

Étude pilote de contrôle de l'humidité des maisons en ballots de paille

Rapport présenté à :

Don Fugler
Société canadienne d'hypothèques et de logement

par :

Bob Platts
Fibrehouse Limited
Ottawa, 31 mai 1997

Table des matières

- 1. Introduction**
 - 2. Exposé du problème**
 - 3. Le projet**
 - 4. L'étude pilote**
 - 5. Résultats de l'étude pilote et premières impressions**
 - 6. Conclusions**
-

Introduction

Le présent rapport expose les résultats d'une étude pilote sur la résistance à l'humidité des maisons en ballots de paille et sur le contrôle de l'humidité dans leurs murs. Les essais sur le terrain ont été réalisés dans l'Outaouais québécois, juste au nord d'Ottawa. La Société canadienne d'hypothèques et de logement a contribué au financement de cette étude réalisée en mai 1997.

Contexte : Si l'on s'intéresse de nouveau de nos jours à la construction de maisons en ballots de paille recouverts de stucco, c'est qu'on se rend compte qu'on doit utiliser les ressources de manière plus efficiente, dont certainement les ressources renouvelables, l'énergie et les « déchets », tout en polluant beaucoup moins. La durabilité, tel est le mot d'ordre.

Le secteur de la construction ne s'est pas illustré sur ce point. Même la construction de maisons à ossature de bois, sans contredire le meilleur système reposant sur la fibre renouvelable, consomme les ressources forestières à un rythme qui compromet la durabilité. Les producteurs forestiers novateurs se préoccupent de cette question depuis plusieurs décennies, cherchant à favoriser la durabilité et l'exploitation à valeur ajoutée en tirant des arbres, y compris les arbres indésirables, le maximum possible de matériaux de construction. Leurs innovations prennent une forme ou une autre de bois reconstitué par l'agglomération de particules, ce qui permet de produire plus de matériaux avec moins de matières premières mais augmente les coûts, la consommation d'énergie et la pollution.

Cent ans auparavant, des novateurs remarquables, les « bricoleurs » qui ont inventé les murs porteurs en ballots de paille du Nebraska, ne faisaient qu'utiliser les ressources dont ils disposaient : de la paille et une nouvelle presse à mise en ballots tirée par des chevaux. Leur mot d'ordre était la survie. Leur

ingéniosité a donné naissance à un modèle singulier de production durable et non polluante de maisons. Leurs jolies maisons sont encore habitables.

De nos jours, les ingénieurs cherchent à simplifier et à rationaliser la méthode de construction de murs en ballots de paille du Nebraska pour qu'elle consomme moins de matériaux, de main-d'oeuvre et d'énergie et permette de produire des logements durables, son application s'étendant bien au-delà des plaines arides du Nebraska. Nous reconnaissons les points forts de cette méthode de construction et entrevoyons qu'elle deviendra un marché important des déchets de paille. Ses caractéristiques structurelles, thermiques et de résistance au feu sont exemplaires. Cependant, nous nous inquiétons de l'ennemi juré de la fibre de cellulose que l'on doit combattre sans répit dans les maisons en ossature de bois : l'humidité.

Exposé du problème

Dans ce projet, nous avons tenté de déterminer la nature et la gravité des problèmes que présente l'humidité pour la durabilité des murs en sandwich constitués de ballots de paille recouverts de stucco, y compris les enveloppes modernes de stucco, afin que les concepteurs et les responsables de la construction puissent appliquer cette méthode de construction de manière sûre et à son plein potentiel.

En revanche, la construction de maisons en ballots de paille plâtrés s'est illustrée par son excellent rendement et sa longévité dans des conditions idéales : 100 ans dans les plaines arides du Nebraska. Néanmoins, l'accumulation et la rétention d'humidité excessive dans les maisons à ossature de bois ou en fibre de bois ou autre matériau de fibre de cellulose peuvent en miner le rendement et les rendre inhabitables en quelques années seulement.

Par ailleurs, ce ne sont que les maisons revêtues de stucco qui sont considérées comme très problématiques. De plus, la présence d'un isolant dans toute l'épaisseur du mur et les caractéristiques douteuses de drainage et d'aération soulèvent encore plus de préoccupations sur le contrôle de l'humidité. Puisque le système de murs du Nebraska s'est étendu à des climats plus humides où la pluie est balayée par le vent, en Nouvelle-Écosse par exemple, le problème de l'emprisonnement de l'humidité s'est posé là où les matériaux de l'enveloppe et/ou de finition ne convenaient pas à de telles conditions climatiques extrêmes. Si la paille demeure humide trop longtemps au cours de la saison chaude, la moisissure l'attaque.

