



UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2

N°d'ordre NNT : 2016LYSE2015

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 483 Sciences sociales

Discipline : Langues, Histoire et Civilisations des mondes anciens

Soutenue publiquement le 19 février 2016, par :

Stéphanie CASTANDET

Matériaux et décors colorés dans l'Abbatiale Cluny III

Approche archéométrique

Devant le jury composé de :

Josefina PEREZ ARANTEGUY, Professeur d'université, Universidad de Zaragoza, Présidente

Patrick CALLET, Expert, Examineur

Floréal DANIEL, Ingénieur de Recherche, C.N.R.S., Examineur

Gilles ROLLIER, Expert, Examineur

Bruce VELDE, Directeur de recherche émérite, C.N.R.S., Examineur

Nicolas REVEYRON, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2, Directeur de thèse

Université Lumière Lyon 2
École doctorale Sciences sociales – ED 483
Laboratoire ArAr – Archéométrie et Archéologie – UMR 5138

**MATÉRIAUX ET DÉCORS COLORÉS DANS
L'ABBATIALE CLUNY III
APPROCHE ARCHÉOMÉTRIQUE**

Thèse de doctorat en Langues, histoire et civilisations des mondes anciens

Présentée et soutenue publiquement le 19 février 2016 par
Stéphanie CASTANDET

Sous la direction de Nicolas REVEYRON & Floréal DANIEL

Composition du jury :

Patrick CALLET	Examineur
Floréal DANIEL	Co-encadrant
Josefina PÉREZ-ARANTEGUI	Rapporteuse
Nicolas REVEYRON	Directeur de thèse
Gilles ROLLIER	Examineur
Bruce VELDE	Rapporteur

À Milo

À son super papa

À mes parents

À mesure que l'astre du jour se dérange, les tons changent de valeurs,
mais respectant toujours leurs sympathies et leurs haines naturelles,
continuent à vivre en harmonie par des concessions réciproques.
Les ombres se déplacent lentement, et font fuir devant elles ou éteignent
les tons à mesure que la lumière, déplacée elle-même, en veut faire
résonner de nouveaux. Ceux-ci se renvoient leurs reflets, et modifiant leur
qualité en les glaçant de qualités transparentes et empruntées,
multiplient à l'infini leurs mariages mélodieux et les rendent plus faciles.
Quand le grand foyer descend dans les eaux, de rouges fanfares s'élancent
de tous côtés ; une sanglante harmonie éclate à l'horizon, et le vert
s'empourpre richement. Mais bientôt de vastes ombres bleues chassent
en cadence devant elles la foule des tons orangés et roses-tendre qui sont
comme l'écho lointain et affaibli de la lumière. Cette grande symphonie
du jour, qui est l'éternelle variation de la symphonie d'hier, cette
succession de mélodies, ou la variété sort toujours de l'infini,
cet hymne compliqué s'appelle la couleur.

Baudelaire, Salon de 1846 [1846 : 10-11]

Remerciements

Je tiens à remercier Nicolas Reveyron, Françoise Bechtel et Floréal Daniel d'avoir bien voulu encadrer ce travail de thèse. Pour le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer, leurs conseils avisés, leur soutien et leur extrême gentillesse.

Je remercie Christian Père, à l'origine du projet Gunzo, de m'avoir accueillie au sein de son équipe. J'ai eu grâce à lui l'occasion de travailler sur et au cœur d'un site exceptionnel, de découvrir le monde de la réalité virtuelle et de rencontrer de nombreuses personnes d'une grande richesse intellectuelle et affective.

Je remercie Pierre Guibert de m'avoir accueillie au sein du laboratoire du Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie (IRAMAT-CRP2A) de Pessac afin que je puisse réaliser les analyses physico-chimiques de mes échantillons bourguignons.

Les travaux exposés dans ce mémoire n'auraient pu être réalisés sans le Conseil régional de Bourgogne, au titre d'une allocation de recherche.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Je remercie Josefina Pérez Arantegui et Bruce Velde d'avoir

accepté le rôle difficile de rapporteurs, ainsi que Patrick Callet et Gilles Rollier pour avoir examiné cette étude.

Je souhaiterais remercier chaleureusement Juliette Rollier-Hanselmann, l'instigatrice de la restitution du portail roman. Son dynamisme et son enthousiasme, nos échanges, qu'ils concernent le travail ou la vie privée, ont rendu ces années de collaboration très agréables. Notre virée à l'occasion du colloque organisé à Coxyde en Belgique restera un très bon souvenir.

Je remercie Mary Sainsous, attachée de conservation du musée de Cluny, qui nous a donné l'accès aux réserves et aux archives du musée et autorisé à prélever les polychromies des fragments lapidaires du portail roman et les fragments de vitraux. Je remercie également Dominique Dandraël, conservatrice du musée du Hiéron de Paray-le-Monial, pour nous avoir confié les fragments de vitraux de la priorale.

Je remercie Masuyo Tokita-Darling, professeur honoraire à l'université d'Hokaido, pour nos échanges au sujet de la sculpture clunisienne et pour nous avoir fait parvenir le rapport d'analyse du Saint-Pierre, conservé au RISD Museum.

Je remercie également Philippe Griot, tailleur de pierre clunisois, pour nos échanges sur les carrières, la taille de pierre ou encore sur le bloc « monolithe » du portail roman !

Je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe Gunzo : Alexandre, Bénédicte, Zoé, Guillaume, Jérémie, Nicolas, Émilie, Sébastien, Osmond, Jean-François, Emmanuel, Frédéric, Delphine, pour tous ces moments partagés, au travail comme à l'extérieur. Je remercie plus particulièrement Sybille qui est venue nous seconder dans le tri des fragments du portail et qui m'a convertie au thé pour se réchauffer lors de nos longues heures passées dans les réserves « glaciales » du musée.

Je remercie Alexandre pour son aide en infographie et nos échanges sur nos deux « zébulons ».

Merci à Jean-Pierre et Juan d'avoir relu et corrigé mes articles en langue anglaise.

J'ai une pensée particulière pour Patrick. Merci de m'avoir invitée à participer à l'École de Printemps d'Ôkhra sur la couleur des matériaux et à cette occasion d'avoir couru après le soleil dans les carrières d'ocre pour en capturer les effets. Merci pour ton

enthousiasme communicatif, tes encouragements et la découverte de la rue du chat qui pêche !

Enfin, merci à Guillaume pour avoir patiemment dénombré les baies créées dans la maquette virtuelle et d'en avoir estimé la surface vitrée. Pour sa gentillesse, notre amitié, et nos soirées « filles » avec Julie, lorsque nos « Paztec boys » parcouraient les sites clunisiens !

J'adresse également tous mes remerciements à l'équipe du CRP2A qui m'a accompagnée durant mon master et durant mes séjours d'analyses. Je remercie Laure et Sophie de m'avoir prêté leur poste de travail, Laetitia et Carole pour nos séances de polissage en musique, Marion pour nos discussions et sa douceur, Yannick pour ses conseils au MEB et pour avoir changé le fil de la scie que mes nombreuses inclusions ont fait céder !

Je voudrais remercier chaleureusement la « team peinture », Aurélie et Floréal. J'ai beaucoup apprécié en faire partie et nos escapades en Floride resteront parmi mes meilleurs souvenirs. Vous êtes l'une de mes plus belles rencontres et j'espère que nos déjeuners méridiens se poursuivront.

Aurélie, merci pour notre amitié durant ces années, ton soutien, tes encouragements, tes relectures et nos discussions cathartiques !

Je tiens à remercier Olivier et Richard de m'avoir poussé dans mes retranchements et pour le temps accordé afin que cette thèse ne soit pas mon arlésienne ! Je remercie également Marie pour le détournement des photos et Armel pour le polissage afin que je puisse dégager du temps pour rédiger. Merci à l'équipe du CIRAM de son soutien et de ses encouragements durant ces derniers mois difficiles !

J'ai bien sûr une pensée émue pour Alexandre et Milo, notre éloignement me pèse, mais l'achèvement de ce mémoire va pouvoir me permettre de rechercher activement une maison pour que nous soyons désormais réunis. Merci pour ta patience et de d'être si bien occupé de notre « zébulon » ces derniers mois.

Enfin, de tout mon cœur, un très grand merci à mes parents, Claudine et Michel, pour leur soutien indéfectible tout au long de cette très longue aventure doctorale, et tout particulièrement ces derniers mois. Merci de m'avoir accueillie à la maison, pour tous ces petits plats savoureux. Merci maman pour tes relectures attentives, à la recherche de mes étourderies !

Résumé

L'étude des matériaux et des décors colorés de l'abbatiale Cluny III s'inscrit dans le cadre du projet *Gunzo* (Arts et Métiers ParisTech – Cluny) qui avait pour but la valorisation du patrimoine clunisien par l'intermédiaire des technologies numériques en réalité virtuelle. Un des axes de ce projet était d'élaborer une restitution virtuelle de la *Maior Ecclesia* en recréant une architecture la plus proche possible de la réalité à l'aide de l'étude des vestiges et des sources iconographiques et historiques qui nous sont parvenus associée aux recherches archéologiques les plus récentes. Outre l'architecture, il s'agissait également de proposer une restitution des décors de l'abbatiale et de son ambiance colorée.

Nous avons concentré nos recherches, dans ce travail doctoral, sur les fragments de vitraux archéologiques mis au jour sur les sites de Cluny et de Paray-le-Monial, ainsi que sur les polychromies des fragments lapidaires du portail roman de Cluny, par une approche archéométrique. Les vitraux sont des éléments filtrants qui modulent la lumière tant en quantité qu'en coloration et jouent donc un rôle important dans la création d'une ambiance lumineuse et colorée. Les décors polychromes participent également à l'amélioration et la coloration de l'éclairement. De plus la

connaissance des matériaux d'origine est préalable à toute restitution virtuelle en raison de la possible altération des pigments ou des décors métalliques (modification de la couleur) et d'éventuels repeints pouvant induire des changements de parti coloré.

Une grande majorité des fragments de verre ont été mis au jour dans des contextes de remblais limitant leur datation à une approche typo-chronologique. Les classifications archéologiques élaborées ont été confrontées aux résultats d'analyses physico-chimiques qui nous ont permis d'affiner la datation de certains fragments et nous ont apporté de nombreux détails techniques. En ce qui concerne le portail de la *Maior Ecclesia*, qui occupe une place centrale dans l'art roman, nous avons précisé l'image de ce « puzzle lapidaire » tant au niveau de l'iconographie que de la polychromie. L'analyse physico-chimique des restes colorés a permis d'identifier les différents matériaux mis en œuvre dans la décoration du portail. Nous avons pu observer quatre phases polychromes, l'utilisation de pigments coûteux et l'abondance des décors métalliques.

Nous avons ainsi contribué à la compréhension des décors colorés de l'abbatiale clunisienne. Cette étude représente une étape dans la compréhension d'un patrimoine archéologique qui, tôt ou tard, sera enrichi ; rappelons en effet qu'une partie des fragments de l'abbatiale est encore enfouie.

Mots-clés : Cluny, Paray-le-Monial, vitrail, laiton, polychromie, portail roman, dorures, lapis-lazuli, jaune de plomb-étain

Abstract

The study of materials and coloured decors of the abbey-church Cluny III is part of the Gunzo project (*Arts et Métiers ParisTech* – Cluny) which led the research and the promotion of the cluniac heritage thanks to digital technologies and virtual reality. This interdisciplinary team worked on the creation of a new digital model of the *Maior Ecclesia*, according to the latest scientific research, including the archaeological excavations and the study of the documentary and iconographic sources. Besides the architecture, it was also to propose a restoration of the decors of the abbey-church and its colourful atmosphere.

The research in this doctoral work is focused on the fragments of archeological glass windows excavated in the sites of Cluny and Paray-le-Monial, as well as on the polychromies of the lapidary fragments of the Great Portal of Cluny using an archaeometric approach. The stained glass windows are filter elements that modulate the light in quantity and in colour. As such, they play a key role in creating a luminous and colourful atmosphere. The polychrome decors also contribute to the improvement and coloration of the lighting. Moreover, knowing the original materials is a prerequisite for any virtual restoration because of the possible alteration of pigments or

metal decorations (color change) and possible repaints which can induce changes in colourful design.

A large majority of glass fragments were excavated in the ruins of the churches, restricting their dating to a typo-chronological approach. The archaeological classifications performed from the relative chronology, typology and appearance of the vitreous material were compared with results of physicochemical analyses. These helped to refine the dating of certain fragments and identified many technical details. With regard to the portal of the *Maior Ecclesia*, which occupies a central place in the Romanesque art, the picture of this "lapidary puzzle" in iconography and in polychromy has been clarified. The characterization of the colourful remains has enabled identification of the different materials used in the decoration of the portal. Four polychrome phases, the use of expensive pigments and abundance of metal decorations were observed.

In this way, this research has contributed to the understanding of the colourful decors of the *Maior Ecclesia*. This study represents a stage in the comprehension of an archaeological heritage which, sooner or later, will be further enhanced. It is important to remember that fragments of the abbey-church remain buried.

Keywords: Cluny, Paray-le-Monial, stained glass, brass, polychromy, Romanesque portal, gilding, lapis lazuli, lead-tin yellow

Table des matières

Remerciements	9
Résumé / Abstract	13
Tables des matières	17
Introduction générale	23
Chapitre I – Couleur, lumière, matière ; pour une ambiance colorée	29
Chapitre II – Le verre monumental des sites de Cluny et Paray-le-Monial	49
Chapitre III – Les polychromies des fragments lapidaires du portail roman	121
Conclusion générale	199
Annexes	209
Références bibliographiques	233

Chapitre I

COULEUR, LUMIÈRE, MATIÈRE POUR UNE AMBIANCE COLORÉE

I.1. REGARDS SUR LA COULEUR	29
I.1.1. APPARENCE COLORÉE	29
I.1.2. CLASSIFICATION DES COULEURS	30
I.1.3. SENSIBILITÉ MÉDIÉVALE À LA LUMIÈRE ET À LA COULEUR	31
I.1.4. SCULPTURE ET POLYCHROMIE	32
I.2. LUMIÈRE, COULEUR ET ARCHITECTURE	35
I.2.1. LES BAIES.....	36
I.2.2. LES VITRAUX	36
I.2.3. LES ESPACES INTÉRIEURS	37
I.2.4. LES SURFACES MURALES	38
I.3. QUID DE LA TROISIÈME ABBATIALE DE CLUNY ?	40
I.3.1. CLUNY, L'ABBAYE	40
I.3.2. CLUNY, LA <i>MAIOR ECCLESIA</i>	42
<i>I.3.2.1. Importance de la lumière</i>	43
<i>I.3.2.2. Place de la couleur</i>	45

Chapitre II

LE VERRE MONUMENTAL DES SITES DE CLUNY ET PARAY-LE-MONIAL

INTRODUCTION	49
II.1. LE VERRE : DÉFINITION, MATIÈRES PREMIÈRES ET COMPOSITIONS.....	53
II.1.1. LES CONSTITUANTS DU VERRE.....	54
II.1.1.1. <i>Formateurs</i>	55
II.1.1.2. <i>Fondants</i>	56
II.1.1.2.1 Fondants sodiques	56
II.1.1.2.2 Fondants potassiques	57
II.1.1.3. <i>Stabilisants</i>	57
II.1.1.4. <i>Colorants, décolorants, opacifiants</i>	58
II.1.1.4.1 Colorants	59
II.1.1.4.2 Décolorants	63
II.1.1.4.3 Opacifiants	63
II.1.2. COMPOSITIONS ET REPÈRES CHRONOLOGIQUES ET GÉOGRAPHIQUES	66
II.2. PROVENANCE ET DESCRIPTION DU MATÉRIEL ARCHÉOLOGIQUE	69
II.2.1. CLUNY.....	69
II.2.1.1. <i>Fragments du grand transept sud</i>	72
II.2.1.2. <i>Fragments de la chapelle Saint-Martial - grand transept sud</i>	74
II.2.1.2. <i>Fragments de la chapelle Jean de Bourbon - petit transept sud</i>	76
II.2.2. PARAY-LE-MONIAL.....	77
II.2.2.1. <i>Fragments de la première église</i>	78
II.2.2.2. <i>Fragments de la seconde église</i>	79
II.2.3. PLANCHES	81
II.3. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES VERRES	86
II.3.1. ÉCHANTILLONNAGE	87
II.3.2. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES	90
II.3.2.1. <i>Préparations des échantillons</i>	90

II.3.2.2. <i>Observations</i>	91
II.3.2.3. <i>Analyses élémentaires (MEB-EDS)</i>	91
II.3.3. DESCRIPTION DES DONNÉES PAR ANALYSE MULTIVARIÉE	93
II.3.4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION	94
II.3.4.1. <i>Verres sodiques de Cluny et Paray-le-Monial</i>	95
II.3.4.2. <i>Verres calciques de Cluny et Paray-le-Monial</i>	98
II.3.4.3. <i>Verres potassiques de Cluny et Paray-le-Monial</i>	100
II.3.4.3.1. Vitraux de la chapelle Saint-Martial	102
II.3.4.3.2. Vitraux de la chapelle Jean de Bourbon	104
II.3.4.3.2. Vitraux de Paray-le-Monial	106
II.3.4.4. <i>Verres colorés et grisaille – quelques observations caractéristiques</i>	107
Verres bleus	108
Verres rouges	109
Verres verts	111
Verres violets	112
Grisailles	113
 II.3. BILAN SUR LES VERRES ARCHÉOLOGIQUES DE CLUNY ET PARAY-LE-MONIAL.....	 116

Chapitre III

LES POLYCHROMIES DES FRAGMENTS LAPIDAIRES DU PORTAIL ROMAN

III.1. LE PORTAIL ROMAN, ENTRE TANGIBILITÉ ET SPÉCULATIONS	121
III.1.1. DATATION DU PORTAIL	122
III.1.2. SOURCES DOCUMENTAIRES ET ICONOGRAPHIQUES	123
III.1.3. <i>DISJECTA MEMBRA</i>	124
III.1.4. ÉTUDES RÉCENTES	126
III.1.5. DESCRIPTION DU GRAND PORTAIL	129

III.2. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES POLYCHROMIES	133
III.2.1. ÉCHANTILLONNAGE	134
III.2.1.1. <i>Piédroits</i>	136
III.2.1.2. <i>Linteau et coussinets</i>	137
III.2.1.2.1. Coussinets	137
III.2.1.2.2. Linteau	138
III.2.1.3. <i>Tympan</i>	141
III.2.1.4. <i>Archivolte</i>	142
III.2.1.4.1. Voussure de rosettes	142
III.2.1.4.2. Voussure des anges	143
III.2.1.4.3. Voussure des vieillards	146
III.2.2. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES	147
III.2.2.1. <i>Préparation des échantillons</i>	147
III.2.2.2. <i>Observations</i>	147
III.2.2.3. <i>Analyses élémentaires (MEB-EDS)</i>	148
III.2.2.4. <i>Analyses structurales</i>	149
III.2.2.4.1. Raman	149
III.2.2.4.2. IRTF	150
III.2.3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION	151
III.2.3.1. <i>Supports et couches préparatoires</i>	151
III.2.3.2. <i>Bleu</i>	157
III.2.3.3. <i>Rouge et vert juxtaposés</i>	163
III.2.3.4. <i>Rouges</i>	166
III.2.3.5. <i>Verts</i>	168
III.2.3.6. <i>Rouge et or</i>	170
III.2.3.7. <i>Figures</i>	173
III.2.3.8. <i>Décors métalliques</i>	175
III.2.3.9. <i>Liants</i>	180
 III.3. BILAN SUR LES POLYCHROMIES DU GRAND PORTAIL.....	 182

Introduction générale

En 2010, Cluny commémora le 1100^e anniversaire de la fondation de son abbaye par Guillaume le Pieux, duc d'Aquitaine. À cette occasion, un projet de réhabilitation du site, le projet Cluny 2010, fut lancé par l'école d'ingénieurs Arts et Métiers ParisTech de Cluny, le Centre des Monuments Nationaux, le Ministère de la Culture et de la Communication et les collectivités territoriales. Ce projet comportait deux parties complémentaires, à savoir le projet Gunzo (recherche et développement technologique) et le projet Hézelon (rénovation patrimoniale). Gunzo est le concepteur légendaire de la *Maior Ecclesia*, troisième abbatale de Cluny réalisée sous l'abbatit d'Hugues de Semur à la fin du 11^e siècle. Selon la tradition clunisienne, saint Pierre en personne serait apparu en songe au moine Gunzo pour lui donner les plans de la nouvelle abbatale, qu'il devait par la suite transmettre à l'abbé Hugues. Hézelon serait quant à lui l'architecte de la *Maior Ecclesia*, la plus vaste église de la chrétienté jusqu'à la construction de Saint-Pierre de Rome au 16^e siècle. Par son étendue au sol (plus de 187 mètres séparent l'abside du chœur de l'avant-nef), le développement de son chevet (un déambulatoire dessert cinq chapelles rayonnantes), la hauteur de ses voûtes (à plus de 30 mètres), la *Maior Ecclesia* constitue un projet architectural innovant et ambitieux.

La plateforme Gunzo, intégrée au sein de l'école d'ingénieurs (installée depuis 1901 dans l'abbaye de Cluny) et de l'Institut Image (basé à Chalon-sur-Saône, non loin de Cluny) avait pour objectif la recherche et valorisation du patrimoine clunisien grâce aux technologies numériques en réalité virtuelle. Il s'agissait entre autres de restituer la *Maior Ecclesia*, qui fût presque entièrement détruite après la Révolution, suite au décret du 13 février 1790 qui supprima les ordres monastiques en France.

Afin d'offrir une restitution architecturale la plus proche possible de la réalité, la maquette virtuelle de l'abbatiale fut élaborée à l'aide de l'étude des vestiges et des sources iconographiques et historiques qui nous sont parvenus, associée aux recherches archéologiques les plus récentes. Les vestiges du bâti encore en place ainsi que les éléments lapidaires les plus remarquables furent numérisés à l'aide d'un scanner laser et intégrés à la maquette. D'autre part, un comité scientifique, composé d'Anne Baud, Nicolas Reveyron, Gilles Rollier, Juliette Rollier-Hanselmann, Jean-Denis Salvègue et Christian Sapin, définissait des hypothèses de travail dans la reconstitution de l'abbatiale et entérinait les propositions de modélisation.

Le choix du comité scientifique s'était porté sur une restitution de l'état architectural de l'abbatiale au 15^e siècle, de manière à proposer une meilleure perception du site en confrontant les vestiges encore en place à la restitution virtuelle. En effet des éléments de l'avant-nef, de la façade gothique, ceinte des tours Barabans, et des chapelles Saint-Martial (deuxième quart du 14^e s.) et Jean de Bourbon (deuxième moitié du 15^e s.) du transept sud sont conservés *in-situ* (voir annexe A).

Le premier film de simulation en image de synthèse, réalisé par la société *on-situ* en 2004, mettait l'accent sur les volumes architecturaux et la lumière (voir annexe B). Dans le projet de 2010, outre l'architecture, il s'agissait également de proposer une restitution des décors de l'abbatiale et de son ambiance colorée.

Les décors du chœur et plus largement des parties orientales de l'église abbatiale Cluny III ont été particulièrement étudiés à l'occasion de la publication du premier volume du *Corpus de la sculpture de Cluny* sous la direction de Neil Stratford, conservateur honoraire du British Museum, qui consacra une grande partie de ses recherches au site

de Cluny à la suite de l'historien de l'art et de l'architecture américaine Kenneth-John Conant [Stratford 2011]. Plusieurs chapitres sont consacrés aux peintures murales et aux polychromies des sculptures (Juliette Rollier-Hanselmann), aux dallages et mosaïques de pavements romans (Brigitte Maurice-Chabard), aux marbres décoratifs (Annie Blanc) ainsi qu'aux carreaux glaçurés des pavements médiévaux (Matthieu Pinette).

À la faveur des fouilles en extension et à l'analyse approfondie des murs du bras sud du grand transept, Anne Baud a pu en établir l'évolution du décor architectural (succession des enduits et badigeons) et en repérer les zones colorées (fragments d'enduits peints retrouvés en fouilles) [Baud 2003 : 14 ; 125-135].

Nous avons donc concentré nos recherches, dans l'objectif d'une meilleure compréhension des décors colorés de la *Maior Ecclesia*, sur les fragments de vitraux archéologiques, ainsi que sur les polychromies des fragments lapidaires du portail roman.

L'observation et l'étude de ces différents décors peut-elle permettre de dégager un schéma, une intention commune à l'ensemble de ces décors ?

Les vitraux sont des éléments filtrants qui modulent la lumière tant en quantité qu'en coloration et jouent donc un rôle majeur dans la création d'une ambiance lumineuse et colorée. Les termes d'art de lumière ou de peinture de lumière, pour qualifier l'art du vitrail, reviennent fréquemment.

Les fragments de vitrail et de verre mis au jour sur le site de Cluny (fouilles Conant dans les années 1930, puis fouilles Baud et Rollier au début des années 1990) n'avaient jusqu'alors suscité d'intérêt particulier ; probablement en raison de leur contexte de découverte (remblais) limitant leur datation à une approche typo-chronologique.

Au moment où débutaient nos travaux, une exposition était en cours de préparation à Paray-le-Monial sur le thème « Hugues de Semur, Lumières clunisiennes ». Les fragments de vitraux mis au jour à Paray-le-Monial par Gilles Rollier, à la fin des années 1980, devaient y être exposés. Nous saisismes l'opportunité de travailler également sur ce corpus qui comprenait des éléments appartenant à la première église

romane mais également, à l'instar de Cluny, des éléments mis au jour dans des contextes de remblais pour la seconde église. Une comparaison des fragments des sites de Cluny et Paray-le-Monial, prieuré clunisien, était particulièrement intéressante puisque l'église parodienne offre une image relativement proche de ce que pouvait être Cluny avant sa destruction¹.

Outre les informations techniques quant à la coloration des vitraux, les analyses physico-chimiques seraient-elles en mesure de nous permettre d'affiner les datations obtenues par classification typo-chronologique, sachant que la composition du verre peut-être un marqueur chronologique ?

Les décors polychromes participent également à l'amélioration et la coloration de l'éclaircissement. De plus la connaissance des matériaux d'origine est préalable à toute restitution virtuelle en raison de la possible altération des pigments ou des décors métalliques (modification de la couleur) et d'éventuels repeints pouvant induire des changements de parti coloré.

En effet, les pigments participent pleinement à l'art de la couleur et jouent donc un rôle relativement important dans la création d'une ambiance colorée. Ils ont une double fonction esthétique symbolique. La couleur, le coût, la rareté du pigment sont liés à l'importance de la représentation, comme par exemple dans la chapelle de l'ancien logis abbatial de Moissac (12^e s., Tarn-et-Garonne) où l'on observe une hiérarchisation des matériaux en fonction de la disposition des éléments du programme iconographique. Le Christ est paré de bleu de lapis-lazuli, pigment relativement coûteux, la Vierge, de bleu d'azurite alors que le fond du décor est constitué d'aérinite, terre naturelle locale (nord de l'Espagne) [Mounier 2010 ; Daniel *et al.* 2012]. D'où l'importance de l'étude de la nature des pigments et de leur relation avec les thèmes représentés (symbolique / coût des pigments).

De plus, la connaissance de la composition des pigments est très importante pour leur conservation, leur restauration ou leur restitution. L'altération des pigments est assez fréquente et les causes d'altérations sont nombreuses. Le cas est bien connu pour le

¹ L'historien de l'art américain, Edson Armi, démontra que les mêmes équipes de maçons avaient travaillé à Cluny et à Paray [Armi 1983].

changement de couleur des pigments à base de cuivre (azurite), du cinabre ou du minium [Aze 2005]. Ce que nous voyons aujourd'hui est l'effet du temps sur la peinture originelle, ce qui peut conduire à des erreurs d'interprétation. Par exemple, au Château de Bannes en Dordogne (Aquitaine), sur les peintures du 16^e siècle, l'interprétation (par rapport à son contexte et au programme iconographique de la peinture) d'un des personnages représentés, appelé depuis le 19^e siècle « le forgeron nègre » en raison de la couleur noire de sa carnation [Fayolle 1890 : 479], pose quelques difficultés. Des analyses physico-chimiques ont montré que cette coloration noire résultait d'une altération du pigment originel ; le blanc de plomb s'est transformé en sulfure de plomb (noir) par l'interaction du soufre libéré par l'œuf utilisé comme liant [Mounier 2005].

Les décors métalliques, utilisés fréquemment en peinture murale ou polychromies sur pierre, subissent également des altérations ; les feuilles d'argent et d'étain noircissent, les alliages cuivreux « verdissent » en présence d'un liant lipidique [Gunn et Martin 2000]. De plus, la dorure, fixée à l'aide d'un liant, est la partie la plus fragile du décor. Il n'en subsiste parfois que des « fantômes » dont certains indices permettent de déceler la présence. Par exemple, sur les peintures de la chapelle de l'ancien logis abbatial de Moissac, les nimbes de certains personnages présentent des fluorescences sous éclairage UV caractéristiques de certains liants. Des microprélèvements ont montré que ces zones comportaient une concentration importante de plomb et d'étain et pourraient être le témoin d'une dorure aujourd'hui disparue [Mounier 2006 et 2010].

La présence d'éléments décoratifs métalliques peut avoir une répercussion sur l'ambiance colorée de l'édifice en raison, non de la couleur, mais de leur pouvoir réfléchissant. Ainsi, la convergence lumière/couleur/métal est à prendre en compte dans l'élaboration d'un « scénario lumineux ».

Le portail roman constitue, avec les chapiteaux du rond-point du chœur, un des éléments les plus emblématiques de Cluny et de sa troisième abbatale. Les polychromies du portail ne semblent pas avoir suscité autant d'intérêt que son « anastylage ». Dans sa monographie sur Cluny, K.J. Conant les évoque brièvement et

de manière générale à partir des observations établies par H. Kleinschmidt, son étudiante.

Nous souhaitons déterminer la nature des pigments et matériaux utilisés pour polychromer le portail ainsi que la stratigraphie générale de sa polychromie. Il est important d'essayer de déterminer la polychromie originale romane car le « Grand Portail » constitue une œuvre emblématique de l'art roman.

La présentation de ce travail est organisée en trois chapitres.

Le premier chapitre introduit la couleur, son lien avec la lumière, l'importance qui leur était accordée au Moyen Âge, en particulier chez les clunisiens. Dans un second temps, nous présentons les facteurs pouvant intervenir dans la création d'une ambiance lumineuse et colorée. Enfin, après une brève présentation de l'histoire clunisienne, nous montrerons la place accordée à la lumière et à la couleur dans la *Maior Ecclesia*, malgré son ample destruction.

Le second chapitre est consacré au verre et à l'étude de nos corpus clunisien et parodien. Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à définir le verre afin de mettre en évidence les caractéristiques de sa composition qui permettent d'en faire un marqueur chronologique et géographique. Nous présentons ensuite le matériel archéologique mis au jour sur les deux sites clunisiens. Enfin, une troisième partie est consacrée aux résultats de l'analyse de composition d'une sélection de fragments de verre.

Le troisième chapitre est quant à lui dédié au portail roman de la *Maior Ecclesia* et plus spécifiquement à sa polychromie. En premier lieu, nous indiquons les éléments permettant d'appréhender ce chef d'œuvre de l'art roman, aujourd'hui réduit à l'état de « puzzle lapidaire ». Et dans un second temps, nous présentons les matériaux et matières colorantes mis en œuvre, et déterminés par analyses physico-chimiques.

Chapitre I

COULEUR, LUMIÈRE ET MATÉRIAUX POUR UNE AMBIANCE COLORÉE

I.1. REGARDS SUR LA COULEUR

I.1.1. APPARENCE COLORÉE

La couleur est un phénomène difficile à appréhender. Comme l'a souligné Guillaume Dupuis dans ses travaux sur la *Couleur de la matière picturale*, ses définitions sont multiples et varient selon le cadre théorique et pratique dans lequel elle s'inscrit [Dupuis 2004 : 1]. Par exemple, pour le physicien, la couleur est déterminée par la longueur d'onde d'un rayonnement ; pour le chimiste du solide, elle est liée à la théorie des bandes ; dans une approche sociologique, elle est conditionnée par un système culturel ; pour certains artistes, elle n'est qu'ornement, pour d'autres, c'est l'essence même d'une œuvre...

