DÉCOLORATION DES PLAQUES DE PLÂTRE:

RAPPORT FINAL

NOTE: **ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:**

DRYWALL STAINING - FINAL REPORT

Décoloration des plaques de plâtre

préparé par : Institut de recherche en construction
Conseil national de recherches Canada

janvier 1992

AVERTISSEMENT

Ce projet a été réalisé grâce à une subvention de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dans le cadre du Programme de subventions de recherche. Les idées exprimées sont celle des auteurs et ne représentent pas le point de vue officiel de la Société.

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), l'organisme du logement du governement du Canada, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la SCHL s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitiation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la Partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à affecter des capitaux à des recherches sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à publier et diffuser les résultats de ces recherches. La SCHL a donc une obligation légale de veiller à ce que tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie soit connu de plus grand nombre possible de personnes ou de groupes de personnes.

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que la SCHL a produits avec l'aide de capitaux du governement fédéral. Les idées présentées ci-après sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement la position officielle de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION 1

II. BILAN DES MAISONS ATTEINTES 3

III. ÉCHANTILLONNAGE 4

IV. DONNÉES EXPÉRIMENTALES 4
- IV.1 Analyse physique 4
- IV.2 Analyse biologique 4
- IV.3 Analyse chimique 4
- IV.4 Étude de la réaction de décoloration 8
- IV.5 Simulation de la décoloration - Formation de taches dans un mur simulé 9
- IV.6 Méthodes d'élimination des taches et de prévention d'une nouvelle décoloration 13

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION 14
- V.1 Observations visuelles des échantillons des maisons atteintes 14
- V.2 Analyse physique 14
- V.3 Analyse biologique 14
- V.4 Analyse chimique 15
- V.5 Simulation de la décoloration 28
- V.6 Méthodes d'élimination des taches 28
- V.7 Résumé des résultats 30

VI. CONCLUSIONS 32

VII. RECOMMANDATIONS 33

VIII. BIBLIOGRAPHIE 35

Liste des tableaux

Tableau 1 Présence de végétation mycélienne sur les éclats de peinture.

Tableau 2 Balayage par émission de plasma de l'éclat de peinture.

Tableau 3 Ions métalliques les plus concentrés avec la couleur de leur sel de sulfure.

Tableau 4 Niveaux de mercure mis en évidence dans les différents composants de la plaque de plâtre par absorption atomique.

Liste des figures

Figure 1 Échantillon de plaque de plâtre indiquant les différents composés à joint utilisés dans la simulation en laboratoire.

Figure 2 Diagramme illustrant les différentes combinaisons d'application et de composants de la simulation en laboratoire.

Figure 3 Différences de spectre d'absorption entre les extraits de chlorure de méthylène de l'éclat de peinture de la maison atteinte de décoloration et la peinture inutilisée (Colour Your World).

Figure 4 Différences de spectre d'absorption entre les extraits de chlorure de méthylène du composé à joint de la maison atteinte de décoloration, de l'ancienne (1988) et de la nouvelle (1990) formulation.

Figure 5 Spectres d'absorption d'extraits de chlorure de méthylène de deux adjuvants organiques, l'acétate mercurique de phényle et le phtalate de benzyle butyle.

Figure 6 Coupe de la plaque de plâtre indiquant la présence de concentrations de mercure élémentaire (ppm).

SOMMAIRE

Un problème de décoloration localisée (taches) différée et périodique des surfaces de finition de plaques de plâtre a été examiné, et des méthodes biologiques et physico-chimiques ont indiqué que le véhicule des taches est un phénomène chimique.

Différents aspects de la décoloration ont été mis à l'étude, y compris les rayonnements ultraviolets (de sources naturelles ou synthétiques), l'humidité, la température, les polluants en suspension dans l'air, le mode de vie des occupants, ainsi que les méthodes d'application de la peinture utilisées par l'entrepreneur. Des expériences de simulation en laboratoire ont permis de déceler la cause de la décoloration. Ces expériences, liées à une analyse chimique de la décoloration, ont indiqué que la cause immédiate de la décoloration est une interaction de constituants chimiques dans l'air et de constituants labiles dans le composé à joint. Plus précisément, la réaction du mercure résultant de la décomposition des fongicides présents dans le composé à joint avec l'hydrogène sulfuré dans l'air ambiant produit un sel noir insoluble.

Les principales causes de la décoloration sont les suivantes :

i. la présence du fongicide PMA (acétate mercurique de phényle) dans lecomposé à joint;
ii. un rayonnement ultraviolet sous forme d'éclairage;
iii. la présence de H_2S dans l'air;
iv. le degré d'humidité dans la maison;
v. la perméabilité de la peinture;
vi. le calendrier des travaux de peinture.

Les méthodes d'élimination des taches et de prévention de leur réapparition englobent un lavage de blanchiment et l'application d'une nouvelle couche de peinture de faible perméabilité. Il est essentiel, si l'on veut prévenir la décoloration, de prévoir un temps suffisant pour le séchage de la couche de peinture initiale avant d'appliquer la couche de finition.

I. INTRODUCTION

De façon générale, une tache se définit comme la décoloration d'une surface exposée causée par une végétation mycélienne, un problème de texture ou un résidu chimique. Ici, il s'agit d'une décoloration de la surface peinte de plaques de plâtre. Le problème de la décoloration des peintures est bien documenté [3,7-11,27]. Plusieurs chercheurs ont cerné les phénomènes ci-dessous comme des causes immédiates de la décoloration :

i. la réaction de l'hydrogène sulfuré (H_2S) avec des composés à base de plomb présents dans les pigments de la peinture [11];

ii. la croissance et la prolifération de colonies fongiques à la surface du bois peint [27].

La décoloration dont il est question ici se manifeste sur des plaques de plâtre peintes, plus particulièrement le long des joints des plaques. La décoloration se manifeste le plus souvent dans une nouvelle maison après quelques mois. Des travaux antérieurs [7,8,11] ont montré que les taches sont causées par la réaction des métaux lourds utilisés dans le composé à joint avec l'hydrogène sulfuré qui se trouve dans l'air à l'intérieur des maisons. De plus, on a montré que la vitesse de décoloration est fonction de l'humidité ambiante. On a également montré qu'il est possible d'éliminer les taches à l'aide d'une solution de blanchiment, mais que les taches réapparaissent après l'exposition à une solution sulfurée [12]. Dans ces conditions, on a attribué la décoloration à une réaction chimique plutôt qu'à un phénomène biologique.

La manifestation la plus récente de ce phénomène a eu lieu dans l'Ouest canadien [22,24], une forte décoloration des murs ayant été observée dans des maisons récemment construites. Le problème a d'abord été signalé en 1987 dans plusieurs maisons de l'Alberta et de la Colombie-Britannique [5], et d'autres rapports de décoloration ont été présentés au cours des deux prochaines années. Le problème a été étudié par Gray [5] et Shirtcliffe [24], et uneé valuation approfondie des causes possibles a été effectuée. Toutefois, ni la cause réelle ni la nature des taches n'a pu être déterminée.

Pugh [22] a établi un bilan des résultats de ces travaux et fait état des recherches sur la décoloration des plaques de plâtre. Compte tenu des recommandations formulées dans le rapport de Pugh, un sondage en trois parties a été lancé afin de cerner des questions particulières au sujet de la fréquence de la décoloration des plaques de plâtre en Alberta.
Trois sondages distincts ont été entrepris.

1. Sondage auprès des entrepreneurs généraux et des promoteurs.

2. Sondage auprès des sous-traitants et des corps de métier.

3. Sondage auprès des propriétaires ou des occupants.

Les résultats du sondage ont été compilés, et une base de données informatiques a été établie [28]. Plusieurs conclusions ont été tirées de ce sondage :

i. l'humidité semble constituer un élément de la réaction;

ii. les endroits très humides et peu ventilés durant la construction et l'occupation sont souvent mis en cause;

iii. une peinture dont les propriétés d'obturation sont inadéquates peut contribuer au problème;

iv. on a eu recours surtout à des coulis et des peintures à base de latex, et c'est peut-être un élément du problème;

v. la décoloration des plaques de plâtre semble avoir diminué depuis six à dix mois;

vi. la principale inquiétude des entrepreneurs se rapporte à la meilleure méthode de réparation.

La présente étude a été commandée par l'Association canadienne des constructeurs d'habitations en 1990. Les objectifs de l'enquête étaient les suivants :

i. préciser la cause de la décoloration;

ii. déterminer le mécanisme de la décoloration;

iii. déterminer les facteurs qui déclenchent la décoloration;

iv. cerner des mesures d'élimination des taches;

v. déterminer des méthodes de prévention de la décoloration.

La préparation de la présente étude s'est fondée sur les rapports et les sondages mentionnés ci-dessus. Une visite sur place a d'abord permis de recueillir des échantillons dans les maisons atteintes. Deux stratégies onté té adoptées en vue de l'étude :

i. une analyse biologique;

ii. une analyse chimique et physique.

Une enquête préliminaire a indiqué la possibilité de facteurs biologiques. Toutefois, des travaux supplémentaires ont montré que les taches relevaient davantage d'un phénomène chimique ou physique.

Afin de cerner la cause de la décoloration, on a élué les taches à l'aide d'un choix d'échantillons, et on a identifié les matières dans les solvants d'élution. Ensuite, on a déterminé la capacité de décoloration des différents produits chimiques. Des simulations de laboratoire ont permis de préciser les mécanismes de la décoloration et d'en expliquer l'origine et l'évolution. Des méthodes d'élimination et de prévention des taches ont également été étudiées.

II. BILAN DES MAISONS ATTEINTES

Le sondage et les visites sur place, y compris l'échantillonnage, étaient axés sur les endroits les plus atteints par la décoloration, à Calgary et à Edmonton.

À Calgary, les taches apparaissaient surtout sur les murs, mais on les observait également sur le plafond. Les taches se manifestaient le long d'une bande de deux à trois pouces de large de chaque côté d'un joint de plaques de plâtre. La tache était plus prononcée au centre du joint et moins intense vers le bord de la bande. À cet égard, l'intensité de la décoloration semblait être fonction de l'épaisseur du composé à joint, diminuant depuis le centre du joint vers le bord. L'emplacement de certaines têtes de clou ou de vis recouvertes de composé à joint était marqué par des taches sombres. La décoloration était plus intense dans les salles de bain. Des taches onté galement été observées dans les salles de séjour, les chambres à coucher et les passages. Dans tous les cas, on avait appliqué une peinture mate au latex sur les murs, et la couleur blanchâtre de la peinture accentuait les taches sombres. On a d'abord remarqué les taches de quatre à six mois après l'achèvement des travaux de construction et, dans plusieurs cas, l'application du composé à joint et de la peinture a été terminée à la fin de l'automne ou au début du printemps.

À Edmonton, les taches apparaissaient surtout au plafond, encore une fois le long des joints des plaques de plâtre. Les joints d'about aussi bien que les rives amincies étaient mis en cause. Les endroits atteints comptaient des chambres à coucher et des salles de séjour. L'intensité de la décolorationé tait uniforme dans une bande de quatre à cinq pouces de large le long du joint. La décoloration était plus uniforme, mais moins intense qu'à Calgary. Les salles de bain, qui manifestaient le plus de décoloration dans les maisons de Calgary, n'étaient pas atteintes dans la maison d'Edmonton. Toutefois, une peinture semi-lustrée à base d'alkyde avait été utilisée dans cette salle de bain au lieu de la peinture à base de latex qui avait été utilisée dans les salles de bain à Calgary.