Enfin, les mélanges actuels de stucco comportent souvent une forte proportion de ciment portland, ce qui soulève une autre préoccupation en plus de celle que pose le contrôle de l'humidité : l'attaque par les alcalis. On sait maintenant que certains alcalis dans le ciment portland attaquent rapidement et sauvagement les fibres de cellulose, parfois même lorsque le cycle de l'humidité n'entraîne aucune pourriture. Ces attaques s'étendent-elles de manière significative à la paille entière? Est-ce que la paille de toutes les céréales en est affectée? L'attaque rompt-elle le lien paille-ciment? Doit-on éviter ou utiliser autrement ces stuccos riches en ciment? Comment les bétons giclés, (essentiels pour réduire les coûts de main d'oeuvre lors de la construction de murs de paille) affectent-ils la paille et le lien? Est-ce que l'emprisonnement des alcalis par la fumée de silice de ces bétons atténue suffisamment le problème?

Le projet

Compte tenu du nombre faramineux de variables et d'inconnues, la conception d'une petite étude en laboratoire visant à prédire le rendement à long terme de ce système et les valeurs limites d'humidité serait une tâche ardue. Heureusement, nous disposons d'un laboratoire prêt à nous livrer les résultats de plusieurs décennies d'expérience : le terrain même. Dans un vaste éventail de climats, secs ou humides, froids ou chauds, on trouve des centaines de maisons en ballots de paille recouverts de stucco ayant souvent abrité plusieurs générations. Qui plus est, quelques exemples plus récents de maisons québécoises revêtues de mortiers de ciment portland ont déjà plus de dix ans et se trouvent dans des milieux très humides. Nous comptons tirer rapidement au clair les questions relatives à l'humidité en allant sur le terrain et en scrutant les murs de ces maisons.

Puisque nous n'en savions pas assez sur le parc de ces logements et sur les variables pour concevoir une étude statistique représentative, nous avons décidé de mener une étude pilote des « pires cas ». Les parallèles que nous pouvons établir entre les maisons à ossature de bois dont les murs sont isolés sur toute leur épaisseur et certaines maisons en maçonnerie et en stucco sont très forts. Les études canadiennes approfondies sur le terrain, lesquelles appuient les études analytiques et en laboratoire ou sont appuyées par ces dernières, nous révèlent en quoi consistent les « pires cas » et même les indicateurs de problème que nous devons chercher.

De toute évidence, l'étude des « pires cas » se révèle très positive même si le détail le plus insignifiant d'un mur qu'on suppose très exposé à l'humidité produit un bon rendement tout au long de la durée utile d'un bâtiment. Ce genre d'étude a déjà résout facilement et clairement toute controverse. Il est un peu plus difficile mais très souvent nécessaire d'organiser et d'interpréter les résultats d'une étude des pires cas si les résultats sont décevants; c'est justement ce à quoi nous sommes confrontés. Cependant, nous savons qu'à certaines zones pourries dans les murs se juxtaposent des zones qui, en théorie et en pratique, sont un peu moins chargées d'humidité et donnent indéfiniment un bon rendement. Ainsi, dans presque chaque « pire cas », nous pouvons trouver des zones où nous pouvons effectuer nos mesures : nous pouvons creuser dans des zones avoisinantes non pourries et préciser les seuils de tolérance.

L'étude pilote

Portée et méthode : Dans l'étude pilote, réalisée dans l'Outaouais québécois, nous voulions vérifier et définir les préoccupations susmentionnées au sujet de l'humidité et contribuer à mettre au point une méthode et un questionnaire en vue d'une étude portant sur un plus vaste territoire. Comme nous l'avions proposé, l'étude pilote nous a permis d'explorer divers moyens de mesurer l'humidité, de prélever et d'évaluer des échantillons, d'enregistrer des mesures, d'effectuer des réparations nécessaire à la remise en état des murs. L'étude a compris l'examen de deux maisons représentatives des « pires cas » et d'une maison dont l'état était présumé bon et les murs, secs. Les travaux peuvent se résumer comme suit :

Tâche 1 : Travail à un mur de ballots de paille recouverts de stucco, essai de divers outils de coupe, détermination de la taille et de la forme des échantillons, prélèvement des échantillons, enregistrement des mesures, méthodes de réparation et mise au point du déroulement des tests.