À ce jour, dans la science occidentale, la couleur est plutôt définie comme un phénomène perceptif. Elle tire son origine des variations spectrales à la surface des objets. En effet, la couleur n'est pas une propriété intrinsèque d'un objet ou d'un matériau. Ces derniers n'apparaissent colorés qu'en présence de lumière et si un récepteur, tel que l'œil et plus spécifiquement la rétine, capte la lumière qu'il renvoie.

Le système visuel transcrit les variations spectrales de la lumière par une couleur. Ce sont les photorécepteurs constitués par les cônes de la rétine qui sont à la base de la vision chromatique et du traitement trichromatique de l'information lumineuse.

Mais notre œil ne voit pas la couleur toujours de la même manière. La couleur peut changer selon les conditions d'éclairement : un objet n'aura pas la même couleur à la lumière du soleil ou à la lumière d'une chandelle par exemple. De plus, l'environnement a une forte influence sur notre vision, l'œil évalue la couleur d'un objet en fonction de ce qui l'entoure, de son contexte. On peut citer l'exemple du contraste de luminosité ; la même couleur sera perçue plus foncée sur un fond clair que sur un fond sombre (pour un catalogue des rendus de la couleur dans leurs contextes, voir les travaux de Françoise Viénot, notamment [Viénot 1999 et 2006]).

De plus, comme le souligne Michel Pastoureau, le couple œil-cerveau, récepteur nécessaire au traitement de l'information colorée, est complexe et met en jeu la culture, la mémoire, l'imagination, la sensibilité [Pastoureau 1990 : 22].

I.1.2. CLASSIFICATION DES COULEURS

Depuis les expériences d'Isaac Newton sur la lumière et les phénomènes de la couleur, cette dernière est classifiée de manière spectrale. En 1666, à l'aide d'un prisme, Newton décompose la lumière blanche. Le prisme disperse la lumière qui se décompose alors en bandes de lumière colorée que les physiciens ont réparti arbitrairement en sept couleurs : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet.

Mais pour les hommes de l'Antiquité et du Moyen Âge, l'organisation des couleurs est différente. Le classement le plus récurrent, présent dans les documents médiévaux, ordonne les couleurs sur un axe allant du blanc au noir en fonction de leur luminosité et non de leur teinte, le rouge se trouvant au milieu. Tous les jaunes sont près des blancs et entre le rouge et le noir, on trouve les verts et les bleus [Pastoureau 2002 : 22]. Ainsi, la sensibilité médiévale est différente de notre sensibilité. M. Pastoureau cite fréquemment l'exemple du couple rouge-vert. Pour nous il s'agit d'un couple de contraire au contraste fort (couleur primaire et sa complémentaire). On retrouve cette perception, cette sensation dans les propos de Baudelaire sur la couleur en regard du

Salon de 1846 : « J'ai eu longtemps devant ma fenêtre un cabaret mi-parti de vert et de rouge crus, qui étaient pour mes yeux une douleur délicieuse. » [Baudelaire 1846 : 14]. Mais au Moyen Âge ces deux couleurs sont voisines dans l'échelle linéaire des couleurs et leur contraste est donc modéré. L'association rouge vert est très fréquente dans la polychromie architecturale, en particulier à l'époque romane [Pastoureau 2002 : 22-23].

I.1.3. SENSIBILITÉ MÉDIÉVALE À LA LUMIÈRE ET À LA COULEUR

À l'époque médiévale est beau ce qui est clair, brillant et lumineux. En témoigne le texte de Thomas d'Aquin (1224-1274) qui, dans son traité théologique et philosophique, énumère trois conditions à la Beauté : la proportion, l'intégrité et la *claritas*, c'est-à-dire la clarté et la luminosité.

[...] car la beauté requiert trois conditions. D'abord l'intégrité ou perfection : les choses tronquées sont laides par là même. Puis les proportions voulues ou harmonie. Enfin l'éclat : des choses qui ont de brillantes couleurs, on dit volontiers qu'elles sont belles.

Saint Thomas d'Aquin, *Summa theologiae*, Partie I, question 39, partie 8, conclusion
[trad. in Roguet 1999]

L'esthétique de la *claritas* tire une de ses origines dans le fait que Dieu a été essentiellement perçu comme lumière dans l'Occident médiéval [Vincent 2004 : 266]. Aussi apprécie-t-on le marbre pour sa blancheur, les métaux pour la lumière qu'ils reflètent.

Quant à la couleur, de l'Antiquité tardive jusqu'à la fin du Moyen Âge, théologiens et prélats y ont tantôt été favorables, tantôt hostiles. M. Pastoureau opposa ainsi les prélats chromophiles aux prélats chromophobes. Ces derniers pensent la couleur comme matière et non comme lumière et l'associent au concept de *venustas*. Leur rejet de la couleur s'appuie une étymologie du mot latin *color* qui relie ce terme au verbe *celare*, cacher [Pastoureau 2000 : 47]. Il s'agit donc de quelque chose de trompeur, d'inutile et de méprisable faisant obstacle à la piété. Ainsi, dans les années 1120-1150, un conflit violent oppose les moines de Cluny et ceux de Cîteaux. Bernard de

Clairvaux, promoteur de l'ordre cistercien, dénonce la couleur et les sanctuaires trop richement peints. En effet, les grands abbés de Cluny laissent, dans l'église, une place importante à la couleur pour faire une plus large place au divin. Cette conception vient du fait que pour eux, les couleurs participent à la symbolique de la lumière et, comme elle, sont une émanation de Dieu, à la fois visible et immatérielle [Pastoureau 1989 : 205]. Guillaume Durand, évêque de Mende (13^e siècle), écrira : « Les fenêtres vitrées sont les Écritures divines qui versent la clarté du vrai soleil, c'est-à-dire Dieu, dans l'Église, c'est-à-dire dans le cœur des fidèles, tout en les illuminant » [cité par Nicolas Reveyron 2012 : 328].

Suger, l'un des plus célèbres abbés chromophile, lorsqu'il fait rebâtir son église abbatiale de Saint-Denis (vers 1130-40), en fait un véritable sanctuaire de la couleur ; du sol aux charpentes, tout est couleur [Pastoureau 2000 : 44-45]. La Sainte-Chapelle de Paris, construite au milieu du 13^e siècle, est peut-être l'un des plus beaux exemples de cette quête de la lumière et de la couleur.

I.1.4. SCULPTURE ET POLYCHROMIE

Les façades des églises ne semblent pas avoir été de tout temps polychromées. Comme nous le rappelle Raffaella Rossi-Manaresi¹ dans ses *Observations à propos de la polychromie de la sculpture monumentale romane et gothique*, aux alentours de 1100, l'Europe vit naître un grand mouvement artistique pour récupérer l'Antiquité romaine. « Les façades des églises et leurs sculptures étaient alors blanches, et non polychromées » [Rossi-Manaresi 2002 : 57]. Si cette esthétique restera de mise au fil des siècles dans la région de Pise et en général en Toscane, R. Rossi-Manaresi constate une situation différente en Émilie. La sculpture polychromée y apparaît en 1135 avec Nicolò qui est le premier sculpteur à avoir laissé un portail entièrement polychromé (le portail de la cathédrale de Ferrare) [Rossi-Manaresi 2002 : 58]. Elle constate également que la présence ou l'absence de polychromie ne dépend pas de la nature de la pierre mais bien de courants

¹ Observations basées sur ses travaux effectués au sein du *Centro per la Conservazione delle Sculture all'aperto* de Bologne (Italie).

esthétiques ; le marbre reste nu en Toscane, mais pas au Nord de l'Italie [Rossi-Manaresi 2002 : 59].

Dans sa « Discussion au sujet de la polychromie », à l'occasion du colloque consacré à la polychromie des portails gothiques [Verret et Steyaert 2002], Willibald Sauerländer met en évidence un antagonisme entre sculpture et peinture. Pour lui, le néoplatonisme florentin consacra la primauté de la sculpture sur la peinture puis, avec l'âge du néoclassicisme commençait le culte de la statue blanche, symbole de pureté. On peut citer son interprétation des propos de Benedetto Varchi (1503-1565), historien et philologue florentin :

Ainsi, selon [l'] argumentation [de Benedetto Varchi] qui survivra jusqu'en plein XIX^e siècle, la sculpture – en tant qu'art idéal – doit s'abstenir de l'usage de la couleur. Avec le *maquillage* des statues, la sculpture trahit son propre caractère.

[Sauerländer 2002 : 28]

et sa traduction des propos de Winckelmann dans son *Histoire de l'Art de l'Antiquité* :

« La couleur contribue à la beauté, mais elle n'est pas elle-même la beauté. Comme la couleur blanche est celle qui reflète avec la plus grande intensité les rayons de la lumière, un beau corps va être d'autant plus beau, qu'il sera plus blanc. »

[Winckelmann, 1764, traduit par Sauerländer, 2002 : 29]

Mais les découvertes archéologiques de la fin du 18^e siècle vinrent troubler l'idéal de blancheur des statues. Une vive polémique éclate alors quant à la polychromie ou la monochromie de la sculpture grecque. Quatremère de Quincy, dans son livre sur le *Jupiter Olympien*, publié en 1814, montrait que les Hellènes avaient l'habitude de peindre leurs sculptures et leurs édifices, même ceux de marbre blanc. Les premières tentatives de restitutions colorées voient le jour dès le 19^e siècle ; l'archéologue Jacques-Ignace Hittorff en proposera dans les planches chromolithographiées de ses ouvrages [Grand-Clément 2007 : 144].

Si polychromer ou non une sculpture dépend de courants esthétiques, la reconnaissance de la polychromie médiévale est également liée à l'évolution et l'histoire du goût. Reconnue comme un fait historique, la polychromie médiévale est cependant condamnée comme une erreur esthétique. Au 19^e siècle, les historiens de l'art séparaient l'analyse de la forme en sculpture et l'analyse de sa polychromie. Elle était même, parfois, complètement ignorée.

W. Sauerländer remarque qu'au 20^e siècle, le débat sur la polychromie semble absent de la bibliographie relative à la sculpture romane et gothique. Les grands édifices romans sont publiés avec de magnifiques photographies en noir et blanc, notamment dans la collection Zodiaque. À travers ces photographies, la sculpture médiévale apparaît monochrome [Sauerländer 2002 : 33, Di Matteo 2002 : 68].

L'attention aux traces de décor polychromé des sculptures monumentales médiévales est assez récente, il apparaît par le biais de la restauration. Le laboratoire des monuments historiques (créé en 1967) est, depuis les années 1970, associé à la plupart des études et travaux sur les grands portails médiévaux français, afin de comprendre les techniques d'application des polychromies sur pierre, l'histoire des restaurations anciennes, des changements de matériaux et de parti coloré [Pallot-Frossard 2002 : 76]. Le chantier de restauration de la cathédrale de Lausanne (Suisse), et plus précisément les travaux de conservation des polychromies du portail peint (1972-1985), donna une impulsion nouvelle. Dès lors le relevé des traces polychromes devient systématique. Il est par exemple appliqué sur les chantiers de restauration d'Étampes et de Chartres (années 1980).

Aujourd'hui, outre les questions de conservation, de techniques picturales..., le matériau polychrome est aussi étudié dans le but de cerner l'ambiance colorée des édifices.

I.2. LUMIÈRE, COULEUR ET ARCHITECTURE

Dans la construction contemporaine, la notion d'ambiance lumineuse est une donnée importante du projet architectural. Elle s'articule autour de la performance visuelle du bâtiment (adaptation de l'éclairement à l'activité du lieu) et du confort visuel (adaptation de l'éclairement aux capacités visuelles de celui qui regarde) qui sont définis par des grandeurs photométriques. La photométrie mesure des « quantités de lumière » perçues par l'œil², émises par une source ou renvoyée par un objet à l'aide de quatre grandeurs fondamentales : le flux lumineux (lumen), l'intensité lumineuse (candéla), l'éclairement (lux) et la luminance (candela.m⁻²). Le flux lumineux et l'intensité lumineuse caractérisent uniquement les sources lumineuses, appréhendées de manière globale ou selon une direction précise. Ils quantifient la lumière entrant à l'intérieur de l'édifice. L'éclairement et la luminance concernent la lumière reçue. L'éclairement caractérise une surface éclairée et permet d'appréhender la luminosité d'un volume architectural. La luminance est une caractéristique visuelle, elle quantifie la lumière perçue par l'œil.

De nombreux édifices médiévaux témoignent de la recherche des architectes dans le travail de la lumière à la fois dans son pouvoir d'éclairage et dans sa qualité. Cependant, cette part de la création artistique du Moyen Âge dans le domaine monumental est encore méconnue, et la question de la lumière architecturale constitue une des problématiques les plus récentes de l'archéologie du bâti et de l'histoire de l'art du Moyen Âge [Reveyron 2007 : 7]. On cherche à appréhender l'aspect interne des édifices à travers leur ambiance lumineuse et colorée, les intentions des architectes dans la création d'un meilleur éclairage, de scénarios lumineux...

En architecture, la lumière et la couleur se trouvent étroitement mêlées, et différents facteurs interviennent dans le travail et la modulation de la lumière ; de nombreuses formules et mises en œuvre architecturales ou décoratives ont été éprouvées.

²L'œil n'est sensible qu'aux radiations de longueur d'onde comprises entre 400 nm (bleu) et 700 nm (rouge).

I.2.1. LES BAIES

La dimension et la position des baies ont une influence directe sur la quantité de lumière pénétrant à l'intérieur de l'édifice. De toute évidence, plus l'ouverture est grande, plus elle laisse entrer de lumière. Par exemple, les constructions gothiques s'assurent une pénétration maximale de la lumière naturelle grâce à de vastes baies. Le plein éclairage quasi uniforme ainsi créé, comme à Saint-Denis ou à la Sainte-Chapelle, confère une ambiance lumineuse relativement homogène à ces édifices.

La hauteur de la baie dans l'élévation est également à prendre en compte, plus la source lumineuse est éloignée de la surface réceptrice, plus la déperdition de lumière est grande. Nous pouvons citer l'exemple des fenêtres hautes du clair-étage. Primitivement, elles ne débordaient pas de la limite inférieure des voûtes. À la cathédrale de Chartres, elles s'agrandissent par le bas améliorant ainsi l'éclairage naturel de la nef [Reveyron 2011 : 15 et 2012 : 319-320].

I.2.2. LES VITRAUX

La définition du vitrail donnée par Françoise Perrot illustre bien le lien qui unit ce dernier à la lumière et à la couleur : « une cloison destinée à la fermeture d'une baie, utilisant des matériaux translucides de manière à laisser passer la lumière (par conséquent facteur d'éclairement), offrant éventuellement un décor lisible en contre-jour, dû à l'agencement des pièces de verre dans leur support ou à la peinture. » [Perrot 2009 : 277]. L'utilisation du vitrail entraîne une modification importante de la luminosité d'un édifice en fonction de l'utilisation privilégiée de verrières de pleine couleur ou de verrières en grisaille. Ces dernières, aniconiques et sans couleur, sont emblématiques du milieu cistercien. Outre l'aspect économique, ce type de verrière pouvait être utilisé pour distinguer visuellement différents espaces de l'édifice, comme par exemple à Bourges où le chœur religieux orné de verrières en pleine couleur se différencie de la nef où prenaient place les laïcs [Boulangier 2004a : 51]. Les deux types de verrières peuvent également être associés pour une meilleure luminosité, comme à Troyes ou Auxerre.

À la fin du 11^e siècle et au 12^e siècle, la gamme colorée des vitraux est peu étendue : le rouge, le bleu et le jaune sont les principales couleurs utilisés en France. Notons qu'au début du 12^e siècle, le bleu est encore très rare dans le vitrail. Il faut attendre les grands chantiers des années 1140-60 pour que le bleu domine dans les verrières comme à Saint-Denis, au Mans ou encore à Chartres [Pastoureau 2000: 44].

Un changement s'opère dans l'esthétique du vitrail au 13^e siècle. Les recherches s'orientent vers plus de clarté. C'est notamment l'apparition de la composition en *litre* où un registre de pleine couleur s'intercale entre deux registres de grisailles décoratives. Ce type de vitrail apparaît à la cathédrale de Tours vers 1260, mais le premier exemple abouti se voit à Troyes vers 1270 [Perrot 1996 : 213 ; Boulanger 2004a : 53]. La palette se diversifie, le bleu est plus soutenu et plus saturé qu'au 12^e siècle et le jaune est moins présent [Perrot 1988 : 35].

Au début du 14^e siècle apparaît une nouvelle qualité de verre qui transforme complètement l'effet produit par le passage de la lumière dans les vitraux. Le verre est plus fin, plus régulier, plus limpide, il devient transparent [Perrot 1988 : 49]. L'invention du jaune d'argent va également modifier la coloration et la luminosité des verrières. En permettant de s'affranchir des plombs séparateurs, les pièces de verre deviennent beaucoup plus grandes.

Au 15^e siècle, on constate un retour progressif de la couleur et même un enrichissement de la palette, notamment d'un ton violet obtenu par le plaquage de verres rouge et bleu [Perrot 1988 : 63].

I.2.3. LES ESPACES INTÉRIEURS

L'encombrement des volumes intérieurs (supports, mobilier) et la composition des volumes architecturaux ont une incidence sur la propagation de la lumière à l'intérieur de l'édifice. Les élévations des édifices jouent sur l'éclairement et l'ambiance lumineuse. Par exemple, les vastes églises aux bas-côtés de même hauteur, comme Notre-Dame de Paris, sont plus sombres que celles qui, comme à la cathédrale de Bourges, échelonnent en hauteur leurs collatéraux, ainsi pourvu de clair-étages [Reveyron 2007 : 9]. Mais la création d'espaces plongés dans la pénombre et contrastant avec des espaces de pleine

clarté peut être un choix délibéré. Ces ambiances lumineuses contrastées peuvent distinguer symboliquement des parties de l'édifice comme à Saint-Philibert de Tournus en Bourgogne (avant-nef / nef).

Quant au mobilier liturgique, l'utilisation de gemmes, d'or ou de dorure sur les autels, les reliquaires, la statuaire... favorisent par leur réflectance des jeux de lumière contrastés. Edgard de Bruyne, dans ses *Études d'esthétique médiévale*, parlera « d'esthétique du Gold and Glitter » [Bruyne 1946 : vol. 3 -23]. Mais les pierres ou les métaux précieux ne sont pas utilisés tant pour leur valeur vénale que pour refléter « la réalité supérieure de l'unité et de l'éternité de Dieu dans son éclat inextinguible » [Vincent 2004 : 267].

I.2.4. LES SURFACES MURALES

Les surfaces murales interviennent dans la création d'une ambiance lumineuse et colorée par la qualité lumineuse des matériaux employés ; les propriétés optiques diffèrent en fonction de la couleur et de l'état de surface des matériaux. Par exemple, les mosaïstes byzantins prenaient soin de positionner les tesselles vitrifiées selon diverses orientations afin d'éviter que de larges plages de réflexion spéculaire ne viennent perturber la lisibilité des programmes iconographiques [Reveyron 2007 : 9].

Le Moyen Âge central étant sensible aux ambiances lumineuses claires, il était courant de traiter les surfaces murales par enduction d'un badigeon de chaux blanche (*dealbatio*). Cette pratique servait non seulement à unifier les surfaces mais aussi à renforcer leur performance lumineuse, leur luminance [Reveyron 2009 : 167 et 2011 : 15].

L'utilisation de différentes qualités de pierre, de bois, l'ajout d'enduit, de peinture, de mosaïque... constituent la personnalité colorée de l'édifice.

L'utilisation d'éléments métalliques ou en verre dans les décors colorés crée des contrastes de réflectance entre la matité des enduits et la brillance de ces matériaux. L'utilisation de cabochons de verre est illustrée à la cathédrale de Nevers où ils sont incrustés dans la mandorle entourant le Christ [Christe 1993]. Dans les peintures romanes des culs-de-four des sites clunisiens de Berzé-la-Ville (Bourgogne) ou de

Saint-Marcel-lès-Sauzet (Rhône-Alpes), le Christ en Majesté était vraisemblablement entouré d'étoiles métalliques [Reveyron 2009]. À Berzé, il est difficile de déterminer si la série « d'empreintes » entourant le Christ et mettant au jour l'enduit recevait des incrustations métalliques ou de verre [Rollier-Hanselmann 2011].

Les décors métalliques sont des ornements composés d'une fine couche de métal (or plus ou moins allié, argent, étain ou cuivre) appliquée sous forme de feuille ou en poudre. Ces décors sont généralement désignés par le terme « dorure » qui au sens large regroupe tout ce qui produit l'effet de l'or, matériau le plus apprécié. En Occident, la première description des feuilles d'or semble avoir été donnée par Pline l'Ancien (Histoire naturelle, livre XXXIII, chap. XIX, § 61).

L'utilisation de décors métalliques revêt différents aspects qui peuvent être d'ordre esthétique, symbolique (attribut divin), ils peuvent également revêtir une fonction de prestige (affirmation de la richesse et de la puissance du commanditaire, du seigneur, du clergé local).

Le plus souvent en or, les décors métalliques peuvent aussi être exécutés en argent ou en étain, tant pour des raisons analogiques afin de représenter les armures par exemple³, que pour des raisons économiques à cause de leur prix moins élevé [Eveno et Martin 1996]. L'argent extrêmement sensible à l'humidité s'altère facilement (noircissement dû au développement de sulfures d'argent), d'ailleurs Cennini le déconseille car « il ne dure pas et devient noir » (chap. XCV). L'étain est moins éclatant que l'argent, mais plus stable ; il ne se ternit qu'assez lentement à l'air, surtout s'il est pur.

Recouvertes de vernis jaune, les feuilles d'argent et d'étain pouvaient alors se substituer à l'or. Théophile donne la recette de l'*auripetrum* dont la coloration jaune est due au safran (livre I, chap. XXVI). L'or pouvait également être imité par des alliages cuivreux

³ Cf. *La bataille de San Romano - La contre-attaque de Micheletto da Cotignola* de Paolo Uccello (vers 1435-1440 ?, tempera sur panneau, musée du Louvre) où les armures des cavaliers florentins étaient en feuille d'argent. Dans les peintures du palais des papes à Avignon, des incrustations métalliques réalisées dans les apprêts donnaient un aspect réaliste aux cottes de maille des armures (communication orale de M.-C. Léonelli, adjointe au conservateur des Monuments Historiques de Provence-Alpes-Côte-d'Azur, « La peinture murale à la cour pontificale d'Avignon », le 8 février 2008 à l'athénée municipal de Bordeaux).

(bronze, laiton), telle la bronzine (poudre ou paillettes de laiton, voire de cuivre [Wailliez 2004], appliquée(s) à l'aide d'un liant). Mais les alliages cuivreux interagissent avec les acides gras libres et avec les fonctions esters des triglycérides contenus dans l'huile (mixture) pour former des complexes cuivriques de coloration verte [Gunn et Martin 2000].

L'or allié avec de l'argent et/ou du cuivre prend des couleurs très variées et nuancées allant de l'or rouge à l'or blanc en passant par l'or vert. Par exemple, l'or foncé se compose de 94% d'or, de 4% d'argent et de 2% de cuivre. On pouvait donc jouer sur les couleurs et les nuances des dorures au sein d'une même composition.

Ainsi, l'ambiance colorée se façonne à travers les multiples sources de coloration présentes dans un édifice. La lumière se charge de couleurs en passant à travers les vitraux, mais aussi en se réfléchissant sur les pierres ou les enduits colorés et peut apporter une coloration chatoyante à des surfaces murales ou des sols restés neutres, sans cesse renouvelée selon les heures de la journée et la présence d'un ciel clair, nuageux, gris...

I.3. QUID DE LA TROISIÈME ABBATIALE DE CLUNY ?

I.3.1. CLUNY, L'ABBAYE

Ce paragraphe n'a pas l'ambition de retracer point par point la riche histoire clunisienne, mais de donner des éléments clefs permettant de comprendre l'importance et l'originalité de cette abbaye.

L'histoire de Cluny débute en 910⁴ lorsque Guillaume I^{er} le Pieux, duc d'Aquitaine et comte de Mâcon, fait don de ses terres clunisiennes de sorte qu'y soit fondé, en l'honneur des saints Pierre et Paul, un monastère soumis à la règle de saint Benoît.

⁴ Une ambiguïté sur la datation de la fondation de l'abbaye demeure (11 septembre 909 ou 910), voir Marcel Pacaut [1986 : 54].

Cette fondation est entérinée par une charte désignée par ses auteurs sous le terme de *testamentum*⁵. La revendication de l'indépendance du monastère et des moines à l'égard de toutes puissances extérieures constitue l'aspect essentiel de ce document. En effet, Cluny est placée sous la protection de saint Pierre et de saint Paul. Ce patronage exceptionnel confère à l'abbaye bourguignonne un statut particulier et original, l'exemptant de tout pouvoir seigneurial ou épiscopal ; l'unique intermédiaire entre l'abbaye et les saints apôtres est le pape, vicaire de Pierre et du Christ. Ce statut spécial est à l'origine de l'accroissement et du rayonnement de l'abbaye

Guillaume confie la direction du monastère à Bernon, alors abbé d'un réseau de petits monastères du Jura – notamment Gigny, Baume-les-Messieurs, Saint-Lothain. Il y fait édifier une première église qui sera achevée sous son successeur Odon (927-942). Sous l'abbatiat de ce dernier, Cluny devient le foyer de la réforme bénédictine. Soutenu dans sa mission par la papauté, Odon réforme d'anciennes abbayes et fonde de nouvelles communautés. Une bulle de 931 octroie l'immunité au monastère et l'autorise à réformer d'autres établissements ou à accueillir des moines insatisfaits de leur mode de vie [Iogna-Prat et Rosé 2010 : 24]. Parallèlement, de nombreuses donations tant foncières et immobilières qu'en droit divers (droit de pêche, péage etc.) viennent accroître le domaine de Cluny.

L'abbatiat d'Aymard (642-954), qui succède à Odon, est déterminant dans la croissance du temporel. Entre 942 et 948, l'abbé de Cluny bénéficie de plus de 270 donations [Rollier 2010 : 161]. Mais Cluny connaît un tournant majeur dans son histoire sous Maïeul (954-994) et Odilon (994-1049). En 981, lors de la consécration de la deuxième église abbatiale de Cluny, l'abbaye acquiert des reliques des apôtres Pierre et Paul, et devient par transfert symbolique une sorte de « petite Rome ». En 1024, le pape Jean XIX confirme et étend les privilèges d'exemption accordés aux clunisiens ; l'immunité concerne Cluny mais également toutes ses dépendances. Cette bulle consacre la naissance de l'*Ecclesia cluniacensis*, l'Église clunisienne.

Sous l'abbatiat d'Hugues de Semur, Cluny atteint son apogée et le réseau monastique s'étend aux quatre coins de l'Europe (1049-1109). Les clunisiens installent

⁵ L'original de la charte de fondation fût conservée dans les archives de l'abbaye de Cluny jusqu'à la Révolution. Elle se trouve aujourd'hui dans les collections de la bibliothèque nationale de France (Mss, collection de Bourgogne, vol. 76, n°5).

d'importantes dépendances dans le royaume capétien (en particulier le prieuré de Saint-Martin-des-Champs à Paris). En Angleterre, où Guillaume le Conquérant souhaite diffuser la réforme clunisienne, la fondation de Saint-Pancrace de Lewes, vers 1080, assure aux clunisiens une première emprise sur ce royaume⁶. Dans la péninsule Ibérique, Ferdinand I^{er} de Castille favorise l'expansion clunisienne à la faveur de la *Reconquista*. Ainsi, Cluny contribue à l'implantation de la liturgie romaine en remplacement des usages mozarabes. Alphonse VI de Castille et Léon, fils de Ferdinand I^{er}, concourt largement à la construction de la nouvelle abbatale (Baud 2003 : 36). Dans les pays germaniques, où les relations avec la cour sont plus distendues, l'influence clunisienne se traduit par l'adoption des coutumes clunisiennes dans certains monastères comme celui d'Hirsau en Forêt Noire (Rollier 2010 : 166). L'abbatiate d'Hugues de Semur est également marqué par la construction d'une nouvelle église abbatiale, Cluny III, manifestation éclatante de la puissance clunisienne.

I.3.2. CLUNY, LA *MAIOR ECCLESIA*

Le 30 septembre 1088 débute l'ambitieux chantier de la troisième église abbatiale de Cluny, la *Maior Ecclesia*. Les moines élaborent un projet architectural innovant et inédit par ses dimensions. Plus de 187 mètres séparent l'abside du chœur de l'avant-nef, la hauteur sous voûte dépasse les 30 mètres, la nef compte cinq vaisseaux, un double transept débordant répond au besoin d'autels nécessaires pour la célébration des messes votives, un chevet avec déambulatoire dessert cinq chapelles rayonnantes.

En 1095, le pape Urbain II vient consacrer l'autel majeur et l'autel matutinal. Sous l'abbatiate de Pons de Melgueil (1109-1126) la nef et la façade de l'abbatiale sont achevées, et peut être les premières travées de l'avant-nef. En 1130, le pape Innocent II dédicace la *Maior Ecclesia* bien que l'avant-nef ne soit pas encore achevée. Le chantier subit quelques retards en raison de déboires économiques et l'édification de la façade gothique s'achève durant le troisième quart du 13^e siècle [Stratford 2012 : 16-17].

⁶ L'Angleterre comptera une quarantaine de prieurés et dépendances clunisiens [McNeill et Fernie 2010 : 372-73].

I.3.2.1. Importance de la lumière

Les élévations de la *Maior Ecclesia* font appel à une conception architectonique innovante : la mise en place d'une ossature articulée des supports plutôt que leur contrebutement et l'utilisation de la voûte en berceau brisée ont permis de laisser une plus grande place aux baies et ainsi d'admettre plus de lumière dans l'édifice. Le bras sud du grand transept, encore conservé, permet d'appréhender le degré de luminosité de certaines parties de l'édifice (fig. I.1), et ses nombreuses fenêtres illustrent bien la volonté de créer un grand espace lumineux [Baud 2003 : 155]. Le parti architectural de la nef illustre également ce dessein. Le vaisseau principal est éclairé de manière directe par le biais de fenêtres hautes. Les bas-côtés échelonnés dans leur hauteur permettaient d'éclairer chacun par un ensemble autonome de baies et de procurer à la nef principale une succession ininterrompue d'espaces lumineux [Reveyron 2009 : 163].

Au niveau du chœur, le déambulatoire est voûté d'arêtes ce qui permet d'y aménager des baies au niveau des voûtes elles-mêmes⁷. Et pour favoriser encore l'éclairage, les masques que constituent les colonnes du déambulatoire ont été réduits. Les parties hautes de l'abside sont portées par des colonnes de marbre très minces. Leurs diamètres varient de quarante-sept à cinquante centimètres pour une portée d'arcade de neuf mètres [Reveyron 2011 : 19-20]. Le choix du marbre n'est pas anodin ; lisse et blanc, ce matériau est très lumineux. Outre la lumière naturelle, des dispositifs permettent d'éclairer artificiellement le chœur. Catherine Vincent, dans ses recherches sur la lumière et les luminaires des édifices religieux occidentaux, note qu'à Cluny, une couronne en cuivre, or et argent comportant 120 cierges était suspendue dans le chœur. Cette couronne de lumière était réservée à certaines fêtes ; un dispositif en fer supportant des lampes en verre était d'usage plus courant [Vincent 2004 : 97].

Comme le souligne Nicolas Reveyron, l'importance accordée à la lumière au niveau du chœur peut trouver une explication dans *La Vie de saint Hugues* composée par le moine Gilon au 12^e siècle : « environnés par la lumière venue du « déambulatoire des anges » (*deambulatorium angelorum*), les moines réunis autour de leur abbé dans le sanctuaire sont décrits comme une évocation de la vie au Paradis » [Reveyron 2011 : 20].

⁷ Comme elle reporte une part de ses poussées en des points précis, la voûte d'arêtes laisse ainsi libre les espaces inférieurs des arcs qui la soutiennent.