III. ÉCHANTILLONNAGE

On a récupéré, dans trois maisons à Calgary et dans une maison à Edmonton, des échantillons de plaque décolorés de même que des échantillons témoins. Deux échantillons ont été recueillis dans chacune des quatre maisons : une plaque manifestant la décoloration la plus intense et une autre, non décolorée, à titre de témoin. Les plaques ont été découpées dans le mur de façon à produire des spécimens de quatre pieds sur deux pieds environ, le joint étant centré dans le sens de la longueur. Les spécimens ont été enveloppés de feuille d'aluminium, scellés dans un sac de polyéthylène et placés dans un contenant isolé pour être expédiés vers les laboratoires du CNRC-IRC à Ottawa.

IV. DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Des techniques biologiques et physico-chimiques ont servi à l'évaluation et à l'isolement des causes possibles de la décoloration.

IV.1 Analyse physique

Des techniques de microscopie optique et électronique ont permis d'étudier la surface de deux spécimens de plaque (un décoloré, l'autre sans aucune tache visible) tirés des échantillons obtenus en Alberta. On a taillé les spécimens en travers du joint de la plaque de plâtre. De plus, on a examiné des éclats de peinture pelés de la surface.

IV.2 Analyse biologique

Des échantillons d'éclats de peinture (décolorés et non décolorés), placés dans une boîte de Petri contenant de la gélose nutritive, ont subi une incubation de quatorze jours à la température de la pièce. Les cultures d'essai positives ont été examinées à l'aide d'un microscope binoculaire stéréoscopique.

IV.3 Analyse chimique

IV.3 a) Méthodes d'échantillonnage générales

L'analyse s'est fondée sur des spécimens de 34 cm x 17 cm environ obtenus de la salle de bain des parents dans une maison atteinte. La moitié du joint sur un des spécimens était plus décolorée que l'autre moitié. La figure 1 montre un spécimen de plaque typique après l'échantillonnage. Puisqu'on pouvait s'attendre à ce que l'évolution de chaque côté de ce joint ait été la même, le côté moins décoloré représentait un point de référence idéal pour une comparaison chimique avec le côté décoloré. Le spécimen de plaque à la figure 1 a été marqué le long du joint entre la zone décolorée et la zone (de référence) moins décolorée.

Six bandes de 2 cm de large perpendiculaires au joint ont été marquées avec un couteau en travers de la largeur de l'échantillon. Deux lignes parallèles onté té tracées à 5 cm du joint de chaque côté, de sorte que la partie décolorée comportait six zones de 10 cm^2, la section de référence comportant elle aussi six zones de 10 cm^2. Chacune des quatre couches d'une zone donnée a étéé chantillonnée, le nombre global d'échantillons étant de 48. Les couches de haut en bas étaient constituées de :

i. peinture;

ii. composé entre la peinture et le ruban de papier;

iii. ruban de papier;

iv. composé entre le ruban et la surface de la plaque de plâtre.

La plaque décolorée était du type «plaque bleue» hydrofuge, comportant typiquement une rive amincie. La rive de la plaque sous la zone de référenceé tait taillée (rive non formée à l'usine) dans une plaque ordinaire et n'était donc pas amincie. La couche de composé sous la zone décolorée était plusé paisse à cause de la rive amincie. La figure 2 indique les différentes couches du joint dont on a obtenu les échantillons.

D'autres échantillons plus grands (4 cm sur 5 cm) des zones décolorée et de référence ont été recueillis de la même façon en vue d'une analyse chimique.

Les échantillons des produits de construction utilisés dans l'installation de la plaque de plâtre englobaient :

i. une couche primaire au latex blanchâtre de Colour Your World;

ii. une peinture au latex blanchâtre de Colour Your World;

iii. un composé à joint léger pour plaque de plâtre obtenu de Syncaloid en deux versions : un «ancien» composé produit en 1988 (septembre) et un «nouveau» composé produit en 1990 (mars).

La peinture et la couche primaire ont été appliquées à l'aide d'un pinceau propre sur une surface délimitée d'une plaque de verre propre, séchées, grattées, pesées et conservées à titre de spécimens de peinture originaux. Des échantillons de composé à joint pour plaque de plâtre provenant de deux différentes gâchées ont été traités de façon semblable après application à l'aide d'une spatule à une épaisseur comparable à celle qu'on a pu observer dans le joint de plaque (1-3 mm) de l'échantillon obtenu sur place.

IV.3 b) Instrumentation

On a utilisé, entre autres instruments, un spectrophotomètre 8451A à réseau de diodes de Hewlett-Packard doté d'une unité de stockage des données 9133, utilisé pour les mesures en lumière visible et ultraviolette, ainsi qu'un chromatographe en phase gazeuse/spectromètre de masse pour les essais servant à quantifier le composé organomercurique thermolabile.

Afin de déterminer la présence d'atomes métalliques et de concentrations de mercure, on a utilisé un appareil de balayage par émission de plasma doté d'un analyseur d'ions métalliques, ainsi qu'un spectrophotomètre d'absorption atomique doté d'une ampoule pour l'analyse du mercure.

On a eu recours à des accessoires de chromatographie sur couche mince (CCM), soit des plaques (0,25 mm d'épaisseur) constituées de gel de silice ou d'oxyde d'aluminium sur du verre, avec et sans indicateur fluorescent en trois grandeurs (2,5 sur 7,5 cm, 5 sur 20 cm et 20 sur 20 cm). Des chambres de développement, des pulvérisateurs, des tubes de récupération et des filtres munis d'un disque fritté de porosité moyenne, des gabarits et des micropipettes ont également été utilisés pour les travaux CCM.

IV.3 c) Procédures analytiques

1. Essai de solubilité à la touche

La surface du mur décoloré a subi des essais à la touche comportant des solvants organiques allant du pentane non polaire (indice de polarité 0), en passant par le chlorure de méthylène et l'acétone, jusqu'à l'acétonitrile et au méthanol plus polaires (6-6,6). La section de la surface a également été rincée avec de l'eau distillée (indice de polarité 10). De faibles volumes des divers solvants ont été appliqués directement sur les zones décolorées. Une inspection visuelle a permis de détecter la solubilisation des taches.

2. Extraction

On a mis un soin particulier à séparer et à enlever les différentes couches des échantillons de plaque décolorés. La pellicule de peinture a été taillée en morceaux et soulevée du composé à joint sous-jacent.

La couche de composé a été grattée et pulvérisée, et le ruban de papier a été enlevé d'une seule pièce dans la mesure du possible.

Chaque couche enlevée des zones de référence et décolorée a été pesée et extraite à l'aide de quatre portions de solvant de 3,5 ml. Les insolubles onté té éliminés des extraits par décantation et/ou par filtration à travers de la fritte de verre moyennement ou finement poreuse.

Les extraits ont été groupés et évaporés à sec à la température de la pièce sous une hotte, reconstitués avec 3 ml du même solvant, puis conservés dans des fioles de verre à capsule recouverte de teflon.

3. Spectre ultraviolet/visible

Des extraits et des solvants de référence purs ont été placés, à l'aide d'une pipette, dans des cuvettes de quartz de 1 cm de trajet. La gamme choisie allait de 200 à 550 nm, c'est-à-dire de l'extrémité ultraviolette du solvant jusqu'à 550 nm. Des spectres différentiels des extraits ont été obtenus par soustraction du spectre du solvant pur du spectre de l'extrait. Les extraits ont été retirés des cuvettes par rinçage et placés dans des fioles en vue de l'analyse.

4. Balayage par émission de plasma et absorption atomique

Afin de déterminer la présence d'ions métalliques, on a eu recours au balayage par émission de plasma et à la détermination du mercure par absorption atomique de vapeur froide. Un balayage (17 métaux) a d'abord été effectué sur le composé pour plaque de plâtre gratté à même le joint de la plaque. Les couches tirées des zones décolorée et de référence ont alors été analysées en fonction du mercure. Des échantillons de peinture inutilisée, de couche primaire et des deux gâchées de composé à joint ont également été utilisés en vue de l'analyse du mercure.

5. Quantification du PMA par chromatographie en phasegazeuse/spectrométrie de masse

On a tenté de détecter et de quantifier l'acétate mercurique de phényle (PMA) dans les extraits [2,3] en utilisant des techniques de chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse. Les essais préliminaires ont échoué et les étalons de PMA eux-mêmes n'ont pu être mis en évidence. Une recherche documentaire a confirmé que la chromatographie en phase gazeuse ne se prête pas à l'analyse du PMA à cause de l'instabilité thermique des composés organomercuriques [4].

6. Chromatographie sur couche mince (CCM)

Dépistage direct

Des extraits récupérés de mesures d'absorption UV-visible ont étéé vaporés à sec et reconstitués avec 1 ml du solvant original. Des parties aliquotes (1, 2, 5 μL ou multiples) des extraits ont été appliquées directement sur de petites plaques CCM et développées dans divers solvants avec des solutions de phtalate et de PMA. Le chlorure de méthylène a permis de séparer les composants des extraits de façon satisfaisante. Une lumière ultraviolette a rendu visibles les composants organiques séparés.

Séparation de mercure organique et inorganique

La méthode utilisée dans l'article [18] a servi à séparer les composés de mercure organique et inorganique. Les extraits et les étalons ont été appliqués sur une grande (20 sur 20 cm) plaque non fluorescente de gel de silice et développés avec un mélange de chlorure de méthylène, d'acétone et d'acide nitrique (5:4:1 selon le volume). Les plaques développées ont alorsé té exposées soit à de la vapeur d'iode, soit à de l'hydrogène sulfuré afin de rendre visibles les composants séparés.

Séparation des métaux complexés

Des parties aliquotes (100 μL) des extraits ont été ajoutées à des portions de 100 μL de réactif de dithizone (0,1 % p/v de dithizone dans du méthanol) et déposées immédiatement sur de petites (20 cm sur 20 cm) plaques de gel de silice [15-17]. Plusieurs solvants et combinaisons de solvants de polarité variable ont servi à déterminer les conditions optimales pour la séparation des composants complexés [19,20,25,30]. Un mélange de chlorure de méthylène et d'hexane (1:1 selon le volume) a donné des résultats satisfaisants. Une solution de PMA traitée avec de la dithizone a été appliquée sur les plaques de gel en même temps que les échantillons et est devenue visible sous forme de tache rougeâtre ayant une valeur R_f de 0,16. On a également utilisé comme étalons des solutions aqueuses saturées de $HgSO_4$, de HgS_2, de $HgCl_2$, de HgS et de $MgCO_3$, de même que des solutions de $CaCl_2$ et de $SrCl_2$.

Les complexes séparés obtenus des plaques développées étaient instables et ils se sont altérés après un certain temps. Toutefois, en pulvérisant une solution de thio-urée (0,1 % p/v dans du méthanol) sur la plaque développée, on a pu effectivement stabiliser la plaque et interrompre l'altération.

7. Formation de sulfure de mercure

On a ajouté du sulfure de sodium sec à une solution de chlorure de mercure ($HgCl_2$) préparée à l'aide d'eau distillée. Le sulfure de mercure précipité a été filtré et lavé avec de l'eau distillée. Une grande partie du précipité a été suspendue de nouveau dans 2,5 ml d'eau distillée, et 5 ml d'agent de blanchiment ont été ajoutés à cette suspension en vue d'une étude des effets de la réaction de l'agent de blanchiment avec le sel décolorant.

