de repos : processus de prise et de solidification d'un mélange fluide contenant un liant cimentaire.

Trass : matériau d'origine volcanique aux propriétés de pouzzolanes, originellement de la vallée du Rhin.

Tuile, carreau : pièce en terre cuite utilisée pour les toits, les sols et les murs.

Vides : espace laissé entre les grains de sables et/ou les particules d'agrégat devant être remplis par une pâte ou liant et de l'eau pour obtenir un mortier malléable et durable.

Appendice A

Procédé pour l'évaluation de la conformité des mortiers élaborés sur le chantier

A.1 Généralités

Il est rarement économique de mettre en place sur le chantier toutes les procédures d'échantillonnage et de tests destinées à s'assurer que les mortiers ont toutes les propriétés requises (durabilité, perméabilité, fluidité). Dans la plupart des cas, il suffira de vérifier que le travail est bien fait sur le chantier et que les mélanges sont dosés à l'aide de jauges approuvées. Lorsqu'un contrôle plus détaillé est justifié, la solidité du mortier produit sur place offre un moyen simple pour vérifier que celui-ci est en accord avec le mortier déterminé par le cahier des charges. Le procédé suivant assurera que les dérives significatives, par rapport au mortier du cahier des charges, soient détectées et produira assez d'information et/ou d'échantillons afin de déterminer le degré de défaillance et ses conséquences.

A.2 Essais de mélanges et base de données

Les caractéristiques essentielles du mortier déterminé doivent être établies selon les nécessités pour pouvoir par la suite maîtriser la conformité. Les procédés sont les suivants :

- Lorsque le dosage se fait par volume, utiliser la même jauge pendant les tests que sur le chantier et déterminer le poids des contenus.
- Relever la masse de chacun des constituants.
- Mesurer la quantité d'eau contenue dans le sable et l'effet de la variation de la quantité d'eau sur la masse de sable à partir de la jauge déterminée.
- Préparer le mortier en utilisant un malaxeur type en respectant la série d'ajout et le temps de mélange spécifié pour le lieu.
- S'accorder avec le maître d'œuvre en ce qui concerne la malléabilité et noter cette information avec la méthode de mesure, par exemple table d'écoulement, balle...
- Utiliser la clause 10 du BS 4551 pour déterminer la densité fluide et la quantité d'air.
- Le démoulage peut être augmenté de 7 jours pour prévenir tout dégât des mortiers plus faibles.
- Tester la densité et la résistance à la compression à 28 et 91 jours. Echantillonner les mortiers, préparer des spécimens pour les tester dans des moules métalliques et les laisser reposer selon le BS 4551.

A.3 Evaluation des mortiers élaborés sur place

Lorsque l'on teste un mortier élaboré sur place par rapport à sa conformité avec le mortier de référence, des échantillons de mortier doivent être préparés ainsi que des spécimens à tester comme décrit dans la section A.2. De plus, les étapes suivantes doivent être suivies le plus fidèlement possible et en accordance avec le cahier des charges :

- Vérifier la malléabilité du mortier utilisé sur le chantier.
- Contrôler les températures de stockage des spécimens tests sur le site.
- Faire parvenir les échantillons aux laboratoires dès qu'ils sont suffisamment solidifiés pour qu'ils ne puissent plus se déformer.
- Pour un dosage de mortier différent, garder chaque matériau séparément, emballer dans des sacs de plastique étiquetés avant de faire parvenir au laboratoire. Ceci servira à la comparaison avec les échantillons préparés selon la section A.2 ci-dessus.
- Démouler, laisser poser et tester selon la section A.2 ci-dessus.

Toute variation de la résistance à la compression supérieure à 35% de la valeur décrite en A.2 à 28 jours, ou supérieure de 20% à 91 jours, doit normalement être considérée comme importante et doit mériter une investigation. Les causes de ces variations peuvent être :

- Une variation importante du sable, de l'eau ou de la granulométrie.
- Des variations de dosages (poids).
- Des changements importants de la densité fluide et/ou du contenu d'air.
- Des changements dans les constituants des matériaux.
- Des variations de température pendant le stockage sur le chantier ou en laboratoire.
- Des erreurs dans la procédure de tests.

Les informations présentées dans le procédé ci-dessus doivent être appropriées pour établir les causes des variations et pour leur importance quant à la qualité de service attendue.

