

Innovation dans la maçonnerie : la technique de pose à joints minces

REX REIMS ET BÉTHENY _____

Auteur

Jean-Daniel MERLET - CSTB

Rédaction - Mise en page

Christophe PERROCHEAU - Dac Communication

Photos

Groupe de travail «joints minces»

Eric BERNATH et Louise HARVEY

**Plan Construction
et Architecture - Chantier 2000**

Directeurs de rédaction

Guy GARCIN et Hervé TRANCART

Communication

Ellen OUAZAN

Arche de la Défense

92055 PARIS LA DÉFENSE Cedex 04

Tél : 01 40 81 24 33 - Fax : 01 40 81 23 82

Sommaire

► INTRODUCTION	p 3
► L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ DES MAÇONNERIES À JOINTS MINCES EN FRANCE p 6	
L'identification de procédés de maçonnerie	p 6
Les essais en laboratoire	p 9
Un chantier-test	p 10
► LES MAÇONNERIES A JOINTS MINCES À L'ÉPREUVE DES CHANTIERS	p 12
Vers une codification technique des maçonneries à joints minces	p 12
Les enseignements des chantiers expérimentaux	p 15
► LES PERSPECTIVES DE LA TECHNIQUE A JOINTS MINCES	p 24
► ANNEXE : Extraits du journal « Chantiers 2000 »	p 27
Blocs montés à joints minces de colle	p 27
Interview : Pierre Possémé, PDG de Bâtiment Associé	p 29
► BIBLIOGRAPHIE	p 31

Introduction

L'importance de la maçonnerie dans la construction en France est souvent sous-estimée.

Sait-on qu'en construction neuve, pour la maison individuelle (un marché de 67 milliards de F. h. t. en 1995), la part de la maçonnerie dans les techniques de murs est très majoritaire : 95 % qui se partagent entre 70% pour les blocs de béton, 20% pour les briques de terre cuite, et le reste pour le béton cellulaire (1%), la pierre (1%), et des solutions mixtes. Pour le logement collectif, la maçonnerie est aussi utilisée en structure porteuse : sa part de marché est de 10% (structure de beaucoup de petits immeubles bas). Mais la maçonnerie est la solution constructive souvent retenue, même dans le cas d'immeubles importants, pour les murs de remplissage (45% des surfaces vues des logements collectifs sont en maçonnerie).

Logement individuel et logement collectif, c'est déjà plus de la moitié du marché de la construction neuve. Et la part de la maçonnerie dans les techniques de construction du tertiaire reste importante. On mesure donc les enjeux économiques qui sont attachés à des progrès significatifs dans une technique aussi répandue dans la construction, et qui paraît bouger si peu. Sans parler de l'amélioration nécessaire des conditions de travail du métier de maçon, jugé pénible et sale, et considéré comme peu attractif pour les jeunes.

Le présent cahier expérimentation présente la synthèse d'une démarche de recherche-expérimentation exemplaire, soutenue par le plan construction et architecture dans le cadre du programme Chantier 2000.

Le projet, centré sur le développement de la technique à joints minces de mortier-colle dans la maçonnerie (béton et brique) a vu la coopération des instances professionnelles (Union Nationale de la Maçonnerie - UNM; Syndicat National des Mortiers Industriels - SNMI) et des centres techniques industriels (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton - CERIB; Centre Technique des Tuiles et des Briques - CTTB; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB).

Le CSTB a coordonné le projet et des professionnels (industriels fabricants d'éléments de maçonnerie et de mortiers; une entreprise; un architecte; un maître d'ouvrage) ont été associés à la démarche pour permettre la validation des résul-

tats issus des recherches et expérimentations en laboratoire ou sur le chantier.

Le groupe de pilotage, animé par Jean-Daniel Merlet (CSTB), et constitué de :

MM. Albenque-Regrettier (CTTB)
Dran-Herrera (CERIB)
Debeaupuis-Jeuneau-Thomasson (SNMI)
Collin (GPS)
Becht (Briques et Tuiles d'Alsace)
Gauer (Sturm - TRBR)
Grosjean-Possémé (UNM)
Blache - Delmotte (CSTB)
Chatry (PCA)
Breton (Foyer Rémois)
Batalla (architecte)

a mené les différentes phases de la recherche et permis la rédaction de cette synthèse collective. Le rédacteur a tenté de placer le contenu de cette étude dans le cadre plus large des perspectives auxquelles la maçonnerie peut désormais prétendre afin qu'elle retrouve en France une place qu'elle a perdue dans le demi-siècle qui s'est écoulé, quelque peu étouffée par la main-mise des techniques de béton armé ou banché depuis la période de la reconstruction après-guerre.

Un peu d'histoire

Depuis plusieurs années, le Plan Construction et Architecture s'est attaché à rechercher des innovations dans la maçonnerie. Diverses voies ont été suivies : murs doubles, maçonnerie armée, petits éléments apparents de maçonnerie, maçonnerie posée à sec et même maçonnerie apparente posée à sec. Mais c'est l'amélioration de la maçonnerie courante - l'essentiel du marché - qui semblait la plus productive, et réduire l'épaisseur des joints a été la direction de recherche jugée la plus réaliste, compte tenu des conditions actuelles de production des blocs en béton et des briques. C'est en 1992 que ce programme a été initié. Monter de petits éléments à joints minces de mortier-colle, d'une épaisseur de l'ordre de 2 à 3 mm (contre 10 mm environ dans la maçonnerie traditionnelle), c'était transposer des applications déjà largement éprouvées dans les blocs en béton cellulaire, et tentées aussi avec des blocs en pierre tendre dans les années 80 (études CEBTP-PCA.). Mais si la découpe au fil du béton cellulaire avant durcissement, le sciage en atelier de la pierre, permettent d'obtenir une précision dimensionnelle suffisante, comment faire avec des blocs moulés

puis séchés et des briques filées, puis cuites? Comment adapter les mortiers de joints, chercher de nouvelles méthodes de pose, avec de nouveaux outils?

Trois directions de recherche

Une première phase d'investigation [4], portant sur les maçonneries d'éléments en béton ou terre cuite, avait pour objectif principal d'explorer les possibilités d'adaptation des mortiers de joints aux divers niveaux de précision dimensionnelle offerts par les produits, sélectionnés mais disponibles sur le marché, ainsi qu'à leur géométrie, leur structure interne ou leur poids unitaire. Elle a bien mis en évidence les principaux critères à prendre en compte et permis d'établir les méthodes à appliquer pour orienter la recherche des compatibilités entre produits de maçonnerie présents sur le marché et mortiers de pose. Elle a également fait ressortir l'importance d'un troisième paramètre au moins aussi important, à savoir le mode d'application et les outillages adaptés à la mise en oeuvre du mortier-colle de joint. Déjà apparaissait l'intérêt de la pose à joints minces pour assurer une meilleure homogénéité mécanique traductible en bonifications dans les règles de calcul des murs, pour améliorer aussi l'aspect et le comportement des enduits (suppression des fantômes des joints, élimination des fissurations...). Une seconde phase de recherche, menée parallèlement à des réalisations expérimentales sur des chantiers, a permis d'avancer dans trois directions.

- Un premier groupe de travail a travaillé sur les processus de fabrication et de livraison : conception, optimisation des formes et dimensions; ergonomie de pose; précision dimensionnelle; définition de la gamme; analyse des points singuliers des ouvrages, des produits spéciaux; organisation des coupes éventuelles; optimisation du colisage.
- Un second groupe de travail s'est penché sur l'aide à la prescription et à l'exécution : définition des phases d'exécution; cahiers des charges pour l'établissement de logiciels simplifiés de calepinage; établissement de carnets de détail complétant ces derniers (exécution des points singuliers); analyse et définition des composants complémentaires nécessaires à l'exécution des ouvrages associés (baies notamment).
- Un troisième groupe de travail s'est préoccupé de

l'organisation et des modes opératoires de chantier : établissement de la commande à partir des logiciels de calepinage; développement, mise au point et optimisation d'outils spéciaux de pose (malaxeur à mortier-colle, outil de coupe, outil de manutention); organisation de l'approvisionnement des postes de travail; outils de manutention; adaptation du colisage (en liaison avec le premier groupe de travail).

Des chantiers expérimentaux ont permis de vérifier les hypothèses de recherche et de tirer tous les enseignements de la réalisation dans des conditions courantes de ces nouvelles maçonneries.

Trouver une organisation performante

Le problème de la précision dimensionnelle des produits est d'importance, et nécessite l'utilisation de presses à blocs, de rectifieuses performantes. Elles existent sur le marché et ont un potentiel de progrès. La maçonnerie à joints minces implique, depuis le calepinage des murs sur les plans de l'architecte jusqu'à la pose par le maçon, en passant par l'organisation de la production (colisage, livraisons, contrôle de qualité, stockage, manutention), une logistique élaborée. C'est changer les pratiques de la conception et de la conduite des travaux.

Le travail du maçon, quant à lui, évolue sensiblement : nouveaux outils d'application, pelle crantée pour les blocs, rouleau pour les briques. Et l'on n'est pas au bout des perfectionnements possibles : mise en oeuvre de quatre fois moins de matériau de joint, moins pénible et plus propre; plus grande rapidité d'exécution et facilité de réglage. Le mortier-colle est certes un matériau cher; il faut rectifier les briques. Ainsi, malgré le gain de temps de pose, les nouvelles pratiques ne sont pas encore rôdées et ne laissent pas encore apparaître leur économie potentielle.

Les pistes pour l'avenir

Pour la technique de maçonnerie à joints minces, il reste à achever l'évaluation technique de chaque système et favoriser l'assimilation par l'ensemble de la filière construction de techniques novatrices. D'ores et déjà, les applications de ces systèmes à trois composantes (blocs-mortier-outillage) ont permis de faire émerger deux pistes de développement pour la maçonnerie structurale :

- l'obtention de caractéristiques mécaniques accrues et surtout plus fiables, notamment en cisaillement, qui autorise le calcul véritable des ouvrages mais qui, pour de telles applications structurales, oblige en contrepartie à considérer de plus près le comportement parasismique des ouvrages ainsi réalisés;
- l'accroissement de la productivité de pose, ce qui amène à reconsidérer l'organisation et la répartition des tâches sur le chantier en insistant sur l'ergonomie du poste de travail et à examiner les évolutions à produire en amont et en aval de la

vérifier que la piste n'a pas déjà été identifiée comme aboutissant à une impasse.

La maçonnerie à base de petits éléments est ainsi à même de mieux répondre à une souplesse de l'organisation architecturale des plans d'étage que les techniques par grands éléments. Elle offre par exemple une plus grande possibilité de variations des types de logements d'un niveau à l'autre par une variété d'implantation des baies et des partitions intérieures, facilitée par l'utilisation de logiciels de calepinage simples (l'objectif étant de minimiser les coupes).



La vitesse de développement de cette nouvelle technique dépendra de la capacité des industriels à fournir aux entreprises des matériaux élaborés et compétitifs, de la résistance du milieu des maçons à s'adapter aux nouveaux modes de mise en oeuvre, et donc des efforts de formation des entreprises, notamment à partir des jeunes. Les responsables des professions qui, dès le début de la démarche, se sont fortement impliqués, y sont sensibles, et leurs efforts de diffusion consé-

pose proprement dite, en concertation étroite avec les autres acteurs de la construction (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'oeuvre, industriels producteurs de constituants du système, entreprises de corps d'état secondaires).

Dans ces conditions, l'improvisation doit être bannie au moment de l'exécution. Dans leur principe, l'exécution des principales configurations doit au préalable être examinée par le tenant du système, en concertation avec les autres intervenants. Il n'est pas pour autant interdit à l'entrepreneur d'imaginer de nouvelles formes d'utilisation mais il convient de le faire en amont, au stade de la préparation de chantier et en prenant la précaution de questionner le tenant du système, afin de

quents. Parallèlement à la poursuite des recherches, il serait souhaitable que se constituent des équipes, fabricants de matériels-entreprises, pour améliorer les outils de manutention sur chantier des produits, et peut-être en inventer de nouveaux, plus adaptés à la nature de ceux-ci, et à l'ergonomie de la pose.