IV.4 Étude de la réaction de décoloration

De quatre à cinq grammes de matière tirée de l'ancienne et de la nouvelle gâchée de composé pour plaque de plâtre non utilisé ont été appliqués sur une plaque de verre. Après une période de séchage à la température ambiante, les deux types de composé ont été grattés des plaques et suspendus dans 15 ml de méthanol. L'extrait surnageant a été séparé des solides par décantation eté

vaporé à sec à l'aide d'un doux filet d'argon de pureté très élevée. Les extraits ont alors été reconstitués avec suffisamment de méthanol pour que les deux extraits s'approchent d'une valeur uniformisée de 3,5 g de composé sec original par ml de solution finale.

Des parties aliquotes de ces solutions ont été appliquées sur une plaque de gel de silice fluorescente par incréments de 1 à 50 μl. Des volumes correspondants de deux solutions de PMA (0,1 et 1,0 mg par ml de méthanol) onté galement été appliqués à titre de référence. La plaque a été irradiée avec de la lumière fluorescente ultraviolette dans un contenant muni d'une fenêtre de quartz et rempli d'hydrogène sulfuré au-dessus d'une faible quantité d'eau.

Deux autres plaques ont été préparées selon la méthode décrite ci-dessus afin d'aider à différencier l'effet des deux principales variables dans le mécanisme de décoloration, soit le rayonnement ultraviolet et l'hydrogène sulfuré en phase gazeuse. Une de ces plaques a été exposée uniquement à la lumière ultraviolette, tandis que l'autre a été placée sous une hotte noircie de façon à éliminer toute source de rayonnement, puis immergée dans de l'hydrogène sulfuré en phase gazeuse. Afin d'étudier plus à fond le mécanisme de la réaction de décoloration, on a préparé une solution de 33 mg/ml de PMA dans du méthanol et une solution de 10 % de sulfure de sodium dans de l'eau. Des parties aliquotes de volume identique des deux solutions ont été ajoutées à chacune de deux fioles en pyrex. Une fiole a été exposée à des rayons solaires directs et l'autre a été conservée à la noirceur. Des parties aliquotes de chaque fiole ont été appliquées sur du papier filtre neutre.

IV.5 Simulation de la décoloration - Formation de taches dans un mur simulé

On a monté une simulation en laboratoire afin de reproduire la formation de taches sur un mur simulé. Il s'agissait d'élucider la formation des taches et de montrer que le sulfure de mercure, identifié dans l'étude du mécanisme de la décoloration, possède des caractéristiques semblables à celles qui onté té observées sur la plaque de plâtre. On s'attendait à ce que la simulation montre que le PMA présent dans le composé à joint produirait une tache sombre si l'on maintenait les conditions de décoloration. De plus, on espérait que la simulation permettrait de montrer comment le PMA présent dans le composé à joint se déplace à travers une peinture latex perméable et entraîne une réaction produisant une tache à la surface du spécimen de plaque de plâtre.

Deux séries de variables ont été abordées dans la présente étude : les effets de la méthode d'application et les effets de facteurs ambiants sur la formation de taches sur les plaques de plâtre. L'étude des méthodes d'application s'est penchée sur l'influence exercée par le temps de séchage de divers types de

couche et par le temps écoulé avant l'application d'une deuxième couche sur la vitesse et l'intensité de la décoloration. L'étude de facteurs ambiants comme la présence de vapeur d'eau, d'hydrogène sulfuré et de rayonnement ultraviolet devait préciser l'importance de chacun de ces composants sur la décoloration.

IV.5 a) L'effet des matériaux et de la méthode d'application sur la formation des taches

Six plaques de gypse ont été taillées dans un même échantillon de plaque de plâtre. Dix-huit trous de 20 mm de diamètre ont été percés jusqu'à mi-chemin de la plaque, et neuf de ces trous ont été remplis d'ancien composé à joint (produit en 1988) contenant du PMA, les autres trous étant remplis de nouveau composé à joint (produit en 1990) ne contenant pas de PMA (figure 1).

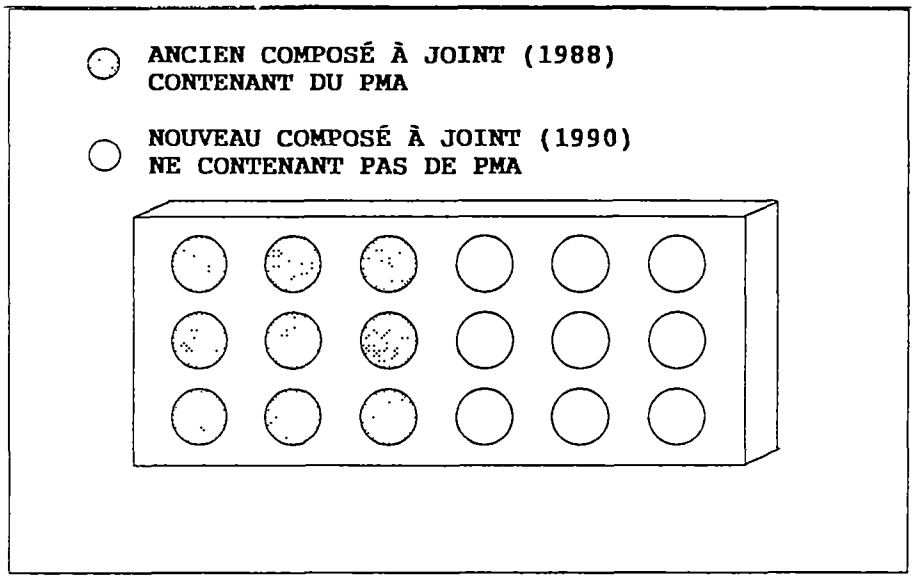

Figure 1. Échantillon de plaque de plâtre indiquant les différents composés à joint utilisés dans la simulation en laboratoire.

Les fabricants de peinture recommandent généralement d'attendre vingt-quatre heures avant de poncer les plaques de plâtre afin de permettre au composé à joint de bien durcir et d'offrir une surface convenable pour la couche primaire. Il est également recommandé que la couche de finition ne soit appliquée que lorsque la couche primaire a eu le temps de sécher. Souvent les entreprises de peinture ne tiennent pas compte des méthodes d'application recommandées par le fabricant à cause de contraintes budgétaires ou d'un manque de temps. Par conséquent, au lieu d'attendre 24 heures pour laisser durcir le composé avant d'appliquer la couche primaire, on ponce le composé à joint lorsque sa surface est sèche et l'opération de revêtement tout entière exige parfois moins de quatre heures.

Afin de simuler ces conditions et de déterminer leur influence sur la décoloration, on a préparé deux séries de plaques : la moitié des plaques de plâtre a subi un jointoiement conforme aux recommandations du fabricant. L'autre moitié des plaques a été préparée selon le calendrier accéléré que nous appellerons la technique de durcissement rapide. La technique de durcissement rapide consiste à placer le composé à joint dans les trous, à poncer le composé lorsque sa surface est sèche, à appliquer une couche primaire au latex ou une peinture au latex sur le joint poncé, puis enfin à appliquer une couche de finition soit de peinture alkyde mate, soit de peinture latex mate. Cette opération a été exécutée au cours d'une période de quatre heures.

Ainsi, trois des six plaques ont été remplies de mastic de jointoiement, poncées, recouvertes d'une couche primaire et peinturées au cours d'une période de quatre heures (XX-R). Les trois autres plaques ont été préparées selon les recommandations du fabricant (XX-C).

Les risques de décoloration qu'entraîne le genre de couche primaire ou de couche de finition utilisée ont également été examinés. Dans chaque groupe de trois plaques préparées selon les recommandations du fabricant ou selon la technique d'application rapide, une plaque a été recouverte d'une couche primaire au latex et d'une peinture alkyde mate (PA-R, PA-C). Une deuxième plaque a été recouverte d'une couche primaire au latex et d'une peinture latex mate (PL-R, PL-C), et la troisième plaque a été recouverte d'une peinture latex, puis d'une peinture latex mate (LL-R, LL-C). On trouvera à la figure 2 toutes les permutations des essais.

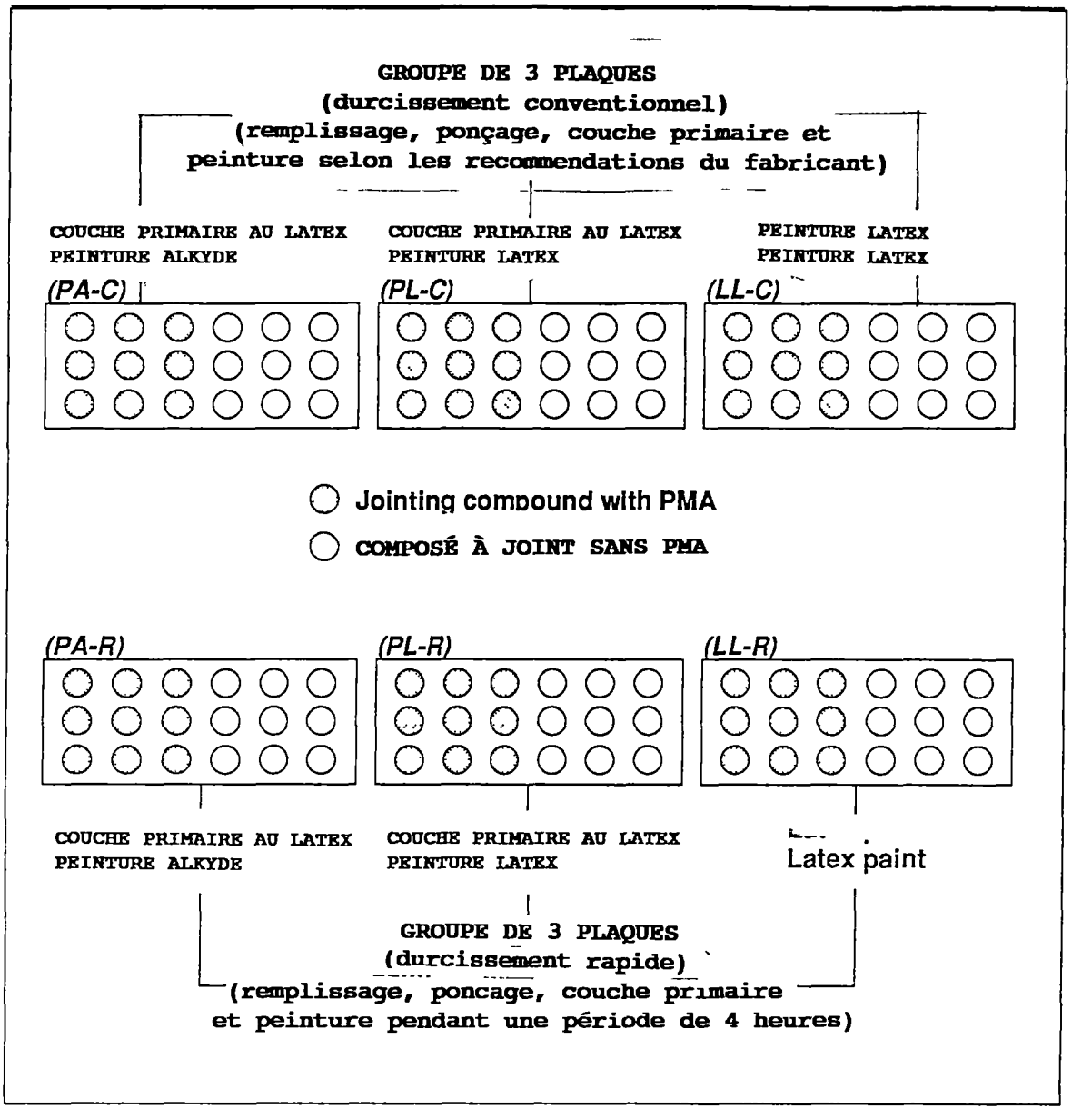

Figure 2. Diagramme illustrant les différentes combinaisons d'application et de composants de la simulation en laboratoire.