Appendice B

Ajouts

B.1 Pouzzolanes

Réactivité hydraulique

La réactivité des pouzzolanes peut être déterminée de différentes manières, la plupart du temps grâce à leur combinaison avec l'hydroxyde de calcium. Les implications pratiques de la réactivité peuvent être déterminées en testant la résistance d'un mortier contenant des pouzzolanes et ayant une malléabilité normale pour un mortier de chaux hydraulique. La réactivité peut être mesurée en comparaison avec la quantité de chaux hydraulique ajoutée pour obtenir une résistance équivalente. Cette méthode prend en compte tout changement dans la quantité d'eau nécessaire au mélange due à l'utilisation de pouzzolanes. Elle permet aussi d'évaluer la performance du mélange en termes de durabilité en comparaison avec les mélanges de chaux hydraulique. Lors de l'évaluation de la performance des mélanges modifiés par l'ajout de pouzzolanes, il est important de prêter attention à tout changement de densité du mortier et de chacun des constituants de la pouzzolane qui pourrait influencer sur la résistance aux agents chimiques.

Le tableau B1 présente la réactivité de différentes pouzzolanes testées dans des mélanges de proportion 1:3 avec de la chaux naturelle hydraulique CNH 3,5 pendant le projet Foresight. Dans certains cas, la réactivité hydraulique est négative, ce qui correspond généralement à une augmentation de la quantité d'eau nécessaire au mélange conjointement à une basse hydraulité.

Certaines pouzzolanes, telles que les microsiles, des scories en granules et du métakaolin, voient leur réactivité se réduire avec le temps, sans doute par épuisement de la chaux présente. D'autres, comme la poudre de terre cuite, la cendre volante, le trass et la pozzolana voient leur réactivité augmenter avec le temps. La réactivité des pouzzolanes ayant une forte capacité d'absorption de l'eau, trass et pozzolana, semble augmenter avec l'augmentation de la quantité de pouzzolane.

Propriétés du mortier solidifié :

Les pouzzolanes modifient la microstructure du mortier. Celles ayant une forte hydraulité développent et densifient la structure de la pâte réduisant ainsi la perméabilité et augmentant la fragilité. Les mortiers contenant plus de 20% de métakaolin ou de microsilice par volume de chaux, peuvent devenir moins perméables et plus cassants que les mortiers au ciment de Portland.

La composition chimique de certaines pouzzolanes peut affecter la durabilité du mortier. Le métakaolin, avec sa grande proportion en aluminium réactif, peut réduire de manière importante la résistance aux sulfates des mortiers de chaux. D'autres pouzzolanes affectent la durabilité des mortiers proportionnellement à leur effet hydraulique sur la solidité. Les pouzzolanes poreuses, ajoutées aux mortiers afin d'augmenter la perméabilité, réduisent petit à petit la solidité.

Type de pouzzolane	Quantité ajoutée (% par volume de CNH)	Réactivité (facteur pour un volume équivalent de CNH 3,5)			
		à 28 jours	à 56 jours	à 91 jours	à 182 jours
Métakaolin	10	10	10	7	8
	20	10	10	8	8
	30	13	10	9	9
Poudre de terre cuite jaune (fine)	10	-1	0	0	0
	20	0	1	0	1
	30	0	1	1	1
Poudre de terre cuite rouge (fine)	10	-1	0	0	0
	20	0	0	0	1
	30	0	0	0	1
Poudre de terre cuite rouge (moyenne)	10	-1	0	0	0
	20	0	0	0	1
	30	0	0	0	1
Poudre de terre cuite rouge (grossière)	10	-1	0	0	0
	20	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
Scories de haut-fourneau en granules	10	7	6	4	4
	20	8	6	5	4
	30	7	6	4	4
Cendre volante	10	-1	1	1	2
	20	0	1	1	3
	30	0	2	2	3
Trass hollandais	10	-1	0	0	0
	20	0	1	1	1
	30	1	1	1	1
Pozzolana italienne (grossière)	10	-1	-1	0	0
	20	-1	0	1	1
	30	0	1	1	2
Pozzolana italienne (broyée)	10	0	0	0	0
	20	0	1	1	1
	30	0	2	2	2
Microsilice	10	8	8	6	7
	20	10	8	7	7
	30	10	8	6	6