Quand ce maillon faible sera consolidé, nul doute que l'avenir, déjà ouvert aux «nouveaux maçons», devrait être prometteur.

L'étude de faisabilité de maçonneries à joints minces en France

Les récentes tentatives pour établir des modèles analytiques ([1] [3]) adaptés aux nombreux types de maçonnerie en usage en Europe (dans le cadre de la préparation de l'Eurocode n° 6) ont mis en évidence les avantages liés à la réalisation à joints minces en matière de performances mécaniques des maçonneries de petits éléments. En outre :

- une homogénéité accrue de la maçonnerie est un facteur favorable à un meilleur comportement des enduits, en particulier pour l'étanchéité des parois aux intempéries (la maçonnerie apparente devant faire l'objet d'une approche spécifique).
- l'évolution des conditions de pose améliore les conditions de travail sur site : réduction de la pénibilité des tâches; chantiers plus propres, améliorations de nature à attirer les jeunes vers le secteur du bâtiment.

Des expérimentations préliminaires ont montré que la technique à joints minces pouvait augmenter la productivité lors de la mise en oeuvre. Toutefois, ces gains sont subordonnés tant à une évolution des éléments de maçonnerie (précision dimensionnelle en hauteur notamment, adaptation des formes pour faciliter la mise en place et le positionnement relatif des produits les uns par rapport aux autres), que des produits de joints (thixotropie de la pâte gâchée adaptée à la pose par trempage par exemple, cinétique de prise et durcissement adaptés à des cadences de pose élevées,...).

Les débouchés immédiats de ces techniques nouvelles sont à rechercher dans les petits collectifs, du fait d'une prise en compte plus favorable dans les calculs structurels; ces règles autorisent la réalisation de murs porteurs jusqu'à 4 ou 5 niveaux et l'utilisation de la maçonnerie pour l'ensemble des parties verticales de la structure. Le potentiel de développement existe également pour les bâtiments à usage industriel ou agricole pour lesquels l'absence de points singuliers favorise la simplicité et la performance de la mise en oeuvre. Au vu des potentiels de développement de cette technique nouvelle, les professions intéressées, via leurs centres techniques professionnels (CERIB-CTTB) ou syndicats professionnels (SNMI-UNM), se sont associées au CSTB pour mener dans un premier temps une analyse de faisabilité permettant l'identification de systèmes de maçonnerie (éléments de maçonnerie-produit de joint-outillage adapté), puis l'élaboration de «cahiers des charges» pour la mise au point de «procédés de maçonnerie».

► L'IDENTIFICATION DE PROCÉDÉS DE MAÇONNERIE

La première phase de l'étude se traduit par une analyse exigeante dont l'objectif est de définir les caractéristiques des constituants de base de la maçonnerie (produits en béton ou en terre cuite, produits de joints) pour obtenir un assemblage optimal au sein d'un même ouvrage (mur en maçonnerie). Dès cette phase, l'étude a exploré corrélativement les aspects techniques et économiques (coût et consommation de produits, temps de mise en oeuvre,...).



Les deux volets ont été analysés à partir d'un inventaire de l'existant, tant pour les mortiers-colles que pour les éléments en béton ou en terre cuite, de manière à sélectionner des couples «élément-produit de joint». Ces couples ont été examinés selon une double approche :

- la compatibilité entre d'une part les dimensions et les caractéristiques de l'élément et, d'autre part, la formulation du produit de joint disponible sur le marché, le plus proche du «profil» idéal (caractéristiques mécaniques, absorption et rétention d'eau, rhéologie, durabilité prévisible...)
- les consommations de produits (calibrage des joints, distribution du mortier) et la mise au point d'accessoires de pose spécifiques à chaque couple.

Les trois idées-force exposées ci-après ont guidé la sélection des couples :

- la possibilité de faire varier l'épaisseur des joints afin qu'ils s'adaptent à des produits de dimensions très précises (hauteur obtenue par rectification), mais aussi à des matériaux de qualité «courante améliorée» (disponible moyennant un outil de production performant et un soin particulier à la fabrication).

- l'éventualité de divers modes d'application du produit de joint (trempe, pelle, spatule,...) En inventoriant les outils ou tours de main.
- le traitement des maçonneries destinées à être enduites, aussi bien que des maçonneries apparentes a priori plus délicates.

des éléments, mais surtout de la précision dimensionnelle des faces de pose et d'about, en fonction des performances de l'appareil de production et/ou des moyens spécifiques mis en oeuvre (surfaçage ou rectification complémentaire). Elle a aussi porté sur la formulation des mortiers-colle, à



C'est donc à partir des potentialités des produits de maçonnerie que les projets de cahiers des charges de chacun des mortiers-colle à formuler ont été élaborés.

L'étude a abouti à la mise au point de plusieurs systèmes dans chaque famille de maçonnerie, distincts par nature de matériau (terre cuite ou béton) ou encore par destination (maçonnerie à enduire ou apparente). Chaque système se compose d'un couple élément de maçonnerie et mortier colle pour joint mince associé, mais aussi de la définition du mode d'assemblage :

- méthodes ou tours de main nécessaires à l'application du mortier;
- outillage spécifique de distribution du mortier permettant sa répartition en quantité juste suffisante afin d'éviter les débords sources de salissures tout en conservant l'ajustabilité nécessaire à la pose [4]

La démarche de mise au point s'est également appuyée sur l'analyse des formes et dimensions

partir d'une analyse critique des besoins entreprise par un jury « d'applicateurs-monteurs ». Des exercices de montage-test (application des principes de la norme X 301 «Guide d'établissement d'un cahier des charges fonctionnel») ont permis de valider les premières pistes: par exemple l'adaptation de la thixotropie pour favoriser le transfert et/ou l'étalement des temps de raidissement et de prise, de manière à éviter le fluage sous charge à l'avancement. Les démarches ont également mis en lumière et confirmé la nécessaire adéquation entre les matériaux (mortier et éléments de maçonnerie) et les modalités de mise en oeuvre (outillage, chargement et application du mortier).

La grille d'évaluation utilisée par le «jury» d'applicateurs a bien mis en évidence toutes les conditions requises pour que les produits de mortier soient aptes à l'emploi - en particulier, la possibilité systématique de rattrapage de jeu et le maintien d'un joint résiduel, compatible avec une répartition convenable des sollicitations dans l'ouvrage.

Importance (*)	Caractéristiques de mise en oeuvre	Critères d'appréciation (**)	Notes 1 à 10
	<p>Aptitude à l'emploi du produit</p> <p>1. Aspect de la poudre</p> <p>2. Facilité de gâchage (suivant outillage)</p> <p>3. Temps de repos du mortier</p> <p>4. Facilité de mise en place (suivant outillage)</p> <p>5. Durée pratique d'utilisation (DPU)</p> <p>6. Facilité d'application</p> <p>7. Ajustabilité (temps pour corriger la position)</p> <p>8. Epaisseur de joint résiduel compatible avec les rattrapages nécessaires</p> <p>9. Délai de blocage</p> <p>9. Facilité de nettoyage</p> <p>10. Aspect final</p>	<p>Toucher couleur homogénéité</p> <p>Vitesse de mouillage Homogénéité (grumeau)</p> <p>Nécessité ou pas</p> <p>Quantité gâchée Temps d'application</p> <p>Consistance Collage à l'outil Etalement (en fonction de l'outil) Temps utile (en fonction de l'outil)</p> <p>Comment? Temps</p> <p>Compromis à réaliser entre les propriétés correspondantes antagonistes</p> <p>Temps nécessaires pour continuité</p> <p>Grain Couleur</p>	

(*) Hiérarchiser

Par exemple :

1 = accessoire

2 = important

3 = primordial (critère de rejet)

(**) Critères donnés à titre d'exemple : cette colonne est à établir avec chacun des applicateurs

Enfin, la préparation d'une première opération expérimentale a permis de réfléchir aux adaptations de plans que requiert la maçonnerie à joints minces. Il s'agissait notamment, à l'aide d'un logiciel de calepinage, de procéder aux adaptations progressives des plans par itérations successives afin de minimiser les coupes.

► LES ESSAIS EN LABORATOIRE

La modélisation ([1] [3]) avait pour but de simuler le comportement mécanique de la maçonnerie obtenue par l'assemblage à joints minces (amélioration apportée par les joints minces, influence de l'élément de maçonnerie et de l'élançement). Elle a permis d'asseoir des méthodes de calcul plus fines que celles en vigueur (règles simplifiées du DTU 20.1).

En complément de la modélisation, l'équipe a mené des expérimentations en laboratoire pour déterminer les données utiles à l'alimentation et à la validation du modèle :

- essais classiques sur murets et trumeaux (en chargement centré et excentré). Il s'agissait de valider un modèle permettant la comparaison (niveau de performance et comportement structures) avec les techniques actuelles de joints épais.
- essais plus spécifiques pour déterminer la résistance d'assemblages de type couplets (2 éléments et le joint intermédiaire) par essais de flexion sous sollicitations parallèles au plan du joint.

Synthèse des essais sur produits, couplets et murets

Pour les maçonneries de blocs en béton, les différents «couples» identifiés pendant la phase initiale ont fait l'objet de tests au CERIB. Pour les blocs creux classiques à enduire, plusieurs modes de pose ont été testés :

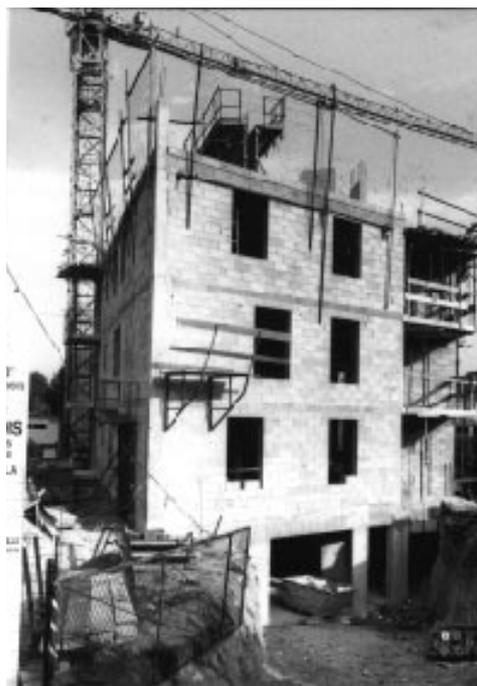
- joints minces continus horizontaux
- joints minces discontinus horizontaux
- joints minces discontinus horizontaux et verticaux.

Les résultats obtenus pour les trois solutions sur murets sont tout à fait comparables à ceux obtenus sur les murets de référence montés avec les mêmes blocs à joints traditionnels épais en mortier : le niveau de chargement à rupture est comparable à la résistance unitaire des blocs (6.5 MPa). Le mode de rupture est également sensible-

ment le même obtenu par compression et éclatement des parois.

Les résultats obtenus sur les blocs apparents (parois épaisses et béton très résistant) sont également très comparables à ceux obtenus avec le montage au mortier traditionnel, tant pour le niveau de rupture (de l'ordre de 10 MPa pour des blocs de résistance unitaire 16,7 MPa en moyenne) que pour le mode de rupture (1ère fissuration en partie haute dans l'épaisseur du mur à 600 Kn dans tous les cas, soit un peu plus de 50 % de la charge de rupture).

A titre d'expérience, le montage à la trempe a été testé en employant des blocs creux standard à enduire d'une dimension de 20x20x50, ramenés à 15 cm de hauteur (à alvéoles débouchant après



suppression par sciage du voile de pose). Les résultats ont montré un gain important du temps de pose ainsi qu'une diminution des efforts de manutention grâce à la légèreté des produits. Les résultats ont également donné satisfaction du point de vue mécanique : le niveau de rupture est de l'ordre de 4 MPa (pour des blocs de résistance 8 MPa en moyenne). Ce niveau est logiquement plus faible qu'avec les blocs classiques initiaux dans la mesure où, contrairement à cet essai, la présence du voile de pose induit un effet raidisseur sur

les parois porteuses des blocs (la première fissuration intervenant à environ 30% de la charge de rupture).