On a construit une chambre atmosphérique afin de simuler les conditions ambiantes nécessaires à la formation de taches (voir l'annexe 1). Les six plaques, y compris celles qui ont été produites selon la technique d'application rapide, ont été placées dans la chambre atmosphérique pour deux mois, puis exposées aux conditions souhaitées. Les spécimens ont été surveillés quotidiennement jusqu'à l'apparition d'une tache visible. Cet essai a été répété en fonction d'une deuxième série de six plaques, dont on a laissé sécher la surface pendant 24 heures avant de l'exposer à l'intérieur de la chambre de conditionnement.

IV.5 b) L'effet des conditions ambiantes sur la décoloration

Deux séries de six plaques ont été produites selon la méthode décrite au paragraphe précédent. La première série de plaques a été exposée à un rayonnement ultraviolet et à une ambiance saturée de vapeur d'eau; la deuxième série a été exposée à une ambiance contenant à la fois de l'hydrogène sulfuré et de la vapeur d'eau (sans rayonnement ultraviolet).

Ensuite, on a préparé quatre plaques selon une méthode semblable à celle décrite ci-dessus afin de déterminer l'importance de l'humidité sur la formation de taches. Deux des quatre plaques ont été exposées à un mince brouillard deux fois par semaine, tandis que les deux autres plaques ont conservé une surface sèche. Les quatre plaques ont été placées dans la chambre atmosphérique pour y subir un conditionnement de deux mois.

IV.6 Méthodes d'élimination des taches et de prévention d'une nouvelle décoloration

On a utilisé des échantillons chargés de PMA en vue d'une formation accélérée de taches, comme suit :

On a ajouté un gramme de PMA à 99 g de composé à joint de façon à produire un échantillon de composé à joint chargé de 1 % (1 000 ppm) de PMA. Six trous de 20 mm ont été percés jusqu'à mi-chemin de quatre plaques de gypse, puis remplis de composé à joint chargé de PMA. Ces joints ont alorsé té poncés, recouverts d'une couche primaire et enduits d'une peinture latex mate pendant une période de quatre heures. Les spécimens étaient encore humides lorsqu'on les a placés dans la chambre atmosphérique. La figure 6 montre un de ces spécimens.

Une deuxième série de quatre plaques a été produite d'une façon semblable, mais cette fois les plaques ont pu sécher pendant 24 heures avant d'être placées dans la chambre atmosphérique. Ces plaques ont également subi un conditionnement de deux mois. Les spécimens étaient surveillés quotidiennement.

Sur chacune des quatre plaques décolorées produites selon la méthode décrite ci-dessus, trois (3) zones décolorées ont été lavées à l'aide d'un agent de blanchiment, et les trois (3) autres zones ont été laissées intactes. Les spécimens ont alors été traités comme suit :

- une plaque a été recouverte de peinture latex mate;
- une autre a été recouverte d'un bouche-pores au latex et d'une couche de peinture latex mate;
- une plaque a été recouverte de peinture alkyde mate;
- une moitié seulement de la dernière plaque a gardé l'agent de blanchiment utilisé pour le lavage.

Les plaques ainsi traitées ont été exposées à des conditions de décoloration pendant deux autres mois.

Remarque : Un temps de séchage de 24 heures a été prévu entre les applications de peinture afin d'assurer un séchage complet de la couche précédente.

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION

V.1 Observations visuelles des échantillons des maisons atteintes

Durant l'échantillonnage sur place, on a constaté que la décoloration se limitait aux joints entre les plaques de plâtre contenant le composé à joint. Les couches plus épaisses de composé à joint entraînaient une décoloration plus poussée, et des taches apparaissaient parfois dans les zones recouvrant les têtes de clou. La décoloration était plus fréquente dans les endroits très humides comme les salles de bain et les cuisines. Toutefois, la décoloration ne se limitait pas à ces endroits. On n'a pu observer aucun facteur ambiant qui puisse causer les taches, ni aucun facteur exceptionnel d'exécution qui aurait pu accentuer le problème.

V.2 Analyse physique

Un examen de la surface des plaques de plâtre ou de la surface des éclats de peinture sous un microscope binoculaire stéréoscopique et un microscopeé lectronique à balayage n'a pu révéler aucune anomalie physique qui puisse expliquer la cause de la décoloration.

V.3 Analyse biologique

Une étude biologique préliminaire des quatre frottis de taches et des quatre frottis non décolorés sur des lames de gélose nutritive a donné les résultats suivants. Une croissance de cultures mycéliennes s'est manifestée sur deux lames sur lesquelles on avait placé des spécimens décolorés. Les deux autres lames n'ont pas manifesté de végétation mycélienne. La végétation mycélienne observée sur les deux lames positives était une culture grise de Aspergillus niger. Aucune croissance fongique n'a été observée sur les quatre lames se rapportant à des zones non décolorées.

Puisque cette évaluation initiale n'a pas permis de tirer des conclusions, une étude plus détaillée a été entreprise afin de vérifier si des spores fongiques pourraient être la cause de la décoloration. La même méthode a servi à isoler les champignons, mais on a utilisé un échantillonnage plus grand. On a élargi la taille de l'échantillonnage en utilisant des éclats de peinture décolorée et non décolorée de plusieurs maisons. Les résultats sont indiqués au tableau 1.

Tableau 1.
Présence de végétation mycélienne sur les éclats de peinture

Emplacement	Décoloration/Lame	Non-décoloration/Lame
Maison 1a.	+ -	+ -
Maison 1b.	+ -	+ -
Maison 2.	+ -	+ -
Maison 3.	- -	- -
Maison 4.	- -	- -
Maison témoin	- -	- -

Remarque : Le signe + représente un essai positif de croissance mycélienne.

Trois lames préparées à partir de plaques décolorées ont manifesté la présence de végétation mycélienne et sept plaques n'ont manifesté aucune croissance de ce genre. De plus, trois des dix lames préparées à partir de plaques non décolorées ont manifesté une croissance mycélienne. Les lames témoins, qui n'ont reçu aucun éclat de peinture, ont donné toutes deux des résultats négatifs. Au moins quatre espèces de végétation mycélienne ont été observées, et une seule ressemblait à la culture d'Aspergillus niger trouvée dans la première série de lames.

Puisque la probabilité d'apparition d'une végétation mycélienne est la même pour les éclats de peinture décolorée ou non décolorée, les résultats indiquent une absence de lien direct entre la végétation mycélienne et la présence d'une décoloration.

V.4 Analyse chimique

V.4 a) Solubilité

Les résultats des essais de solubilité à la touche sur la partie supérieure de la plaque de plâtre sont indiqués à la figure 3. La zone mouillée par le solvant a été cerclée au crayon et observée durant et après l'évaporation du solvant. Exception faite de la lixiviation du pigment de peinture sous l'effet du chlorure de méthylène, on n'a pas observé d'amélioration ni de changement visuel de l'aspect de la décoloration. La décoloration n'est donc très soluble dans aucun des solvants utilisés dans le présent essai.

V.4 b) Spectrométrie en lumière ultraviolette-visible

La spectrométrie UV-visible a permis de vérifier les différences de composition chimique entre les échantillons décolorés et de référence. Des extraits de chacune des quatre couches de chaque côté du joint (côté décoloré et de référence) ont été préparés dans six solvants, et on a obtenu des spectres d'absorption différentiels des 48 extraits résultants. Dans certains cas, la présence de solides inorganiques en suspension a entraîné une légèreé lévation de la ligne de base d'absorption à cause de la diffusion de la lumière. Une fois cette élévation de la ligne de base corrigée, afin de ne pas compromettre l'intégrité des mesures, on n'a observé aucune différence importante entre les spectres d'absorption différentiels des extraits décolorés et de référence.

Si le composé responsable de la décoloration était soluble dans l'un ou l'autre des solvants utilisés, une différence appréciable dans la région visible devrait se manifester entre les spécimens correspondants du côté décoloré et de référence (relativement non décoloré). Aucun effet semblable n'a été observé pour la couche de peinture, le composé à joint sous-jacent ni le ruban du joint. Ce résultat, de même que le manque de solubilité dans les solvants organiques observé durant l'essai à la touche, suggère fortement que le composé qui produit la décoloration fait partie du groupe de composés inorganiques insolubles. Certains sels de métaux lourds (de transition) sont insolubles, hautement colorés, et ils ont souvent été mis en cause dans la décoloration de la peinture [11, 12, 29].

Toutefois, on a pu observer des différences appréciables entre les spectres d'absorption d'extraits de matériaux de finition inutilisés et d'échantillons tirés des spécimens d'essai de la plaque de plâtre. La figure 7 montre la différence des spectres d'absorption entre les extraits de chlorure de méthylène de la peinture échantillonnée sur place et la nouvelle peinture fournie. Des différences ont été observées dans la zone d'absorption visible (230 - 550 nm) des spectres. Un nouveau pic est apparu à environ 260 nm dans les échantillons de la peinture nouvellement fournie par rapport à la peinture grattée sur la plaque de plâtre. Il est à noter également que le pic apparaissant à 325 nm environ est plus prononcé dans l'échantillon de peinture inutilisée.

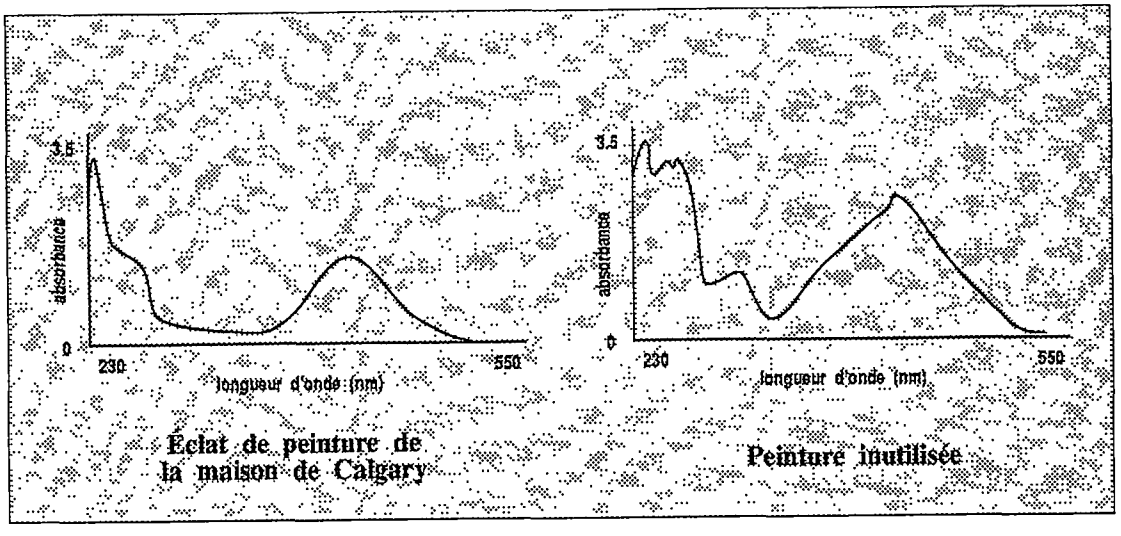

Figure 3.
Différences de spectre d'absorption entre les extraits de chlorure de méthylène de l'éclat de peinture de la maison atteinte de décoloration et la peinture inutilisée (Colour Your World).