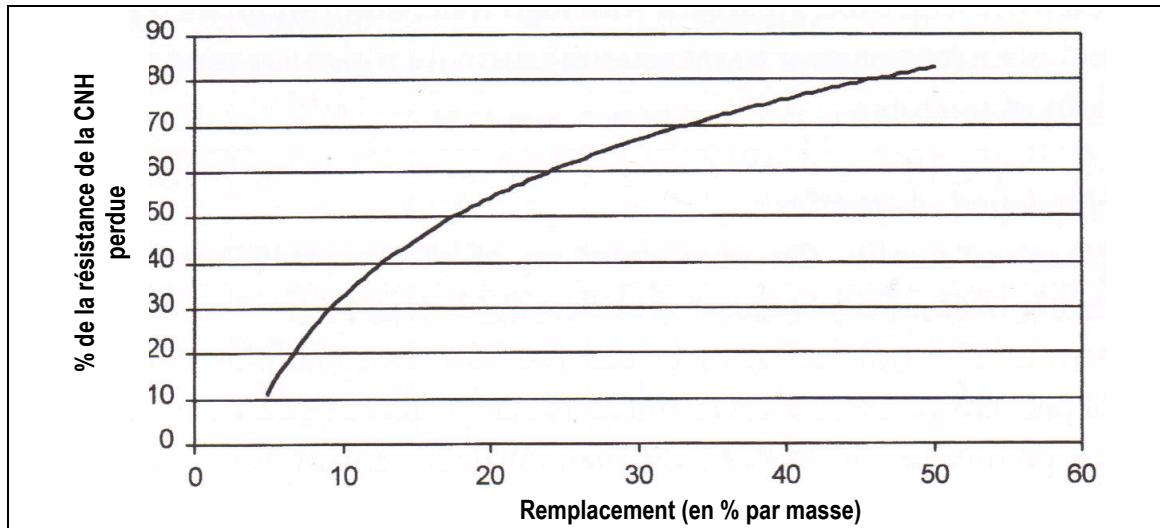
Tableau B1 : réactivité de résistance à la compression des pouzzolanes pendant le projet Foresight.

B.2 Chaux pure

L'utilisation de chaux pure en remplacement de la chaux hydraulique ou pour modifier leurs propriétés, a été examinée. Le graphique B1 présente les effets du remplacement (en pourcentage par masse) sur la résistance à la compression pour un mortier dont la quantité de liant est égale à la masse de chaux hydraulique additionnée à la chaux pure. Dès le départ, on observe une réduction de la résistance puisque la quantité d'eau

nécessaire pour l'usage de la chaux pure 90 est supérieure à celle dont on a besoin avec une CNH 3,5. La graphique peut permettre d'estimer l'effet de la chaux pure, le 'jaugeage', sur la résistance à la compression. L'effet sur la résistance à la flexion n'a pas été très marqué afin que la plasticité, estimée par le rapport résistance à la flexion/résistance à la compression, soit augmentée d'environ 20% par rapport à la même résistance à la compression de la chaux hydraulique seule. Les propriétés plastiques sont en général améliorées par l'ajout de chaux pure, ajout qui crée une consistance plus 'crémeuse' au mélange.

La résistance au gel et dégel des mortiers contenant de la chaux pure additionnelle est similaire à celle des mortiers de chaux hydraulique avec une résistance à la compression similaire. La résistance aux sulfates est bonne. La carbonatation et la perméabilité capillaire sont légèrement améliorées.



Graphique B1 : effet sur la résistance à la compression du remplacement de la CNH 3,5 par de la chaux pure.

Sur la base de ces tests, il y a des avantages à ajouter de la chaux pure à des mortiers à partir du moment où la réduction de la solidité et la résistance au gel et dégel sont pris en compte lors de l'élaboration du mortier.

B.3 Chaux en pâte/en mottes

La performance de la chaux hydraulique à laquelle on a ajouté de la chaux en pâte a été observée en parallèle avec la chaux pure. La quantité d'eau ajoutée était en général plus grande, reflétant ainsi la nécessité de plus d'eau pour la chaux en pâte. Les propriétés du mortier fluide montrent une accentuation de la consistance 'crémeuse', encore plus importante que celle des mortiers avec un ajout de chaux pure.

B.4 Matière de charge

La performance des mortiers de chaux hydraulique contenant des matières de charge fines, en général de la craie ou des calcaires broyés, était similaire à celle des mortiers dont la granulométrie du sable a été augmentée. Les propriétés étaient meilleures en comparaison aux mortiers dont le sable était déficient en fines particules, cependant la quantité d'eau nécessaire était plus importante et les résistances ont été diminuées en comparaison à des sables bien calibrés. Lors de la fabrication, il est recommandé que les matières de charge soient traitées comme faisant partie de l'agrégat.

Appendice C

Microstructure des mortiers

Photos des vues au microscope disponibles dans la publication originale en anglais du livre Hydraulic Lime Mortar.

Traduit de l'anglais par Virginie PITZ.