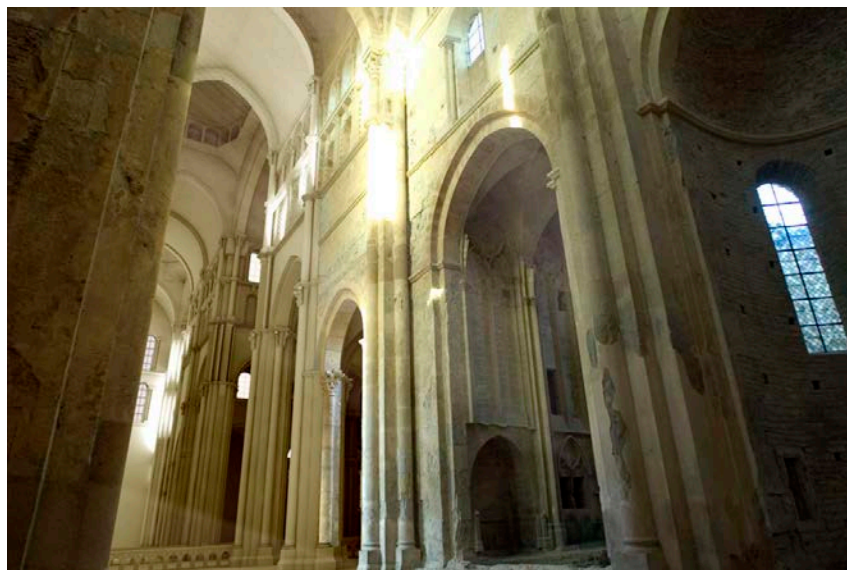


Figure 1.1 – Cluny, vue du transept sud. Image en réalité augmentée intégrant aux vestiges encore conservés les parties restituées. © Arts et Métiers ParisTech / CMN / on-situ

Les destructions massives de l'abbatiale clunisienne ont fait disparaître les décors colorés (enduits, badigeons, polychromies, vitraux) et les élévations subsistantes qui avaient conservé quelques traces d'enduit peint furent largement dégradées lors des restaurations. Cependant, les travaux de mise en valeur du transept sud ont permis de constater qu'à l'époque romane, les parements intérieurs sont couverts d'un enduit de couleur beige, lui-même recouvert d'un badigeon blanc. Ce traitement de surface concerne uniquement les murs construits en moellons et nullement les structures appareillées [Baud 2003 : 126]. Le badigeon blanc protège l'enduit mais lui confère également un aspect lisse et satiné qui contribue à une meilleure luminosité de l'édifice. À l'époque gothique, un décor de faux appareil simulant des jambages et des cintres en pierre de taille vient orner le transept. De même que le badigeon roman, l'enduit peint gothique ne concerne que les parements intérieurs en moellons [Baud 2003 : 129-130]. Le faux-appareil est très répandu au Moyen Âge, on le retrouve notamment à Saint-Savin-sur-Gartempe, Saint-Sernin de Toulouse, ou encore à la cathédrale de Genève.

I.3.2.2. *Place de la couleur*

Outre un badigeon blanc, les traces de peinture conservées dans le transept sont purement ornementales, tel le décor d'entrelacs colorés soulignant l'entrée de la chapelle Sainte-Eutrope du petit transept sud.

Nous avons pu examiner les chapiteaux du chœur, exposés aujourd'hui dans le Farinier de l'abbaye, à l'occasion d'une campagne de dépoussiérage en vue de leur numérisation 3D. De très rares traces polychromes sont encore visibles, notamment des tons ocres. La campagne de moulage de ces chapiteaux les a certainement privés d'une partie de leurs restes polychromes⁸.

De nombreux fragments d'enduits peints ont été mis au jour lors de différentes fouilles archéologiques du site de l'abbatale. Certains fragments ont été découverts à proximité de l'abside principale du chœur, sans pour autant pouvoir être attribués à cet emplacement précis. Cependant, des descriptions antérieures à la destruction de l'abbaye décrivent une *Maiesta Domini* au cul-de-four de l'abside principale du chœur, et parmi les fragments mis au jour, la présence de drapés, d'un œil et d'une main, atteste de l'existence de décors figurés.

[...] une voûte en demi-cul-de-four [...] est décorée de plusieurs figures en plate peinture. Celle du centre renfermée dans un ovale, imite le Père Éternel, et les autres placées à la circonférence expriment le symbole des quatre évangélistes et des chœurs qui forment la cour céleste.

Dumolin 1749 : fol. 49

La *Maiesta Domini* qui orne le cul-de-four de l'abside de la Chapelle aux Moines du doyenné de Berzé-la-Ville (11^e siècle), cher à Hugues de Semur, permet d'imaginer le décor disparu du chœur de Cluny III. Ces peintures, réalisées au cours du premier tiers du 12^e siècle, sont considérées comme le plus beau témoignage de l'art roman clunisien.

⁸ Ces moulages sont présentés dans la galerie du musée des Monuments français de la cité de l'architecture à Paris.

Les surfaces murales n'étaient pas les seules à recevoir un riche décor polychrome. K.J. Conant a mis au jour de nombreux fragments de mosaïque de pavement au niveau du chœur. Les fragments mis au jour ont permis d'observer les différentes techniques utilisées (*opus tessellatum*, *opus sectile* et incrustations de calcaire, marbre ou verre) et la variété des motifs composant des décors uniquement géométriques (pelta, rosace à simples ou doubles pétales, étoiles, cercles, cercles sécants, damiers...). Dumolin, dans sa description de l'abbaye en avait d'ailleurs apprécié la finesse.

[...] la Portion du sanctuaire qui s'étend depuis le grand autel jusques au chœur est une mosaïque travaillée en roses, en étoiles, en échiquiers, exprimés avec beaucoup de délicatesse.

Dumolin 1749 : fol. 62

La palette colorée est habituelle pour l'époque romane ; noir, blanc, rouge foncé, bleu et vert sont apportés par divers matériaux locaux ou importés. Du calcaire clunisien ou du nord de la Bourgogne, du schiste de la région d'Autun ou du bassin de Blanzey-Montceau-les-Mines, des calcaires roses de Préty, de Prémieux ou de Nuits-Saint-Georges, du calcaire rouge de la Roche-Vineuse ou du nord de Mâcon, des marbres blancs ou blancs veinés de source méditerranéenne, du cipolin vert de l'île grecque d'Eubée, du marbre blanc veiné de rouge-violacé (« pavonazetto ») et de la brèche coralline rouge de Turquie, ou encore, du porphyre vert de Laconie (Grèce) ont pu être identifiés. L'utilisation de spolia, à l'instar des colonnes de marbre blanc antiques du chœur, a également pu être observée [Maurice-Chabard 2011 : 770].

Pour le pavement du chœur, un accent a été mis sur la brillance par le choix de pierres blanches, le polissage des marbres et l'emploi du verre.

Dans les chapitres suivants sont présentées nos recherches sur les fragments de vitraux de l'abbatiale et sur les polychromies du portail roman où couleur et lumière occupent également une place centrale.

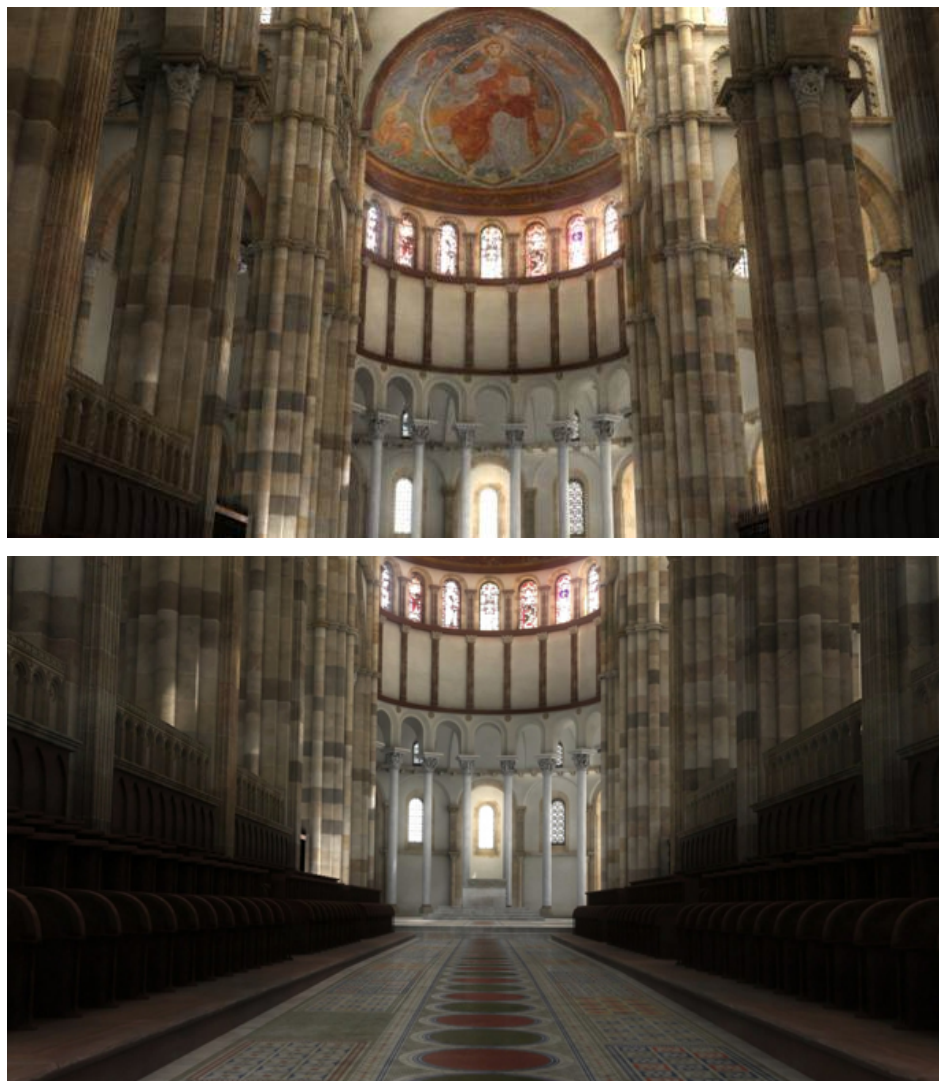


Figure I.2 – Cluny III, vues du chœur. Proposition de restitution en images de synthèse du chœur et de ses décors colorés (peinture du cul-de-four, vitraux, pavement). © Arts et Métiers ParisTech / CMN / on-situ

Chapitre II

LE VERRE MONUMENTAL DES SITES DE CLUNY ET PARAY-LE-MONIAL

« [...] il n’y a sans doute rien de plus grand et de plus étrange que cette
forme translucide de la peinture monumentale, le vitrail. »

Henri Focillon, 1938 [247]

Comparé au verre creux, le verre plat¹ archéologique – souvent très altéré, brisé en fragments indifférenciés et difficile à interpréter – a longtemps peu attiré l’attention des archéologues ; le désintérêt était encore plus marqué pour le verre à vitre non décoré [Belhoste 1999, Dell’Acqua 2009]. Ainsi, comme le souligne Françoise Perrot, « [...] sur des sites fouillés anciennement, nous ne saurons jamais s’il y a eu des restes de clôtures vitrées. » [Perrot 2009]. Quant à l’histoire du vitrail, les historiens la faisaient commencer, jusqu’à récemment, au début du 12^e siècle, époque à laquelle remontent les plus anciens exemples conservés *in situ* [Perrot 2009]. On cite traditionnellement les cinq prophètes de la cathédrale d’Augsbourg (Allemagne,

¹ Le verre creux correspond aux produits verriers ayant une forme non plane ; le verre plat correspond aux produits verriers fabriqués sous forme de feuilles et destiné principalement au vitrage.

vers 1110-1130)² et l'*Ascension* de la cathédrale du Mans (France, vers 1120). Quelques découvertes lors de fouilles archéologiques du début du 20^e siècle, tels les fragments peints de Séry-lès-Mézières (Aisne, Picardie) [Pilloy et Socard 1910] ou la « tête » de Lorsch (Allemagne) [Becksmann 2001], ont permis de remettre en cause ce genre de topique et viennent enrichir la pauvreté des vestiges archéologiques antérieurs au 12^e siècle. Mais c'est surtout à partir des découvertes de Rosemary Cramp, dans les années 60, que l'étude des vitraux les plus anciens d'Occident a connu un tournant. R. Cramp mit au jour des fragments de verre coloré mais non peint sur les sites des monastères de Jarrow et Wearmouth (Angleterre) érigés vers la fin du 7^e siècle. En outre, elle mit au point une méthode de catalogage et d'inventaire des verres de fouille ayant servi de modèle pour les découvertes postérieures telles celles des sites de Farfa ou de San Vincenzo al Volturno en Italie [Dell'Acqua 2009 : 17].

Lors des fouilles de San Vincenzo al Volturno en 2007, des éléments représentant la partie supérieure d'un Christ, avec plombs d'origine, ont été mis au jour. Il s'agit d'un des plus anciens témoignages de verrière figurative (antérieur à 881). Le Christ, nimbé, n'est pas peint mais représenté par la juxtaposition de fragments de verre coloré à l'instar de la mosaïque et plus particulièrement de la technique de l'*opus sectile* [Dell'Acqua 2009 : 18-19]. Le principe du vitrail mosaïque est déjà présent dans l'église mérovingienne de Notre-Dame-de-Bondeville (Seine-Maritime - seconde moitié du 7^e siècle) [Le Maho et Langlois 2005 ; Langlois 2009]. Par la suite, des exemples de verrières figuratives peintes ont été mis au jour au palais épiscopal de Rouen (Seine-Maritime) pour des fragments datant du 9^e siècle [Le Maho et Langlois 2005 : 92], à la basilique Alise-sainte-Reine d'Alésia (Côte-d'Or) pour cinq fragments datés de fin du 9^e siècle voire du début du 10^e siècle. [Wahlen 2009] ou encore à l'abbaye de Jumièges (Seine-Maritime) pour des fragments datés de la seconde moitié du 11^e siècle [Le Maho *et al.* 2014 : 173]. Toutes ces découvertes démontrent que les vitraux historiés ornaient l'architecture occidentale bien avant le 12^e siècle.

² Rüdiger Becksmann montra que ces verrières avaient en fait été réinstallées dans la nef de la cathédrale partiellement reconstruite en 1334-1335 [Kurmann-Schwarz et Lautier 2009 : 102].

La période alto-médiévale ainsi que le 11^e siècle, très lacunaires en regard des périodes précédentes et subséquentes (références textuelles, attestations d'artisanat... limitées), sont aujourd'hui particulièrement étudiés, peut-être en raison du corpus croissant des découvertes pour cette période³ et de l'intérêt que suscite le changement de recette verrière (voir § II.1.2, p. 66) mis en lumière par les analyses physico-chimiques⁴. En témoignent différents colloques, table-rondes ou travaux de recherche. On peut citer les colloques sur le thème du verre plat organisés en 2005 à Paris par l'association Verre et Histoire (*Verres et fenêtres de l'Antiquité au 18^e siècle*) et à Bavay par l'AFAV⁵ (*De transparentes spéculations : Vitres de l'Antiquité et du Haut Moyen Âge (Occident-Orient)*), la table ronde, organisée par le centre d'études médiévales d'Auxerre en 2006, sur la place du verre monumental entre le 5^e et le 12^e siècle [Bacon-Berry, Perrot et Sapin 2009], les études d'Inès Pactat sur *Le verre du V^e au XII^e siècle en Bourgogne et Franche-Comté*⁶ [2012] et celle de Line Van Wersch⁷ sur *Le verre monumental au haut Moyen Âge en Bourgogne et Franche-Comté* (2012) ou encore le colloque *Lost luster: Archaeological window glass in North Western Europe (10th-18th c.)* organisé en 2013 à Coxyde (Belgique).

En ce qui concerne la Bourgogne, si elle joue un rôle très important dans la diffusion des verres provenant du Bassin méditerranéen à l'époque romaine [Sennequier 1990], au Moyen Âge, son activité verrière n'est pas des plus renommée ni des plus spectaculaire. En 1990, vingt-neuf ateliers de verrier étaient recensés en Bourgogne pour une période comprise entre le 13^e et le 18^e siècle alors que pour la zone comtoise adjacente, la densité d'ateliers au km² était 2,55 fois plus importante [*Verrierie de l'Est de la France* 1990]. L'activité verrière de la Bourgogne connaît tout de même une certaine intensité aux 15^e et 16^e siècles, principalement due à la demande en verre plat et en objet de culte des églises et des palais ducaux, accentuée par la politique « luxueuse » des ducs de Bourgogne [Philippe 1998 et 2003].

³ Sur l'évolution de la verrière décorative dans le domaine franc, voir Dell'Acqua 2003.

⁴ Cette modification décisive pour l'histoire des techniques et des modes de productions verriers n'est nullement mentionnée dans les textes.

⁵ AFAV : Association Française pour l'Archéologie du Verre.

⁶ Son corpus est constitué majoritairement de vaisselle (55 %) puis de verre plat (33 %).

⁷ Post-doctorat, sous la direction de Christian Sapin, au sein d'ARTEHIS (UMR 6298).

En matière de vitrail, aucune verrière n'est conservée dans les édifices bourguignons ou clunisiens pour l'époque de la construction de Cluny III⁸. Seule une verrière datée des années 1160-1170 et représentant en trois médaillons superposés l'Ascension du Christ et la Descente de l'Esprit Saint pourrait être l'unique témoignage du vitrail clunisien du 12^e siècle. Actuellement en place dans l'église du Champ-près-Froges (Isère, Rhône-Alpes), cette verrière proviendrait du chœur du prieuré clunisien de Domène (Isère, Rhône-Alpes) [Brisac 1973 et 1980, Grodecki 1977]. Louis Grodecki y observa des influences byzantines à l'instar des manuscrits « byzantinisés » de Bourgogne, d'Allemagne méridionale ou d'Italie ainsi que des analogies avec l'ornementation des miniatures clunisiennes et les procédés techniques (enlevés) des œuvres germaniques tels les vitraux de Saint-Patrocle de Soest en Westphalie [Grodecki 1977 : 162].

Ainsi, il n'est guère possible d'appréhender le vitrail clunisien ou en Bourgogne à l'époque du chantier de Cluny III en dehors des fragments de vitraux ou de vitrages retrouvés en fouilles. On peut à ce titre mentionner :

- l'exposition *Vitrum, le verre en Bourgogne*⁹(1990). À cette occasion, il fût tenté de rassembler tout le matériel archéologique mis au jour en Bourgogne depuis l'Antiquité jusqu'au 16^e siècle, mais l'exposition et la publication afférente évoquent principalement le verre des nécropoles urbaines et l'atelier de Nevers (Nièvre),

- les fouilles du groupe canonial et épiscopal d'Autun (Saône-et-Loire) qui livrèrent une dizaine de fragments de vitraux antérieurs à la seconde moitié du 11^e siècle [Balcon-Berry 2009],

- celles de l'abbaye clunisienne de Ganagobie (Alpes-de-Haute-Provence, PACA) qui attestent de la présence de vitraux historiés datant du début et de la première moitié du 12^e siècle¹⁰ - qui à l'instar de Cluny, vont de pair avec un décor monumental exceptionnel : portail sculpté, peintures monumentales dans l'hémicycle absidal et mosaïques de pavement,

⁸ Seuls des témoignages des 12^e-13^e siècles nous sont parvenus (Auxerre, Sens, Dijon, Semur-en-Auxois...), voir l'inventaire réalisé par le *Corpus vitrearum* pour *Les vitraux de Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes*, publié en 1986.

⁹ Cette exposition s'est tenue au musée Rolin d'Autun puis au musée archéologique de Dijon.

¹⁰ Sur les 356 fragments mis au jour, dix ont été analysés. À l'exception des deux fragments bleus sodiques, tous sont potassiques [Foy 1977].

- ou plus récemment, les fouilles de l'abbaye clunisienne de Baume-les-Messieurs (Jura, Franche-Comté), « mère » de Cluny¹¹, lors desquelles furent mis au jour un grand nombre de verres plats dont des éléments de vitrail datant de la fin du 8^e siècle [Van Wersch 2014].

Quant à Cluny, des fragments de verre plat mis au jour ponctuellement lors des récentes campagnes de fouilles programmées sur le site (sanctuaire et transept de Cluny II entre autre)¹² laissent penser qu'à l'instar de la première priorale parodienne (voir § II.2.2., p. 77), Cluny II (fin 10^e-début 11^e siècle) possédait des verrières colorées et peintes. D'autant plus que le *Liber tramitis aevi Odilonis*, coutumier¹³ clunisien qui fut rédigé principalement entre les années 1027 et 1048 sous l'abbatit d'Odilon (994-1049), pour l'abbaye bénédictine de Farfa (près de Rome, Italie), mentionne un atelier d'orfèvres, de joailliers et de maîtres-verriers : « *Justa istam sit depositam alia cella ubi aurifices vel inclusores seu vitrei magistri convenient ad faciendam ipsam artem.* » [Conant 1968 : 42, 43, 44, 61]. La période d'activité de cet atelier n'est pas connue. Peut-être était-il toujours actif lors du chantier de Cluny III. À ce jour aucun indice matériel ne vient corroborer cette possibilité mais de nombreux fragments mis au jour sur le site attestent de la présence de vitraux dans la troisième abbatale (voir § II.2.1., p. 69).

II.1. LE VERRE, DÉFINITION, MATIÈRES PREMIÈRES ET COMPOSITIONS

Découvert, selon Pline l'Ancien, de manière fortuite par des marchands de natron phéniciens sur les rives du Belus en Syrie [*Histoire naturelle* – Livre 36, LXV – 26], le verre existait déjà dans la nature et avait été utilisé par les premiers hommes pour ses caractéristiques particulières (dureté, brillance, poli facile, cassures coupantes). En effet,

¹¹ Bernon fonda les abbayes de Baume-les-Messieurs (890) puis de Cluny (910).

¹² Communication personnelle de Christian Sapin, archéologue et directeur de recherche (CNRS – ARTeHIS).

¹³ La vie monastique est organisée par des coutumes, transcrites dans des livres appelés coutumiers. Seuls trois coutumiers clunisiens sont aujourd'hui conservés ; il s'agit du *Liber tramitis aevi Odilonis*, du coutumier d'Ulrich de Zell et du coutumier de Bernard. Les deux derniers furent composés sous l'abbatit d'Hugues de Semur (1049-1109) [Cochelin 2005 : 39 ; Puel 2009 : 76-77].

l'obsidienne, d'origine volcanique, a été fréquemment utilisée pour fabriquer des outils, des armes coupantes, des bijoux, des ornements [Cauvin *et al.* 1998].

Datés de 2 500 ans av. J.-C., les premiers verres obtenus par fusion ne sont pas translucides mais opaques, de couleur verte ou bleu (pâte de verre) ; ils ne le deviennent qu'au 14^e siècle av. J.-C. [Richet 2000]. Vers la moitié du 1^{er} siècle apr. J.-C., les feuilles de verres sont d'abord confectionnées par coulage sur une plaque à bord relevés. Le verre obtenu est relativement épais (5 à 6 mm) et sa transparence est atténuée par le mauvais état de surface laissé par la réaction de la pâte en fusion avec le support de coulage [Richet 2000]. Par la suite, l'utilisation du soufflage¹⁴, véritable révolution technologique, permet au verre plat de conserver sa transparence et sa brillance et d'être deux à quatre fois plus mince [Foy 2005]. Deux procédés se développèrent et se perfectionnèrent jusqu'au 19^e siècle, le soufflage en plateau et en manchon. Un disque de verre ou plateau est obtenu en aplatissant par centrifugation une petite masse de verre (paraison) soufflée à la façon d'une corolle. Cette technique prédominait dans l'ouest (Normandie), le nord et le centre de la France ainsi qu'en Angleterre. Le verre en manchon était, quant à lui, surtout produit dans l'Est et en Europe centrale (Lorraine, Allemagne, Bohême, Venise). Cette fois, la paraison est soufflée en forme de cylindre. Le verrier en coupe les extrémités avant de le fendre sur toute sa longueur. Le manchon est ensuite étendu par recuisson à basse température. L'utilisation multiple du verre (objets utiles, de jeux, de parure ou décoratifs, éléments d'architecture pour clore les ouvertures) en fait un matériau jalonnant l'histoire de l'art et de l'architecture.

II.1.1. LES CONSTITUANTS DU VERRE

Le verre s'avère être un matériau complexe à définir. Il est généralement considéré comme un solide amorphe, un produit de fusion qui se solidifie sans cristalliser [Jones 1956]. Il s'agit plus précisément d'un liquide surfondu figé [Scholze 1968] dont les

¹⁴ De petits tubes de verres, directement soufflés à la bouche, ont été retrouvés à Jérusalem dans le dépotoir d'une verrerie en activité durant la première moitié du 1^{er} siècle av. J.-C. [Stern 2005]. L'utilisation d'une canne de soufflage servant à recueillir une petite masse de verre en fusion n'est effective qu'un siècle plus tard [Richet 2000].

constituants, principalement des oxydes, sont en configuration ordonnée mais seulement à courte échelle [Zachariassen 1932, Zarzycki 1982]. Ces différents oxydes dont des éléments formateurs du réseau vitreux et des éléments modificateurs (fondants et stabilisants) assurent les propriétés du verre, telles la température de fusion et la viscosité, les propriétés mécaniques, la résistance chimique, la couleur... Certains oxydes sont apportés comme impuretés associées aux matières premières utilisées, d'autres sont ajoutés intentionnellement afin de modifier l'apparence du verre (coloration notamment).

II.1.1.1. Formateurs

À l'instar des verres naturels¹⁵, la silice SiO_2 est le principal constituant des verres produits par l'homme¹⁶. Elle est utilisée comme matière vitrifiante, c'est-à-dire comme oxyde formateur du réseau vitreux polymérisé.

Les verriers ont privilégié les sables siliceux (plus ou moins purs), les galets de roches siliceuses (mais qu'il faut broyer), voire de silex (qu'il faut étonner) comme sources de silice¹⁷. Le sable contient différentes impuretés, à des teneurs plus ou moins importantes. Ce sont principalement des oxydes de fer (dont le fort pouvoir colorant donne une teinte verdâtre au verre), d'aluminium et de potassium (présence d'argiles ou d'aluminosilicates) mais aussi de calcium et de magnésium (sables calcaires ou dolomitiques). D'autres oxydes peuvent être apportés à l'état de traces et servir de marqueurs dans les cas de recherche de provenance [Gratuze 1997].

Les sables utilisés dans la fabrication des verres au natron doivent contenir diverses impuretés stabilisant le verre, ce qui n'est pas nécessaire pour les verres aux cendres qui contiennent toujours de nombreuses impuretés pouvant tenir ce rôle.

¹⁵ Obsidiennes, fulgurites (produites lors de l'impact d'un éclair sur le sable) ...

¹⁶ L'ensemble des verres étudiés dans les paragraphes subséquents appartiennent à la famille des verres silicatés ; nous ne tiendrons donc compte que de ce type de verre. Mais le verre peut être produit à partir d'autres oxydes, sulfures, nitrates... ou même de composés organiques.

¹⁷ La forme pulvérulente du sable est appréciable pour l'économie de moyens qu'elle représente.

Un sable pur est donc privilégié pour les verres aux cendres, expliquant le regroupement de nombreuses verreries médiévales et modernes dans des zones où affleurent les terrains du sidérolithique¹⁸ qui se caractérisent par la présence de sables très purs [Picon *et al.* 2008].

II.1.1.2. Fondants

La température de fusion élevée de la silice, autour de 1700 °C, ne pouvant être atteinte par les fours des verriers (environ 1400 °C maximum), l'introduction d'oxydes alcalins (soude, potasse) voire alcalino-terreux (chaux) ou de plomb était nécessaire à son abaissement. Les fondants jouent également sur la viscosité et permettent de produire un liquide stable à l'état presque solide à température ambiante et rendent le mélange transparent, propriété primaire du verre [Velde 2009].

II.1.1.2.1. Fondants sodiques

La soude était disponible soit sous forme minérale, le natron, soit sous forme végétale, les cendres de plantes halophiles¹⁹.

Le natron²⁰, recueilli principalement dans les dépôts des lacs salés de Wadi Natrun en Égypte²¹ [Forbes 1957, Shortland 2004, Shortland *et al.* 2006] est un minéral naturel très riche en sodium et pauvre en chaux (environ 1,5 % [Brill 1988]).

Les cendres de plantes halophiles, comme la salicorne ou la soude (*salsola soda*, *kali*), contiennent du sodium en grande quantité et des teneurs variables mais relativement élevées en magnésium et potassium [Henderson 2000].

¹⁸ Ces zones sont souvent forestières.

¹⁹ Les plantes halophiles se développent dans les milieux salés (sols côtiers ou régions semi-désertiques par exemple).

²⁰ Le terme natron est communément employé pour désigner les dépôts salés de carbonate de sodium exploités pour l'élaboration de certains verres sodiques. Mais en terme de minéral, le natron correspond à un type de carbonate de soude précis, or celui dominant dans ces dépôts salés est le *trona* [Henderson 2000, Shortland *et al.* 2006].

²¹ Le secteur ouest du lac Mariout, situé dans le delta du Nil, a également approvisionné l'industrie verrière en natron comme l'atteste la mise au jour d'ateliers primaires de production verrières [Nenna 2010].

II.1.1.2.2. Fondants potassiques

Bien que la potasse, à l'instar de la soude soit disponible sous formes minérale et végétale, seules les cendres de végétaux forestiers ont été utilisées. Leurs compositions peuvent varier en fonction de la nature de l'espèce végétale choisie (fougères, hêtre, chêne...), la partie prélevée (feuillage, branche, tronc...), la saison et le sol où les végétaux ont poussé [Turner 1956, Oppenheim 1970, Brill 1999].

II.1.1.3. Stabilisants

Les fondants, qui dépolymérisent le réseau vitreux formé de tétraèdres SiO_4 (le centre est occupé par un ion silicium et les quatre sommets par des ions oxygène) par rupture des liaisons Si-O-Si, rendent le verre instable face à l'eau. Et les verres potassiques sont d'autant plus sensibles à la lixiviation²² que les forces de liaison du potassium dans le réseau siliceux (liaisons K-O) sont plus faibles que celles du sodium (liaisons Na-O).

Cette solubilité peut être enrayée par l'ajout d'un stabilisant. Ce sont généralement le calcium (chaux ou dolomie), l'alumine ou la magnésie (dolomie). La chaux joue également le rôle de vitrifiant (élément intermédiaire) mais rend le travail du verre plus difficile lors de la formation des objets.

Si l'ajout est volontaire pour les verriers modernes²³, on peut supposer que pour ceux de l'Antiquité et du Moyen Âge, le stabilisant était involontairement apporté par le sable et/ou les fondants utilisés (impuretés). En effet, aucune adjonction volontaire n'est mentionnée dans les traités antiques, médiévaux et postmédiévaux [Bettembourg 1991, Picon et Vichy 2003].

²² Extraction préférentielle des éléments mobiles du verre (fondants), remplacés dans le réseau vitreux par des ions d'hydrogène et des molécules d'eau.

²³ Ce n'est qu'au 18^e siècle que les artisans de la Manufacture de Saint-Gobain (Aisne, Picardie) découvrent la propriété de la chaux [Foy et Nenna 2001 : 23].

II.1.1.4. Colorants, décolorants, opacifiants

Les verriers pouvaient ajouter différents sels ou oxydes métalliques afin de modifier la coloration du verre. Les éléments colorants sont généralement dissouts dans la matière vitreuse sous forme de cations métalliques de la famille des métaux de transition. Et selon la nature et la valence (degré d'oxydation) de ces ions chromophores, la matière vitreuse absorbe spécifiquement certaines longueurs d'ondes du rayonnement lumineux incident. On obtient alors en réflexion la coloration non absorbée (complémentaire), qui reste influencée par la nature des matières colorantes employées (impuretés), la quantité introduite, la nature du verre (matières premières), son traitement thermique (atmosphère de cuisson, température atteinte) et son environnement chimique et cristallin (nature des ligands, coordinence...).

La couleur ainsi obtenue est qualifiée de transparente, et d'une manière générale, les verres potassiques ont une couleur plus franche que les verres sodiques. Pour compléter son nuancier, déjà très riche, le verrier peut jouer sur la présence de petites bulles gazeuses, liées à un mauvais affinage, ou l'adjonction d'un opacifiant qui donne alors plus de corps à la couleur (la transmission de la lumière est réduite). L'opacité est due à la dispersion de particules (choisies parmi des oxydes à fort indice de réfraction) induisant une diffusion de la lumière du fait du saut d'indice optique.

Le verre peut aussi être coloré par précipitation de métaux sous forme d'agrégats nanométriques, les colloïdes. Les couleurs obtenues sont plus profondes que celles produites traditionnellement par les ions de métaux de transition (coupe de Lycurgue, verres rubis...).

Les colorants, décolorants et opacifiants pouvaient être incorporés au verre à différents stades de la chaîne opératoire ; soit avant liquéfaction du mélange vitrifiable dans les ateliers primaires, soit au moment de la refonte du verre brut ou du groisil. Divers indices matériels attestent des deux procédés.