Au lieu d'utiliser la maison de quelqu'un pour nous initier, nous avons eu la chance de faire les premiers essais et les erreurs de débutants sur un bâtiment en ruine : le premier bâtiment expérimental en béton de fibres « Biocrete » de Brad Robinson sur les berges de la rivière Gatineau. Il s'agit d'une structure en sandwich dont le centre de faible densité est constitué de diverses fibres liées par un ciment de terre légère et l'enveloppe constituée d'un mortier plus dense de fibre-terre-ciment plus riche en ciment, couronnée à certains endroits par du ciment portland et stucco. Ce bâtiment âgé de six ans nous a appris davantage que ne l'aurait fait l'essai de nos outils et de modèles de coupe. Les résultats de ce cas, identifié par un X (au sens de cas expérimental), sont indiqués ci-après.

Tâche 2 : Identifier des maisons choisies pour réaliser nos essais.

Brad, un « bricoleur » digne de ce nom, connaît les maisons choisies pour les essais et leurs propriétaires et a participé à la construction de certains d'entre elles. Parmi les quatre maisons âgées entre 7 et 10 ans sélectionnées, deux ont été retenues comme étant les meilleures candidates pour la réalisation de l'étude pilote.

Tâche 3 : Pour chaque maison à l'étude, obtenir du propriétaire ou des occupants la permission d'examiner la maison.

Pour les deux maisons retenues, cette tâche nous a demandé du temps et de la diplomatie, mais pas trop cependant grâce à M. Robinson. De plus, nous avons pu examiner une serre de 7 ans construite par Brad et comportant des murs de béton de fibres et quelques sections faites de ballots de paille

recouverts de stucco.

Tâche 4 : Sonder les murs et expliquer les expositions aux intempéries, les détails et les indicateurs afin de déterminer les zones sèches et les zones humides des « pires cas ».

Nous avons mesuré sur place les taux d'humidité de quelque 15 000 maisons au cours des vingt dernières années. En fait, environ 14 000 maisons ont été examinées par thermographie à infrarouge lors d'une enquête notoire dans l'ensemble du Canada au milieu des années 80, mais, vers la fin de cette enquête, nous avons rarement besoin de la thermographie pour trouver les zones humides. Quant à l'autre millier de maisons, elles ont été inspectées et examinées sur place lors de diverses études d'anomalies d'un océan à l'autre et jusque dans l'extrême-nord. Nous savons comment détecter les zones où la période humide, pour les sources intérieures et extérieures d'humidité, est plus longue ou plus forte que la période sèche et où l'excès d'humidité peut s'accumuler et être retenu suffisamment longtemps après le début de la saison chaude pour que le bois ou la paille pourrissent. Nous connaissons également les indices subtiles qui accompagnent en général ce type de problème.

Tâche 5 : À un ou plusieurs endroits secs et à deux endroits plus humides de chaque maison, couper en carré ou en rond environ 100 mm² du revêtement extérieur en stucco et le retirer avec la paille qui y est fixée.

Une meuleuse avec une lame de 7 po s'est révélée le meilleur outil pour accomplir la tâche 1 et couper des carrés de 4 po de côté, comme nous l'avions prévu. (La scie à trou est lente et tord l'interface paille-stucco lorsqu'elle traverse le stucco.) Dans la prise d'échantillons, nous avons finalement adopté une coupe triangulaire pour en réduire la longueur et raffiné la technique du retour pour éliminer tout effort ou mouvement tranchant dans la paille. Ce qui pose le plus de problème, c'est l'épais nuage de poussière de silice et de ciment. De toute évidence, les échantillons ne doivent pas être prélevés de l'intérieur de la maison (toutes les inspections ont été réalisées de l'extérieur). Il faut absolument un masque antipoussières, des lunettes à coques et un ventilateur ou une bonne brise pour voir la coupe. Les lignes de coupe doivent être clairement indiquées au marqueur, et l'on doit prévenir l'occupant et les enfants de ce qui les attend.

Tâche 6 : À l'aide d'un humidimètre à résistance électrique en ligne, mesurer l'humidité dans chaque ouverture pratiquée à l'étape précédente en prenant des lectures à diverses profondeurs des ballots de paille.