Pour les maçonnerie de blocs de terre cuite, les essais ont été menés sur les deux produits de terre cuite identifiés en phase initiale après adaptations des mortiers colles associés. Ces adaptations visaient à faciliter le transfert lors de l'opération de trempage afin que, compte tenu de la faible épaisseur des parois, il subsiste suffisamment de produit pour jouer le rôle de joint après l'emplage. A cet effet, des essais de compression sur «couplets» (2 produits plus un joint intermédiaire) ont été effectués de manière à les comparer aux résultats d'essais de compression sur des produits unitaires (essais réalisés au CTTB).

Des murets ont également été testés à titre de vérification au CTTB. Le CSTB assurant la validation finale avec des mortiers colle adaptés. Des essais sur trumeaux ont été réalisés avec des produits g afin de vérifier l'incidence de l'excentricité des sollicitations (pour les produits s, la très forte épaisseur des produits (37 cm) amène à un élanement trop faible sur la hauteur d'étage pour être significative).

Malgré un transfert médiocre du mortier colle sur la (faible) section des parois verticales lors de l'opération de trempage, les premiers essais sur couplets montrent des résultats en faveur du mortier-colle (essais CTTB). Ces résultats seront ensuite confirmés par des essais sur murets (essais CTTB). Dans les deux cas, on observe une diminution sensible des résistances respectives des murets par rapport à celle obtenue sur des produits isolés (imputable sans doute à l'importance de l'influence du fretage des plateaux de la presse).

Synthèse des essais de résistance au cisaillement des joints

Pour les deux types de maçonnerie, produits en béton et produits en terre cuite, une présérie d'essais a permis la mise au point du mode opératoire. L'analyse s'est traduite par l'adoption d'un écartement des appuis inférieurs, voisin par défaut de la longueur des produits. Pour les appuis supérieurs qui transmettent la charge, un faible écartement a été retenu afin de bien solliciter le joint et non pas les produits eux-mêmes.

Les résultats de ces essais sont nettement en faveur des joints minces, tant du point de vue de la faible dispersion des valeurs que pour le niveau de

résistance atteint. Ceci laisse escompter une prise en compte de la résistance du joint dans les calculs ultérieurs (sollicitation de type contreventement ou de flexion dans le sens perpendiculaire au plan : effort de vent, maçonnerie enterrée, etc).

► UN CHANTIER TEST

Un premier chantier test a été réalisé pour valider le système de montage à joints minces et pour mettre en évidence les éventuelles difficultés, en particulier au niveau de la mise en oeuvre. Il a consisté à construire deux maisons individuelles identiques, la première en traditionnel au mortier de ciment, la seconde avec des joints minces de mortier-colle. Il a pour cela été utilisé des blocs creux en béton pour lesquels il était possible de disposer de produits à précision dimensionnelle améliorée. L'architecte a préparé une première esquisse de l'opération envisagée et un avant projet détaillé. Les constructions, constituées de 18 portions de mur et de 8 angles, présentaient un caractère architectural assez complexe (pour des pavillons), peu favorable à l'amélioration de la productivité, mais intégrant des difficultés intéressantes à résoudre dans la perspective de développement de la technique à joints minces. Grâce à un calepinage réalisé au CERIB, des évolutions ont été apportées au projet initial, par exemple pour réduire les coupes excessives. Ces évolutions ont pris en compte :

- les résultats de l'étude imposant pour les blocs des tolérances dimensionnelles de +/-1,5 mm (au lieu de +/- 4 mm dans la norme actuelle),
- le non remplissage des joints verticaux,
- l'utilisation de blocs spéciaux pour les angles, les tableaux et les linteaux.

Le CERIB a ensuite pris contact avec un fabricant susceptible de fournir des blocs de béton conformes aux exigences requises. Un premier contrôle chez le fabricant a permis de vérifier que les tolérances imposées pouvaient être respectées. L'industriel a lancé une fabrication complète de 2100 éléments (31 palettes) selon une hauteur de blocs déterminée lors du calepinage préalable (les autres dimensions dépendent du moule en sa possession), de manière à respecter les spécifications de l'avant-projet (hauteur 251 cm : soit 13 rangs de blocs de 19 cm et 13 joints de 3 mm).

A l'aide d'un dispositif de mesure informatisé, le CERIB a procédé à une vérification du respect des

dimensions et des tolérances sur un échantillon de 1500 blocs : plus de 95 % des produits étaient dans la fourchette demandée. Les produits non conformes (épaufrés, mal remplis) ont été éliminés. Le contrôle a également mis à jour la présence de bavures ou grains collés sur certains produits; ils ont été supprimés mais devront être ultérieurement «balayés» par un dispositif adéquat en sortie de fabrication. Un second calepinage, prenant en compte les menuiseries, a été réalisé

- la comparaison d'aspect des murs bruts et d'homogénéité du support d'enduit est au bénéfice de la pose collée.

Conclusion de la première phase exploratoire

Elle montre que les objectifs initiaux que s'était fixé le groupe de pilotage, ont globalement été atteints :

1. Pour chacune des filières béton et terre cuite,



en liaison avec l'architecte. L'utilisation de menuiseries en PVC autorise une certaine souplesse car ce type de menuiseries permet une adaptation des dimensions en atelier sur la chaîne de fabrication.

Ce chantier test a apporté les enseignements suivants :

- dès lors qu'ils sont formés, les maçons n'ont pas de difficultés pour s'adapter aux changements de modes opératoires et aux nouveaux matériels;
- des difficultés de réalisation, au niveau de certains points singuliers, ont émergé : huisseries de portes, habillage de chaînage et linteaux, réalisation de reingots);
- la pose collée augmente la productivité dès lors que la longueur des murs est supérieure à 1,50 mètre;

plusieurs solutions opérationnelles, susceptibles d'être appliquées sur des réalisations expérimentales, ont été définies.

2. La technique à joints minces peut contribuer à une amélioration d'ensemble de la maçonnerie. Ce constat est particulièrement sensible pour les caractéristiques de résistance du joint en traction ou cisaillement : utiliser un produit industriel spécialement formulé (le mortier-colle) accroît la performance mais aussi la fiabilité par réduction de la dispersion (ce qui est important pour les calculs ultérieurs). Enfin, l'étude a montré que l'outillage et la méthode d'application du produit de joint sont primordiales dans la mise au point du système. Contrairement aux deux autres, ce résultat n'avait pas été prévu : il est le fruit de l'expérience acquise tant au cours des essais en laboratoire que du chantier prototype des deux pavillons de Reims.

La maçonnerie à joints minces à l'épreuve des chantiers

Ce chapitre se structure en deux grandes parties. La première partie fait état de la seconde phase des travaux du groupe de pilotage. La seconde partie restitue les contributions des différents acteurs des réalisations expérimentales (REX) à la journée de présentation de la technique à joints minces organisée à Reims le 25 juin 1996 par le PCA, l'UNM et le CSTB à l'initiative de Pierre Possémé, Président de l'UNM.

► VERS UNE CODIFICATION TECHNIQUE DES MAÇONNERIES À JOINTS MINCES

L'étude préalable, menée en 1993-94, avait permis de démontrer la faisabilité de la maçonnerie à joints minces de colle dans sa dimension technique. Elle avait aussi dégagé des pistes prometteuses en termes d'amélioration de la productivité et des conditions de travail. Deux opérations expérimentales, localisées à Bétheny (blocs de béton) et à Reims «Val-de-Murigny» (blocs de terre cuite), avaient pour objectif de vérifier les hypothèses, apporter les premières conclusions et identifier les pistes de progrès.

En parallèle, la seconde phase de l'étude (95-96) a porté sur les trois thèmes suivants :

1. Prolongement de la réflexion en matière de productivité et d'amélioration des conditions de travail du maçon

Trois groupes de travail ont dans un premier temps travaillé de manière autonome. Le GT1 a porté sa réflexion sur la fabrication des produits et l'amélioration des systèmes de pose. Le GT2 s'est focalisé sur les outils d'aide à la prescription. Le GT3 a examiné les aspects liés à l'organisation du travail.

2. Valorisation des performances mécaniques des maçonneries collées

L'étude préalable avait démontré une amélioration sensible des résistances mécaniques en compression, en adhérence et en cisaillement des joints. Il s'agissait donc de valoriser cette homogénéité mécanique auprès des prescripteurs, et notamment des architectes. Cette homogénéité devait également se traduire par une bonification dans les méthodes de calcul, en particulier pour les avis techniques.

3. Synthèse des enseignements des REX et des trois groupes de travail

L'objectif de ce troisième axe était de constituer, à partir des enseignements des REX [6] et de la synthèse des trois groupes de travail, la matière nécessaire à l'élaboration des cahiers des prescriptions techniques. La finalité étant de les incorporer dans les avis techniques pour chacun des systèmes développés. En effet, sur le plan de l'analyse technique, les études et expérimentations menées doivent permettre de recueillir l'ensemble des données (depuis la conception-calcul jusqu'à l'exécution) utiles à l'élaboration des avis techniques.

Travaux du GT1 : fabrication des produits et amélioration des systèmes de pose

Les travaux du GT1 ont porté sur la caractérisation technique des systèmes appartenant à chacune des deux familles de matériaux (blocs en béton et produits de terre cuite), et en particulier sur l'étude des trois composantes suivantes :

- caractéristiques des blocs (conception des formes, dimensions, gamme, ergonomie, tolérances dimensionnelles, fabrication, palettisation,...). Il s'agissait de dégager un référentiel pour la certification des produits correspondants.
- caractéristiques des mortiers-colles (fabrication, conditionnement, mise en oeuvre). L'objectif était similaire au point précédent.
- caractéristiques des outils d'aide à la pose (pelle crantée, rouleau, distribution mécanisée, outils de préhension,...). Ces outils devront être définis dans les descriptifs propres à chaque système.

Les résultats sont synthétisés dans deux documents distincts complétés par un chapitre dédié aux outils d'aide à la pose [5].

Le premier document s'attache aux produits en béton. Il met en avant les principaux éléments suivants :

- un calepinage préalable des blocs est recommandé pour limiter les coupes;
- la forme générale des produits peut être identique à celle employée en maçonnerie traditionnelle, sauf pour les abouts (le mode d'application du mortier-colle, pelle, peigne, trempe, rouleau, entrant pour partie dans la définition de la forme d'about);
- l'utilisation de blocs collés se justifiant surtout pour les murs chargés (bâtiments collectifs par exemple), il convient de choisir une classe de résistance minimale correspondant à B60 pour les blocs en béton à enduire et P80 pour les blocs apparents;

- selon le mode d'application et le type de mortier-colle, les précisions dimensionnelles imposées doivent être respectées;
- les mortiers doivent être de préférence gâchés mécaniquement pour en assurer l'homogénéité et la régularité;
- compte-tenu de l'épaisseur du mortier-colle (2 à 3 mm) et de la porosité du support, la largeur maximale d'encollage doit être déterminée de telle manière que le temps entre l'application du mortier et la pose des blocs n'excède pas dix minutes;
- les conditions normales d'utilisation des mortiers-colle sont comprises sur une plage de température allant de +5° à + 35°. La pose sur des supports gelés doit être proscrite;
- pour les blocs à enduire, l'outil d'application du mortier doit être constitué d'une pelle, faisant office de réserve du produit, et d'une partie dentelée donnant le profil au mortier;
- pour les blocs apparents, l'outil est constitué d'un gabarit qui sert de guide à un peigne assurant le réglage du mortier.

