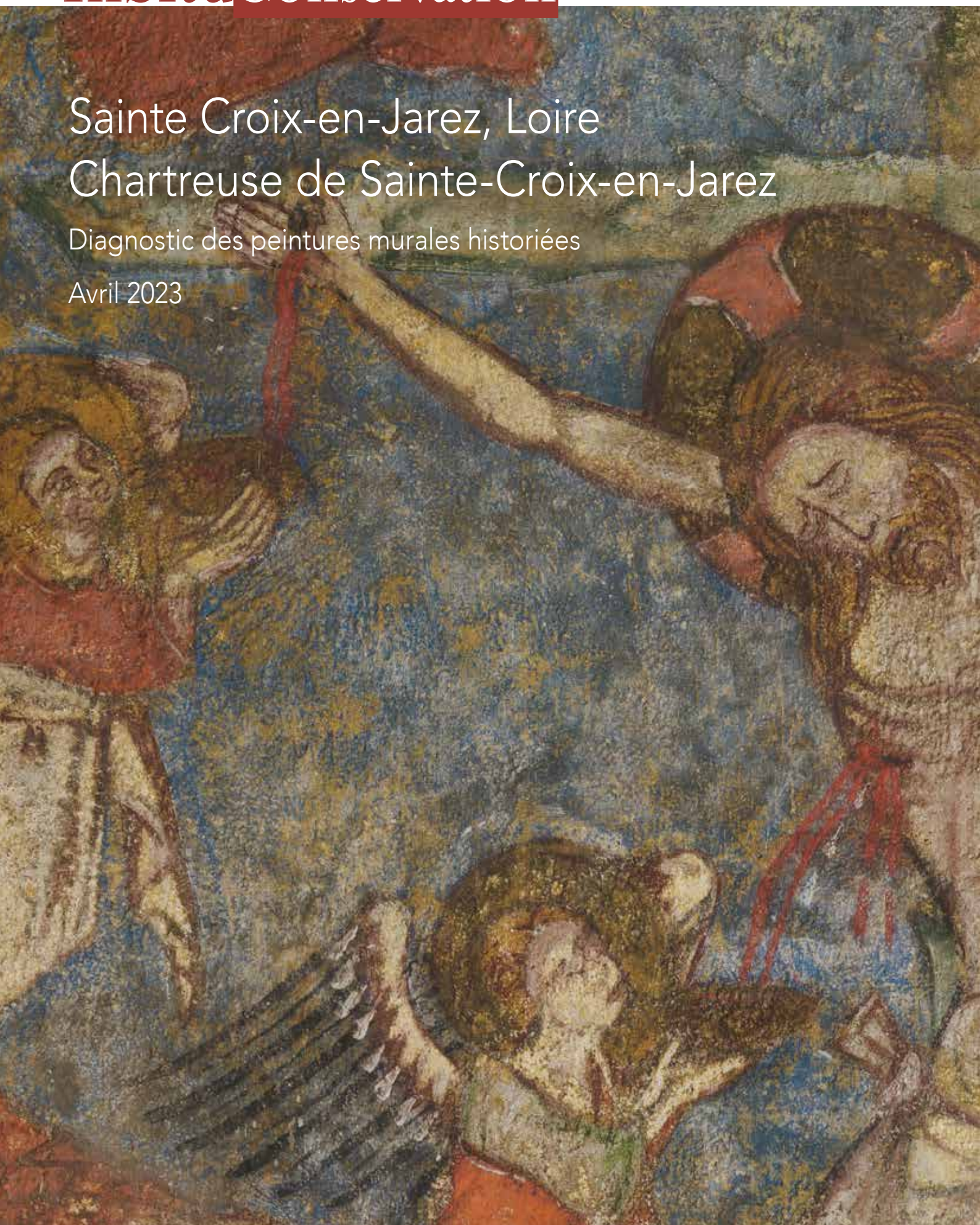


Sainte Croix-en-Jarez, Loire Chartreuse de Sainte-Croix-en-Jarez

Diagnostic des peintures murales historiées

Avril 2023



Sommaire

Contexte de l'intervention	5
1. Les intervenants de la mission d'étude	7
2. Étude stratigraphique des peintures murales	8
2.1 Résultat des fenêtres stratigraphiques de l'ancienne nef	8
2.2. Hypothèse de chronologie relative des décors de l'église médiévale (nef et chœur)	10
État 1 – Une première église primitive fin XIIe siècle	
État 2 – L'église médiévale du premier quart du XIVe siècle	
État 3 – Un vaste programme décoratif (second quart du XIVe siècle)	
État 3' – Les peintures de Thibaud de Vassalieu (2e moitié du XIVe siècle)	
État 3'' – Rechampi et entretien des scènes historiées	
État 4 – Fin XVIIe siècle une grande phase de reconstruction	
3. Constat de l'état de conservation des peintures murales du chœur	18
3.1. État de conservation du support	18
3.2. État de conservation de la couche picturale	22
3.3. Anciennes interventions de restauration	26
4. Les traitements de conservation réalisés en décembre 2020	30
4.1. Consolidation d'urgence des peintures murales	30
4.2. Retrait des enduits en ciment	30
4.3. Dépoussiérage	32
5. Les études techniques et scientifiques complémentaires menées dans l'ancien chœur	34
5.1. Enquête climatique dans le chœur	34
5.2. Cartographie hydrique de surface	40
5.3. Analyses des micro-organismes	43
5.4. Analyses des efflorescences salines	46
6. Complément d'étude technique des peintures historiées du chœur médiéval	48
6.1. Les analyses de la nature des peintures	48
6.2. Étude d'imagerie technique du CICRP	50
6.3. Résumer des compléments d'étude	52
7. Étude pour la dérestauration des peintures historiées du chœur	54
7.1 Tests de décrassage	56
7.2. Tests de solubilité du fixatif	57
7.3. Tests du retrait de la crasse dans les creux sur les zones les plus fragiles et en réduisant l'action mécanique	58
7.4. Tests sur les taches brunes	59
7.5. Conclusions du protocole de dérestauration	59
8. Préconisations pour la conservation des décors muraux	60
9. Annexe	62
9.1. Toutes les stratigraphies de la nef	62
9.2. Sources historiques et techniques	68
9.3. Toutes les études complémentaires	69

Maîtrise d'ouvrage
Mairie de Sainte-Croix en Jarez
Daniel Torgues
Le maire
Jean-Michel Chauvet
Le deuxième adjoint
42 Sainte-Croix-en-Jarez
06 12 83 52 65
mairie.sc@wanadoo.fr
jeanmichel.chauvet@orange.fr

Maîtrise d'œuvre
CRMH DRAC
Auvergne Rhône-Alpes, site de Clermont-Ferrand
Hôtel de Chazerat
4, rue Blaise Pascal
63010 CLERMONT-FERRAND cedex 1

Grégoire Chalier
Conservateur régional adjoint
des monuments historiques pour le 03, 15, 42, 43, 63

Pierre Taillefer et Nadège Favergeon
Conservateur des monuments historiques
l'Allier, de la Loire (arr. de Roanne et Saint-Etienne) et de la Haute-Loire
04.73.41.27.05
pierre.taillefer@culture.gouv.fr
nadege.favergeon@culture.gouv.fr

Architecte du patrimoine
Richard Goulois - Croisée d'archi
42, Rue de la république - 42400 Saint Chamond
04 77 22 75 57
richard.goulois@croiseedarchi.fr

Crédits photographiques: Gilles Garoffolin,
CICRP - Odile Guillon,
Caroline Snyers, Claire Bigand.
Études et analyses

CICRP
Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration
du patrimoine
Roland May directeur
21 rue Guibal – 13003 Marseille
04 91 08 23 40
roland.may@cicrp.fr
odile.guillon@cicrp.fr
jean-marc.vallet@cicrp.fr
marie-pascale.etchart@cicrp.fr Conservatrice du patrimoine

ERM
Bureaux et laboratoire : Bâtiment B8-B35 – 1er étage - 7, rue
Albert Turpaln - 86000 POITIERS
05 49 46 18 11 - 06 86 38 54 24
claire.morin@erm-poitiers.fr
francois.rassineux@erm-poitiers.fr

Sinopia expertise
Sébastien Aze
Conservation Restauration expertise et conseil
sebastien.aze@sinopia-aix.fr

BioDev' mlhl
Jacques Pages
Expertise, formation et animation naturalistes pour la préservation des écosystèmes et la conservation du patrimoine
06 84 55 79 72
biodev-mlhl@laposte.net

Virgina de Billerbeck
Contrôles biologiques du patrimoine culturel
06 78 81 90 51
debillerbeck.expert@gmail.com

Professionnels de la Conservation-
Restauration

Claire Bigand - In Situ Conservation
conservation-restauration peintures murales
et sculptures polychromes
06 15 42 40 58
clairebigand@insituconservation.art

Davide Orsi - In Situ Conservation
conservation-restauration peintures murales
et mosaïques
07 67 39 54 95
davideorsi@insituconservation.art
80 chemin des Perrets - 73470 Novalaise
www.insituconservation.art

Atelier Caroline Snyers
conservation-restauration de peintures
4t Grande rue de la Halle - 38460 Crémieu
06 64 64 09 96
carolinesnyers@gmail.com

Simona Valli
conservation-restauration de peintures
6, rue de Rocroy
94100 St Maur des Fossés
06 22 84 00 36

Contexte de l'intervention

La Chartreuse est fondée en 1281 par Béatrix de la Tour. Au XIV^e siècle des peintures murales sont réalisées dans l'église en l'honneur de l'archidiacre de Lyon, Thibaud de Vassalieu. Au XVII^e siècle une grande phase de reconstruction marque fondamentalement la physionomie de la chartreuse après des incendies et les guerres de religion. Les Chartreux sont chassés du site de Sainte-Croix en 1792. L'ancienne Chartreuse forme aujourd'hui de façon singulière, l'essentiel du bourg de la commune de Sainte-Croix-en-Jarez. Les peintures murales historiées qui sont l'objet de la présente étude, sont classées par arrêté au titre des Monuments Historiques en 1902, puis en 1988 une inscription sur l'inventaire supplémentaire protège l'église et les bâtiments conventuels pour obtenir en 1993 un nouveau classement du site en zone urbaine et paysagère.¹

Les peintures murales de la sépulture de Thibault de Vassalieu, dès leur découverte lors d'une excursion de la Société DIANA de Montbrison en 1896 ont suscité un grand intérêt. Le contexte de cette découverte est connu grâce à la monographie de Sainte-Croix et aux articles consacrés aux peintures murales de l'église écrits par Antoine Vachez. Très vite à la suite de leur découverte, un dégagement est réalisé pour mettre au jour l'intégralité de quatre scènes historiées et des trois murs peint par M.L.Favarcq. Il en fait une description précise en 1897². L'auteur est déjà conscient qu'il est en présence d'une chronologie de plusieurs décors successifs. À la suite de cette découverte, les peintures sont classées et une première campagne de relevés aquarellés est réalisée en 1943 pour le compte des M.H. par Yvonne Giraud-Henriot (conservés à la médiathèque du patrimoine). Aucun autre document ne parle d'une éventuelle restauration. Il faut attendre 1987 pour que les peintures soient nettoyées et consolidées par la société ARCOA.

Cette restauration intègre alors un projet d'envergure de Jean-François Grange-Chavanis, architecte en chef des Monuments Historiques, qui proposait de redonner à l'édifice une lisibilité fortement perturbée par des altérations structurelles et esthétiques modernes et contemporaines. Cet ambitieux projet ne verra par le jour. En 2007, les peintures du chœur de Sainte-Croix font l'objet d'un mémoire de maîtrise soutenu à l'Université Lumière Lyon 2 sous la direction de Véronique Rouchon (CIHAM). À cette occasion Stéphanie Favier interroge pour la première fois les peintures d'un point de vue iconographique (Favier 2007). En 2015, un nouveau diagnostic sur les décors de l'ancien chœur a été réalisé par Florence Cremer suivi d'une intervention de consolidation des peintures.

Le présent rapport fait état des études et interventions qui ont été menées de décembre 2020 à juin 2022. Nos interventions sur les peintures murales de l'église médiévale ont été réalisées en amont du projet de restauration, de revalorisation et d'ouverture au public porté par la mairie de Sainte-Croix-en-Jarez. Ces interventions représentent la phase 1 du projet de revalorisation de l'édifice. Le projet de revalorisation de la Chartreuse est portée avec volonté par la mairie représentée par son maire Daniel Torgues et Jean-Michel Chauvet deuxième adjoint et président de l'association de sauvegarde de la Chartreuse, épaulée scientifiquement par la DRAC Auvergne-Rhône-Alpes représentée par Pierre Taillefer et le cabinet d'architecture Croisée d'archi représenté par Richard Goulois.

1. <https://monumentum.fr/ancienne-chartreuse-pa00117593.html>

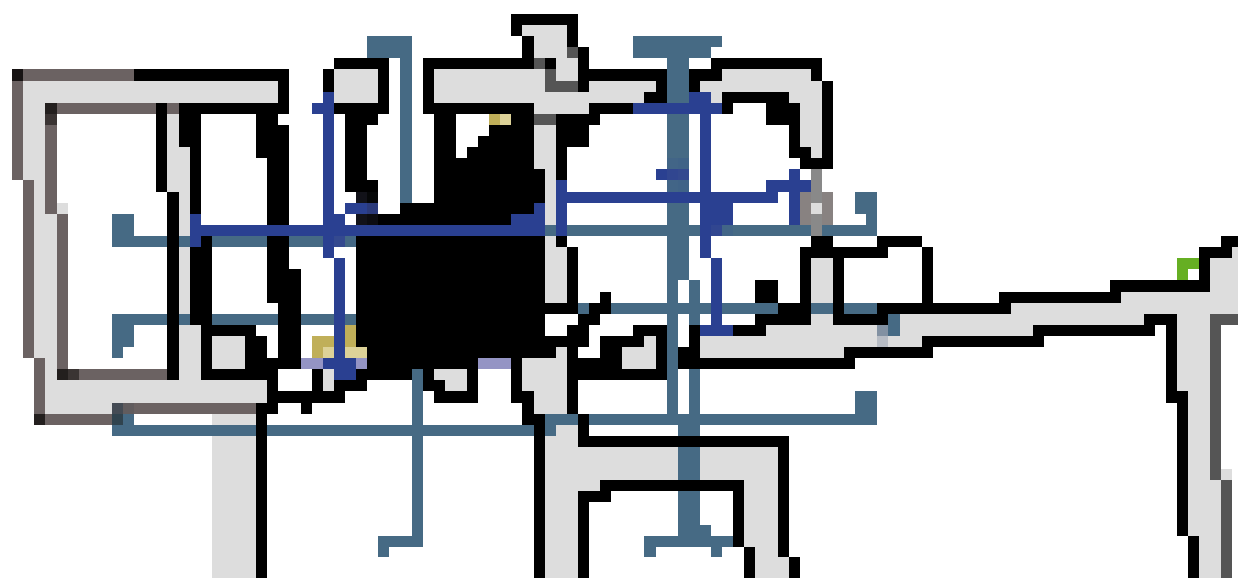
2 Favarcq, Bulletin de la DIANA, 1897, p. 293-304

Les études sont le préambule de travaux de restauration de l'église médiévale de Sainte-Croix-en-Jarez (phases 2 et 3 planifiées en 2023 et 2024). Nombreuses, elles ont porté sur la caractérisation des matériaux des peintures historiées et des matériaux des anciennes restaurations, la caractérisation des sels entraînant de fortes pathologies, la caractérisation des micro-organismes, l'étude des décors et de leur chronologie relative dans l'ancienne nef en relation avec celle de l'ancien chœur, l'étude des peintures historiées et la faisabilité d'une dérestauration.

Le diagnostic des peintures n'avait porté jusqu'ici que sur les décors historiés. Il a été étendu à l'ensemble de l'église médiévale (chœur et nef). Les objectifs de ces études sont d'établir un bilan de l'état des peintures en lien avec le bâti, pour ensuite proposer des mesures conservatoires, liées à l'environnement, à l'architecture puis de dérestauration et finalement de mise en valeur de l'ensemble des décors présents.

Une intervention de consolidation d'urgence a été menée dès le lancement des investigations pour permettre une phase de fouilles programmées dans la nef et conduite par Mathilde Duriez (Inrap) archéologue pour le compte de la société Hadès au moment de cette étude.

Vue face Nord de l'église, 2022
Plan Croisée d'archi, 2020



1. Les intervenants de la mission d'étude

Le groupement était constitué de quatre entreprises indépendantes:

- des conservateurs restaurateurs; l'entreprise In Situ Conservation constituée de Claire Bigand et Davide Orsi; Caroline Snyers; Simona Valli; l'équipe a été renforcée par Mélodie Bonnat restauratrice de peinture.
- le laboratoire ERM (Etudes-Recherches-Matériaux) représenté par Claire Morin et François Rassineux pour l'analyse des sels;
- et l'entreprise Buty spécialisée dans le montage et la location d'échafaudage.

Des études complémentaires nous ont amené à faire appel à l'entreprise Sinopia représentée par Sébastien Aze, pour la caractérisation de la nature des matériaux et la réalisation de cartographies d'humidité relative, Jacques Pages et Virginia de Billerbeck pour la caractérisation des micro-organismes.

Les études ont été complétées par une couverture en imagerie technique exhaustive, réalisée par Odile Guillon et Jean-Marc Vallet du CICRP (Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine).



2. Étude stratigraphique des peintures murales

Des fenêtres de dégagements ont été réalisées dans l'ancienne nef de l'église médiévale. Elles ont été réalisées pour compléter l'étude déjà menée dans le chœur en 2015. L'étude dans la nef a été menée du 31 mai au 2 juin 2021 par Caroline Snyers et Claire Bigand. Un échafaudage roulant et léger Euroform® d'une hauteur de travail jusqu'à 7,50m a été monté par nos soins. Il a permis l'exécution d'ouvertures de fenêtres et d'échelles stratigraphiques dans l'ensemble des parois de la nef.

Les fenêtres de sondages et les échelles stratigraphiques ont été effectuées par des moyens mécaniques uniquement, les méthodes physiques et thermiques n'étant pas nécessaires. Les couches peintes ou monochromes ont été dénombrées, identifiées et mises en relation pour obtenir une chronologie relative des périodes de décors de l'église de Sainte-Croix-en-Jarez. Chaque ouverture a fait l'objet d'une fiche récapitulative.

Cf les stratigraphies complètes en annexe.

2.1 Résultat des fenêtres stratigraphiques de l'ancienne nef

Observations générales de l'ancienne nef:

L'actuelle sacristie (ancienne nef) a été divisée en deux parties dans sa hauteur et séparée du chœur médiéval par l'édification d'une paroi au niveau de l'ancien arc triomphal. Deux baies en plein cintre ont été ouvertes au Nord. Aujourd'hui l'ancienne nef nous apparaît comme une simple pièce. Le haut de l'ancienne nef et sa couverture actuelle est visible par une trappe dans le plancher haut. A l'Est une porte de plein pied donne accès à l'ancien chœur et au Sud à l'église construite au XVIIe siècle, qui est l'actuelle église paroissiale.

1/ En partie basse de l'actuelle sacristie :

Les enduits que l'on trouve en partie inférieure de la pièce sont postérieurs à sa division. Il n'y a donc plus d'enduits médiévaux dans ces parties. Le premier enduit observé est un enduit de chaux de couleur grise avec une granulométrie fine et régulière. Il pourrait être attribué au XVIIe siècle.

2/ En partie haute :

Au-dessus du plancher haut on retrouve les enduits médiévaux et leurs décors peints attribués au XIVe siècle. Les peintures correspondent au deuxième décor présent dans le chœur. Il s'agit d'une frise avec rubans et faux-appareil. Sur les parois le décor de faux appareil est gris avec des joints blancs. Les baies au Nord et l'ancien arc triomphal sont mises en valeur par de faux parements polychromes, ocre jaune et rouge à double filets. Dans le chœur, la strate décorative qui lui correspond était monochrome blanche avec la mise en évidence de l'architecture et des baies par des parements ocre jaune et rouge à double filets, ainsi que la frise de rubans plissés.

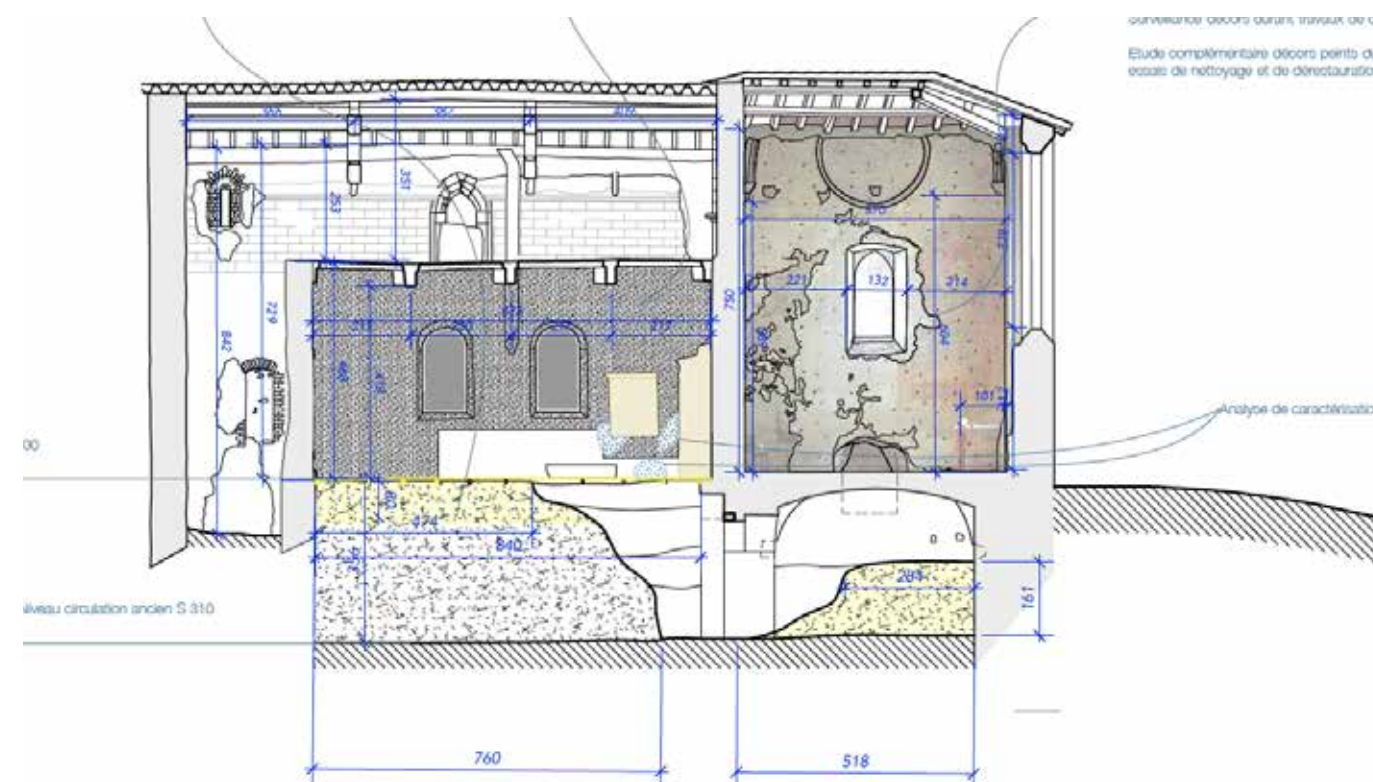
On suppose que le faux appareil était présent sur toute la hauteur des parois de la nef. Les sondages ne permettent cependant pas de le confirmer.

Paroi Nord la petite baie en brique était préexistante au décor du XIVe siècle. Elle a probablement été obstruée au XIVe puis réouverte tardivement. Il en est de même pour une petite armoire liturgique paroi Sud. Ce sont deux ouvertures de l'église primitive du XIIIe siècle.

Le couvrement de la nef devait être voûté en berceau. Les sondages ont permis de mettre en évidence les anciennes baies polychromes au Nord comme au Sud des murs gouttereaux.

Résultats notables :

Paroi Nord : découverte d'une peinture figurant une croix sur un demi-disque ou dôme. À une hauteur de 1,50m du sol actuel soit 1,04m du sol ancien et entre les deux baies XIXe. La peinture est à la détrempe, il s'agit d'une terre d'ombre et d'un peu ocre jaune sur le fond.



Configuration actuelle de l'édifice, avec la division de l'ancienne église en trois espaces distincte.
Élévation intérieure Sud, Mathilde Duriez, 2022
Élévation intérieure Nord, Croisée d'archi, 2020

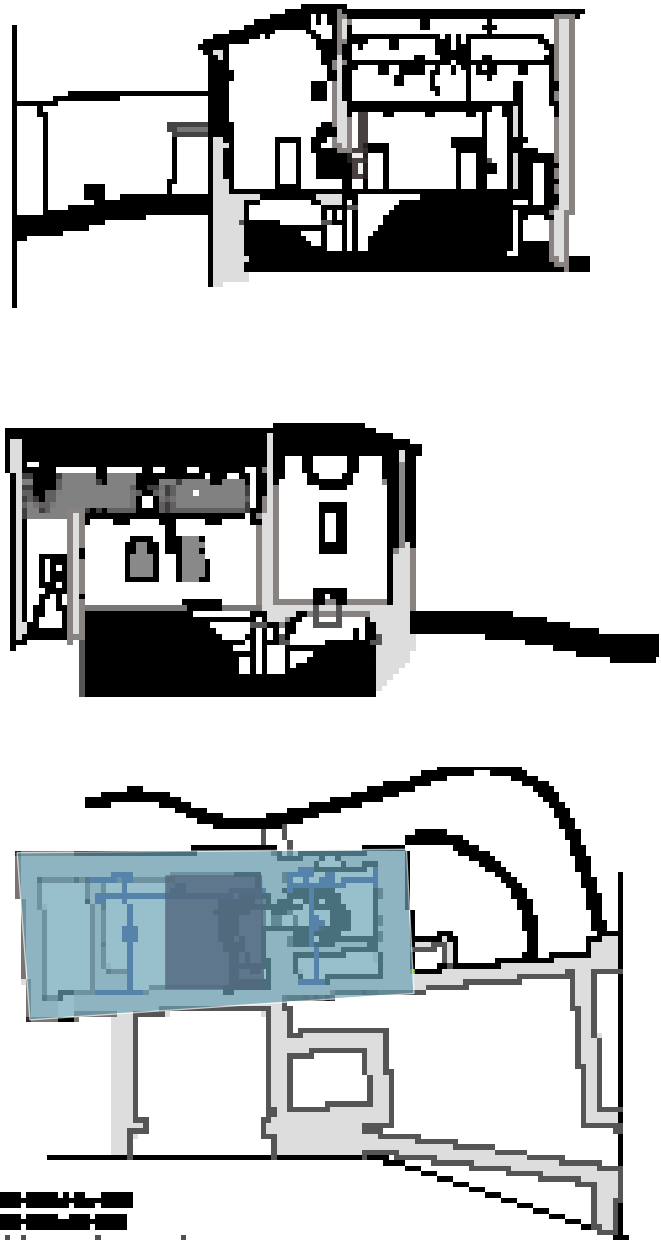
2.2. Hypothèse de chronologie relative des décors de l'église médiévale (nef et chœur)

Les études de 2020 à 2022 de la chartreuse et des décors de l'ancienne église ont donné lieu à des échanges avec Mathilde Duriez archéologue de l'Inrap. Le travail conjoint sur l'observation des enduits anciens de la nef, de l'évolution du bâti et de ses décors nous ont amené à proposer une chronologie relative des peintures intérieures de l'ancienne église.

L'église médiévale est aujourd'hui conservée au centre de l'espace bâti de l'ancienne Chartreuse. Elle prend la forme d'un grand bâtiment rectangulaire d'environ 20 m de long, 8 m de large et est conservée en élévation sur plus de 15 m de haut. Sa partition actuelle découle des importantes transformations architecturales de l'époque moderne. La construction d'une nouvelle église au milieu du XVIIe siècle entraine une réaffectation de l'église médiévale. Une division en trois espaces distincts est alors réalisée pour y loger une salle de stockage, une sacristie dans l'ancienne nef et la salle capitulaire dans l'ancien chœur gothique. Une toiture début du XXe siècle et l'aménagement de combles perturbent la lecture de l'édifice et de ses différents volumes. C'est la répartition que nous voyons aujourd'hui.

État 1 – Une première église primitive fin XIIe siècle

L'analyse archéologique des élévations et l'étude des différents revêtements muraux de Mathilde Duriez permet aujourd'hui d'avancer une chronologie de construction en quatre grands états successifs. Nous ne restituons là que les états ayant eu une réalité décorative. Mathilde Duriez fait mention d'une église médiévale primitive construite autour de 1280 et détruite autour de 1331.



Configuration de l'actuel édifice, avec la division de l'ancienne église en trois espaces distincte.
Élévation intérieure Sud, Croisée d'archi, 2020
Élévation intérieure Nord, Croisée d'archi, 2020
Plan, Croisée d'archi, 2020

État 1
État 2

État 2 – L'église médiévale du premier quart du XIVe siècle

La seconde église se compose d'une nef unique, mesurant 12.30 m de long et 6.71m de large. La lecture des élévation faite par Mathilde Duriez lui permet d'avancer que cette église été couverte d'une charpente voûtée ou diaphragme en bois, soutenant un toit en bâtière. L'éclairage de cette nef est réalisée grâce à deux grandes baies gothiques aménagées dans les murs gouttereaux Nord et Sud et que l'on a retrouvé lors des sondages.

Le chœur rectangulaire, située à l'Est de la nef est introduit par un arc triomphal. Deux fenêtres témoignent d'un dispositif d'éclairage direct du chœur. La baie ogivale du chevet et l'oculus aménagé dans le mur gouttereau Nord.

Cette organisation bipartite dans le plan, oppose le volume simple de la nef unique à l'espace oriental introduit par l'arc triomphal. Ce dernier reflète la distinction entre la partie la plus sacrée de l'édifice: le sanctuaire et la nef séparés par des barrières liturgiques.

Les peintures associées à cet état 2 :

A ce stade il est logique que l'édifice soit orné d'un décor pour achever la construction de la nouvelle église. Les élévations sont constituées de matériaux disponibles sur le site de Sainte Croix, des parements de schiste. Elles sont maçonnées et enduites. L'enduit n'est pas dressé pour être le support d'un décor somptueux. L'observation en lumière rasante met en évidence un enduit qui épouse les moellons sans uniformiser la surface, certaines pierres restent affleurantes, les éléments architecturaux en pierre de taille ne sont pas enduits (oculus, nervures de voûte, cul de lampes, baies ogivale à l'Est). A ce stade les culs de lampes sont sculptés et la voûte - probablement voûtée sur ogive - est dotée de nervures en pierre de taille. La baie géminée à l'est est dotée d'un jambage en pierre de taille de forme épurée. Les retombées de voûte à l'Est sont figurées et les deux dernières à l'Ouest sont ornées de motifs végétaux (Moine encapuchonné, double figure - probablement du grès).

Un badigeon de chaux blanc vient blanchir toutes les surfaces y compris les pierres de taille.

Les éléments peints qui subsistent se situent en encadrement de l'oculus de la paroi Nord. Un seul pigment - l'oxyde de fer rouge. Le décor feint grossièrement des parements en soulignant leur assise et se complète de triangles oxyde de

fer rouge. On peu supposer que ce décor mettait en évidence l'architecture du chœur et que l'on pouvait le retrouver autour de la baie axiale et en accentuation des nervures de voûte.

Dans la nef le badigeon blanc se poursuit. Très induré sur l'enduit on peu le suivre sur les élévations. Cependant il n'a pas été mis en évidence de motifs oxyde de fer rouge dans cette partie de l'édifice. On peu ainsi supposer que bien que très simple et sommaire ce premier décor consécutif à la construction ai permis d'accentuer la distinction des deux espaces nef et chœur.

Mathilde Duriez fait mention de la modification du couvrement du chœur en voûte d'ogive dans un troisième temps. De notre côté il nous semble que la voûte sur croisée d'ogive était déjà en place à l'état 2 de l'église.



État 3 – Un vaste programme décoratif (second quart du XIV^e siècle)

Le programme décoratif de cet état 3 établit clairement des différenciations en fonction des espaces et de leur sacralité.

Deux zones décoratives s'articulent ensemble dans l'église médiévale de Sainte-Croix à partir du second quart du XIV^e siècle :

Un décor peint de faux appareil de pierres grises à joint blanc unique est visible sur les murs gouttereaux des combles et sur le mur occidental de la nef jusqu'à l'arc triomphal. Ce décor est surmonté d'une frise géométrique de rubans pliés et haute de 40 cm, s'arrêtant à la base d'une charpente en bois, sans doute à l'origine lambrissée. Cette frise court sur les murs jusqu'à l'encadrement intérieur des fenêtres éclairant la nef, percées dans les murs gouttereaux Nord et Sud. Ces baies sont alors mises en valeur par un second faux appareil ocre jaune et rouge dans la continuité de la frise géométrique. L'ébrasement des baies est orné par une alternance de deux ou trois claveaux jaunes et d'un claveau rouge séparé par un double joint blanc et un filet noir. L'arc triomphal, côté nef, fait également l'objet du même soin décoratif. Les pilastres de l'arc sont peints, jusqu'aux impostes, d'un faux appareil de pierres grises à joint blanc, qui s'inscrit dans la continuité des murs gouttereaux. L'arc est quand à lui décoré par le même décor que les ébrasements des baies.

Dans la continuité de la nef, le chœur gothique est également décoré. Le décor de la nef se prolonge dans le chœur mais de façon légèrement différente. Les nervures de la voûte d'ogive aujourd'hui disparue étaient recouvertes d'un décor de faux appareils ocre rouges et jaunes au même titre que la baie ogival du chevet.

Dans le chœur les murs sont blancs jusqu'au niveau de circulation restitué. Une large frise (0.60 m de haut) court alors au niveau de la ligne des retombées des nervures de la voûte sur les murs gouttereaux nord et sud et s'arrête à proximité de la baie centrale du chevet. Cette frise est constituée de rinceaux alternant feuilles d'acanthes rosées et bleues liées par des liens jaunes et encadrées de bandeaux rouge et jaune. Au-dessus les écoinçons des lunettes sont peints en bleu (qui apparaît vert aujourd'hui du fait de l'altération du bleu d'azurite par oxydation en malachite - verte). Une frise à décor géométrique de rubans pliés, similaire à celle observée sur les murs de la nef, longe les arcs-formerets de la voûte.

La baie du chevet tout comme l'oculus du mur Nord sont encadrés d'un bandeau rouge et blanc cerné d'un filet noir. L'encadrement et les piédroits de ces baies sont recouverts d'un faux appareil de pierres rouges et jaunes cernées de doubles joints noirs. Sur le mur Sud un décor en trompe-l'œil de vitrail répond au vitrail disparu de l'oculus du mur gouttereau Nord. Celui-ci représente un agneau christique portant un oriflamme rouge. L'agneau s'inscrit dans un premier disque bleu (qui apparaît vert aujourd'hui du fait de la même altération du bleu d'azurite par oxydation en malachite verte) de 90 cm de diamètre lui-même enchâssé dans un remplage en trompe l'œil (un grand disque ocre jaune de 1.60 m de diamètre entouré de neufs lobes de 30 cm de diamètre portant une étoile en leur centre). Un trompe-l'œil de claveaux rouges et jaunes identique aux deux fenêtres du chœur gothique entoure l'ensemble. Le décor se poursuit autour de l'ancienne porte d'entrée paroi Sud, aujourd'hui sous forme de fragments encore recouverts de badigeons blancs.

Des quatre culots sculptés de la voûte d'ogive, deux sont figurés, situés côté chevet et devaient être visibles depuis la nef. Les deux autres à relief de feuille présentent des moulurations simples. Une description de Théodore Ogier⁵ parle d'un décor de ciel étoilé sur les voûtains, disparu avec la destruction de la voûte.

5 Ogier (T.) 1856, La France par cantons et par communes : Département de la Loire, Vol. 3.



Décor état 3 dans l'ancienne nef.