Une différence semblable a été observée lorsqu'on a comparé les spectres du nouveau composé à joint inutilisé à ceux de l'ancien composé à joint inutilisé ou du composé à joint du spécimen expérimental de la plaque de plâtre. Les spectres d'absorption différentiels de ces extraits sont présentés à la figure 8. À noter que le spectre d'absorption des extraits de l'ancien composé à joint inutilisé correspond étroitement à celui du composé à joint tiré de la plaque de plâtre.

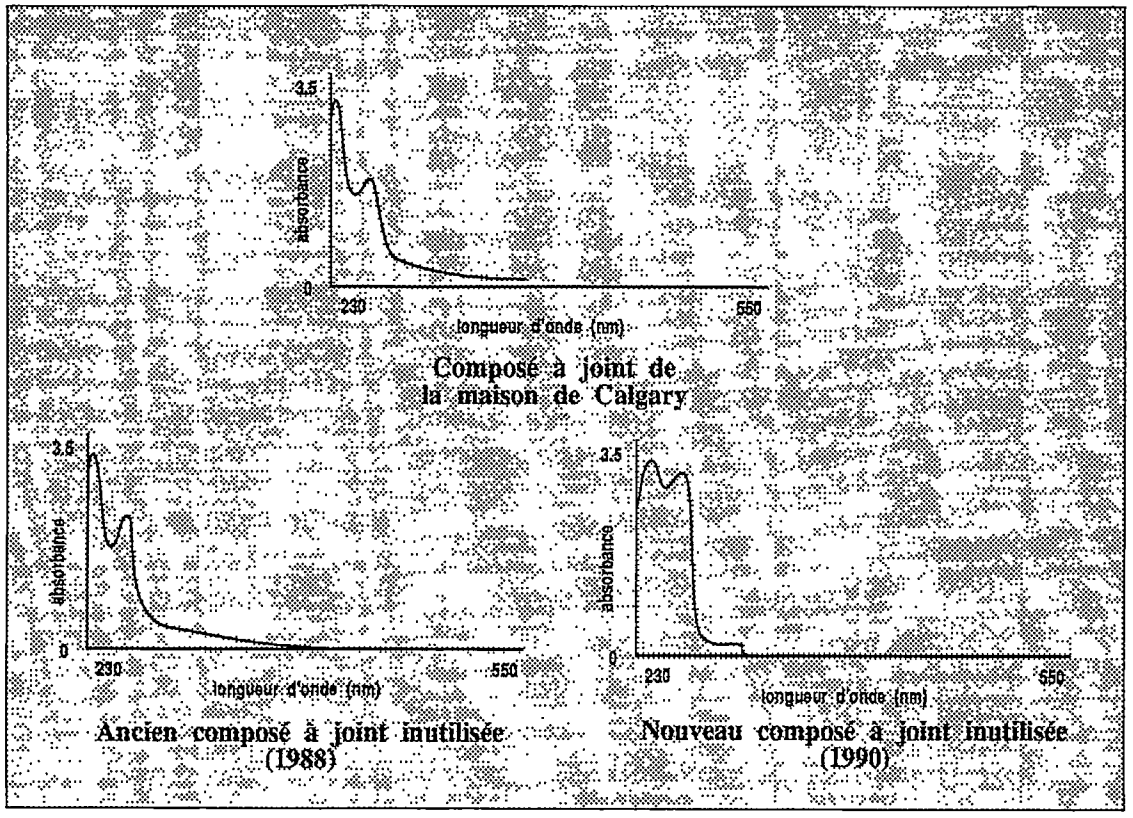

Figure 4.
Différences de spectre d'absorption entre les extraits de chlorure de méthylène du composé à joint de la maison atteinte de décoloration, de l'ancienne (1988) et de la nouvelle (1990) formulation.

Les spectres décrits ci-dessus peuvent être comparés aux spectres d'absorption différentiels de deux adjuvants organiques, c'est-à-dire le PMA et les phtalates. Ces adjuvants se trouvent couramment dans des peintures et des composés à joint, et les spectres d'absorption sont présentés à la figure 9. Les nouveaux pics qui apparaissent dans les spectres desé chantillons de peinture et de composé à joint nouveaux et inutilisés ne correspondent pas à l'absorption de PMA et de phtalates. C'est peut-être une indication que ces matières ne sont pas incorporées dans la nouvelle formulation de ces produits.

L'acétate mercurique de phényle (PMA) est un agent fongicide que l'on ajoute couramment aux composés à joint pour plaque de plâtre afin d'empêcher ou de retarder la croissance fongique. Le PMA a été utilisé dans des peintures de la même façon et en vue du même résultat. Le PMA était au début un fongicide désirable à cause de sa capacité de se déplacer à travers une couche de peinture humide et de se concentrer à la surface de la peinture en voie de durcissement, de sorte que c'était un fongicide efficace même à de faibles concentrations. Cet adjuvant semi-soluble sert à protéger le nouveau stock de composé à joint d'une attaque biologique. Lorsqu'on l'applique à une surface de plaque de plâtre, le PMA subit une migration vers la surface durant le durcissement du composé. De cette façon, il protège la surface exposée du composé à joint des végétations mycéliennes et des bactéries. Lorsque le composé à joint est complètement sec, le PMA constitue un résidu sec à la surface du joint.

Une sensibilisation accrue au danger des composés à base de métaux lourds a entraîné depuis quelques années une forte réduction de l'utilisation de matériaux de construction contenant ces produits. Au Canada, cette évolution a été marquée en août 1989 par l'élimination unilatérale de tout composé à base de mercure dans les peintures.

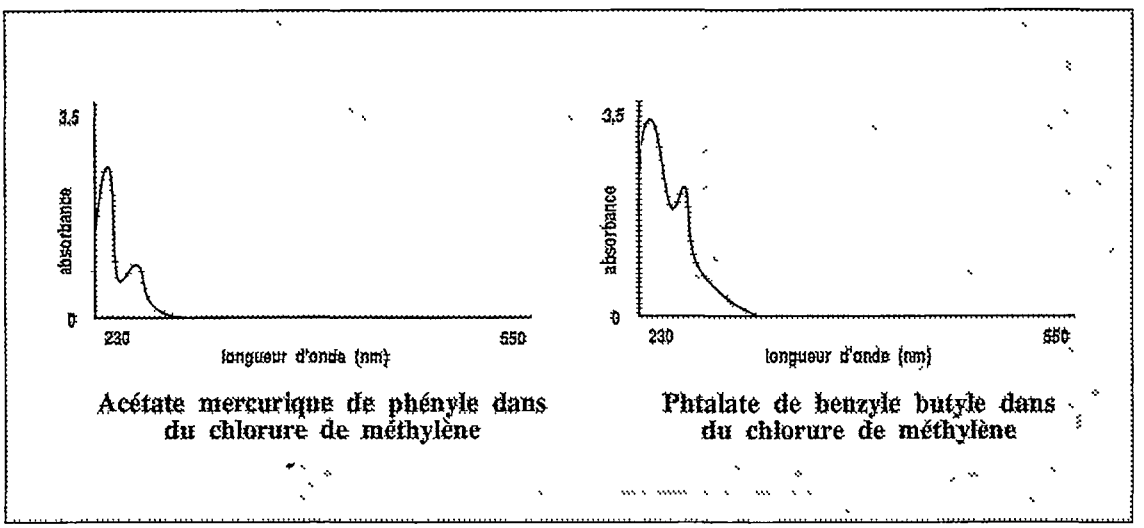

Figure 5.
Spectres d'absorption d'extraits de chlorure de méthylène de deux adjuvants organiques, l'acétate mercurique de phényle et le phtalate de benzyle butyle.

V.4 c) Analyse de métaux

Compte tenu des observations ci-dessus et des données publiées, uné chantillon du composé à joint situé sous le ruban sur le côté décoloré du spécimen de plaque de plâtre a été examiné en fonction de la présence de métaux. Un balayage par émission de plasma a indiqué la présence de trois métaux à des concentrations élevées. Les métaux présents dans le composé à joint sont indiqués au tableau 2.

Tableau 2

Balayage par émission de plasma de l'éclat de peinture

Ion métallique	Concentration (ppm)	Ion métallique	Contentration (ppm)
Li	14	Sr	107
Be	10,3	Y	4,9
B	<2	Zr	10,4
Sc	0,9	Mo	<1
V	<0,5	Ag	0,5
Cr	<1	Cd	<1
Co	<1	Sn	<10
Ni	<1	Sb	<5
Cu	3,1	Ba	43
Zn	10,1	W	<10
As	<3	Hg	64,8
Se	<20	Pb	<2

Parmi les éléments mis en évidence dans l'échantillon de composé à joint, seuls le baryum (Ba) et le mercure (Hg) sont capables de produire des sels hautement colorés. Le tableau 3 énumère les métaux présents dans le composé à joint, avec leur concentration respective déterminée par balayage, de même que la couleur correspondante de leur sel de sulfure [6].

Tableau 3

Ions métalliques les plus concentrés avec la couleur de leur sel de sulfure

Ion métallique	Concentration (ppm)	Coleur du sel du sulfure
Li	14	blanc à jaune
Be	10,3	incolore
Zn	10,1	incolore
Se	<20	jaune à rouge à brun
Sr	107	incolore à rouge pâle
Zr	10,4	gris
Ba	43	jaune à rouge à vert
Hg	64,8	noir

Le baryum se trouve couramment dans la dolomite, qui est un composant important des composés à joint. Toutefois, la tache inconnue est de couleur grise à noire et, puisque le sulfure de baryum est un sel de couleur jaunâtre ou rouge, on ne l'a pas considéré comme un agent décolorant. Le rôle possible du mercure dans la décoloration a donc été examiné plus à fond.

Les différentes couches des échantillons décolorés et de référence, de même que des échantillons des nouveaux matériaux, ont été analysés en fonction du mercure par absorption atomique de vapeur froide. Il est à noter que cette méthode d'analyse ne fait pas de distinction entre les sources de mercure (organique ou inorganique) et ne permet de mesurer que la concentration totale de mercure.

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse par absorption atomique qui a servi à déceler la présence de mercure. La figure 10 est une coupe schématique de la plaque de plâtre qui reprend les résultats de l'analyse par absorption atomique.