Par exemple, l'atelier secondaire du 1^{er} siècle découvert à Lyon a livré des blocs de verre brut colorés par adjonction de bronze, de cobalt, de manganèse ou opacifiés à l'antimoine [Nenna, Vichy et Picon 1997 : 82].

La présence de boules de bleu égyptien²⁴ (Huy – Belgique, Autun et Besançon) [*Vitrum* 1990 : 24-5, Pactat 2012 : 99-100] ou de tesselles de mosaïques en verre sur les sites d'ateliers secondaires (Marseille, Paderborn – Allemagne, San Vincenzo al Volturno – Italie...) [Foy 2003 : 273] suggère une incorporation d'agents colorants lors de refontes, en particulier durant l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge lorsque la pratique du recyclage s'intensifie [Neri 2012 : 34-5]. Quant au Moyen Âge classique, la circulation de produits semi-finis colorés est confirmée par les registres commerciaux et les traités [Foy 1998 : 115-8].

II.1.1.4.1. Colorants

Les verres non colorés présentent une teinte naturelle verdâtre ou bleuâtre liée aux impuretés contenues dans les matières premières, et notamment au fer, principale impureté colorante contenue dans le sable. Il permet d'obtenir une gamme colorée relativement diversifiée en fonction de son état d'oxydation et peut aussi être ajouté intentionnellement afin d'augmenter la saturation des couleurs.

À l'état réduit (Fe^{2+}), le fer donne une teinte bleu pâle au verre. Ferrique (Fe^{3+}), il permet d'obtenir des verres de teinte jaune légère à jaune ambré. À l'équilibre, l'association ions ferreux et ferriques produit une coloration verte.

Le jaune ambré apparaît en atmosphère fortement réductrice. Cette coloration, obtenue par transfert de charge entre cation et anion, est liée à la présence de soufre²⁵ réduit en sulfure (S^{2-}) dans le verre²⁶. Ce type de coloration est difficile à obtenir car il nécessite un équilibre redox adéquat (état oxydé pour le fer et état réduit pour le soufre) [Royce-Roll 1994 : 74, Chopinet 2002].

Mis à part les ions ferreux et ferriques, les agents colorants les plus courants présents dans les verres anciens sont les ions manganiques (Mn^{3+}), cuivriques (Cu^{2+}) et cobalteux (Co^{2+}).

²⁴ Le bleu égyptien, premier pigment de synthèse, est obtenu en cuisant en atmosphère oxydante un mélange de composés calcaires, de silice et de cuivre. La variation des proportions et du temps de chauffage permettent une palette allant du bleu sombre au bleu pâle.

²⁵ Les cendres de plantes contiennent des sulfates.

²⁶ Les sulfures apparaissent dès que, dans le verre, le rapport Fe^{2+} /fer total est supérieur à 0,6. Dans la plupart des verres ambre ce rapport est de 0,7 à 0,8 [Houdaer 2005 : 10].

Le manganèse peut être introduit sciemment dans la matrice vitreuse ou, à l'instar du fer, comme impureté. L'ion Mn^{2+} donne une légère teinte jaune orangé alors que la coloration violet pourpre des verres égyptiens de la 18^e Dynastie, par exemple, est due à l'ion Mn^{3+} (vraisemblablement par adjonction de pyrolusite, MnO_2) [Henderson 2000 : 34, Jackson 2005 : 764]. La présence conjointe des ions manganique et manganoux donne une coloration rose. Combiné au fer, le manganèse peut conférer une coloration vert-olive, caractéristique des groupes 1 et 2 des verres au natron [Vichy, Picon et Thirion-Merle 2003]. En fonction des éléments mineurs et traces, douze groupes de compositions ont pu être reconnus pour les verres au natron. Seuls quatre sont à la fois représentés en Orient et en Occident (groupes 1 à 4).

Le cuivre peut être présent dans le verre sous forme d'ions cuivreux (Cu^+), favorisés en atmosphère réductrice, ou d'ions cuivriques (Cu^{2+}), prédominants en atmosphère oxydante et conférant au verre des teintes bleu turquoise ou vertes. D'après Weyl [1951 : 164-5], la coloration verte ne serait produite qu'en présence de plomb dans la matrice vitreuse, assertion reprise par de nombreux auteurs. La combinaison plomb-laiton est, par ailleurs, décrite par Héraclius (12^e-13^e siècle, Livre III, VIII [271]). Cependant plusieurs exemples de verres alcalins verts au cuivre sans trace de plomb ont été découverts, dont ceux de Paray-le-Monial. L'oxyde de cuivre pouvait être apporté par adjonction de laiton (alliage cuivre-zinc) au mélange vitrifiable [Henderson 2000 : 32-3] ou de fritte de bleu égyptien (silicate double de calcium et de cuivre dont la forme naturelle est la cuprorivaïte) comme l'indique sa présence sur des sites d'ateliers verriers (voir p. 59).

En atmosphère fortement réductrice, les ions Cu^+ , qui ne produisent aucune couleur, vont permettre une coloration rouge lors d'une phase de recuit où les atomes de cuivre s'agrégent alors en nanoparticules métalliques (cuivre précipité Cu^0). Pour obtenir la couleur rouge translucide des verres nommés rouge rubis, ces colloïdes doivent être suffisamment espacés et d'une taille de l'ordre d'une dizaine de nanomètres [Kunicki-Goldfinger *et al.* 2014 : 91]. Des particules de taille supérieure, de l'ordre des longueurs d'onde de la lumière visible produisent un verre opaque, les hématinones des artisans romains [Brill 1980 : 242]. Quelques objets romains tardifs font exception, le plus

connu étant la coupe de Lycurgue. Datée du 4^e s. apr. J.-C. (British Museum, Londres), elle présente des propriétés optiques surprenantes : en lumière réfléchie elle apparaît verte alors qu'en lumière transmise elle apparaît rouge. Cette coloration résulte de la précipitation de nanoparticules métalliques (alliage d'or et d'argent) d'environ 70 nm.

Le puissant pouvoir chromogène du cuivre réduit confronta les verriers à la difficulté de produire un verre rouge translucide de plusieurs millimètres d'épaisseur (le verre apparaît opaque dès 0,3-0,4 millimètre d'épaisseur environ) [Vassas 1972 : 285, Etcheverry 2008 : 159]. Pour parer cet obstacle, deux procédés de fabrication ont été élaborés, les verres feuilletés et les verres plaqués.

Les premiers, formés d'une alternance de très fins filets rouges et de verre blanc sur des épaisseurs variables, mettent en jeu un processus bien plus complexe que la « simple » précipitation de nanoparticules par recuisson et constituent un des procédés technique qui reste le moins bien compris. Diverses explications ont été proposées depuis le 19^e siècle [Viollet-le-Duc 1854-1868 : 377-8, Guignet et Magne 1889 : 2-3, Lafond 1966 : 43-5, Frodl-Kraft 1967 : 3, Blondel 1993 : 164-167] et si les différentes études scientifiques s'accordent sur le rôle des nanoparticules de cuivre dans la coloration rouge [Knowles 1927, Nakai *et al.* 1999, Fredrickx 2004, Farges *et al.* 2006, Colomban *et al.* 2009], les questions soulevées par Martha Spitzer-Aronson [1974-1989], qui avait constaté un manque de correspondance stricte entre la présence de cuivre et celle de la couleur rouge, sont restées irrésolues ou expliquées de façon erronée jusqu'à l'interprétation proposée par Kunicki-Goldfinger *et al.* [2014].

Les verres plaqués, quant à eux, se composent d'une unique couche de verre rouge homogène de 10 à 300 micromètres d'épaisseur, enserrée entre un support de verre blanc²⁷, et une couche protectrice de verre blanc. L'absence de couche protectrice, constaté sur presque la moitié du corpus de l'étude de Kunicki-Goldfinger *et al.* [2014] pourrait s'expliquer par une altération superficielle [*ibid.* : 97]. Ce type de verre apparaît autour du 15^e siècle d'après le matériel étudié par Spitzer-Aronson [1975], Farges *et al.* [2006] et Kunicki-Goldfinger *et al.* [2014], constitué par un échantillonnage varié de

²⁷ Une convention en histoire de l'art regroupe sous les termes « verre blanc » les verres incolores jusques et y compris les verres à la coloration bleue, verte ou jaune très pâle non intentionnelle.

verres médiévaux provenant pour la France de Saint-Victor de Marseille, Amiens, Le Mans, Noyon, Tours, Lyon, Saint-Ouen de Rouen, Chartres et Saint-Denis, ainsi que de villes anglaises, allemandes, hollandaises et espagnoles.

Le cobalt, fréquemment utilisé au Moyen Âge, colore les verres en bleu foncé. Mélangé au cuivre, différentes tonalités de bleu peuvent être obtenues, et les verres violets sont susceptibles d'être nuancés vers le bleu par l'ajout de cobalt [Bettembourg 1991 : 112]. Son utilisation pour la coloration des verres remonte à la haute Antiquité [Dayton 1981 : 57, Tite and Shortland 2003].

Différents travaux ont mis en évidence l'utilisation de différentes sources de minerais selon l'époque en fonction des impuretés liées au cobalt (nickel, arsenic, plomb, zinc, indium et antimoine entre autres) présentes dans le verre [Henderson 1990, 1991 et 1998, Gratuze *et al.* 1992, 1995 et 1996]. S'il n'est pas encore possible de préciser l'origine du cobalt employé dans l'Antiquité et au Moyen Âge avant le 12^e siècle, les ateliers français consomment durant les 13^e-15^e siècles le cobalt extrait des mines de Freiberg (monts Métallifères, Allemagne), puis à l'époque moderne, celui des mines de Schneeberg (monts Métallifères, Allemagne) [Gratuze *et al.* 1992, 1995 et 1996].

Le traité d'Antoine de Pise, peintre verrier, rédigé à la fin du 14^e siècle ou au tout début du 15^e siècle, est le premier à préciser l'origine du cobalt utilisé pour le verre [Lautier et Sandron 2008 : 16]. Ce dernier est introduit sous forme de safre²⁸ ou de smalt (fritte), matériaux coûteux. En effet, d'après D. Foy, « 28 livres d'azur coûtent, en 1409, quatre ducats. » et « à l'entrée d'Avignon, le *saffre* est un des matériaux les plus taxés. » [1998 : 117]. Il est difficile de déterminer les raisons du prix élevé des verres bleus [Suger 12^e siècle : 191-2]. Peut-être est-ce dû à une origine géographique particulière, lié au prix du *saffre* ou le résultat de l'amalgame fait avec le saphir bleu (gemme) [Cannella 2006 : 304-5]. Mais cette caractéristique leur conféra probablement leur statut singulier.

²⁸ Ce terme se généralise au 15^e siècle. Auparavant, on rencontre les termes *lazur saphireo*, *safiro*, azur... [Soulier 2004 : 148, Zecchin 1987-90 : 37 (vol. I)].

II.1.1.4.2. Décolorants

Les verres incolores pouvaient être obtenus soit en sélectionnant des matières premières pauvres en fer²⁹, soit par adjonction d'un décolorant dans la matière vitreuse. Ainsi, afin d'éliminer la coloration non désirée due au fer, les verriers pouvaient ajouter un oxyde naturel de manganèse, vraisemblablement la pyrolusite (MnO₂), ou de l'oxyde d'antimoine. Ce dernier, au pouvoir décolorant plus fort, pouvait également agir comme affinant en éliminant les gaz dissouts [Bamford 1977 : 80, Weyl 1951 : 118], produisant ainsi un verre plus brillant. L'utilisation de manganèse comme décolorant était susceptible de donner une très faible teinte violette et l'antimoine, une légère teinte jaunâtre [Henderson 2000 : 38].

L'oxyde d'antimoine fût utilisé avant la période Romaine (ponctuellement par la suite) et l'oxyde de manganèse introduit durant le 2^e siècle av. J.-C. [Henderson 2000 : 38, Biron and Chopinet 2013].

II.1.1.4.3. Opacifiants

Les verres opaques, souvent utilisés à des fins ornementales dans l'élaboration de bijoux, de vaisselle, de mosaïque ou dans la décoration de verres translucides, permirent la production d'objets ou de décors remarquables tels les verres de camée de l'époque Romaine réputés pour la finesse exceptionnelle de leurs décors de verre opaque blanc (vase Portland³⁰), l'ensemble de mosaïques de la basilique Saint-Vital de Ravenne (5^e-6^e siècles, Italie), ou encore les émaux limousins qui étaient exportés à travers toute l'Europe chrétienne aux 12^e et 13^e siècles.

Les composants utilisés pour opacifier le verre ne sont pas nombreux, ce sont généralement des composés à base d'antimoine et d'étain³¹.

²⁹ Par exemple, Pline mentionne le sable de la rivière Volturno pour la production de verre incolore [*Histoire naturelle* 36 : 192-5]. On peut également citer le *vitrum blanchum*, spécialité des verriers de Murano [Verità and Zecchin 2009].

³⁰ Le vase Portland est un vase romain daté de la fin du 1^{er} s. av. J.-C., conservé au *British Museum*, qui inspira de nombreux artistes.

³¹ Des variations importantes se développent à partir du 14^e siècle, où la cendre d'os était utilisée pour la fabrication des verres blancs islamiques, à la fin du 17^e siècle et durant le 18^e siècle, où l'opacifiant blanc le plus

Les composés à l'antimoine (antimoniates de calcium de couleur blanche et antimoniates de plomb de couleur jaune) dominent pour les périodes anciennes. Ils sont utilisés dès les débuts de la production verrière au Proche Orient et en Égypte vers 1500 av. J.-C. jusqu'à y compris la période Romaine [Foster and Jackson 2005]. Durant une courte période comprise entre le 2^e et le 1^{er} siècle av. J.-C., des opacifiants à base d'étain sont conjointement utilisés aux antimoniates dans la production de perles de verre mises au jour en Bretagne et en France [Werner and Bimson 1967, Henderson and Warren 1983], sans doute en raison d'un manque d'approvisionnement en verres opacifiés à l'antimoine [Tite *et al.* 2008].

Mais c'est à partir du 4^e siècle apr. J.-C., que les composés à base d'étain (oxydes d'étain de couleur blanche et jaune de plomb étain) commencèrent à supplanter ceux à base d'antimoine dans les verres produits à l'est de la Méditerranée et dans le nord de l'Europe. Ce changement peut résulter d'une rupture dans l'approvisionnement en antimoine ou du développement du commerce entre l'Empire romain et l'Inde qui produit des verres blancs et jaunes opacifiés à l'étain depuis le 1^{er} siècle apr. J.-C. [Tite *et al.* 2008]. Cette dernière hypothèse tend à être corroborée par le fait que les verriers italiens continuèrent d'utiliser ou de réutiliser les opacifiants à base d'antimoine jusqu'au 13^e siècle [Ubaldi and Verità 2003]. Les émaux mosans et limousins du 12^e siècle et du début du 13^e siècle se composent également d'opacifiants à l'antimoine utilisés seuls ou conjointement à des opacifiants stannifères [Freestone 1993, Biron *et al.* 1995, Biron et Beauchoux 2003].

Les autres couleurs opaques, à l'exception des rouges, dérivent du blanc ou du jaune avec addition d'oxyde colorant.

utilisé est l'arséniate de plomb pour la production de verres opalescents appelés *girasole*, et au 19^e siècle, où les fluorures sont introduits comme opacifiants.

Tableau II. 1 – Tableau récapitulatif des colorations obtenues en fonction des principaux agents colorants, opacifiants ou décolorants employés dans les matrices vitreuses alcalines silicatées.

Coloration	Agents colorants, décolorants ou opacifiants		Matières premières
Rouge rubis	Cuivre précipité, Cu^0		Minerais de cuivre
	Or précipité, Au^0		Pourpre de Cassius (17 ^e siècle)
Jaune doré à brun orangé	Hématite, Fe_2O_3		Ocre
Jaune ambre	Sulfures, S^{2-} , et fer, Fe^{3+}		
Jaune orangé très pâle	Manganèse, Mn^{2+}		Minerais de manganèse
Jaune citron	Argent, par cémentation (échange ionique à chaud)		Nitrate ou chlorure d'argent (AgNO_3 , AgCl)
Vert	Fer, Fe^{3+} et Fe^{2+}		
Vert	Cuivre, Cu^{2+}		Minerais de cuivre, laiton
Vert turquoise	Cuivre, Cu^{2+}		Minerais de cuivre
Bleu turquoise	Cuivre, Cu^{2+}		Minerais de cuivre, bleu égyptien
Bleu pâle	Fer, Fe^{2+}		
Bleu	Cobalt, Co^{2+}		Safre, smalt, minerais de cobalt (smaltite (Co,Ni) As_{3-2}),
Pourpre rose	Manganèse		Minerais de manganèse
Violet pourpre	Manganèse, Mn^{3+}		Minerais de manganèse (Mn_2O_3)
Incolore	Antimoine		Sénarmontite, Sb_2O_3
	Manganèse		Pyrolusite, MnO_2
Blanc opaque	Antimoniate de calcium		Stibine, Sb_2S_3
	Étain		Cassitérite, SnO_2
Jaune opaque	Antimoniate de plomb		Bindhéimite, $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_6(\text{O},\text{OH})$
			Jaune de Naples, $\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$
	Stannate de plomb		Jaune de plomb étain, Pb_2SnO_4

(D'après Brill 1980, Royce-Roll 1994, Henderson 2000, Tournié 2009, Biron and Chopinet 2013)

II.1.2. COMPOSITIONS ET REPÈRES CHRONOLOGIQUES ET GÉOGRAPHIQUES

Ce paragraphe donnera un aperçu des repères temporels et géographiques pouvant être établis en fonction de la composition des verres. Une attention plus particulière sera portée aux verres médiévaux et postmédiévaux qui nous concernent directement.

Durant la Protohistoire et l'Antiquité, on rencontre principalement des verres calco-sodiques à cendres végétales, des verres calco-sodiques à soude minérale et des verres sodo-potassiques où les deux alcalins sont présents dans des teneurs très proches. Des cendres de plantes contenant les deux alcalins permettent de produire des verres sodo-potassiques, sans utiliser de verre recyclé [Verità 2004].

Les verres sodiques à cendres végétales apparaissent probablement en Mésopotamie vers le 16^e siècle av. J.-C. et caractérisent les productions égyptienne et mycénienne. Ce type de verre semble décliner à partir du 10^e siècle av. J.-C. et presque disparaître vers le 8^e siècle av. J.-C. Cependant, ces verres connaissent un nouvel essor vers la fin du premier millénaire de notre ère et deviennent alors le propre des productions des centres verriers du littoral méditerranéen [Gratuze et Billaud 2003].

En ce qui concerne les verres calco-sodiques à soude minérale (natron), ils apparaissent vers le 9^e ou 8^e siècle av. J.-C. et tendent à caractériser les productions syro-palestinienne et égyptienne. Leurs compositions présentent des teneurs en soude de l'ordre de 15 à 20 %, en chaux d'environ 8 % et en potasse et en magnésie inférieures à 1,5 % (voir tab. D.1 en annexe). Ce type de verre provient des ateliers primaires de Méditerranée orientale et est utilisé par les ateliers secondaires d'Europe occidentale. On les rencontre, en Europe du Nord et de l'Ouest, entre l'Âge du Fer et jusqu'à la fin du premier millénaire de notre ère, selon les régions [Gratuze *et al.* 1997].

À partir du Moyen Âge, les modes de productions changent en Occident, chaque atelier fabrique le verre dont il a besoin en utilisant les sables locaux. Ce changement semble intervenir lorsque les verriers occidentaux remplacèrent les verres au natron orientaux par des verres aux cendres, produits localement, probablement autour du

9^e siècle apr. J.-C.³² [Foy 2001, Picon et Vichy 2003]. Si leur apparition est progressive, les verres aux cendres sont courants à partir des 12^e-13^e siècles.

Ils se caractérisent par une forte teneur en potasse (K₂O), due à l'utilisation de cendres de végétations forestières, qui apportent également une concentration plus élevée en chaux (CaO), magnésie (MgO) et anhydride phosphorique (P₂O₅) (tab. II.2).

Tableau II.2 – Principaux groupes chimiques de verre d'après les fondants utilisés.

Groupe chimique	% NaO ₂	% K ₂ O	% CaO	% MgO	% P ₂ O ₅
Verre calco-sodique (minéral)	12-23	< 1	4-9	< 1	< 0,2
Verre calco-sodique (végétal)	12-18	> 1 et < MgO	4-9	> 1	> 0,2
Verre calco-potassique	< 3	8-22	6-20	0,5-9	< 7
Verre calcique	< 1	< 10	20-28	< 4	< 3

Les teneurs sont exprimées en % massique (d'après Gratuze 1997, Gratuze et Billaud 2003, Foy et al. 2003).

Les traités médiévaux divergent quant à la nature des végétaux employés³³. Selon Théophile (12^e s.), le verre s'obtient exclusivement à partir de cendres de bois – il suggère de mélanger deux parts de cendres de bois de hêtre (tronc) et une part de sables – alors qu'Héraclius (12^e-13^e s.) préconise l'usage des cendres de fougères et des faines (petites repousses ou fruits du hêtre).

[...] accipe ligna faginea [...]. Deinde tollens duas partes cinerum [...], et tertiam sabuli diligenter de terra [...]. Théophile, *De diversis artibus*, Livre II, Chapitre IV : *De commixtione cinerum et sabuli*, in De l'Escalopier [1843 : 83].

Vitrum efficitur de cineribus, id est, de filicis cinere, et de faina, id est, de parvulis arboribus quae sunt vel crescunt in sylvis. Héraclius, *De coloribus et artibus romanorum*, Livre III, VII [257] : *Quomodo efficitur vitrum [album et etiam de diversis coloribus]*, in Merrifield [1849 : 213].

³² Beaucoup d'incertitudes demeurent sur l'origine de ces mutations, leur chronologie, leur progression... ; voir Picon et Vichy [2003] et Shortland *et al.* [2006].

³³ Les plus anciennes recettes médiévales relatives à la fabrication du verre qui nous soient parvenues ne remontent qu'au début du 12^e siècle [Lagabrielle 2000].

Cette différence semble être liée à la transcription de recettes régionales. Les verres à forte teneur en calcium³⁴, due à l'utilisation de cendres de bois, caractérisent les productions germaniques et de l'est de la France [Vasas 1971, Wedepohl 2010]. Les verres plus riches en potasse (et dans une moindre mesure en magnésie³⁵ et anhydride phosphorique, cf. tab. II.2) caractérisent plutôt les productions du centre, de l'ouest et du nord de la France et de l'Angleterre [Lagabrielle et Velde 2003 et 2005 ; Wedepohl 2010]. Les cendres de fougères ont été largement utilisées à travers l'Europe [Smedley and Jackson 2002], mais vraisemblablement en combinaison avec des cendres de bois [Barrera and Velde 1989].

Entre la fin du 13^e siècle et le début du 15^e siècle, les verriers tentent d'améliorer la qualité de leur production verrière. Dans le sud de la France (Languedoc et Provence), les verriers, réinventant les recettes sodiques antiques à partir des matières premières locales (salicorne, galets de silex), produisent des « verres blancs » clairs voire incolores, souvent gage de qualité [Foy 1988 : 408-9, Lagabrielle 2000 : 67-8]. L'analyse de verres rouennais (13^e-14^e siècles) montre que les verriers normands ajoutèrent du chlorure de sodium en petite quantité, vraisemblablement pour améliorer la fusibilité du verre permettant un travail plus long [Lagabrielle et Velde 2003 : 341]. Les Allemands procéderont de même dans les années 1370 [Wedepohl 1997]. Sophie Lagabrielle pose la question d'un ajout volontaire ou fortuit qui serait alors dû aux fougères « qui rendent un sel plus grand » quand elles sont coupées fin mai-fin juin, comme l'écrit Haudicquer de Blancourt dans son *Art de la verrerie* [Lagabrielle 2000 : 68]. En Argonne, les verriers semblent se tourner vers une production enrichie en chaux contribuant à l'éclaircissement du verre tout en lui conférant une teinte plutôt grisâtre [Barrera and Velde 1989 : 92-4, Lagabrielle 2000 : 68].

³⁴ Ce taux est d'autant plus élevé que l'on utilise des branches et des brindilles plutôt que du bois issu des troncs [Wedepohl 2010 : 90].

³⁵ Le magnésium est l'élément inorganique majeur de la chlorophylle.

À partir de la Renaissance, la soude d'origine végétale redevient peu à peu le fondant principal, excepté pour l'est de la France dont la production verrière restera calco-potassique jusqu'au 18^e siècle [Barrera and Velde 1989 : 91]. Ce phénomène est souvent mis en relation avec l'arrivée des verriers italiens dans toute l'Europe, et le verre « façon de Venise » (qui peut aussi bien définir une composition de type sodique qu'une forme) gagne en transparence, blancheur et finesse [Lagabrielle 2000 : 76].

Enfin, au 19^e siècle, avec les progrès de la chimie, ces différents fondants sont abandonnés au profit d'un carbonate de sodium obtenu à partir de sel marin et nettoyé de toute impureté (procédés Leblanc puis Solvay).

II.2. PROVENANCE ET DESCRIPTION DU MATÉRIEL ARCHÉOLOGIQUE

II.2.1. CLUNY

La présence de vitraux dans l'abbatiale Cluny III est attestée par la documentation ancienne. Dans sa *Description historique et topographique de la ville, abbaye et banlieue de Cluny*, Benoît Dumolin, dernier médecin de l'abbaye [Daclin 1926], évoque une « église percée de trois-cents-et-un vitraux³⁶ », sans toutefois plus de précision [Dumolin v. 1749 : 40 ; 41]. Il décompte les baies vitrées selon les parties de l'église mais manque cruellement de précision quant à leur forme, leur couleur, leur motif peint.

Sa description datant du 18^e siècle, on peut s'interroger sur l'époque ou l'homogénéité des verrières qu'il a observées. En effet, les procès-verbaux de visites de l'abbaye stipulent par exemple qu'en 1301 les vitraux de la Galilée ont besoin de réparations, qu'en 1407 plusieurs voûtes et vitraux sont à réparer, qu'une grande campagne de réparations a lieu en 1621, ou encore qu'en 1704 s'opère une grande campagne de vitrage [Stratford 2011 : 45 ; 50-51].

³⁶ Dénombrement exempt des baies de l'avant-nef. La reconstitution virtuelle de l'église abbatiale à l'aide d'une maquette numérique a permis de dénombrer 327 fenêtres, dont 29 pour l'avant-nef (voir annexe C).

L'architecte et historien de l'architecture américain Kenneth John Conant a fouillé le site de Cluny entre 1928 et 1950. Il notait rigoureusement chaque jour toutes les activités d'enregistrement de ses trouvailles (relevés, prise de photos, dessins de plans et de coupes, catalogue des objets découverts) dans des carnets de fouilles appelés *daybooks*³⁷. Malheureusement, les données stratigraphiques restent approximatives puisque Conant procédait par sondages, appelés *pits*, et l'enregistrement des niveaux et des couches archéologiques n'était pas systématique [Walsh 2011].

Ainsi, les fragments de verre mis au jour par l'archéologue n'offrent aucune datation précise (environ 80 fragments nous sont parvenus). De plus, ils n'ont pas été renseignés de manière aussi rigoureuse que les fragments lapidaires. En effet, dans le *Catalogue of fragments from the excavations of 1931*, on constate que certains fragments de verre n'ont délibérément pas reçu de numéro d'inventaire (« *also many unnumbered* »), d'autres sont insuffisamment renseignés en cas de perte [Conant 1931 ; tab. II.3]. Par exemple, d'un réseau de plomb contenant encore deux fragments de verre, il ne nous reste aujourd'hui que la photographie noir et blanc (fig. II.1), et les notes du *Catalogue* correspondant ne donnent aucune précision quant à une éventuelle coloration ; Conant nota seulement « *window* » [Conant 1931 : 81 ; tab. II.3].

Tableau II.3 – Cluny. Recensement des données concernant les fragments de verre mis au jour par Conant à partir du *Catalogue of fragments from the excavations of 1931*.

<i>Date</i>	<i>Pit</i>	<i>Inventory #</i>	<i>Description</i>	<i>Page</i>
June 3 1931	XXVIII	2807	<i>window</i>	81
July 7 1931	XXXI	3102.100-3102.112	<i>miscellaneous bits</i>	120
August 13 1931	XXXI	3105, 3105.1-3105.5	<i>fragments of canopies, figures, fresco, glass</i> <i>and other fragments of paint</i>	158
August 14 1931	XXXI	3104.53-3104.64	<i>inscriptions, also many insignificant bits of</i> <i>figures, painted stucco, glass</i>	161
August 24 1931	XXXI	3107.108-3107.111	<i>Gothic fragments glass</i>	171
August 24 1931	XXXI	3109.10-3109.12	<i>glass (also many unnumbered)</i>	173

³⁷ Cet important fonds documentaire est conservé au musée d'art et d'archéologie de Cluny.

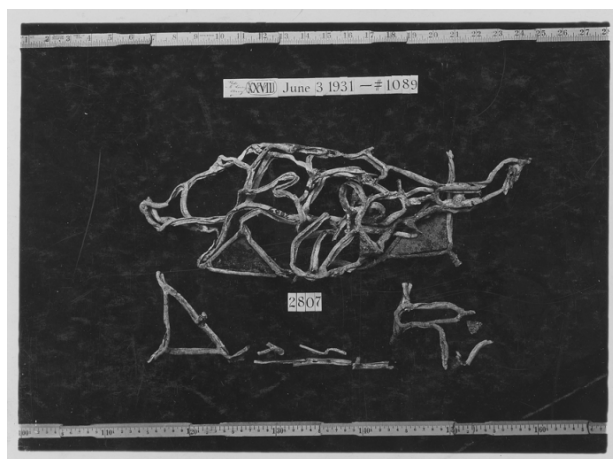


Figure II.1 – Cluny, (pit 28 : nef, extérieur collatéraux nord). Photographie noir et blanc de deux fragments de verre triangulaire encore enchâssés dans une résille de plomb. © Conant / Musée d'art et d'archéologie de Cluny / CEC

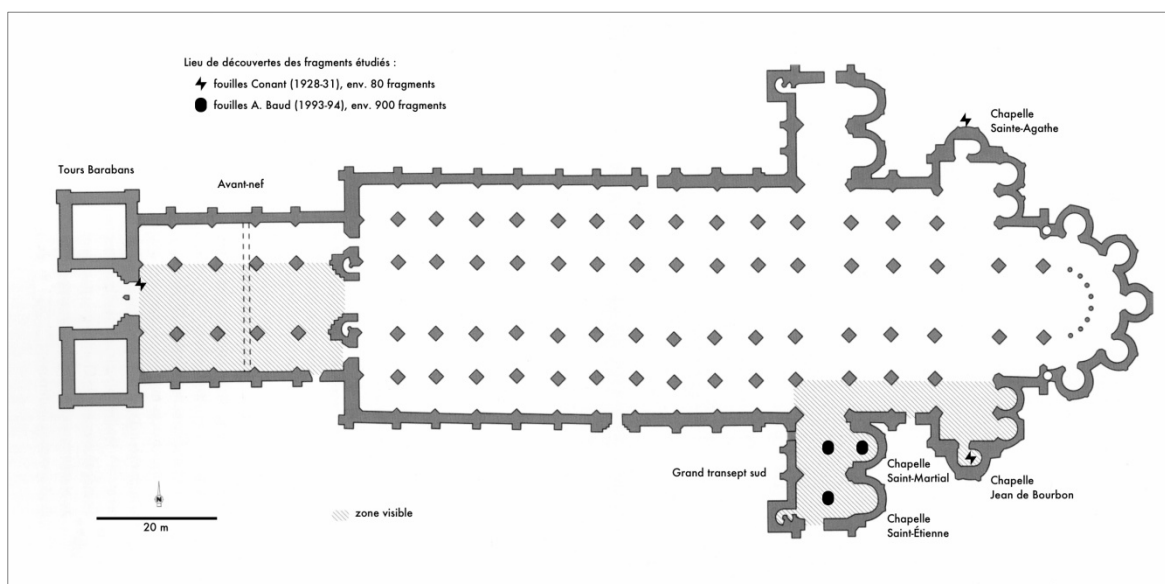


Figure II.2 – Cluny, plan de l'abbatiale et distribution du matériel archéologique en verre au sein du site.
© Plan : Sapin, Baud et Didier 2010

Des fouilles plus récentes menées par Anne Baud et Gilles Rollier au début des années 1990 dans le cadre de la remise en valeur du grand transept sud, rare vestige de l'abbatiale encore en élévation, permirent de mettre au jour près de 900 fragments de verre [Baud 1994] (fig. II.2). La majorité des tessons proviennent des contextes de destruction de l'abbaye et n'offrent de ce fait qu'un *terminus ante quem* relativement tardif. Les quelques fragments antérieurs ou contemporains au chantier de Cluny III sont dans un tel état de dégradation qu'il est impossible d'en tirer des informations

techniques si ce n'est leur composition, vraisemblablement potassique (instabilité du verre, lixiviation). Complètement opacifiés, certains même se délitent en feuillets.