Le second document s'attache aux produits en terre cuite. Il met en avant les principaux éléments suivants :

- le calepinage est nécessaire, mais la découpe sur chantier assure un degré de liberté supplémentaire;
- la pose peut s'effectuer à la trempe ou au rouleau. Il est donc nécessaire d'utiliser le mortier-colle adapté à l'outil;
- pour les briques, dans le sens de la hauteur, la rectification des blocs en usine peut permettre d'obtenir des précisions dimensionnelles de +/- 0,5 mm;
- à la trempe, l'épaisseur du joint après pose est d'environ 1 à 2 mm. Au rouleau, elle se situe autour d'1 mm;
- selon le type de brique à coller, la technique employée, on estime entre 1 et 4 kg/m² de mur la quantité de colle à utiliser.

Travaux du GT2 : outils d'aide à la prescription

Les travaux du GT 2 ont essentiellement porté sur les actions à mener pour créer une synergie entre industriels fabricants et entreprises utilisatrices, et pour promouvoir la technique des maçonneries collées auprès des prescripteurs (architectes, économistes, établissements d'enseignement professionnel du bâtiment). Le GT 2 a



ainsi participé à la réalisation d'une cassette vidéo comparant le montage classique au mortier et le montage à joints collés dans le cas de murs en blocs de terre cuite, tels ceux utilisés pour la REX de Val de Murigny. Cette cassette a été diffusée auprès de 1500 prescripteurs ainsi qu'aux partenaires du groupe de travail. Un descriptif-type de l'utilisation de la technique à joints minces a également été mis à la disposition des architectes. Ces outils servent de support à des stages d'une demi-journée organisés par les industriels pour les professionnels du bâtiment.

Le GT2 a également mené avec le GT3 une réflexion portant sur l'utilisation de logiciels de calepinage dès la conception des projets. Les éléments d'information collectés en France et dans les pays limitrophes (Allemagne,...) inciteraient à réserver l'utilisation de tels outils lorsque les produits se découpent difficilement sur chantier. En effet :

- ces logiciels peuvent s'avérer contraignants pour les architectes qui souhaitent une grande souplesse dans la définition des caractéristiques dimensionnelles des ouvrages;
- ces logiciels supposent une ressaisie, quelquefois longue et fastidieuse, des plans de l'architecte par l'industriel fabricant.

Une autre piste serait de restreindre l'utilisation des logiciels de calepinage à l'optimisation des points singuliers (angles, liaisons, baies,...) Afin de minimiser le nombre de coupes et leur importance.

Travaux du GT3 : organisation du chantier

Le GT3 a orienté ses réflexions (à laquelle s'est ensuite associé le gt1) sur les aspects directement liés au chantier.

L'approvisionnement et la palettisation des produits (blocs courants et spéciaux dans la même palette ou sur palettes séparées)

L'idéal serait semble-t-il de conditionner les blocs palettisés sous housses plastiques recyclables, les produits courants et blocs accessoires étant



conditionnés sur palettes séparées. Cette option pose cependant un problème en usine, car elle ne correspond pas à la pratique habituelle qui associe blocs courants et blocs accessoires dans un même moule ainsi qu'une palettisation commune des produits. Bien qu'une production séparée soit envisageable, l'expérience montre que se pose alors souvent un problème supplémentaire de différence de hauteur entre productions issues d'opérations de moulages différentes. A l'inverse, des expérimentations ont démontré que la préparation de l'approvisionnement du poste de travail

peut s'effectuer à l'avancement dans un atelier localisé au pied du chantier (d'une journée sur l'autre par exemple) par reconstitution de lots de blocs assortis à chaque partie d'ouvrage à partir de livraisons séparées.

Les dispositifs d'échafaudage et de sécurité (ergonomie de pose, niveau constant par rapport à l'assise en cours)

La plate-forme hydraulique semble constituer une solution intéressante. Il est en tous cas souhaitable que le maçon soit «à la bonne hauteur» par rapport à l'assise de la pose, tout au long de l'exécution.

Les problèmes de coupe de blocs (usure des outils, forme et emplacements des découpes sur les blocs de coupe).

La coupe des blocs en béton sur chantier est onéreuse, tant en consommation d'outils de coupe qu'en temps de main d'œuvre. Il est utile d'adopter des disques de qualité appropriée à chaque type de béton afin de minimiser l'usure des outils. La conception et le dessin des blocs de coupe doivent être adaptés (forme et emplacement des précoupes). L'épaisseur du voile de pose (difficile à couper) constitue un handicap : l'utilisation de blocs à alvéoles débouchantes est à examiner. En revanche, la découpe des blocs de terre cuite à tesson allégé (REX de Reims «Val de Murigny») semble satisfaisante; l'outil de coupe existe sur le marché et est bien adapté.

L'utilisation mécanisée du mortier-colle

Un «portrait robot» de l'appareil idéal a été dressé (capacité, poids, facilité de nettoyage). Plusieurs essais, réalisés avec différents types d'appareils et mortiers-colles montrent que la machine Sprayboy (Putzmeister) permet un gâchage et un pompage du mortier satisfaisants. Les pertes de charges, dues au pouvoir collant du mortier, restreignent la mécanisation. Aussi, pour des tuyaux de diamètre 25 mm, l'autonomie de longueur paraît limitée à une dizaine de mètres.

Performances mécaniques des maçonneries collées

Les résultats d'essais mécaniques en compression, flexion et cisaillement obtenus à ce jour ont montré un net avantage en faveur du montage à joints minces par rapport au montage traditionnel à joints épais de mortier (valeurs supérieures et moindre dispersion).

Des travaux théoriques, réalisés au CSTB ont par

ailleurs permis de développer divers modèles de calcul (voir le cas des actions des charges verticales dans le plan [1] et les effets des actions perpendiculaires au plan des murs [3]). Ces calculs, adaptés et appliqués aux maçonneries montées à joints minces, démontrent la performance de cette technique, notamment pour les constructions à usage d'habitation (de la maison individuelle jusqu'au petit collectif de 4 à 5 niveaux) et les bâtiments d'activité comportant des façades de grandes dimensions. Ainsi semble-t-il possible d'établir des règles de dimensionnement à intégrer dans les documents d'Avis Techniques, de manière à prendre en compte les performances réelles de ces maçonneries et ainsi couvrir le domaine d'emploi envisagé de façon optimale.

► LES ENSEIGNEMENTS DES CHANTIERS EXPÉRIMENTAUX

Construire de nouveau en pierre massive

Par Didier Pallix, Directeur Recherche et Développement de la société Rocamat

Rocamat et l'Union Nationale de la Maçonnerie (UNM) ont élaboré un nouveau procédé de construction en pierre tendre massive répondant mieux aux impératifs techniques et économiques actuels que les procédés traditionnels de maçonnerie en pierre. Après un effort de recherche mené en collaboration avec le CSTB, le CEBTP et le cabinet d'architectes Bernstein-Champetier-Vidal, le procédé «Mur Rocamat» bénéficie d'un Avis Technique favorable (n°16/95-292).

Les techniques de construction en pierre massive tendre, codifiées par le DTU 20.1 (norme NF XP P 10-202 «ouvrages de maçonnerie de petits éléments - parois et murs») exigent en général des murs de façade de 22 cm d'épaisseur ou plus. Le volume des blocs de pierre impose pour chacun d'eux l'utilisation d'appareils de levage; le montage est réalisé à l'aide de cales pour éviter d'écraser les joints des lits fraîchement étalés. Ces joints, fabriqués soit en mortier de ciment blanc fiché, soit en plâtre coulé, sont complexes et longs à exécuter. Ils nécessitent une phase de finition onéreuse, car elle comporte le ragréage complet de la façade (notamment dans le cas de joints en plâtre coulé) et son rejointoiement. Ces difficultés

expliquent le recul progressif de la pierre tendre. La société Rocamat, produisant de la pierre destinée tant au marché intérieur qu'à l'exportation (Etats-Unis, Japon), a souhaité élargir en France les débouchés de ses nombreuses carrières de pierre tendre et dynamiser cette technique de construction grâce au procédé de Mur Rocamat. Ce mur composite comporte une paroi extérieure en maçonnerie porteuse de pierre tendre apparente de 147, 160, ou 170 mm d'épaisseur, une lame d'air et une contre-cloison isolante avec plaque de plâtre sur ossature métallique. La paroi en pierre est constituée de blocs de pierre sciée de dimensions standard, manportables et montés au mortier-colle en joint mince.

Un contrôle de qualité peu usuel dans la pierre massive

Cette technique permet d'abaisser le coût de réalisation des façades en pierre, de diminuer la quantité de matière, d'accroître la productivité en usine et de réduire les temps de pose sur le chantier. Mais la diminution de l'épaisseur du mur et le «collage» en joints minces entraînent, d'une part des exigences accrues de précision dimensionnelle et de résistance mécanique, et d'autre part de nouvelles solutions pour assurer la résistance à la pluie battante. Le mur rocamat se singularise donc par de nouvelles dispositions dans la constitution de la façade et de nouvelles méthodes de contrôle de la qualité en fabrication. La paroi extérieure en maçonnerie de pierre porteuse du mur rocamat (147 à 170 mm d'épaisseur), qui donne son aspect extérieur à la façade, joue un rôle d'écran partiel contre la pénétration des eaux de pluie. Sa résistance aux forces verticales et horizontales doit être vérifiée selon les méthodes de calcul du DTU 20.1. Mais elle ne peut assurer à elle seule l'imperméabilité de la façade. Le mur comporte une lame d'air continue sur la hauteur de chaque niveau et une cloison de doublage sur ossature métallique autoporteuse constituant le parement intérieur. Cette cloison de doublage assure la majorité de l'isolation thermique du mur et doit être définie en fonction des exigences à satisfaire (épaisseur du matelas isolant constitutif). Elle assure également l'étanchéité à l'air. Par ailleurs, du fait de l'utilisation de la lame d'air et de la laine minérale, les performances acoustiques globales sont, selon le DTU, comparables ou supérieures à celles des façades en pierres actuelles. L'ensemble est conçu pour

empêcher les infiltrations d'eau de pluie d'atteindre la cloison de doublage par gravité ou par capillarité. L'eau est collectée puis rejetée à l'extérieur. Les dispositifs de relevé d'étanchéité et de coupure de capillarité par des rubans d'étanchéité auto-adhésifs assurent cette exigence. L'emploi de cette technique est limité aux bâtiments de six niveaux maximum, mais ils peuvent subir toutes les conditions d'exposition, à l'exception du front de mer. Toiture mise à part, seule l'utilisation des planchers en béton armé coulés sur place, sur des prédalles ou sur des poutrelles en béton préfabriqué avec entrevous est permise. Le contreventement est assuré par la résistance dans leur plan des diverses parois verticales en maçonnerie et des planchers. La distance maximale entre raidisseurs est limitée à 3 m.

Toutes ces contraintes ont conduit à la mise en place d'un contrôle qualité rigoureux, peu usuel dans la pierre massive de maçonnerie. Outre les contrôles de base effectués par un laboratoire indépendant, une vérification continue de mesure de la vitesse du son (moyen non destructif corrélé à la résistance en compression) et de mesure des dimensions, a été instaurée. La société dispose de plusieurs pierres tendres susceptibles d'être utilisées pour le procédé Mur Rocamat. Néanmoins, dans un premier temps, seules les pierres de St Vaast et St Maximin-Roche Construction seront retenues.