La sonde Delmhorst couramment utilisée pour la paille est calibrée pour le foin. (Selon le manuel d'utilisation, la calibration de la sonde a été en grande partie réalisée à l'aide de luzerne, mais cette sonde convient à d'autres variétés de foin.) La sonde a produit des résultats uniformes dans les pailles de blé et d'orge que nous avons testées. Si elle indique que le niveau de saturation est atteint, on peut le constater à l'oeil nu et exprimer l'eau par une pression des mains, si elle indique que la paille est sèche, c'est vrai, et toute lecture d'un taux d'humidité entre ces deux extrêmes semble exacte. Les corrections à apporter en fonction de la température sont indiquées dans le manuel d'utilisation, et nous les appliquons, mais nous devons absolument étudier la question de la calibration pour la paille avant la réalisation de l'étude principale.

Tâche 7 : Inspecter et photographier sans tarder les tranches d'échantillon et, au besoin, les mettre dans un sac pour qu'une analyse plus approfondie soit réalisée, dont l'évaluation de l'élasticité de la paille et du lien et l'analyse des moisissures.

Nous avons photographié, palpé et senti les échantillons de manière assez concluante pour l'étude pilote, puis nous les avons emballés et identifiés à l'aide d'un code. Cependant, nous n'avons pas mis au point d'extensomètre pour mesurer l'adhésion de la paille au stucco, ce qui serait peut-être souhaitable. Nous demanderons conseil sur l'analyse des moisissures et peut-être d'autres analyses en prévision de l'étude principale.

Tâche 8 : Évaluer les indications des principales sources d'humidité, et leurs importances, les voies de transmission ou mécanismes de transfert de l'humidité affectant le plus directement chaque zone afin

de faciliter l'évaluation des résultats de l'étude pilote et de tirer des conclusions utiles pour le moment.

Résultats de l'étude pilote et premières impressions

Nous vous présentons les photographies de quelques-uns des échantillons les plus significatifs ainsi que les notes sur l'état de l'échantillon, l'historique de l'exposition à l'humidité apparente et nos premières impressions. Retenez que nous avons tout fait pour trouver les « pires cas ». Les codes accompagnant les photographies se rapportent aux notes prises sur place, et la lettre S signifie « échantillon ».

Cas expérimentaux valables pour la tâche 1 : Figures 1 et 2 : structure expérimentale en béton de fibres « Biocrete » âgée de 6 ans et décrite ci-dessus à la tâche 1.

Figure 1 : Le mur est, celui le plus exposé aux pluies battantes, est en bon état et sec sous son couronnement en béton doté d'un larmier convenable, alors que le mur sud à droite, dont la plus grande partie se trouve sous un couronnement en béton très large mais dont le larmier est à l'envers, est très pourri. (Le trou et deux coupes horizontales font partie de nos premiers essais de prélèvement d'échantillons.)

Figure 2 : Ce dernier mur venait tout juste d'être démonté pour qu'on l'inspecte, ce qui expose la partie inférieure de son centre en ballots de paille (de la paille et rien d'autre), partie qui a reposé sur un mortier terre-ciment. La paille est très saturée et en train de pourrir, les fibres sont très faibles. Le taux d'humidité au-dessus comme au-dessous du mur dépasse clairement le régime d'assèchement malgré la grande perméabilité à la vapeur des enveloppes terre-ciment très érodées.

Figures 1 et 2 : Tous les points contrôlables. Les couronnements et les enveloppes riches en ciment n'ont pas causé de détérioration additionnelle de la fibre à l'interface, elles auraient plutôt préservé la fibre qu'elles enveloppaient et son aspect luisant. (Dans la Figure 1, on aperçoit surtout du bois déchiqueté et dans la Figure 2, de la paille.)

Autres cas expérimentaux (photos au dossier) : La serre dont nous avons parlé précédemment s'est révélée un cas valable bien qu'on ne nous ait pas clairement autorisé à y pratiquer des coupes. Les brèches causées par des camions dans les coins et sur un mur exposent une partie de l'enveloppe fibre-terre-ciment et du cœur de paille et en permettent l'inspection. Ces brèches ont été fréquemment exposées à la pluie et à la neige mais pouvaient, en général, bien s'égoutter et sécher. Le bois déchiqueté et la paille ne sont détériorés que dans les brèches où l'eau a stagné. **Là encore, le mortier et le revêtement de stucco riches en ciment auraient préservé la fibre qu'ils recouvraient, aucune détérioration ne s'étendant au delà de l'interface fibre-revêtement.**