L'ensemble des fragments étaient stockés dans les réserves (froides et humides) du musée d'art et d'archéologie de Cluny constituées de la tour Baraban nord pour les tessons des fouilles Baud et Rollier et des anciennes prisons de l'abbaye pour ceux des fouilles Conant.

Cette collection d'au minimum 976 fragments, qui n'a pas fait l'objet d'étude et a même été oubliée³⁸, est somme toute modeste au vu des nombreuses baies qui perçaient l'abbatiale. Ses 327 baies nécessitaient environ 1195 m² de vitrage. Or, si une surface moyenne de 12 cm² est attribuée à chaque fragment de verre archéologique, ces derniers représentent 11 712 cm² de vitrage. Ce qui n'équivaut même pas à 1 % de la surface vitrée totale de l'abbatiale (0,098 %) ³⁹.

Mais ce sont aujourd'hui les seuls éléments qui nous informent sur les aspects possibles des verrières de la *Maior Ecclesia* et les touches colorées que ces dernières pouvaient alors apporter.

II.2.1.1. Fragments du grand transept sud

Trente-cinq fragments de verre plat et quelques éléments de verrerie ont été retrouvés parmi les unités stratigraphiques antérieures au chantier de Cluny III, dont certaines présentent du mobilier céramique daté du 10^e siècle, d'autres du début du 11^e siècle. L'ensemble des fragments présentent une altération très prononcée. Ils sont opaques, rugueux et leurs bords s'écaillent (fig. II.10, p. 81).

Un petit fragment bleu, très fin (1,52 mm), dénote par son état de conservation. Il est encore parfaitement translucide, ce qui semble indiquer une composition chimique différente (sodique, plus stable). Ce fragment est à rapprocher d'un élément de verrerie

³⁸ Ce qui conduisit à la publication d'informations erronées concluant l'absence de verre archéologique antérieur au 12^e siècle pour les fouilles relatives à Cluny III [in Balcon-Berry 2009 : 224 et 236].

³⁹ Je remercie chaleureusement Guillaume Schotté, ingénieur responsable de la maquette virtuelle, d'avoir patiemment dénombré le nombre de baies de la *Maior Ecclesia* et d'en avoir estimé la surface vitrée.

provenant d'une unité stratigraphique différente (US 63 – niveau de circulation lié au chantier de Cluny III) (fig. II.11, p. 81).

L'état de conservation des fragments retrouvés dans les différentes unités stratigraphiques contemporaines au chantier permet difficilement de les dénombrer et encore moins de les étudier. Souvent pulvérulents et parfois complètement délités, on peut estimer leur nombre entre 20 et 30 fragments.

En revanche l'US 05, qui correspond au lit de pose du sol de l'abbatiale fait de remblais comprenant des tessons gallo-romains et de la céramique grise médiévale, regroupe un grand nombre de fragments de verre à vitre incolores et transparents. Légèrement bleutés et peu épais (entre 1,6 et 2,8 mm), ces fragments présentent peu de bulles et seuls quelques-uns ont une légère iridescence nacré. Cet ensemble est à rapprocher de la cinquantaine de petits fragments également incolores et transparents retrouvés dans l'US 03 correspondant au lit de pose du pavage 18^e (fig. II.12, p. 82).

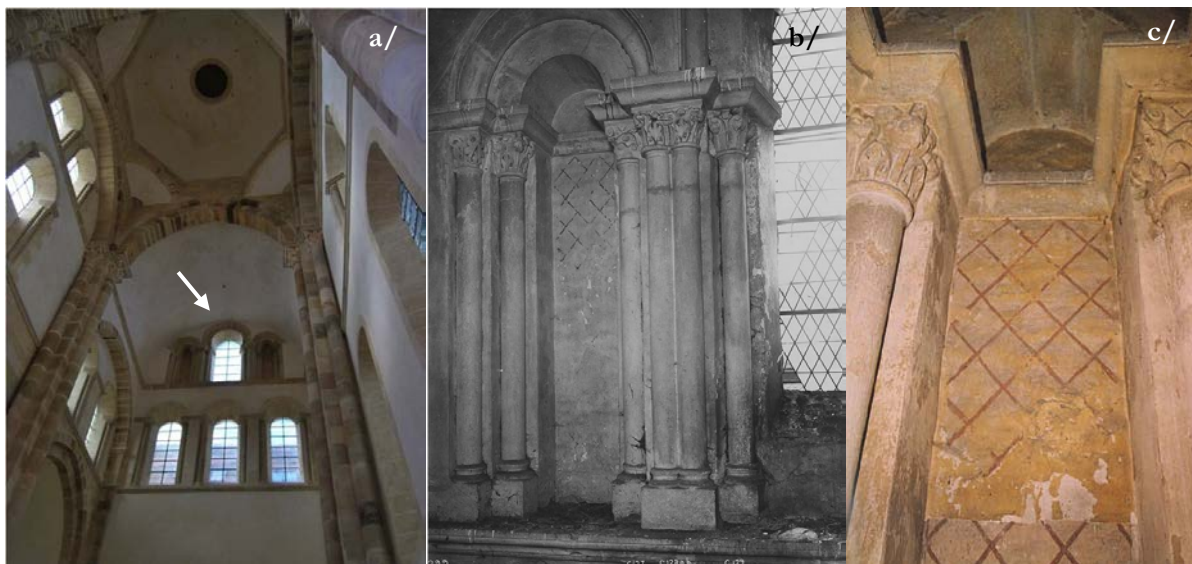


Figure II.3 – Cluny, grand transept sud, mur sud. Faux fenestrage décorant le fond des arcatures aveugles (b/ et c/) encadrant la baie du troisième niveau (a/). L'ocre rouge utilisée pour le quadrillage losangé a été appliquée a fresco [Palazzo-Bertholon 2003]. © (a/ et c/) J. Rollier-Hanselmann ; (b/) Conant / Musée d'art et d'archéologie de Cluny / CEC

Ainsi, les fragments romans du grand transept sud ne mettent pas en évidence d'éléments colorés ou peints. Cette constatation est bien sûr toute relative puisque les tessons mis au jour sont trop altérés pour identifier leur couleur originelle (classement en catégorie « indéterminé »). Mais il peut être logique d'imaginer certaines parties de l'édifice fermées par des vitres ou des verrières de teinte neutre (variations naturelles du verre) et sans décor peint. En effet, le grand transept sud conserve en partie haute deux arcatures aveugles dont les enduits romans⁴⁰ sont ornés d'un motif losangé imitant des verrières⁴¹ (fig. II.3). Des compositions aux motifs géométriques simples en verre de couleur ne sont pas non plus à exclure. D'autant plus que le décor mural du transept sud semble se limiter à un enduit badigeonné de blanc [Baud 2003]. De telles compositions existent dès le Haut Moyen Âge (Séry-les-Mézières, Notre-Dame de Bondeville, Paderborn, Saint-Jean de Müstair) [Foy 2005].

II.2.1.2. Fragments de la chapelle Saint-Martial – grand transept sud

La chapelle Saint-Martial est une chapelle gothique construite au deuxième quart du 14^e siècle. Elle remplace une chapelle romane dont les fondations, de plan identique à celui de la chapelle Saint-Etienne, contiguë, ont été mises au jour lors des fouilles de 1993-94. La chapelle romane était déjà dédiée à saint Martial de Limoges⁴² [Kurmann 2010 : 390]. Environ 55 % des fragments mis au jour dans le grand transept sud proviennent de cette chapelle.

On peut observer deux groupes distincts. Un premier, majoritaire (79 %), en relativement bon état de conservation, correspond à des éléments translucides verdâtres, de différentes nuances (fig. II.12, p. 82). Cette couleur résulte souvent de la présence d'impuretés, principalement l'oxyde de fer, qui se trouve naturellement dans

⁴⁰ Si Conant datait ces enduits du 18^e siècle [1968 : 97], A. Baud, qui a étudié le chantier de construction de l'abbatiale (histoire, techniques de construction...), les date de la fin du 11^e siècle [2003 : 14, 126].

⁴¹ Des fragments d'enduits peints au décor composé de résilles noires sur fonds or, verts, bleus, ou roses ont été mis au jour à Paray-le-Monial et attribués à la seconde église. G. Rollier s'interroge sur l'éventualité de verrières peintes en trompe l'œil [2009 : 107].

⁴² Depuis 1062, l'abbaye Saint-Martial de Limoges est l'une des principales maisons de l'ordre clunisien [Kurmann 2010 : 390].

la matière première siliceuse. La dizaine de fragments mis au jour par Conant dans la chapelle Sainte-Agathe du petit transept nord y sont assimilables.

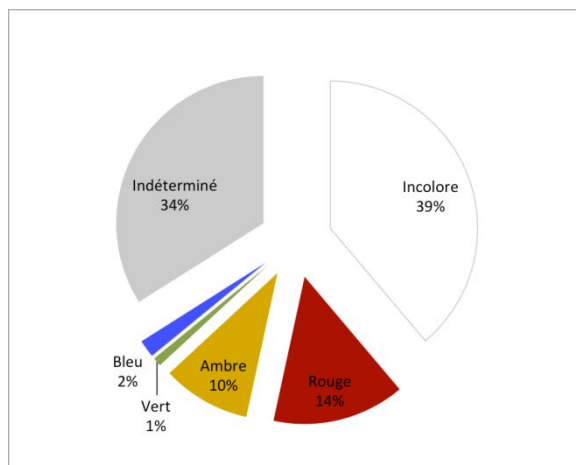


Figure II.4 – Cluny, grand transept sud. Diagramme circulaire représentant la fraction colorée des éléments de vitrail mis au jour lors des fouilles de la chapelle Saint-Martial.

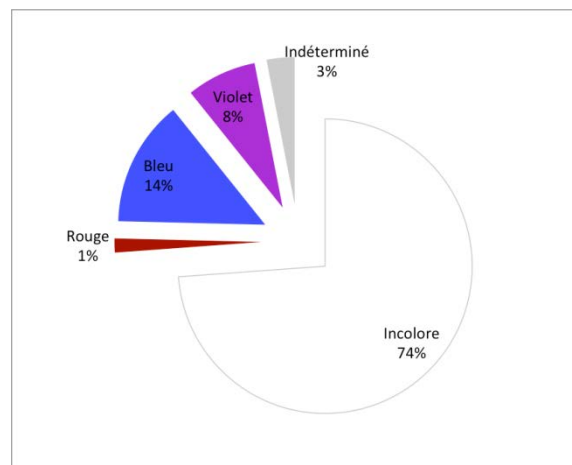


Figure II.5 – Cluny, petit transept sud. Diagramme circulaire représentant la fraction colorée des éléments de vitrail mis au jour par Conant dans la chapelle Jean de Bourbon.

Ces éléments de vitres relativement fins (épaisseur moyenne de 1,6 mm) s'opposent à des éléments de vitraux plus épais (3,25 mm en moyenne), vraisemblablement antérieurs. Ils représentent seulement 21 % du corpus de la chapelle. Pour certains une altération prononcée les rend opaques et rugueux (34 %). Malgré des fragments présentant des traces de grugeage⁴³, on relève peu de forme spécifique si ce n'est un élément lancéolé, un fragment trapézoïdal et un en arc de cercle. De nombreux fragments sont colorés (41 %) et parfois peints (13 %). La palette colorée, restreinte, comporte du rouge, du jaune-ambre, du bleu et du vert. La grisaille est de couleur brun à brun-rouge, selon la conservation des fragments et parfois empâtée (fig. II.4 et fig. II.13, p. 82).

L'ensemble de ces fragments appartenant à des remblais de destruction de l'abbatiale (US 1000, 1001, 1003 et 1005), on peut se demander si les deux groupes de verre ne reflèteraient pas les différents états de la chapelle.

⁴³ Gruger : action de briser finement les bords du verre à l'aide d'une pince.

II.2.1.3. Fragments de la chapelle Jean de Bourbon – petit transept sud

La chapelle funéraire de Jean de Bourbon, abbé de Cluny, est une chapelle gothique construite durant la deuxième moitié du 15^e siècle. Dumolin évoque pour cette dernière cinq verrières fermant des baies à remplage et ornées de figures peintes [Dumolin v. 1749 : 52]. Conant a fouillé de façon partielle cette chapelle durant l'été 1931 et ne s'est attaché qu'à rechercher les fondations du premier oratoire roman dédié à saint Eutrope.

L'état de conservation des fragments de vitraux mis au jour est relativement bon. Malgré les rayures et les nombreuses piquûres à la surface du verre qui tendent à l'obscurcir, une majorité des fragments a conservé une certaine translucidité. Seuls quelques rares éléments complètement opaques se délitent en feuillets.

La plupart des pièces conservent un à plusieurs bords grugés mais les nombreuses cassures ne permettent pas de déterminer leur forme, hormis pour deux fragments en forme de T et plusieurs fragments violets lancéolés. La palette colorée est réduite, seules trois couleurs sont représentées parmi les fragments mis au jour ; le bleu, le violet et le rouge (fig. II.5). La quasi-totalité des fragments sont peints, certains ont même leurs deux faces peintes. Parfois la grisaille n'a laissé que sa trace négative et peut avoir tendance à s'écailler, en particulier sur les bords. De couleur brune à brun-rouge, elle est apposée en fines couches lisses. Des enlevés d'aspect granité ont été réalisés à l'aide d'une brosse à putoiser (en peinture sur verre, brosse permettant de donner un aspect granuleux à un aplat de peinture). Quelques fragments de teinte jaunâtre, laissent penser à l'utilisation de jaune d'argent (fig. II.14, p. 83).

Un grand fragment (7,5 x 4 cm) représentant un drapé souple et des fragments décorés d'un motif damassé (violets et bleus) pourraient indiquer les personnages évoqués par Dumolin (fig. II.14).

Les traces de grugeage, les éléments de plomb retrouvés en fouille ainsi que les restes de mastic⁴⁴ observés sur certains fragments attestent d'une mise en œuvre au plomb.

⁴⁴ Le masticage était réalisé après la mise en plomb afin d'assurer l'étanchéité et consolider les panneaux de vitrail.

Les observations techniques relatives à cet ensemble tendent à laisser penser qu'il s'agit d'un corpus gothique. En effet, le jaune d'argent n'apparaît qu'à l'extrême fin du 13^e siècle, voire au tout début du 14^e siècle [Lautier et Sandron 2008] et la couleur violette, les deux faces peintes et l'utilisation d'une brosse à putoiser sont plus récentes [Perrot 1988]. L'étude de la composition chimique nous permettra d'évaluer l'homogénéité de cet ensemble.

Durant les travaux de rénovations en hiver 2009, un important élément de forme lancéolée (12,9 x 8,9 cm) réalisée par grugeage a été découvert dans la chapelle. Encore translucide et légèrement verdâtre, cette pièce de verre est relativement épaisse (4,1 à 5,3 mm) (fig. II.15, p. 83). Sa composition pourra être comparée à celle des autres verres mis au jour dans la chapelle Jean-de-Bourbon.

II.2.2. PARAY-LE-MONIAL

Outre l'affiliation du monastère de Paray-le-Monial (Saône-et-Loire, Bourgogne) à Cluny en 999, les deux priorales romanes parodiennes présentent des similitudes significatives avec les églises de l'abbaye de Cluny. Les plans de Paray I et Cluny II ont une parenté indéniable [Sapin 2000] ainsi que ceux de Paray II et Cluny III à laquelle s'ajoute une ressemblance architecturale [Reveyron 2010]. La seconde église, achevée au début du 13^e siècle, est construite dans le plus pur style roman clunisien, sous l'impulsion d'Hugues de Semur vers la fin de son abbatiat⁴⁵. On peut alors postuler que le style architectural ne fut pas la seule influence.

À l'occasion de l'aménagement d'un chauffage dans le sol de l'actuelle basilique (Paray II), des fouilles d'accompagnement ont été menées par G. Rollier entre 1998 et 1999 [Rollier 1999]. Un corpus de plus de 500 fragments de vitraux a été mis au jour dans les contextes de destruction de la première église romane (environ 30 %) et d'aménagements de l'église actuelle tels des remblais de nivellement [Rollier 1999].

⁴⁵ Hugues de Semur, sixième abbé de Cluny entre 1049 et 1109.

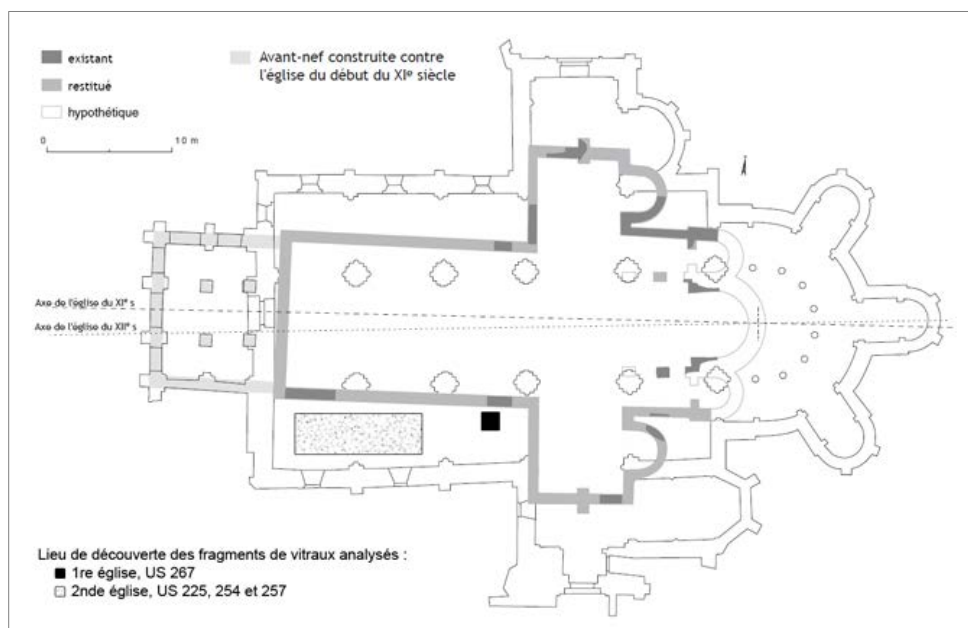


Figure II.6 – Paray-le-Monial, plan de la basilique et distribution du matériel archéologique en verre étudié au sein du site. © Plan : G. Rollier

II.2.2.1. Fragments de la première église

Les fragments liés à la première église proviennent essentiellement de l'US 267, située à l'extérieur de la troisième travée du collatéral sud de l'église du 11^e siècle, à proximité de la jonction entre la nef et le transept (fig. II.6). Leur concentration et la présence de plombs laissent penser qu'ils proviennent d'une seule et même verrière, effondrée sur place, celle de la baie orientale du mur sud de la nef [Rollier 2009 : 105]. Une part importante des fragments de la première église romane, dits « indéterminés » (64 %), sont complètement opaques mais conservent tout de même leur grisaille. Le reste des fragments conservent une partie de leur matrice translucide, qui apparaît incolore ou colorée en jaune, ambre, vert, rouge ou pourpre (fig. II.7 et II.16, p. 84).

De nombreux fragments de bordures décoratives ornés de différents motifs géométriques et végétaux (filet perlé, rosette...) ont été mis au jour. Ils devaient probablement se développer en frises, et leur grisaille de couleur brun-rouge est plutôt épaisse, voire empâtée (fig. II.17, p. 84).

Quelques pièces de verre ont plus particulièrement attiré notre attention. Il s'agit d'un fragment de bandeau à inscription où l'on peut lire *SQE* (réalisée par enlevés) qui pouvait accompagner une scène historiée, et d'éléments de bordure associés à des pastilles de verre serties de plomb (fig. II.17). Ce type de sertissage évoque la verroterie cloisonnée illustrée à Bondeville dès le 7^e siècle par un délicat fragment bleu circulaire à inclusion [Le Maho et Langlois 2005 : 90].

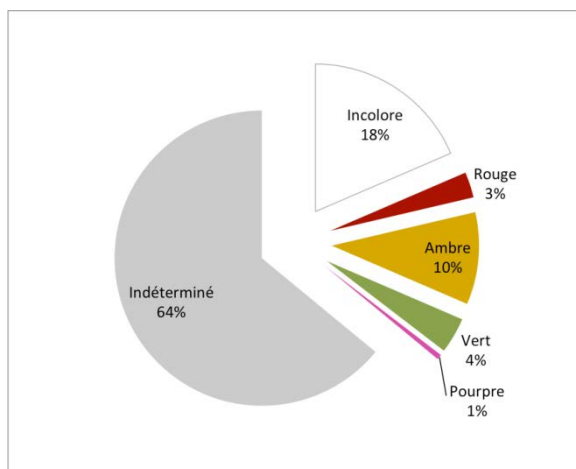


Figure II.7 – Paray-le-Monial, 1^{re} église. Diagramme circulaire représentant la fraction colorée des verres mis au jour dans les contextes de destruction de l'église.

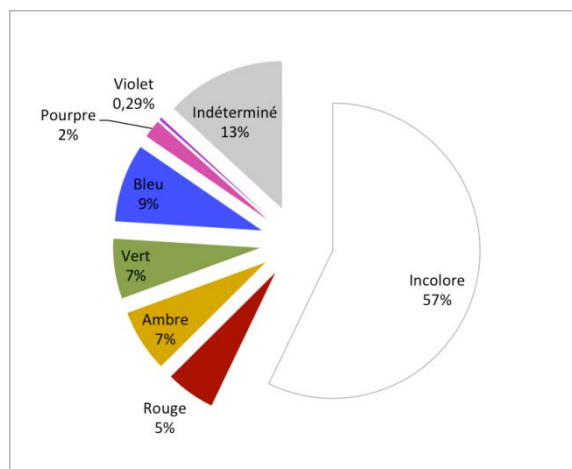


Figure II.8 – Paray-le-Monial, 2^{de} église. Fraction colorée des verres mis au jour dans les contextes postérieurs à l'installation du pavement du 13^e.

II.2.2.2. Fragments de la seconde église

La mise au jour d'autres fragments dans des contextes postérieurs à l'installation du pavement du 13^e siècle indique en principe leur appartenance à la seconde église, sans toutefois exclure que des verres plus anciens puissent se trouver en position erratique⁴⁶. Les contextes de découverte appartiennent à des phases de modifications du bâtiment. Ces fragments ont donc pour *terminus post quem* le début du 12^e siècle mais n'offrent qu'un *terminus ante quem* relativement tardif, autour des 17^e-18^e siècles, établis à partir de nombreux fragments de céramique et de quelques monnaies [Rollier 1999].

⁴⁶ Trois éléments jaune-ambre ont été mis au jour dans des comblements de sépultures [Rollier 2009 : 106].

Ils présentent un bien meilleur état de conservation que les fragments de la première église et sont en grande partie encore translucides (la part d'indéterminés diminue de 64 % à 13 %) (fig. II.7-8). Mais on relève encore des piqûres et des rayures à leur surface ainsi que des grisailles qui tendent à s'effacer et présentent des efflorescences blanches. L'épaisseur de ces fragments de verre varie entre 1,9 et 4,5 millimètres. Cet ensemble se compose d'une riche palette colorée comptant différentes nuances de bleu, de vert, d'ambre, de rouge, de pourpre et de violet (fig. II.18-19a, p. 85), mais le nombre d'éléments colorés reste réduit en regard des verres incolores qui forment la plus grande partie du corpus.

La mise au jour de plombs et les nombreux fragments présentant des bords grugés attestent d'une mise en œuvre au plomb pour la fixation des vitraux.

Une pièce a plus particulièrement attiré notre attention, le seul élément figuré. De couleur orangée, elle présente une ornementation pouvant être identifiée comme la gorge d'un personnage barbu (fig. II.19a).

Malgré une large plage chronologique, quelques éléments nous fournissent des indications de datations relatives tels les fragments colorés dans la masse ou plaqués (verts, violets), l'évolution du traitement des grisailles (effet putoisé, superposition de couches, tracés fins plus ou moins translucides) et de leurs motifs. En effet, certaines grisailles pourraient stylistiquement appartenir à la fin du 12^e siècle ou au début du 13^e siècle [Balcon-Berry 2009 : 224], et les motifs de filet perlé (bordures) et ceux présentant des remplissages en résilles entre les des décors d'arabesques, de volutes, de lignes, de végétaux (« cage à mouche ») sont respectivement typiques du 12^e et du 13^e siècle (fig. II.19b, p. 85). Quant aux verres plaqués, ils ne se généralisent qu'au 15^e siècle [Perrot 1988 : 68].

II.2.3. PLANCHES

Quelques fragments parmi les plus représentatifs de chaque site, par leurs formes, leurs couleurs ou leurs décors, sont présentés sur les planches subséquentes.

Certains fragments sont uniquement présentés en lumière réfléchi en raison de leur état de corrosion prononcée qui ne permet plus à la lumière d'être transmise. Une présentation en lumière transmise (à l'aide d'une table lumineuse) permet de révéler les couleurs et les décors des fragments de verre et de vitrail.



Figure II.9 – Cluny, grand transept sud, US 172. Échantillonnage de fragments. Photographies en lumière réfléchi. L'altération trop prononcée des fragments n'a pas permis d'effectuer d'analyses.



Figure II.10 – Cluny, grand transept sud. Fragments de verrerie BDX 14629 (US 172) et 14971 (US 63). Photographies en lumière réfléchi (à gauche) et en lumière transmise (à droite).

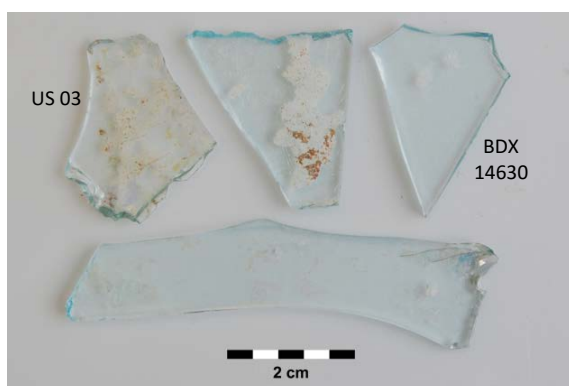


Figure II.11 – Cluny, grand transept sud. Photographie en lumière réfléchi de trois fragments transparents appartenant à l'US 05 (lit de pose du sol de l'abbatiale Cluny III) et d'un fragment similaire appartenant à l'US 03 (lit de pose du pavage 18°).

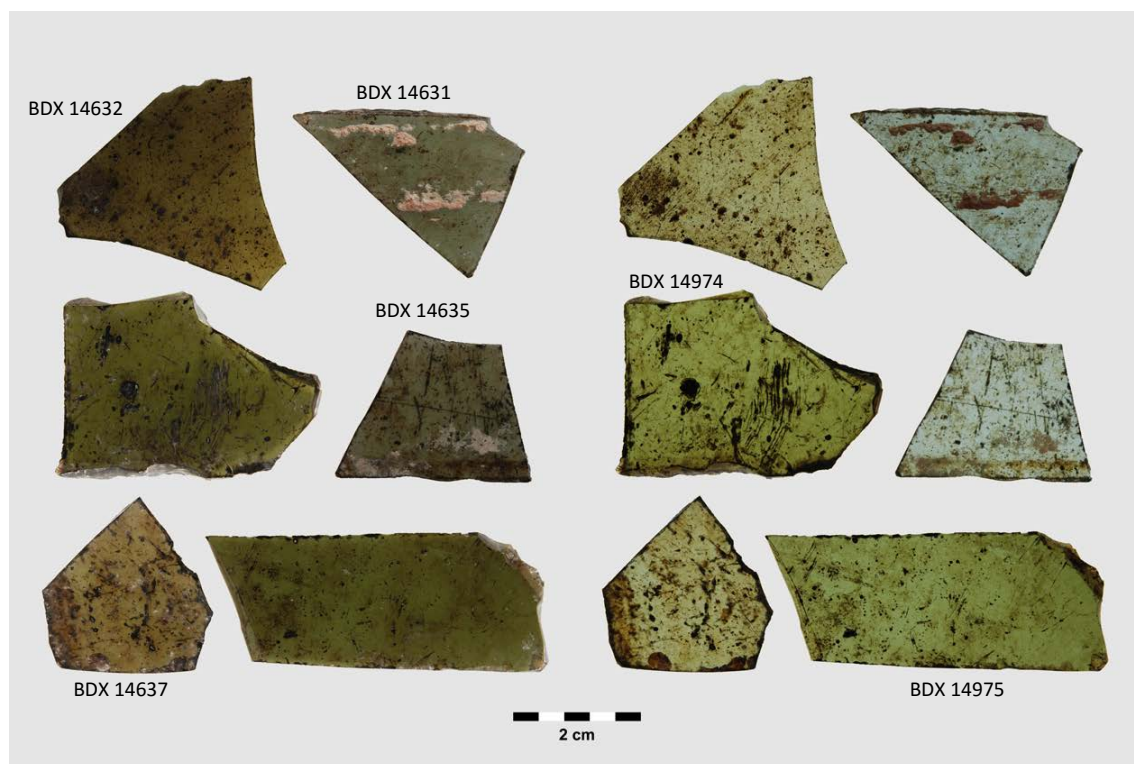


Figure II.12 – Cluny, Chapelle Saint-Martial. Échantillonnage de formes et de teintes parmi les fragments de vitrage verdâtres. Photographies en lumière réfléchie puis en lumière transmise.

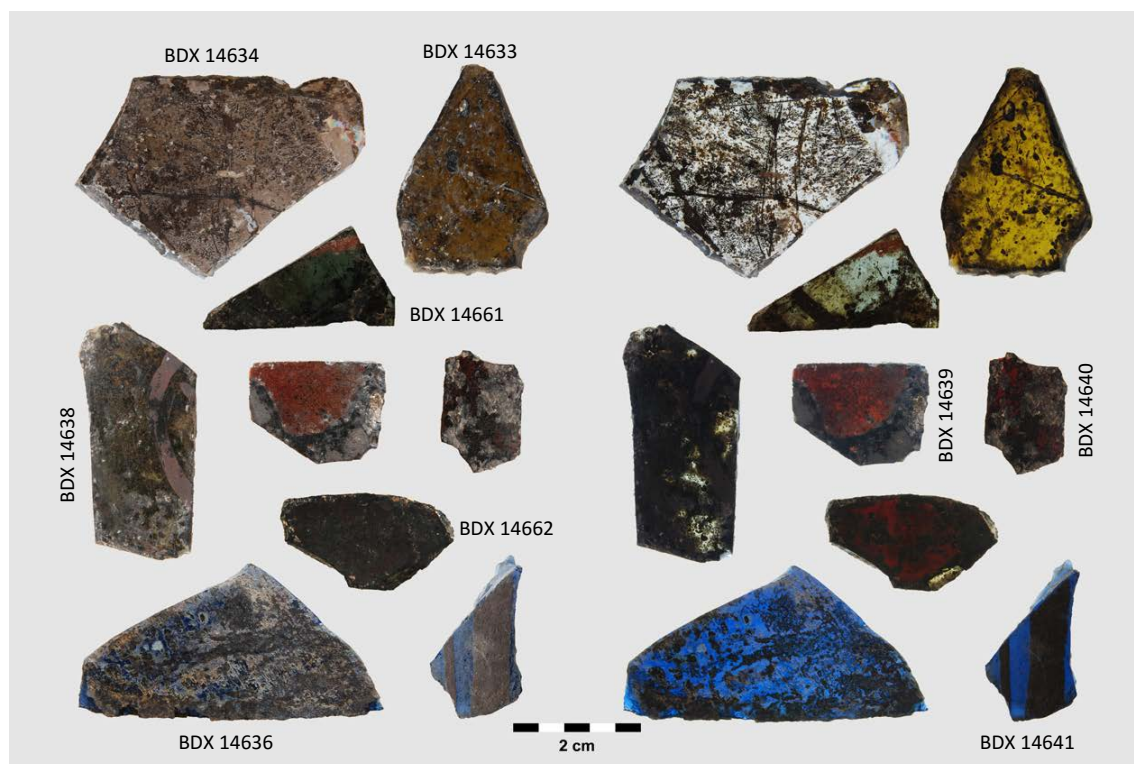


Figure II.13 – Cluny, chapelle Saint-Martial. Échantillonnage de formes, de couleurs et de décors peints parmi les fragments de vitrail. Photographies en lumière réfléchie puis en lumière transmise.