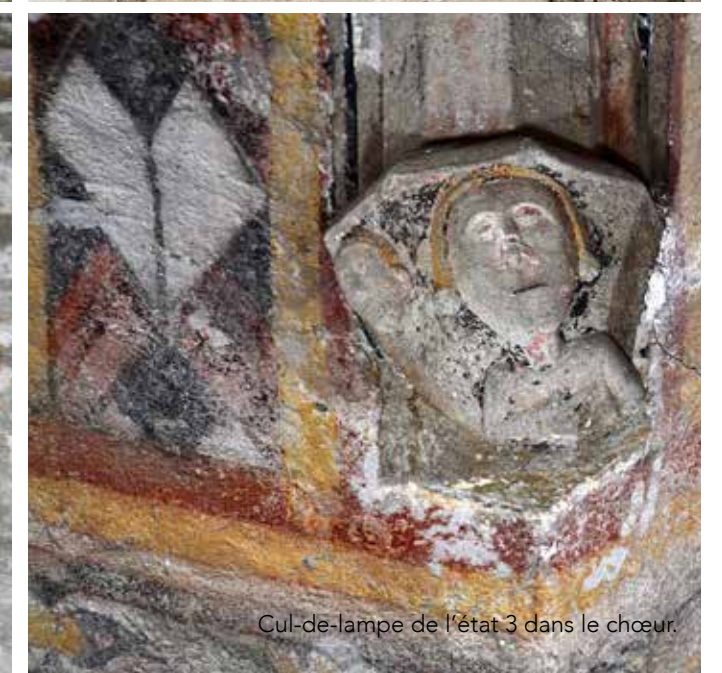
Décor état 3 dans l'ancienne nef.



Frise de rubans plissés, état 3 dans le chœur.



Décor état 3 dans le chœur.



Cul-de-lampe de l'état 3 dans le chœur.

État 3' – Les peintures de Thibaud de Vassalieu (deuxième moitié du XIVe siècle)

Les peintures figuratives de l'angle nord-est du chœur gothique sont probablement exécutées dans un troisième temps après le décès de Thibault de Vassalieu. Ces peintures sont isolées dans la topographie ecclésiale.

A ce stade dans le sanctuaire dédié aux célébrations, on vient créer une zone d'inhumation circonscrite nettement en élévation et probablement au niveau du sol qui devait accueillir la dalle funéraire de la sépulture. Elles sont isolées du reste des décors peints par une succession d'un rouge et jaune. Cette mise en valeur permet ainsi de différencier et d'équilibrer l'espace dédié à l'inhumation et l'espace de célébration qu'est le sanctuaire.

Description des décors :

Les peintures forment quatre panneaux dans l'angle sud est. Le choix de la couleur des fonds en alternance de rouge de minium et d'un bleu Azurite (ici non oxydé du fait de la technique à l'huile) permet un effet de damier singulier et met bien en avant le rythme des scènes.

En partie basse des peintures, un panneau permet de les associer à l'inhumation de Thibaud de Vassalieu. Sur le chevet, l'épitaque (« sur la tombe ») rappelle le lieu de son ensevelissement. « Ici repose noble homme Thibaud de Vassalieu, en son vivant archidiacre de Lyon et de Cambrai, chanoine de Vienne, Embrun et Die, qui mourut l'an du seigneur 1327, le quatre des nones de juillet. Que son âme, par la miséricorde de Dieu, repose en paix. Amen. » Les deux panneaux du premier registre illustrent les funérailles de Thibaud de Vassalieu. Sur le mur gouttereau Nord, Thibaud de Vassalieu est présenté mort et étendu sur un lit d'apparat, recouvert d'une riche draperie ornée d'écussons. Ces écussons appartiennent aux deux exécuteurs testamentaires de Thibaud de Vassalieu : Guillaume de Vassalieu, son neveu et de Guillaume de Sure, son successeur dans les fonctions d'archidiacres de l'église de Lyon. Le défunt est revêtu de la dalmatique, vêtement distinctif des diacres, et sa tête est coiffée d'une mitre (Vachez, 1899, p. 15). Le panneau se présentait à l'origine avec un axe central et une composition symétrique. Au centre du second plan, à droite, deux prélats, accompagnés de plusieurs membres du clergé, président aux funérailles face à un clerc qui tient un livre ouvert, dans lequel le premier prélat lit les prières de l'office des morts.

À gauche, un clerc (aujourd'hui lacunaire) tient une croix processionnelle, pendant qu'un autre

clerc face à lui agite l'encensoir. Cette scène est surmontée par deux anges qui élèvent dans une draperie, l'âme du défunt, figurée par un personnage nu, portant la tonsure et tenant ses mains jointes. Cette scène est peinte sur un fond bleu azurite parsemé d'étoiles réalisé avec des feuilles métalliques d'étain oxydé en noir.

A ce registre, la scène des funérailles se poursuit au chevet, avec la représentation d'une procession funéraire des frères chartreux participant à l'office des morts. Les pères sont peints sur un fond rouge cinabre intense. Dans cette partie de la scène on peut nettement observer les traits de construction de la composition. Ici encore comme dans l'architecture et dans la décoration de l'édifice on retrouve une séparation entre les pères et les frères. Le second registre présente deux peintures « historiques » le couronnement de la Vierge et la Crucifixion. Mur nord un encadrement ogival trilobé est figurée la scène du Couronnement de la Vierge. Sur un fond rouge parsemé d'étoiles d'étain, le Christ et la Vierge sont assis à côté sur un même trône surélevé par deux marches. La vierge nimbée, assise, tournée de trois quarts, les mains jointes, voilée et vêtue d'une robe blanche parsemée de minuscules croix sous un manteau bleu, reçoit une couronne des mains d'un ange sortant des nuées. Le Christ assis à ses côtés est vêtu d'une tunique bleue et d'un manteau blanc orné des mêmes motifs que la robe de la Vierge. Il bénit la couronne de sa main droite et tient la sphère céleste de la main gauche. À Gauche de cette scène, un personnage nimbé et tonsuré, vêtu d'une dalmatique, présente un personnage plus petit, dépouillé de tous ses attributs. Il s'agit de Saint-Étienne, protomartyr, patron des diacres présentant le défunt Thibaud de Vassalieu.

Sur le chevet, une Crucifixion répond à la peinture du couronnement de la Vierge. Le Christ au centre est crucifié sur une croix de bois vert. De part et d'autre deux anges récolte son sang. La représentation est singulière. Ici l'on peut remarquer à la fois des gouttes de sang blanc, mais aussi des gouttes de sang rouge. D'abord identifié comme un repeint postérieur au XVe siècle en fait s'agit de la représentation de l'évangile du Christ selon Saint-Jean 19,34 « mais un des soldats avec sa lance lui perça le côté ; et aussitôt, il en sortit du sang et de l'eau. » Fig.1

Selon Mathilde Duriez, la datation de ce vaste programme pictural reste incertaine :

- Thibaud de Vassalieu meurt en 1327 et demande dans son testament à être inhumé « Ante Hostium Capelle Antique ». Il n'est donc semble-il pas enterré en premier lieu dans l'église.
- Il faut également penser au temps nécessaire à l'exécution testamentaire et au temps de réalisation de ces travaux.

Ce qui nous pousse à avancer une datation de ces travaux à la deuxième moitié du XIVe siècle.



Fig.1



État 3" – Rechampi⁶ et entretien des scènes historiées

Les décors sont importants dans la vie monastique des Chartreux, elles sont « entretenues » pour être visibles longtemps et en bon état. Des rechapis sont alors réalisés comme les bandeaux roses et rouges, qui soulignent les scènes, les fonds rouges et bleus sont probablement aussi repeints pour redonner de la vivacité aux scènes.

6 Rechamps: reprises colorées de certaines zones, généralement les fonds d'une scène, pour détacher en relief une figure, par des teintes appropriées laissant les figures dans leur intégrité

Trois des scènes historiées. Les fonds ont été rechapis en bleu et rouge.



État 4 — Fin XVIIe siècle une grande phase de reconstruction

La physionomie de l'église change fondamentalement. L'édifice médiéval est délaissé au profit d'une nouvelle église au Sud de la nef. L'arc absidial est muré formant deux salles, l'ancien chœur devient salle capitulaire et la nef médiévale sacristie.

La salle capitulaire ou salle du chapitre reçoit une décoration sobre. Les peintures disparaissent sous un premier badigeon blanc qui est orné d'un décor de frise haute dont on observe encore des figures d'anges ailés, des motifs de croix pattée, fleurs de lys et étoiles à cinq branches. La frise est fragmentaires mais est nettement visible parois Nord, Est et Sud.

La baie Nord est agrandie, les scènes historiées ne sont alors plus visibles, celles sur la paroi Nord sont tronquées à ce moment là.

Se succèdent trois badigeons blancs de propreté, sur le premier une Croix tréflée ou de Saint Maurice est exécuté mur Sud au dessus de la porte.

Novembre 1862 : on abat la voûte du chœur car elle menaçait ruine et la paroisse, trop pauvre, ne disposait pas de moyens financiers suffisants pour la remonter.



Frises dans le chœur de figures d'anges, croix pattée et croix tréflée.

3. Constat de l'état de conservation des peintures murales du chœur

Avant intervention des cartographies des altérations des enduits, de la couche picturale et des badigeons superposés ont été réalisés. Les observations ont été faites en décembre 2020 et complétées en mai 2022. Nous replaçons aussi les relevés réalisés par Florence Cremer en 2015 qui apportent un historique de

l'évolution des altérations.

3.1 État de conservation du support

- Des efflorescences salines sont présentes sur la partie basse de la scène Est, ce qui provoque la pulvérulence des enduits dans cette zone. De nombreux sels sont présents en pieds de mur et se développent soit sous forme d'efflorescences, soit de croûtes indurées. Des efflorescences sont aussi très actives sur la paroi Nord et ce jusqu'à plus de 2,50m de haut. La formation des efflorescences provoque la perte des badigeons et la dessolidérisation de l'enduit et surface. Les pertes de matières sont effectives.

- La modification de la baie paroi Nord a tronqué l'enduit et la composition des scènes historiées.

- Des enduits et solins de restauration (interventions d'ARCOA et de Florence Cremer) permettent une bonne adhésion des enduits anciens et jouent toujours leur rôle.

- Des fissures sont présentes de façon sporadique sans présenter de danger structurel.

- La voûte ancienne n'est plus présente depuis son effondrement. La couverture de restauration en bois est ajourée au niveau des arases, ce qui laisse entrer des feuilles et épines de pin.

- Les enduits sont lacunaires sur de grandes zones (parois Nord, Est et Sud) et laissent voir les parements.

- Les deux baies présentent des vitrages simples et fixes sans écoulement vers l'extérieur. La condensation s'écoule sur les allèges.





ALTÉRATIONS DU SUPPORT



Sainte-Croix-en-Jarez - Chœur de l'église - Rosine Cremer et Patricia Gabrielac - Mars 2015



3.2 État de conservation de la couche picturale

- De nombreuses zones sont encore recouvertes par des badigeons. Ces zones en vert sur les relevés, ne recouvrent pas forcément d'anciennes polychromies mais d'autres badigeons monochromes blancs. Une bonne partie de ces badigeons sont déplaqués.

- On note un encrassement généralisé mais peu prononcé. En mai 2022, de nombreuses toiles d'araignées sont à nouveau présentes (un dépoussiérage complet des poussières sèches avait été réalisé en décembre 2020, aucune action n'a été faite sur les poussières grasses).

- Un voile blanchâtre ou grisâtre est présent, il est due à l'altération d'un fixatif de restauration et à des restes de dépôts de crasses terreuses accumulés dans les creux et englués dans le fixatif de restauration. C'est un voile hétérogène particulièrement visible sur la paroi Est et au niveau du couronnement de la Vierge paroi Nord. Cet état donne une vision hétérogène des peintures.

- Des lacunes (de couche picturale et des badigeons superposés) sont dues aux efflorescences salines sur la partie basse de la scène Est, la paroi Nord et le bas de la paroi Sud.

- Des usures sont dues au dégagement et au nettoyage des peintures lors des premières interventions de restauration (dégagement en 1897 et 1987). Les usures sur les crêtes de l'enduit ne sont pas très visibles lors de l'étude, du fait de l'empoussiérage généralisé.

- Les usures de la couche picturale laissent apparaître la sous-couche ocre jaune, ce qui accentue la vision hétérogène des scènes.

- La couche picturale présente un important épidermage sur certaines plages colorées comme le bleu vert des lunettes supérieures et les parties basses soumises à des remontés d'humidité.

- Des microorganismes (algues) sont présents paroi Est. On note un développement légèrement supérieure à 2015 autour de la baie Sud Est. Trois stades de développement sont visibles cf. Les analyses physico-chimiques paragraphe 4.3 et le dossier complet en annexe.

- Une altération chromatique des pigments qui se traduit par une transformation de l'azurite (couleur initiale bleue) en malachite verte, notamment dans les lunettes du niveau supérieur.



- Développement de micro-organisme autour de la baie paroi Est.
- Deux stades de développement de micro-organismes autour de la baie paroi Est.
- Usures de la couche picturale.



- Zones d'encrassements sous le fixatif trop concentré.
- Usures des crêtes de la couche picturale.
- Épidermages dues aux efflorescences de sels et tâches brunes de consolidants.



- Micro-organismes vivants angle Sud-Est, décollements des badigeons peints et badigeons superposés sur la couche picturale.
- Décollements des badigeons.
- Épidermages dues aux efflorescences de sels.



- Usure des étoiles d'étain.
- Taches brunes sous lumière naturelle et sous ultra violet.
- Encadrement rechapis vu sous lumière naturelle et sous ultra violet.

ALTÉRATIONS DE LA COUCHE PICTURALE



Altération de la matière picturale

- Épidermage (usures)
- Déplacages

- Algues
- Badigeons superposés
- Taches brunes ponctuelles

3.3 Anciennes interventions de restauration

5 août 1896 : Découverte des peintures murales du chœur et dégagement des quatre panneaux peints quelques jours après.

1987 : Consolidation, enduits de bouchage au nu des décors, fixage de la couche picturale par la société ARCOA, se conférer au rapport d’intervention en annexe.

L’observation et la comparaison des différents clichés de cette campagne de restauration avec ceux de Yvonne Giraud-Henriot de 1943 montrent :

- Que des fragments de badigeon ont été dégagés ainsi que des fragments d’un décor postérieur à celui des scènes de Thibault de Vassalieu (fig. page suivante de trois photographies mur Est).

- Un nettoyage trop poussé a usé les crêtes de la couche picturale et certains détails, notamment les carnations des visages, les motifs des habits de la Vierge et du Christ.

- C’est lors de cette campagne qu’apparaissent des tâches brunes sur trois des scènes peintes: les photographies avant et après traitement montrent bien cette nouvelle altération. Les tâches brunâtres circonscrites sont dues au fixage ponctuel de la couche picturale. Ces tâches peuvent paraître brillantes sous lumière rasante. C’est probablement un fixatif (cire et résine phénolique)³ posé au pinceau ou sous la forme d’injections à la seringue.

- Le rapport parle de consolidations par injection de caséinate de chaux et d’un fixage des pigments; sans mentionner le fixatif utilisé. D’après les analyses il s’agit d’un adhésif organique d’origine synthétique de type acrylique (Paraloid® B72 ou équivalent). Florence Cremer parle d’Hydrofond® qui a été très utilisé par l’entreprise dans les années 90. Ce fixatif de surface trop concentré a formé un film sur les peintures. Le film est plus dense sur la paroi Est que sur la paroi Nord. Sur la paroi Nord bien que le fixatif soit présent probablement de partout, il n’est présent de façon trop concentré que de façon circonscrites.

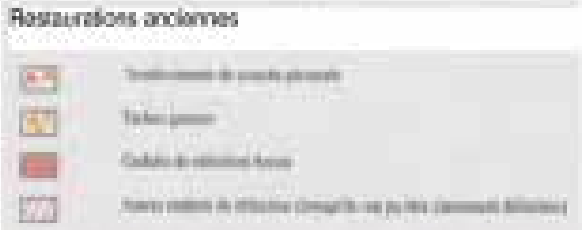
- Nous avons constaté visuellement une différence d’intervention sur les parois Nord et Est. Les scènes du premier registre Nord de Thibault de Vassalieu et Est du chœur des frères présentent un niveau de nettoyage plus poussé. Nous ne retrouvons pas le même niveau d’accumulation de crasse que ces les trois autres scènes, il est nettement moins important.

2015 : Dépoussiérage, consolidation (PLM®), fixage (Primal E330®) des scènes historiées et des fragments de décors superposés par Florence Cremer, Cf. le rapport d’intervention en annexe.

ANCIENNES RESTAURATIONS



Relevés 2015 - Florence Cremer et Patricia Gabriac



3 CF analyses du CNEP 2015 en annexes.



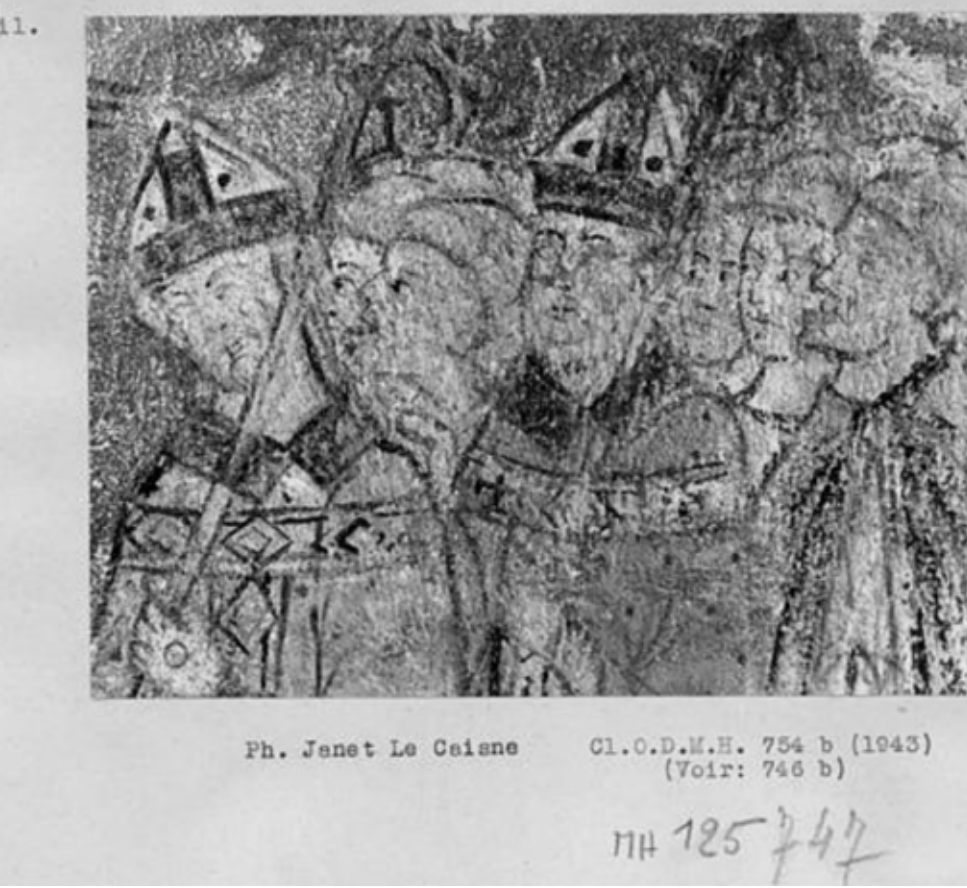
Fig.1



Fig. 2



Fig. 3



Pages 28 et 29, étude comparée des documents photographiques de 1943 et 1987.
Source des fichiers: photographies de Éliane Janet-le-Caisne 1943 (fig.1), Fonds photographique du Centre de Recherche des Monuments Historiques 1996/096, Médiathèque du patrimoine et de la photographie, Arcoa 1987 (dossier en annexe) avant (fig.2) et après intervention (fig.3) .

Outre l'état d'empoussièrement important que l'on peut observer sur les photographies avant intervention en 1987, nous pouvons noter que les tâches brunâtres sont présentes après le traitement de 1987 ainsi que des usures de certains motifs (motifs des habits de la Vierge et du Christ, détails des contours du groupe de la procession des frères).

4. Les traitements de conservation réalisés en décembre 2020

L'intervention de la phase 1 a débuté, en décembre 2020 par des travaux de consolidation d'urgence des peintures murales et des badigeons dans l'ancien chœur de l'église médiévale. Un échafaudage fixe a été monté sur les trois parois du chœur pour assurer l'accès intégral aux peintures historiées et aux badigeons. D'une hauteur de 12m au plus haut la structure fixe a été montée par l'entreprise Buty échafaudage. Cet équipement a été mis en place pour permettre la consolidation d'urgence des trois parois ornées de décors historiés et des badigeons historiques et ceux en prévision des travaux de fouilles programmés dans l'ancienne nef. Le creusement, l'extraction et l'acheminement des gravois généré par la fouille entraînant des vibrations qui ont risqué de provoquer des décollements et des pertes de matière picturale dans le chœur attenant à la nef.

4.1 Consolidation d'urgence des peintures murales

Les consolidations ont portées sur les trois parois du chœur. La majorité du travail a consisté à conserver tous les épidermes en place, la stratigraphie complète des badigeons même monochromes. Quelques consolidations d'enduit ont été réalisées sur les peintures historiées.

Les enduits mais surtout les badigeons du chœur étaient pour parti très déplaqués. Des solins et des injections de coulis ont été réalisés. La même typologie de matériaux et de coulis que ceux utilisés par Florence Cremer et ce, dans un souci de compatibilité et d'homogénéité des traitements a été utilisée:

- Chaux aérienne et sable fin de rivière 1/3. Deux types de granulométrie ont été utilisées. Une granulométrie de 00 et une de 01 selon l'épaisseur des solins à réaliser.
- PLM® dont la typologie a été ajustée en fonction des zones d'injections et des besoin. Les PLM® AL et M ont été utilisés.
- Résine acrylique en dispersion, Acryl®33 (équivalent du Primal®E330) à 2,5 % et 5 % dans l'eau et eau + éthanol 50/50 pour l'épaissir.

Cf les fiches techniques en annexe.

4.2 Retrait des enduits en ciment

Les enduits de ciments présentent des caractéristiques dommageables dans le domaine du patrimoine ancien. En effet c'est un matériau dur, non perspirant et qui contient naturellement une forte densité de sels solubles. Des zones d'enduit de ciment étaient présentes paroi Sud. Après durcissement des solins, ces enduits ont été purgés mécaniquement et remplacés par des enduits de chaux aérienne et sable.

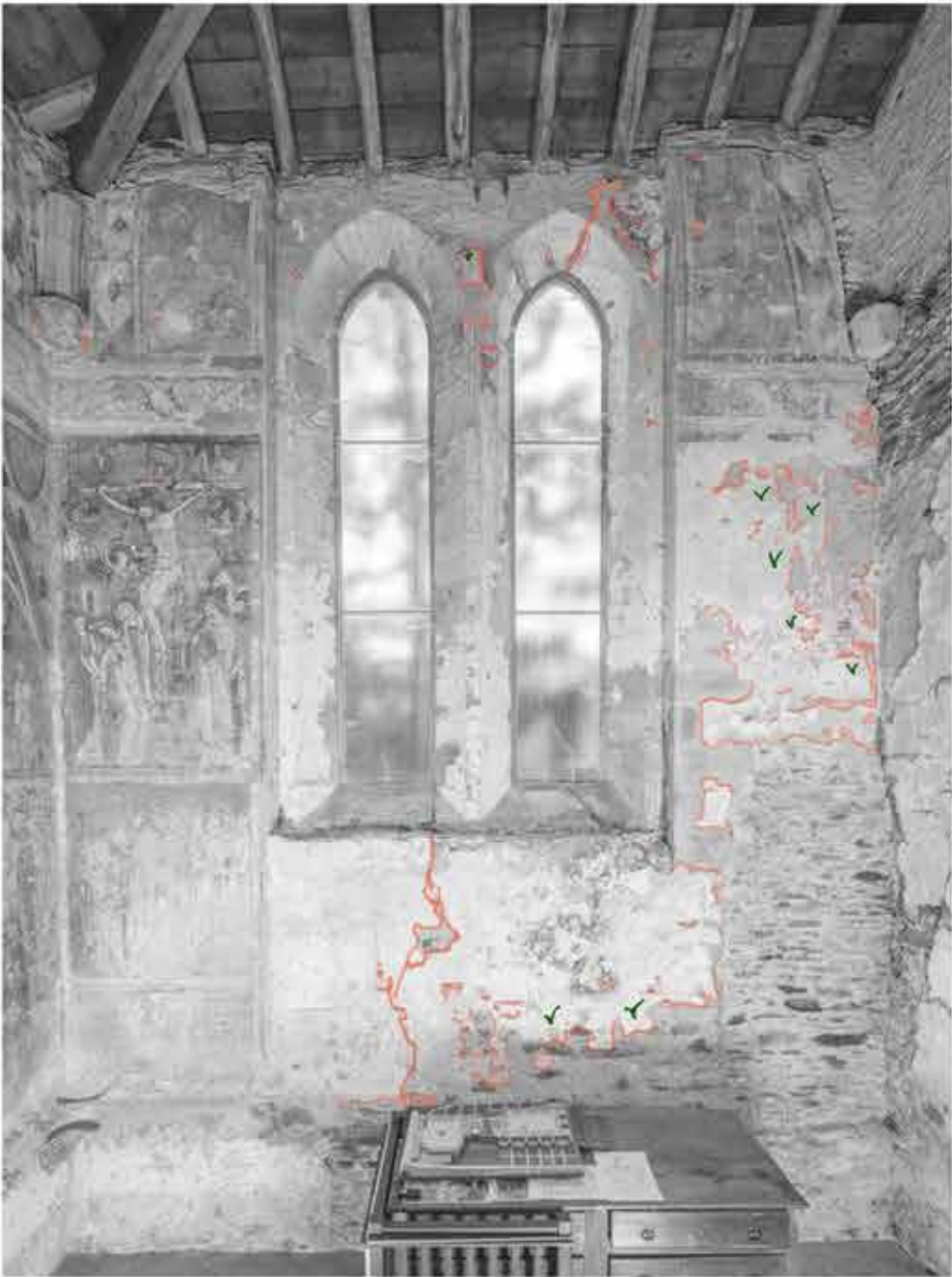
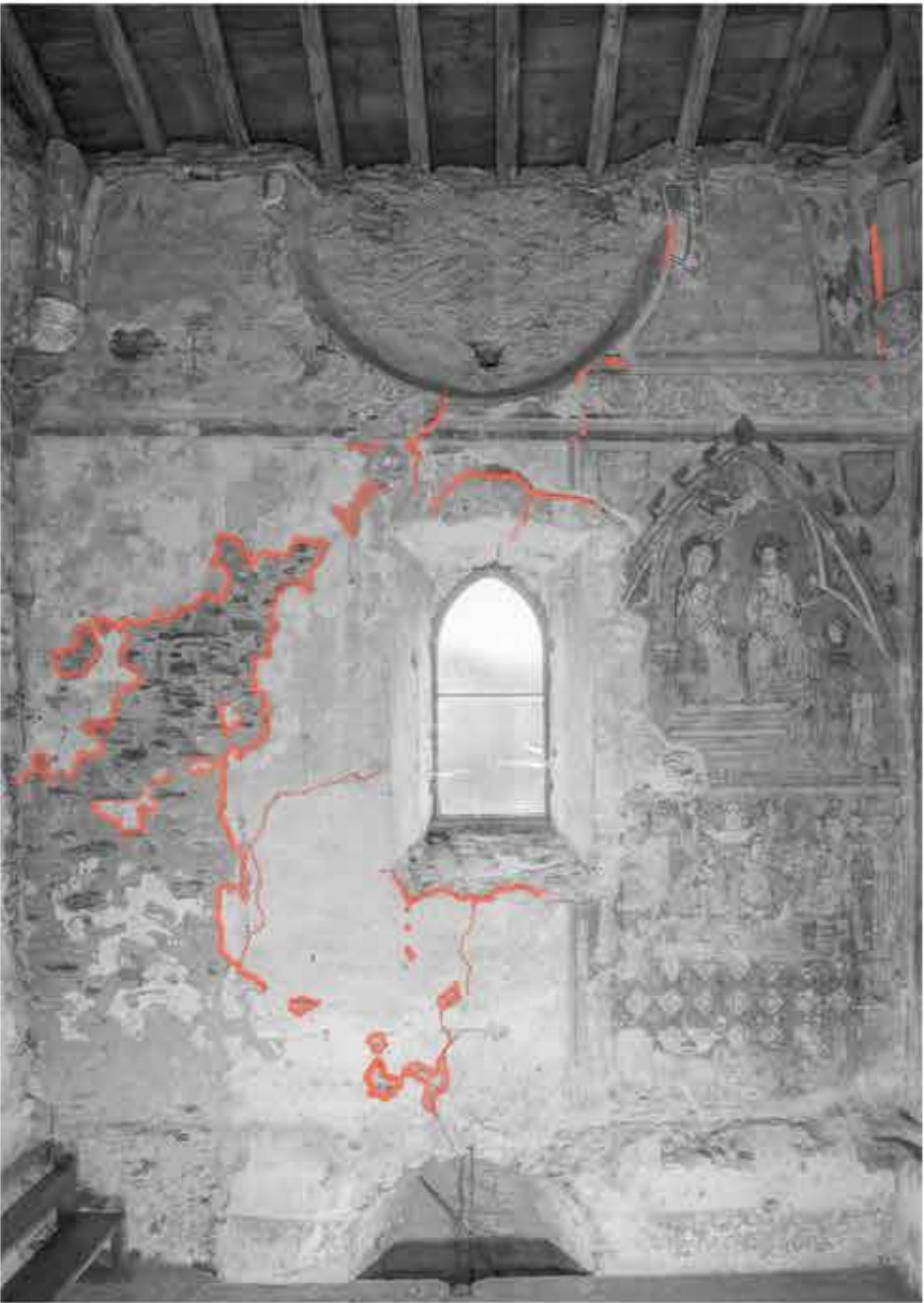


4.3 Dépoussiérage

Le dépoussiérage a été réalisé aisément sur les scènes historiées au moyen de brosses douces en poils de chèvre et par aspiration. La couche présente une bonne cohésion et adhésion au support. Ce n'est pas le cas pour les zones des parois non enduites dont les aspérités sont fortes et retiennent quantité de poussière et autres dépôts. Le dépoussiérage a été réalisé de manière très délicate sur les badigeons blancs pour ne pas perdre de matière.

Nous avons noté une forte présence d'épines de pins qui s'introduisent avec le vent par la toiture. Ceci est du à la présence d'un arbre qui jouxte la construction et aux ouvertures entre la toiture et le haut des parois.

Comme dans tous les bâtiments de cette taille nous avons enlevés d'importantes toiles d'araignées qui sont le support d'empoussièrément.



Interventions 2020
✓ Consolidation PLM AL
✓ Primal E 330
✓ Solin sable et chaux 1/3

5. Les études techniques et scientifiques complémentaires menées dans l'ancien chœur

5.1. Enquête climatique dans le chœur

Cette enquête a pour objet de déterminer les causes des dégradations des peintures en mettant en évidence :

- les causes des efflorescences salines
- les causes du développement des micro-organismes

Les données intérieures sont comparées à celle de la station météo de Bessat la plus proche du site de Sainte Croix-en-Jarez

ID: 42306001

Nom usuel: TARENDAISE

Altitude: 1090

Commune: Tarentaise

Département: 42

5.1.1. Observations extérieures

Sur la façade extérieure Nord on observe un contrefort très saillant qui présente des développements de végétaux. Les maçonneries extérieure ont été reprises en 2012. Cet élément architectural est une source d'infiltration des eaux de pluies.

Façade extérieur Est, une construction juxte la façade et s'arrête au niveau de la baie Sud. Les eaux pluviales qui tombent sur cette toiture, éclaboussent la baie dont les joints ne sont pas étanchent.

Façade Sud un décroché de la paroi est sujet à la prise des eaux de pluie et à leur migration vers l'intérieur.

Façade Sud, une solive n'est plus protégé par un enduit. Elle est exposée à la pluie battante.



5.1.2. Pose de 6 capteurs thermo-hygrométrique

L'évolution de l'humidité dans l'édifice, a été réalisée au moyen d'un suivi micro-climatique annuel de janvier 2021 à janvier 2022. Ce suivi permet d'établir le comportement thermique et hydrique en fonction notamment des contraintes exercées par les variations du climat extérieur (température, hygrométrie, pluviométrie) et des activités dans le chœur qui ont eu lieu au cours de l'année.

L'évolution des conditions micro-climatiques a été contrôlée par quatre capteurs thermo-hygrométriques autonomes de type HOBO®, programmés pour relever la température et l'humidité relative toutes les deux heures. Six capteurs ont installés dans le chœur, au plus près des décors peints et à des hauteurs différentes.

Page suivante le plan d'implantation présente la localisation des capteurs.

Au cours de l'année un capteur c'est montré défectueux et un capteur a disparu en fin de saisie des données.

Les données sont interprétées en lien avec les données météorologiques fournies par la station Météofrance de Bessat, située à 15 km de l'église Saint de Sainte-Croix-en-Jarez ce qui nous permet d'évaluer l'étanchéité du bâtiment.

Le suivi micro-climatique met en évidence les informations statistiques significatives valeurs moyennes, écarts instantanés et gradients thermo-hygrométriques, amplitudes quotidiennes, écarts au point de rosée, humidité spécifique, etc.

- une humidité trop basse dessèche les matériaux hygroscopiques, la formation des sels et entraîne une rétraction de la matière.

- une humidité trop élevée provoque l'augmentation du volume des matériaux hygroscopiques (phénomène de gonflement du bois) et favorise le développement des moisissures, des micro-organismes, la solubilisation des sels et la corrosion des métaux.

- une variation rapide et importante de l'humidité relative fragilise la structure des matériaux comme les enduits et provoque des détériorations.

En règle générale, pour une bonne conservation des peintures murales, il est recommandé une hygrométrie et une température les plus constantes possibles:

Température de 20° C

Fluctuation annuelle de +/- 10% (entraîne un risque très faible de dégradation) soit entre 18° et 22° c.

Hygrométrie de 60%

Fluctuation annuelle de +/- 10% (entraîne un risque faible de dégradation) soit entre 55% et 65%HR.

Données sur l'année 2021

Les capteurs C2 et C5 ont eu un dysfonctionnement qui n'a pas permis d'enregistrer les données d'une année complète. Le capteur C4 a eu un défaut de prise de données et c'est arrêté à 236 jours de captations. Nous nous basons donc sur les capteurs C3, C4 et C6 qui ont relevés l'entière plage annuelle observée. Nous avons redoublé de mal chance sur cette opération, car un capteur a disparue le temps des travaux, le capteur C1.



TEMPÉRATURE

Caractéristiques principales:

- évolution de la température très proche de celle relevée en extérieur, avec un faible degré d'amortissement des variations de court et moyen terme.
- Valeurs extrêmes: minimales de 1°C (mi-janvier), maximales de 26°C (mi-août).
- Forte homogénéité des températures (écart maximal moyen de 0,54°C, écart type moyen de 0,30°C).
- Températures très légèrement plus faibles dans l'ombre de la baie côté est (capteur C4).
- Variations de court terme de la température significatives, en particulier pour les capteurs C3 et C6, avec des amplitudes thermiques quotidiennes de 1,6°C en moyenne (1,2°C pour le capteur C4).