Figure 1



Figure 2



Fondation d'un vide sanitaire : Figures 3 et 4 : Fondation en ballots de paille âgée de six ans et qui s'appuie sur une mince semelle de mortier (ciment, terre et paille déchetée) à 6 po sous le niveau du sol fini, elle-même s'appuyant sur du moellon versé dans une tranchée profonde de type Frank Lloyd Wright pour drainer l'eau de surface et empêcher l'eau souterraine de remonter par capillarité. Aucune membrane de polyéthylène ni barrière d'étanchéité ne sépare la paille de la tranchée. La tranchée, qui décrit une pente prononcée et dont l'extrémité est à ciel ouvert, doit laisser s'écouler de

bonnes quantités d'eau à longueur d'année, car le chalet d'été (à ossature de bois) qui repose sur cette fondation a été érigé au beau milieu d'un flanc de montagne.

Nous avons prélevé des échantillons sous une véranda entièrement close. La température y atteint 8°C. Les enveloppes se composent d'un lait de paille-terre-ciment appliqué aux ballots de paille sur une épaisseur d'environ 1 1/2 po, le tout paré d'un mortier riche en ciment préparé in situ sur une épaisseur égale ou supérieure, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Cette finition est suffisamment dense pour être imperméable à la vapeur d'eau, comme l'est essentiellement tout bon béton, et n'est pas fissurée. Le vide sanitaire est fermé mais non-chauffé. Il contribue peu au taux d'humidité dans la paille, mais il ne permet pas à celle-ci d'y laisser s'échapper son humidité.

En fait, nous sommes en présence d'une bouteille de béton inversée et dont le goulot se trouve à quelques pouces au-dessus d'une surface d'eau ou de vapeur à 100 % d'humidité relative (H.R.), une sorte d'humidificateur qui est plus chaud que la paroi intérieure de la bouteille une grande partie de l'hiver. Et cette bouteille est remplie de paille.

Figure 3 : Échantillon S1 prélevé à 3 pi au-dessus du sol fini dans un ballot de paille qui est séparé de la tranchée complètement humide (H.R. : 100 %) par au moins deux couches horizontales de mortier riche en ciment entre les ballots. (Construction de type Gagné mais construite par d'autres personnes; la structure est en bon état et sa solidité ne dépend pas du lien paille-ciment.) La finition extérieure riche en ciment s'est détachée du lait de ciment derrière celle-ci, lui-même effrité, de sorte que nous n'avons pu prélever aucun échantillon ayant un lien avec le lait de ciment. La paille est humide et, comme on peut le constater, se détériore; elle se brise facilement sous l'effet de la tension. Dans la paille, l'humidimètre indique un taux d'humidité de 37 à 42 %, soit de 38 à 43 % compte tenu de la température. La paille est saturée d'humidité et sent un peu le mois.

Figure 4 : Échantillon S2 prélevé juste au-dessus du sol fini, sous le premier échantillon. De la moisissure blanche ressemblant à du givre témoigne du degré avancé de la décomposition. La paille est très fragile. Cependant, observez la paille intacte d'aspect lustré dans le coin supérieur gauche de l'échantillon de lait de ciment-terre-paille déchiquetée. Le taux d'humidité dépasse les limites de l'échelle, la paille est très saturée d'humidité.

Figure 3



Figure 4



Maison à deux étages : Figures 5 à 10 : Construction de type Gagné âgée de 10 ans et reposant sur un plancher-dalle. Le mur sud montre les signes les plus évidents de détérioration sous des fenêtres sans solin ni larmier, mais puisqu'il fait face à la voie d'accès à la propriété et à la route, nous n'y avons prélevé aucun échantillon. (Ce genre d'observations, les résultats de l'échantillonnage et des conseils sur la façon de remédier aux problèmes sont transmis à l'occupant.) Des traces d'humidité moins évidentes et quelques indices de problème ont été observées sur le mur est, le plus exposé aux pluies battantes, et le mur nord, le moins exposé à ces pluies. Au moment de la prise des échantillons, une légère pluie tombait et il ne faisait que 4 °C.

Figure 5 : Échantillon S3 prélevé sous une terrasse en planches espacées reposant sur des solives en porte-à-faux, étage supérieur, mur est. Le stucco non armé est déjà fissuré à cause des solives, ce qui explique en partie pourquoi nous avons choisi cet endroit. Cependant, nous n'y avons observé aucun signe de pénétration d'eau, et les fissures facilitent le séchage. La paille installée entre les solives en couches parallèles au mur et non pas perpendiculaires à celui-ci est d'aspect luisant, en bon état de part en part et bien liée là où le stucco la revêt, malgré la position parallèle de cette paille. Le stucco est riche en chaux. Le taux d'humidité, moins de 13 %, est en deçà de l'échelle jusqu'au coeur des ballots de paille.