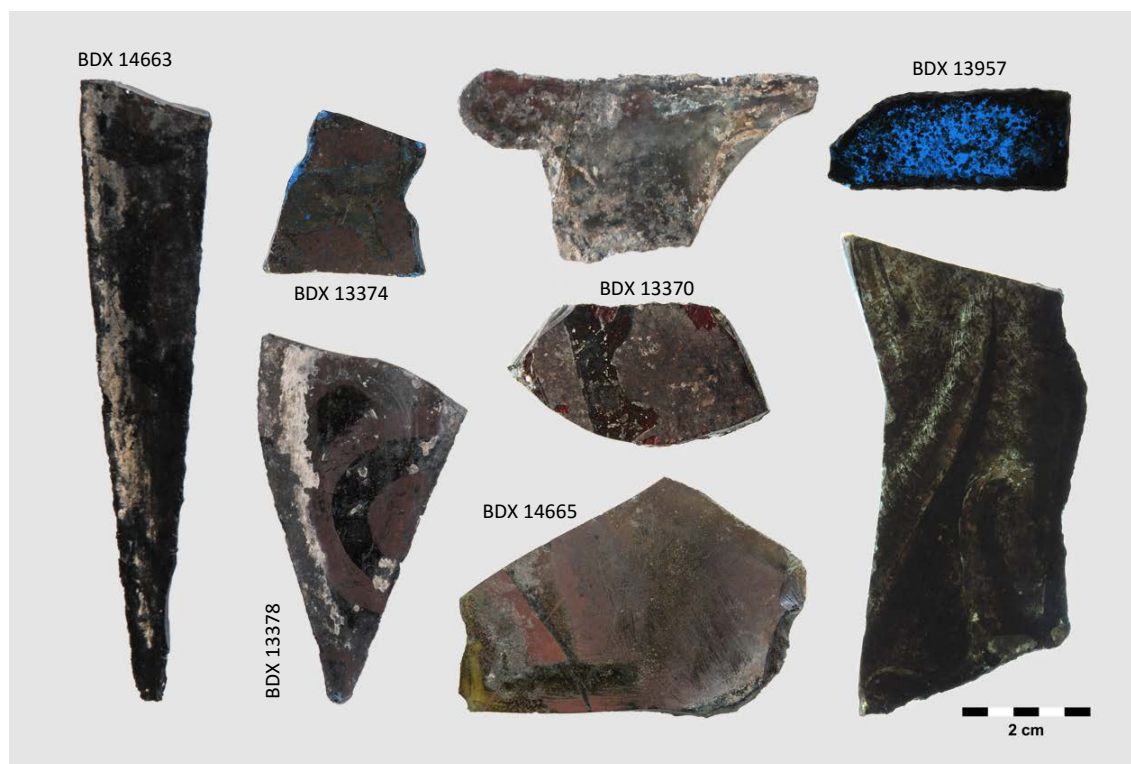


Figure II.14 – Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Échantillonnage de formes, de couleurs et de décors peints parmi les fragments du pit 31. (Photographie en lumière transmise pour les fragments bleus BDX 13374 et 13957 et le fragment de draperie.)



Figure II.15 – Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Photographie en lumière transmise du fragment lancéolé mis au jour durant les travaux de rénovation en hiver 2009.

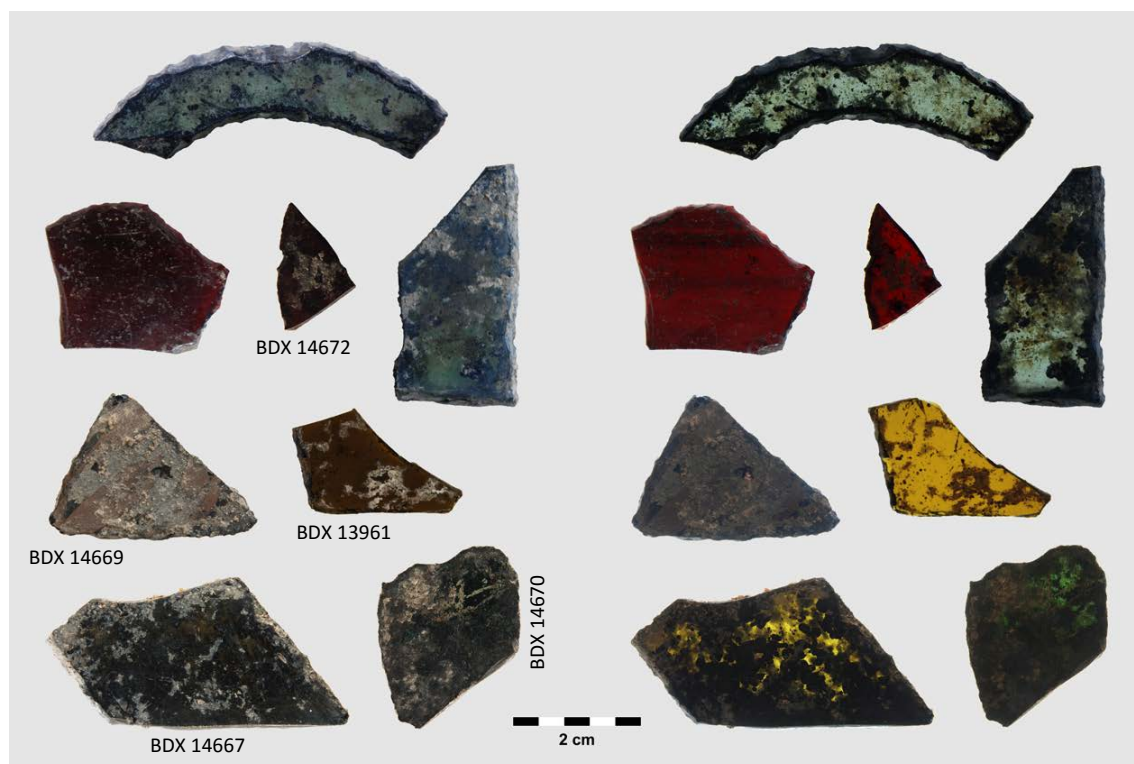


Figure II.16 – Paray-le-Monial, 1^{re} église. Échantillonnage de formes et de couleurs. Photographies en lumière réfléchie puis en lumière transmise.



Figure II.17 – Paray-le-Monial, 1^{re} église. Échantillonnage de décors peints. Photographies en lumière réfléchie (excepté pour le fragment triangulaire ambre – lumière transmise)

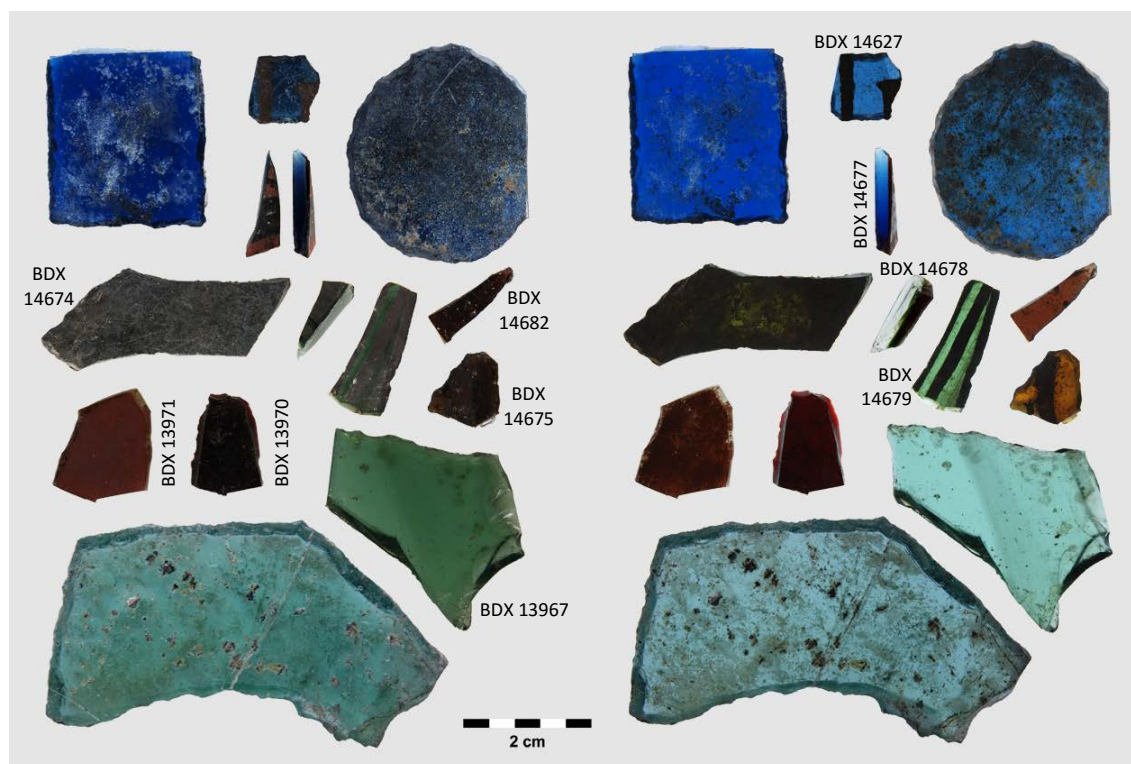


Figure II.18 – Paray-le-Monial, 2nde église. Échantillonnage de formes et de couleurs. Photographies en lumière réfléchie et en lumière transmise.

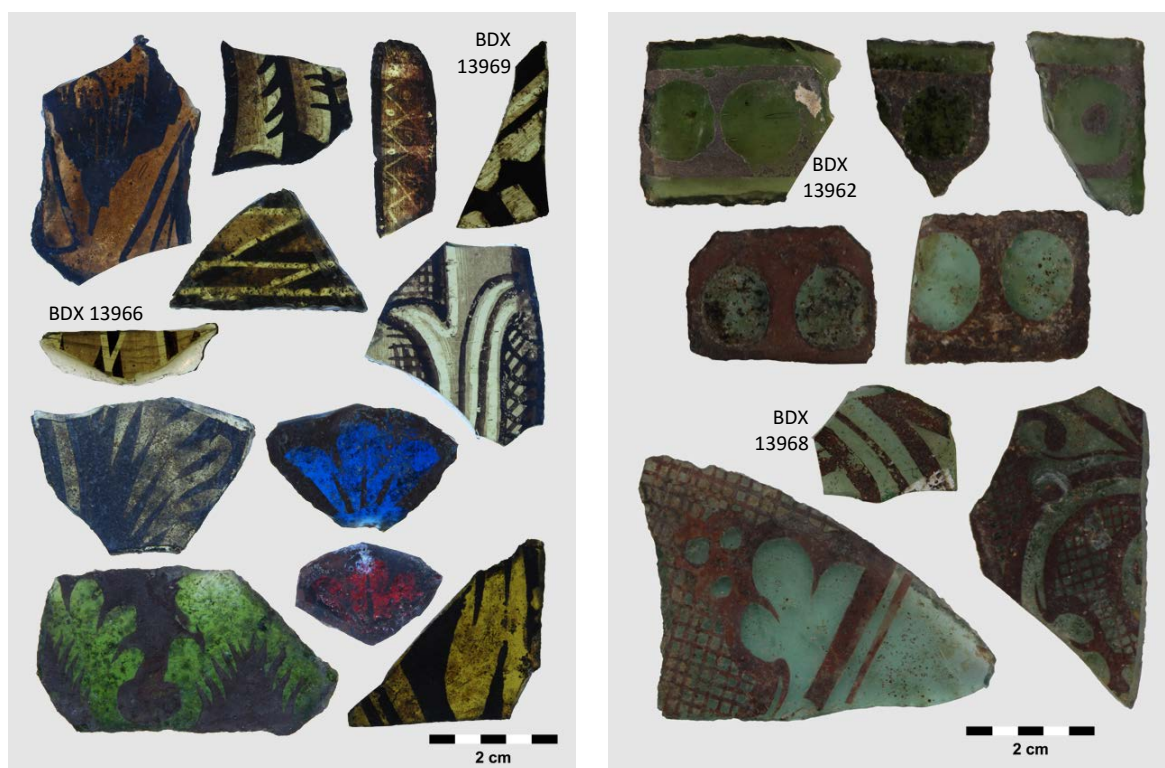


Figure II.19 – Paray-le-Monial, 2nde église. À gauche, photographie en lumière transmise d'un échantillonnage de couleurs et de motifs de grisaille. À droite, photographie en lumière réfléchie d'éléments de filet perlé et de « cage-à-mouches », ornant de nombreux fragments du corpus.

II.3. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES VERRES

Jusqu'à nos travaux, le verre archéologique du site de Cluny n'avait pas suscité d'intérêt particulier, contrairement aux fragments lapidaires, aux fragments d'enduits peints et aux éléments de pavements ; ni expositions, ni études, ni analyses.

Seul le verre incrusté dans les dalles de pavement (env. 1120) appartenant au sanctuaire de la troisième abbatale a fait l'objet d'analyses physico-chimiques (*British Museum Research Laboratory*, 1988) [Maurice 1990a : 368, Freestone 1992 : 740].

En ce qui concerne le site de Paray-le-Monial, l'exposition *Hugues de Semur, Lumières clunisiennes*, qui s'y est tenue entre juillet et octobre 2009, a permis de redécouvrir l'ensemble du verre archéologique des églises parodiennes mis au jour à la fin des années 90 [Rollier 2009 : 105-106].

Quelques pièces du corpus antérieur au 12^e siècle avaient été présentées par Sylvie Balcon-Berry à l'occasion de la table ronde consacrée au verre monumental des 5^e-12^e siècles (Centre d'études médiévales, Auxerre, 2006). L'intérêt pour ce corpus reposait sur des données stratigraphiques précises permettant d'avancer un *terminus ante quem* fiable [Balcon-Berry 2009] et leur rareté - les témoignages de vitrail des 12^e-13^e siècles en Bourgogne sont bien plus nombreux (voir l'inventaire du *Corpus Vitrearum*, groupe de recherche internationale sur le vitrail, [1986]).

Comme nous l'avons décrit au paragraphe précédent, une grande majorité des fragments de verre des sites de Cluny et Paray-le-Monial ont été mis au jour dans des contextes de remblais de nivellement ou de destruction, leur imputant une large plage chronologique et ainsi une datation peu aisée.

Cependant, des classifications archéologiques ont pu être élaborées à partir de la chronologie relative, de la typologie et de l'aspect de la matière vitreuse. Ces dernières seront confrontées aux résultats d'analyses physico-chimiques.

II.3.1. ÉCHANTILLONNAGE

Soixante-treize fragments de verre ont été sélectionnés pour les deux sites confondus (tab. II.3-6). Il s'agissait d'être quasi exhaustif quant aux couleurs et leurs différentes nuances ainsi qu'aux décors (motifs, techniques) selon les différentes périodes rencontrées. Cependant, les fragments exposés (Paray-le-Monial) ainsi que les pièces remarquables n'ont pas fait l'objet de prélèvement afin de préserver l'intégrité de leur forme ou de leur décor.

Tableau II.3 – Cluny. Liste des fragments analysés parmi ceux mis au jour lors des fouilles Conant : numéro des échantillons, localisation, datation et description.

BDX	Provenance	TPQ	TAQ	Couleur	Ép. (mm)	Observations
14660	TN-P.XV	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	1,52	transparent
14658	PO-P.I	13 ^e s.	19 ^e s.	incolore	4,18	
14659	TN-P.XV	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	2,36	
13371	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,26-3,70	grisaille 2f, j. ag ?
13372	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	2,66	grisaille 2f
13373	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,38	grisaille 2f
13958	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	2,40	grisaille, j. ag ?
13959	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	2,16	grisaille
14665*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,28	grisaille, j. ag ?
13960*	TS-JdB-Trvx09	11 ^e -12 ^e s.	21 ^e s.	incolore	4,10	
13370*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	rouge	3,30	grisaille
13374*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu	3,40	grisaille
13375	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu gris	2,80	
13376	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu intense	3,34	grisaille
13957*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu	2,66	grisaille
13377	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	violet	2,80	grisaille
13378*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	violet clair	2,30	grisaille
14642	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	violet	2,82	grisaille
14663*	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	violet	3,90	grisaille
14664	TS-JdB-P.XXXI	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	violet	3,30	grisaille

Abréviations - TN : transept nord, TS : transept sud, PO : portail occidental, JdB : chapelle Jean de Bourbon, P. : pit, 2f : sur les deux faces, j. ag : jaune d'argent, * : fragment visible sur les planches II.14-15, p. 83.

Tableau II.4 – Cluny. Liste des fragments analysés parmi ceux mis au jour lors des fouilles Baud-Rollier : numéro des échantillons, localisation, datation et description.

BDX	Provenance	TPQ	TAQ	Couleur	Ép. (mm)	Observations
14629*	TS-T1-US172		10 ^e s.	bleu clair	1,52	verrerie ?
14971*	TS-T2-US63		11 ^e s.	bleu clair	1,00-1,20	verrerie
				blanc	3,40-4,40	
14631*	TS-SM-US1000	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	1,71	plâtre scellemt
14632*	TS-SM-US1000	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	2,00	
14635*	TS-SM-US1001	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	1,30	
14637*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	1,50	
14974*	TS-SM-US1001	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	2,88-3,60	
14975*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	verdâtre	2,00	
14630*	TS-LP-US05		11 ^e s. (?)	incolore	2,56	transparent
14972	TS-LP-US05		11 ^e s. (?)	incolore	2,30	transparent
14973	TS-LP-US03	11 ^e -12 ^e s.	18 ^e s.	incolore	2,26	transparent
14634*	TS-SM-US1001	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,80	aspect rosé
14661*	TS-SM-US1003	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,5	
14638*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	incolore	3,36	grisaille
14639*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	rouge	2,80	grisaille
14640*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	rouge	2,80	grisaille
14662*	TS-SM-US1003	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	rouge	3,18	grisaille
14633*	TS-SM-US1001	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	ambre	3,96	
14636*	TS-SM-US1001	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu	1,82-2,34	
				intense		
14641*	TS-SM-US1005	11 ^e -12 ^e s.	19 ^e s.	bleu clair	4,30	grisaille

Abréviations - TPQ : terminus post quem, TAQ : terminus ante quem, TS : transept sud, T : travée, US : unité stratigraphique, LP : lit de pose, SM : chap. St-Martial, * : fragment visible sur les planches II.10-13, p. 81-82.

Tableau II.5 – Paray-le-Monial, 1^{re} église. Liste des fragments analysés : numéro des échantillons, localisation, datation et description.

BDX	Provenance	TPQ	TAQ	Couleur	Ép. (mm)	Observations
14666*	US267-Vi82	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	incolore	3,50	filet perlé
14671	US267-Vi85	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	incolore	3,18	
14672*	US267-Vi85	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	rouge	2,56	grisaille
13961*	US267-Vi83	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	ambre	2,44	
14667*	US267-Vi83	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	ambre	3,74	
14668	US267-Vi83	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	ambre	3,10	grisaille
14670*	US267-Vi83	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	vert	2,40	
14673	US267-Vi85	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	vert	2,66	
14669*	US267-Vi83	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	pourpre	4,00	grisaille

Abréviations - TAQ : terminus ante quem, US : unité stratigraphique, Vi : vitrail, * : fragment visible sur les planches II.16-17, p. 84.

Tableau II.6 – Paray-le-Monial, 2nde église. Liste des fragments analysés : numéro des échantillons, localisation, datation et description.

BDX	Provenance	TPQ	TAQ	Couleur	Ép. (mm)	Observations
13962*	US225-Vi22	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	2,96-4,70	filet perlé
13966*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	3,44	grisaille + lavis
13967*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	4,00-4,20	
13968*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	2,52	cage à mouche ?
13969*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	2,46	grisaille
13971*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	incolore	1,98	grisaille rouge 2f
13963	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	rouge	2,80	
13964	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	rouge	2,30	plaqué
13970*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	rouge	3,28	grisaille
14675*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	ambre	2,64	grisaille
14676	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	ambre	4,50	
14674*	US254-Vi59	12 ^e -13 ^e s.		vert	3,62	
14678*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	vert	3,24	plaqué, grisaille
14679*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	vert	1,86	plaqué, grisaille
14680	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	vert	3,00	grisaille
13965	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu	2,96	grisaille

13972	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu profond	2,80	grisaille
13973	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu profond	1,91	grisaille
14626	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu	2,46	grisaille
14627*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu clair	2,24	grisaille
14628	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	bleu	2,08	
14677*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	violet	2,60	plaqué, grisaille
14681	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	pourpre	2,46	grisaille
14682*	US257-Vi55	12 ^e -13 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	pourpre	2,36	

*Abréviations - TPQ : terminus post quem, TAQ : terminus ante quem, US : unité stratigraphique, Vi : vitrail, 2f : sur les deux faces, * : fragment visible sur les planches II.18-19, p. 85.*

II.3.2. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES

Avant toute manipulation, les fragments de verre et de vitraux ont été photographiés en lumière réfléchiée puis en lumière transmise à l'aide d'une table lumineuse Microlight® (ultra slim lightbox) de format A4 et dotée d'un tube fluorescent à cathode froide d'une température de couleur de 5000 ± 300 K.

II.3.2.1. Préparation des échantillons

Le verre, qu'il soit sur verrière ou enfoui dans le sol, subit des attaques chimiques⁴⁷ conduisant à une altération de sa surface – plus ou moins étendue et profonde selon sa nature. Afin de s'affranchir de cette phase corrodée et d'analyser le verre sain, il est nécessaire de réaliser une coupe stratigraphique.

Ainsi un fragment de quelques mm³ est prélevé et inclus dans une résine permettant de le protéger et de le manipuler aisément. Les inclusions sont réalisées à l'aide d'une résine d'enrobage acrylique (LAM PLAN 601.2⁴⁸). Après polymérisation sous lumière bleue – environ 20 min – les inclusions contenant les prélèvements sont coupées transversalement à l'aide d'une scie circulaire de précision. L'une des sections obtenues

⁴⁷ Agents météoriques, pollution extérieure, eaux de condensation et humidité ambiante pour les verres sur verrières.

⁴⁸ Résine d'enrobage à froid monocomposant. Un vernis est ajouté pour durcir la surface de l'enrobage (polymérisation du vernis : 10 min sous lumière bleue).

est alors rectifiée afin d'obtenir une lame épaisse parfaitement plane, et sa surface est ensuite abrasée puis polie ; l'échantillon étant nettoyé aux ultrasons entre chaque granulométrie (de 35 à 0,1 μ) de manière à minimiser tout risque de pollution.

Enfin, les sections polies sont rendues conductrices grâce au dépôt d'un film de carbone par évaporation thermique afin d'éviter les phénomènes de charge superficielle dus à l'examen sous vide au microscope électronique à balayage (MEB).

II.3.2.2. Observations

Les fragments de verre et leurs sections sont observés et photographiés sous loupe binoculaire (Leica® M125) en lumière dite « naturelle⁴⁹ » (LN) qui donne une perception quasi normale des couleurs et permet de déterminer les zones à analyser. Ces observations permettent d'évaluer l'état de surface des verres (piqûres, rayures, *etc.*) et, pour les sections, de discerner entre autres les différentes strates (décor, altération, type de coloration). La matrice vitreuse étant translucide, on peut également apprécier la présence de bulles ainsi que leur répartition et leur forme⁵⁰, information que l'on ne peut obtenir en microscopie électronique à balayage. Cependant, les changements de composition peuvent être observés au MEB en mode électrons rétrodiffusés⁵¹ (BSE : *backscattering electrons*), ainsi que la présence de microcristaux (opacifiants).

II.3.2.3. Analyses élémentaires (MEB-EDS)

La microscopie électronique à balayage couplée à un système d'analyse élémentaire par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS) permet d'identifier les différents éléments chimiques composant le verre et son décor. Le verre est élaboré par fusion de silice avec divers oxydes tels des fondants, des stabilisants, des colorants, *etc.*

⁴⁹ Lumière blanche calibrée.

⁵⁰ La forme des bulles peut donner des indices techniques quant à la fabrication du verre. Étirées, elles peuvent indiquer un travail par soufflage en manchon, concentriques, un travail en plateau.

⁵¹ Selon le numéro atomique des éléments, on obtiendra une image en nuances de gris : des zones claires pour les éléments lourds et des zones sombres pour les éléments légers.

Or la composition des fondants et des stabilisants dépend de la période et du lieu considérés.

Le spectromètre Oxford Instruments® X-Max 20 *Silicon Drift Detector* couplé au MEB à pression variable JEOL® JSM 6460LV du CRP2A a été utilisé pour déterminer la composition élémentaire des verres et les conditions expérimentales ont été maintenues constantes pour l'ensemble des échantillons analysés. Les analyses quantitatives ont été réalisées en mode *high vacuum*, sur des surfaces d'environ $(400 \times 500) \mu\text{m}^2$ de verre sain, avec une tension d'accélération des électrons de 20 keV et un temps d'acquisition de 120 secondes auquel s'ajoute un temps mort de 30 %. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Inca d'Oxford Instruments® et les résultats sont exprimés en pourcentage massique d'oxydes, normalisés à 100 %.

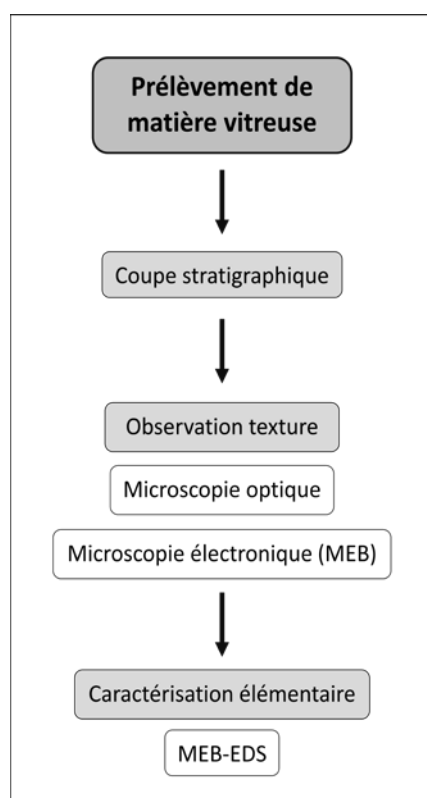


Figure II.20 – Démarche analytique appliquée aux échantillons de verre archéologique.

II.3.3. DESCRIPTION DES DONNÉES PAR ANALYSE MULTIVARIÉE

Les méthodes d'analyse multivariée permettent de décrire un nombre important de données et sont utiles pour extraire des informations significatives à partir de cet ensemble de données. Elles sont courantes en archéométrie, principalement dans le domaine des études du verre et de la céramique.

Nous avons ici utilisé l'analyse en composantes principales (ACP) pour comparer les compositions chimiques des différents tessons de verre potassique. Cette méthode statistique, non supervisée (chaque échantillon est considéré de manière individuelle), permet une meilleure visualisation des données relatives à de nombreux individus décrits par de nombreuses variables, et d'explorer les similarités ou les oppositions entre individus et les liaisons entre variables. Les relations entre individus ou échantillons s'observent sur le nuage de données obtenu dans une nouvelle base de dimensions réduites, formée de nouvelles variables appelées composantes principales (PC1, PC2, PC3, etc.). Un cercle de corrélation permet de représenter graphiquement les corrélations des variables avec les axes principaux (fig. II.21).

L'analyse en composantes principales a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT d'Addinsoft, extension pour Microsoft Excel, sur des données centrées et réduites⁵².

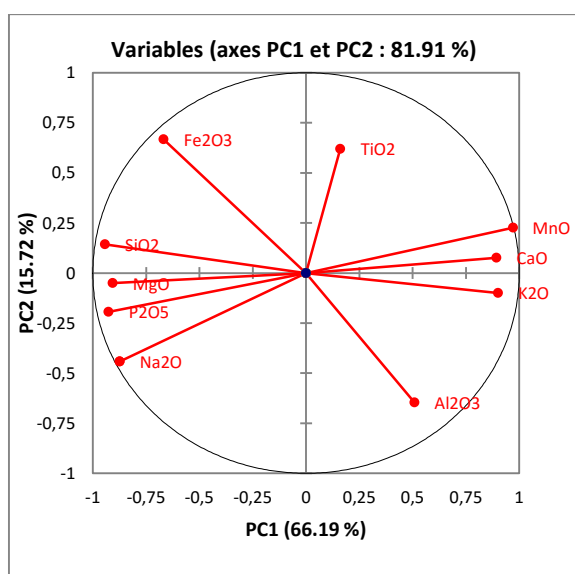


Figure II.21 – Exemple de représentation graphique des corrélations de variables avec les axes principaux PC1 et PC2.

Plus les variables sont proches d'un axe, plus elles y contribuent. Plus elles sont proches de la circonférence, mieux elles sont expliquées par le plan formé par les deux axes.

⁵² Normaliser des données élémentaires consiste à soustraire la moyenne de l'élément et diviser par l'écart-type. Chaque variable a ainsi une moyenne nulle et une variance égale à 1.

II.3.4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

Les différences de compositions sont à considérer comme des signatures de la fabrication des verres [Gratuze *et al.* 1997]. Elles informent sur la nature des constituants utilisés pour la fabrication du verre, le savoir-faire des maîtres-verriers, les lieux d’approvisionnement ou encore l’époque de leur réalisation...

Comme nous l’avons vu précédemment, les sources de fondants varient géographiquement et chronologiquement. La nature des fondants peut être connue rapidement en reportant dans un digramme ternaire la composition massique en oxydes de sodium (Na), de potassium (K), de magnésium (Mg) et de calcium (Ca) des vitraux. Nous observons que les échantillons de verre des sites de Cluny et Paray-le-Monial se répartissent selon trois groupes (fig. II.22). Ces groupes peuvent être reliés aux trois grandes familles chimiques identifiées dans l’histoire du verre :

- › type I : verres calco-sodiques, obtenus à partir de soude,
- › type II : verres calciques, contenant majoritairement du calcium et peu d’éléments alcalins,
- › type III : verres potassiques, généralement obtenus à partir de cendres végétales.

Nous constatons que différents sous-groupes semblent se dessiner au sein des verres sodiques. Il s’agit vraisemblablement de la distinction soude minérale / soude végétale. Les vitraux de la première église de Paray-le-Monial sont uniquement potassiques alors que ceux de la seconde église se répartissent entre les trois types de composition. En ce qui concerne Cluny, les vitraux de la chapelle Jean de Bourbon présentent une composition de type potassique. Pour la chapelle Saint-Martial, les éléments de vitrail, potassiques, se distinguent des éléments de vitrerie, calciques.