Tableau 4

Niveaux de mercure mis en évidence dans les différents composants de la plaque de plâtre par absorption atomique

Composant de la plaque de plâtre	Niveau de mercure (ppm)	Composant de la plaque de plâtre	Niveau de mercure (ppm)
Surface de la peinture (plaque très décolorée)	131,0	Surface de la peinture (plaque légèrement décolorée)	64,0
Composé à joint au-dessus du ruban (plaque très décolorée)	43,3	Composé à joint au-dessus du ruban (plaque légèrement décolorée)	50,4
Composé à joint en-dessous du ruban (plaque très décolorée)	64,8	Composé à joint en-dessous du ruban (plaque légèrement décolorée)	49,7
Composé à joint inutilisé (ancien de 1988)	70,3	Peinture latex inutilisée	0,9
Composé à joint inutilisé (nouveau de 1990)	0,23	Couche primaire au latex inutilisée	0,22

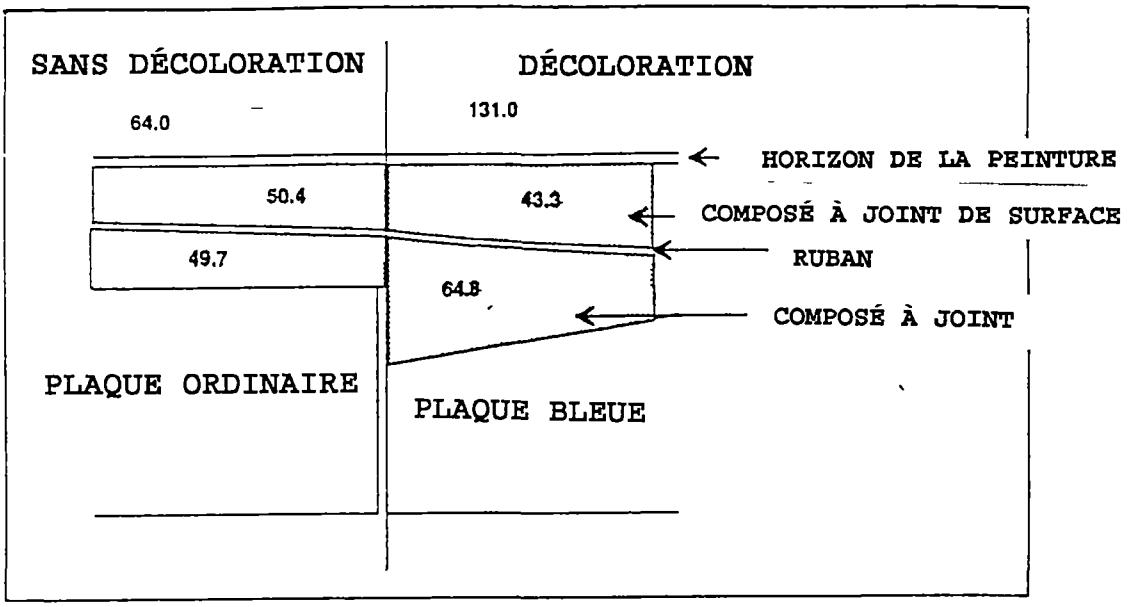

Figure 6.
Coupe de la plaque de plâtre indiquant la présence de concentrations de mercure élémentaire (ppm).

On a trouvé une forte concentration de mercure dans les éclats de peinture décolorés et dans le composé à joint sous-jacent dans lesé chantillons de plaque de plâtre tant décolorés que de référence. Toutefois, la couche de peinture décolorée a manifesté plus de deux fois le niveau de mercure relativement à la couche de peinture de référence ou aux autres couches. Ce résultat indiquait un rôle possible du mercure dans la décoloration. À noter que seules des traces de mercure ont été observées dans les échantillons inutilisés de peinture, de couche primaire et de nouveau (1990) composé à joint, tandis que des concentrations élevées ont été mises ené vidence dans l'ancien (1988) échantillon de composé à joint inutilisé. Desé changes avec le fabricant au sujet de la formulation du composé à joint ont révélé qu'un composé organique contenant du mercure (organomercurique), l'acétate mercurique de phényle (PMA), avait antérieurement été utilisé comme fongicide.

V.4 d) Chromatographie sur couche mince (CCM)

1. Expériences de dépistage

Une analyse par CCM des différences chimiques entre les extraits décolorés et de référence a été effectuée afin de confirmer les résultats de l'absorption UV-visible. Les extraits ont été déposés directement sur des plaques CCM en même temps que des étalons de PMA et de phtalate. Le chlorure de méthylène a été jugé un bon solvant pour le développement des plaques.

Les bandes sont apparues comme des taches sombres sous une lumière fluorescente et, dans quelques-uns des échantillons, une traînée distincte de traces de type polymérique a été observée à de faibles valeurs R_f (R_f désigne le déplacement de la tache dans un temps donné). Le pigment des extraits de peinture a manifesté une mobilité considérable, se déplaçant avec le front du solvant. Le PMA, aux concentrations utilisées dans la présence expérience (0,1 et 1,0 mg/ml), n'était pas visible sur la plaque. Comme on l'avait déjà montré dans des expériences utilisant des spectres d'absorption UV-visible, il n'y avait aucune différence appréciable entre les extraits décolorés et de référence.

2. Séparation du mercure organique et inorganique

Puisqu'on avait identifié un composé organométallique, le PMA, comme la source de la décoloration, et puisqu'on soupçonnait un composé inorganique, le sulfure de mercure, comme la cause réelle de la décoloration, on a tenté de séparer le mercure organique du mercure inorganique [18]. Toutefois, à cause de la faible solubilité des sels de mercure inorganique non complexés, à la fois dans l'eau et dans les solvants organiques, et des difficultés éprouvées au cours des tentatives visant à rendre la décoloration plus intense, les travaux de séparation ont été abandonnés.

3. Séparation des métaux complexés par chromatographie sur couche mince (CCM)

On a alors tenté de séparer des composés de mercure organiques et inorganiques par chromatographie sur couche mince d'extraits complexés de dithizone. Toutefois, la faible solubilité du sel de mercure inorganique (sulfure de mercure) dans l'eau aussi bien que dans un solvant organique a empêché la formation d'une concentration appréciable de composés métalliques complexés.

La chromatographie sur couche mince du complexe organomercure-dithizone a servi à vérifier les résultats du balayage par émission de plasma pour les ions métalliques. La figure 11 indique les résultats obtenus par CCM pour les extraits d'échantillons de l'ancien et du nouveau composé à joint inutilisé. Le PMA est l'étalon et seule la dithizone sert de témoin. Le PMA complexé de dithizone apparaît sous forme de tache rougeâtre vers le milieu de la lame. Il est clair qu'aucun PMA n'est mis en évidence dans le nouvel échantillon de composé à joint inutilisé, mais que du PMA apparaît dans l'ancien échantillon de composé à joint inutilisé. Cela correspond aux résultats obtenus antérieurement, indiquant la présence de mercure dans l'ancien composé. La tache jaune-brun qui apparaît dans le coin gauche supérieur est un produit de décomposition d'une solution vieillie de dithizone. Puisque ce produit manifestait une valeur R_f relativement élevée, c'est-à-dire qu'il était assez mobile, il n'a pas perturbé la méthode CCM.

Les résultats n'indiquent aucune différence qualitative appréciable entre les extraits décolorés et de référence. Les résultats obtenus pour cette plaque CCM sont caractéristiques de tous les résultats fournis par cette méthode.

Tous les extraits de l'échantillon de plaque de plâtre ont produit de très faibles taches attribuables au mercure organique (PMA). Une comparaison des résultats du mercure total et des résultats CCM de mercures complexés pour les anciens composés à joint utilisés et inutilisés indique une concentration semblable de mercure total dans ces deux composés. Toutefois, les résultats de la chromatographie sur couche mince indiquent que la concentration de PMA est beaucoup plus élevée dans l'échantillon inutilisé de l'ancien composé à joint qu'elle ne l'est dans l'échantillon de composé à joint tiré de la plaque de plâtre (comme en témoigne la tache CCM moins intense). Cela laisse supposer que la forme principale de mercure dans le composé à jointé chantillonné à même la plaque de plâtre doit être de type inorganique, et que le PMA est instable.

4. Étude de la réaction de décoloration

Les différences de niveau de mercure entre les surfaces plus ou moins intensément décolorées de la plaque de plâtre ne sont pas une preuve concluante que le fongicide (PMA) dans le composé à joint est la cause de la décoloration. On peut s'attendre à ce que tous les composés solubles (y compris le PMA et les phtalates) se concentrent à la surface pendant l'évaporation du solvant et le durcissement du composé à joint ou de la peinture. Par contre, une concentration élevée de mercure sur la surface décolorée relativement à la surface de référence indique bien que le PMA pourrait être mis en cause.

Si le PMA joue un rôle, existe-t-il un mécanisme réaliste en vertu duquel la présence de PMA incolore (dans la gamme de concentrations observée) à la surface de la peinture entraînerait une décoloration? Les résultats présentés ici et des renseignements obtenus de travaux antérieurs permettent d'élaborer un mécanisme plausible [11, 12, 29]. Puisque le PMA est incolore, il doit subir des changements physiques ou chimiques pour jouer un rôle dans la décoloration. La photodécomposition UV du PMA qui a été signalée produit 0,3 unité environ [31], ce qui indique que le PMA se photodécompose assez facilement en formes inorganiques. Plusieurs chercheurs ont signalé une décoloration des peintures due au sulfure de mercure [11, 12, 29]. L'hydrogène sulfuré est un polluant atmosphérique courant qui pourrait représenter une source de sulfure dans l'évolution d'une tache. Le sulfure de mercure, de couleur noire, est visible même à de très faibles concentrations.

L'étude du mécanisme fournit les données suivantes. La réaction du mercure ionique (inorganique) avec le sulfure entraîne une tache noire. On l'a montré en ajoutant une solution aqueuse de chlorure de mercure (une solution claire) à une solution de sulfure de sodium (également incolore).

Un précipité noir insoluble de sulfure de mercure est le résultat. Un agent de blanchiment (5 ml) a été ajouté à une partie aliquote (2,5 ml) contenant le lourd précipité noir, et le précipité a disparu. Là aussi, il en est résulté une solution incolore indiquée dans la fiole de droite de la figure 14. Cela correspond bien aux essais sur place, qui ont montré que la tache sur la plaque de plâtre se laisse dissoudre par un lavage de blanchiment [28].

Les résultats ci-dessus confirment le rôle du PMA dans la décoloration. Toutefois, la gamme de concentrations utilisée dans la simulation ci-dessusé tait bel et bien supérieure à celle qui a été observée à la surface de la plaque de plâtre. Afin de simuler la décoloration dans des conditions plus caractéristiques, on a monté une expérience de laboratoire à l'aide d'une chambre permettant une exposition tant à l'hydrogène sulfuré qu'à la lumière UV (voir la section IV.5 sur les données expérimentales).

Les résultats fournis par la chromatographie sur couche mince, l'UV-visible et l'absorption atomique se résument comme suit :

On a déposé sur trois plaques de gel de silice CCM des extraits au méthanol de l'ancien (1988) et du nouveau (1990) composé à joint (de même que des étalons PMA) selon des volumes croissants. Les deux variables importantes mises en cause dans le mécanisme de réaction ont été étudiées à l'aide de trois plaques comportant des taches d'extraits de composé à joint exposées à différentes conditions ambiantes.

La plaque I a été exposée à la fois à un rayonnement UV et de l'hydrogène sulfuré.

La plaque II a été exposée uniquement à un rayonnement UV.

La plaque III a été exposée à de l'hydrogène sulfuré sous une hotte noircie.

Après l'exposition, les résultats indiquent que le rayonnement UV et l'hydrogène sulfuré sont tous deux des facteurs importants qui influencent à la fois la vitesse de formation et l'intensité de la décoloration.

On observe une décoloration appréciable de l'extrait de l'ancien (1988) composé à joint relativement au composé plus récent (1990). Cela correspond aux résultats de l'analyse du mercure par absorption atomique, des traces négligeables seulement ayant été observées dans le nouveau composé à joint inutilisé (tableau 4), tandis que 70 ppm de mercure ont été trouvées dans l'ancien composé à joint. L'application de volumes plus grand d'extrait a entraîné une augmentation de l'intensité de la décoloration.

La plaque I après une exposition simultanée à la lumière UV et à l'hydrogène sulfuré, a manifesté une décoloration en moins d'une heure.

La plaque II qui a été exposée uniquement à un rayonnement ultraviolet n'a pas manifesté de décoloration, bien que la photodécomposition ait transformé le mercure organique dans le PMA en sa forme inorganique.