Le mur Rocamat à Reims

Reims possède une longue tradition de construction en pierre de taille tendre, reprise par la reconstruction après la guerre de 14-18. Grâce au maître d'ouvrage, l'Effort Rémois, l'édification de soixante-six logements rue Emile Zola à Reims a démontré les potentialités du Mur Rocamat. Les concepteurs de l'opération, le cabinet d'architectes Bernstein-Champetier-Vidal, ont élaboré le plan-masse de bâtiments de trois à six niveaux, dotés d'importantes façades en pierre tendre porteuse de 15 cm, vues de la rue. Ce plan-masse se devait de renforcer la perception de l'espace de la rue, hétérogène et perturbé par une intervention (en retrait par rapport à l'alignement) datant des années 1960. En répondant, par l'espace ouvert du jardin, à l'élargissement causé par cette ancienne intervention, un nouveau sens a été donné à la rupture de l'alignement. Le cabinet d'architecture a élaboré le projet en exploitant certaines possibilités du nouveau procédé de

construction en pierre porteuse de 15 cm et en intégrant la discipline nécessaire à cette conception. Le rapport entre le vide et le plein se doit d'être vérifié en fonction de la résistance de la pierre : dans certains cas, les trumeaux s'élargissent dans les étages bas. La pierre tendre doit être protégée par des couronnements et des corniches résistant au gel : ici, les corniches sont constituées au droit des nez de plancher par des petits blocs de béton moulé, intégrés lors du coulage des dalles de plancher. Le Mur Rocamat expérimenté sur ce chantier de Reims, pourrait s'appliquer à d'autres types d'opérations, petites ou grandes, destinées au tertiaire, au logement et aux bâtiments publics.

Innovation technique et maître d'ouvrage

Par Alain Coscia-Moranne, Directeur de la Construction et de la Recherche au Foyer Rémois.

Les objectifs d'un maître d'ouvrage, tel que le Foyer Rémois, qui participe à l'expérimentation de produits ou de techniques nouvelles, sont d'améliorer la qualité des logements pour des prix compatibles avec la solvabilité des futurs locataires. Et chacun sait qu'elle tend à diminuer. C'est une contradiction à résoudre et seule l'innovation permettra d'y répondre. Le Foyer Rémois a mis en oeuvre, depuis plusieurs années, une politique active de recherche dans différents domaines allant de la domotique à l'amélioration de l'organisation des chantiers, par exemple à travers la mise en oeuvre du séquentiel et l'échange de données informatisées. L'amélioration des techniques traditionnelles de maçonnerie constitue une piste de recherche prometteuse. En effet, le mur maçonné en parpaings se rencontre sur la quasi-totalité de nos chantiers : on n'a pas encore trouvé de moyen plus économique de clore un espace habité. Aussi, la mise en oeuvre de blocs de béton collés devait donc servir les objectifs du maître d'ouvrage : la qualité et le prix. Les performances mécaniques des maçonneries et le comportement des enduits sont améliorés. Aujourd'hui, il n'est cependant pas possible de savoir si cette technique permettra réellement une réduction des coûts. Toutefois, au vu de cette expérimentation, l'entreprise a réalisé des gains de productivité et se trouve disposée à proposer cette technique sur de nouveaux chantiers, dans les conditions habituelles d'un appel d'offres. L'opération de la rue Alain Colas, à Bétheny, avec un coût de construction seule, hors VRD, de 5 274

F/m2 de surface habitable, peut être considérée comme économique. L'utilisation de cette technique n'ayant pas engendré de surcoûts. Par ailleurs, en tant que maître d'ouvrage j'ai apprécié le



bon déroulement du chantier, sa propreté, facteur de limitation des nuisances pour l'environnement. Cependant, l'absence d'emboîtement des blocs de béton a engendré des difficultés sur le chantier. Les infiltrations d'eau par les joints verticaux entravent la réalisation de l'isolation intérieure et celle des enduits extérieurs, notamment en période hivernale. Les contraintes liées à la conception, telle la nécessité de calepinage, n'ont pas contrarié les objectifs qualitatifs. Il apparaît qu'une préparation de chantier approfondie et une concertation entre architecte, entreprises et industriels est une nécessité dans chaque projet et un facteur positif pour la qualité du produit final. Elle contribue au bon déroulement du chantier par le respect des prix contractuels et des délais. Ici, ils ont été respectés, ce qui incite à tout mettre en oeuvre pour généraliser ce nouveau savoir faire.

Blocs en béton montés à joints minces : recherches et perspectives

Par Francis Dran, Chef du département réalisation des ouvrages, Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)

Les progrès enregistrés dans la fabrication des blocs en béton ont conduit certains fabricants à proposer de nouvelles techniques comme la pose à joints minces. L'apport de ces techniques évaluées en laboratoire et validées sur le chantier laisse entrevoir un élargissement du domaine d'emploi des maçonneries à des murs porteurs plus chargés.

Dans la plupart des pays européens, le marché de la maçonnerie concerne essentiellement les murs de maisons individuelles, les murs non porteurs de

bâtiments collectifs et les murs non ou faiblement porteurs de bâtiments industriels. Dès que le mur doit résister à des efforts importants, les prescripteurs ont le plus souvent recours à d'autres techniques que la maçonnerie. C'est le cas lorsque les murs sont soumis à des efforts horizontaux. Les règles de calcul des maçonneries en vigueur ne prennent pas en compte l'adhérence du mortier sur les blocs. Ce type de montage permet cependant de proposer, pour les murs faiblement chargés ou non porteurs, une solution économique. En France, où environ 70 % des maçonneries sont réalisées avec des blocs en béton, le mur le plus représentatif est constitué d'un bloc creux de 20 cm d'épaisseur monté au mortier, recouvert d'un enduit extérieur et isolé à l'intérieur par un complexe de doublage thermique.

Le succès de cette solution repose sur les qualités d'un produit industriel : le bloc béton. Sa fabrication en usines très automatisées permet de garantir la constance des performances du produit. Les récents progrès de fabrication ont permis d'envisager une réduction des tolérances dimensionnelles des produits et ont conduit certains fabricants à proposer d'autres techniques de pose, telles que la pose à joints minces ou même la pose à sec. La pose à sec nécessite des produits spécialement adaptés. Ils sont aujourd'hui à l'étude et limités à certaines applications. En revanche, les joints minces de mortier-colle peuvent être utilisés avec des blocs quasi-identiques aux blocs montés au mortier.

Amélioration des performances mécaniques, diminution du temps de pose

Ces blocs doivent faire l'objet d'une précision dimensionnelle améliorée, d'un contrôle renforcé et d'opérations complémentaires de nettoyage. Il semble possible de concilier l'optimum technico-économique, obtenu avec la solution actuelle, et les avantages propres à la technique de pose au mortier-colle : allier gains de productivité et de matières premières, améliorer les performances mécaniques en traction et l'aspect de l'ouvrage.

La technique des joints minces de mortier-colle présente beaucoup d'intérêt pour les blocs à enduire et pour les blocs apparents. Dans le cas de blocs à enduire, elle augmente les performances mécaniques, diminue le temps de pose, améliore l'aspect final. L'emploi des blocs apparents permet d'augmenter l'adhérence, donc la tenue aux efforts horizontaux, et de diminuer

également le temps de pose.

Tous les mortiers-colles ne sont pas adaptés au montage de ce type de maçonnerie. Différentes formulations proposées par les fabricants ont été évaluées en laboratoire. Des maquettes de murs ont permis de sélectionner le type de mortier-colle en fonction de critères de mise en oeuvre, tels que la facilité d'application, les possibilités de réglage lors du montage, la durée pratique d'utilisation et le temps de prise. De même, quatre techniques d'application du mortier-colle ont été expérimentées : le peigne, la pelle crantée, le rouleau et la trempe. Le choix de la technique dépend à la fois de la facilité d'application et de critères économiques. Le développement d'une nouvelle technique impose de limiter le coût final de l'ouvrage et le déboursé de l'entreprise de pose lors de l'achat des matériaux. Le coût d'un mortier-colle étant quatre fois supérieur à celui d'un mortier traditionnel, il importe de limiter la quantité de matière dans cette proportion. Cette considération a conduit à opter pour une épaisseur de 3 mm de mortier-colle destiné aux blocs à enduire et de 2 mm pour les blocs apparents. Cette épaisseur finale de joint a permis de mettre au point les outils d'application du mortier colle sur les blocs et de définir la valeur limite acceptable de tolérance dimensionnelle des blocs. Ainsi, les blocs à enduire requièrent des tolérances de plus ou moins 1,5 mm et un montage à l'aide d'une pelle crantée. Les blocs apparents demandent des tolérances de plus ou moins 1 mm et un montage au peigne. La pelle crantée permet de limiter au strict nécessaire la quantité de colle appliquée et d'assurer la régularité des cordons déposés.

Une technique évaluée en laboratoire et validée sur le terrain

Les gains espérés sur le temps de pose ont été vérifiés en laboratoire. Dans les parties courantes, en l'absence de points singuliers à traiter, le gain peut atteindre 40 %. En revanche, la limite de la tolérance de plus ou moins 1,5 mm sur la hauteur des blocs est absolument indispensable. Un essai, réalisé avec des blocs dont la tolérance est de plus ou moins 2 mm, conduit en effet à des difficultés de réglage de niveau et d'aplomb à partir d'une hauteur de mur de 2 m.

Des essais de résistances mécaniques comparatifs, effectués sur des murets montés au mortier-colle et au mortier traditionnel, ont montré que la

résistance à la rupture en compression des murs montés au mortier-colle (6,6 MPa) correspond aux meilleurs résultats obtenus avec un mortier traditionnel. Les essais réalisés sur des maquettes ont montré l'évolution de la contrainte de rupture en traction par flexion du mortier-colle : 0,7 MPa avec un coefficient de variation inférieur à 10 %.

La phase de recherche a trouvé un prolongement sur le chantier, par la construction de deux maisons individuelles identiques évoquée précédemment. Les deux maisons ont été bâties par la même entreprise de pose, la première avec un mortier traditionnel, l'autre avec un mortier-colle. L'équipe de maçons chargée du montage n'a éprouvé aucune difficulté à passer d'une technique à l'autre. Les gains sur le temps de pose ont été calculés en fonction du temps passé sur chaque logement. Ils tiennent compte des opérations de montage des maçonneries et ne comprennent pas les temps nécessaires à la réalisation des planchers et du second oeuvre. Le temps de montage au mortier-colle est inférieur de 30 % au montage au mortier traditionnel. Le



gain se révèle plus important dans les niveaux supérieurs, en particulier lors de la réalisation des pignons et de la préparation des supports de charpente. Ce constat s'explique par la quantité

de mortier limitée à réaliser, sept fois moindre pour la même surface, dans les parties peu accessibles comme les pointes de pignons.

Outre la qualité de l'aspect, le montage au mortier-colle simplifie la pose du doublage intérieur, collé sur une surface plane libérée des reliefs de joints des mortiers classiques. De même, la réalisation de l'enduit extérieur est facilitée par la diminution de l'épaisseur des joints. Cependant, deux points essentiels sont apparus lors de la réalisation au mortier-colle du pavillon témoin. En premier lieu, il est préférable de réaliser un calepinage préalable en collaboration avec le concepteur pour limiter les coupes qui doivent être effectuées à la scie ou à la tronçonneuse pour conserver la facilité de hourdage au mortier-colle. Ensuite, il paraît indispensable de disposer de blocs spéciaux de même niveau de tolérances dimensionnelles pour réaliser les points singuliers (angles, abouts, linteaux, chaînage, ...).

A Bétheny, la Réalisation Expérimentale d'un immeuble R+3 de vingt-quatre logements en maçonnerie de béton montée à joints minces a confirmé le gain de temps durant la pose et l'amélioration des performances mécaniques en compression et en flexion. Un moule industriel spécifique permet de disposer de blocs bien calibrés, adaptés à la pose au mortier-colle. Les vérifications montrent que la tolérance de $\pm 1,5$ mm en hauteur est respectée, y compris pour les blocs spéciaux. Un calepinage préalable et le déplacement de quelques centimètres de quelques ouvertures a limité les coupes. L'amélioration des performances mécaniques en compression et en flexion, l'utilisation de blocs et de mortiers certifiés ouvrent ce domaine d'emploi à des murs porteurs plus chargés. L'importante amélioration de la résistance en flexion permet d'envisager la réalisation de murs soumis à des efforts perpendiculaires au plan du mur, tels que les murs de soubassements enterrés et les murs de remplissage soumis au vent. Ces réalisations prendraient en compte la résistance en traction du mur monté au mortier-colle avec un coefficient global de réduction intégrant la sécurité. Ces nouvelles applications vont conduire à calculer un ouvrage de maçonnerie comme un ouvrage en béton. La méthode de calcul proposée par l'Eurocode n°6 (ENV 1996), bien qu'incomplète, est déjà disponible et permet d'aller au-delà des cas usuels de murs faiblement porteurs. Certains pays, comme l'Allemagne, disposent de

codes de calcul éprouvés qui permettent de réaliser des ouvrages porteurs en maçonnerie. Dans ce pays, l'utilisation de joints minces connaît aussi des débuts prometteurs.