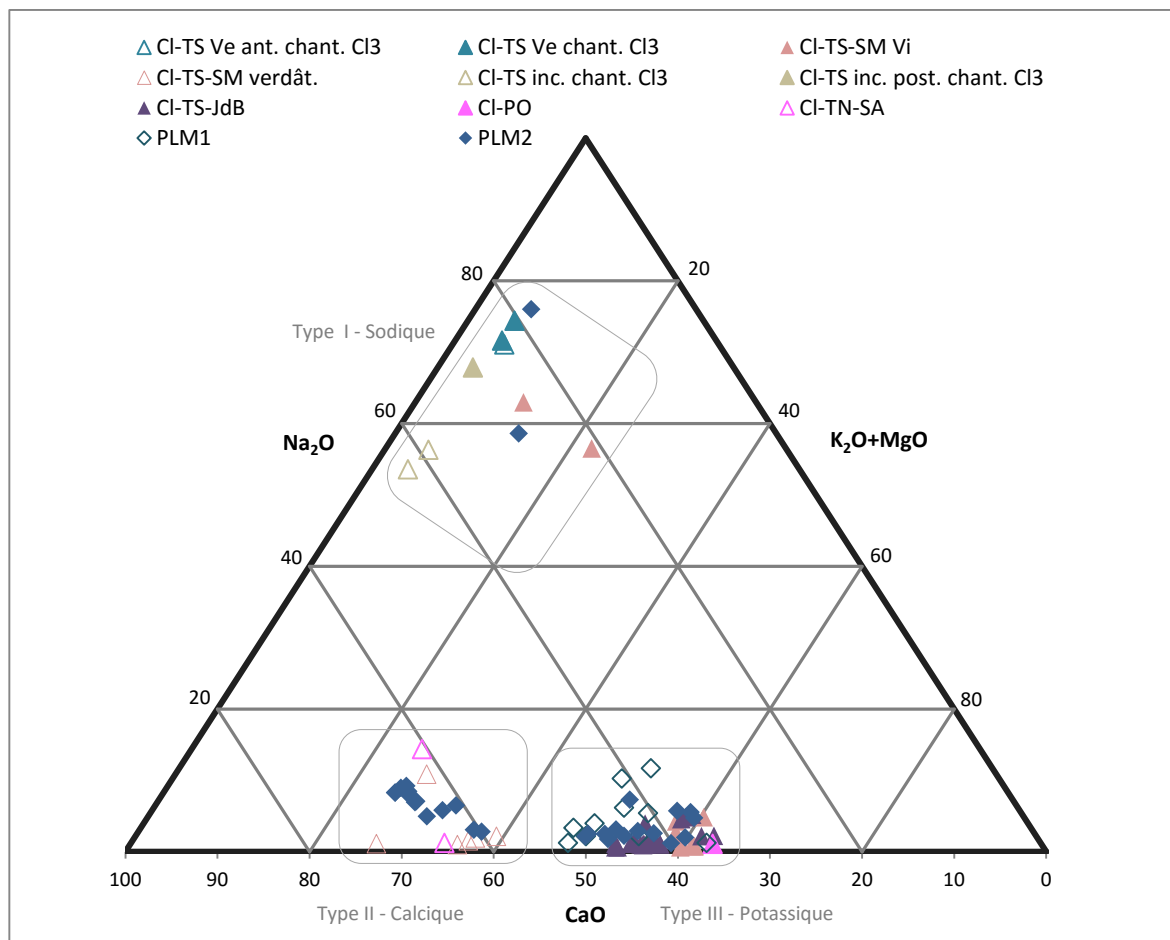


Figure II.22 –Diagramme ternaire représentant les compositions en éléments majeurs (Na, K+Mg et Ca) des verres de Cluny et Paray-le-Monial permettant de différencier les types de fondants employés. Nous distinguons les trois principales familles de compositions des verres : type I –sodiques, type II – calciques et type III – potassiques.

Abréviations légendes – ant. : antérieur, chant. : chantier, Cl3 : Cluny III, inc. : verres incolores, JdB : chapelle Jean de Bourbon, PLM : Paray-le-Monial, PO :portail occidental (gothique), post. :postérieur, SA : chapelle Sainte-Agathe, SM : chapelle Saint-Martial, TN : transept nord, TS : transept sud, Ve : verrerie, verdât. : verres verdâtres, Vi : vitrail.

II.3.4.1. Verres sodiques de Cluny et Paray-le-Monial

Les analyses chimiques des verres sodiques de Cluny et Paray-le-Monial (tab. D.1 en annexe), présentées en fonction des valeurs de la potasse et de la magnésie, mettent en évidence trois groupes de composition (fig. II.23).

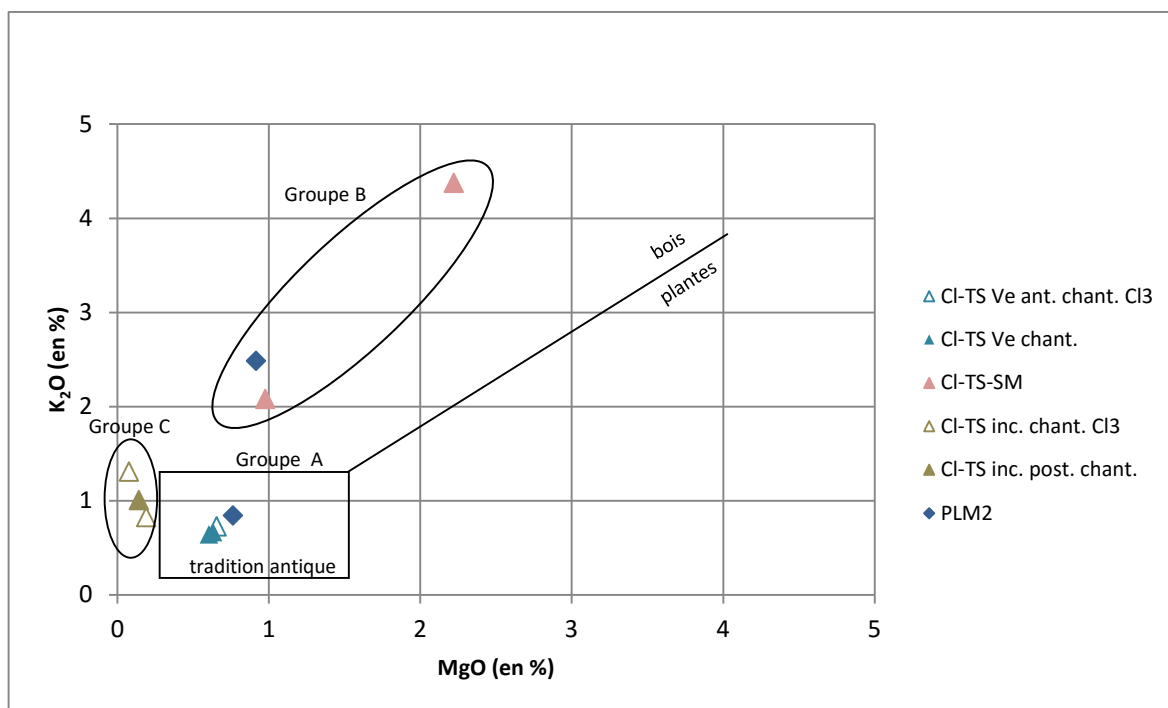


Figure II.23 – Graphique représentant la proportion magnésie/potasse des échantillons de verre sodique de Cluny et Paray-le-Monial. Trois groupes de composition se distinguent. Le groupe A correspond aux verres dit de tradition antique. Le groupe B présente une composition intermédiaire, un mélange entre du verre sodique (soude minérale) et du verre potassique (cendres de bois). Quant au groupe C, il s'apparente à une composition de type moderne.

Abréviations légendes – ant. : antérieur, chant. : chantier, Cl₃ : Cluny III, inc. : verres incolores, PLM₂ : Paray-le-Monial (2nde église), post. : postérieur, SM : chapelle Saint-Martial, TS : transept sud, Ve : verrerie.

Groupe A

Les éléments de verrerie de Cluny (BDX 14629 et 14971, voir fig. II.10, p. 81) ainsi qu'un fragment bleu profond appartenant à la seconde église de Paray-le-Monial (BDX 13972) présentent des taux particulièrement bas en potassium ($K_2O < 1 \%$), phosphore ($P_2O_5 < 0,18 \%$) et magnésium ($0,6 < MgO < 0,8 \%$).

Il s'agit de verres sodiques de type natron, dits de « tradition antique » (soude d'origine minérale).

Le verre dit de type romain ou antique caractérise une période de production verrière couvrant une plage chronologique allant des époques préromaines jusqu'au 10^e siècle (selon les régions) en Europe du Nord et de l'Ouest [Gratuze *et al.* 1997].

Ce type de composition « antique » est également fréquent pour les verres bleus médiévaux, en particulier ceux du 12^e siècle. La matière première utilisée pour les verres bleus peut provenir du remploi de verres plus anciens. Cependant, une continuité des procédés antiques faisant usage de natron n'est peut-être pas à exclure [Foy 1998, 2000]. Les travaux de Verità et Toninato [1990] montrent encore l'usage de natron dans du mobilier italien du 12^e siècle.

Groupe B

Les fragments bleu clair de la chapelle St-Martial (BDX 14641, fig. II.13, p. 82) et de la seconde église de Paray-le-Monial (BDX 14627, fig. II.18, p. 85) ainsi que le fragment incolore de la chapelle St-Martial (BDX 14634, fig. II.13) présentent une composition complexe, ni de type antique (natron), ni de type végétal.

Les cendres de plantes halophiles présentent des teneurs variables mais relativement élevées en magnésium et potassium [Henderson 2000 : 50]. Or les verres du groupe B se caractérisent par des taux de phosphore et de potassium plus élevés ($P_2O_5 > 0,4 \%$ et $K_2O > 2 \%$), tout en conservant un taux de magnésium relativement faible ($0,9 < MgO < 2,2 \%$) (tab. D.7, en annexe). Il s'agit vraisemblablement d'un mélange entre du verre sodique à soude minérale et du verre à cendre de bois, potassique, influant sur les taux de phosphore et potassium.

Les teneurs en éléments susmentionnés sont plus élevées pour le verre incolore de la chapelle Saint-Martial (BDX 14634), indiquant probablement un mélange de concentrations différentes.

Ces verres, de composition intermédiaire, ne sont pas isolés. On les rencontre par exemple à Autun (Bourgogne) dans le cas de verres à vitre archéologiques incolores datés d'avant le 9^e siècle et de vitraux bleus datés du 12^e siècle, à Saint-Benoît (Vienne) pour des verres bleus et rouges des 10^e-12^e siècles, ou encore dans les verrières de la cathédrale de York Minster (Angleterre, 12^e siècle) [Velde 2009 : 23-5, Prysmicki 2009 : 57-8].

Dès la période Romaine, et notamment pour les couleurs rares comme le bleu, le recyclage a été important [Foy *et al.* 2003], ce qui conduit à des compositions intermédiaires [Colomban *et al.* 2003].

Notons à ce titre l'absence de verre bleu mis au jour pour la première église de Paray-le-Monial alors que des verres bleus de types antique, intermédiaire et potassique ont été retrouvés pour la seconde église. L'ensemble des verres bleus de la première église auraient-ils été réutilisés ?

Groupe C

Les fragments incolores transparents, légèrement bleutés et quasi sans bulle mis au jour dans une unité stratigraphique attribuée au chantier de Cluny III (BDX 14630 et 14972, fig. II.11, p. 81), ainsi que le fragment similaire mis au jour dans le lit de pose du pavage 18^e siècle du transept sud (BDX 14973) présentent une composition sodique de type minérale, mais non de tradition antique (fig. II.23).

Tous trois se caractérisent par de très faibles teneurs en oxyde de fer ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,15 \%$) – appréciable pour un verre incolore – et en magnésie ($\text{MgO} < 0,2 \%$) ainsi que par l'absence d'oxydes de phosphore et de manganèse, présents dans tous les autres verres analysés (tab. D.1 en annexe).

L'aspect bleuté de ces tessons pourrait être dû à l'emploi d'oxyde de manganèse comme décolorant [Van Wersch *et al.* 2011].

Ces deux ensembles se rapprochent des verres de composition moderne, ce qui semble indiquer une perturbation des couches archéologiques.

II.3.4.2. Verres calciques de Cluny et Paray-le-Monial

Pour le site de Cluny, seuls les verres à vitre verdâtres de la chapelle Saint-Martial (grand transept sud) et de la chapelle Sainte-Agathe (petit transept nord) ainsi qu'un fragment incolore de cette dernière présentent une composition calcique (16 à 23 % en CaO et 4 à 8 % en K_2O), ce qui signifie qu'ils ont été fabriqués à partir de cendres de bois (tab. D.2-D.3 en annexe).

Pour le site de Paray-le-Monial, seuls les verres plaqués (rouge, vert et violet) ou ornés de grisailles « complexes » sont de composition calcique (17 à 21 % en CaO et 4 à 9 % en K₂O) (tab. D.4, en annexe). Rappelons que les grisailles complexes se développent après la fin du 13^e siècle et que les verres plaqués se généralisent au 15^e siècle [Perrot 1988 : 68].

On peut ainsi considérer que les verres à vitre verdâtres de la chapelle Saint-Martial appartiennent plutôt à son état gothique, ce qui nous donne pour *terminus post quem* le deuxième quart du 14^e siècle. La coloration verdâtre de ces verres est due à l'oxyde de fer ; la concentration moyenne en Fe₂O₃ est de 1,04 %.

Parmi l'ensemble des verres calciques, on distingue deux groupes principaux (fig. II.24) : un, pauvre en sodium (Na₂O < 1 %), composition qui caractérise les verres de l'est de la France, tandis que l'autre en contient plus de 1,5 %. On constate pour ce groupe une augmentation réciproque de la teneur en chlore, ce qui pourrait correspondre à l'ajout de sel (NaCl) des verriers normands pour une meilleure fusibilité du verre (voir p. 68).

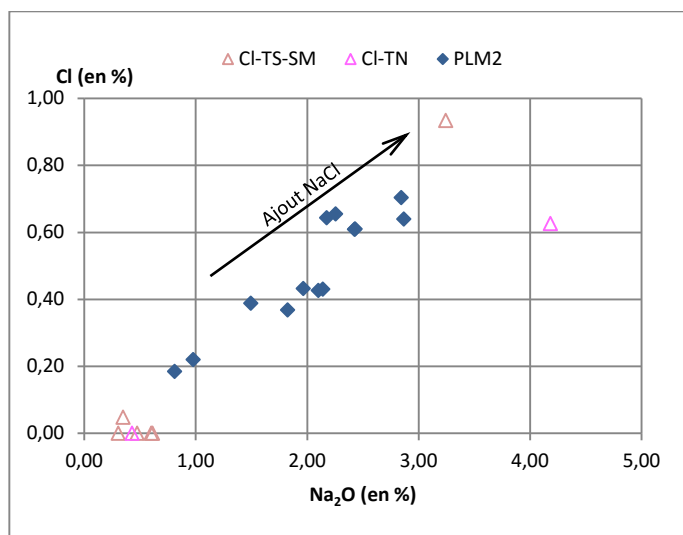


Figure II.24 – Graphique représentant la proportion soude/chlore des échantillons de verre calcique de Cluny et Paray-le-Monial. On constate un ajout de chlorure de sodium pour certains fragments.

Abréviations légende – Cl : Cluny, PLM2 : Paray-le-Monial - 2^{de} église, SM : chapelle Saint-Martial, TN : transept nord, TS : transept sud.

II.3.4.3. Verres potassiques de Cluny et Paray-le-Monial

Afin de comparer les compositions chimiques des 46 tessons¹ composant le groupe de verre potassique, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur les variables centrées et réduites relatives aux onze constituants suivants : Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Ba. Certains éléments ont été exclus (Fe, Mn, Co, Cu, Zn) en raison de leur rôle comme agent colorant.

La projection des données sur le plan factoriel (PC1, PC2) est illustrée dans la figure II.25.

Il apparaît que les deux sites ne sont pas distinctement séparés. On remarque également une importante dispersion des données au sein du site de Paray-le-Monial, pour les deux églises confondues. Cependant, deux groupes relativement homogènes se distinguent : les trois verres rouges analysés pour la chapelle Saint-Martial et l'ensemble des verres de la chapelle Jean de Bourbon – à l'exception du verre rouge (BDX 13370) et de l'un des verres violets (BDX 13378).

¹ Le nombre d'individu présenté est porté à 57 en raison des variations de couleur de certains échantillons ; chaque strate est analysée isolément.

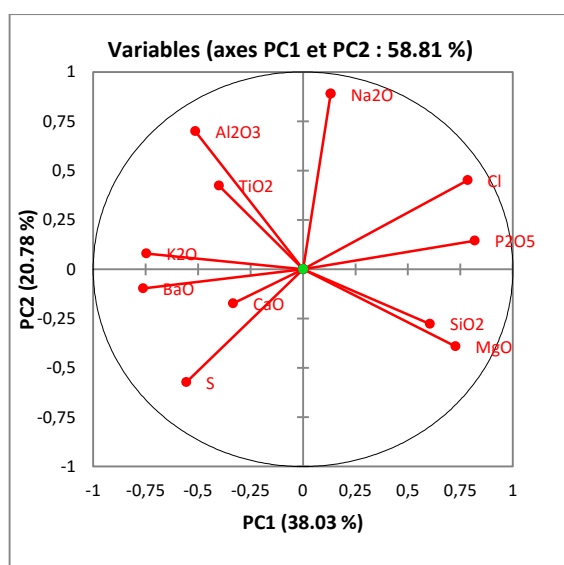
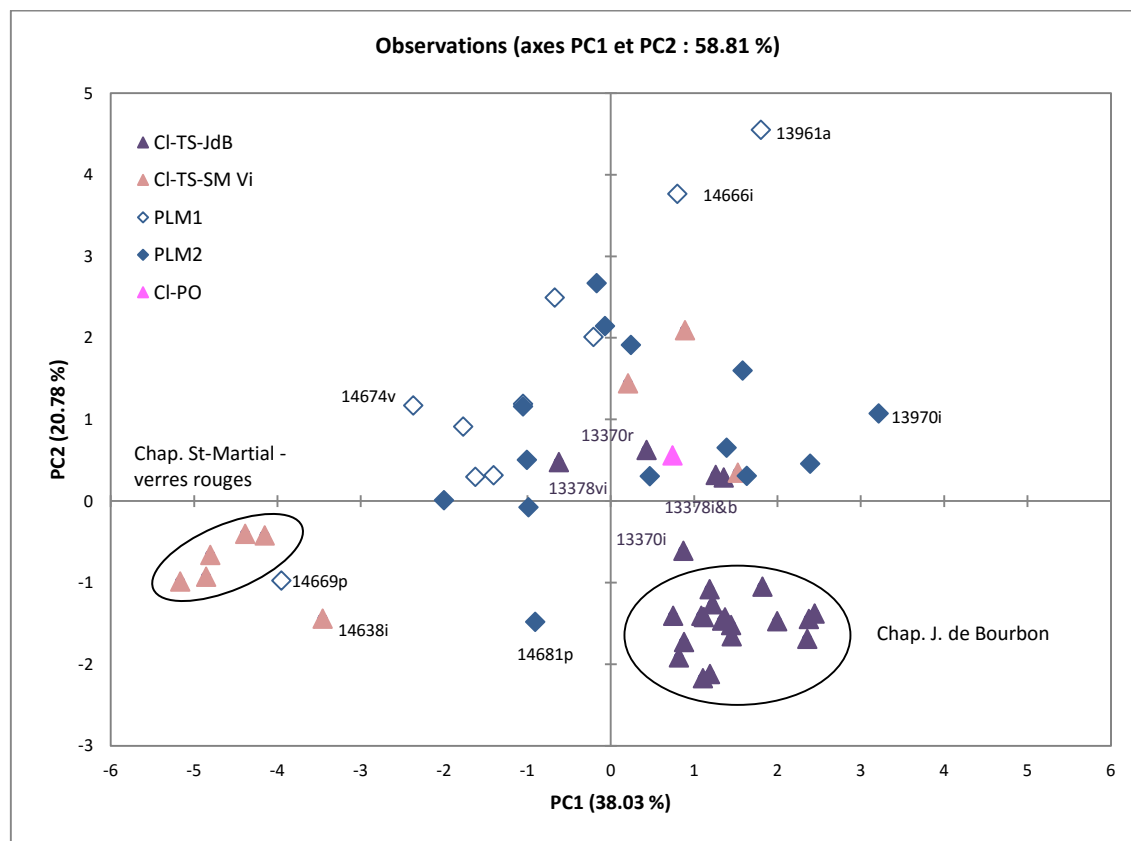


Figure II.25 – Analyse en composantes principales de la composition chimique des différents verres potassiques des sites de Cluny et Paray-le-Monial.

On remarque une dispersion des données pour le site de Paray-le-Monial. Deux groupes sont relativement homogènes pour le site de Cluny, les verres rouges de la chapelle Saint-Martial et les verres de la chapelle Jean de Bourbon.

Abréviations légende – Cl : Cluny, JdB : chap. Jean de Bourbon, PLM₂ : Paray-le-Monial - 2^{nde} église, PO : Portail occidental, SM : chapelle Saint-Martial, TS : transept sud, Vi : vitrail.

II.3.4.3.1. Vitraux de la chapelle Saint-Martial

Les verres rouges de la chapelle Saint-Martial (BDX 14639, 14640 et 14662 ; fig. II.13 p. 82) se caractérisent principalement par une forte teneur en potasse et une faible teneur en phosphore (fig. II.25-26). Leurs teneurs élémentaires en baryum et en soufre sont sensiblement plus élevées que pour les autres échantillons (fig. II.25 et tab. D.5-D.8, en annexe) et leur taux de magnésie est parmi les plus bas – teneur moyenne en MgO de 3,95 % – (fig. II.27).

Rappelons que les verres médiévaux français et anglais contiennent souvent des teneurs distinctives plus élevées en magnésium et phosphore que les productions germaniques en raison de l'utilisation privilégiée des cendres de fougères. Le magnésium est l'élément inorganique majeur de la chlorophylle² et le baryum et le soufre s'accumulent principalement dans le tronc des arbres [Wedepohl and Simon 2010 : 96].

Les verres rouges de la chapelle Saint-Martial semblent donc avoir été fabriqués avec une proportion plus importante de cendres de bois dans la combinaison de fondants cendres de fougères-cendres de bois. Ils tendent ainsi à se rapprocher des productions de type germanique (que l'on rencontre également dans l'Est de la France).

La composition du tesson de verre incolore BDX 14638 appartenant à la chapelle Saint-Martial est assez proche de celle des verres rouges. Parmi les verres de Paray-le-Monial, seul le verre pourpre-rose BDX 14669 appartenant à la première église romane se rapproche de ces caractéristiques. Ces verres proviennent-ils d'un atelier mettant en œuvre une technique de fabrication différente ?

² Bruce Velde a constaté qu'il existait une sorte de teneur limite en magnésie, de près de 4 % en poids, entre les productions françaises et germaniques [Lagabrielle and Velde 2005 : 341].

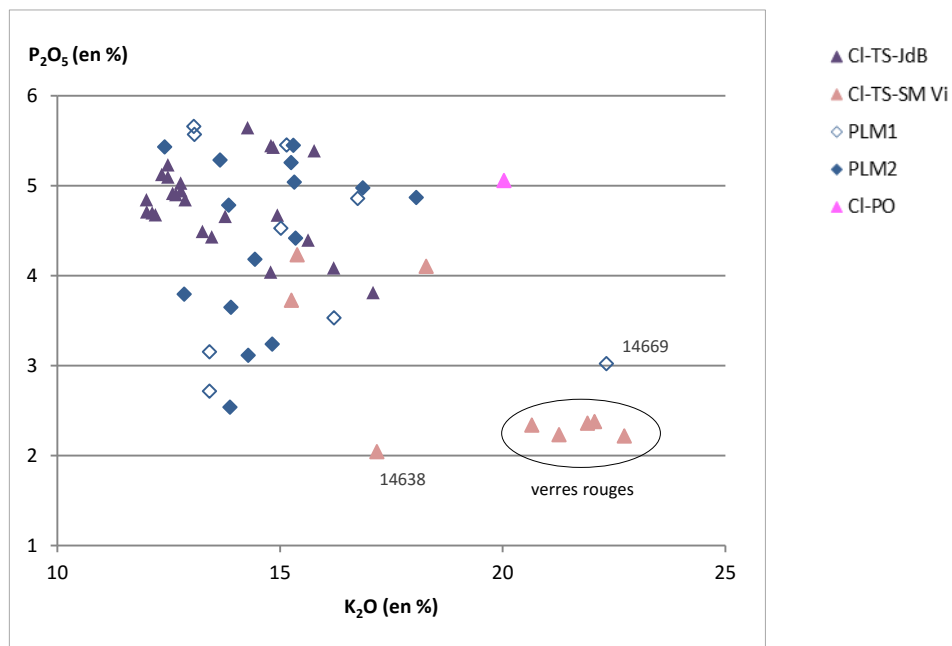


Figure II.26 – Graphique représentant la proportion potasse/phosphore des échantillons de verre potassique des sites de Cluny et Paray-le-Monial. Quelques fragments se caractérisent par une forte teneur en K_2O corrélée à une faible teneur en P_2O_5 .

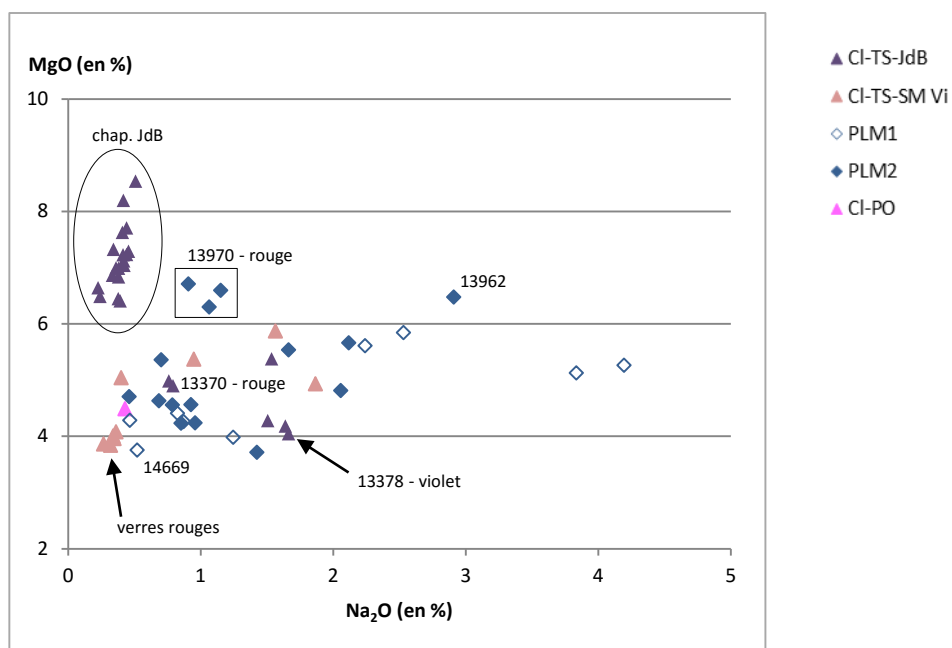


Figure II.27 – Graphique représentant la proportion soude/magnésie des échantillons de verre potassique des sites de Cluny et Paray-le-Monial. Quelques échantillons présentent des teneurs inférieures à 4 % en MgO , ce qui est souvent le cas des productions germaniques.

Abréviations légende – Cl : Cluny, PLM1 : Paray-le-Monial – 1^{ère} église, PLM2 : Paray-le-Monial – 2^{nde} église, PO : Portail occidental, SM : chapelle Saint-Martial, TS : transept sud, Vi : vitrail.

II.3.4.3.2. Vitraux de la chapelle Jean de Bourbon

Les observations techniques relatives aux vitraux de la chapelle Jean de Bourbon tendent à laisser penser qu'il s'agit d'un corpus gothique. Mais Conant ne s'étant attaché qu'à rechercher les fondations du premier oratoire roman lors de ses fouilles, nous pouvons nous interroger sur l'homogénéité de cet ensemble. Différents groupes de fragments pourraient-ils être associés aux différents états de la chapelle ?

Les dix-sept fragments analysés sont tous de composition potassique. L'analyse en composantes principales réalisée sur l'ensemble des verres potassiques des sites de Cluny et Paray-le-Monial nous indique que les verres de la chapelle Jean de Bourbon forment un groupe à l'intérieur de cette famille chimique. Ces verres constituent donc un corpus de composition homogène (fig II.25). Ils se caractérisent principalement par de fortes teneurs en silice et magnésie, $\text{MgO} > 6 \%$ (seuls deux autres fragments présentent un taux supérieur à 6 %, les verres incolore BDX 13962 et rouge BDX 13970 appartenant à la seconde église de Paray-le-Monial). On note également des teneurs plutôt élevées en phosphore et faibles en soude, $\text{Na}_2\text{O} \leq 0,5 \%$, (fig. II.25-27). Ces taux en phosphore et magnésie tendent à montrer l'utilisation exclusive de cendres de fougères.

Les fragments rouge BDX 13370 et violet BDX 13378, qui se distinguent de ce groupe de composition, se caractérisent par une teneur en soude légèrement supérieure ($\text{Na}_2\text{O} > 1,5 \%$ pour le verre violet) et une diminution des teneurs en oxydes de magnésium et de calcium (tab. D.6 en annexe ; fig. II.27).

La différence de composition du verre violet s'accompagne d'une technique de coloration distincte de celle observée pour l'ensemble des autres fragments violets analysés. Les éléments chromogènes utilisés sont les mêmes : le manganèse pour le violet et l'association cobalt-cuivre pour le bleu (voir p. 108-109). La différence s'observe au niveau de la stratigraphie des couches de verres. Si une succession de strates bleues et violettes leur confère leur teinte violette, celle du fragment BDX 13978 est obtenue par une succession de strates violettes, incolores et bleues (fig. II.28).

On peut donc s'interroger sur l'origine de deux fragments. Proviennent-ils d'ateliers différents, sont-ils d'une époque différente (restauration) ?

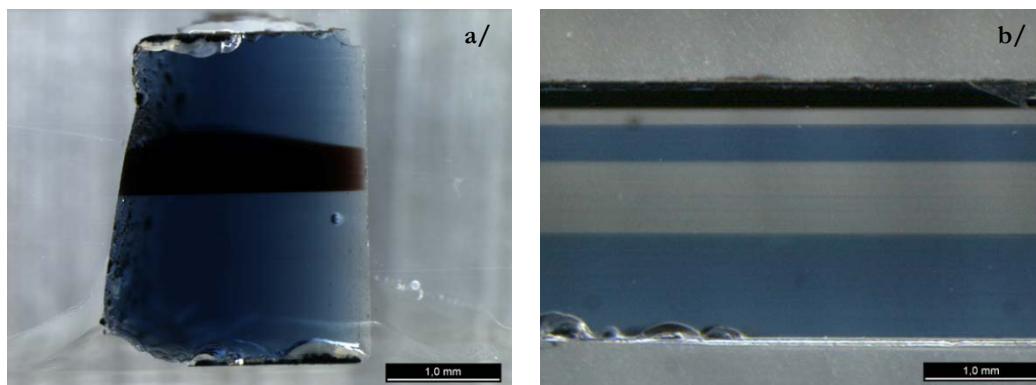


Figure II.28 – Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Image en microscopie optique des échantillons BDX 14664 (a/) et 13378 (b/) illustrant la technique différente employée pour le verre violet BDX 13378.

L'analyse de la peinture jaunâtre de certains fragments révèle la présence de chlorure d'argent (fig. II. 29) attestant l'utilisation de jaune d'argent qui permet de teinter le verre localement sans coupe ni mise en plombs supplémentaires. Cette coloration, qui peut varier du jaune pâle à l'orange foncé, tout en laissant sa transparence au verre, est obtenue par cémentation des ions argent qui pénètrent dans la couche superficielle du verre. Son utilisation ne remonte qu'à l'extrême fin du 13^e siècle, voire au tout début du 14^e siècle [Lautier 2000 : 105].

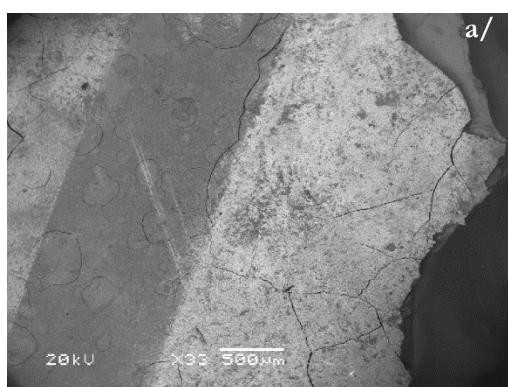


Figure II.29 – Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Image MEB de la surface d'un fragment peint en jaune (a/) et spectre EDS mettant en évidence la présence des éléments argent et chlore, caractéristiques du jaune d'argent (b/).

Les fragments mis au jour par Conant dans la chapelle Jean de Bourbon présente une composition potassique relativement homogène (à l'exception des verres rouge BDX 13370 et violet BDX 13378). Corrélé à la présence de jaune d'argent pour certains fragments, nous pouvons avancer une origine gothique pour ces vitraux.

II.3.3.2.3. Vitraux de Paray-le-Monial

L'analyse en composantes principales montrait une dispersion des données pour les deux églises confondues (fig. II.25). Si le fondant utilisé se compose principalement d'un mélange cendres de bois-cendres de fougères, quelques fragments divergent (fig. II.26-27 et tab. D.7-D.8 en annexe).

› Deux verres de la première église (BDX 14666 et 13961) présentent des teneurs en soude (Na_2O) supérieures à 3,5% et une augmentation réciproque de la teneur en chlore. Ces données suggèrent une adjonction de sel (NaCl) ou un choix préférentiel des matières premières, plus riches en sel.

› Le verre pourpre BDX 14669 (PLM1) s'apparente plutôt à une production de type germanique (cendres de bois) ; les taux en potasse, oxyde de baryum et soufre sont élevés, ceux en phosphore et magnésie faibles.