La plaque III exposée à l'hydrogène sulfuré uniquement a manifesté une décoloration, ce qui indique que l'hydrogène sulfuré est un des principaux facteurs mis en cause dans la décoloration. Toutefois, l'intensité de la décoloration est inférieure à celle que l'on peut apercevoir sur la plaque I, exposée à la fois à un rayonnement ultraviolet et à de l'hydrogène sulfuré, ce qui indique un effet synergique provoqué par leur action combinée.

Les résultats des spectres d'absorption UV-visible (figure 4) et de l'analyse du mercure par absorption atomique (tableau 4) indiquent une grande ressemblance avec l'ancien (1988) composé à joint et avec le composé utilisé effectivement dans la construction de la maison atteinte. Le niveau de mercure mis en évidence par absorption atomique dans l'ancien (1988) composé à joint (70 ppm) correspond à une concentration de PMA dans le composé de 117,5 µg/g. À supposer que le PMA ne se soit pas décomposé durant le stockage, l'application du composé à joint sur la plaque de verre en laboratoire ou le séchage, et qu'il ait été extrait intégralement, la concentration de mercure dans la préparation définitive devrait s'élever à 117,5 µg/g x 3,5 g/ml = 411,25 µg/ml, ce qui correspond à 410 µg/ml environ de PMA.

On a étudié le rôle de la photodécomposition à l'aide de deux solutions de composé à joint à PMA dans du méthanol. Une solution a été irradiée, tandis que l'autre a été conservée à la noirceur. Des parties aliquotes de chaque solution ont été appliquées sur du papier filtre neutre sans cendre. La vive décoloration produite par la solution exposée à un rayonnement UV par rapport à la solution conservée à la noirceur indique clairement que la lumière joue un rôle important dans la décoloration.

Il est difficile de comparer l'intensité de la décoloration observée sur l'échantillon de plaque de plâtre aux taches produites en laboratoire, dans la simulation ou à celles causées par les extraits d'étalons PMA purs. Le fond blanc du gel de silice utilisé dans les expériences de laboratoire assure un contraste prononcé par rapport à la décoloration, et permet de la distinguer nettement en comparaison du contraste réduit offert par la surface texturée et jaunâtre d'une plaque de plâtre typique.

De plus, la concentration moinsé levée de mercure à la surface de la plaque de plâtre a entraîné une décoloration plus faible.

V.5 Simulation de la décoloration

V.5 a) L'effet des matériaux et des méthodes d'application sur la décoloration

Après quelques heures d'exposition, une plaque (PA-R) a manifesté une légère décoloration, au-dessus des trous remplis de composé à joint contenant du PMA. Une deuxième plaque (LL-R) a manifesté de légères taches sur le composé à joint contenant du PMA en moins de deux jours. La première plaque décolorée (PA-R) n'a pas noirci au cours des deux prochains mois, mais la seconde plaque décolorée (LL-R) a noirci de façon progressive au cours de ces deux mois. Toutefois, les taches n'ont jamais atteint l'intensité de la première plaque. Aucune des autres plaques ne s'est décolorée.

Lorsque cet essai a été répété, une seule des six plaques (LL-R) a manifesté une décoloration, et cette tache était moins intense que celle qui aé té observée au cours de l'essai initial.

V.5 b) L'effet des conditions ambiantes sur la décoloration

Après deux mois d'exposition à un rayonnement UV et à l'humidité en l'absence d'hydrogène sulfuré, cette série de plaques de gypse s'est mise à se désintégrer, mais la surface de la peinture était intacte. Il n'y avait aucun signe de décoloration sur les bouchons de composé à joint. La deuxième série de six plaques n'a manifesté aucun signe de décoloration après deux mois d'exposition à l'hydrogène sulfuré en l'absence de rayonnement UV.

La troisième série de quatre plaques exposées à une lumière UV, à l'hydrogène sulfuré et à l'humidité (que l'on a fait varier en pulvérisant la moitié des plaques d'un mince brouillard deux fois par semaine afin de simuler un cycle de mouillage) a manifesté les résultats suivants. Les taches sur les plaques mouillées étaient légèrement plus intenses que sur les plaques non mouillées. À noter que l'humidité dans cette chambre était plus élevée que pour d'autres essais à cause du mouillage périodique des plaques, et cela a pu favoriser la décoloration plus intense de toutes les plaques.

V.6 Méthodes d'élimination des taches

Afin d'accélérer la décoloration pour permettre l'étude des méthodes d'élimination, il a fallu élaborer une méthode en vertu de laquelle des spécimens de plaque de plâtre pourraient subir une décoloration intense le plus rapidement possible. Cette méthode est décrite ci-dessous :

La première série de quatre plaques, contenant le composé à joint enrichi de PMA et placées dans la chambre atmosphérique pendant que la surface était encore humide, a immédiatement manifesté de fortes taches noires sur les bouchons de composé à joint. Ces spécimens ont été considérés comme impropresà l'élimination des taches, puisqu'ils étaient plus sombres et que la décoloration avait pénétré dans le joint. Ces taches ne ressemblaient pas à la décoloration naturelle, et il a été décidé de ne pas s'en servir pour les essais d'élimination.

La deuxième série de quatre plaques contenant du composé à joint enrichi de PMA a été placée dans la chambre d'exposition après un séchage initial de la surface. Après deux mois d'exposition, une décoloration moyenne s'est manifestée sur toutes les plaques. L'intensité des taches variait légèrement d'une planche à l'autre.

Chacune des quatre plaques décolorées a été traitée et repeinturée selon la méthode décrite ci-dessous :

Chaque plaque comportait six bouchons de composé à joint, dont la moitié ont été lavés avec une solution de blanchiment à 5 %, l'autre moitié n'étant pas lavée.

i. plaque recouverte d'une couche primaire au latex et repeinturée avec une peinture latex;

ii. plaque recouverte d'une peinture latex seulement;

iii. plaque recouverte d'une peinture alkyde seulement;

iv. plaque non repeinturée.

Dans chaque cas, la décoloration initiale était légère, et le traitement de blanchiment a permis à lui seul d'éliminer les taches, avant le repeinturage des spécimens. De plus, chaque traitement de peinture a permis de recouvrir à la fois la moitié lavée et la moitié non lavée de la plaque.

Les résultats de l'élimination des taches avant et après la période de conditionnement de deux mois sont résumés ci-dessous :

- Initialement, toutes les plaques ont manifesté des taches sur les bouchons de composé à joint après 60 jours d'exposition à une lumière ultraviolette et à l'hydrogène sulfuré.

- Un lavage avec une solution de blanchiment à 5 % a fait disparaître toutes les taches traitées.

- La plaque repeinturée uniquement avec une peinture latex n'a manifesté aucun signe de réapparition des taches après 60 jours d'exposition à des conditions décolorantes.

- La plaque recouverte d'un bouche-pores au latex et ensuite d'une peinture latex n'a manifesté aucun signe de réapparition des taches après 60 jours d'exposition.

- La plaque recouverte d'une peinture alkyde n'a manifesté aucun signe de réapparition des taches après 60 jours d'exposition.

- La plaque non repeinturée mais lavée seulement a manifesté des signes de décoloration après 60 jours d'exposition. Les bouchons lavés étaient légèrement décolorés, et les bouchons non traités avaient noirci.

Le lavage de blanchiment n'a pas permis à lui seul d'éliminer la décoloration. La décoloration n'est réapparue sur aucune des plaques peinturées, mais les taches initiales étaient toutes légères.

V.7 Résumé des résultats

La simulation des taches et l'étude de la réaction de décoloration ont montré que le sulfure de mercure est un pigment noir qui est stable. Il est possible de produire du sulfure de mercure à partir de PMA et de H_2S en présence d'un rayonnement ultraviolet ou d'un rayonnement solaire direct. En l'absence de H_2S, le PMA n'a pas formé de sulfure de mercure. Le sel de sulfure de mercure se dissout dans une solution de blanchiment à 5 %.

Le lavage de blanchiment permet bien de dissoudre le sulfure de mercure et de faire disparaître la tache, mais avec le temps et dans certaines conditions la tache réapparaît. Les peintures de faible perméabilité permettent effectivement de sceller le PMA dans le complexe, mais il est essentiel de prévoir un temps de séchage convenable entre la première couche et les couches de peinture subséquentes.

Un examen microscopique de la surface des éclats de peinture n'a révélé aucune différence physique entre les sections décolorées et non décolorées de la plaque. La microscopie électronique à balayage n'a elle non plus montré aucune cause physique de la décoloration. Bien que les travaux initiaux aient indiqué une corrélation entre la présence de végétation mycélienne et la décoloration, une étude plus poussée n'a révélé aucune lien direct entre la présence de végétation mycélienne et la formation de taches. L'analyse chimique a montré qu'il s'agissait d'un sel de sulfure de mercure résultant d'une réaction chimique entre le métal lourd dans l'acétate mercurique de phényle (PMA) qui se trouvait dans le composé à joint et l'hydrogène sulfuré dans l'atmosphère. Des expériences de simulation en laboratoire ont montré que le PMA se déplace vers la surface de la peinture où, en présence d'un rayonnement ultraviolet, il se décompose et réagit avec l'hydrogène sulfuré.

Les expériences ont également montré qu'une peinture humide en contact avec un composé à joint mouillé ou humide entraîne une lixiviation du PMA vers la surface de la plaque de plâtre.

La migration du PMA vers la surface se produit comme suit : pendant le séchage du composé à joint, les produits chimiques hydrosolubles dans le composé à joint se déplacent vers la surface et y sont déposés. L'application d'une couche primaire à base d'eau entraîne le mouillage du composé à joint, de sorte que la lixiviation des produits chimiques hydrosolubles (y compris le PMA) s'y poursuit, et elle provoque également la redissolution des produits chimiques antérieurement déposés à la surface du composé à joint [21]. Pendant le séchage de la couche primaire, les produits chimiques hydrosolubles se déplacent de nouveau vers la surface de la couche primaire. Ce même phénomène se répète lorsque d'autres couches de peinture latex sont appliquées, de sorte qu'une proportion appréciable des produits chimiques hydrosolubles demeure à la surface de la peinture. L'application de couches plus épaisses de composé à joint provoque en surface une concentration plusé levée de produits chimiques lixiviables.

Si le composé à joint est mouillé de nouveau, il y a redissolution du PMA, qui redevient activement labile. Les peintures latex à forte perméabilité permettent à la vapeur d'eau de diffuser facilement à travers la peinture. Lorsqu'on utilise une peinture de ce genre dans des endroits où un composé à joint contenant du PMA a été appliqué, la vapeur d'eau dans le mur sort du mur, entraînant le PMA vers la surface. Dans les maisons où il y a décoloration, cette surface réagit avec l'hydrogène sulfuré dans l'atmosphère pour former un sel noir, le sulfure de mercure. Cela a été démontré à la fois dans la réaction de décoloration provoquée chimiquement et dans la formation de taches par simulation en laboratoire.