Maçonnerie de terre cuite montée à joints minces : le bloc rectifié et le monomur

Par Jean-François Regrettier, chef du service bâtiment, Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB)

Un bloc de terre cuite «porosé» de 25x25x37,5 cm à perforations verticales présentant vingt trois rangées d'alvéoles a été utilisé pour réaliser les bâtiments de la Rex de Reims «Val de Murigny». Le produit est rectifié après cuisson de façon à



obtenir des faces de pose rigoureusement parallèles. Pour ce chantier, la précision dimensionnelle obtenue sur la hauteur du bloc est de plus ou moins 0,25 mm. Ces éléments rectifiés présentent deux avantages : une pose au mortier-colle qui permet de substantiels gains de temps, des joints horizontaux de faible épaisseur - environ 1 à 2 mm - supprimant les ponts thermiques constitués par les joints de mortier traditionnel. Les éléments de terre cuite porosés se découpent aisément à l'aide d'une scie spéciale déjà disponible sur le marché : il n'est donc pas nécessaire de prévoir un calepinage mais simplement de calculer, lors de la conception, une hauteur entre dalles multiple de la hauteur des blocs. Ainsi, on réalise un gros oeuvre de très bonne qualité avec moins de coupes et des joints pratiquement invisibles.

Le Monomur, réalisé avec de tels blocs ne nécessite aucune isolation complémentaire. Cette performance provient de la géométrie des blocs dont les alvéoles verticales de petites dimensions forment des lames d'air presque immobiles; de la géométrie des alvéoles (quinconçage des parois

de terre cuite) rallongeant le parcours du flux thermique par conduction et d'un tesson dont la porosité artificiellement augmentée diminue la

sensible des consommations de chauffage. La forte inertie du monomur est également un gage de confort d'été puisqu'elle permet de limiter les



conductivité thermique des parois. Cette augmentation de porosité est obtenue par l'adjonction à la pâte argileuse de billes de polystyrène qui, à la cuisson, se consomment en créant dans les parois des microcavités. Des calculs réalisés montrent que le coefficient «K» de transmission surfacique est égal à $0,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$. L'augmentation de porosité n'est pas préjudiciable si l'on considère le niveau de performances mécaniques des blocs : la résistance à la compression est de l'ordre de 9 MPa. L'utilisation du mortier-colle permet, en outre, d'obtenir des résistances au cisaillement bien supérieures à celles atteintes avec un mortier traditionnel. La forte épaisseur de ces produits permet de traiter efficacement le pont thermique en about de dalle en interposant entre la planelle de rive et la dalle un isolant thermique. Un autre avantage réside dans la capacité de ces éléments à atténuer les variations de la température extérieure : le Monomur absorbe la chaleur dans la journée et la restitue la nuit, d'où une diminution

surchauffes.

Enfin, l'utilisation du Monomur simplifie la mise en oeuvre. Là où deux ou trois opérations sont habituellement nécessaires, une seule suffit : plus de doublage à coller sur le mur porteur ou d'isolant vertical et de contre-cloison, d'où un gain de temps et de qualité. En effet, les risques d'erreur ou de malfaçon augmentent avec la multiplication des opérations. La pérennité de la performance thermique s'en trouve du même coup assurée. Les pertes de matière sont réduites ainsi que les volumes de déchets sur le chantier.

Les techniques de pose

Le mortier de montage fabriqué industriellement est constitué d'un mélange dosé de liants hydrauliques à base de ciment Portland artificiel, de charges siliceuses ou calcaires et d'adjuvants. Il se présente sous la forme de mortier sec prêt à l'emploi. Ce chantier expérimental de Val de Murigny a permis de comparer deux techniques de pose : trempe et rouleau. Dans le premier cas, le bloc est trempé dans une auge contenant le

mortier-colle, de manière à imprégner la face inférieure et est posé sur la rangée précédente. Dans le second cas, le rouleau équipé d'une réserve de mortier dépose sur les faces supérieures des produits une couche de mortier colle. Le rang suivant est ensuite mis en place. Les manipulations sont limitées, le bloc passant directement de la palette sur le mur. Cette seconde méthode semble mieux adaptée; elle s'avère moins pénible à l'usage et l'encollage est mieux contrôlé puisque réalisé sur la face vue. Elle a conduit à des temps de mise en oeuvre compris entre 35 et 45 mn/m². Sur les deux premiers bâtiments, la consommation de mortier-colle s'est située autour de 3,3 kg/m² pour la pose au rouleau et 3,7 kg/m² pour la pose à la trempe. La pose à la colle ne permet pas de jouer sur l'épaisseur du joint pour rattraper les différences de niveaux. Il convient donc, avant la pose du premier rang sur chaque plancher, de réaliser une bande de mortier parfaitement horizontale sur la périphérie du bâtiment. Pour ce faire, un outil, le «Justierboy» a



été utilisé. Il est composé de deux platines dont la hauteur est réglée à l'aide d'un laser. Ces platines servant ensuite de support à une règle qui permet d'obtenir une arase parfaitement de niveau.

Joint collés de blocs béton et briques de terre cuite à l'épreuve du chantier

Par Patrick Delmotte, ingénieur au CSTB

Les deux opérations, Bétheny et Reims «Val de Murigny», sur lesquelles a été expérimentée la maçonnerie à joints minces au mortier-colle, de blocs en béton pour la première, de briques de terre cuite pour la seconde, permettent de tirer les enseignements touchant au déroulement du chantier. Ces expérimentations répondent à des objectifs qui touchent à la fois l'organisation du travail et la technique de montage. Il s'agit d'améliorer cette dernière par l'utilisation de matériaux industriels de dimensions précises, au conditionnement réfléchi, d'éviter la casse des matériaux, obstacle à la précision finale souhaitée. L'objectif est aussi d'apporter aux hommes de métier un travail moins pénible, plus précis, plus propre, offrant plus d'attraits aux futurs jeunes maçons et une plus grande performance aux entreprises.

Mortier-colle : adapter la formulation à la météo

A Bétheny, les outils de production des blocs en béton ont été adaptés pour fabriquer des blocs mieux calibrés. La composition des colles a été travaillée pour optimiser les conditions de pose, particulièrement sous la pluie. Au niveau de la conception du projet, il s'agissait de réaliser un calepinage précis de l'ensemble des murs, et le cas échéant, d'apporter des modifications afin d'optimiser la mise en oeuvre des blocs collés (notamment au niveau des arases). L'outillage, déjà utilisé au laboratoire, est expérimenté en situation et mis au point afin d'être adapté aux besoins du chantier. Ainsi les malaxeurs à colle, les pelles à positionner la colle sur le mur, la scie sur table avec disque au diamant installée pour la réalisation des coupes font partie, sur cette opération, de la panoplie du monteur. De plus, il est nécessaire de vérifier la phase de mise en oeuvre des blocs de béton collés et le calepinage préétabli et de modifier au besoin les procédures techniques.

Incidence sur l'organisation du chantier.

Le projet de Bétheny se situe sur un terrain plat et étroit, en prolongement d'un ensemble de logements collectifs. L'immeuble comporte quatre niveaux d'habitation sur un sous-sol en garage. La construction est exécutée selon deux techniques : des murs en béton banché pour le sous-sol, pour les refends et les murs entre logements; des blocs collés pour les murs périphériques et certains

refends. Pour les planchers, les prédalles (portées 5 et 6 mètres) s'appuient sur les murs de façade et sur le refend longitudinal parallèle à celles-ci. Cette technique de construction et la configuration du site ont conduit à utiliser une grue équipée d'une flèche de 30 mètres. Le stockage contribue à améliorer les conditions de travail. Il se fait par matériaux bien palettisés, combiné à l'utilisation de prédalles, au système de rotation des banches, à l'utilisation en quantité moindre de mortier-colle mélangé sur place. Le stockage des

ceux issus des filières de fabrication des industriels, jusqu'aux outils d'aide à la conception.

Le chantier s'est déroulé sans dysfonctionnement majeur. Cependant, l'entreprise aurait préféré des blocs palettisés, la face de pose orientée vers haut. Cette disposition aurait évité des manipulations inutiles et la chute de gravillons sur les lits de colle. Les blocs linteaux et les blocs courants présentaient une petite différence d'épaisseur qui a dû être rattrapée par la couche d'enduit extérieur. De même, quelques écarts de niveau entre des



matériaux aux deux extrémités de la parcelle limite la rotation de la grue et évite qu'elle ne balaye l'ensemble du chantier. Un petit malaxeur à mortier-colle suit les monteurs afin de limiter encore le nombre de rotations de la grue. La suppression du gros matériel au sol (pas de centrale de fabrication du béton) présente un avantage supplémentaire.

Un stage de formation continue a été organisé durant les quinze premiers jours de pose des blocs de béton. Avant le démarrage du chantier, les besoins de chaque entreprise sont analysés afin d'obtenir une organisation précise, à la fois de l'ensemble et au niveau de chaque corps d'état. Les outils utilisés vont des instruments du laboratoire du cerib aux ustensiles de chantier en passant par

blocs adjacents sur une même assise ont été constatés, puis rattrapés en jouant sur l'épaisseur du mortier-colle. L'outil de préhension conçu et mis à disposition sur chantier par le cerib n'a été adopté que par quelques maçons, les plus jeunes. Par accident, certains sacs de mortier colle disposés en fond de palette ont été humidifiés et donc rendus inutilisables. Si le mortier-colle a été appliqué sans difficultés particulières, en revanche, la mise au point d'une formulation adaptée à tous les types de temps n'est pas évidente. Par ailleurs, les blocs d'angle ont fait quelque peu défaut, la proportion d'éléments d'angle dans les moules et donc sur les palettes était insuffisante. Les blocs courants, à bouts droits, ont été montés à joints verticaux non-collés laissant passer ça et là la

lumière du jour. Bien que ce point n'ait pas de conséquence sur le mur fini, il constitue une gêne psychologique et présente un défaut d'étanchéité à l'eau de pluie en phase provisoire avant exécution des enduits extérieurs.

Abandon du montage à la trempe au profit du rouleau

Les objectifs de l'opération de Reims «val de Murigny» étaient d'adapter les outils de production pour en sortir des briques de terre cuite plus calibrées; de travailler la composition des colles pour optimiser les conditions de pose, notamment sous la pluie. Au niveau de la conception du projet, il s'agissait de réaliser le calepinage de l'ensemble des murs et, le cas échéant, d'apporter des modifications pour optimiser la mise en



oeuvre des briques collées (notamment au niveau des arases). La technique de pose à la trempe ne nécessite pas a priori d'outils de pose spécifiques. Les malaxeurs à colle, les outils pour répartir la colle sur les murs constituent la panoplie classique du monteur. Une scie sur table avec disque au diamant est installée pour la réalisation des coupes. Le chantier s'est déroulé sans difficultés particulières. Toutefois, le montage à la trempe initialement prévu a été abandonné au profit du montage au rouleau pour des problèmes d'ergonomie de pose (poids unitaire des produits : 17,5 kg au lieu de 13 kg pour les produits utilisés en phase pré-expérimentation). La formulation du mortier-colle a donc dû être revue en cours de chantier. La technique de pose à la trempe a été maintenue pour la mise en oeuvre des éléments de planelle, produits plus légers que les blocs courants. La réalisation de niveau des assises du premier rang est essentielle. Le système original de double trépied métallique avec visée laser a donné satis-

faction.