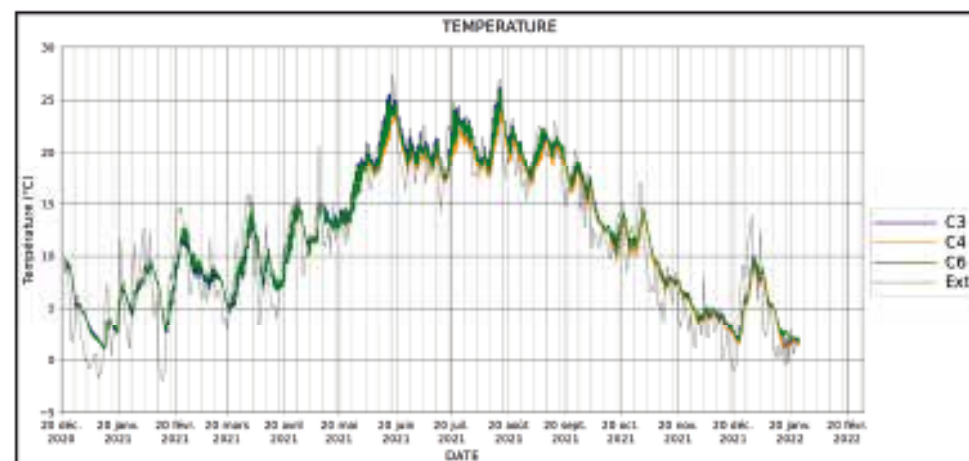


Figure T1:
Variations de la température mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

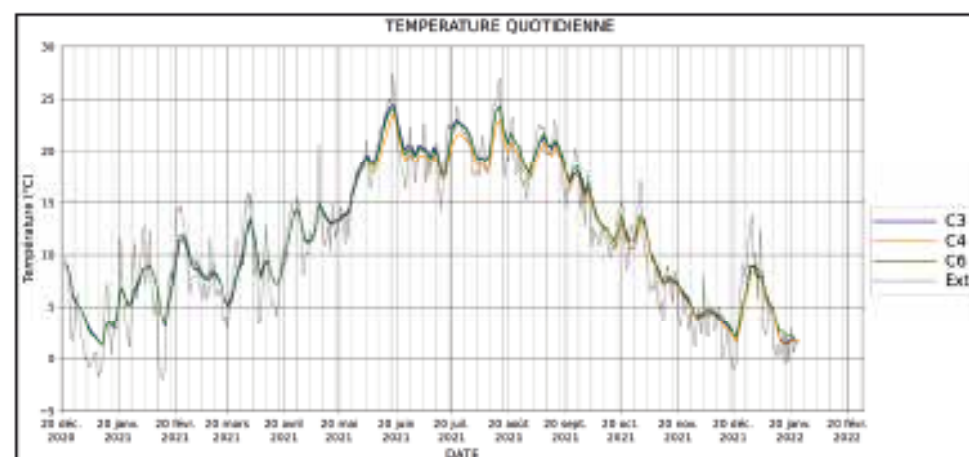


Figure T2:
Variations de la température quotidienne moyenne mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

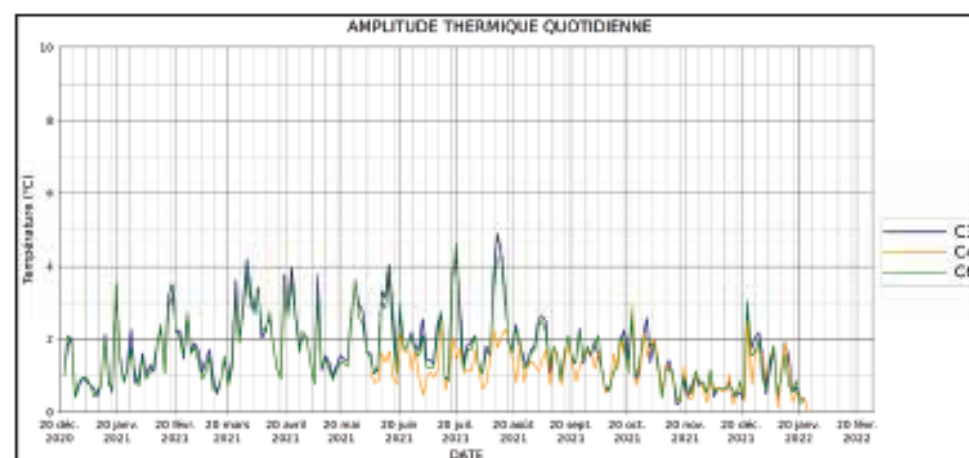


Figure T3:
Variations de l'amplitude thermique quotidienne mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

HUMIDITÉ RELATIVE

Caractéristiques principales:

- Variations de forte amplitude autour d'une moyenne globale de 72% environ. Les variations sont fortement corrélées aux évolutions de l'humidité relative extérieure, avec néanmoins un amortissement significatif.
- Valeurs extrêmes: maximales supérieures à 90% (fin décembre), minimales inférieures à 40% (début avril).
- Légère hétérogénéité, avec un écart maximal moyen de 4,4% et un écart type de 2,4%. L'écart est significativement plus élevé depuis début novembre 2021, avec des valeurs plus élevées dans l'ombre de la baie est (capteur C4).
- Variations de court terme significatives, avec des amplitudes hydriques quotidiennes généralement comprises entre 5% et 15% (8% en moyenne environ).
- La répartition statistique des valeurs montre l'excès général d'humidité, avec plus de la moitié des valeurs supérieures à 70% pour les capteurs C3 et C6. Pour le capteur C4 (mesures du 2 juin 2021 au 24 janvier 2022), plus de 80% des valeurs sont supérieures à 70%.

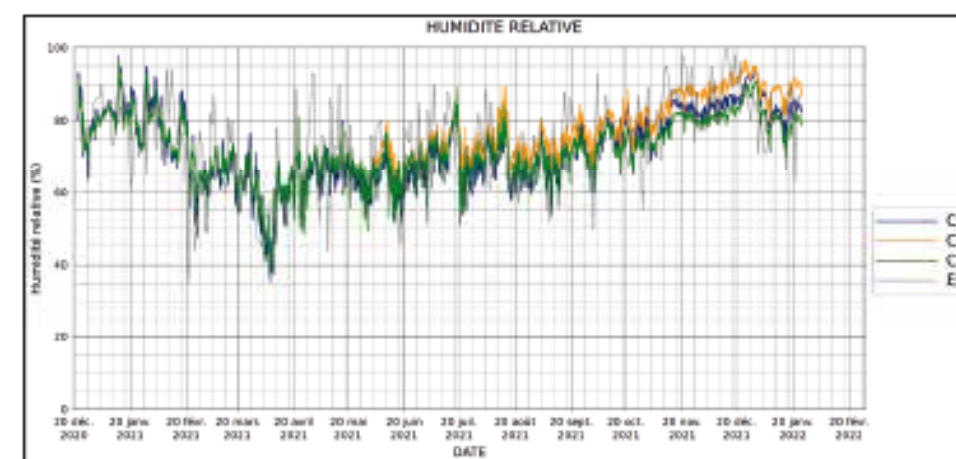


Figure HR1:
Variations de l'humidité relative mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

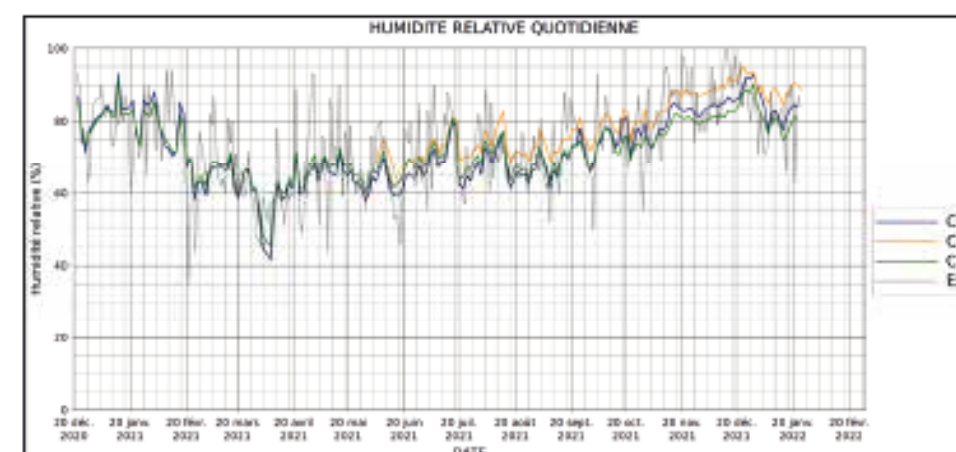


Figure HR2:
Variations de l'humidité relative quotidienne moyenne mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

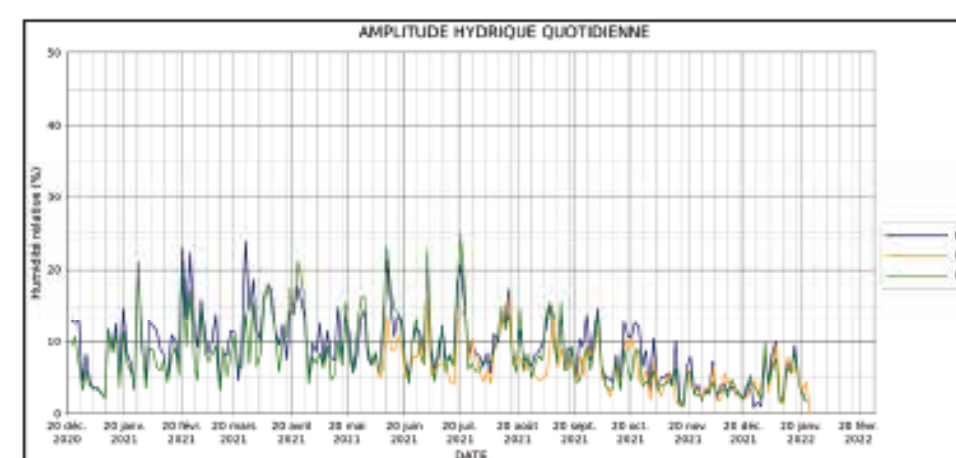


Figure HR3:
Variations de l'amplitude hydrique quotidienne mesurée par les capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

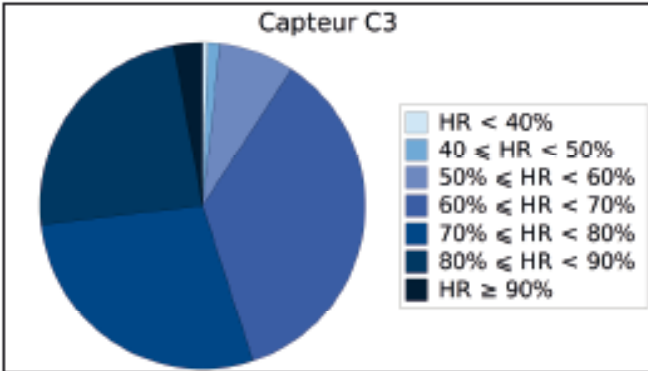


Figure HR4: Distribution statistique des valeurs d'humidité relative mesurée par le capteur C3 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

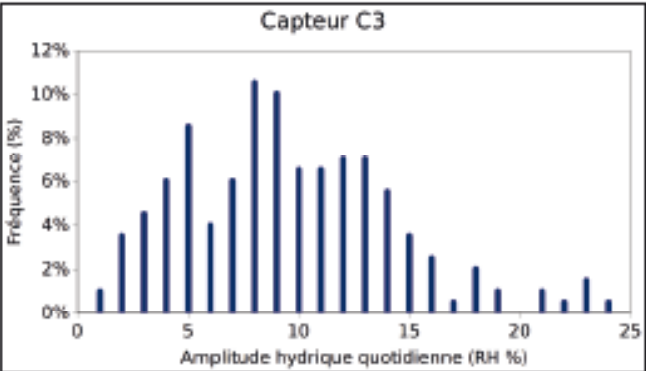


Figure HR5: Distribution statistique des amplitudes hydriques quotidiennes mesurée par le capteur C3 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

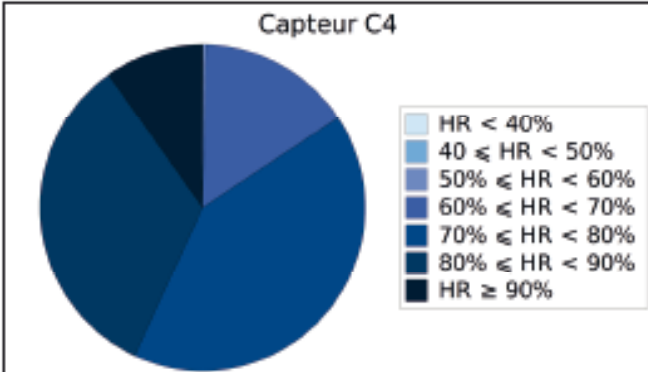


Figure HR6: Distribution statistique des valeurs d'humidité relative mesurée par le capteur C4 entre le 2 juin et le 24 janvier 2022.

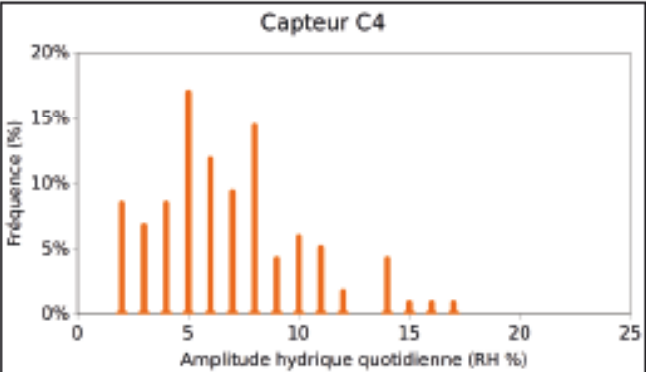


Figure HR7: Distribution statistique des amplitudes hydriques quotidiennes mesurée par le capteur C4 entre le 2 juin et le 24 janvier 2022.

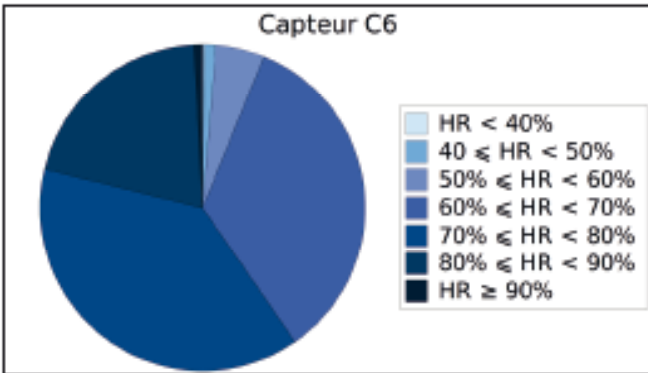


Figure HR8: Distribution statistique des valeurs d'humidité relative mesurée par le capteur C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

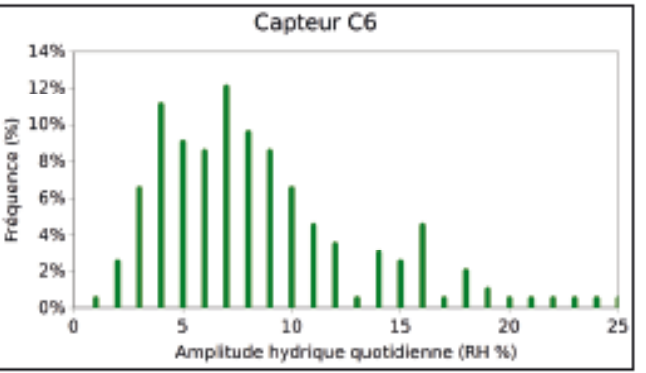


Figure HR9: Distribution statistique des amplitudes hydriques quotidiennes mesurée par le capteur C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

ÉCART AU POINT DE ROSÉE

Le calcul de l'écart au point de rosée met en évidence un risque de condensation significatif pendant la période la plus froide. Les écarts sont fréquemment inférieurs à 2°C au cours des mois de novembre à février.

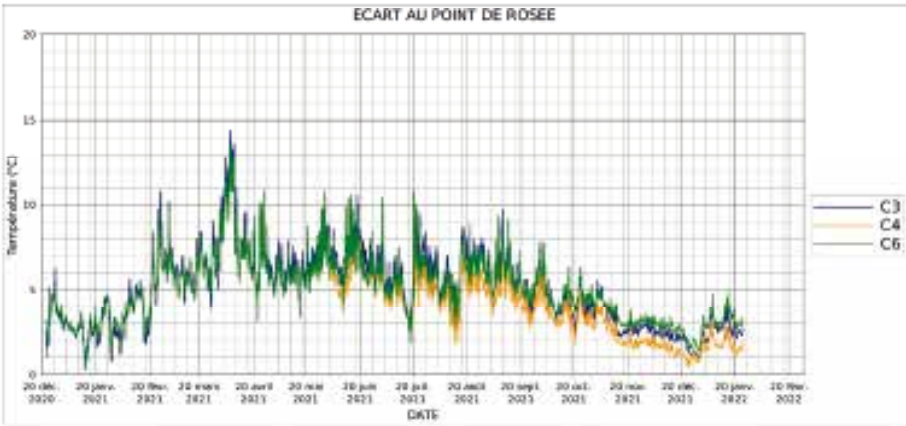


Figure HRS: Variation de l'écart au point de rosée calculé d'après les mesures des capteurs C3, C4 et C6 entre le 22 décembre 2020 et le 24 janvier 2022.

5.2 Cartographie hydrique de surface

Le vendredi 18 décembre 2020 un relevé sur place de données non destructives de l'humidité a été réalisé. L'analyse des données et des cartographies de répartition de l'humidité en surface des élévations intérieures ont été réalisées par Sébastien Aze de l'entreprise Sinopia.

Les cartographies mettent en évidence des valeurs élevées d'humidité principalement en pieds de murs, ainsi que ponctuellement à proximité des baies côtés nord et est, et sur l'élévation sud. D'une manière générale, ces zones coïncident avec des lacunes d'enduit (maçonnerie de moellons à nu). Cette corrélation semble indiquer la persistance d'entrées d'humidité, par infiltrations et/ou remontées capillaires, ayant causé par le passé la fragilisation puis la chute des enduits dans ces zones (Fig. 1; 2; 3 et 4 page 34).



5.3 Analyses des micro-organismes

En début d'intervention sur les peintures murales, des microorganismes actifs ont été observés. A la demande de la DRAC et de la maîtrise d'ouvrage, il a été demandé d'analyser ces organismes de manière exhaustive.

Les développements organiques se situent essentiellement sur la paroi Est avec un débordement sur la paroi Sud et présentent trois colorations différentes. Nous avons prélevé un échantillon de chaque coloration. Trois échantillons de matière ont été prélevés le mercredi 9 décembre 2020 pour une caractérisation auprès du laboratoire BioDev' de Jacques Pages et permettre la formulation de préconisations de traitement par Virginia de Billerbeck. La totalité des deux rapports est jointe au dossier en annexe.

Localisation des prélèvements:

M1 : Mur Est, à 2,05 m du niveau de sol, sous la baie au Sud. Prélèvement sur plusieurs badigeons de chaux blancs. Organismes de deux tonalités vertes. Un vert bouteille, un vert bleuté. Les organismes sont pris dans un feuillet de badigeons.

M2 : Mur Est à 3 m du sol actuel, dans l'ébrasement de la baie. Organismes d'une couleur brune sur un badigeon blanc proche de la pierre.

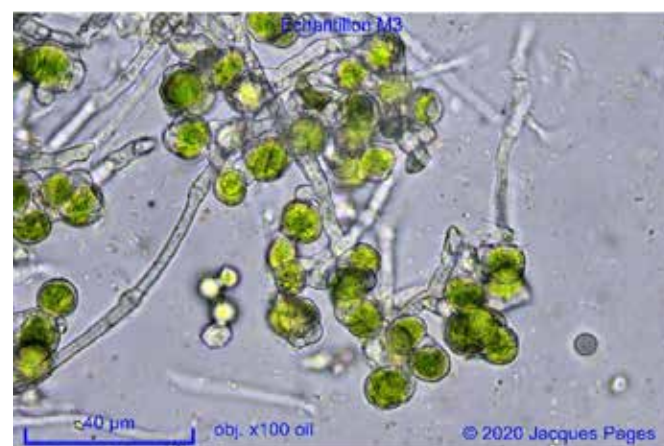
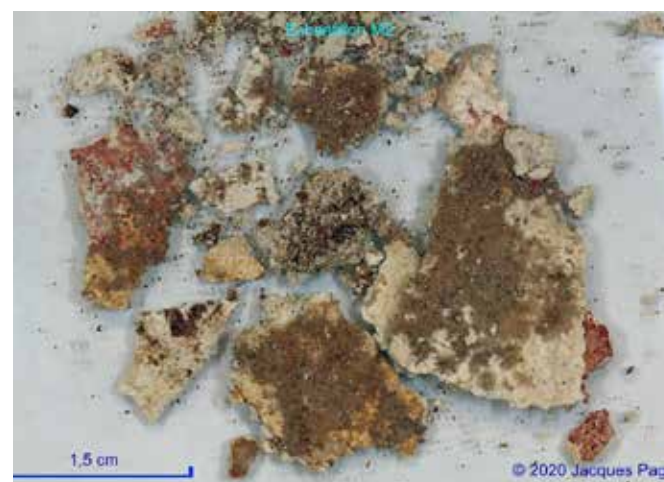
M3 : Mur Est dans l'angle sud à 4,50 m du sol actuel. Organismes sur plusieurs badigeons blancs.



5.3.1. Caractérisation des organismes

- La colonisation vert foncé observée sur l'échantillon M1 est constituée de cyanobactéries filamenteuses (également appelées « algues bleues ») de l'ordre des Oscillatoriales, probablement *Phormidium molle* ;
- Le recouvrement marron sur l'échantillon M2 est constitué d'un micromycète, lié à des algues vertes inactives, desséchées. Il s'agit probablement d'un lichen desséché ;
- Le recouvrement brun-verdâtre sur l'échantillon M3 est constitué d'un micromycète, lié à des algues vertes actives. Il s'agit d'un lichen en formation.

Note : le lichen est une symbiose, une association à bénéfices réciproques entre un champignon et une algue. Le mycobionte : c'est le champignon (micromycète) constituant le lichen, il fournit le support, les sels minéraux et la réserve d'humidité. Le photobionte : c'est l'algue constituant le lichen, elle fournit les nutriments issus de la photosynthèse.



5.3.2. Mesures préventives et curatives de traitement des micro-organismes

Les organismes qui se développent sur les supports sont des organismes photosynthétiques (cyanobactéries, algues, lichens en formation), ils ont donc besoin de lumière pour se développer. Leur présence indique que le support est régulièrement mouillé ou humide, même si ils sont capables de résister à une dessiccation passagère, comme expliqué dans le rapport de Jacques Pages (Cf. en annexe).

On observe que le développement de ces organismes est très localisé sur les parois Est et Sud à l'intérieur de l'église. Sur le mur Est, les cyanobactéries se développent à proximité de la baie, au niveau de la partie inférieure (Cf. figure). Cela correspond sans doute à une infiltration d'eau due à un problème d'étanchéité des baies.

L'angle de la paroi Est-Sud, où des lichens sont en formation, semble correspondre à une zone humide, d'où la nécessité de vérifier l'étanchéité des maçonneries et l'évacuation des eaux pluviales. Il est à noter également que les zones de « déplacage » (rupture entre le support et le revêtement) ou de badigeons superposés entraînent des craquelures et des aspérités où se déposent les particules de poussière qui véhiculent des algues et des champignons et où se développent préférentiellement les organismes biologiques.

Il en est de même pour la paroi Nord, le développement d'organismes photosynthétiques suit une ligne verticale à l'angle du mur (figure 3), indiquant un problème d'infiltration d'eau dont la cause est à rechercher. Il faudra donc, avant d'appliquer un traitement biocide ou procéder à la restauration de ces décors, vérifier l'étanchéité des baies et de la toiture et l'améliorer si nécessaire afin d'éviter les infiltrations d'eaux de pluie. L'éclairage naturel est difficilement maîtrisable du fait de la lumière en provenance des baies Nord et Est. On peut cependant remplacer les verres actuels par des verres anti UV.

D'autre part on peut faire varier la puissance et la longueur d'onde des lampes d'éclairage afin de réduire au maximum l'activité photosynthétique des organismes. Par exemple Virginia de Billerbeck propose de choisir des lampes LED « warm white » avec une température de couleur ne dépassant pas 3000° K. C'est le meilleur choix en LED car elle n'émettra qu'à partir de 550 jusqu'à 800nm, sachant que les chlorophylles, pigments que l'on trouve dans les algues « vertes », absorbent à 450 nm (bleu) et 650 nm (rouge), Cf. la figure ci-contre.

Mais les lumières absorbées par les phycocyanines, pigments photosynthétiques des Cyanobactéries (algues « bleues ») sont bien émises par une LED blanche (absorption du bleu à l'orange de 420 à 600 nm). On voit également que le spectre émis à 3000°K recouvre quand même le haut du spectre d'absorption des Cyanobactéries et les pics d'absorption des chlorophylles a et b. Donc la croissance des algues « vertes » et « bleues » sera quand même favorisée. Pour réduire leur croissance, il faudra donc varier les autres paramètres environnementaux, par exemple, la durée de l'éclairage, mais surtout l'apport d'eau à la surface des murs.

Les substrats avec des colonisations biologiques peuvent être nettoyés et traités avec un produit biocide (algicide, bactéricide et fongicide). Les conseils d'emploi pour une meilleure efficacité de ces substances biocides sont les suivants (voir également les fiches techniques de quelques produits en annexe) :

- Faire des essais préalables de compatibilité et d'efficacité sur une petite surface du matériau à traiter avant de traiter l'ensemble ;
- Le produit doit être appliqué (avec un pinceau, des compresses ou au pulvérisateur) pendant 3 jours consécutifs, à raison d'une application par jour à la concentration préconisée par le fabricant ;
- Laisser agir au moins 4 à 5 semaines pour obtenir une action complète, c'est-à-dire le dessèchement des recouvrements ;
- Quand les recouvrements sont bien desséchés (donc morts), ils s'éliminent facilement par brossage doux, à sec ;
- Après élimination des recouvrements, une dernière pulvérisation du biocide sur le matériau propre assure un effet préventif.

5.4 Analyses des efflorescences salines

Les prélèvements et les analyses ont été réalisés par le laboratoire ERM. Les prélèvements de matière ont été réalisés en début d'intervention le 19 février, pour discussion des résultats et des opérations à envisager avec l'ensemble des opérateurs, que ce soit la DRAC, l'architecte et la mairie.

Après examen des parements, le laboratoire ERM a défini en synergie avec la restauratrice, les emplacements des prélèvements apparaissant les plus appropriés pour reconnaître et identifier au mieux les différentes altérations affectant les matériaux présents par des observations et des analyses en laboratoire.

Pour évaluer la contamination saline, deux prélèvements ont été effectués par grattage en surface, en fonction de la localisation, de leur représentativité et de l'état d'altération observé sur les maçonneries.

Parallèlement, quatre échantillons d'efflorescences et/ou croûtes indurées ont été prélevés pour une caractérisation minéralogique.

Cf Tableau et cartographies des prélèvements.

5.4.1. Synthèse des résultats obtenus

L'étude analytique a été ciblée sur la présence abondante d'efflorescence et/ou de croûtes indurées ainsi que l'évaluation d'une éventuelle contamination saline à proximité des décors peints.

En ce qui concerne la salinité des supports, les analyses ont révélées une contamination saline importante au niveau du point de prélèvement effectué à proximité du décor peint de la paroi Est, avec des concentrations élevées en chlorures et nitrates.

L'analyse minéralogique par diffraction de rayons X réalisée sur plusieurs prélèvements d'efflorescences et/ou de croûtes indurées a révélé la présence importante de carbonate de calcium (calcite), nitrate de potassium (nitre ou « salpêtre »), sulfate de calcium (gypse) et plus minoritairement du sulfate de sodium (thénardite).



Exemples des altérations de type desquamation, pulvérulence, efflorescences et croûtes indurées relevées dans l'ancien chœur de Sainte-Croix-en-Jarez.



5.4.2. Préconisations

L'ensemble des données acquises dans le cadre de cette étude nous indique donc la présence d'une contamination saline avérée avec vraisemblablement une dynamique hydrique active dans la maçonnerie incluant de possibles variations de l'humidité ambiante générant une circulation de certaines espèces solubles vraisemblablement responsables des désordres observés sur les parements enduits et à nu.

Au vu de ces éléments, il est possible d'envisager certains protocoles de restauration afin de réduire ou du moins ralentir l'apparition de ces désordres.

Dans un premier temps, la combinaison d'un brossage et d'une aspiration permettront d'éliminer les efflorescences visibles en quantité importante sur certaines parties de la pièce.

Un contrôle de la température et d'humidité relative de la pièce permettrait de suivre les fluctuations hygrométriques à proximité des zones les plus sensibles (décors peints).

Les contaminations salines ne semblent pas être d'une ampleur telle qu'elles nécessiteraient un dessalement des maçonneries, toutefois, sur les zones nécessitant un traitement particulier, il est possible d'assainir le support par un dessalement ponctuel par compresse.

Avant d'envisager la mise en place d'un éventuel enduit sacrificiel sur les parties basses les plus touchées, il apparaît essentiel de mettre en place et/ou de vérifier les dispositifs permettant de réduire les apports en eau permettant une dynamique hydrique favorisant une mobilité importante des sels afin de retarder et de limiter la dissolution des matériaux et la contamination saline des maçonneries. Sous réserve de l'absence de vestiges après vérification archéologiques, on peut envisager la création d'une petite tranchée d'aération passive en pied de mur intérieur pour créer une rupture de capillarité permettant d'abaisser l'amplitude et l'intensité des remontées capillaires. Cette tranchée est de dimension modeste (de l'ordre de 30 cm de largeur x 40 cm de profondeur sous le dallage avec un remplissage de granulat assez grossiers 10-20 mm).

En parallèle, il est nécessaire d'effectuer la révision et/ou la réparation éventuelle des toitures ainsi que la création ou l'amélioration du système d'évacuation des eaux pluviales de manière à limiter le ruissellement sur les parements de l'édifice. Avec une évacuation au plus loin de l'édifice avec des collecteurs et des gouttières pour lutter contre les apports directs d'eau en pied de mur avec infiltrations et les rejaillissements. Ceci apparaît aisément réalisable pour limiter les apports d'eau qui alimentent régulièrement les mécanismes de remontées capillaires en pied de mur.

Cf le rapport complet en annexe.

6. Complément d'étude technique des peintures historiées du chœur médiéval

6.1. Les analyses de la nature des peintures

Prélèvements de matière peinte :

PM1 : Paroi Nord, scène de l'inhumation dans le manteau rouge d'un évêque ou d'un des pères des chartreux.

Prélèvement dans les taches brunes pour une mise en évidence des substances et tentative de définition d'un protocole de retrait de cette ou ces substances.

Stratigraphie :

0. Enduit support, chaux et sable,

0b. Possible couche de finition blanche, base de chaux.

1. Couche picturale ocre jaune

2. Couche picturale orangée

3. Couche picturale rouge

4. Couche superficielle organique (consolidant présumé), transparent translucide, localement brunie (altération chromatique).

PM 2 : Paroi Est remplage central dans les parements peints (ocre rouge, ocre jaune et filet rosé. Détermination de la technique d'origine puisque pas d'observation de reprises de brillance ni de consolidation. L'observation sous UV le confirme.

Stratigraphie visible :

- Pierre
- Badigeon blanc
- Couche picturale rosée (fond)
- Couche picturale noire (filet noir)
- Badigeons blancs superposés.

matrice organique de type Esters d'acides gras - EAG, liant lipidique (huile végétale) ainsi qu'une matrice organique (possible protéine). Pas de copolymère acrylique dans cet échantillon.

PM3 : Paroi Nord scène du couronnement. Étoile noire dans le ciel rouge. Détermination de deux rouges et d'une feuille métallique.

Stratigraphie visible:

- Enduit sable et chaux
- Badigeon blanc de chaux
- Couche ocre jaune préparation ou peinture ancienne
- Couche picturale rouge rechapé ?
- Couche noire (feuille métallique)
- Substance filmogène (acrylique et/ou cire)

Rouge de minium (avec un liant lipidique ou consolidant lipidique)

Couche résiduelle de Cinabre (vermillon)

Feuilles métalliques d'étain.

Les analyses réalisées par Sébastien Aze présentent deux rouges de natures différentes. Une couche de minium et composé organique plombifère et une couche résiduelle de cinabre (vermillon).

CF les analyses complètes en annexe.

Compilation des substances mises en évidences par les analyses de 2015 et 2021

Dominique Fromageot - Cnep

Sébastien Aze - Sinopia

Azurite (bleu) SX1, SX6

Malachite (vert, dégradation de l'Azurite?) SX2, SX3, SX4,

Ocres

Cinabre (couche résiduelle) PM3

Minium PM3

Feuilles métalliques d'étain PM3

Jaune d'œuf SX1, SX2, SX5, SX6, SX7, SX8, PM2

Carbonate de plomb (Céruse ?) SX1, SX2, SX3, SX4,

Huile de lin (liant ou fixatif postérieur?) SX2, SX3, SX4, SX7?, SX8?

Cire d'abeille (fixatif postérieur?) SX1

Copolymère acrylique (fixatif 1987? Paraloid® B72 ou équivalent) SX1, SX3, SX4, SX5, SX6, SX7, SX8, PM1?

Résine phénolique SX5



6.2. Étude d’imagerie technique du CICRP

La campagne d’imagerie technique proposée porte sur les peintures murales situées de part et d’autre de l’angle NE de l’ancien chœur, les peintures historiées : «Le Couronnement de la Vierge», «La Mort de Thibaud de Vassalieu, assisté de deux évêques», «Le Crucifiement», «Groupe de Chartreux» (décors XIVe s.) et les décors de mise en valeur de l’architecture sous-jacents (XIVe) et oculus (fin XIIIe). La campagne a pour but de fournir aux restauratrices des images :

- en lumière directe
 - sous éclairage semi rasant (mise en évidence des reliefs)
 - de fluorescence sous rayonnement UV (mise en évidence et localisation de matériaux ayant une fluorescence comme par exemple des liants organiques)
 - en privilégiant le rayonnement IR (mise en évidence possible du dessin préparatoire, repentirs etc.)
 - en IR fausse couleur, image obtenue par combinaison de l’image en lumière directe avec l’image en privilégiant le rayonnement IR (pour une même couleur, mise en évidence de matériaux différents).
- Cf le rapport complet en annexe.

Certaines zones, comme le fond derrière les écussons (cf. figure 11), montrent une altération qui se traduit par une transformation de l’azurite (couleur initiale bleue) en malachite verte. L’échantillon SX2, pris dans une zone vert clair en bordure de frise du tympan Est (mur Nord) et analysé par le CNEP, confirme la présence de malachite dans une couche bleue - verte et possiblement un autre oxyde de cuivre que ce laboratoire n’a pu identifier.

Lumière directe



Lumière directe



Fluorescence sous Ultraviolet



Proche Infrarouge



Composite Infrarouge fausse couleur



Lumière directe



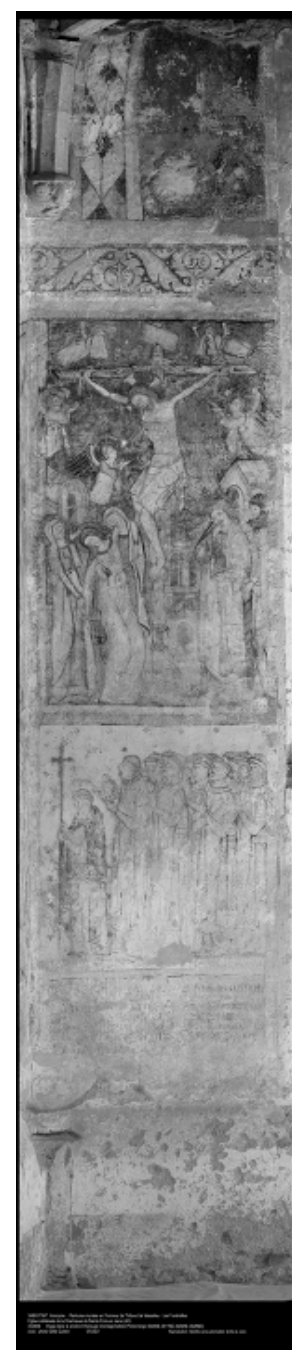
Lumière directe



Fluorescence sous Ultraviolet



Proche Infrarouge



Composite Infrarouge fausse couleur



6.3. Résumer des compléments d'étude

Sur les scènes historiées de T. de Vassalieu :

Il n'existe pas de correspondance systématique de la fluorescence de chaque pigment ou de substance filmogène. Dès lors que les pigments sont en mélange la lecture est difficile. La lecture est comparative sous plusieurs expositions (lumière UV/normale) et permet de mettre en évidence des moments d'intervention dissociés.

Pour les scènes historiées la lecture de l'imagerie technique réalisée par le CICRP n'est pas évidente due aux différentes interventions de restauration et aux substances ajoutées en surface au cours des restaurations. Cependant nous en venons aux observations suivantes:

- Pas d'observation d'une couche qui formerai un feuille tel un verni de surface : le consolidant acrylique qui est mis en évidence dans les analyses de 2015 ne forme pas un film de surface mais est en consolidation de la matière picturale bien que trop épais.
- Les fonds rouges fluorescent de manière très foncée. Sous le rouge on voit une fluorescence jaune vif qui s'apparenterai à une première couche usée ou lacunaire (premier pigment). Les analyses (PM3) montrent dans ces zones deux pigments rouge différents du cinabre en couche résiduelle et du minium en couche superficielle.
- Les étoiles aujourd'hui noires sur les fonds rouges ne fluorescent pas de manière générale sauf celles sur la partie haute du couronnement de la vierge qui présentent elles aussi cette fluorescence jaune vif.
- Sur la scène de la crucifixion, le sang rouge fluorescence de façon très foncée et indique une exécution tardive.
- Sur l'ange de droite sous la croix, on observe le dessin de préparation et le détail d'un drapé recouvert aujourd'hui par du rouge.

Les observations faites sous différents éclairages (lumière directe, tangentielle, ultra violette) confirment qu'il n'y a pas eu de retouche réalisée lors des différentes restaurations.