La compréhension des mécanismes de décoloration a permis d'élaborer des méthodes d'élimination des taches existantes et de prévention de leur réapparition. La meilleure façon de traiter une tache consiste à la recouvrir d'une peinture alkyde ou d'une émulsion acrylique inhibitrice. Ces deux revêtements offrent une meilleure résistance à la perméabilité de la vapeur d'eau en comparaison d'une peinture latex mate de mur intérieur coûtant moins cher [12]. De telles peintures aident à sceller la décoloration et à empêcher la vapeur d'eau de pénétrer dans le mur et d'y entraîner le PMA vers la surface. Il convient d'utiliser de telles peintures dans les pièces qui sont exposées à des niveaux d'humidité élevés, en particulier les cuisines et les salles de bain. Dans le cas d'une décoloration légère, un bouche-pores au latex permet de recouvrir les taches et d'empêcher leur réapparition. Une peinture latex appliquée sur une telle couche donne au mur le fini souhaité. Un lavage de blanchiment (5 % selon le volume) avant le peinturage permet d'atténuer la tache et, dans le cas des taches plus intenses, un tel lavage est recommandé avant l'application d'un bouche-pores. Un lavage de blanchiment devrait être suivi d'un rinçage vigoureux du mur pour enlever autant que possible les composés à

base de mercure et l'agent de blanchiment. Cette dernière démarche est recommandée pour les pièces moins exposées à l'humidité et à la condensation de la vapeur d'eau, par exemple les chambres à coucher, les salles de séjour, les passages. Dans les pièces où l'humidité risque d'être plus élevée (par exemple les salles de bain et les cuisines) et où il est important de colmater la surface du mur afin d'empêcher la vapeur d'eau d'y pénétrer et d'entraîner le PMA vers la surface, un bouche-pores latex ou même un bouche-pores alkyde devrait être recouvert d'une couche de finition à faible perméabilité. Compte tenu de l'intensité de la décoloration, on peut décider d'effectuer un lavage de blanchiment et un rinçage à l'eau avant de peinturer.

VI. CONCLUSIONS

- La décoloration de ton gris à gris noir observée le long des lignes de joint des plaques de plâtre de maisons dans l'Ouest du Canada au cours des cinq dernières années est un sel noir, le sulfure de mercure (HgS).

- La réaction de décoloration comporte une décomposition photochimique de l'acétate mercurique de phényle (PMA) et la réaction subséquente de H_2S dans des conditions humides.

- Le fongicide PMA est entraîné vers la surface par des cycles d'humidité et de sécheresse. Les peintures perméables comme les peintures latex permettent à la vapeur d'eau de pénétrer et de quitter facilement le composé à joint contenant du PMA.

- La probabilité de décoloration dans un endroit particulier est fonction de la concentration d'hydrogène sulfuré atmosphérique et de l'exposition au rayonnement ultraviolet.

- Les facteurs qui influencent l'intensité de la décoloration sont la concentration de PMA dans le composé à joint, la concentration d'hydrogène sulfuré dans l'air, l'humidité de la région atteinte, la perméabilité de la peinture utilisée, ainsi que le temps de séchage prévu entre l'application du composé à joint et l'application des couches de peinture.

- Il existe différentes façons d'éliminer les taches. L'action qui convient dans un cas particulier dépend du coût, de la sévérité de la décoloration et des conditions d'évolution de chaque tache. Les mesures proposées pour les maisons atteintes consistent à blanchir les zones décolorées, à les laisser sécher complètement, puis à appliquer une peinture à base d'huile.

- Le calendrier des travaux d'application des différentes couches du complexe de plaque de plâtre représente un facteur important dans la formation des taches.

- Le fait de recouvrir un mur décoloré d'une peinture imperméable permet d'isoler le sulfure de mercure et le PMA restant, ce qui empêche une réaction ultérieure avec l'hydrogène sulfuré présent dans l'air intérieur.

- Un bouche-pores au latex recouvre une décoloration légère et empêche sa réapparition.

- Un lavage de blanchiment (5 % selon le volume) atténue la décoloration, une peinture pouvant alors facilement la recouvrir. Un blanchiment de la décoloration avant l'application d'une peinture est particulièrement utile lorsqu'il s'agit de recouvrir des taches intenses.

- Afin d'empêcher la décoloration de se produire dans de nouveaux bâtiments, il importe d'éviter les peintures et les composés à joint dont la formulation comporte des fongicides à base de mercure. L'absence de mercure dans la nouvelle peinture et le nouveau composé à joint inutilisés et l'absence de décoloration en présence du nouveau composé à joint inutilisé dans la simulation en laboratoire confirment qu'une telle action empêche la décoloration. Les différences de spectre d'absorption entre la nouvelle peinture et le nouveau composé à joint inutilisés et les échantillons de peinture et de composé à joint tirés de la plaque de plâtre (décrite à la section Résultats et discussion) indiquent qu'on utilise probablement déjà un agent antifongique différent.

VII. RECOMMANDATIONS

Les démarches énumérées ci-dessous représentent des mesures correctives et de prévention.

1. Une décoloration très légère qui n'est visible que le long des joints d'un mur peut être lavée avec une solution de blanchiment à 5-10 % (selon l'intensité de la tache). Ce lavage entraîne une lente dissolution de la tache, aucun frottage n'étant nécessaire. Toutefois, ce traitement ne fait que blanchir la décoloration. Il devrait être suivi d'un rinçage vigoureux du mur avec de l'eau et une éponge afin d'éliminer l'agent de blanchiment. La décoloration risque de réapparaître si la surface n'est pas colmatée après le blanchiment. Par conséquent, cette action devraitê tre suivie d'un colmatage de la surface à l'aide d'une peinture appropriée.

2. Une fois le mur lavé, il faut laisser sécher la surface complètement (24 heures). Un bouche-pores au latex est alors appliqué sur le mur. Cette couche de peinture est essentielle, car sa faible perméabilité permet de sceller le PMA soluble. Laisser le bouche-pores au latex sécher pendant 24 heures avant d'appliquer une deuxième couche de

peinture. Le type de peinture utilisé pour cette deuxième couche dépend de l'humidité ambiante. Cet aspect est décrit ci-dessous.

3. Dans les pièces où l'humidité atteint des niveaux élevés (par exemple la salle de bain, la cuisine), on peut blanchir les taches le long des joints du mur avant de peinturer. Il convient d'appliquer un bouche-pores latex ou un bouche-pores alkyde sur le mur.

4. Dans le cas d'une forte décoloration, un lavage de blanchiment suivi de la démarche 3 est recommandé dans toutes les pièces. Dans les cas graves, il faut parfois avoir recours à plus d'un lavage de blanchiment. Chaque lavage devrait être suivi d'un séchage de 24 heures avant tout traitement ultérieur.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

1. American Paint Contractors Bulletin (December 1988), Flashing Still Haunts Contractors.

2. Baughman, G.L., M.H. Carter, N.L. Wolf, R.G. Zepp (1973), Gas-Liquid Chromatography - Mass-Spectrometry of Organomercury Compounds, J. Chromatog. 76, pp. 471-476.

3. Browne, F.L. (1959), Understanding the Mechanisms of Deterioration of House Paint, Forest Products Journal 9(11), pp. 417-427.

4. Government and Industry Report: Paint Companies to Eliminate Mercurial Biocides Use in Formulating Interior Latex Paints by August 20, J. of Paints and Coatings 62, pp. 43-45.

5. Gray, J.M.L. (1988), Report of Analysis, Chemical Analysis of Textured Wallboard, Industrial Technologies Dept., Alberta Research Council, Client Report (protected).

6. Hodgman, C.D. (Ed.), et al. (1962), Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical Rubber Publ. Co., Cleveland, OH.

7. Hoffmann, E. (1958), Summary of Results of Investigation on the Staining of Alkyd Paint Films, Commonwealth of Australia Scientific and Industrial Research Organization, Publication; Division of Building Research, Melbourne, Australia.

8. Hoffmann, E. (1959), Traces of Hydrogen Sulphide in the Atmosphere of Dwellings, The Australian Paint Journal 4(7), pp. 15-16.

9. Hoffmann, E. (December 1958), Sulphide Staining, The Paint Journal of Australia and New Zealand.

10. Hoffmann, E. (1964), Treatment of Smoke Stains, The Australian Paint Journal. 10(5): 6.

11. Hoffman, E. (1966), On the Intensity of Sulfide Stains on Paint Films, J.. Oil Colour Chem. Assoc. 49, pp. 385-389.

12. Huntley, R. (December 1964), The Case of the Reappearing Staining, American Paint Contractors Report, pp. 12-15.

13. Hutzinger, O., W.D. Jamieson and S. Safe (1971), Mass Spectra of some Fungicidal Organomercury Compounds, Intern. J. Environ. Anal. Chem. 1, pp. 85-97.

14. Investigation of Drywall Discolouration in Alberta Houses, Building Envelope Engineering, Alberta Municipal Affairs, ISBN 0-88654-274-X.

15. Irving, H.M.N.H. (1980), The Analytical Application of Dithizone, CRC Critical Review in Chemistry 8, pp. 321-366.

16. Irving, H.M.N.H. and A.M. Kiwan (1969), Studies with Dithizone. Part XV. Further Reactions with Organomercury Compounds., Anal. Chim. Acta 45, pp. 225-269.

17. Irving, H.M.N.H. and A.M. Kiwan (1969), Studies with Dithizone, Part XVII. The Extraction Constant of Organomercury (II) Dithizonates, Anal. Chim. Acta 45, pp. 447-455.

18. Munshi, G.K. (1979), TLC Identification of some Mercury Salts in 3X Homeopatic Drugs J. Inst. Chemists (India), 51, pp. 186-187.

19. Oshawa, K., K. Fuzikawa and K. Imaeda (1980), Determination of Mercury Compounds with an Aluminium Foil Thin Layer Plate, Bunsei Kagaku 29, pp. 431-436.

20. Oshawa, K., K. Fuzikawa and K. Imaeda (1981), Fractional Determination of Inorganic and Organic Mercury with an Aluminium Foil Thin Layer Plate, Bunsei Kagaku 30, pp. 305-309.

21. Pauli, O. (1973), Anti-mildew Coatings II. Inter-phase Migration of Preservatives in Latex Paints, J. Oil Colour Chem. Assoc. 56, pp. 289-291.

22. Pugh, J.L. (March 1989), Staining of Joint Compound on Drywall, Canada Mortgage and Housing Corporation publication.

23. Rosell, M., G.X. Guardino, E. Gadea, A. Marti, (1982), Determination of Phenylmercuric Acetate in Air by Atomic Absorption Spectrophotemetry and Gas Chromatography, Pergamon Series on Environmental Science, Part F, Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 299-300.

24. Shirtcliff, C.J. (1989), Discussion of Technical Issues Related to Drywall Staining in Western Canada: Results of Preliminary Analyses of Samples From Three Homes, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Client Report (protected).

25. Takeshita, R., H. Akagi, M. Fujita, Y. Sakagami, (1979), Detection of Mercury and Alkylmercury Compounds by Reversed-Phase Thin-Layer Chromatography, J. Chromatog. 51, pp. 283-288.

26. Tobin, R.S. (1987), Significance of Fungi in Indoor Air: Report of a Working Group, Canadian Journal of Public Health 78, pp. S1-S14.

27. U.S. Forest Service Research Note FPL-0131 (July 1966), Wood Finishing: Discoloration of House Paint by Blue Stain, Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.

28. Vlooswyk, J.L. and R. Davis (March 1990), Investigation of Drywall Discolouration in Alberta Houses, Alberta Municipal Affairs, Innovative Housing Grants Program publication.

29. Watson, E.M. (1968), A New Look at Sulphide Staining, Journal of Paint Technology 40, pp. 10-18.

30. Westoo, G. (1966), Determination of Methylmercury Salts in Various Kinds of Biological Material, Acta Chem. Scand. 20:2131.

31. Zepp, R., N.L. Wolf, and J.A. Gordon, (1973), Photodecomposition of Phenylmercury Compounds in Sunlight, Chemosphere 3, pp. 93-99.