Les murs ont été montés sans recours au plan de calepinage du fait de la facilité de coupe des produits de terre cuite. Une solution originale a été imaginée sur le chantier pour la réalisation des appuis de baie : l'utilisation d'éléments feuillures posés à plat de façon à apporter une homogénéité d'ensemble à la maçonnerie tout en limitant les ponts thermiques au niveau de ces points singuliers.

Amélioration de la productivité

Parmi les avantages, il faut mentionner des chantiers plus propres et plus silencieux en l'absence de bétonnières, un gain de temps à la pose de 15 à 20 % par rapport à un montage traditionnel (à Bétheny, le temps de pose était de 1,2h/m² en début de chantier puis de 1h/m² en fin d'opération. A Reims, ces temps étaient de 0,9h/m² puis de 0,75h/m² avec une pose au rouleau) et, enfin, le fini de l'ouvrage qui présente un intérêt certain pour le second oeuvre. Il importe aussi que toutes les leçons puissent être tirées de ces réalisations expérimentales en matière d'amélioration des produits (élargissement de la plage de température d'utilisation des mortiers-colle, amélioration de leur rhéologie surtout par temps chaud, élargissement de la gamme des blocs pour la réalisation des points singuliers, ergonomie de pose, gestion des coupes et traitement des joints verticaux, ...). Cependant, il reste des solutions à trouver pour limiter l'usure des lames utilisées pour la coupe des blocs en béton. De plus, il est nécessaire de disposer d'éléments accessoires en quantité, blocs d'angle en particulier.

Pour être reproductible, il importe d'abord que la démarche présente un intérêt pour tous les acteurs de la construction, en particulier pour les maçons. Si les habitudes des maçons sont à modifier, il faut veiller à ne pas les bouleverser. Il semble que la pose collée aille dans le sens d'une valorisation du métier de maçon, d'un travail plus technique, plus propre, moins pénible. Outre les améliorations des conditions de travail (propreté, silence, sécurité sur les chantiers), ils devront juger de l'intérêt économique d'une telle démarche pour eux-mêmes (amélioration des cadences de pose). Faire plus vite et dans de meilleures conditions présente un intérêt mais, dans un contexte économique où les marchés se négocient à prix serrés, il subsiste le risque que la diminution escomptée des temps de main d'oeuvre ne se réduise dans les faits à une augmentation des cadences de pose alors que les perspectives sont bien plus larges.

Les perspectives de la technique à joints minces

Les perspectives de la technique à joints minces
Le succès des techniques de montage à joints minces ne tient pas qu'à la réduction du temps de pose. Il ne s'agit pas seulement de véhiculer des matériaux et des outils mais un système complet. Les perspectives de développement reposent sur la résolution des problèmes de diffusion des outils et des matériaux, d'approvisionnement du chantier en blocs spécifiques. Elles sont subordonnées à la prise en compte d'aspects touchant à la fois à la fabrication, la logistique, l'organisation et plus encore, à la coordination, la communication entre les partenaires et la prise de conscience de l'intérêt économique.

Les industriels

Les industriels doivent persévérer dans leur démarche qualité et proposer par exemple des produits permettant le traitement simple et fiable des points singuliers. Ainsi, ils pourraient proposer des systèmes constructifs basés sur la réalisation d'éléments spéciaux, avec établissement et diffusion des carnets de détail pour faciliter l'exécution des points singuliers. De plus, il s'agit de savoir si les coupes sur le chantier peuvent être ou non complètement éliminées grâce à l'utilisation systématique de logiciels de calepinage. S'il est possible de répondre par l'affirmative, il paraît prudent de ne pas se priver de la possibilité de coupe sur le chantier. Un optimum économique est à trouver entre facilité, nombre de coupes et quantité de produits accessoires disponibles. Ceci étant, certains procédés spéciaux de maçonnerie collée bénéficiant d'avis technique (Liplan, Rapidbloc, Kalhsand) prévoient déjà de réaliser toutes les coupes en usine. Le succès tient aussi à la fabrication des blocs à un coût modéré : l'étude sur les possibilités de réduction des surcoûts liés aux opérations de calibrage en hauteur des produits usinés doit se poursuivre. L'objectif est double : étendre le domaine d'application des produits aux murs de refend et éviter ainsi, comme cela a été le cas à Bétheny, de faire coexister deux techniques constructives : la maçonnerie et le béton banché. La mixité de deux solutions techniques a pour effet d'alourdir le budget et l'organisation. La suppression totale de banches permettrait l'utilisation de grues plus légères et plus mobiles ainsi qu'une maîtrise accrue de la logistique (plus de manutention de banches, d'assemblage, de stockage, de transport, d'entretien, d'encombrement).

Cependant, la réalisation de murs de refend en maçonnerie impose que la résistance minimale en compression des blocs ne soit pas trop basse, par exemple supérieure à 6 MPa. Il est également nécessaire de justifier de performances suffisantes vis-à-vis des contreventements, c'est à dire de pouvoir quantifier la capacité d'adhérence au cisaillement du mortier-colle sur son support et la capacité résistante des bielles de compression. Ces deux éléments vont dans le sens de la nécessité de passer par une certification de produits, tant sur les blocs que sur le mortier-colle de montage.

Le négoce

Les perspectives de développement semblent dépendre de la mise à disposition aisée des matériaux et outils de chantier sur les postes de travail et de la rapidité de montage en partie courante. Deux voies pourraient être développées pour assurer cette rapidité : d'une part l'utilisation d'échafaudages à plate-forme réglable en hauteur, d'autre part le développement de matériels de chantier permettant une alimentation du mortier-colle en continu (malaxeur-pompes). Les outils et matériels de chantier adaptés - outils de préhension, de pose, tronçonneuses, malaxeurs - devront être disponibles sur le marché. La question est de savoir si un transit par le réseau des négociants est envisageable. Il s'agit de véhiculer des systèmes complets et non plus seulement des matériaux. Il apparaît d'ores et déjà que l'intermédiaire du négoce permettrait d'assouplir la gestion des approvisionnements entre usine et chantier mais ne supprimera sans doute pas la nécessité d'une coordination directe entre maître d'oeuvre, industriel et entreprise. La participation du négoce est à examiner.

Les règles de calcul et avis techniques

Les règles de calcul de structures en maçonneries devront prendre en compte l'amélioration des performances mécaniques apportée par la pose collée (compression, flexion, cisaillement) afin d'étendre le domaine d'emploi de ces techniques par rapport aux maçonneries traditionnelles. Ces procédés devront déboucher sur des demandes d'avis techniques portant, au moins dans un premier temps, sur des systèmes complets consi-

dérant la compatibilité entre produits de maçonneries, caractéristiques des mortiers-colle et aptitude de l'outillage spécifique. Ces avis techniques devront en outre contenir des informations précises, basées sur des résultats expérimentaux, permettant une prise en compte significative des performances mécaniques (compression, flexion, cisaillement) par les concepteurs.

Vers une autre organisation du travail

Un élément concourant au succès de cette technique tient dans la nécessité d'une organisation des habitudes générales de travail, tant sur le chantier qu'en amont. Ceci va dans le sens d'une organisation plus étroite entre maîtrise d'oeuvre, industrie et chantier, par l'utilisation de nouveaux langages communs comme les logiciels de calepinage standardisés. L'accompagnement de ces changements au sein de l'entreprise [8] peut s'appuyer par exemple sur des sessions de formation initiale des équipes de maçons pour changer les habitudes issues de l'apprentissage initial. L'outil de préhension mis à disposition des maçons sur la Rex de Bétheny illustre ce propos : seuls les jeunes maçons l'ont utilisé.

Conclusion

A l'heure actuelle, les arguments en faveur de la maçonnerie à joints minces (amélioration des conditions de travail, meilleure organisation du chantier, optimisation des performances mécaniques, productivité accrue, chantier plus propre) sont plus déterminants dans le secteur de la maison individuelle que dans le logement collectif. En logement collectif, la mauvaise conjoncture économique, les besoins non résolus (par exemple la mise au point d'un matériel adapté pour le malaxage et la distribution du mortier-colle à distance directement sur le poste de travail) et les surcoût de la maçonnerie à joints minces constituent des freins auprès des maîtres d'ouvrage.

La technique à joints minces exige, au niveau de la conception, une certaine souplesse. Prendre en compte les contraintes relatives au calepinage des blocs impose de faire évoluer les plans, notamment au droit des ouvertures ou pour le traitement des points singuliers. C'est pourquoi il est permis de penser que la technique à joints minces serait adaptée à une consultation de type conception-réalisation.

D'autres pistes, susceptibles de pousser au



développement de la maçonnerie à joints minces en France, se dégagent :

- l'amélioration du processus de fabrication et du suivi de qualité des produits, notamment quant aux caractéristiques spécifiques d'aptitude à l'emploi pour la pose collée, permet de mieux intégrer dans les calculs la composante hétérogène (élément de maçonnerie/joint de mortier-colle) de la technique;

- les applications de la technique à joints minces peuvent toucher une gamme étendue de constructions, de la maison individuelle en secteur diffus jusqu'au petit bâtiment collectif, en passant par les bâtiments d'activités et les bâtiments à usage de stockage, commerciaux, industriels.

Le marché diffus présente un fort potentiel, propice à un développement de masse de la technique : c'est un facteur favorable à la pérennisation de partenariats entre les professionnels. Une réflexion doit par conséquent être menée sur les nouvelles relations à instaurer entre partenaires et sur l'organisation. De même, des outils doivent être développés pour automatiser les commandes (calepinage, colisage, échelonnement des livraisons), favoriser la communication des informations et limiter en conséquence les pertes de temps et aléas sur le chantier.

Blocs montés à joints minces de colle

Article extrait du journal
« chantiers 2000 »
numéro 5 - Décembre 1996

« Il y a énormément à faire pour améliorer les conditions de travail et de productivité en ce qui concerne les techniques de murs en maçonnerie, produits de base des artisans et pme. La maçonnerie montée à joints minces de colle répond bien à cette problématique : gain de temps lors de la mise en oeuvre; amélioration des conditions de travail; qualité de l'ouvrage... » déclare Michel Chatry, ancien Conseiller Scientifique au PCA. Traduction de ces avantages pressentis : deux chantiers expérimentaux (24 et 32 logements collectifs à Bétheny et Reims) destinés à évaluer la faisabilité technico-économique de cette technique de construction, à la fois pour les produits en béton et les produits en terre cuite.

► DEUX PAVILLONS POUR FORMER LES ÉQUIPES DE POSE

La première phase de l'expérimentation a consisté à monter deux pavillons à l'identique, le premier de manière traditionnelle et le second avec des joints minces de mortier-colle. But : initier les équipes au montage des maçonneries à joints minces; valider le système; mettre en évidence ses éventuels problèmes techniques et évaluer ses performances par rapport au pavillon construit en traditionnel. La maçonnerie à joints minces entraîne plusieurs changements dans l'approche du travail du maçon : montage selon un plan de calepinage précis; outils de préhension pour porter les blocs ; pelle crantée au lieu de la truelle pour un étalage plus économique et précis du mortier. Cette opération a permis, au niveau du calepinage, de définir des dispositions spécifiques aux joints minces : tolérances dimensionnelles des blocs de + ou - 1,5 mm; non remplissage des joints verticaux et utilisation de blocs spéciaux pour les angles, les tableaux et les linteaux. Premier point : la pose collée est avantageuse pour la réalisation sur des longueurs de murs supérieures à 1,50 m. Par ailleurs, un comparatif sur l'aspect des murs bruts et sur l'homogénéité de support d'enduit révèle un meilleur résultat pour la technique à joints minces. Autre point : la stabilité des murs est obtenue très tôt en cours de montage du fait de la prise rapide du mortier-colle. Enfin, les compagnons se sont adaptés sans difficulté majeure à cette nouvelle technique.