L'examen de ses quatre scènes historiées a permis une meilleure connaissance du mode opératoire de leur exécution et de poser des hypothèses:

- D'une part qu'il s'agit d'une étape décorative historique à part entière marquant un fait historique majeure dans la vie de la Chartreuse et qui vient s'insérer dans un décor préexistant.
- D'autre part qu'il s'agit bien d'une peinture réalisée par une technique mixte émulsion œuf-huile. Les prélèvements réalisés par Florence Cremer en 2015 et confiées au laboratoire du CNEP ont mis en évidence la présence de jaune d'œuf et d'une huile. Un nouveau prélèvement réalisé sous badigeon a montré la même nature de matériaux. De plus en plus d'exemples montrent des décors muraux réalisés à l'huile ou par des techniques mixtes au XIIe et début du XIVe. Des traités⁴ de techniques picturales murales parlent déjà de techniques mixtes employant huile et œuf dès le XIIIe siècle.
- Ces peintures ont eu une vraie importance dans la vie de la Chartreuse et qu'ainsi elles ont été entretenues, en témoigne le bleu azurite et le rouge minium posés sur une couche de cinabre et dont certaines coulures sont visibles sur les parties usées et dégradées des scènes inférieures et de la scène du couronnement de la Vierge.

- Les photographies de 1980 avant traitement de nettoyage montrent un fort encrassement mais aussi bon nombre de détails et une couche picturale en meilleur état. La comparaison avec l'état de surface actuel des peintures, montre sans nul doute que le nettoyage a considérablement usé la couche picturale originelle et les rechampis. Nombre de détails ont disparus les carnations, les motifs des vêtements de la Vierge et du Christ, etc.

Sur le remplage central:

- L'examen de la polychromie dans les ébrasements de la baie Est présentent une homogénéité de valeur : cela confirme qu'il n'y qu'une seule exécution et pas d'intervention postérieure.

Paroi Est, sur la frise latérale à droite :

- Certaines plages colorées présentent une fluorescence violette presque noir qui caractérise une intervention postérieure ancienne.

⁴ Les traités comme «le liber Diversarum Artium», ou «De coloribus et artibus romanorum d'Héraclius», fin XIIIe siècle ou «le Liber de coloribus faciendis» rédigé par Pierre de Saint-Omer», fin XIIIe début XIVe siècle, l'exemple du cycle peint de la cathédrale d'Angers, vers 1270-80 réalisé à l'huile.

7. Étude pour la dérestauration des peintures historiées du chœur

Les essais de dérestauration ont fait l'objet de discussions avec les services de la DRAC, l'architecte et la mairie pour déterminer l'esprit et la localisation des tests.

À la lecture du rapport de 2015, les peintures semblent ne pas avoir eu le même traitement de restauration et consolidation en 1986.

La couche picturale étant très sensible aux solvants testés en 2015 (eau, acétone, alcools), nous proposons de nous appuyer sur les procédés actuels de nettoyage par solutions tamponnées et gels, développés par Paolo Cremonesi. Pour ce travail nous nous sommes appuyés sur l'expertise de Simona Valli (sur les méthodes pour le nettoyage et le retrait de substances filmogènes).

Les tests ont été réalisés par étape en contrôlant l'apport en eau et en solvant organique sous la forme d'émulsions.

À la suite des tests un protocole a été déterminé pour être reproductible sur l'ensemble des peintures murales du chœur et en fonction des caractéristiques de chaque scène.

Une réunion en Mars 2022 avec la DRAC, la maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre a permis de déterminer trois zones de tests, parois Nord, Est et Sud (cf. Fig.1).

L'enjeu des essais c'est affiné au cours de l'étude et nous souhaitons après réflexion déterminer un protocole d'intervention sur les points suivants:

- Retrait des taches brunes dues à des opérations de fixage ponctuel, parois Nord et Sud.

- Allègement des fixatifs des anciennes restaurations trop concentrés et formant un film à la surface des peintures. Le fixatif ne paraît pas brillant de prime abord du fait de l'empoussièrment général. Cette couche filmogène (acrylique de type Paraloid B72® ou d'Hydrophon®) a sur certaines scènes produit un effet de blanchiment et sur d'autres un effet de brillance que l'on peut observer après dépoussiérage.

- Décrassage des zones grisâtres et blanchâtres (résidus terreux) qui ne permettent pas une bonne visibilité des tonalités et des scènes historiées.



Fig.1. Prise de mesures pH et conductivité à la surface des scènes historiées pour ajuster les tests des solutions tamponnées.
1 rouge : pH 6,95; 2 noir : pH 7,7; 3 bleu : pH 6,38 - 235µs; 4 bleu (tache brune) : pH 7,52 - 353µs; 5 ocre pH 6,77 - 495µs; 6 ocre (tache brune) : pH 7,39; 7 rouge : pH 6,8 - 573µs.

Localisation des zones de tests sur les trois parois.

Remarques sur la technique d'exécution:

- Badigeon du support très strié qui donne une surface grenue à la couche picturale. Cela forme une peau d'orange et des creux plus profonds sujets à l'empoussièrment.

Rappels de l'état de conservation au 19 mai 2022:

- Empoussièrment généralisé suite aux travaux dans l'ancienne salle capitulaire. Donne une vision hétérogène des peintures. De nombreuses toiles d'araignées sont à nouveau présentes (un dépoussiérage complet avait été réalisé en 2021).
- Usures dues aux efflorescences salines sur la partie basse de la scène Est et dues aussi au dégagement et nettoyage des peintures lors des différentes restaurations. Usures sur les crêtes de surfaces qui ne sont pas très visibles actuellement due à l'empoussièrment généralisé.
- Voile blanchâtre ou grisâtre due à l'altération du fixatif de surface et au reste de dépôts de crasses terreuses accumulés dans les creux et englués dans le fixatif de restauration. C'est un voile hétérogène particulièrement visible sur la paroi Est et au niveau du couronnement de Vierge paroi Nord.
- Tâches brunâtres circonscrites dues à au fixage ponctuel de la couche picturale. Ces tâches peuvent paraître brillantes sous lumière rasante. C'est probablement un fixatif posé au pinceau.
- Les usures de la couche picturale laisse transparaître la sous-couche ocre jaune et ce qui accentue la vision hétérogène.
- Fixatif de surface trop concentré et formant un film sur les peintures. Le film est plus dense sur la paroi Est que sur la paroi Nord. Sur la paroi Nord le fixatif est présent probablement de partout mais sous une forme trop concentrée de façon circonscrites.
- Nous avons constatés visuellement une différence d'intervention sur les parois Nord et Est. Les scènes du premier registre Nord de Thibault de Vassalieu et Est du chœur des frères présentent un niveau de nettoyage plus poussé. Nous ne retrouvons pas le même niveau d'accumulation de crasse que ces les trois autres scènes, il nettement moins important.



- Voile blanchâtre et grisâtre de surface
- Tâches brunâtres et état de surface très grenu de l'enduit
- Encrassements résiduels sous le fixatif.

7.1. Tests de décrassage

1/ Dépoussiérage :

Mécanique au spalter en poils de chèvre.

2/ Décrassage à sec :

Test avec un Akapad® white soft: la couche picturale est trop sensible au niveau des scènes du premier registre des parois Nord et Est.

Au deuxième registre le gommage à sec avec cette même gomme est efficace sans altérer la couche picturale.

> il y a pu y avoir une concentration différente de fixatif entre les scènes hautes et basses ou la présence de sels fragilise plus les scènes du premier registre.

Sur les scènes fragiles du premier registre nous avons fait un test avec des éponges Muji®. Le résultat est similaire avec la gomme Whishab®. Malheureusement la couche picturale (bleu et rouge) reste très délicate.

3/ Tests de décrassage en milieu aqueux :

Solutions testées: - Phosphate pH7 simple tampon
- Acide citrique pH5 chélatant

Bien qu'ayant observé les fragilités des pigments en partie basse au décrassage à sec, nous avons testés des solutions simple tampon et chélatant pour permettre un décrassage superficiel et le retrait des dépôts terreux dans les creux de la surface.

La couche picturale est trop sensible et dégorge rapidement sur le coton. Du fait que le film de fixatif est hétérogène sur les parois, il n'est donc pas possible de faire un décrassage général en milieu aqueux. Ainsi, l'utilisation des émulsions huile-dans-l'eau et qui demandent un rinçage à l'aide d'eau au pH ajusté n'a pas été possible.

Nous avons donc réalisé des tests de solubilité du fixatif pour mieux appréhender la matière.



- Installation de chantier
- Dépoussiérage avec une brosse en poils de chèvre
- Zone qui présente des brillances après dépoussiérage

7.2. Tests de solubilité du fixatif

Vu les résultats des analyses scientifiques qui font état de la présence d'une résine phénolique et d'un adhésif acrylique nous avons testé la solubilité de ces substances dans les solvants suivant en mélange: Isooctane, Acetone, Alcool Benzilique. I 30 A 70: résultat assez satisfaisant, le fixatif commence à gonfler. Demande de nombreux passages.

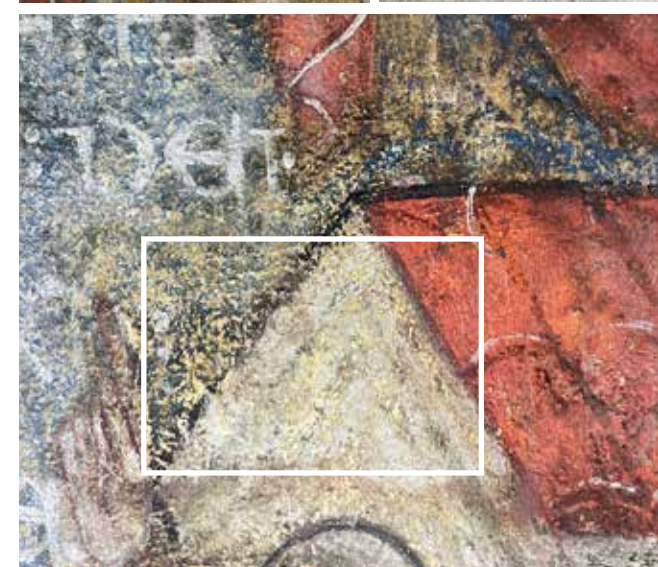
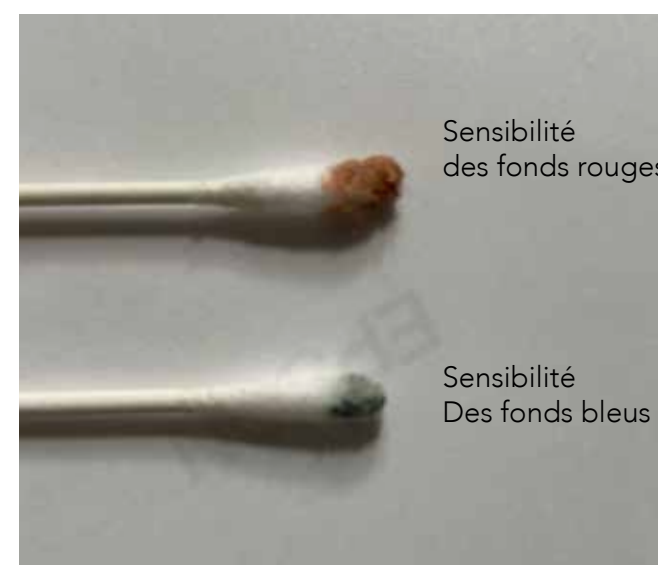
Mise en œuvre des tests:

Bâtonnet de coton,: l'action mécanique est trop importante et use la couche picturale.

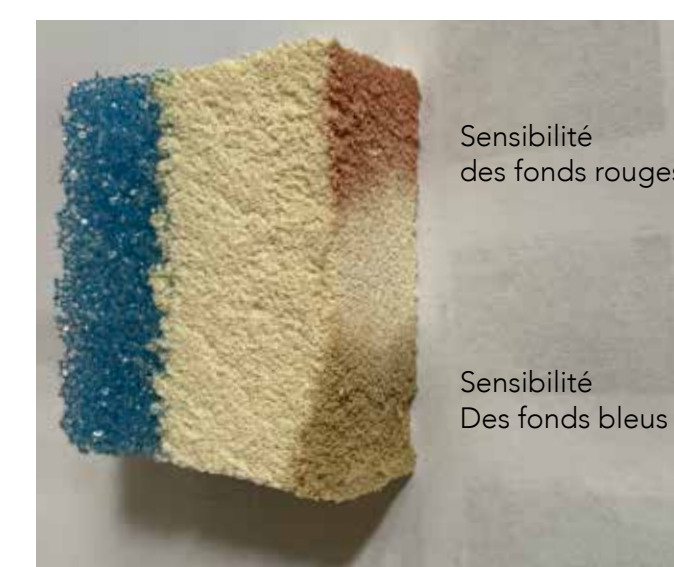
Eponge Muji®: action est plus douce il ainsi possible de passer plusieurs fois pour obtenir le gonflement du film d'adhésif, son retrait partiel et avant que l'on use la surface.

Au travers d'un papier neutre: application de l'acétone au pinceau au travers d'un papier en laissant le papier absorber le fixatif au moment de séchage. L'action est efficace, mais demande de nombreux passages sans obtenir le retrait suffisant de l'adhésif. De plus il n'y a pas d'action sur la crasse déposée dans les creux.

Les tests ont été reproduits sur la paroi Sud et ont confirmé les observations parois Nord et Est.



- Cotons imbibés de solvant qui montrent l'extrême sensibilité de la matière picturale rouge et bleue
- Retrait du fixatif au travers d'un papier absorbant, ceci permet d'alléger le fixatif en préservant la matière picturale
- Zone 1 après retrait du fixatif



- Surface d'une Akapad® soft, qui montre l'extrême sensibilité de la matière picturale rouge et bleue

7.3. Tests du retrait de la crasse dans les creux sur les zones les plus fragiles et en réduisant l'action mécanique

Après avoir retiré le film de fixatif nous avons testés plusieurs techniques pour enlever les crasses résiduelles dans les creux.

- Gel d'agar agar eau déminéralisée appliqué au pinceau en début de gélification, et en gel rigide
> Mise en œuvre difficile, le résultat est peu concluant, la crasse est prise dans le consolidant aussi dans les creux.

- Gel rigide d'agar et acétone (10%) posé au pinceau en début de gélification
> Mise en œuvre difficile, le résultat n'est pas assez concluant, la crasse prise dans le consolidant n'est pas assez ramoli par le solvant en trop faible quantité. Cependant le gel d'agar n'accepte pas un pourcentage plus élevé de

- Gel rigide Nanorestore®

Peggy 5 en gomme

Peggy 5 en gel dans l'eau déminéralisé

HWR en suspension dans des solvants (éthanol, alcool benzénique).

> Les différents gels rigides sont trop fermes pour s'adapter à la surface grenue de l'enduit. Ils ne tiennent pas sur la surface. Le Peggy gel 5 en gomme permet un ramolissement de la crasse dans les creux de façons précises. La méthode est lente mais prouve son efficacité permet d'avoir une action très précise.



- Zone 3 où le fixatif a été enlevé



- Zone 1a où le fixatif a été enlevé

- Zone 1b où le fixatif a été enlevé

- Gel rigide Nanorestore®

7.4. Tests sur les taches brunes

- Nettoyage ponctuel des taches brunes.



Petits bâtonnet de coton et acétone le résultat est satisfaisant au niveau des plages colorées ocre, mais cela est insatisfaisant au niveau des taches brunes dans les zones colorées bleues de la paroi Nord.

7.5. Conclusions du protocole de dérestauration

L'allègement du fixatif et le nettoyage des peintures historiées est extrêmement délicat. Il conviendra de procéder de façon très précautionneuse en fonction de la fragilité des zones.

1/ Dépoussiérage:

Bien qu'un dépoussiérage ait été déjà réalisé en 2021, il conviendra de refaire cette opération avant tout autre. Le dépoussiérage devra se faire au moyen de brosses douces en poils de chèvre. Cette matière naturelle permet de soulever les poussières sèches sans griffer la surface et de baisser la charge électrostatique.

2/ Décrassage:

Le décrassage à sec n'est pas possible sur l'ensemble des décors du fait de leur fragilité. Sur les scènes du deuxième registre, il faut prévoir un décrassage à sec en alternant éponge Muji® sur les parties les plus délicates et gomme Akapad® blanche douce sur les parties les plus résistantes. Cette opération n'est pas possible sur les scènes du premier registre qui sont trop fragiles. Sur ces dernières seul un dépoussiérage doux sera possible avant l'allègement du fixatif.

3/ Allègement du fixatif et retrait des résidus terreux:

- Sur les scènes du premier registre :

Ramolissement par un passage d'un gel rigide d'agar agar en bâtonnet de 5 mm, puis retrait mécanique uniquement dans les creux des dépôts de crasses. Intervention locale au bâtonnet coton ou pointe d'éponge Muji® localement et imbibé d'acétone pour l'allègement du fixatif.

- Sur les scènes du second registre:

Il faut prévoir un gonflement et solubilisation du film d'adhésif par une imprégnation d'acétone à l'éponge Muji®. Dans les zones très sensibles cela peut se faire au travers d'un papier neutre. Le retrait du papier doit être fait avec vigilance pour qu'il ne crée pas d'arrachement de la couche picturale. La crasse déposée dans les creux peut être ensuite retirée mécaniquement avec les angles des éponges Muji® ou avec des petites spatules de dentistes.

8. Préconisations pour la conservation des décors muraux

Les préconisations qui suivent sont émises suites aux différentes investigations listées ci-après, en concertation avec le CICRP et le laboratoire ERM.

- 2015 Travaux d'étude et de conservation de Florence Cremer et Patricia Gabriac;
- 2015 Mise en évidence des matériaux présents sur les scènes peintes: CNEP;
- 2021 Mise en évidence de la nature des développements organiques (lichens): Jacques Pages, Devilerbec;
- 2021 Mise en évidence de la nature des sels: ERM;
- 2021 Mise en évidence de la nature des matériaux présents sur les scènes peintes : Sinopia expertise;
- 2021 à 2022 Suivi climatologique de la température et de l'hygrométrie dans l'ancien chœur : In Situ Conservation
- 2021 Imagerie technique des deux scènes historiées: CICRP;
- 2022 Tests de dérestauration sur trois zones des peintures : Simona Valli /In Situ Conservation;
- 2022 à 2023 Suivi climatologique de la température et de l'hygrométrie dans l'ancien chœur : In Situ Conservation

Préconisations pour réduire les efflorescences salines :

- Zones au sol d'évacuation passive : il faudra faciliter au maximum l'évacuation rapide de l'humidité au pied des murs intérieurs (décroûtement; mise en place de graviers largeur de 20cm...);
- Zones verticales d'évacuation passive : les zones sous le niveau de l'ancien plancher devront rester non enduites, dans un souci de lecture du bâtiment et de garder une zone verticale d'évacuation passive;
- Un dessalement des parties basses à l'aide de compresse est envisagé: il conviendra de limiter au maximum les apports d'eau pour ne pas mobiliser les sels qui se trouvent plus en profondeur; des analyses de la teneur en sels en profondeur seraient utiles;
- Reprendre les enduits du contrefort extérieur paroi Nord, envisager un enduit plus respirant;
- Poser une plaque de plomb sur la partie supérieure du contrefort et faciliter l'écoulement des eaux de pluie;

Préconisations contre les développements organiques :

- Un traitement algicide curatif et préventif est à mener: 3 applications de Biotin® R à 1% dans l'eau déminéralisée. Après 3 à 4 semaines d'action un brossage avec aspiration simultanée devra être réalisé. Une dernière application de Biotin® permettra une action préventive. Cette action préventive et de maintenance pourra être réalisée à nouveau un an après.
- Eclairage: les lampes LED seront préférées; le temps d'éclairage sera à diminuer; la température de couleur ne devra pas dépasser 3000 °K;
- Environnement lumineux naturel: changer les verres des baies pour des verres anti rayonnements ultra-violet.

Mesure de conservation préventive des décors :

- Faire entrer le public par la sacristie pour éviter au maximum les effets de l'environnement extérieur sur l'intérieur de la chapelle;
- Modérer la taille des groupes (actuellement 30 pers. max) de visiteurs.

Préconisations pour la conservation des peintures murales historiées :

- Allègement du fixatif identifié comme un copolymère acrylique;
- Nettoyage des résidus terreux dans les creux de la matière picturale formée par la granulométrie des enduits;
- Réalisations d'enduits de teintes neutres sur les parties laissant la maçonnerie apparente (comme indiqué précédemment, les zones sous le niveau de l'ancien plancher pourraient rester non enduites, dans un souci de lecture du bâtiment et de garder une zone verticale d'évacuation passive).

Préconisations pour une meilleure lecture de l'ancien chœur :

- Restitution de l'encadrement de la baie Est par dégagement de 25 cm sous le glaci;
- Mise au jour des décors XIVe par le dégagement des badigeons blancs modernes parois Nord, Est et Sud. Conservation des décors et amélioration de leur lisibilité par une retouche modérée
- Conservation des décors XVIIe siècle parois Sud, Est et Nord.

Préconisations pour les décors de l'ancienne nef:

- Intervention d'urgence: dépoussiérage des surfaces peintes, conservation des enduits peints par des injections de coulis, la pose de solins en pourtour des lacunes, la stabilisation des déplacements de la couche picturale.

9. Annexe

9.1. Toutes les stratigraphies de la nef

Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 1				
		Localisation: paroi Nord		Hauteur 4,30m
N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Gris	Maçonnerie	pierre gobetti
1	enduit	gris	sable chaux	enduit au sable fin et régulier, présence de nodules de chaux blanc
1b	badigeon	Blanc	chaux	épais très résistant, adhérent au support
1c	couche pictural	Gris terre d'ombre	chaux	couche picturale monochrome, l'ensemble du premier décor est fragmentaire et visible en partie haute, entre 3,80 et 4,20 m, au dessus du plancher
2	Badigeon	Blanc	chaux	épais, extrêmement strié et chaotique
3	Badigeon	Blanc	chaux	très lié au précédent, aussi épais et chaotique, et encrassé, possiblement en raison de l'incendie marqué dans les archives
4	Enduit	Beige gris	sable chaux	enduit de bouchage avec des grains très peu régulier, assez blanc
5b	Badigeon	Blanc	chaux	
6	Badigeon	Blanc	chaux	
7	Peinture	ocre jaune	chaux?	



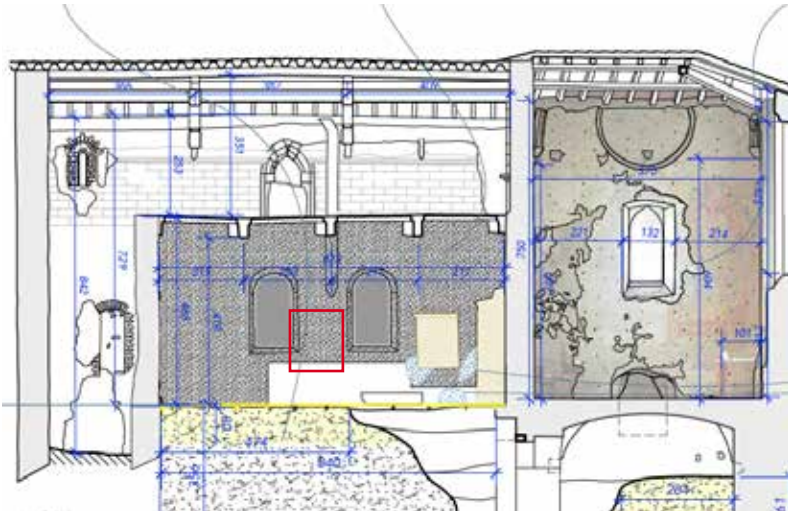
Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 2				
		Localisation: paroi Sud		Hauteur 4,20m
N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Beige	Maçonnerie	pierre de tuff
1	enduit	gris	sable chaux	enduit fin et régulier
1b	couche picturale	blanc	chaux	(La couche correspond au décor XIVe en partie haute dans l'ébrasement de l'ancienne baie paroi Sud côté Ouest.)
2	badigeon	blanc	chaux	un peu épais, empoussièrement brun rouge
3	badigeon	blanc	chaux	fin
4	badigeon	blanc	chaux	fin- toutes les couches sous-jacentes à celle ci sont piquetées
5	enduit	gris	sable chaux	enduit fin et régulier, 1cm d'épaisseur
5b	badigeon	blanc	chaux	strié
6	enduit	blanc	plâtre	comblement ponctuel
6b	badigeon	jaune	chaux	visible



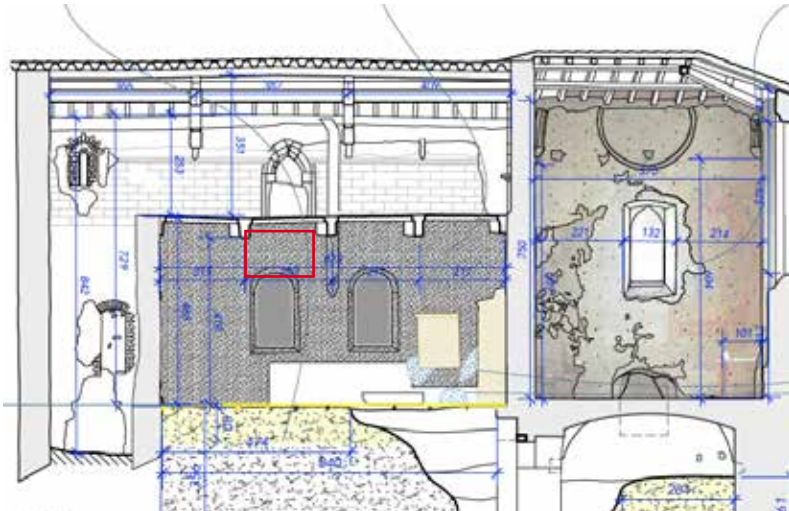
Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 3a				
Localisation: mur nord		Hauteur 1,50m		
N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Beige	Maçonnerie	
1	enduit	grise	chaux sabe	decor peint: coix sur mont, lacunaire, h1,5m du sol actuel, 1,04 du sol ancien
1b	couche picturale	blanche	chaux	
2	badigeon	blanche	chaux	
3	badigeon	jaune	chaux	visible



Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 3b				
Localisation: mur nord		Hauteur 1,50m		
N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Gris	Maçonnerie	pierre gobetti
1	enduit	gris	sable chaux	enduit au sable fin et regulier, presence de nodules de chaux blanc
1b	badigeon	Blanc	chaux	epais très resistant, adherent au support
1c	couche pictural	Gris terre d'ombre	chaux	couche picturale monochrome, l'ensemble du premier decor est fragmentaire et visible en partie haute, entre 3,80 et 4,20 m, au dessus du planchier
2	Badigeon	Blanc	chaux	epais, extremement strié et caothique
3	Badigeon	Blanc	chaux	trés lié au precedent, aussi épais et cahotique, et encrassé, possiblement en raison de l'incendie marqué dans les archives
4	Enduit	Beige gris	sable chaux	enduit de bouchage avec des grains très peu regulier, assez blanc
5b	Badigeon	Blanc	chaux	
6	Badigeon	Blanc	chaux	
7	Pentuire	ocre jaune	chaux?	



Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 4 Localisation: mur sud

N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Gris	Maçonnerie	pierre gobetti
1	enduit	gris	sable chaux	enduit au sable fin et regulier, presence de nodules de chaux blanc. Ancienne baie bouchée postérieurement. Profondeur de plus de 20cm.
1b	badigeon	Blanc	chaux	épais très resistant, adherent au support
1c	couche pictural	Gris terre d'ombre	chaux	couche picturale monochrome, l'ensemble du premier décor est fragmentaire et visible en partie haute, entre 3,80 et 4,20 m, au dessus du plancher
2	Badigeon	Blanc	chaux	épais, extrêmement strié et caothique
3	Badigeon	Blanc	chaux	trés lié au précédent, aussi épais et cahotique, et encrassé, possiblement en raison de l'incendie marqué dans les archives
4	Enduit	Beige gris	sable chaux	enduit de bouchage avec des grains très peu regulier, assez blanc
5b	Badigeon	Blanc	chaux	
6	Badigeon	Blanc	chaux	
7	Pentuire	ocre jaune	chaux?	



Sainte-Croix-en-Jarez
Ancienne nef



Stratigraphie n°: 5 Localisation: Mur Est chaine d'angle

N°	Couche	Couleur perçue visuellement	Nature	Observations
0	Structure	Beige	Maçonnerie	ne reste que 5 claveaux
1	badigeon	blanc ave du noir	chaux	pas très adherent
2	badigeon	blanc	chaux	épais et peu homogène



9.2. Sources historiques et techniques

- ARCOA 1987 : Rapport de traitement des peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez.

- Carcel 1998 : CARCEL (A.), Peintures médiévales des églises de Rhône-Alpes : Arts et archéologies en Rhône-Alpes.

- Cremer 2015 : CREMER (F.), Rapport d'étude et de traitement des peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez.

- Favier 2007 : FAVIER (S.) - Les peintures murales de l'église médiévale de la chartreuse de Sainte-Croix-en-Jarez, Master 1 Histoire et archéologie comparées des sociétés médiévales.

- Favarcq 1897 : FAVARCQ (M.L.), Bulletin de la DIANA, p. 293-304.

- Leturque 2013 : LETHURQUE (A.) , « Le savoir technique dans l'art de peindre au Moyen Âge : les modes opératoires décrits dans le Liber Diversarum Artium (MS. H277, bibliothèque de l'école de médecine de Montpellier) ». URL : <http://journals.openedition.org/insitu/10646> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/insitu.10646>

- Leturque 2015 : LETHURQUE (A.) - « Sensim per partes discuntur quaelibet artes... Chaque art s'apprend lentement, pas à pas... : mise en regard d'un savoir écrit sur l'art de peindre au Moyen Âge (le Liber diversarum artium) et d'un savoir-faire pratique (les œuvres peintes sur murs et sur panneaux de bois en Catalogne aux XII et XIII siècles) », Thèse de doctorat, Université de Montpellier, p. 377-390.

- Subes-Picot 1992 : SUBES-PICOT (M.P.) - Peinture sur pierre : note sur la technique des peintres du XIIIe siècle découvertes à la cathédrale d'Angers, Revue de l'Art, n°97, 1992.

- Vachez 1904 : VACHEZ (A.) - La chartreuse de Sainte-Croix en-Jarez.

- Vassoille 2016 : VASSOILLE (R.) - Sainte-Croix-en-Jarez, Richesses touristiques connues et méconnues.

EGLISE DE LA
CHARTREUSE DE
SAINTE-CROIX-
E N - J A R E Z

PEINTURES MURALES DE
THIBAUT DE VASSALIEU

CARTOGRAPHIES
HUMIDIMÉTRIQUES
CARACTÉRISATION
DE MATÉRIAUX

R A P P O R T



OCTOBRE 2021

IDENTIFICATION
Commune : Sainte-Croix-en-Jarez (42) Édifice : Chartreuse - Église primitive
DEMANDE
Ville de Sainte-Croix-en-Jarez, maître d'ouvrage Claire Bigand, InSitu Conservation
CONTENU DE L'INTERVENTION
Cartographies humidimétriques Caractérisation de matériaux (couches picturales)
INTERVENANTS
Interventions sur site: Claire BIGAND - In Situ Conservation Traitement des données, caractérisation de matériaux, rédaction du rapport : Sébastien AZE - Sinopia

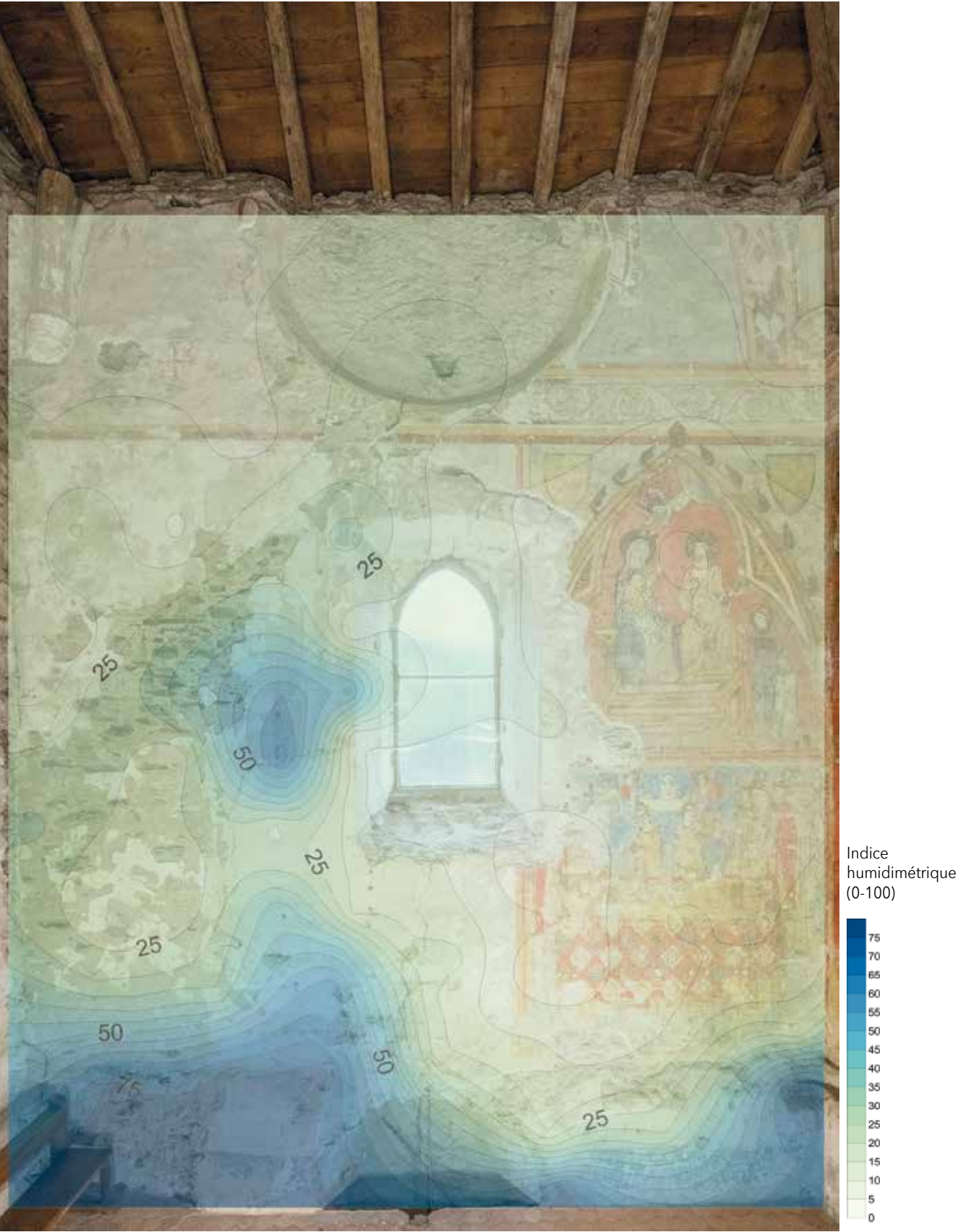
2. RÉSULTATS

1. CARTOGRAPHIES HUMIDIMÉTRIQUES

Des cartographies de répartition de l'humidité en surface des élévations intérieures de la chapelle funéraire de Thibaud de Vassalieu ont été réalisées à partir de relevés non destructifs réalisés le 18 décembre 2020. Les cartographies mettent en évidence des valeurs élevées d'humidité principalement en pieds de murs, ainsi que ponctuellement à proximité des baies côtés nord et est, et sur l'élévation sud. D'une manière générale, ces zones coïncident avec des lacunes d'enduit (maçonnerie de moellons à nu). Cette corrélation semble indiquer la persistance d'entrées d'humidité, par infiltrations et/ou remontées capillaires, ayant causé par le passé la fragilisation puis la chute des enduits dans ces zones.