Figure 6 : Échantillon S4 prélevé sur le mur nord, juste au-dessus du plancher-dalle, sous la même terrasse enveloppante et juste au-dessous d'un lit de mortier entre deux ballots de paille superposés. Nous avons découvert que les ballots de paille avaient été chaulés avant la construction. La blancheur de la paille n'est pas causée par de la moisissure. (Les couches de paille lâches à la Figure 5 n'avaient pas été chaulées.) Apparemment, le stucco et le mortier au complet sont riches en chaux, même si nous avons lu que le mortier structural horizontal et vertical dans ce type de mur est normalement un mélange sable-ciment.

Nous croyons qu'aucune membrane de polyéthylène ne se trouve ni sous le plancher-dalle ni entre ce dernier et la paille au-dessus. Nous n'apercevons aucune fissure évidente dans le stucco jusqu'au surplomb de toit (de 3 pi), et la terrasse au-dessus de cet échantillon prélevé sur le mur nord ne semble pas causer beaucoup d'éclaboussures. Néanmoins, la paille est humide, sent le moisi et la chaux et se détériore. La poussière de chaux semble avoir détruit le lien paille-stucco à certains endroits. Le taux d'humidité se situe à 18 % dans le sens horizontal de la paille et de 20 à 21 % si la sonde est inclinée vers le plancher-dalle, soit de 20 à 23 % si nous ajoutons un 2 % pour le facteur température. Nous retournons à cet endroit après avoir effectué quelques tests additionnels dans le mur est.

De retour au mur est de la maison à deux étages : **Échantillon S5** prélevé sous la fenêtre la plus

basse du côté sud du mur est, pignon exposé à la pluie et peu protégé par le surplomb de toit; le seuil de la fenêtre ne comporte aucun larmier et dépasse de peu la face du stucco.

(Cependant, nous n'y apercevons aucun indicateur de problème.) L'échantillon est à 1 pi au-dessus du plancher-dalle. Nous avons eu du mal à couper le stucco riche en chaux de 3 1/2 po d'épaisseur. (L'épaisseur de l'enveloppe fluctue beaucoup, elle s'établissait à 2 po pour les échantillons précédents.) L'enveloppe constituée de multi-couches s'est détachée sans aucune trace du lien de la paille à celle-ci, et, victimes d'une pluie diluvienne, nous n'avons pas pensé à photographier la paille odorante et qui semblait en bon état. Cependant, nous avons mesuré les taux d'humidité de la paille jusqu'à 11 po de profondeur, soit la

Figure 5



Figure 6



longueur de la sonde : 19 % près de la surface récemment exposée et 13 % près du centre du ballots de paille, soit, compte tenu du facteur température, 21 et 15 %, cette dernière lecture étant probablement la plus réaliste puisqu'à cet endroit la pluie ne pouvait ni se rendre ni mouiller la sonde.

De retour au mur nord afin d'y inspecter plus à fond un effet suspect du plancher-dalle (humidité du sol ou, comme le disent les Britanniques, « rising damp »).

Figure 7 : Nous prélevons un autre échantillon, S6, juste au dessus de l'échantillon S4 du mur nord (Figure 5). La photo montre les deux échantillons. (Une épaisse couche de mortier entre deux ballots de paille, du genre Québec, sépare les échantillons. Nous l'avons par la suite coupé plus profondément pour en extraire un autre échantillon et montrer qu'il s'agit là aussi d'un mortier riche en chaux. Une fois de plus, la paille qui touche ce mortier et s'y enfonce est en bon état, et rien ne nous laisse supposer que ces couches transversales de mortier acheminent l'eau à l'intérieur des ballots de paille, ce que certains craignent.) La photo montre que l'échantillon S6 est d'aspect plus luisant et en meilleur état que l'échantillon S4 juste en dessous.

Figure 8 : Examen à l'intérieur de l'échantillon S6. La chaux dans la paille se présente comme une poudre grise, mais la paille est de belle apparence, sent bon et résiste bien à la tension. La poudre de chaux semble vraiment affaiblir la paille et l'empêcher de coller au stucco qui la revêt, mais un lien mécanique est encore présent. **Figure 9** : Taux d'humidité de 13 % près de la surface et s'élevant à 15 % à quelques pouces plus en profondeur pour se maintenir à ce niveau. Compte tenu du facteur température, ces deux lectures seraient plutôt 15 % et 17 %, respectivement.