► BÉTHENY : DES BLOCS CREUX EN BÉTON

Outre un calepinage précis au niveau de la conception des murs, les objectifs principaux de cette seconde expérimentation se concentraient sur l'adaptation des outils de production pour sortir des blocs bien calibrés et la définition d'un outillage adapté aux besoins du chantier (malaxeurs à colle; pelles à positionner la colle sur le mur). Les attendus se sont confirmés pour l'essentiel : précision à la pose, cadences plus élevées, chantier propre et amélioration des performances mécaniques en compression et en flexion ont été au rendez-vous. Quelques difficultés cependant : les blocs n'ont pas été palettisés avec le voile de pose en haut, entraînant des manipulations supplémentaires. Par ailleurs, la formulation du mortier n'est pas encore adaptée à toutes les conditions climatiques. Enfin, l'outil de préhension spécifique mis au point afin de saisir les blocs n'a pas connu un grand succès : ce sont essentiellement les jeunes maçons qui l'ont utilisé. Une confirmation : la pose du doublage intérieur est simplifiée du fait de la planéité de la surface, sans relief de joints. Idem pour l'enduit extérieur.

► REIMS : DES BLOCS EN TERRE CUITE AUTO-ISOLANTS

Une particularité sur cette opération: des blocs en terre cuite poreux qui présentent l'avantage d'une forte inertie thermique par introduction de billes de polystyrène dans l'argile. Conséquence : le doublage d'isolation intérieure est supprimé, d'où un gain de temps, de matériau et de qualité. Rectifié après cuisson de façon à obtenir des faces

de pose parallèles, le bloc a une précision dimensionnelle sur sa hauteur de l'ordre de +/- 0,25 mm. Pour des questions d'ergonomie de pose (blocs d'un poids de 17,5 kg au lieu de ceux de 13 kg utilisés en phase pré-expérimentation), le montage à la trempe initialement prévu a été abandonné au profit d'un montage au rouleau. Ainsi, une nouvelle formulation de mortier-colle a dû être définie. Comme pour les précédentes opérations, le point crucial de mise en oeuvre réside dans l'obtention d'une assise du premier rang parfaite, la faible épaisseur des joints, inférieure à 2 mm, n'autorisant pas un rattrapage comme en maçonnerie traditionnelle : un outil, le «Justierboy», composé de deux platines dont la hauteur est réglée à l'aide d'un laser, a permis, de



ce point de vue, d'aboutir à un excellent résultat. Sur ce chantier, les murs ont été montés sans plan de calepinage en raison de la facilité de découpe des produits en terre cuite. Cependant, malgré la porosité des tessons de terre cuite, l'usure des lames de scie reste importante (1 lame pour 500 m² environ).

► DES RÉSULTATS ENCOURAGEANTS

Première confirmation : le gain de temps à la pose s'avère être de l'ordre de 15 à 20% par rapport à un montage traditionnel. Ce gain s'accroît encore pour la réalisation des pignons, difficilement accessibles, pour lesquels une quantité sept fois moindre de mortier-colle est nécessaire en maçonnerie à joints minces! A noter que la mise à disposition de blocs d'angle a fait défaut à Bétheny : une modification du moule à blocs par l'industriel devrait résoudre cette difficulté. Un élargissement de



la gamme des blocs, pour une réalisation plus aisée des points singuliers, serait par ailleurs nécessaire. Autre point : une formulation de mortier-colle, correspondant à une plage de température plus large, reste à définir. Dernier point : à Reims, la pose au rouleau a conduit à des temps de mise en oeuvre compris entre 35 et 45 min/m² avec une consommation de colle de l'ordre de 3,3 kg/m².

«Comment associer une technique à la définition d'un objectif précis, et non pas réutiliser systématiquement les mêmes solutions constructives?»

Article extrait du journal
« chantiers 2000 »
numéro 5 - Décembre 1996

Pierre Possémé, pdg de l'entreprise Bâtiment Associé et Président de l'Union Nationale de la Maçonnerie, tire un bilan prometteur des expérimentations initiées à Bétheny et à Reims. Il pense en revanche qu'il y a beaucoup à faire pour promouvoir les innovations relatives aux techniques de maçonnerie.

► **CHANTIERS 2000** : quel était le but des sessions de formation pour les maçons?

Pierre Possémé : atteindre un niveau élevé de performances, tant en matière de qualité de travail que d'optimisation des délais. Dès lors, il s'agissait de leur expliquer ce qui fondait les précautions corrélatives à la mise en oeuvre de la maçonnerie à joints minces de colle. Sur l'opération de Reims, la prise en compte de ces précautions était d'autant plus importante que la mise en oeuvre des monomurs en brique isolants induisait de ne pas créer des ponts thermiques qui auraient annulé l'avantage lié au matériau. De manière plus générale, les compagnons ne sont pas toujours très perméables à l'introduction d'innovations, surtout lorsqu'il s'agit de nouvelles techniques susceptibles de remettre en cause des savoir-faire hérités de la période de l'apprentissage. Si ce phénomène est connu, il n'en est pas moins aigu : certaines innovations n'expriment pas tout leur potentiel parce que les compagnons n'y sont pas formés et craignent de ne pas être compétents. Ils ont de ce fait tendance à se replier sur des modes de mise en oeuvre incompatibles avec l'introduction d'une nouvelle technique sur le chantier. L'exemple le plus significatif se trouve dans l'outil de préhension mis au point pour les parpaings à Bétheny: seuls les jeunes maçons l'ont utilisé alors que les « anciens » ont soulevé les blocs manuellement. D'où l'intérêt d'assurer une formation d'autant plus sérieuse en amont du chantier.

► *Quel premier bilan retirez-vous de ces expérimentations?*

P.P. : dès lors qu'ils sont formés, les maçons n'éprouvent aucune difficulté à mettre en oeuvre la technique à joints minces. Autre point : un meilleur confort de travail, le mortier-colle, contrairement aux mortiers classiques, « n'usant » pas les doigts des hommes. A noter, qu'en terme d'organisation de chantier, l'introduction d'un petit malaxeur à mortier-colle permet de réduire le nombre de rotations de la grue. A Bétheny, nous avons aussi porté nos efforts sur la palettisation des matériaux qui, allié à un de choix prédalles, au système de rotation des banches, à la diminu-

tion de la quantité de mortier mélangé sur site, permet d'améliorer les conditions de travail des maçons.

D'autre part, suivant les matériaux utilisés, la maçonnerie à joints minces présente des pistes intéressantes. Ainsi, pour les blocs à enduire, elle conduit à une augmentation des performances mécaniques, à un gain sur les délais de pose et à une grande qualité esthétique de l'ouvrage. Les blocs apparents, quant à eux, présentent, outre la diminution des temps de pose, une adhérence renforcée qui contribue à une meilleure tenue aux efforts horizontaux. Par ailleurs, la pose du doublage intérieur est facilitée par le fait qu'il est collé sur une surface complètement plane, les reliefs de joints étant supprimés. Dans une mesure moindre, l'enduit extérieur bénéficie lui aussi d'une réalisation plus aisée, corrélative à la diminution de l'épaisseur des joints. En revanche, l'apparente facilité d'exécution de ne doit pas faire oublier qu'en phase de conception, un calepinage précis est indispensable pour optimiser les coupes et les percements.

Autre point : il faudra disposer à l'avenir d'une nomenclature de blocs plus large pour la réalisation des points singuliers. Sur le plan économique, la technique à joints minces n'est pas « révolutionnaire ». La rectification des blocs en usine ou le prix du mortier-colle sont encore onéreux, même si le temps de pose est réduit par rapport à une solution traditionnelle.

► *Le coût est évidemment déterminant. Cela signifie-t-il que vous n'arrivez pas à imposer cette technique hors chantier expérimental?*

P.P. : les avantages de la maçonnerie à joints minces s'expriment en termes de conditions de travail et en qualité esthétique de l'ouvrage. A l'heure actuelle, ce ne sont pas deux arguments suffisants pour convaincre un maître d'ouvrage qui préférera généralement voir des parpaings mal posés, mais qui lui coûteront moins cher. Cela tient aussi au contexte économique difficile : je suis persuadé que dans un marché « normal » nous serions concurrentiels. Comme, en tant que chef d'entreprise, je me refuse à brader mes frais

généraux pour obtenir un marché, la technique à joints minces, malgré ses qualités, ne suscite pas encore de nouvelles opérations en logement collectif. En revanche, sur du logement individuel où l'argument qualité est plus déterminant, des perspectives de développement existent. Cette situation sclérose l'innovation. A titre d'exemple, sur la pose du parpaing collé, j'avais envisagé d'optimiser l'étalement du mortier par la mise au

minces serait adaptée à une consultation de type conception-réalisation. A ce propos, le dernier appel d'offres auquel j'ai soumissionné avec cette technique s'est montré très révélateur : les plans de l'architecte induisaient un nombre de coupes trop importantes pour pouvoir entrer dans les prix. Au travers de cet exemple, il est possible d'élargir le débat à une problématique du programme chantier 2000 : comment associer

une technique à la définition d'un objectif précis - en termes de contraintes de délais, de site, d'organisation, de qualité de l'ouvrage... - et non pas réutiliser systématiquement les mêmes solutions constructives? La diffusion de l'innovation est au coeur de cette problématique.



La diminution de la taille des opérations n'est-elle pas porteuse d'espoirs pour des innovations relatives à la maçonnerie?

P.P : la maçonnerie à joint minces devrait permettre aux entreprises moyennes de

point d'une nouvelle machine qui aurait encore amélioré les temps de mise en oeuvre. J'y ai finalement renoncé en raison du retour d'investissement trop aléatoire induit par les conditions actuelles de dévolution des marchés.

► **La maçonnerie à joints minces incite aussi à une nouvelle approche au niveau de la conception.**

P.P : au niveau de la conception, la technique à joints minces exige une architecture plus souple. Prendre en compte les contraintes relatives au calepinage des blocs impose de concevoir dans un esprit « ouvert ». Autrement dit, l'architecte doit faire évoluer son dessin en fonction des contraintes de mise en oeuvre. Or, dans un appel d'offres classique, les plans sont figés à l'avance au travers des pièces du dce qui ne sont pas susceptibles d'évoluer. A l'extrême, la maçonnerie à joints

retrouver un marché au niveau du logement. Elle nécessite en effet moins de matériel et davantage de compétences de la part du maçon. Pour rebondir sur votre question, je me demande si, par rapport à la réduction de la taille des opérations, l'aide apportée aux innovations relatives aux systèmes industrialisés constitue une piste prometteuse pour l'avenir. A force de ne pas aider l'innovation dans les techniques traditionnelles, on néglige aussi les hommes qui contribuent à leur qualité. Construisons avec des technologies industrielles lorsqu'il y a des ressources de matière première et de compétences sur la région. Mais n'en faisons pas un règle générale. D'autant que je ne suis pas certain que la qualité et l'économie du logement soient parfaitement maîtrisées sur ce type de construction.

Bibliographie

- [1] Résistance des maçonneries sous charges verticales
Cahiers du CSTB n° 2553 - janvier/février 92
- [2] Les maçonneries à montage simplifié
Cahiers du CSTB n° 2623 - décembre. 92
- [3] Calcul des murs en maçonnerie sous chargement hors plan
Cahiers du CSTB n° 2909 - octobre 96
- [4] Montage des maçonneries de petits éléments à joints minces de mortier-colle - décembre 94
Documentation PCA : D 407
- [5] Etude sur les maçonneries de petits éléments montées à joints minces de mortier-colle - mars 97
Documentation pca : d 447
- [6] Rapport de suivi des rex de reims (betheny et val de murigny) - septembre 96
Documentation pca : ex 203
- [7] CSTB Magazine n° 99 - novembre 96 - p 3 à 17
- [8] Constructeur n° 11 (revue de l'UNM) - juin 96 - p 11 à 14)
- [9] Chantiers 2000 n° 5 - décembre 96 - p 9 à 11