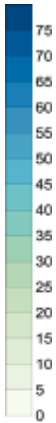
ÉLÉVATION NORD



ÉLEVATION EST



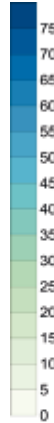
Indice
humidimétrique
(0-100)



ÉLEVATION SUD



Indice
humidimétrique
(0-100)



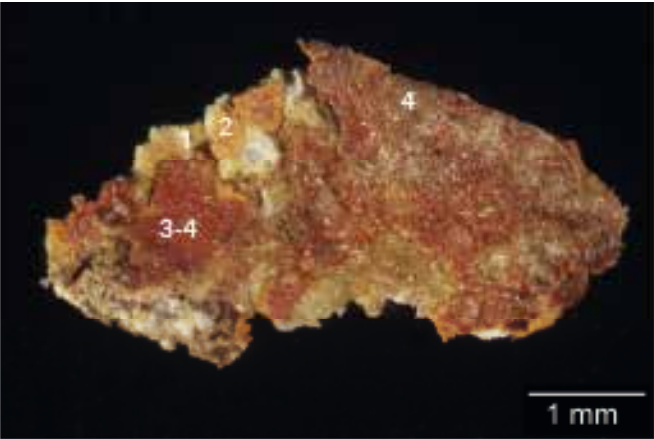
2. CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX (COUCHES PICTURALES)

Échantillon	Localisation	Stratigraphie visible	Demande	Méthode
PM1	Paroi Nord, scène de l'inhumation, dans le manteau rouge d'un évêque ou d'un des pères des Chartreux.	- Enduit sable et chaux - Badigeon blanc de chaux - Couche ocre jaune - Couche picturale rouge rechargée ? - Substance filmogène qui a donné une coloration brune à la zone (acrylique et/ou cire et/ou résine phénolique)	Prélèvement dans les taches brunes pour une mise en évidence des substances et tentative de définition d'un protocole de retrait de cette ou ces substances	Microscopie stéréoscopique MEB et/ou Raman Micro-stratigraphie
PM2	Paroi Est remplage central dans les parements peints (ocre rouge, ocre jaune et filet rosé.	- Pierre - Badigeon blanc - Couche picturale rosée (fond) - Couche picturale noire (filet noir) - Badigeons blancs superposés.	Détermination de la technique d'origine puisque pas d'observation de repeints, de brillance, ni de consolidation. L'observation sous UV semble le confirmer.	Microscopie stéréoscopique Py-GC-MS
PM3	Paroi Nord scène du couronnement. Étoile noire dans le ciel rouge.	- Enduit sable et chaux - Badigeon blanc de chaux - Couche ocre jaune préparation ou peinture ancienne - Couche picturale rouge rechargée ? - Couche noire (feuille métallique) - Substance filmogène (acrylique et/ou cire)	Détermination de deux rouges et d'une feuille métallique	Microscopie stéréoscopique MEB et/ou Raman

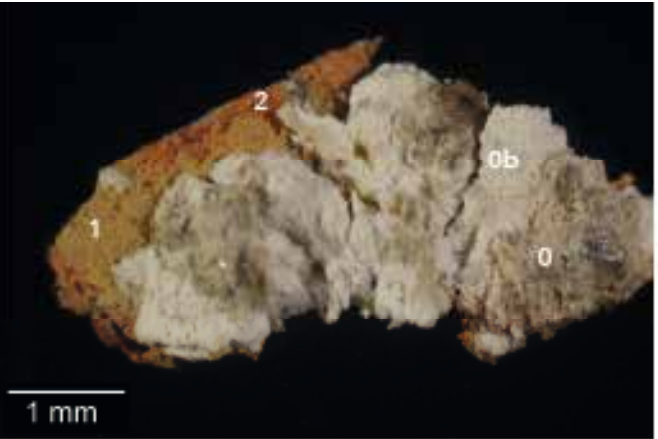


Lieu de prélèvement des échantillons PM1, PM2, PM3.

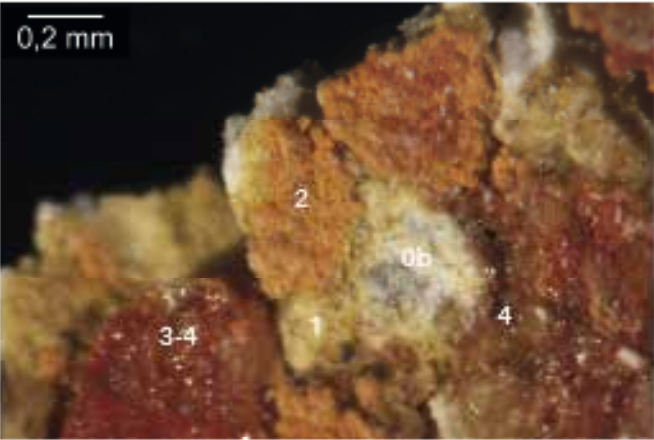
Échantillon	Localisation	Stratigraphie visible	Demande	Méthode
PM1	Paroi Nord, scène de l'inhumation, dans le manteau rouge d'un évêque ou d'un des pères des Chartreux.	- Enduit sable et chaux - Badigeon blanc de chaux - Couche ocre jaune - Couche picturale rouge rechargée ? - Substance filmogène qui a donné une coloration brune à la zone (acrylique et/ou cire et/ou résine phénolique)	Prélèvement dans les taches brunes pour une mise en évidence des substances et tentative de définition d'un protocole de retrait de cette ou ces substances	Microscopie stéréoscopique MEB et/ou Raman Micro-stratigraphie



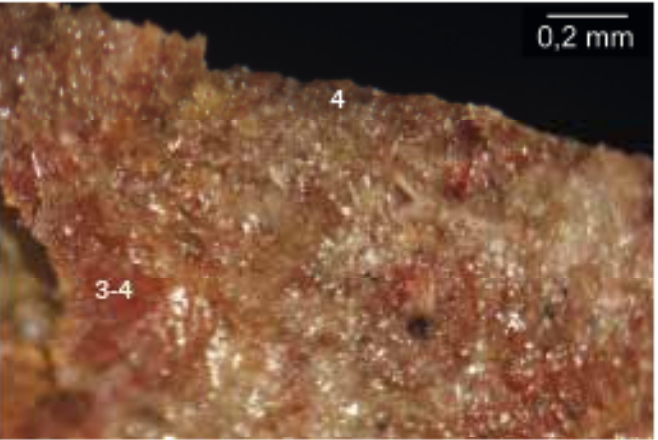
Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM1. Grandissement d'origine: x18.



Vue en microscopie stéréoscopique de la face interne de l'échantillon PM1. Grandissement d'origine: x18.



Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM1. Grandissement d'origine: x40.



Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM1. Grandissement d'origine: x44.

L'échantillon PM1 est un fragment de peinture murale, comprenant une succession de couches picturales et l'enduit support du premier état pictural. Compte tenu des faibles dimensions de l'échantillon, la préparation d'une section transversale polie n'a pas été possible. Néanmoins, les observations en microscopie stéréoscopique permettant d'établir la succession stratigraphique suivante:

0. Enduit support, à base de chaux et sable siliceux, de teinte beige;
- 0b. Possible couche de finition blanche, à base de chaux.
1. Couche picturale ocre jaune;
2. Couche picturale orangée;
3. Couche picturale rouge;
4. Couche superficielle organique (consolidant présumé), transparent à translucide, localement brunie (altération chromatique).

Échantillon	Localisation	Stratigraphie visible	Demande	Méthode
PM2	Paroi Est remplage central dans les parlements peints (ocre rouge, ocre jaune et filet noir).	- Pierre - Badigeon blanc - Couche picturale rouge (fond) - Couche picturale noire (filet noir) - Badigeons blancs superposés.	Détermination de la technique d'origine puisque pas d'observation de repeints, de brillances, ni de consolidation. L'observation sous UV semble la confirmer.	Microscopie stéréoscopique Py-GC-MS



Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM2. Grandissement d'origine: x20.

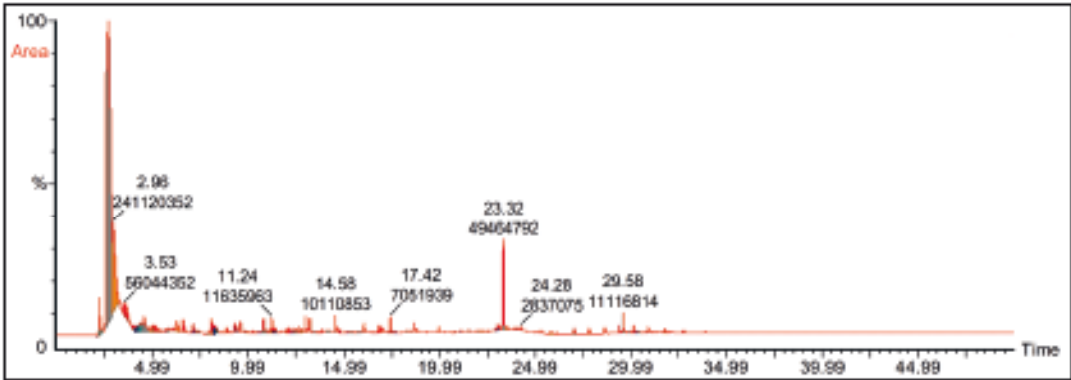
L'échantillon, PM2 est un fragment de peinture murale, constitué d'un badigeon blanc à base de chaux et de couches picturales résiduelles de teintes orangée, noire, brun-gris.

L'analyse de l'échantillon par pyrolyse/GCMS révèle des composés organiques volatils que l'on peut classer en trois matrices distinctes :

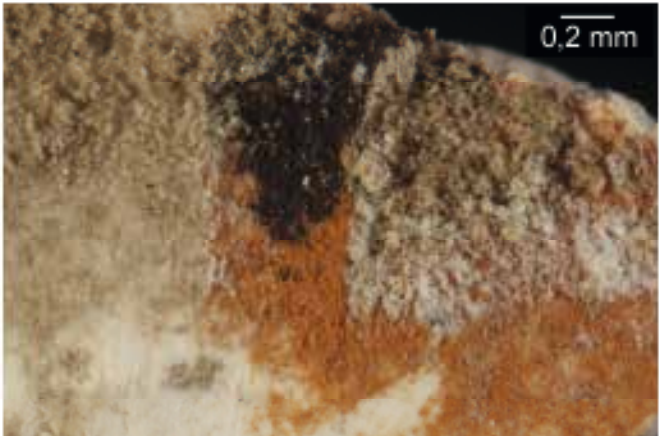
- Fragments issus d'une matrice de type « Esters d'acides gras - EAG » : CO_2 ; Hydrocarbures C3-C4 ; n-Alcane C6 à C17 ; Alcane linéaires C7 à C16 ; Cycloalcane C8 ; n-Acide C9 ; Aldéhyde C6 à C9 ; 2-Heptadécane... Cette matrice est majoritaire (la somme des pics chromatographiques correspondants équivaut à 96,4 % de la somme totale de tous les pics). Ces composés pourraient provenir de la fragmentation de triglycérides d'acides gras (TAG ou EAG ou Huile végétale) ou de sel d'acide gras (i.e. stéarate de calcium - moins probable).
- Composés/fragments issus d'une matrice polymérique « Azotée » : 1H-pyrrole ; 1H-Pyrrole, 2-méthyl- ; Indole... Cette matrice est minoritaire (la somme des pics chromatographiques correspondants équivaut à près de 2,0 % de la somme totale de tous les pics). Ces fragments semblent provenir de la fragmentation de protéines (potentiellement issues d'une colle d'origine animale).
- Fragments/composés issus de la matrice organique de type « Aromatique » : Toluène ; Styrene ; Benzaldéhyde ; 2H-Inden-2-one, 1,3-dihydro-... Cette matrice est minoritaire (la somme des pics chromatographiques correspondants équivaut à 2,6 % de la somme totale de tous les pics). L'origine de cette matrice n'a pas pu être clairement identifiée, il est possible qu'elle provienne d'un colorant, d'un adjuvant ou encore que ces fragments proviennent de la recombinaison de la matrice EAG.

Remarque: Les teneurs proposées en % ne sont pas des teneurs en masse mais bien des ratios de sommes des aires des pics chromatographiques. La très forte proportion de CO_2 est attribuée à la présence de teneur élevée en carbonate de calcium.

L'analyse structurale par Pyrolyse/GCMS de l'échantillon PM2 a permis d'identifier la présence d'une matrice organique de type « Esters d'acides gras - EAG », vraisemblablement associées à un liant lipidique (huile végétale) ainsi qu'une matrice organique probable de type « Azotée » (possible protéine) ainsi qu'un plus faible proportion une matrice organique de type « Aromatique ». A noter la très forte proportion de CO_2 , qui pourrait être en grande partie d'origine minérale.



Pyrogramme GC-MS de l'échantillon PM2.

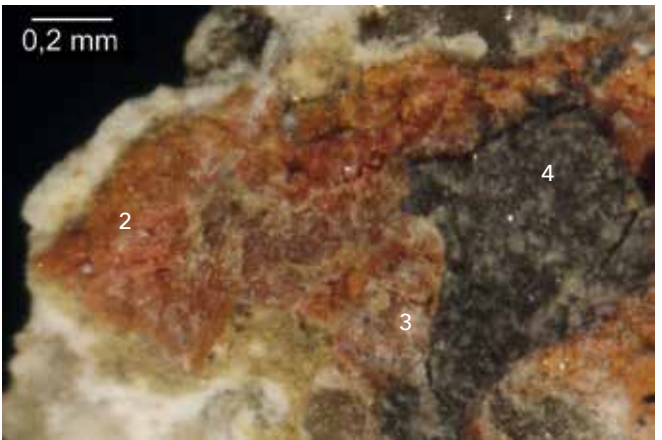


Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM2. Grandissement d'origine: x42.

Échantillon	Localisation	Stratigraphie visible	Demande	Méthode
PM3	Paroi Nord scène du couronnement. Étoile noire dans le ciel rouge.	- Enduit sable et chaux - Badigeon blanc de chaux - Couche ocre jaune préparation ou peinture ancienne - Couche picturale rouge rechampi ? - Couche noire (feuille métallique) - Substance filmogène (acrylique et/ou cire)	Détermination de deux rouges et d'une feuille métallique	Microscopie stéréoscopique MEB et/ou Raman Microscopie épiscopique



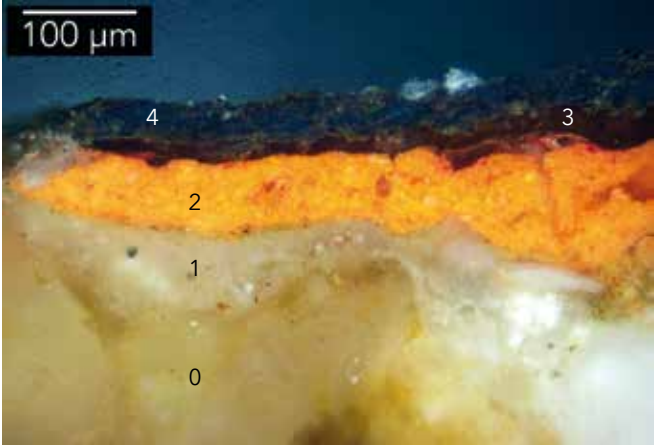
Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x32



Vue en microscopie stéréoscopique de la face externe de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x64.



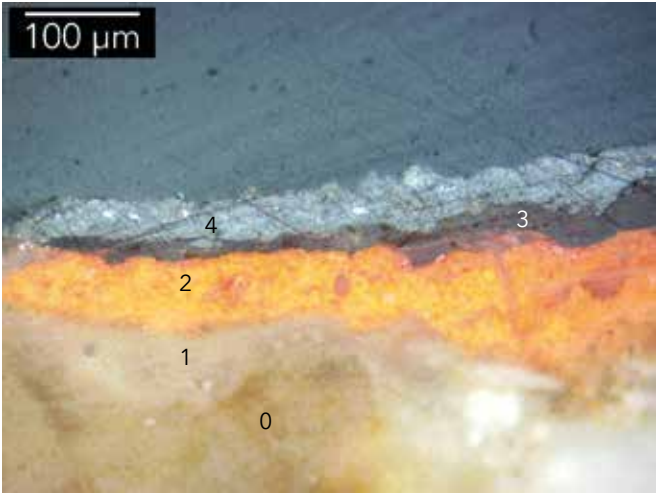
Vue en microscopie épiscopique de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x50.



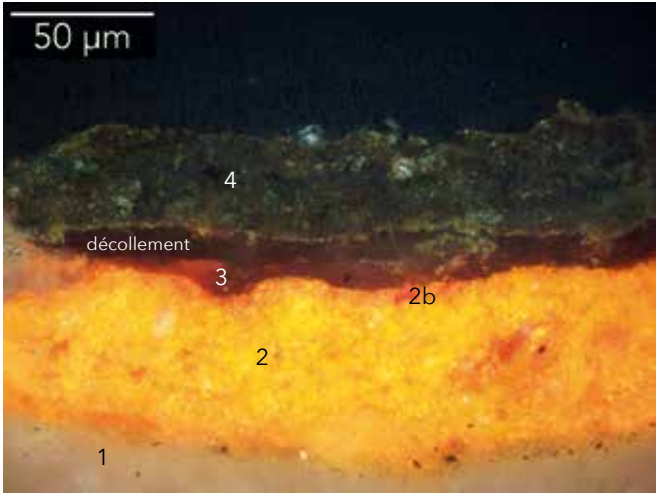
Vue en microscopie épiscopique de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x200.

Couche	Nature	Épaisseur	Composition	Remarques
0	Enduit support	-	Non déterminée	-
1	Couche de finition?	< 100 micromètres	Chaux présumée	
2	Couche picturale rouge	< 150 micromètres	Minium, composé organique plombifère	La teinte rouge-orangé rappelle fortement le minium, mais la plupart des particules observées, de morphologie sphéroïdale, sont constituées d'un composé organique du plomb (forte teneur en carbone). Possible formation de savon de plomb par réaction avec un liant lipidique ¹ .
2b	Couche picturale rouge	< 10 micromètres	Cinabre (vermillon)	Couche vraisemblablement à l'état résiduel
3	Encollage ou mixtion	< 60 micromètres	Non déterminée	-
4	Métallisation (feuille d'étain)	40 à 70 micromètres	Étain métallique Oxyde d'étain. Inclusion ferreuses	L'altération de la feuille d'étain est visible sur toute l'épaisseur. Le noircissement est dû à un phénomène d'oxydation, avec transformation probable de l'étain métallique en romarchite (SnO). La feuille d'étain présente localement un décollement (perte d'adhérence à la préparation).

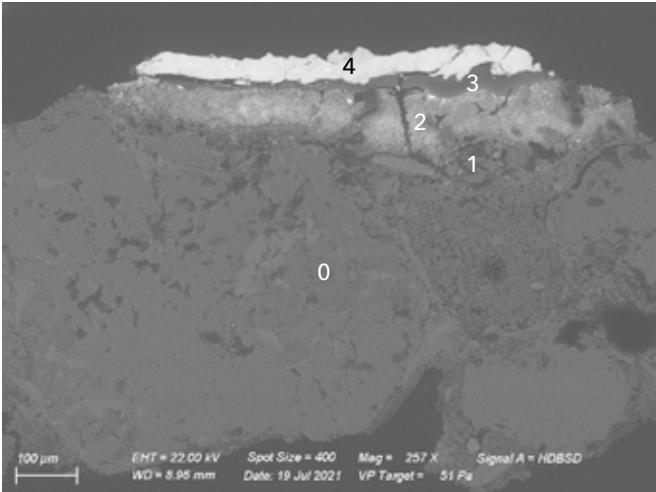
(1) Higgitt, C., Spring, M., Saunders, D., Pigment-medium Interactions in Oil Paint Films containing Red Lead or Lead-tin Yellow. National Gallery Technical Bulletin Vol 24, pp 75-95.



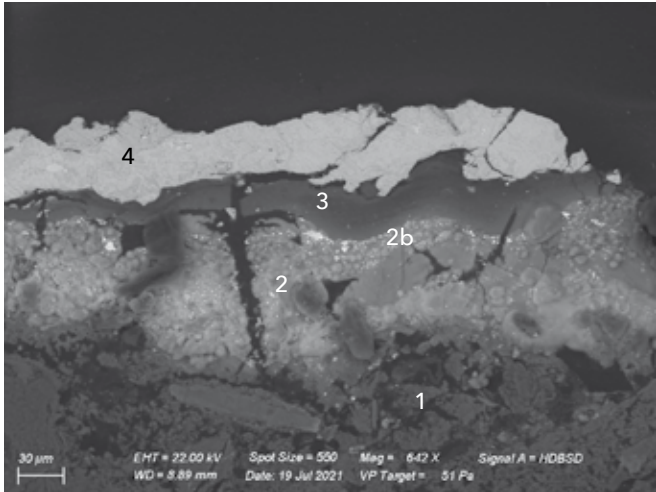
Vue en microscopie épiscopique de la section transversale polie de l'échantillon PM3 (polariseur à 45°). Grandissement d'origine: x200.



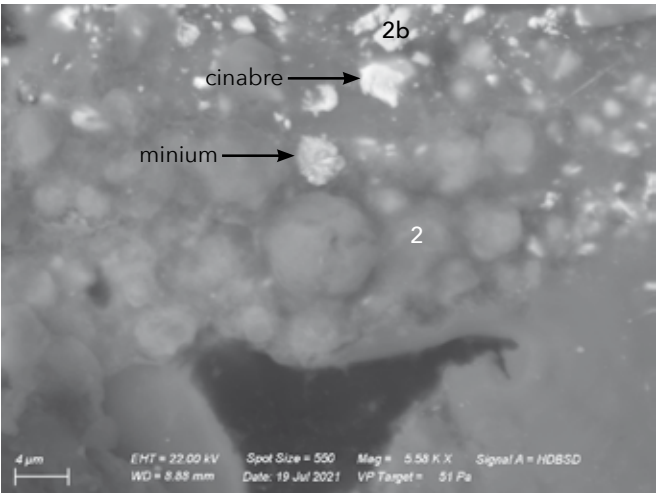
Vue en microscopie épiscopique de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x500.



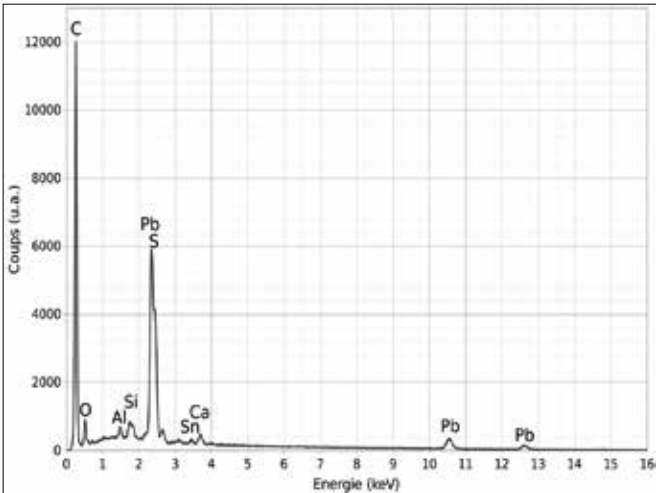
Vue en microscopie électronique à balayage de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x257.



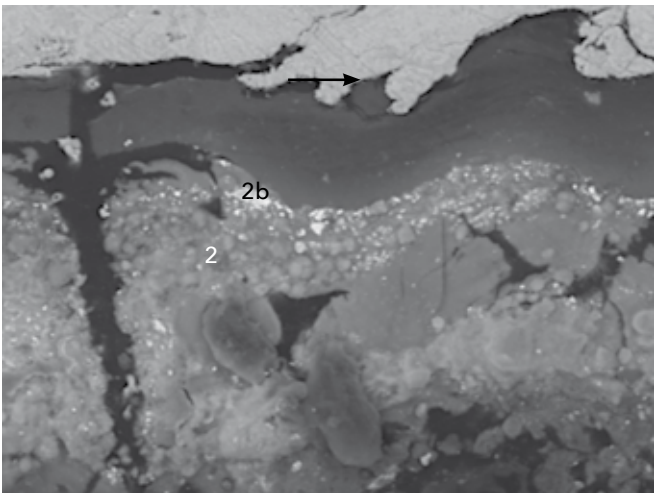
Vue en microscopie électronique à balayage de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x642.



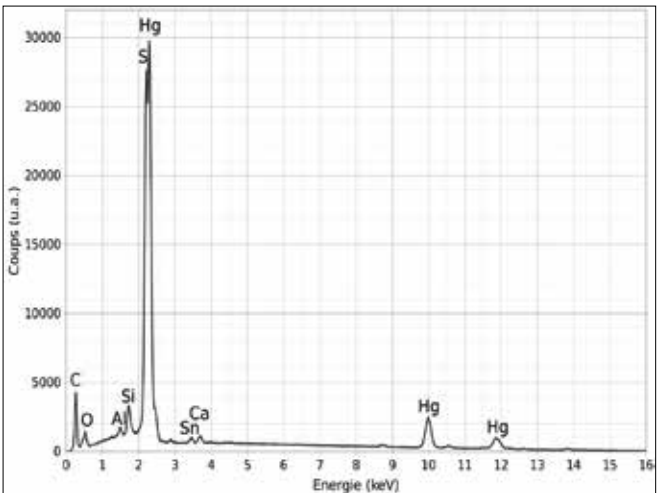
Vue en microscopie électronique à balayage de la section transversale polie de l'échantillon PM3. Grandissement d'origine: x5580.



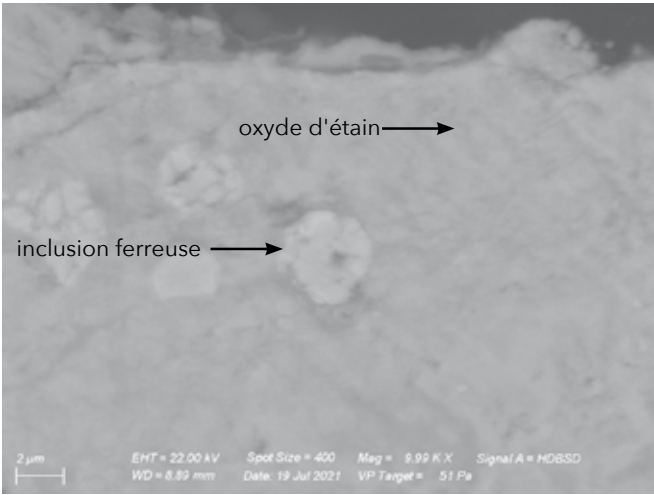
Spectre d'émission de rayons X de l'échantillon PM3 (couche n°2).



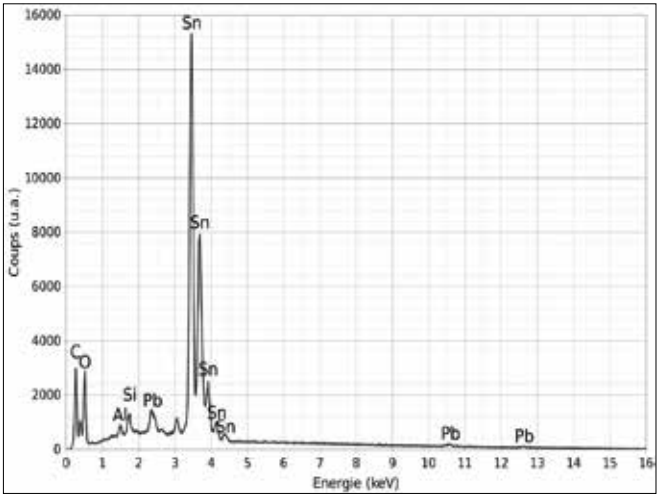
Vue en microscopie électronique à balayage de la section transversale polie de l'échantillon PM3 (détail des couches 2 et 2b)



Spectre d'émission de rayons X de l'échantillon PM3 (couche n°2b).



Vue en microscopie électronique à balayage de la section transversale polie de l'échantillon PM3, couche 4. Grandissement d'origine: x9990.



Spectre d'émission de rayons X de l'échantillon PM3 (couche n°4).



*Expertise, formation et animation naturalistes pour la
préservation des écosystèmes et la conservation du patrimoine*

**Caractérisation d’organismes biologiques
en l’église médiévale de
Sainte Croix en Jarez (42)**

Réf. BioDev-mlhl : R20201220

Auteur : Jacques PAGES

20 Décembre 2020

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Contenu	
1. Objet de l’étude	3
2. Echantillons	4
2.1. Localisation des prélèvements.....	4
2.2. Echantillon M1	5
2.3. Echantillon M2	8
2.4. Echantillon M3	11
3. Conclusion.....	14

2
/
14

BioDev’ mlhl

Association Loi 1901 n° 34100145 – N° SIRET 49452630400014 - Code APE 9499Z
La Gineste 34 610 ROSIS - Tél. : 04 67 23 00 67 / 06 84 55 79 72
Email : biodev-mlhl@laposte.net – Site : www.biodev-mlhl.org

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

1. Objet de l’étude

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Méthodes :

Des observations au stéréo-microscope et au microscope photonique en transmission ont été réalisées pour caractériser les espèces présentes sur les échantillons.

Réception :

Echantillonnage reçu le 11-12-2020.

Identification des échantillons :

- M1
- M2
- M3

3
/
14

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

2. Echantillons

2.1. Localisation des prélèvements



4
/
14

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

2.2. Echantillon M1

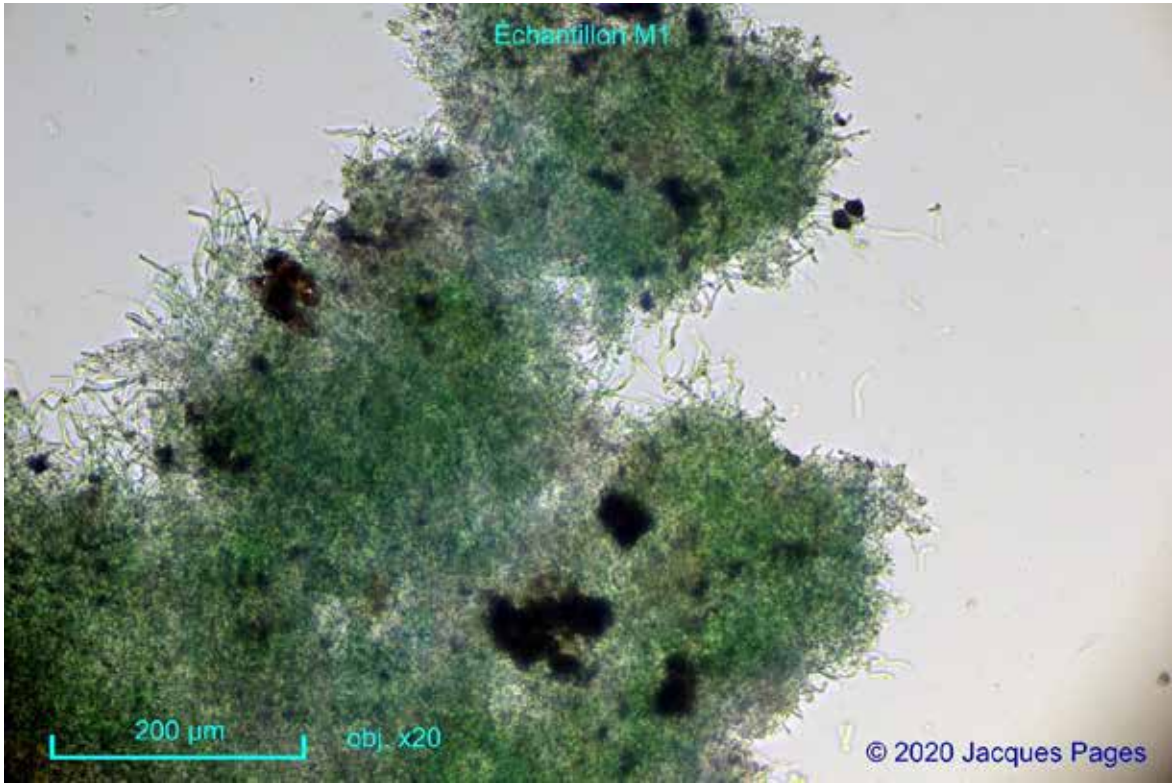
Ci-dessous, l’échantillon **M1** reçu.
Celui-ci est d’un vert foncé plus ou moins dense en fonction du taux de recouvrement.



5 / 14

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Au microscope, à grossissement moyen (x200), la vue ci-dessous fait apparaître un entrelacement dense de filaments, de probables trichomes de cyanophycées.



6 / 14

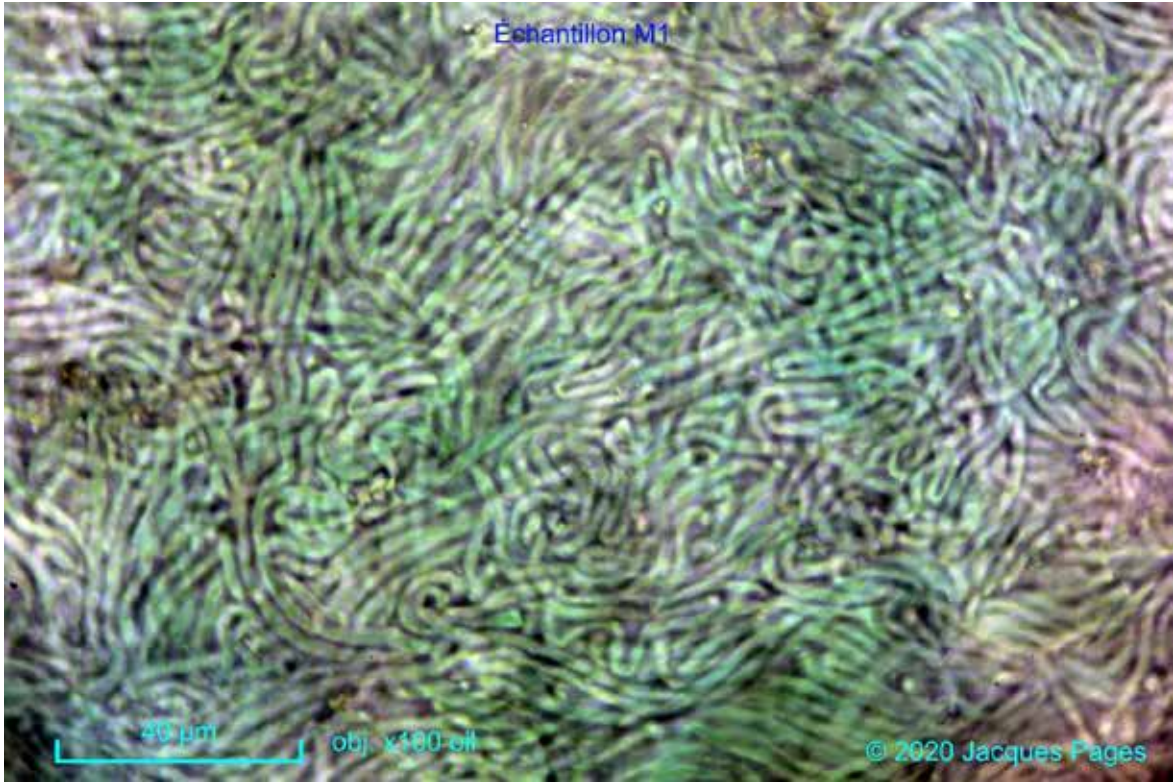
Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

2.3. Echantillon M2

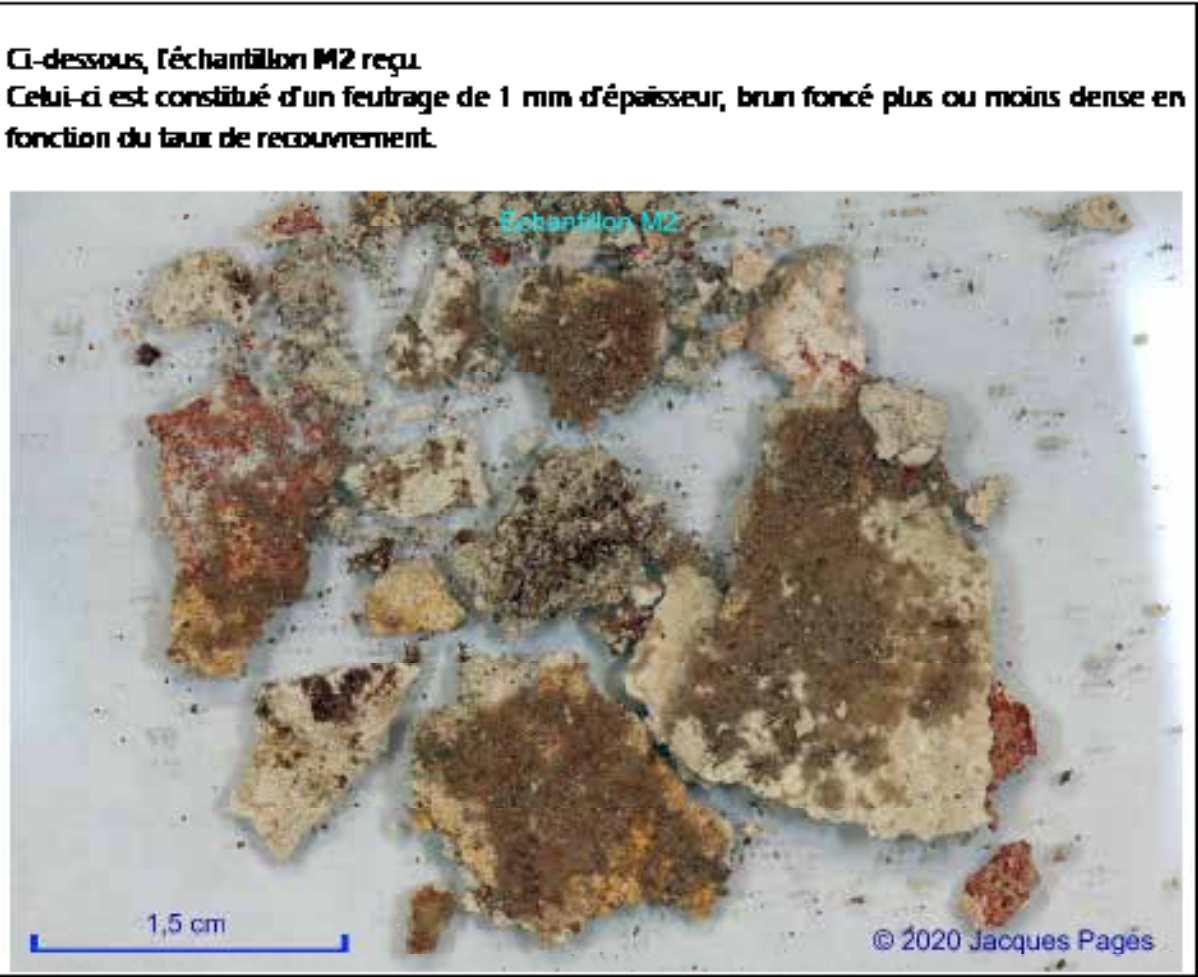
Au microscope, à très fort grossissement (x1000), la vue ci-dessous confirme la nature du recouvrement. Nous sommes en présence d’une dense prolifération de cyanobactéries filamenteuses.