La paille est effectivement plus sèche et sans pourriture légèrement plus au-dessus du plancher-dalle et grâce à la présence d'une épaisse couche horizontale de mortier. Faut de défauts ou de sources d'humidité visibles, nous sommes forcés de soupçonner la présence d'humidité s'infiltrant par capillarité depuis le plancher-dalle ne comportant aucun pare-vapeur et reposant probablement sur un lit de gravier qui s'est enfoncé dans la boue ou que la boue a envahi.

Figure 7

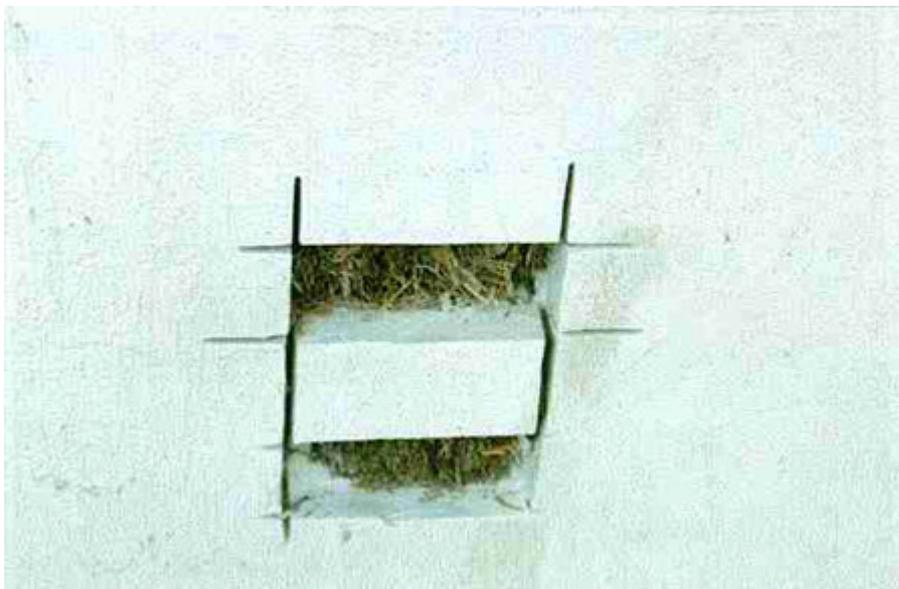


Figure 10 : Sous l'échantillon S8 prélevé sur le mur nord, sous le coin du seuil d'une fenêtre dans l'alignement de la surface de stucco, environ 1 1/2 pi au-dessus du plancher-dalle. Une faible tache de poussière nous y a amené. Les couches internes liantes du stucco de 3 po d'épaisseur se sont effritées, comme la photo le montre, ce qui ne nous permet pas d'évaluer le lien avec la paille. **Dans ce mur âgé de 10 ans, la paille sent le moisi, résiste peu à la traction et est humide. Des taux d'humidité de 25, 25, 22 et 20 % ont été enregistrés horizontalement jusqu'à la pleine longueur**

de la sonde (11 po). Des taux d'humidité de 25, 30, 35, et 30 % ont été enregistrés, la sonde pénétrant diagonalement vers le plancher-dalle. (Puisqu'il fait plus chaud cette journée-là, le mercure indique 12 oC, les lectures d'humidité sont égales au taux réelles sans correction de température)

Figure 8



Figure 9



Figure 10



Conclusions

Les quelques cas étudiés de construction en ballots de paille recouverts de stucco et leur divergence par rapport à la norme ne permettent pas de tirer des conclusions définitives, mais nous pouvons néanmoins affirmer ce qui suit :