Ces trichomes (filaments), formés de cellules cylindriques de 3 µm de diamètre sur 3 à 4 µm de long, font partie du Genre *Leptolyngbya* / *Phormidium*. Il s’agit probablement de : *Phormidium molle* Gomont, 1892 de l’Ordre des *Oscillatoriales*.



Echantillon M1 :

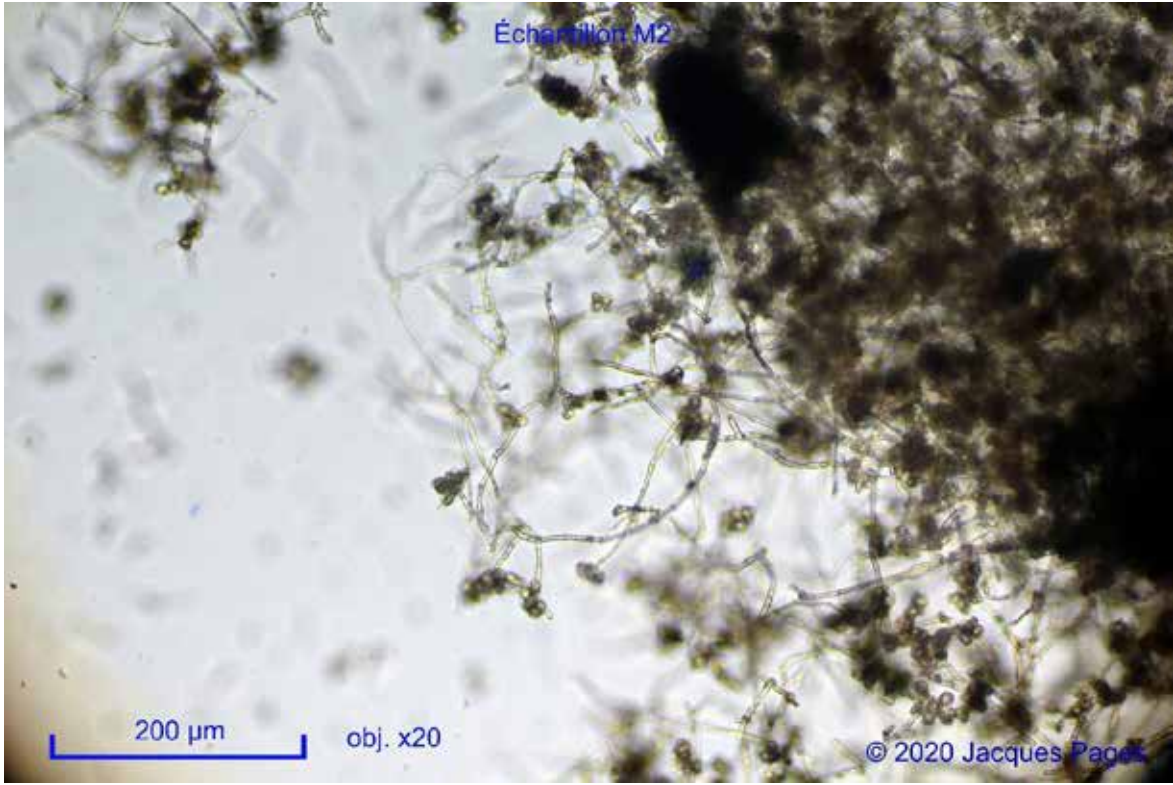
- Absence de Bryophyte.
- Absence de Lichen.
- **Présence d’algues « bleues » (Cyanophytes)**
- Absence d’algues « vertes ».
- Absence de micromycètes.



Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Au microscope, à grossissement moyen (x200), la vue ci-dessous fait apparaître un entrelacement de filaments, probables hyphes de micromycètes, et de petits amas liés à ces hyphes.



9
/
14

Au microscope, à très fort grossissement (x1000), la vue ci-dessous confirme la nature du recouvrement. Nous sommes en présence d’un dense feutrage d’hyphes de micromycètes.

Ces hyphes cloisonnées sont vides et semblent inactives d’où leur couleur brunâtre. Les amas ne sont pas identifiables mais sont de probables amas d’algues desséchées, inactives.



10
/
14

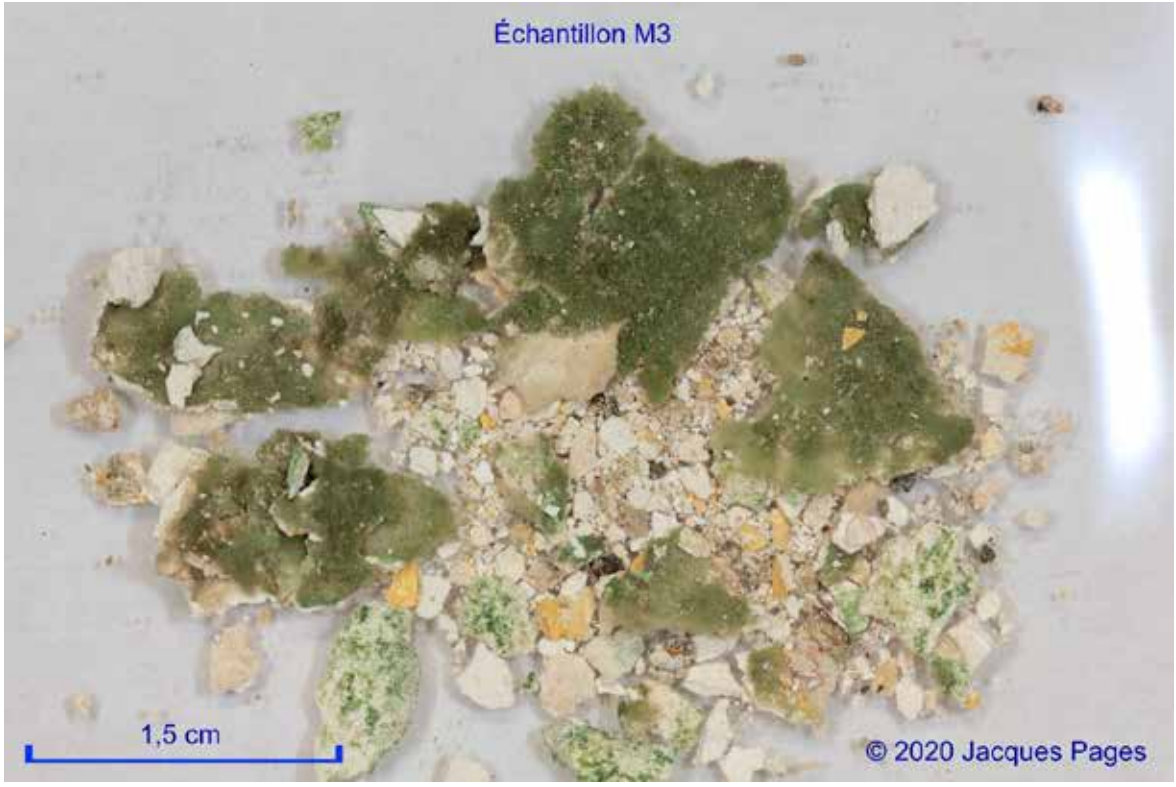
Echantillon M2 :

- Absence de Bryophyte.
- Absence de Lichen.
- Absence d’algues « bleues » (Cyanophytes)
- **Présence d’algues « vertes » non libres, inactives.**
- **Présence de micromycètes inactifs.**

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

2.4. Echantillon M3

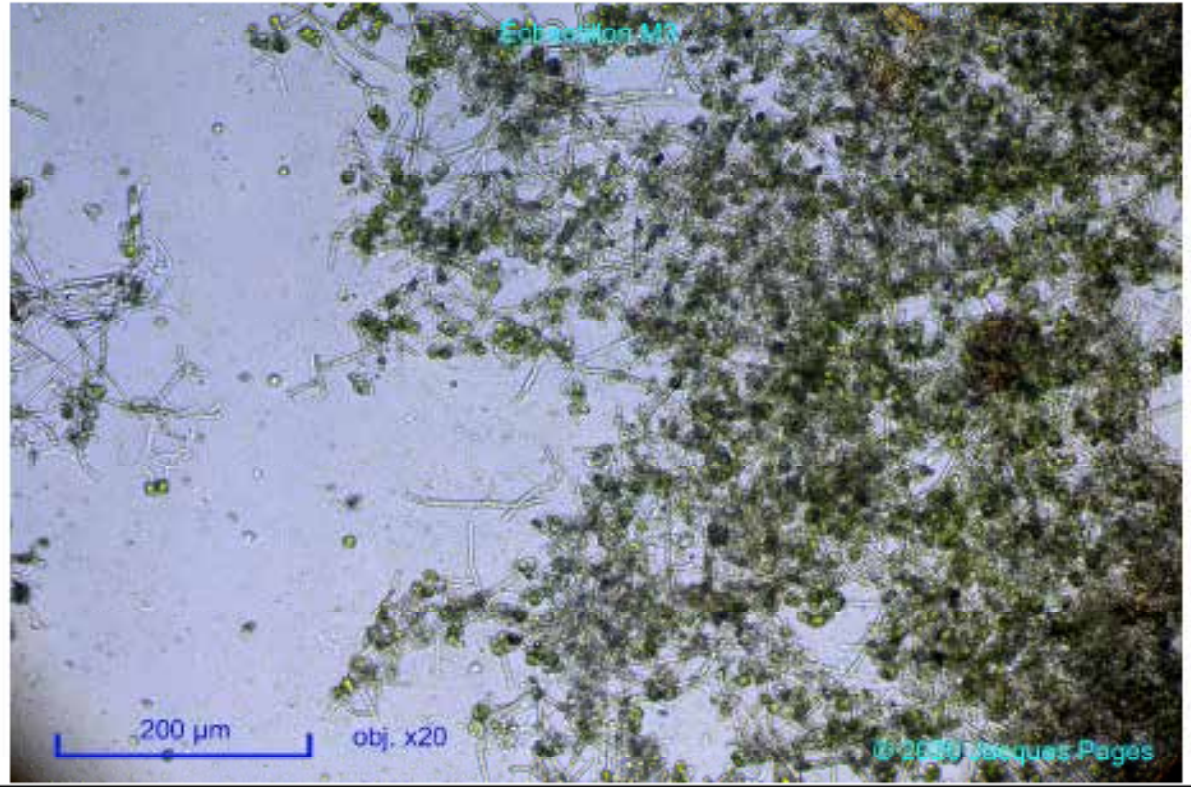
Ci-dessous, l’échantillon **M3** reçu.
Celui-ci est constitué d’un épais feutrage, 1 à 2 mm d’épaisseur, brun-verdâtre.



11
/
14

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Au microscope, à grossissement moyen (x200), la vue ci-dessous fait apparaître un entrelacement de filaments, probables hyphes de micromycètes, et de petits amas liés aux hyphes.



12
/
14

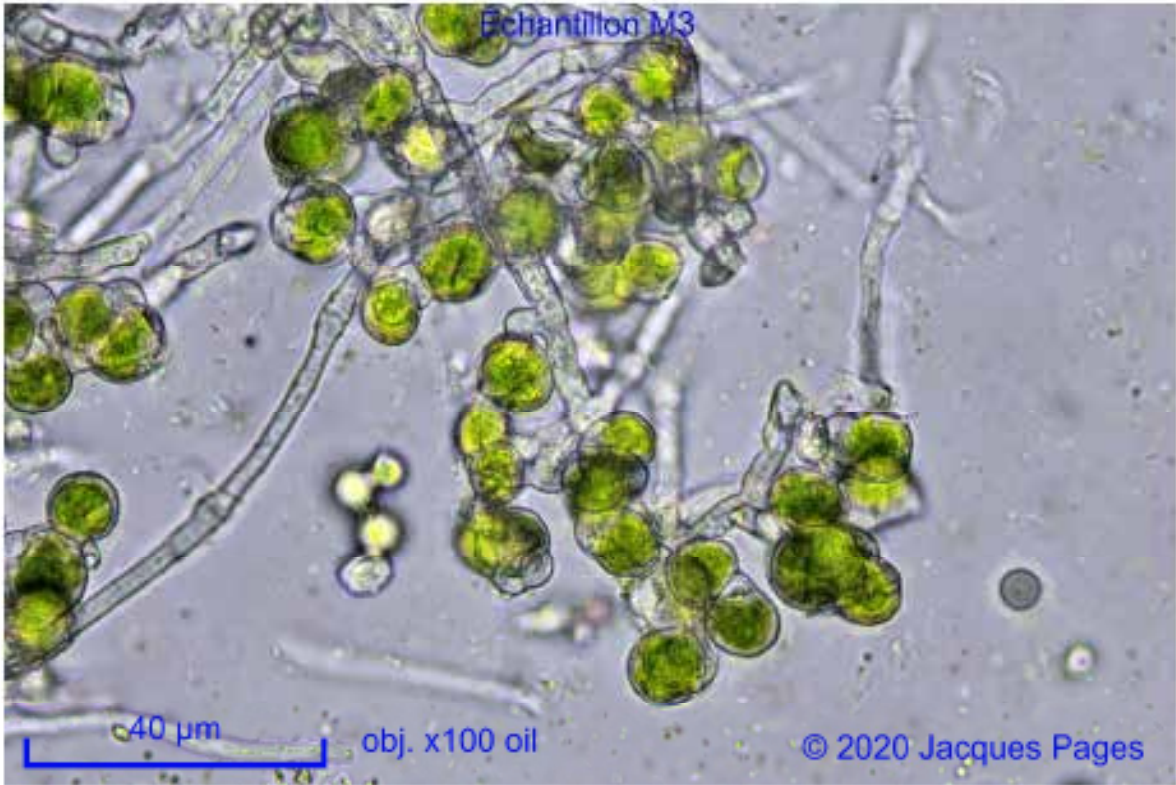
Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Caractérisation d’organismes biologiques en l’église médiévale de Sainte Croix en Jarez (42)

Au microscope, à très fort grossissement (x1000), la vue ci-dessous confirme la nature du recouvrement. Nous sommes en présence d’un épais feutrage d’hyphes de micromycètes analogues à l’échantillon M2.

Ces longues hyphes, de 30 à 40 µm de long, cloisonnées, parfois bouclées, formant quelques fausses branches, ont régulièrement capté des cellules d’algues vertes.

Nous sommes en présence d’un mycète en cours de lichénisation, c’est-à-dire de la formation d’une symbiose champignon/algue, typique de la symbiose des lichens.



Echantillon M3 :

- Absence de Bryophyte.
- Absence de Lichen formé.
- Absence d’algues « bleues » (Cyanophytes)
- Présence d’algues « vertes » non libres, actives.
- Présence de micromycètes actifs.

L’échantillon M3 est très semblable à M2, mais M2 est mort.

3. Conclusion

Ecologie des espèces

En raison de leur capacité à résister à la dessiccation grâce à leurs gaines (ou mucilages), les cyanobactéries sont souvent une composante principale des biofilms. Elles peuvent également se protéger du rayonnement ultraviolet en synthétisant des pigments protecteurs (souvent de couleur noire, parfois violette ou brune).

Phormidium molle présent dans M1 n’échappe pas à la règle ; Il ne nécessite qu’un faible éclaircissement et une bonne humidité, tout en résistant à une sécheresse passagère.

Pour les micromycètes en cours de lichénisation, il est probable que sur la localisation de M2 celui-ci s’est retrouvé dans des conditions défavorables de croissance et a dépéri.

En M3 les conditions sont plus favorables et sa croissance se poursuit.

Les algues associées sont aérohygrophiles, et nécessitent donc une bonne humidité atmosphérique pour se développer et vivre libres. La captation par un micromycète qui les enveloppe leur permet de supporter une dessiccation passagère.

Tableau récapitulatif des contaminations biologiques

	M1	M2	M3
Bryophytes	Absents	Absents	Absents
Algues « vertes » non libres	Absentes	Présentes Inactives	Présentes Actives
Algues « bleues » (Cyanophytes)	Présentes Actives	Absentes	Absentes
Micromycètes	Absents	Présents Inactifs	Présents Actifs
Lichens	Absent	Absent	Absent

VIRGINIA DE BILLERBECK
Contrôles biologiques du patrimoine culturel et bâti
Expert Près la Cour d'Appel de Paris
21, rue des Quatre frères Peignot - 75015 Paris
E-mail : debillerbeck.expert@gmail.com

IN SITU CONSERVATION
Claire BIGAND
Conservation-restauration peinture murale et sculpture polychrome
80, chemin des Perrets
73470 Novalaise

RAPPORT D'ETUDE

Référence : M20/54

Objet de la demande : église médiévale Sainte Croix en Jarez (42) : Préconisations de traitement à la suite de l'identification des organismes biologiques par Biodev-mhl sur les décors peints à l'intérieur de l'église.

1. ECHANTILLONS

Les échantillons ont été prélevés par vos soins et envoyés à BioDev'mhl pour analyse. L'emplacement des prélèvements est indiqué dans la figure 1 et les altérations observées dans les figures 2 à 3 à la fin de ce rapport.

Echantillon	Type de colonisation	Situation
M1	Colonisation biologique vert foncé plus ou moins dense	Mur Est, dans la partie inférieure de la baie
M2	Colonisation biologique marron plus ou moins dense	Mur Est, sur la bordure du mur autour de la baie
M3	Colonisation biologique brun-verdâtre (épais feutrage de 1 à 2 mm d'épaisseur)	Mur Est, à l'angle de la paroi Est-Sud

2. RESULTATS

Les observations des échantillons au microscope stéréoscopique et photonique effectuées par Jacques Pages (voir le compte rendu Réf. BioDev'mhl R20201220) ont révélé que :

- La colonisation vert foncé observée sur l'échantillon M1 est constituée de cyanobactéries filamenteuses (également appelées « algues bleues ») de l'ordre des Oscillatoriales, probablement *Phormidium molle* ;
- Le recouvrement marron sur l'échantillon M2 est constitué d'un micromycète, lié à d'algues vertes inactives, desséchées. Il s'agit probablement d'un lichen desséché ;
- Le recouvrement brun-verdâtre sur l'échantillon M3 est constitué d'un micromycète, lié à d'algues vertes actives. Il s'agit d'un lichen en formation.

Note : le lichen est une symbiose, c.à.d. une association à bénéfices réciproques entre un champignon et une algue. Le mycobionte : c'est le champignon (micromycète) constituant le lichen, il fournit le support, les sels minéraux et la réserve d'humidité. Le photobionte : c'est l'algue constituant le lichen, elle fournit les nutriments issus de la photosynthèse.

3. CONCLUSION ET MESURES CURATIVES ET PREVENTIVES

Les organismes qui se développent sur les supports sont des organismes photosynthétiques (cyanobactéries, algues, lichens en formation), ils ont donc besoin de lumière pour se développer. Leur présence indique que le support est régulièrement mouillé ou humide, même s'ils sont capables de résister à une dessiccation passagère, comme expliqué dans le rapport de Jacques Pages.

En effet, on observe que le développement de ces organismes est assez localisé sur les parois à l'intérieur de l'église. Par exemple, sur le mur Est, les cyanobactéries se développent à proximité de la baie, au niveau de la partie inférieure (figure 2). Cela correspond sans doute à une infiltration d'eau due à un problème d'étanchéité des baies.

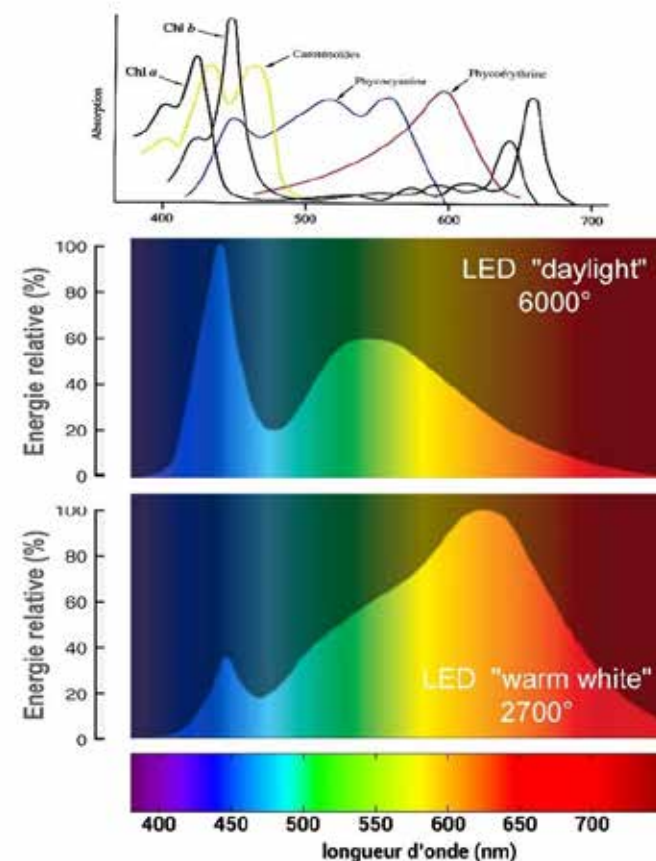
L'angle de la paroi Est-Sud, où des lichens sont en formation, semble correspondre à une zone humide, d'où la nécessité de vérifier l'étanchéité de la toiture et l'évacuation des eaux pluviales. Noter également que les zones de « déplacage » (rupture entre le support et le revêtement) ou de badigeons superposés entraînent des craquelures et des aspérités où se déposent les particules de poussière qui véhiculent des algues et des champignons et où se développent préférentiellement les organismes biologiques.

Il en est de même pour la paroi Nord, le développement d'organismes photosynthétiques suit une ligne verticale à l'angle du mur (figure 3), indiquant un problème d'infiltration d'eau dont la cause est à rechercher.

Il faudra donc, avant d'appliquer un traitement biocide ou procéder à la restauration de ces décors, vérifier l'étanchéité des baies et de la toiture et l'améliorer si nécessaire afin d'éviter les infiltrations d'eaux de pluie.

En ce qui concerne l'éclairage, il sera difficilement maîtrisable du fait de la lumière naturelle en provenance des baies.

On peut cependant faire varier la puissance et la longueur d'onde des lampes d'éclairage afin de réduire au maximum l'activité photosynthétique des organismes. Par exemple, choisir des lampes LED « warm white » avec une température de couleur ne dépassant pas 3000° K. C'est le meilleur choix en LED car elle n'émettra qu'à partir de 550 jusqu'à 800nm, sachant que les chlorophylles, pigments que l'on trouve dans les algues « vertes », absorbent à 450 nm (bleu) et 650 nm (rouge), comme l'indique la figure ci-dessous.



Mais les lumières absorbées par les phycocyanines, pigments photosynthétiques des Cyanobactéries (algues « bleues ») sont bien émises par une LED blanche (absorption du bleu à l'orange de 420 à 600 nm). On voit également que le spectre émis à 3000°K recouvre

quand même le haut du spectre d'absorption des Cyanobactéries et les pics d'absorption des chlorophylles a et b. Donc la croissance des algues « vertes » et « bleues » sera quand même favorisée. **Pour réduire leur croissance, il faudra donc varier les autres paramètres environnementaux, par exemple, la durée de l'éclairage, mais surtout l'apport d'eau à la surface des murs.**

Les substrats avec des colonisations biologiques peuvent être nettoyés et traités avec un produit biocide (algicide, bactéricide et fongicide). Les conseils d'emploi pour une meilleure efficacité de ces substances biocides sont les suivants (voir également les fiches techniques de quelques produits en annexe) :

- **Faire des essais préalables de compatibilité et d'efficacité** sur une petite surface du matériau à traiter avant de traiter l'ensemble ;
- **Le produit doit être appliqué** (avec un pinceau, des compresses ou au pulvérisateur) **pendant 2 jours consécutifs**, à raison d'une application par jour à la concentration préconisée par le fabricant ;
- **Laisser agir au moins 4 à 5 semaines** pour obtenir une action complète, c'est-à-dire le dessèchement des recouvrements ;
- **Quand les recouvrements sont bien desséchés** (donc morts), ils s'éliminent facilement par **brossage doux, à sec** ;
- Après élimination des recouvrements, une dernière pulvérisation du biocide sur le matériau propre assure un effet préventif.

Fait à Paris, le 31 décembre 2020,

V. G. DE BILLERBECK
Docteur en Microbiologie
Expert Près la Cour d'Appel de Paris
Spécialité : Polluants du bâtiment

Annexes :

- Photographies montrant la situation des prélèvements et les altérations observées.
- Compte rendu du 21 décembre 2020 « Caractérisation d'organismes biologiques en l'église médiévale de Sainte Croix en Jarez » par Jacques PAGES (réf. BioDev'mlhl R20201220).
- Fiche technique du Net Toit, fournisseur Johnson Diversey.
- Fiches techniques du Biotin T et du Biotin R, fournisseur CTS France.

Annexe : Photographies montrant la situation des prélèvements et les altérations observées.



Figure 1. Mur Est. Situation des prélèvements M1, M2 et M3. Les prélèvements et photographies ont été effectués par In Situ Conservation.

La reproduction de ce document n'est autorisée que dans son intégralité



Figure 2. Mur Est. Altérations observées sur les décors peints. Les relevés et photographies ont été effectués par In Situ Conservation. Noter que la croissance d'algues et lichens en formation est localisée dans la partie inférieure de la baie et sur une ligne verticale à l'angle Est-Sud (à droite sur la photo).

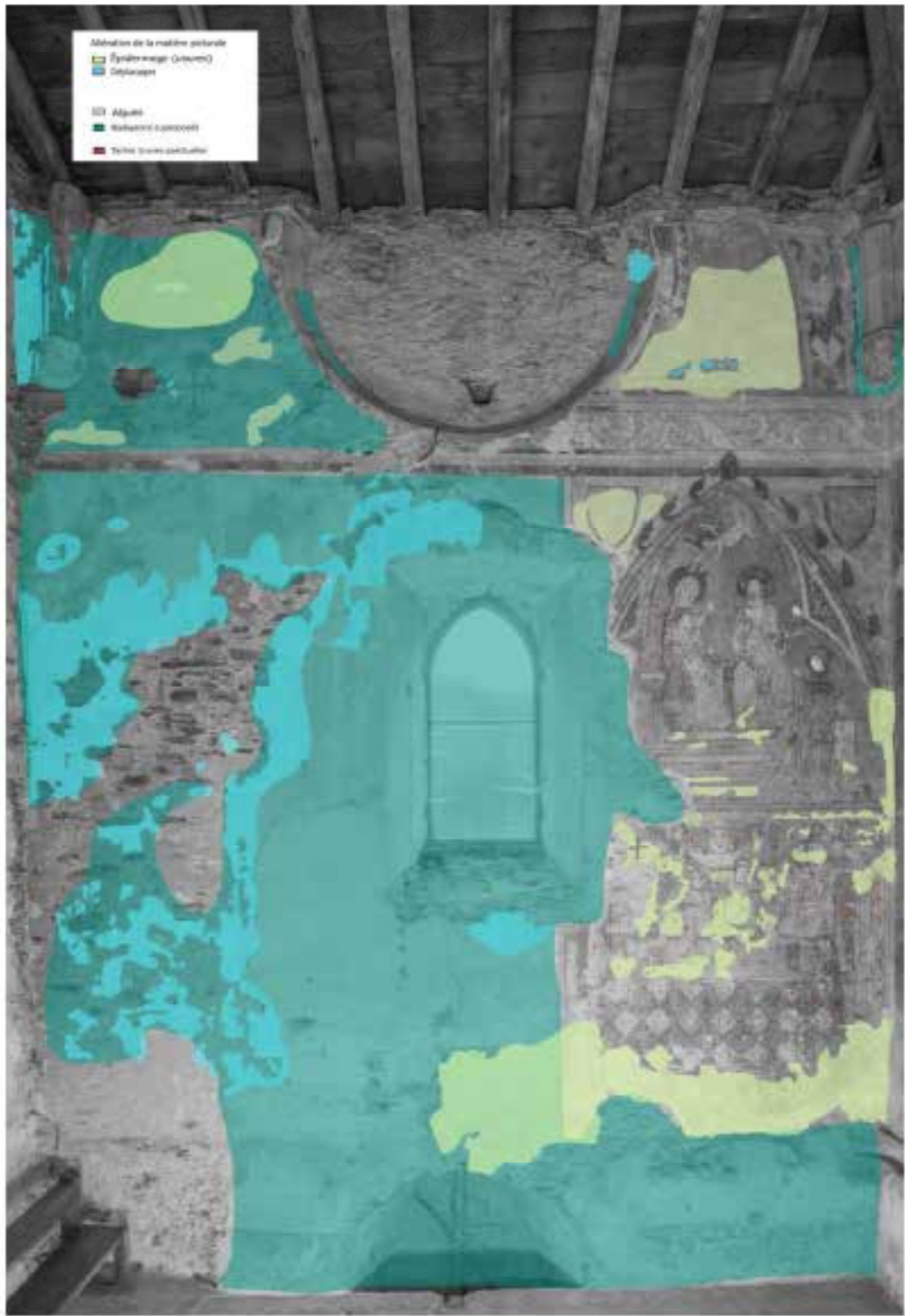


Figure 3. Mur Nord. Altérations observées sur les décors peints. Les relevés et photographies ont été effectués par In Situ Conservation. Noter que la croissance d'algues est localisée sur une ligne verticale à l'angle du mur Nord-Ouest (à gauche sur la photo).



Secteur Monuments Historiques

Siège Social
CRI-Biopôle – Bât. B
4, rue Carol Heitz
86000 POITIERS

☎ 05 49 46 18 11
✉ 05 49 45 40 26
www.erm-poitiers.fr

Bureaux et Laboratoire
Bâtiment B8-B35, 1^{er} étage
7, rue Albert Turpain
86000 POITIERS



CARACTERISATION DES ALTERATIONS
RESTAURATION DE L'EGLISE MEDIEVALE (PHASE 1)

LA CHARTREUSE
SAINTE-CROIX-EN-JAREZ (42)

Commanditaire : Mairie de Sainte-Croix-en-Jarez
14, cour des Frères
42800 SAINTE-CROIX-EN-JAREZ

N/Réf : AFF MAT-21-034– Lot d'échantillons 21 029

Mai 2021

Rédacteur :  C. MORIN	Vérificateur :  F. RASSINEUX
Diffusion du rapport : - Madame Claire BIGAND – In Situ Conservation – 1 exemplaire numérique - Monsieur Daniel TORGUES – Maire – 1 exemplaire papier	

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 3

2. INTERVENTION SUR SITE ET PRELEVEMENTS..... 3

 2.1. Observations sur site 3

 2.2. Les prélèvements..... 5

3. METHODES D’ANALYSES EN LABORATOIRE 5

 3.1. Analyse quantitative de sels solubles 5

 3.2. Analyse minéralogique de matériau brut pulvérulent (pierre) par
diffraction de rayons X 6

4. RESULTATS 7

 4.1. Analyse quantitative de sels solubles 7

 4.2. Analyse minéralogique des produits d’altération 8

5. SYNTHESE ET PRECONISAIONS 12

 5.1. Synthèse des résultats obtenus 12

 5.2. Préconisations 12

6. ANNEXES 14

1. INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de restauration de l’église médiévale de la Chartreuse à Sainte-Croix-en-Jarez (42), commandée par la commune. Plus précisément, le laboratoire ERM a été sollicité pour contribuer aux travaux de restauration de Madame Claire BIGAND, Restauratrice de peinture murale et sculpture polychrome, notamment pour une étude complémentaire sur la reconnaissance des altérations des supports des peintures murales.

Le laboratoire ERM est intervenu le 19 février 2021 pour effectuer une campagne de relevés et de prélèvements afin de définir la nature des altérations affectant les matériaux en place.

Ce rapport présente les détails de l'intervention avec la localisation des prélèvements réalisés au cours de cette campagne ainsi que les résultats des différentes analyses effectuées pour l’étude des altérations.

2. INTERVENTION SUR SITE ET PRELEVEMENTS

L’intervention sur site a été effectuée le 19 février 2021 par Madame Claire MORIN et Monsieur François RASSINEUX du laboratoire ERM, en présence de Madame Claire BIGAND, Restauratrice de peinture murale et sculpture polychrome.

2.1. Observations sur site

L’ensemble des observations réalisées lors de l'intervention est illustré sur les planches photographiques présentées sur les pages suivantes, elles portent essentiellement sur la présence de marque d’altération sous formes diverses (efflorescences, croûtes indurées...).



Illustrations des figures d'altérations de type desquamation, pulvérulence, présence d'efflorescences et de croûtes superficielles indurées.

2.2. Les prélèvements

Après examen des parements, le laboratoire ERM a défini en synergie avec la restauratrice, les emplacements des prélèvements apparaissant les plus appropriés pour reconnaître et identifier au mieux les différentes altérations affectant les matériaux présents par des observations et des analyses en laboratoire.

Pour évaluer la contamination saline, deux prélèvements ont été effectués par grattage en surface, en fonction de la localisation, de leur représentativité et de l'état d'altération observé sur les maçonneries.

Parallèlement, quatre échantillons d'efflorescences et/ou croûtes indurées ont été prélevés pour une caractérisation minéralogique.

Le tableau 1, ci-après, présente le référencement, la localisation ainsi que les analyses réalisées sur les échantillons prélevés. L'annexe I, à la fin de ce rapport, présente la localisation des différents prélèvements ainsi que le détail des zones prélevées.

Référence Prélèvements	Nature	Localisation	Analyses
SCJ1	Efflorescences	Paroi Est En partie basse sous la baie	Analyse minéralogique par diffraction de Rayons X
SCJ2	Croûte indurée	Paroi Est En partie basse sous la baie	Analyse minéralogique par diffraction de Rayons X
SCJ3	Grattage superficiel dans lacune	Paroi Est Lacune à droite du décor peint	Dosage de sels solubles (anions)
SCJ4	Efflorescences sur schiste	Paroi Nord En partie haute, à gauche de la baie	Analyse minéralogique par diffraction de Rayons X
SCJ5	Grattage superficiel dans lacune	Paroi Est En partie haute, lacune à droite de la baie	Dosage de sels solubles (anions)
SCJ6	Croûte indurée	Paroi Sud En partie basse, proche de l'angle Sud-Est	Analyse minéralogique par diffraction de Rayons X

Tableau 1 : Référencement des échantillons prélevés et analysés dans le cadre de cette étude
La localisation sur plan ainsi que le détail zones prélevées sont fournies en annexe I.

3. METHODES D'ANALYSES EN LABORATOIRE

3.1. Analyse quantitative de sels solubles

L'extraction des sels solubles a été réalisée selon le protocole ERM respectant la norme européenne NF EN 16455 : « Conservation du patrimoine culturel - Extraction et détermination de la teneur des sels solubles dans la pierre naturelle et les matériaux associés utilisés dans le

patrimoine culturel ». Les échantillons à réception sont séchés à l’étuve à 60°C, de manière à éviter des problèmes de modifications de la structure cristalline de certaines phases. En standard, l’extraction des sels solubles s’effectue à partir d’une prise d’essai de 100 mg du matériau sec mis en contact dans de l’eau distillée. La solubilisation des phases s’effectue avec un rapport solution/solide donné, par agitation mécanique durant 24 heures minimum. Le dosage des anions (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻) s’effectue dans le filtrat par chromatographie ionique (DIONEX DX 500) avec une colonne analytique AS 9 HS.

3.2. Analyse minéralogique de matériau brut pulvérulent (pierre) par diffraction de rayons X

La diffraction de rayons X a été réalisée selon la technique des poudres désorientées pour la caractérisation de la nature minéralogique des constituants des prélèvements de poudre de pierre présentant les taux de sels les plus élevés. L'acquisition du diffractogramme de rayons X a été réalisée sur un diffractomètre Bruker D8 Advance A25 équipé d'un goniomètre vertical et muni d'un détecteur rapide de type LynxEye. Le tube de rayons X est à anode de cuivre (radiation Cu Kα). Les conditions d'analyse sont 40 kV et 40 mA. Les diffractogrammes sont enregistrés et traités sur micro-ordinateur. Les conditions d’acquisition du diffractogramme sont : domaine angulaire balayé : 5 – 65 ° 2θ à une vitesse de balayage de 0,375 ° 2θ/min. L'identification des minéraux est réalisée par comparaison des résultats expérimentaux avec les informations fournies par la base de données de l’ICDD (International Center for Diffraction Data), qui reprend le fichier J.C.P.D.S. (base de données du "Joint Committee on Powder Diffraction Standards"), et avec la base de données I.C.S.D. (Inorganic Crystal Structure Database). Cette base de données recense la position et l’intensité des pics caractéristiques de plus de 50 000 composés inorganiques cristallisés.

Les phases minérales identifiées sur les diffractogrammes sont définies par leur nom, la fiche de référence JCPDS, leur formule chimique théorique et leur abondance. L'abondance est un indice empirique lié à l'intensité relative des raies de diffraction du minéral, observées sur le diffractogramme (il ne s'agit pas d'une quantification réelle), l'échelle utilisée est la suivante : +++ : très abondant, ++ : abondant, + : présence faible mais confirmée, ? : présence possible mais non certaine.

4. RESULTATS

4.1. Analyse quantitative de sels solubles

Le tableau 2, ci-après, présente les résultats des dosages de sels solubles (chlorures, sulfates et nitrates), exprimés en g/kg et en pourcentage massique des échantillons analysés.

Référence	Localisation	Chlorures		Sulfates		Nitrates	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
SCJ3	Paroi Est Lacune à droite du décor peint	1,8	0,18	2,7	0,27	5,7	0,57
SCJ5	Paroi Est En partie haute, lacune à droite de la baie	<0,5	<0,05	27,9	2,79	3,7	0,37

Tableau 2 : Teneurs en chlorures, sulfates et nitrates extraits en g/kg et pourcentage massique des échantillons prélevés lors de la campagne de prélèvements du 19 février 2021. Les salinités supérieures aux valeurs limites couramment admises sont signalées en rose. En hachure diagonale, valeurs inférieures aux recommandations actuelles mais notables car pouvant être associées sous forme d'espèces "nocives" si combinés avec des cations autres que le calcium.

REMARQUE GENERALE : Lorsque les concentrations en sels solubles sont importantes, elles sont néfastes à la durabilité de la roche (amplification des phénomènes d'altération). Les recommandations énoncées dans le fascicule "Ouvrages en pierres de taille" (ministère de la Culture – Février 2003**), indiquent que lorsque les concentrations respectives dépassent le seuil des 5 % pour les sulfates de calcium (gypse), des 0,1% pour les chlorures et les sulfates autres et des 0,5 % pour les nitrates elles sont dangereuses pour la pérennité des roches. La majorité des sels sont présents dans la porosité ouverte de la roche, la réalisation d'actions de dessalage apparaît donc souvent indispensable avant l'application d'éventuels traitements (consolidant, hydrofuge,...) pour une bonne efficacité de ces derniers et une bonne conservation du support pierreux. Ces valeurs indicatives ne sont que des valeurs moyennes et varient en fonction de la nature des sels présents, de celle de la roche et notamment de son espace poral.

Valeurs seuil pour les anions		
Anion	WTA* % pondéral	LRMH ** % pondéral
Chlorures	0,1	0,1
Nitrates	0,15	0,5
Sulfates	0,25	5,0 pour le gypse 0,1 pour les autres sulfates

Tableau 3 : Recommandations des valeurs seuils de concentration en anions pour différents sels nocifs selon la Directive pour le dessalement des milieux poreux (2013), basée sur les résultats obtenus par le projet Européen : "Desalination - Assessment of Desalination Mortars and Poultrices for Historic Masonry, Contract no.: 022714 (2006-2009)"

*WTA : Association Scientifique et technique pour l'entretien et la préservation du bâtiment (Allemagne) (directive WTA 13.3.01/E),
**LRMH : Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (Ministère de la Culture et de la communication, sous la direction des monuments historiques, mission étude et travaux ed. 2003. Ouvrages en pierre de taille: fascicule technique, cahier des clauses techniques particulières, mode de métré, bordereau de prix unitaire. 219p).

Au vu des recommandations mentionnées ci-avant, les résultats montrent une contamination saline importante à proximité du décor peint de la paroi Est **[SCJ3]**. En effet, les teneurs en chlorures et nitrates mesurées sur cette zone sont supérieures aux recommandations actuelles pour une bonne conservation des matériaux. Le prélèvement effectué dans une lacune en partie haute de cette même paroi **[SCJ5]** montre une contamination saline moins significative, avec des teneurs en chlorures et nitrates assez faibles, inférieures aux valeurs limites recommandées.

En ce qui concerne les concentrations en sulfates, elles sont notables, mais inférieures aux valeurs seuils dans le cas elles seraient associées uniquement à du calcium (non dosé dans le cadre de cette étude) sous forme de gypse. La présence de cette espèce est confirmée dans le paragraphe suivant avec l’analyse minéralogique des efflorescences et croûtes indurées.

4.2. Analyse minéralogique des produits d’altération

Une analyse minéralogique par diffraction de rayons X a été réalisée sur quatre prélèvements d’efflorescence et/ou croûtes indurées afin d’identifier les phases le composant.

La composition chimique théorique des minéraux identifiés sur les diffractogrammes de rayons X obtenus (figure 1 à 4) sont consignées dans le tableau 4, ci-après.

L’analyse minéralogique réalisée sur les prélèvements d’efflorescences (**[SCJ1]** et **[SCJ4]**) et/ou croûtes superficielles indurées (**[SCJ2]** et **[SCJ6]**) met en évidence, outre les minéraux constitutifs du support et de poussières minérales (quartz, feldspaths, micas, argile (?)), la présence de sels solubles essentiellement sous forme de calcite (carbonates de calcium), nitre ou « salpêtre » (nitrates de potassium), »), de gypse (sulfate de calcium) et dans une moindre mesure, une autre variété de sulfates : la thénardite (sulfate de sodium).

Le gypse et la calcite sont des phases peu dangereuses (relativement peu solubles et non hygroscopiques), il s’agit de phases d’altération faiblement nocives lorsqu’elles sont peu présentes. Leur abondance significative peut toutefois indiquer un degré important d’altération de la maçonnerie. L’autre espèce de sulfates identifiée (thénardite) est par contre considérée comme une espèce très nocive, entraînant des désordres importants et participants très activement aux phénomènes de dégradation des matériaux inorganiques poreux composant les maçonneries (pierres et mortiers).

D’autres phases de type sels solubles peuvent être présentes mais ne sont pas formellement identifiées par diffraction de rayons X car elles ne se trouvent pas à l’état solide et cristallisé ou sont présentes en quantité inférieure à la limite de détection de la technique analytique (0,5 à 1% de la masse).

Référence échantillon	Localisation	Minéraux identifiés	Code couleur	Formule	Abondance
SCJ1	Paroi Est En partie basse sous la baie	Quartz <u>Calcite</u> <u>Gypsum</u> <u>Niter</u>	-	SiO ₂ CaCO ₃ CaSO ₄ . 2H ₂ O KNO ₃	+ + + +++
SCJ2		Quartz Muscovite Orthoclase <u>Calcite</u> <u>Gypsum</u> <u>Thénardite</u> <u>Niter</u>	- - - - -	SiO ₂ KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂ KAlSi ₃ O ₈ CaCO ₃ CaSO ₄ . 2H ₂ O Na ₂ SO ₄ KNO ₃	+++ + + ++ +++ + ++
SCJ4	Paroi Nord En partie haute, à gauche de la baie	Quartz Muscovite Biotite <u>Calcite</u> Chamosite Albite <u>Thénardite</u>	- - - -	SiO ₂ KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂ K(Mg,Fe) ₃ (OH,F) ₂ (Si ₃ AlO ₁₀) CaCO ₃ (Fe ²⁺ ;Mg;Fe ³⁺) ₅ AlO ₁₀ (OH;O) ₈ NaAlSi ₃ O ₈ Na ₂ SO ₄	+++ ++ ++ + + + +
SCJ6	Paroi Sud En partie basse, proche de l'angle Sud-Est	Quartz <u>Calcite</u> <u>Gypsum</u> <u>Niter</u>	-	SiO ₂ CaCO ₃ CaSO ₄ . 2H ₂ O KNO ₃	+ + + +++

Tableau 4 : Composition chimique théorique des minéraux identifiés dans les échantillons prélevés lors de la campagne de prélèvements du 19 février 2021. Les minéraux en gras sont les phases majoritaires, les produits d’altération ou des phases dites de type « sels solubles » sont soulignés, en pointillé les phases pouvant provenir à la fois de constituants du support ou de cristallisations secondaires type sels solubles.

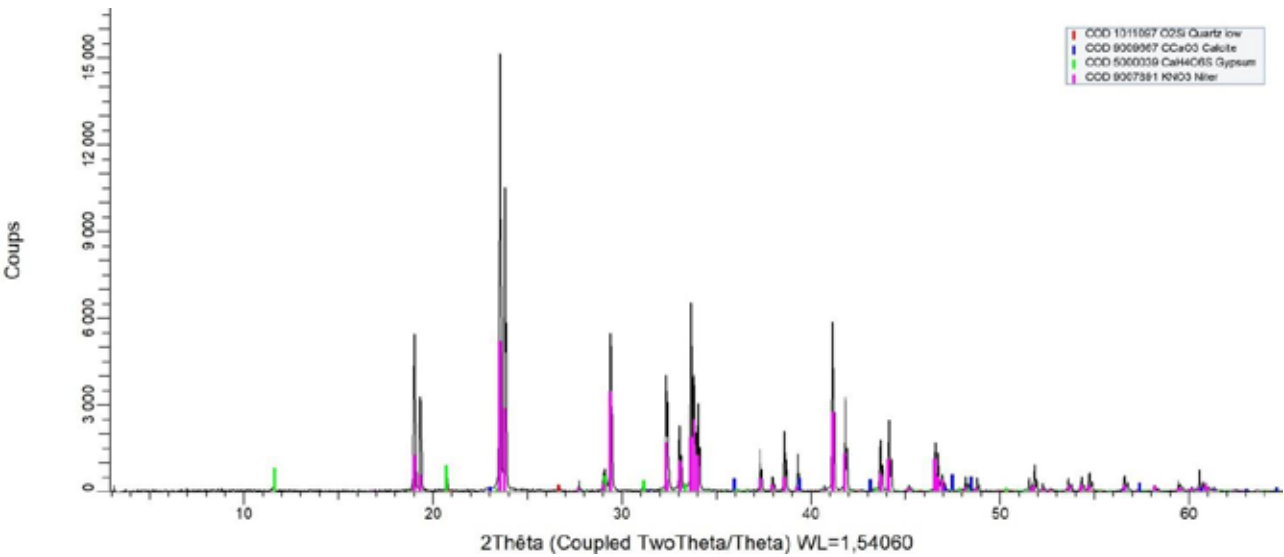


Figure 1 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l'échantillon SCJ1

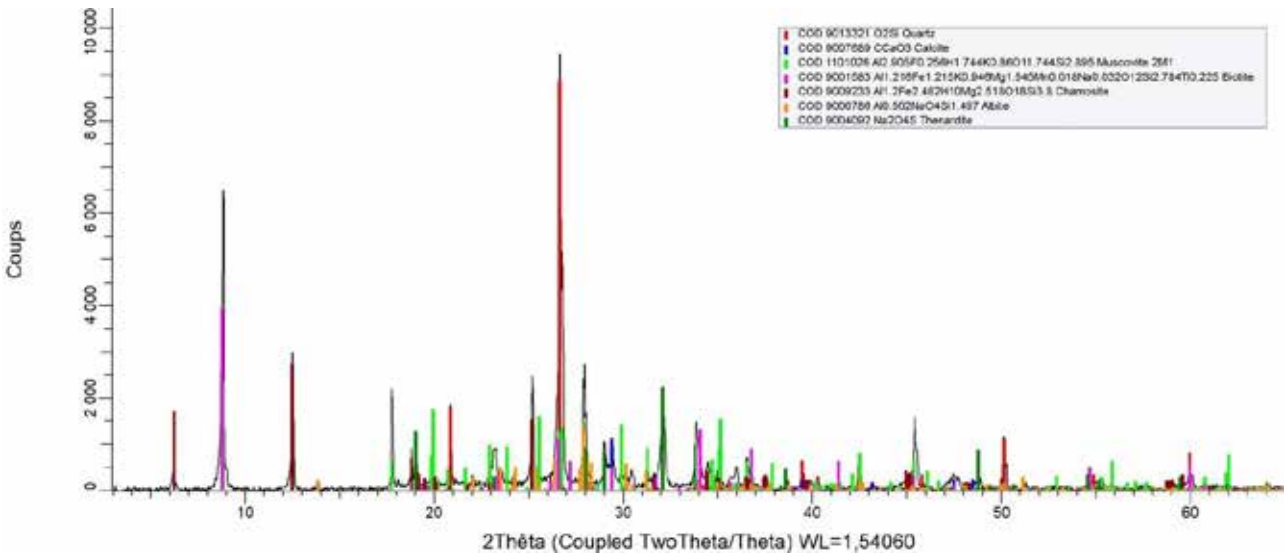


Figure 3 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l'échantillon SCJ4

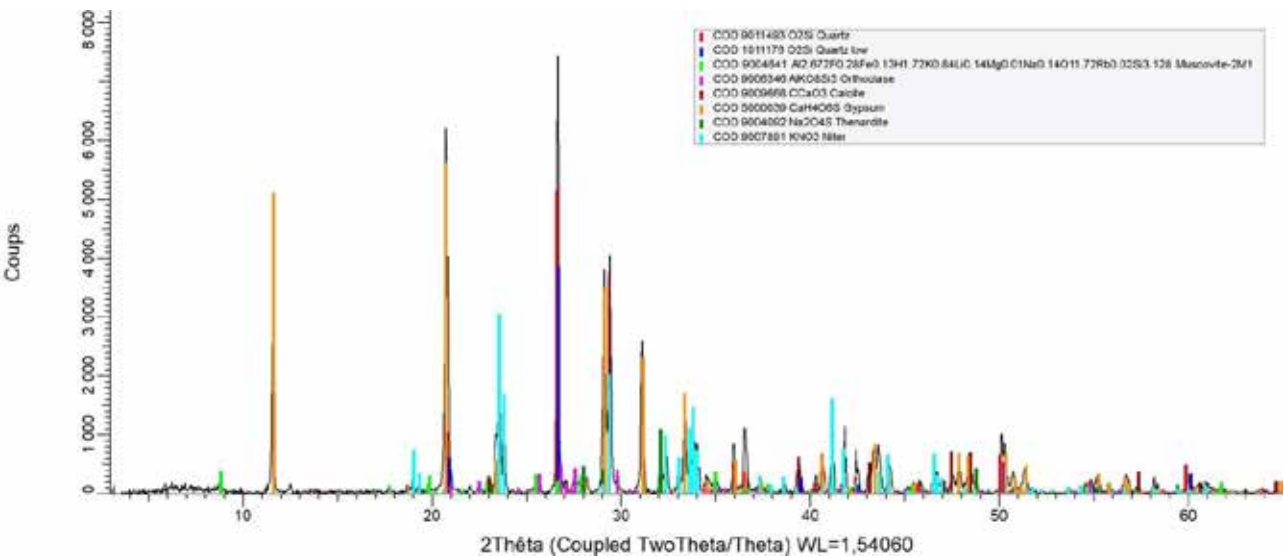


Figure 2 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l'échantillon SCJ2

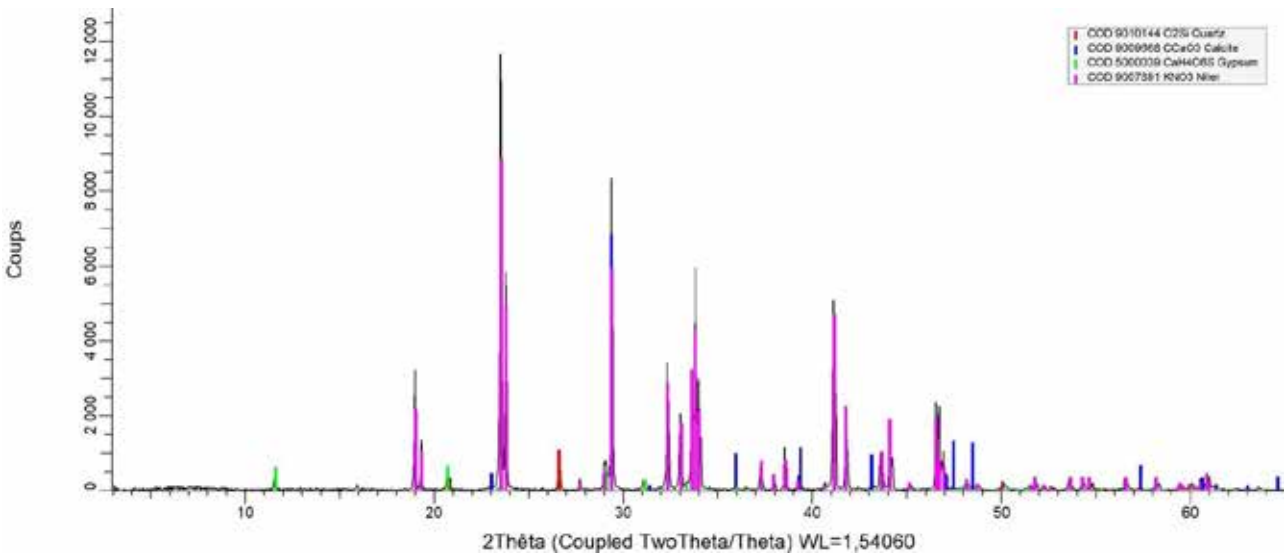


Figure 4 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l'échantillon SCJ6

Au vu de ces éléments, il est possible d’envisager certains protocoles de restauration afin de réduire ou du moins ralentir l’apparition de ces désordres.

Dans un premier temps, la combinaison d’un brossage et d’une aspiration permettront d’éliminer les efflorescences visibles en quantité importante sur certaines parties de la pièce.

Un contrôle de la température et d’humidité relative de la pièce permettrait de suivre les fluctuations hygrométriques à proximité des zones les plus sensibles (décors peints).

Les contaminations salines ne semblent pas être d'une ampleur telle qu'elles nécessiteraient un dessalement des maçonneries, toutefois, sur les zones nécessitant un traitement particulier, il est possible d’assainir le support par un dessalement ponctuel par compresse.

Avant d’envisager la mise en place d’un éventuel enduit sacrificiel sur les parties basses les plus touchées, il apparait essentiel de mettre en place et/ou de vérifier les dispositifs permettant de réduire les apports en eau permettant une dynamique hydrique favorisant une mobilité importante des sels afin de retarder et de limiter la dissolution des matériaux et la contamination saline des maçonneries. Sous réserve de l'absence de vestiges après vérification archéologiques, on peut envisager la création d'une petite tranchée d'aération passive en pied de mur intérieur pour créer une rupture de capillarité permettant d'abaisser l'amplitude et l'intensité des remontées capillaires. Cette tranchée est de dimension modeste (de l'ordre de 30 cm de largeur x 40 cm de profondeur sous le dallage avec un remplissage de granulat assez grossiers 10-20 mm).

En parallèle, il est nécessaire d’effectuer la révision et/ou la réparation éventuelle des toitures ainsi que la création ou l’amélioration du système d’évacuation des eaux pluviales de manière à limiter le ruissellement sur les parements de l’édifice. Avec une évacuation au plus loin de l’édifice avec des collecteurs et des gouttières pour lutter contre les apports directs d'eau en pied de mur avec infiltrations et les rejaillissements. Ceci apparaît aisément réalisable pour limiter les apports d'eau qui alimentent régulièrement les mécanismes de remontées capillaires en pied de mur.

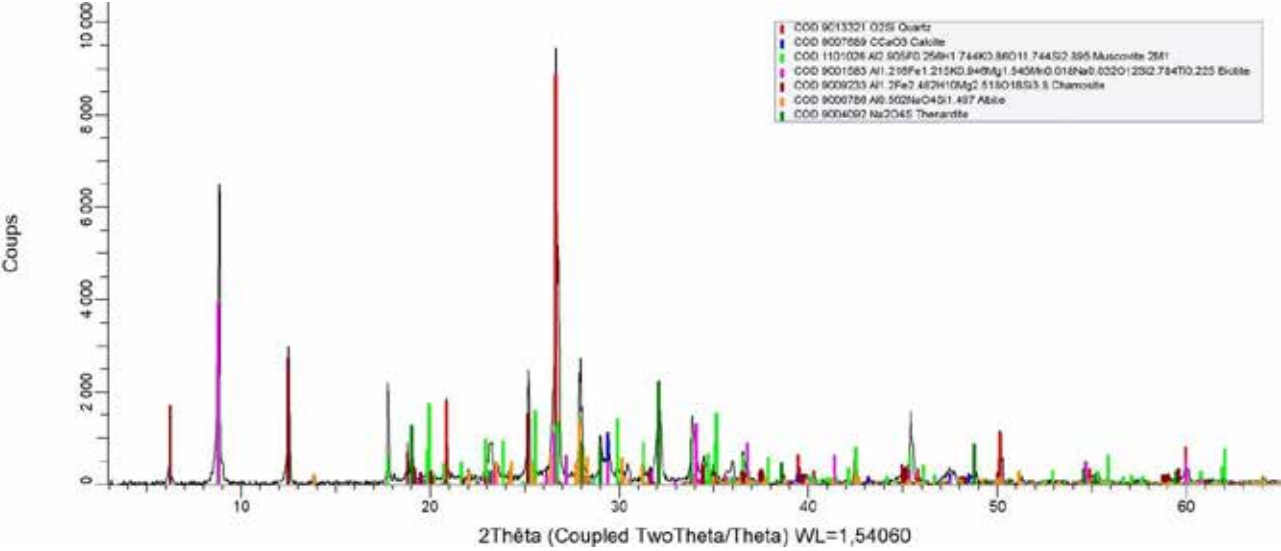


Figure 3 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l’échantillon SCJ4

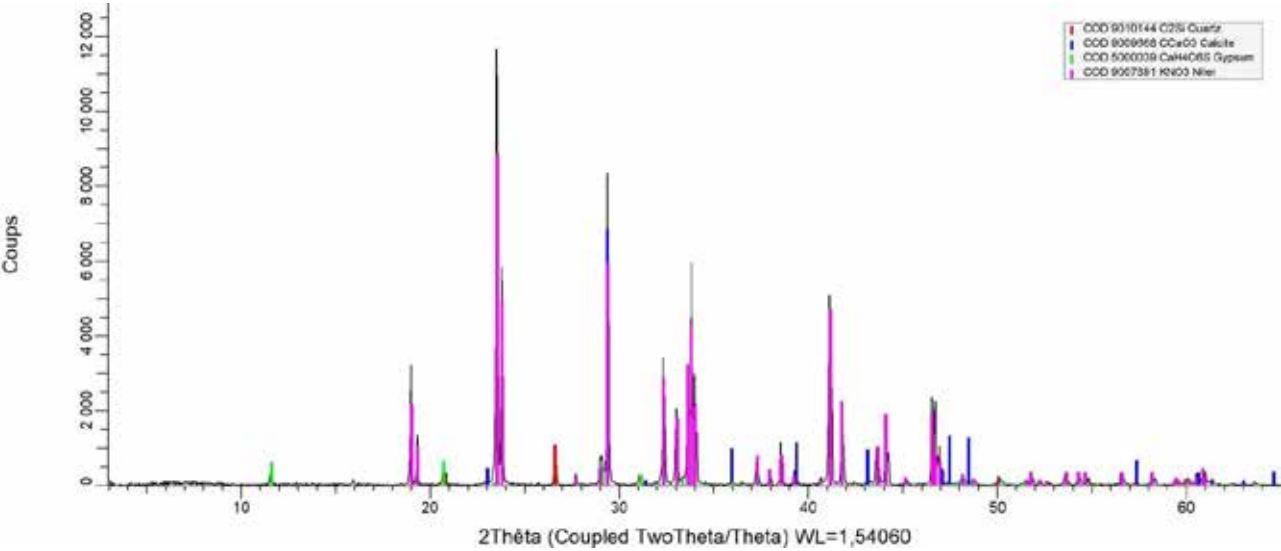


Figure 4 : Diffractogramme de rayons X sur préparation de poudre désorienté de l’échantillon SCJ6

6. ANNEXES

Annexe I : Localisation des prélèvements effectués pour caractérisation des altérations affectant les matériaux ainsi que clichés photographiques illustrant le détail des zones prélevées.

Fait à Poitiers, le 7 mai 2021

Annexe I

Localisation des prélèvements effectués pour caractérisation des altérations affectant les matériaux ainsi que clichés photographiques illustrant le détail des zones prélevées.

Intervention du 19 février 2021

Les résultats mentionnés ci-dessus ne sont applicables qu'aux échantillons tels qu'ils sont définis dans le présent document.

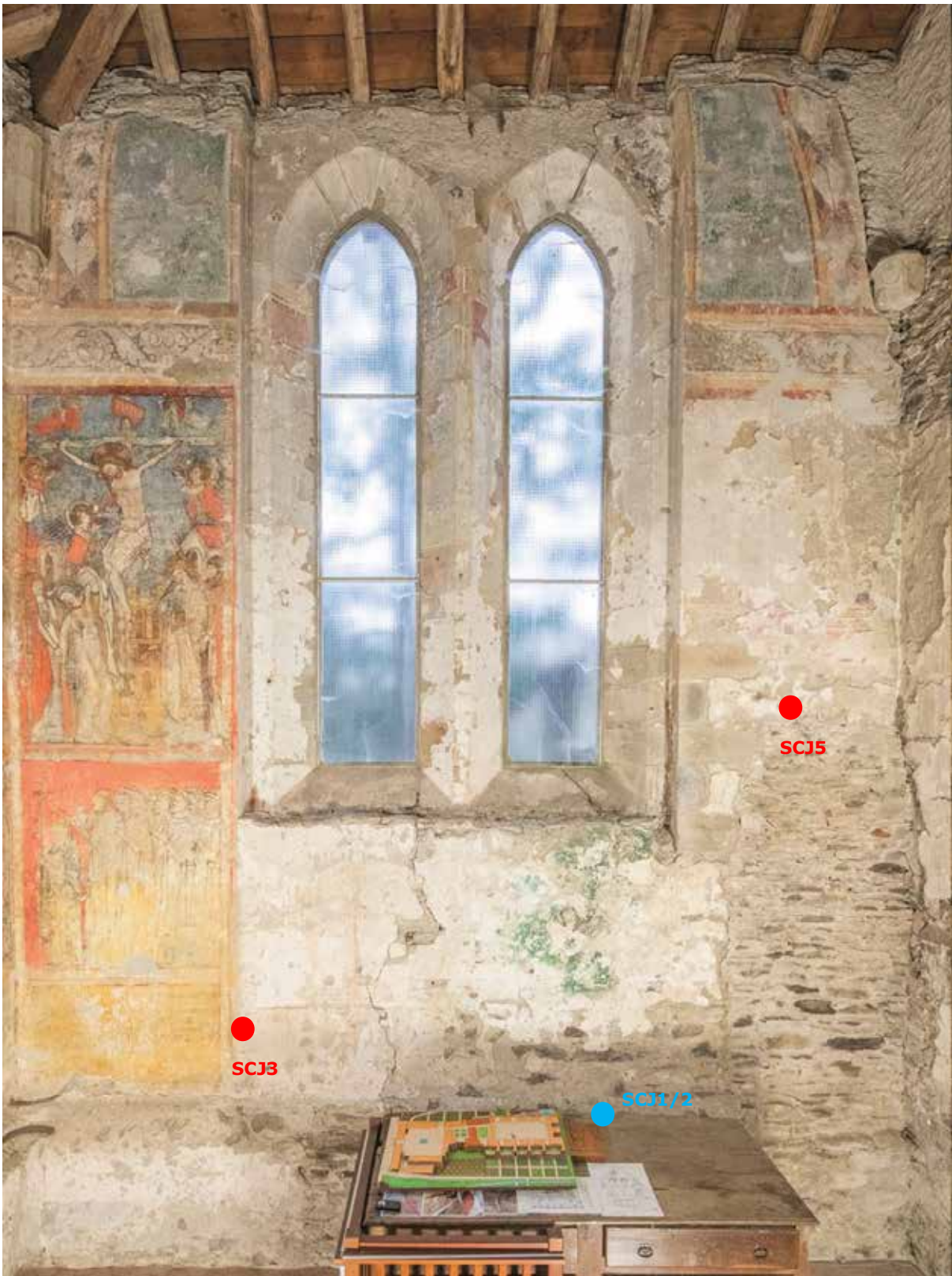
La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 19 pages. La reproduction partielle ne peut être réalisée qu'avec l'accord préalable de la société ERM.



Localisation sur extrait du plan orthophoto fourni par Madame BIGAND

Prélèvement de pierre pulvérulente (●) pour analyse minéralogique.

Paroi Nord
Eglise médiévale de la chartreuse
Sainte-Croix-en-Jarez (42)



Localisation sur extrait du plan orthophoto fourni par Madame BIGAND

Prélèvement de pierre pulvérulente (●) pour analyse minéralogique,
Prélèvement de poudre de pierre pour évaluation de contamination saline (●).

Paroi Est
Eglise médiévale de la chartreuse
Sainte-Croix-en-Jarez (42)



Localisation sur extrait du plan orthophoto fourni par Madame BIGAND

Prélèvement de plâtre polychrome (■) pour analyse minéralogique.

Paroi Sud
Église médiévale de la chartreuse

Détail des zones prélevées pour analyse minéralogique d'efflorescences et/ou croûtes indurées (●)



Détail des zones prélevées pour évaluation de contamination saline (■)





Marseille, le 15 février 2022

M. Roland MAY
Directeur

RAPPORT d'ÉTUDE :

Ville : Sainte-Croix-en-Jarez Département : 42 Bien culturel : ancienne église

OBJET : Analyse de la photodocumentation réalisée pour l'étude préalable à la restauration des peintures murales dans l'ancien chœur de l'église médiévale

N°DI : 3551

Nom et qualité du demandeur : Daniel Torgues, maire de Sainte-Croix-en-Jarez

Date de mission : -

Personnes présentes lors de la mission : -

Destinataires du présent rapport :

C. Bigand, R. Goulois, D. Torgues, P. Taillefer.

Il est rappelé que toute opération (restauration, travaux, déplacement...) concernant un bien culturel protégé au titre des Monuments Historiques, classé ou inscrit sur l'inventaire supplémentaire, doit être signalée, au préalable et dans un délai réglementé, par le propriétaire à l'autorité administrative de l'Etat compétente (Conservation régionale des Monuments Historiques, Conservateur des antiquités et objets d'art...). Code du patrimoine, art. L 621-9, 621-27, 622-7 et 622-21.

Dossier suivi par :

Marie-Pascale Etchart

Tél : 04 91 08 23 40

Mail : marie-pascale.etchart@cicrp.fr

Cdile Guillon

Tél : 04 91 08 36 10

Mail : odile.guillon@cicrp.fr

Jean-Marc Vallet

Tél : 04 91 08 23 48

Mail : jean-marc.vallet@cicrp.fr

Centre Interdisciplinaire de Conservation et Restauration du Patrimoine « Belle de Mai »
Groupement d'Intérêt Public Culturel - Membres fondateurs : Ministère de la Culture et de la Communication, Ville de Marseille,
Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

21, rue Guibal F-13003 Marseille / Tél. 33 (0) 4.91.08.23.35 - Fax : 33 (0) 4.91.08.88.64 - www.cicrp.fr

Monsieur Daniel Torgues, maire de Sainte-Croix-en-Jarez, a sollicité le CICRP le 23 décembre 2020, pour de l'imagerie scientifique et technique sur les peintures murales du 2^e quart du XIV^e siècle, conservées dans la première église des Chartreux, transformée ultérieurement en sacristie et salle capitulaire. L'intervention d'imagerie a pour objectif d'aider à comprendre la composition originale et les interventions postérieures, en 1896 et 1987. Cette assistance permettra d'étayer la connaissance des décors et de préparer l'intervention de tests de dérestauration.

Une réunion sur site ayant pour but de définir la campagne d'imagerie technique à réaliser, s'est tenue le 19/02/2021, en présence des personnes nommées ci-avant. Cette campagne a été réalisée du 19 au 23 juillet 2021. Une réunion de travail sur les images s'est tenue le 29 novembre 2021 au CICRP en présence de C. Bigand, O. Guillon et J.-M. Vallet. Le présent rapport porte sur les analyses de ces images et les informations qu'elles apportent.

Les images auxquelles il est fait référence dans le présent rapport sont données en annexe 1. Les figures 1 et 2, en particulier, présentent les deux zones de la chapelle documentées et qui font l'objet, ci- après et dans le détail, d'une analyse sur la présence de certains pigments, de liants et apportent des informations sur les dégradations relevées. Les protocoles d'acquisition des images sont donnés en annexe 2.

1. Détermination de la nature de pigments et liants et localisation

Le dossier d'imagerie technique permet de donner des informations sur la nature de certains pigments présents, en comparant:

- les réponses en lumière du jour direct, en IR fausse couleur ou IRfc (combinaison d'une image obtenue en lumière directe type lumière du jour avec une image résultant de la captation du rayonnement IR émis par la peinture sous ce même éclairage) et UV fausse couleur ou UVfc (comme ci-avant mais avec une image obtenue sous rayonnement UV) ;
- avec les réponses obtenues avec les réponses issues d'une base de données de référence de matériaux purs, pour les mêmes conditions d'acquisition des images.

Pigments

Les bleus présents, en particulier le manteau de la Vierge (figure 3) et dans le ciel (figure 4), sont vraisemblablement dus à la présence d'azurite. En effet, ce bleu apparaît violet en IRfc, ce qui est en adéquation avec la réponse de ce pigment tel que donné par les bases de données de références¹. La couleur verte donnée par ce pigment en UVfc permet par ailleurs de mieux repérer les traces de ce pigment, délimiter les zones contenant ce pigments, traces peu visibles sur le terrain ou sur les autres images obtenues par imagerie technique. Les analyses du CNEP réalisées à la demande de F. Crémier² en 2015 confirment la présence d'azurite (échantillons SX1 et SX6 ; prélèvements faits dans la scène de la Crucifixion).

¹ cf. Le référentiel du C2RMF par exemple

² CNEP (2015). Analyse par microspectrophotométrie IRTF de 8 prélèvements issus de peintures murales de la Chartreuse de Sainte-Croix-en-Jarez, rapport d'étude CNEP n°R2015-375 DF NP, 14 p., + annexes, 80 p.

Le pigment vert donne une réponse de couleur turquoise en IRfc (cf. figure 5 par exemple). Cette réponse correspond à celle de la malachite, par référence aux bases de données¹. Les analyses du CNEP² confirment cette présence (échantillons SX3 pris dans la scène du Couronnement et SX4 pris dans la scène de la Crucifixion).

Le pigment jaune donne une couleur verte en IRfc (figure 6), ce qui révèle vraisemblablement, par référence aux bases de données¹, la présence d'ocre jaune. Les analyses du CNEP² confirment cette présence (échantillons SX3, SX5 et SX8 pris dans la scène du Couronnement et SX7 pris dans la scène de la Crucifixion).

La couleur rouge montre deux réponses différentes en IRfc et UVfc.

La figure 6 montre que le pigment rouge donne une réponse jaune à orangée en IRfc d'une part et d'autre part violet en UVfc. Par référence aux bases de données¹, deux pigments peuvent contribuer à cette couleur, le minium (jaune en IRfc) et le cinabre (orangé en IRfc). La seule imagerie ne peut permet de déterminer si l'on est en présence d'un mélange ou si un seul pigment d'une couche plus ou moins usée est présent.