- « La paille n'a rien de magique », comme le souligne Don Fugler de la SCHL à l'appui de cette étude, lui qui est de plus en plus confronté à des demandes de soutien touchant n'importe quoi, y compris les murs de sous-sol en ballots de paille et l'isolation sous les planchers-dalles avec ballots de paille. **Ce qu'on ne peut faire sans préoccupations avec du bois ne doit pas être fait avec de la paille...** du moins pas encore.
- On peut trouver la cause des problèmes observés dans toutes les zones des murs de paille : les sources d'humidité, sa transmission et son emprisonnement ont pour résultat que la période humide annuelle nette est plus longue ou presque que la période sèche; la paille qui reste trop longtemps humide au cours de la saison chaude pourrit. Nous avons observé que le bois restant humide aussi longtemps pourrit également, mais il pourrait éviter ce problème ne serait-ce que temporairement, car un mur de bois sèche plus facilement, ce qui allonge la période sèche nette.
- Les résultats de notre petit échantillonnage laissent supposer que les stuccos alcalins, soit ceux qui sont riches en chaux ou en ciment, n'attaquent pas la paille à l'interface et semblent plutôt protéger la paille qu'ils revêtent. Cependant, les stuccos riches en ciment seraient trop imperméables à la vapeur d'eau et ne laissent pas suffisamment respirer la paille pour qu'ils soient utilisés librement comme enveloppes extérieures dans les pays froids, et les stuccos riches en chaux seraient trop perméables à l'eau dans les pays où tombent des pluies battantes.
- Les zones problématiques dans les murs de ballots de paille recouverts de stucco sont repérables par des indices visibles à la surface du mur et peuvent en général être réparées. Qui plus est, nous croyons qu'il est possible d'éviter les problèmes d'humidité excessive à l'étape de la conception et de la construction, mais nous ne suggérons pas la construction de murs en ballots de paille recouverts de stucco dans toutes les régions.

On devrait mener **une étude plus approfondie** dans l'ensemble du Canada et au nord des États-Unis,

étude dont nous avons précisé la portée ci-dessus et qui utiliserait une version améliorée de la méthode et de la procédure mises au point dans l'étude pilote. Le parc résidentiel des États-Unis ajouterait de la valeur à l'étude et fournirait des preuves du rendement à très long terme de ce genre de construction dans divers climats. Puisque l'étude pilote a été réalisée dans une région où le parc résidentiel et ses constructeurs et occupants sont pour la plupart connus des membres de l'équipe de projet, nous savons que les deux tâches les plus ardues de l'étude approfondie seront les suivantes :

- **Identifier les maisons à examiner** : Pour une grande partie de cette tâche, nous solliciterons l'aide des principaux bulletins et pages d'accueil Web dans ce domaine, comme nous le mentionnerons plus loin. Nous pouvons trouver des centaines de cas à étudier, un bon réseau de personnes disposées à nous aider à les situer et quelques personnes enthousiastes et bien informées pour nous aider à détecter les endroits les plus exposés ou les plus problématiques connus.
- **Obtenir du propriétaire ou de l'occupant la permission d'examiner leur maison** : Nous savons que cette tâche ne sera pas toujours facile, et en particulier lorsque nous tenterons d'avoir accès aux cas les plus problématiques sur lesquels devra reposer notre étude. Après avoir passé plusieurs décennies à organiser de telles études sur le terrain, nous savons que la moitié des occupants ne veulent pas que leur maison fasse l'objet d'examen importuns, et en particulier lorsque les résultats de ces examens risquent d'être mauvais et de nuire à la valeur marchande de leur maison. Mais les propriétaires de ces maisons devraient vouloir collaborer en général : ce sont d'ardents défenseurs de leur méthode unique de production de logements durables; d'ordinaire, ils sont de bons bricoleurs, s'intéressent aux techniques et sont curieux. Ils comprendront que les problèmes doivent être cernés et peuvent être corrigés et n'ont pas l'intention de vendre leur propriété dans l'immédiat. Les personnes enthousiastes et Internet sont les moyens à utiliser pour trouver ces propriétaires et leur transmettre la nature et la valeur de cette étude sur le terrain, en soulignant en outre que des solutions leur seront proposées.

Les autres tâches de l'étude pilote seront probablement accomplies pour l'étude approfondie. Nous mettrons au point la technique et le matériel d'échantillonnage, peut-être pour réduire le bruit et la poussière, lirons la température et l'humidité relative dans la cavité des échantillons et mesurerons de manière plus uniforme la résistance à la tension de la paille et du lien paille-stucco. De plus, nous réaliserons plus soigneusement notre routine d'évaluation à l'intérieur de la maison pour indiquer, le cas échéant, le rôle jouée par l'humidité intérieure (en particulier si la condensation se formant sur les vitres intérieures pénètre dans le mur). Ensuite, nous mettrons au point des lignes directrices sur la façon de construire des maisons en ballots de paille pour que celles-ci restent sèches et en bon état.

Canada