La comparaison avec les analyses réalisées par S. Aze³ en 2021, confirment la présence de résidus de cinabre sur du minium (échantillon PM3). Par ailleurs, le type d'analyses faites par le CNEP ne permet pas de mettre ces pigments en évidence. On peut cependant suspecter leur présence dans les échantillons SX1 pris en bordure du manteau rouge de l'ange à droite du Christ (scène de la Crucifixion).

La figure 7 montre une réponse différente du rouge en IRfc (marron clair) et UVfc (kaki) qui semble correspondre à la présence d'ocre rouge. Ceci est confirmé par les analyses du CNEP² qui détecte de l'ocre rouge dans l'échantillon SX1.

Autres matériaux

La scène de la Crucifixion montre beaucoup de zones émettant des fluorescences de couleur jaune clair sous rayonnement UV (figure 8). En particulier, des traces s'apparentant à des coulures sont visibles sur le perizonium du Christ et qui pourraient être liées à la présence d'un matériau organique utilisé lors d'une restauration. Si l'on se réfère aux analyses du CNEP² et en en particulier l'analyse de la couche de surface incolore de l'échantillon SX1, il pourrait s'agir d'une résine acrylique (polyacrylate d'alcoyle, selon ce même rapport).

Par ailleurs, une fluorescence "de fond", de teinte lie de vin, est visible dans les zones usées et plus blanches. Elle est beaucoup plus marquée si l'on observe l'image en UVfc (figure 9). Elle est attribuée, par référence à la base de données du CICRP, à la présence de calcite. Elle a été détectée dans le mortier (issue de la carbonatation de la chaux ; cf. rapports du CNEP² et de S. Aze³), dans beaucoup de couches picturales et dans les restes de badigeon (cf. rapport CNEP²).

Enfin, une fluorescence, de couleur rose claire, est aussi visible (figure 8). Sa présence ne peut actuellement être interprétée car il n'y a actuellement pas de correspondance dans la base de données de référence du CICRP en construction et il n'a pas été trouvé de référence bibliographique présentant

³ Aze S. (2021). Eglise de la Chartreuse de Sainte Croix en Jarez- Peintures murales de Thibault de Vassalieu – cartographies humidimétriques, caractérisation des matériaux. Rapport Sinopia, octobre 2021, 12 p.

ce type de fluorescence et les matériaux qui en sont responsables. Une hypothèse serait, étant donné, que cette fluorescence se retrouve un peu partout, généralement sous forme de « touches », que l'on soit en présence d'un matériau organique de restauration ou d'un mélange de matériaux organiques de restauration. Il est à noter que des traces de résines acryliques ont été détectées par le CNEP2 dans tous les échantillons, SX2 excepté). Il est aussi à noter que le CNEP a détecté du jaune d'œuf, sans doute lié à la technique originale (échantillons SX1, SX5, SX6, SX7, SX8) et, étant sans doute des traces d'une restauration ancienne, de la cire (échantillon SX1), une matière phénolique (SX5) et de l'huile de lin (échantillons SX2, SX3, SX4 et possiblement pour SX6, SX7 et SX8). Il est possible que l'ensemble de ces matériaux organiques contribuent à cette fluorescence de couleur rose claire.

Visualisation d'un dessin préparatoire

L'imagerie technique a aussi mis en évidence, en surface du mortier et au niveau de la lacune bordant la scène de la crucifixion de la Vierge, un dessin préparatoire, peut-être réalisé au moment d'une restauration (cf. figure 9), qui prolonge le dessin architectural.

2. Etude des dégradations

Outre le fait que ces images constituent un support pour la cartographie des formes d'altération visibles, certaines altérations peuvent mieux analysées grâce à l'observation des réponses de la surface de la peinture à différentes pages de rayonnement.

Ainsi,

- Les sels : Partie basse, dans mortiers, NaCl
- Transformation Azurite/ Malachite (partie haute)

Les sels apparaissent de couleur blanc- bleutée sous UV (figure 10). Par référence à une base de données interne au CICRP en cours de constitution, ce seraient des sels de type chlorure. La comparaison avec les cartes humidimétriques fournies par Sinopia³ en 2021 montre que les parties les plus humides correspondent aux zones où fluorescent ces sels. Par ailleurs, l'échantillon SCJ3 prélevé et analysé par ERM⁴, à proximité de la peinture montre la forte teneur en chlorure (1,8 g/kg de matière sèche) et en nitrate (5,7 g/kg de matière sèche).

Certaines zones, comme le fond derrière les écussons (cf. figure 11), montrent une altération qui se traduit par une transformation de l'azurite (couleur initiale bleue) en malachite verte (pseudomorphose). L'échantillon SX2, pris dans une zone vert clair en bordure de frise du tympan Est (mur Nord) et analysé par le CNEP², confirme la présence de malachite dans une couche bleue - verte et possiblement un autre oxyde de cuivre que ce laboratoire n'a pu identifier.

⁴ Morin C. (2021). Caractérisation des altérations – restauration de l'église médiévale (phase 1) – La Chartreuse Sainte-Croix-en-Jarez (42). Rapport ERM, mai 2021, 19 p.

3. Conclusions

L'imagerie technique constitue un support important pour le travail de restauration, tant pour la localisation de zones d'intérêt diverses que comme support à des cartographies précises.

Elle a permis de proposer la nature de certains pigments (azurite, malachite, minium, cinabre, ocres jaune et rouge) qui ont été confirmés par le biais d'analyse. Elle permet de visualiser précisément leur présence dans les peintures, même à l'état de traces.

Elle a aussi montré la présence généralisée de matériaux comme la calcite et des matériaux organiques utilisés pour la création et aussi lors de la restauration de ces peintures, sans qu'il soit cependant possible, pour ces derniers, de les différencier.

Un dessin préparatoire, peut-être réalisé lors d'une campagne de restauration a aussi été mis en évidence.

Par ailleurs, elle révèle les zones contaminées par les sels en surface et subsurface. La comparaison avec une base de référence du CICRP d'une part et par des analyses réalisées sur échantillons par ERM, d'autre part, permet de montrer la présence de chlorures. Les nitrates ne semblent cependant pas pour l'instant pouvoir être détectés par imagerie technique.

O. Guillon
photographe
Imagerie technique

O. Guillon

J.-M. Vallet
ingénieur
Conservation des peintures murales

J.-M. Vallet

Crédit photographique : Toutes les images du dossier technique ont été réalisées par Odile Guillon (CICRP).

ANNEXE 1 : figures

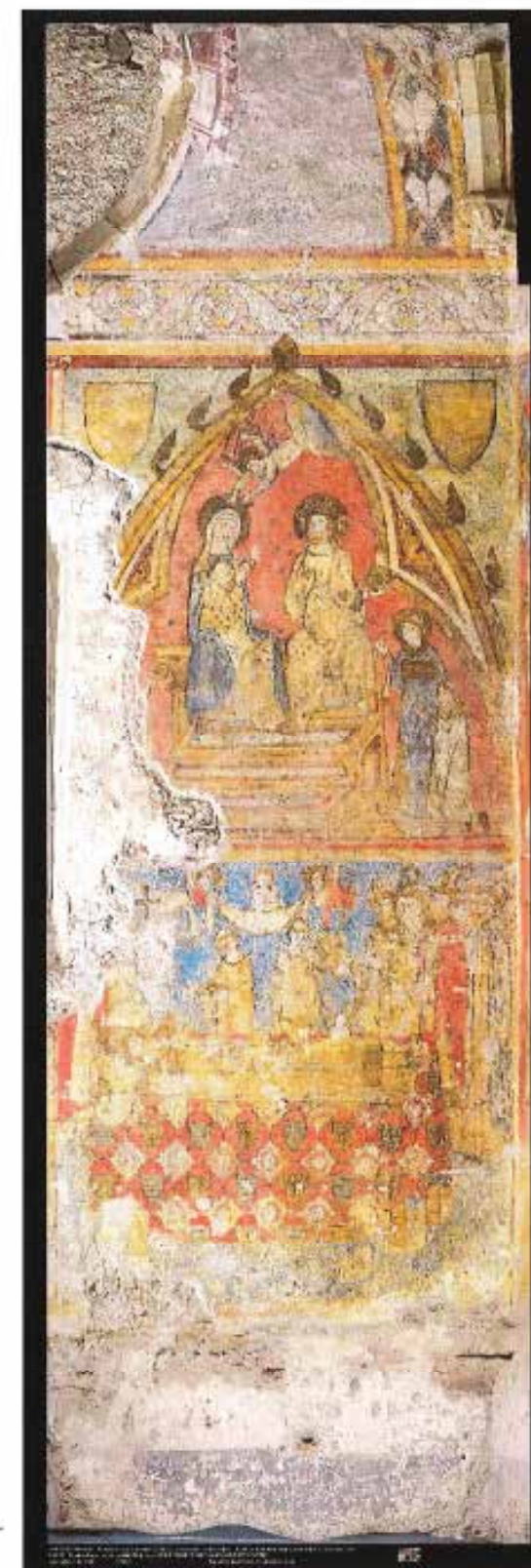


Figure 1 : Peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est), en lumière directe.



Figure 2 : Peinture murale de l'élévation Sud-Est, côté Est, en lumière directe.



Figure 3 : Mise en évidence de l'azurite constituant le bleu du manteau de la Vierge ; elle apparaît violette en IRfc(b) et verte en UVfc (c). Scène du Couronnement de la Vierge, détail de la peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est).



Figure 4 : Mise en évidence de l'azurite constituant le bleu du ciel ; elle apparaît violette en IRfc(b) et verte en UVfc (c). Détail des funérailles de Thibaud de Vassalieu, paroi Nord-Est (côté Est).



Figure 5 : Mise en évidence de la malachite donnant la couleur verte à la manche de l'ange. Scène de la Crucifixion, détail de la peinture murale de la paroi Sud-Est (côté Est).

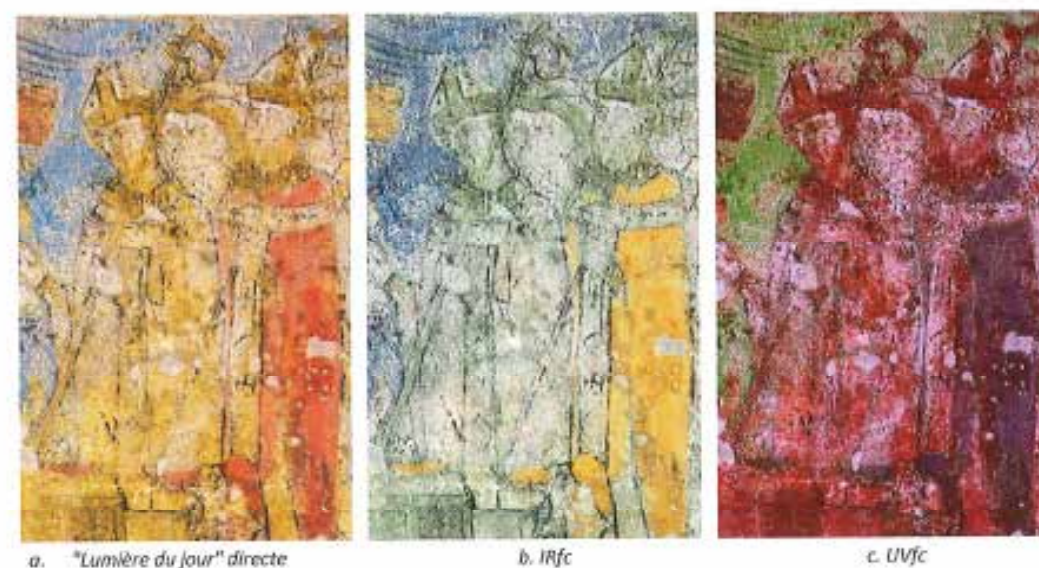


Figure 6 : Mise en évidence de l'ocre jaune donnant une couleur verte en IRfc (b) et de rouge minium et/ ou rouge cinabre, qui donne d'une part une couleur jaune à orangé en IRfc (b) et d'autre part une couleur violette en UVfc (c). Détail des funérailles de Thibaud de Vassalieu, peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est).

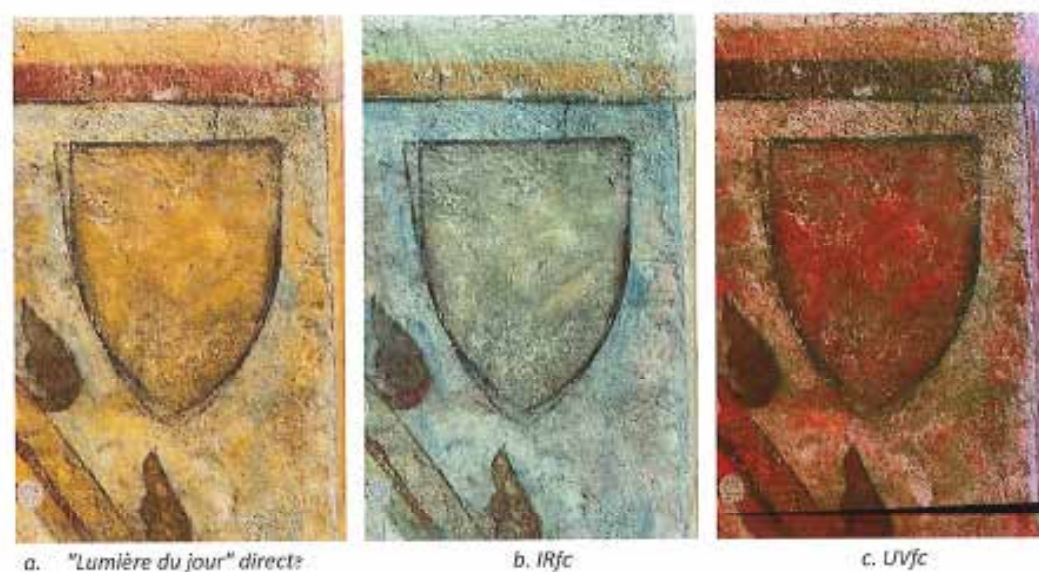


Figure 7 : Mise en évidence de l'ocre rouge dans la bande horizontale supérieure, qui donne d'une part une couleur marron clair en IRfc (b) et d'autre part une couleur kaki en UVfc (c). Ecusson, scène du Couronnement de la Vierge, détail de la peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est).

Détail des zones prélevées pour analyse minéralogique d'efflorescences et/ou croûtes indurées (●)



Détail des zones prélevées pour évaluation de contamination saline (●)



Marseille, le 15 février 2022

M M. Roland MAY
Directeur

RAPPORT d'ÉTUDE :

Ville : Sainte-Croix-en-Jarez Département : 42 Bien culturel : ancienne église

OBJET : Analyse de la photodocumentation réalisée pour l'étude préalable à la restauration des peintures murales dans l'ancien chœur de l'église médiévale

N°DI : 3551

Nom et qualité du demandeur : Daniel Torgues, maire de Sainte-Croix-en-Jarez

Date de mission : -

Personnes présentes lors de la mission : -

Destinataires du présent rapport :

C. Bigand, R. Goulois, D. Torgues, P. Taillefer.

Il est rappelé que toute opération (restauration, travaux, déplacement...) concernant un bien culturel protégé au titre des Monuments Historiques, classé ou inscrit sur l'inventaire supplémentaire, doit être signalée, au préalable et dans un délai réglementé, par le propriétaire à l'autorité administrative de l'Etat compétente (Conservation régionale des Monuments Historiques, Conservateur des antiquités et objets d'art...). Code du patrimoine, art. L 621-9, 621-27, 622-7 et 622-21.

Dossier suivi par :

Marie-Pascale Etchart

Tél : 04 91 08 23 40

Mail : marie-pascale.etchart@cicrp.fr

Odile Guillon

Tél : 04 91 08 36 10

Mail : odile.guillon@cicrp.fr

Jean-Marc Vallet

Tél : 04 91 08 23 48

Mail : jean-marc.vallet@cicrp.fr

Centre Interdisciplinaire de Conservation et Restauration du Patrimoine « Belle de Mai »
Groupement d'Intérêt Public Culturel - Membres fondateurs : Ministère de la Culture et de la Communication, Ville de Marseille,
Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

21, rue Guibal F-13003 Marseille / Tél. 33 (0) 4.91.08.23.35 - Fax : 33 (0) 4.91.08.88.64 - www.cicrp.fr



a. "Lumière du jour" directe

b. UVf

Figure 8 : Observation des fluorescences de couleur jaune claire sur la scène de la Crucifixion du Christ et de fluorescences de couleur rose sur la robe de la Vierge et du personnage de droite. Scène de la Crucifixion, détail de la peinture murale de l'élévation Sud-Est, côté Est.



a. "Lumière du jour" directe

b. UVf

c. IRfc

Figure 9 : Observation des fluorescences de couleur lie de vin en UVf du mortier et du solin et mise en évidence d'un dessin préparatoire (de restauration ?), visible, dans l'encadré bleu, en IRfc. Détail, gauche de la scène du couronnement de la Vierge, élévation Nord-Est, côté Est.

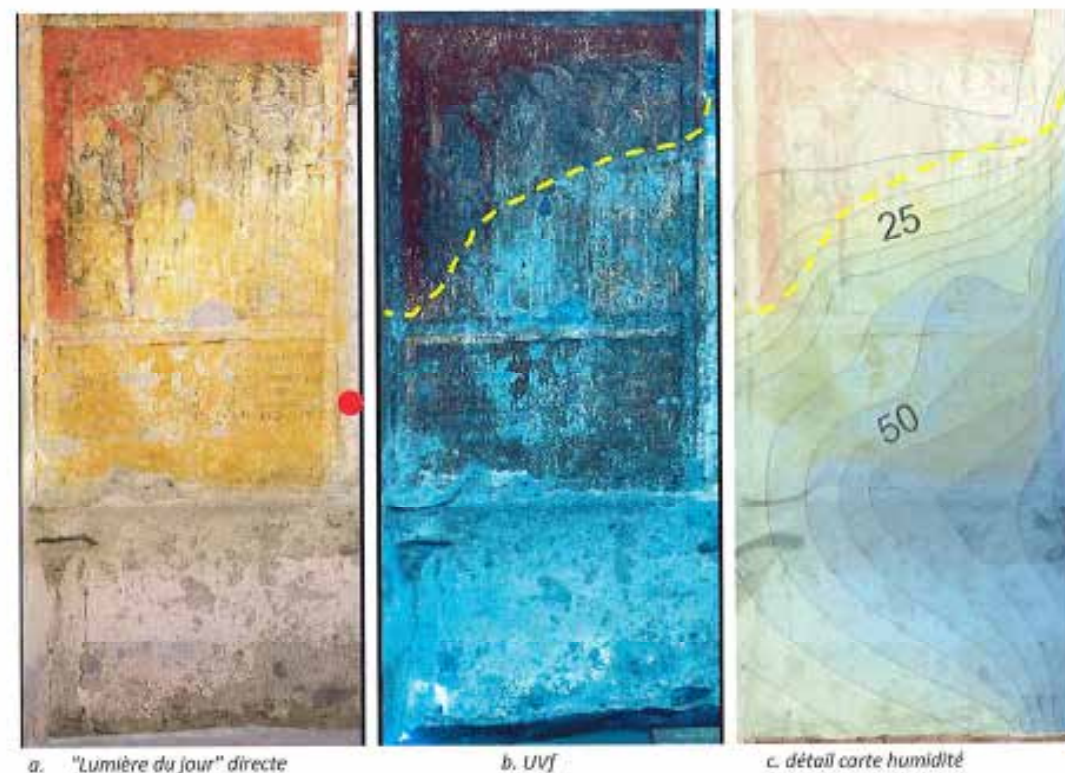


Figure 10 : Mise en évidence de la présence de sels hygroscopiques par fluorescence sous UV dans le domaine visible ; base de la scène des chartreux chantant l'office des morts (paroi Sud-Est, côté Est) :

- Ils sont bien visibles en (sub)surface jusqu'aux $\frac{2}{3}$ des personnages de droite (cf. pointillés jaunes).
- La zone basse ainsi délimitée correspond à des zones de forte humidité (c) telles que définies dans le rapport 2021 de Sinopia (détail de la carte humidimétrique).
- Le point rouge correspond à la zone prélevée en 2021 (SCJ3) par EFM pour analyse des sels.

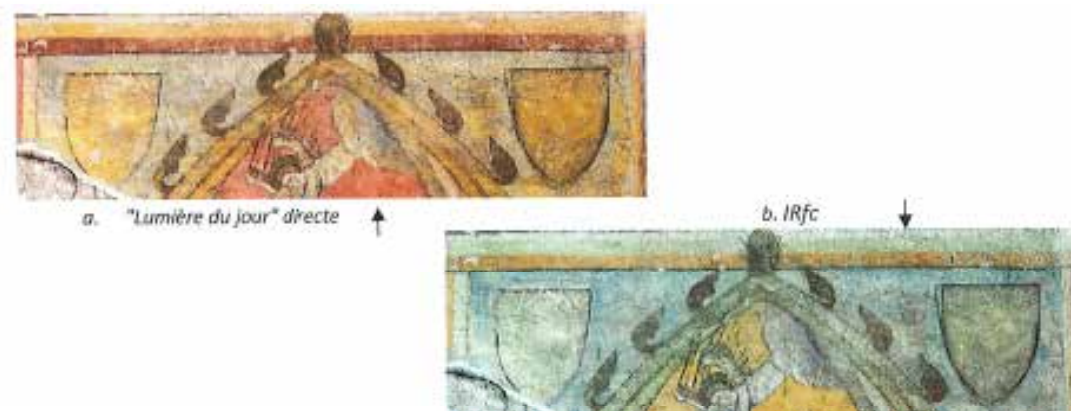
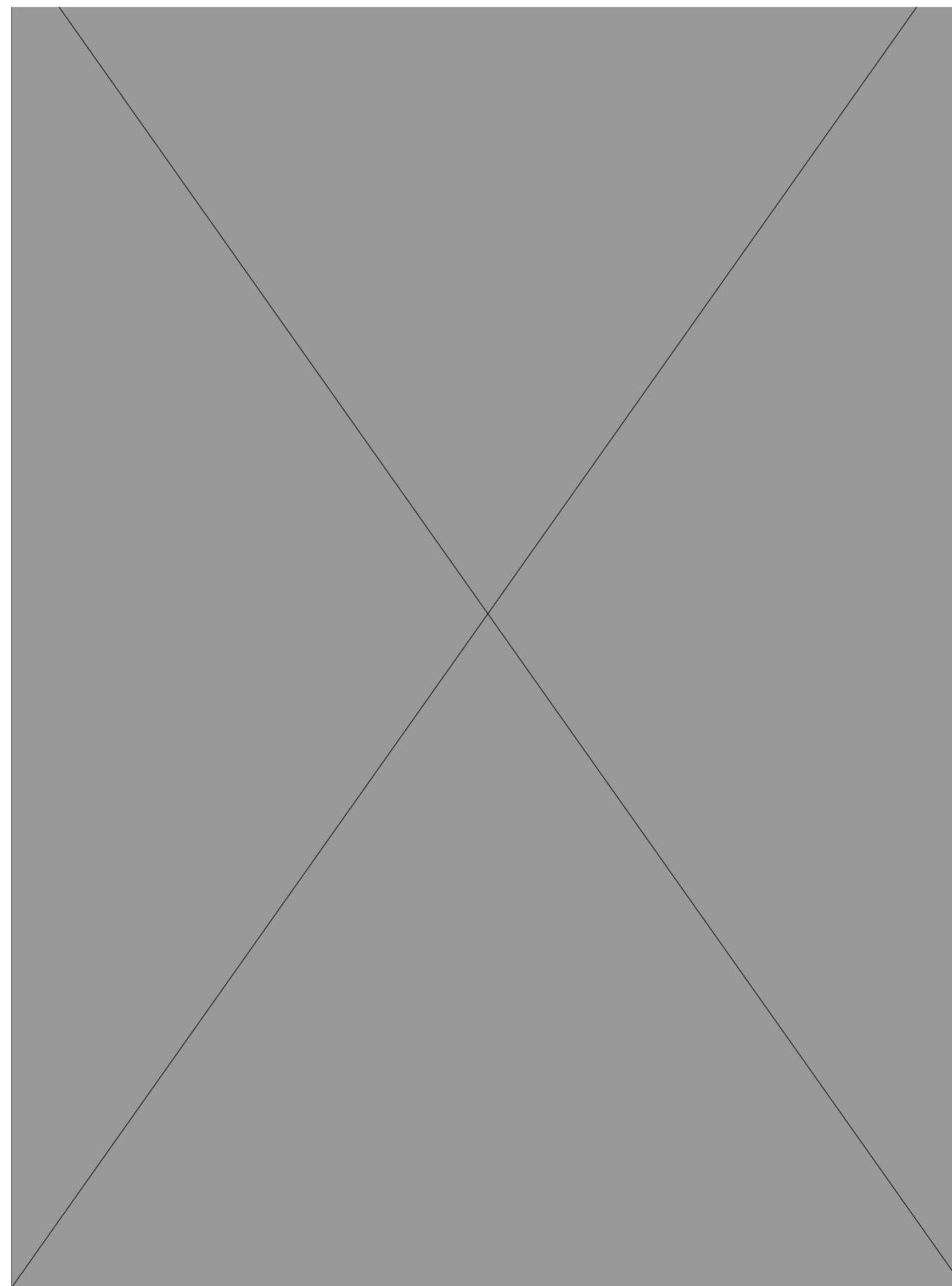


Figure 11 : Mise en évidence de la présence de malachite en IRf dans le fond derrière les écussons. Les traces de pigments bleu à droite (a), indiquent que l'azurite s'est partiellement pseudomorphosée en malachite, en particulier visible sur la partie gauche de l'image IRf (b) où le fond apparaît de couleur turquoise. Scène du Couronnement de la Vierge, détail de la peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est).



Toutes les zones ont été documentées :

Dans le domaine du visible

- Prise de vue en Lumière Directe (LD) - couleur



- L'utilisation de 3 torches flash équipées de parapluie réflecteur blanc permet de créer un éclairage homogène et doux sur l'ensemble de la zone. Cette image est la référence nécessaire à la lecture croisée avec les autres acquisitions.

- Prise de vue en Lumière Semi Rasante et Rasante - couleur



- Utilisation d'1 source d'éclairage gauche, droite ou bas. Pour ce chantier 2 acquisitions ont été réalisées en changeant le positionnement des torches. Cet éclairage permet d'accentuer les reliefs de surface.

- Prise de vue de Fluorescence sous rayonnement UltraViolet (UVF) - couleur



- Utilisation de tubes néon Philips TL-D 18W et 36W BLB Blacklight Blue à 365nm. Cet éclairage UV permet de mettre en évidence la propriété de certains matériaux à émettre une fluorescence visible et de distinguer des différences et des similitudes de ces fluorescences.

- Prise de vue en Ultraviolet réfléchi - Noir et Blanc



- Utilisation de tubes néon Philips TL-D 18W et 36W BLB Blacklight Blue à 365nm. *Technique utilisée, sur ce chantier, pour la 1^{ère} fois à titre expérimental.*

Dans le domaine de "l'invisible"

- Prise de vue dans le proche Infrarouge (IR) à 980nm - Noir et Blanc



- Utilisation des mêmes sources d'éclairage que pour la lumière directe. Les rayonnements infrarouges (IR) ont la capacité en outre de traverser les couches picturales pour mettre en évidence d'éventuelles tracés sous-jacents. Ces radiations s'étendent au-delà du spectre visible de 780nm à 20000nm. Elles sont réfléchies ou absorbées en fonction de la nature et de l'épaisseur des matériaux.

En post-production

- Traitement par désaturation et reprise de contraste de l'image Lumière Directe pour une lecture croisée plus cohérente avec l'image dans le proche infrarouge elle aussi en NB.



- Création d'une image composite dite UV Fausse Couleur (UVRFCI)



Construite en associant les couches Bleu et Verte de l'image Lumière Directe avec une des couches de l'image UVR.

Colorisation artificielle des différentes réponses de matériaux dans le domaine de l'Ultraviolet. Cette colorisation permet de mettre en évidence les différences et les similitudes de réponses des matériaux dans le domaine de l'ultraviolet

Technique utilisée, sur ce chantier, pour la 1^{ère} fois à titre expérimental

- Création d'une image composite dite IR FausseCouleur (IRFCI)



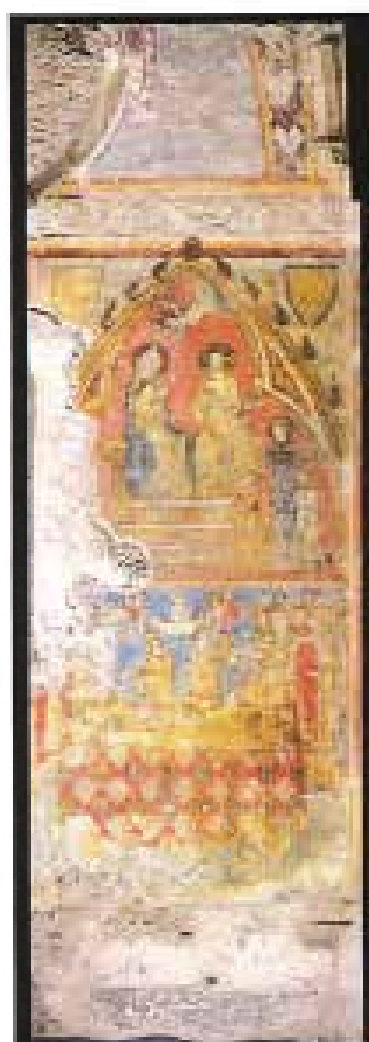
Construite en associant les couches Rouge et Verte de l'image Lumière Directe avec une des couches de l'image IR.

Colorisation artificielle des différentes réponses de matériaux dans le domaine du proche Infrarouge. Cette colorisation permet de mettre en évidence les différences et les similitudes de réponses des matériaux dans le domaine de l'Infrarouge.

Le traitement de ces images est réalisé selon des protocoles définis préalablement selon la technique d'acquisition (Lumière directe, Infrarouge, Ultraviolet, Rasante...) et reproduit sur l'ensemble des images.

L'examen de l'ensemble des images consistera en lecture croisée des différentes acquisitions. Cette lecture croisée s'avère, sur ce dossier, extrêmement compliquée en raison de l'état de conservation de la couche picturale.

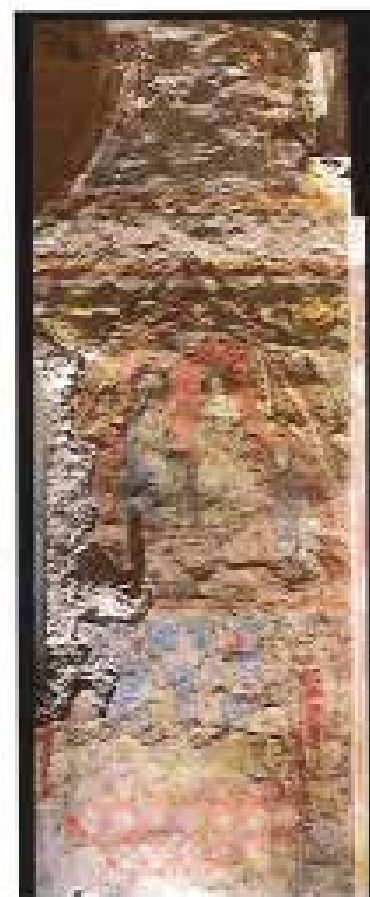
Paroi Nord-Est, côté Est



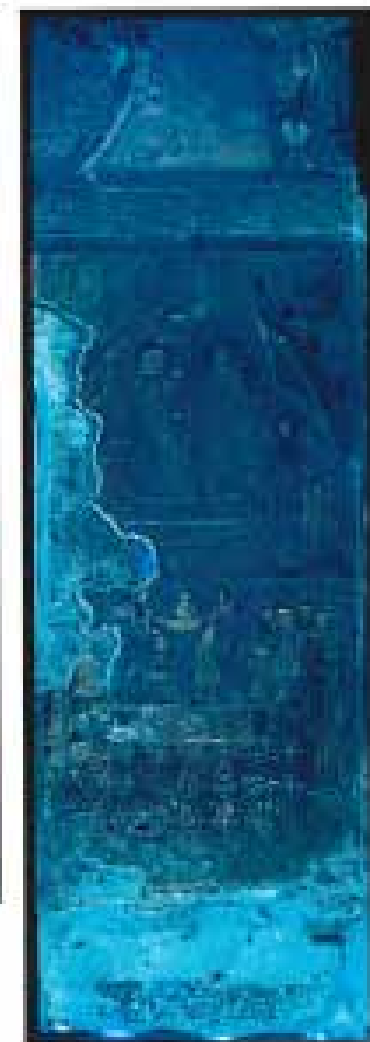
Lumière directe



Lumière directe



Lumière rasante
du bas



Fluorescence
sous UV (UVf)



Image composite
UV fausse couleur
(UVfc)



Image dans le
proche Infrarouge
(IR)

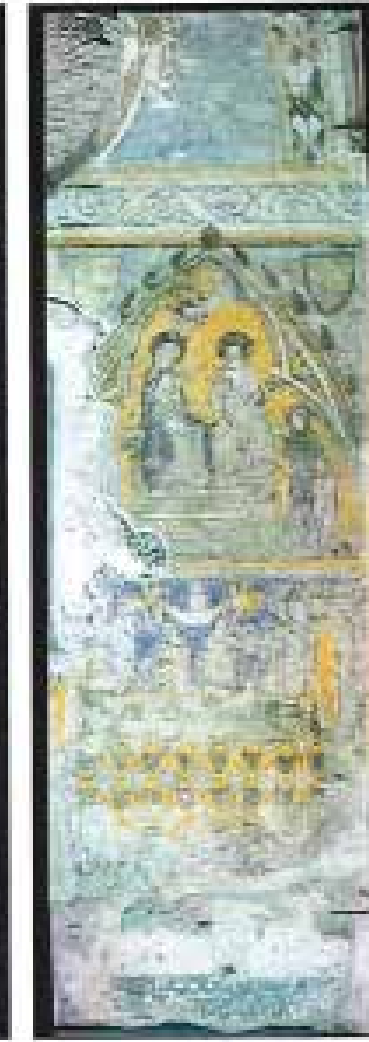
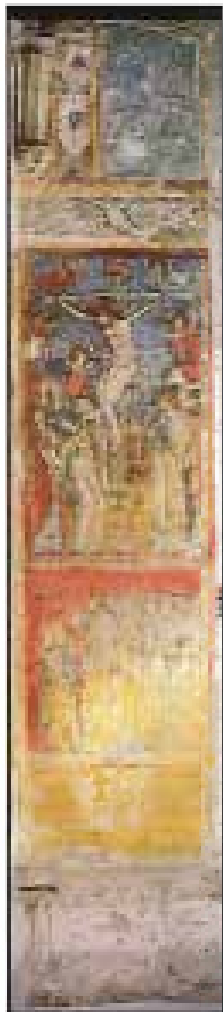


Image composite
IR Fausse couleur
(IRfc)

Paroi Sud-Est, côté Est



Lumière directe



Lumière directe



Lumière rasante
du bas



Fluorescence
sous UV (UVf)



Image composite
UV fausse couleur
(UVfc)

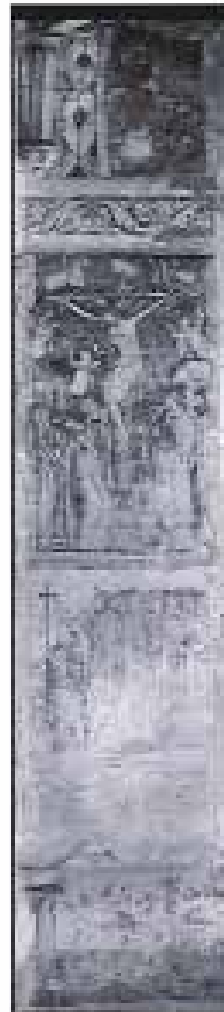


Image dans le
proche Infrarouge
(IR)

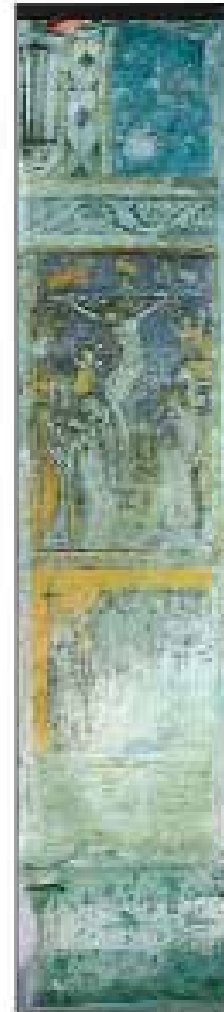


Image composite
IR fausse couleur
(IRfc)



conservation-restauration
peintures murales
sculptures polychromes
mosaïques

InSitu
CONSERVATION