› Un autre fragment montre l'utilisation exclusive de cendres de fougères comme fondant, à l'instar des verres de la chapelle Jean de Bourbon. Il s'agit du verre rouge BDX 13970 (PLM2), riche en silice et magnésie et pauvre en phosphore et soude.

Nous avons constaté précédemment une corrélation entre composition chimique et techniques de coloration du verre et d'application des grisailles. Seuls les verres potassiques sont colorés dans la masse et/ou présentent des grisailles simples (totalité des verres de la première église et une partie des verres de la seconde église). Ils s'opposent aux verres plaqués ou ornés de grisailles « complexes », de composition calcique (tab. II.7). Rappelons que les verres plaqués se généralisent au 15^e siècle et que les grisailles complexes (lavis...) se développent après la fin du 13^e siècle [Perrot 1988 : 68].

Tableau II.7 – Paray-le-Monial. Corrélation entre composition chimique des verres et techniques de coloration et d'application des grisailles.

	Coloration dans la masse	Coloration par plaquage
Grisailles simples	PLM1 potassiques PLM2 potassiques	
Grisailles complexes (lavis...)		PLM2 calciques

Cette opposition entre verres potassiques et calciques du site de Paray-le-Monial est aussi perceptible dans les techniques de coloration des verres rouges et verts :

- Les verres verts potassiques sont colorés grâce aux éléments chromogènes cuivre ou fer. La coloration des verres calciques est due à l'oxyde de cuivre également, mais la présence d'oxyde de zinc indique vraisemblablement l'adjonction de laiton (alliage de cuivre et de zinc) comme source de cuivre.
- Les verres rouges potassiques sont feuilletés (technique utilisée jusqu'au 14^e siècle) alors que les calciques sont plaqués (apparition autour des 14^e-15^e siècles)³.

II.3.4.4. Verres colorés et grisailles – quelques observations et caractéristiques

Si l'intérêt pour la coloration des verres est manifeste, les verres bleus (leur composition constitue souvent un hapax au sein des autres verres médiévaux) et les verres rouges, pour leur complexité technologique, en conservent souvent l'apanage.

Or au sein de notre corpus, les verres violets et verts présentent quelques caractéristiques remarquables et illustrent également la richesse des possibilités techniques mises en œuvre par les verriers.

³ Ces datations sont données en fonction des observations de Martha Spitzer-Aronson et celles de Jerzy Kunicki-Goldfinger *et al.* dans leurs travaux sur les verres rouges médiévaux [Spitzer-Aronson 1974-89 ; Kunicki-Goldfinger *et al.* 2014].

Les verres bleus

Les verres bleus des sites de Cluny et Paray-le-Monial présentent une palette de teintes relativement riche (voir planches p. 82-83 et p. 85) due à diverses associations d'éléments chromogènes (cuivre, cobalt, fer et manganèse, cf. tab. II .8).

On ne distingue pas de combinaison spécifique d'éléments chromogènes en fonction du type de fondant ou d'un site en particulier. On peut cependant noter que le manganèse intervient uniquement pour les verres de la seconde église de Paray-le-Monial, et que l'association oxyde de cuivre – oxyde de cobalt est la plus représentée. L'ensemble des verres de la chapelle Jean de Bourbon (Cluny) appartient à ce groupe et en représente quatre-vingt pour cent ; exception faite du BDX 13957 où seul le cobalt a été détecté.

Le cobalt et le cuivre sont présents à des teneurs légèrement plus élevées pour les couches bleues des verres violets que pour la matrice des verres bleus (0,05 à 0,11 % en oxydes contre 0,02 à 0,04 %). De plus pour ces derniers, même si la différence est minime, les teneurs en oxyde de cuivre sont supérieures à celles en oxyde de cobalt. Ce constat s'inverse pour les couches bleues des verres violets, à l'exception du BDX 13378. Ce fragment se distingue déjà par sa composition (voir *supra*, p. 104) et sa technique de coloration (voir *infra*, p. 112).

Deux tessons de type potassique, un de la seconde église de Paray-le-Monial (BDX 13965) et un de la chapelle Saint-Martial de Cluny (BDX 14636), montrent la présence d'oxyde de zinc dans leur composition. Le zinc dénote la probable adjonction de laiton⁴ au mélange vitrifiable comme source de cuivre.

⁴ Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc. Bien que ce terme n'apparaisse qu'au 13^e siècle, le laiton est connu depuis l'époque Romaine. En témoigne un casque romain du 1^{er} siècle apr.J.-C. orné de décors en laiton [Perego 2005 : 443].

Tableau II.8 –Cluny et Paray-le-Monial. Tableau récapitulatif des verres bleus ou des couches bleues des verres violets (en grisé) permettant d'identifier les éléments chromogènes utilisés.

Fondant	Provenance	Bleu	BDX	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	PbO
Sodique (type natron)	PLM2	profond	13972	0,30	0,49		0,02		0,22
	Cl-TS	clair	14629	0,42	0,94		0,46		0,41
	Cl-SM	clair	14971	0,34	0,86	0,02	0,32		0,18
Sodique (mélange)	Cl-SM	moyen	14641	0,50	1,09	0,01	0,22		0,16
	PLM2	clair	14627	0,53	1,30	0,03	0,44		0,61
Calcique	PLM2	profond	13973	0,78	0,74	0,23			
		moyen	14626	1,12	1,15	0,12			
			14677	1,52	0,56	0,13			
Potassique	PLM2	moyen	14628	1,15	1,05	0,10	0,12		
		moyen	13965	0,40	0,82	0,03	0,06	0,05	
	Cl-SM	intense	14636	0,90	1,03	0,12	0,33	0,40	0,59
	Cl-JdB	moyen	13374	0,80	0,52	0,02	0,02		
		gris	13375	0,78	0,50	0,03	0,04		
		intense	13376	0,62	0,66	0,02	0,03		
		moyen	13957	0,43	0,49	0,03			
			13378	0,97	0,46	0,06	0,10		
			14663	0,99	0,78	0,11	0,07		
			14664	0,98	0,74	0,10	0,07		
			13377	0,96	0,73	0,08	0,05		
			14642	1,01	0,75	0,09	0,06		

Les verres rouges

Les travaux de Spitzer-Aronson sur les verres rouges médiévaux [1974, 1975] lui ont permis d'établir une classification chronologique en fonction de leur typologie :

- Les verres feuilletés dans toute leur épaisseur → du début de Moyen Âge jusqu'à l'aube du 13^e siècle.
- Les verres feuilletés partiellement avec support incolore → 13^e-14^e siècles.
- Les verres plaqués à couche rouge unique et homogène, enserrée entre un couvert et un support incolore → à partir du 15^e siècle.

Les travaux de Kuniki-Goldfinger *et al.* [2014], portant sur un corpus de 131 verres rouges médiévaux provenant de différents sites européens et couvrant une période allant du 12^e siècle à la fin du 16^e siècle, ont quelque peu modifié cette classification :

- Les verres feuilletés sont présents jusqu'au 14^e siècle. Il faut cependant tenir compte du fait qu'ils ne distinguent pas les verres feuilletés dans toute leur épaisseur de ceux feuilletés partiellement. De plus, les feuilletés du 14^e siècle concernent six échantillons (sur trente et un) dont la datation est incertaine.
- Les verres rouges plaqués apparaissent à la fin du 14^e siècle.

Les coupes stratigraphiques des verres rouges des sites de Cluny et Paray-le-Monial mettent en évidence les différents types observés par Spitzer-Aronson : des verres feuilletés dans toute leur épaisseur, d'autres partiellement et des verres plaqués (avec support et couvert incolores) (fig. II.30 et tab. II.9).

Kunicki-Goldfinger *et al.* [2014] distinguent deux sous-groupes parmi les verres rouges plaqués selon la présence ou l'absence d'un couvert incolore, dont l'absence pourrait être due à l'altération superficielle du verre. Nos deux échantillons rouges présentent un couvert incolore, de même que les verres plaqués verts et violets de Paray-le-Monial.

Ces différentes observations permettent d'affiner la datation des verres en partie feuilletés, vraisemblablement antérieurs au 14^e siècle.

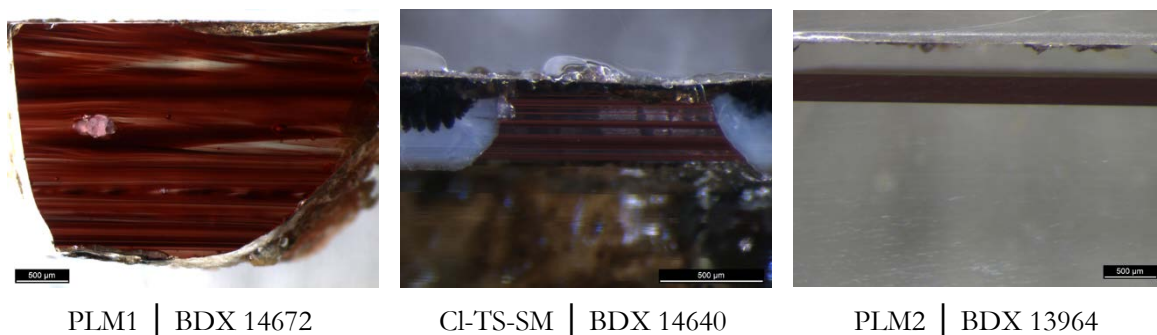


Figure 30 : Cluny et Paray-le-Monial. Images en microscopie optique des échantillons BDX 14672, 14640 et 13964 illustrant les différentes techniques utilisées pour la coloration des verres rouges.

Tableau 9 : Cluny et Paray-le-Monial. Tableau récapitulatif des différents types de verres rouges observés.

Fondant	Provenance	Feuilleté	Feuilleté partiel	Plaqué
Calcique	PLM2			BDX 13964
Potassique	Cl-TS-JdB			BDX 13370
	Cl-TS-SM		BDX 14639, 14640 et 14662	
	PLM2		BDX 13970	
	PLM1	BDX 14672		

Les verres verts

Nous pouvons observer pour ces derniers, que les verres potassiques sont uniquement colorés dans la masse soit par l'adjonction de cuivre, soit par celle du fer, pour les deux églises confondues.

Quant aux verres calciques, représentés par deux tessons du site de Paray-le-Monial, ils sont colorés par plaquage sur un substrat blanc d'une couche verte dont la coloration est due à la présence de cuivre. La présence d'oxyde de zinc met vraisemblablement en évidence l'incorporation de laiton (alliage de cuivre et de zinc) au mélange vitrifiable comme source de cuivre (tab. II.10).

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des verres verts ou des couches vertes permettant d'identifier les éléments chromogènes utilisés.

Fondant	Provenance	BDX	Coloration	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO
Potassique	PLM1	14670	Masse	1,18	0,94	1,90	
		14673		1,03	2,84		
	PLM2	14674		1,27	1,88		
	PLM2	14680		1,14	0,94	2,20	
Calcique	PLM2	14678	Plaqué	0,57	0,60	4,16	1,47
		14679		0,54	0,58	4,40	1,58

Les verres violets

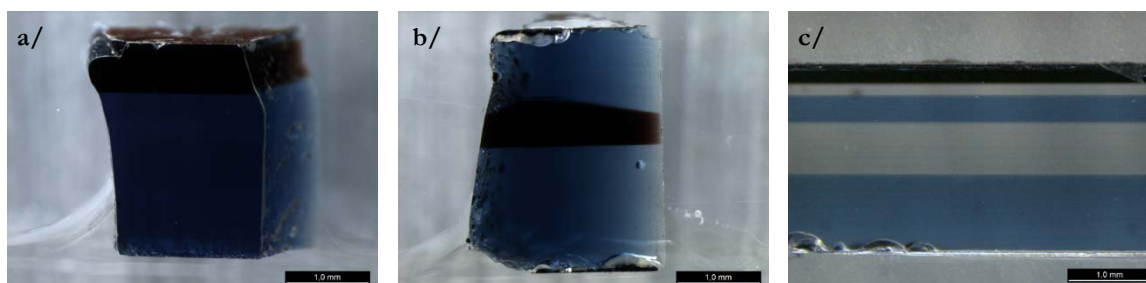
Parmi les verres violets analysés, trois « groupes » se distinguent par leurs techniques de coloration et par leurs compositions.

Le tesson BDX 14677, appartenant à la seconde église de Paray-le-Monial, est de composition calcique et sa coloration est obtenue par plaquage d'une couche violet sombre sur un substrat bleu (fig. II.31a).

Les verres de la chapelle Jean de Bourbon (Cluny) sont de composition potassique et leur teinte violette est obtenue par une couche violet sombre enserrée entre deux couches bleues (fig. II.31b).

Un seul fragment fait exception, le BDX 13378. Il se différencie par sa composition (fig. II.32) et sa teinte, plus claire, tient à la strate violet sombre, plus fine, recouvrant un support alternant couches bleues et incolores d'épaisseurs croissantes (fig. II.31c).

Quels que soient les échantillons, la coloration violet sombre est due à l'oxyde manganèse (fig. II.32 et annexe D).



BDX 14677 | PLM2

BDX 14664 | Cl-TS-JdB

BDX 13378 | Cl-TS-JdB

Figure 31 : Cluny et Paray-le-Monial, verres violets. Images en microscopie optique des échantillons BDX 13378, 14664 et 14677 illustrant les différentes techniques utilisées pour la coloration des verres violets.

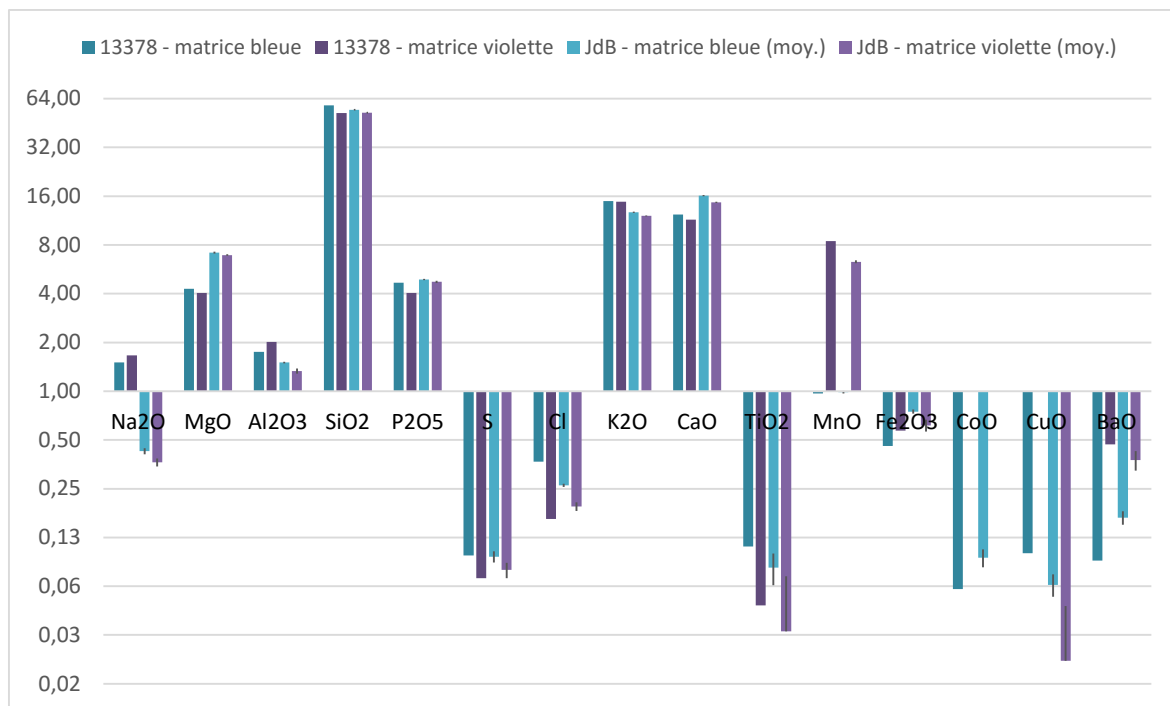


Figure 32 : Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Histogramme de la composition élémentaire des verres violets. Le tesson BDX 13378 se différencie des autres verres.

Les compositions élémentaires sont exprimées en % d'oxydes. Le graphique est présenté selon une échelle logarithmique de base 2 afin de pouvoir visualiser les faibles teneurs.

Les grisailles

La grisaille est une peinture vitrifiable utilisée pour les détails et les ombres des vitraux. Généralement brunâtre ou noire, elle résulte du mélange et du broyage d'un fondant obtenu à partir d'un verre, le plus souvent au plomb, et d'oxydes métalliques destinés à colorer le mélange. Elle est appliquée sur le verre à l'aide d'un véhicule (eau, vinaigre, essence, urine...) dont la concentration influe sur l'opacité du mélange. Enfin, une cuisson aux environs de 600°C permet de faire adhérer la grisaille au verre.

L'épaisseur des grisailles des sites de Cluny et Paray-le-Monial varie de quelques μm (glacis) à environ 80 μm (fig. II.33). Elles sont constituées d'une phase fondante et de grains de minéraux colorés en noir et/ou en rouge.

D'une manière générale, en imagerie MEB, les phases blanches correspondent au fondant contenant de l'oxyde de plomb et de la silice, les gris clair à un pigment avec

oxyde(s) métallique(s), les gris sombre à des grains de silice et les phases noires aux porosités de la matière (cavités) (fig. II.33).

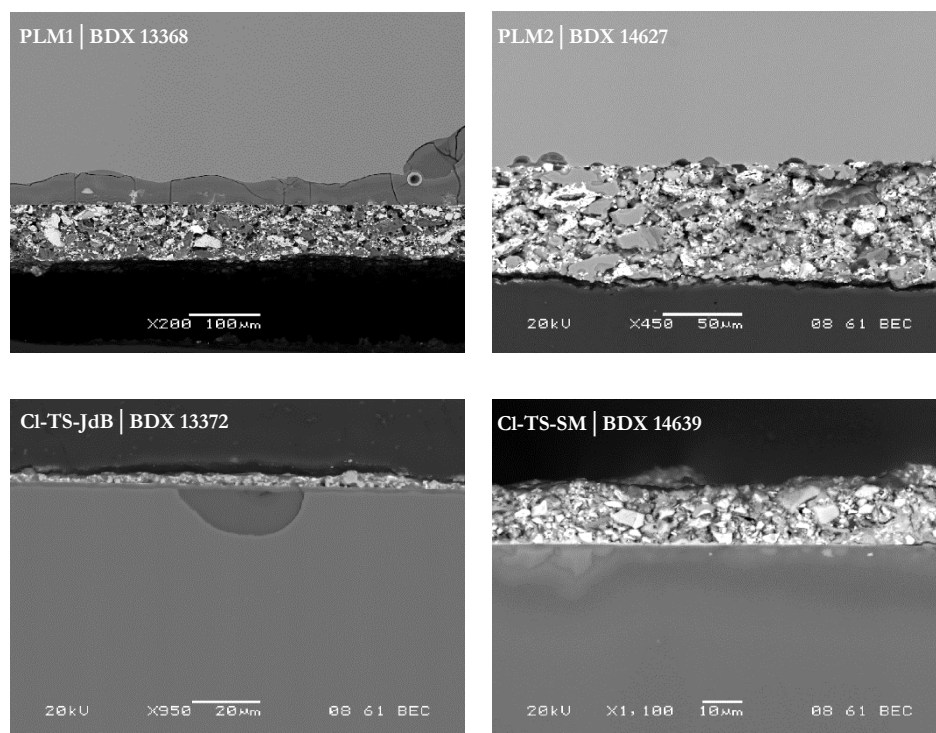


Figure 33 : Cluny et Paray-le-Monial. Image MEB de différents décors de grisailles appliqués en couches plus ou moins épaisses (de quelques μm pour le BDX 13372 à 75 μm pour le BDX 14627). On peut noter l'hétérogénéité de ce matériau ; les phases blanches correspondent au fondant contenant de l'oxyde de plomb et de la silice, les gris clair à un pigment avec oxyde métallique, les gris sombre à des grains de silice et les phases noires aux porosités de la matière.

Les matières colorantes identifiées sont l'oxyde de fer variant de 11,61 à 56,14 % et l'oxyde de cuivre variant de 0,14 à 22,26 %. Dans quelques cas, seul l'oxyde de fer est présent (voir tab. D.9, en annexe).

La chapelle Jean de Bourbon présente plusieurs fragments peints d'une grisaille rouge vif dont l'analyse par micro-spectrométrie Raman a révélé la présence d'hématite (fig. II.34). L'hématite (Fe_2O_3) est la forme classique de l'oxyde de fer trouvé dans les grisailles rouges. Elle peut provenir directement de la palette du peintre verrier, mais sa

présence peut aussi être due à l'oxydation de la magnétite (Fe_3O_4) qui s'effectue autour de 400°C – température largement atteinte lors de la cuisson des grisailles [Bouchard-Abouchacra 2001 : 263].

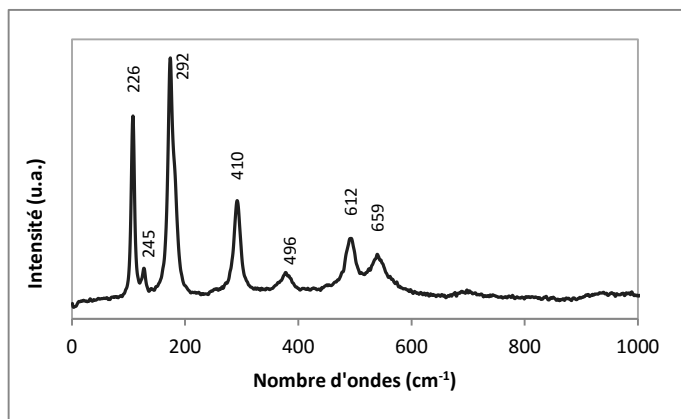


Figure 34 : Cluny, chap. Jean de Bourbon. Spectre Raman obtenu pour la grisaille rouge du fragment de verre incolore BDX 13371. Les raies sont caractéristiques de l'hématite [Bikiaris et al. 2000].

Trois fragments du site de Cluny (BDX 13372, 14663 et 14638) comportent de l'oxyde de cobalt en concentration inférieure à 0,5 %. La présence du cobalt pourrait être en relation avec les ajouts de verre bleu mentionnés dans les traités médiévaux. Par exemple, Théophile (12^e siècle – Livre II, Chapitre 19) propose un tiers de cuivre mince battu, brûlé et réduit en poudre, un tiers de parcelles de verre vert et un tiers de saphir grec. Chez Héraclius (12^e-13^e siècle – Livre III, VIII [271] et XLIX [272]), la grisaille se composait de verre vert – obtenu à partir de silice, de plomb et de limaille de laiton –, de scories de fer et d'un peu de saphir. Si Théophile et Héraclius ne précisent pas la nature du « saphir », il y a tout lieu de subodorer qu'il s'agisse de verre bleu [Verità 1996 : 61].

Deux fragments de la chapelle Saint-Martial (BDX 14638 et 14639) et un fragment de la 1^{ère} église de Paray-le-Monial (BDX 14668) présentent des teneurs en oxyde d'étain variant entre 1,07 et 3,52 %. Cela pourrait indiquer l'utilisation de *paternostri* (perles de verre jaune de production vénitienne) ou d'émail/verre jaune à base de stannate de plomb indiqué comme alternative au verre au plomb dans le texte d'Antoine de Pise, peintre verrier, rédigé à la fin du 14^e siècle ou au tout début du 15^e siècle. Le jaune de

plomb-étain est connu depuis longtemps pour colorer en jaune opaque les émaux et les verres. Il a particulièrement été employé à l'époque romaine.

La grande hétérogénéité des grisailles, visible en imagerie MEB (fig. II.33) et par les écarts-types parfois importants des compositions moyennes (cf. tab.D.8, en annexe), semble incompatible avec la recherche de la « main » du peintre verrier (recette particulière).

II.4. BILAN SUR LES VERRES ARCHÉOLOGIQUES DE CLUNY ET PARAY-LE-MONIAL

Les tessons de verre mis au jour lors des fouilles archéologiques du site de Paray-le-Monial permettent d'attester la présence de verrières colorées et figuratives (inscription, barbe de personnage) pour la première église du 11^e siècle et la seconde église achevée au début 13^e siècle). En ce qui concerne l'abbatiale Cluny III, si les sources historiques évoquent des vitraux, il n'est pas possible d'affirmer catégoriquement la présence de verrières colorées, peintes et/ou figuratives pour l'édifice roman en raison de l'altération trop prononcée des fragments mis au jour. Les tessons postérieurs au chantier de Cluny III proviennent de contextes de destruction de l'abbatiale et ne permettent pas de datation précise. Cependant, à l'instar de Paray-le-Monial et compte-tenu du soin apporté aux décors du sanctuaire (chancel et chapiteaux du rond-point polychromés, pavement polychrome, décor peint de l'abside centrale), il est fort probable que les verrières du chœur fussent historiées. Mais l'abbatiale ne devait pas être entièrement parée de verrières colorées et/ou peintes. Certaines parties de l'édifice pouvaient être fermées par des vitres ou des verrières de teinte neutre (variations naturelles du verre) et sans décor peint. Des compositions aux motifs géométriques simples en verre de couleur ne sont pas non plus à exclure. En effet, le grand transept sud, dont le décor mural semble se limiter à un enduit badigeonné de blanc [Baud 2003 : 126], conserve en partie haute deux arcatures aveugles ornées de verrières en trompe-l'œil (voir p. 73-74). Le même procédé semble avoir été mis en pratique à Paray-le-Monial où des fragments d'enduits peints au

décor composé de résilles noires sur fonds or, verts, bleus, ou roses ont été mis au jour pour la seconde église [Rollier 2009 : 107].

Certains détails concernant les grisailles (techniques, motifs tels que le filet perlé ou la cage à mouche...), la couleur des verres (le violet, par exemple, qui n'apparaît que vers le 15^e siècle), ou leur technique de coloration (les verres plaqués ne se vulgarisent qu'au 15^e siècle) nous fournissent des indications typo-chronologiques. Quant aux analyses physico-chimiques, elles nous ont également permis d'affiner la datation de certains fragments et nous ont apporté de nombreux détails techniques.

Les éléments de verrerie mis au jour dans des unités stratigraphiques des 10^e-11^e siècles du transept sud de Cluny III ont révélé des compositions de type antique (natron). Seul un fragment de verre bleu de la seconde église de Paray-le-Monial présente une telle composition, qui est fréquente pour les verres bleus médiévaux, en particulier ceux du 12^e siècle. Étant donné qu'aucun verre bleu n'a été retrouvé pour la première église de Paray, on peut se demander si l'ensemble des verres bleus de la première église de Paray n'ont pas été réutilisés pour la seconde église ; d'autant plus qu'un verre bleu sodique dit « de mélange » (mélange de verre sodique et de verre potassique) a été mis au jour pour la seconde église.

La composition singulière des verres sodiques incolores et transparents de l'US LP-05 (lit de pose du sol de l'abbatiale Cluny III), similaire à celle de verres mis au jour dans le lit de pose du pavage 18^e siècle (US LP-08), indique une possible perturbation des couches archéologiques.

Les fragments mis au jour dans la chapelle Saint-Martial peuvent être scindés en deux groupes. Des éléments de vitraux, peints et colorés, et des éléments de vitre verdâtres. Ces deux groupes se différencient par le fondant employé, potassique pour les tessons de vitraux et calcique pour le verre à vitre. Parmi les éléments de vitraux, on note la présence de verres sodiques incolores de mélanges. Une telle composition a été identifiée à Autun (Bourgogne) dans le cas de verres à vitre archéologiques incolores datés d'avant le 9^e siècle et de vitraux bleus datés du 12^e siècle, [Velde 2009 : 23-5]. Quant aux verres

rouges, ils sont feuilletés partiellement et sont donc vraisemblablement antérieurs au 14^e siècle. De plus, les motifs des grisailles sont relativement simples, et la peinture épaisse. La chapelle Saint-Martial datant du deuxième quart du 14^e siècle, ces vitraux pourraient avoir orné le premier oratoire roman (tab. II.11).

En revanche, la chapelle Jean de Bourbon du petit transept sud de Cluny III présente un corpus à la composition potassique (cendres de fougères) relativement homogène. Le style des grisailles, la présence de jaune d'argent et de verres plaqués (rouge et violet) attestent d'un corpus gothique et confèrent à ces verres la deuxième moitié du 15^e siècle (date de construction de la chapelle) pour *terminus post quem* (tab. II.11).

À l'instar de la chapelle Saint-Martial, deux groupes de composition ont été mis en évidence pour les fragments de la seconde église de Paray-le-Monial. Des verres potassiques, vraisemblablement antérieurs au 14^e siècle, et des verres calciques, probablement postérieurs au 14^e siècle (tab. II.11). Les verres verts calciques de Paray présentent une particularité. La présence conjointe d'oxydes de cuivre et de zinc dénote la probable utilisation de laiton comme source de cuivre pour leur donner leur coloration.

On note souvent parmi les corpus relativement homogènes quelques exceptions pouvant illustrer des productions d'ateliers différents. On peut citer notamment les verres présentant une adjonction de chlorure de sodium (pour une meilleure fusibilité), le fragment BDX 13378 de la chapelle Jean de Bourbon à la technique et à la composition différente des autres verres violets de cette chapelle.

Nous avons également mis en évidence pour les verres potassiques des recettes différentes : l'utilisation exclusive des cendres de fougères (principalement les verres de la chapelle Jean de Bourbon) et l'utilisation mixte des cendres de fougères et des cendres de bois – avec un ratio variable (chapelle Saint-Martial et Paray-le-Monial).

Quoi qu'il en soit, ces différences de composition et de technique illustrent la complexité des provenances pour un même type de produit au Moyen Âge.

Tableau II.11 : Cluny et Paray-le-Monial. Tableau récapitulatif des observations et des données techniques obtenues à partir des analyses physico-chimiques pour une proposition de datation.

PARAY-LE-MONIAL				CLUNY – TRANSEPT SUD			
	1 ^{ère} église	2 ^{ème} église		Chapelle J.de Bourbon	Chapelle St-Martial		
	Vitrail	Vitrail		Vitrail	Vitrail	Vitre	Vitre
Peinture	grisaille épaisse motifs : filet perlé (typique 12 ^e s.)	grisaille épaisse motifs : filet perlé (typique 12 ^e s.), « cage à mouche » (typique 13 ^e s.)	superposition, lavis motifs complexes grisaille sur les deux faces	superposition dessins complexes grisaille sur les deux faces jaune d'argent (à partir fin 13 ^e -début 14 ^e s.)	grisaille épaisse	-	-
Fondant	potassique	potassique	calcique	potassique	potassique	calcique	sodique
Coloration	masse	masse	masse et plaqué	masse et plaqué	masse	-	-
Rouge (technique)	feuilleté (jusqu'au 13 ^e s.)	feuilleté partiel (13 ^e -14 ^e s.)	plaqué (à partir de la fin 14 ^e s.)		feuilleté partiel (13 ^e -14 ^e s.)	-	-
Vert (chromogène)	cuivre ou fer	cuivre ou fer	cuivre (laiton)	-	-	-	-
Violet	-	-	vulgarisation au 15 ^e s.		-	-	-
TPQ	11 ^e s.	12 ^e -13 ^e s.	fin 14 ^e s.	2 ^e moitié 15 ^e s.	11 ^e -12 ^e s.	2 ^e quart 14 ^e s.	18 ^e s.
TAQ	12 ^e -13 ^e s.	14 ^e s.	17 ^e -18 ^e s.	19 ^e s.	2 ^e quart 14 ^e s.	19 ^e s.	19 ^e s.
					chap. romane	chap. gothique	

Abréviations légende : TPQ : terminus post quem, TAQ : terminus ante quem. Pour les datations relatives aux grisailles, voir Perrot [1988] et Balcon-Berry [2009]. Pour celles des verres rouges, voir les travaux de Spitzer-Aronson [1974 et 1975] et Kunicki-Goldfinger et al. [2014].

Chapitre III

LES POLYCHROMIES DES FRAGMENTS LAPIDAIRES

DU GRAND PORTAIL

« Il n'est pas de perte que les historiens de l'art sentent plus vivement
aujourd'hui ; [...] » Émile Mâle, 1922 [386]

III.1. LE GRAND PORTAIL, ENTRE TANGIBILITÉ ET SPÉCULATIONS

La destruction de la troisième église abbatiale de Cluny, qualifiée de « crime inexpiable » par Louis Réau dans son *Histoire du vandalisme* [Réau 1959 : 586]¹, entraîna, le 8 mai 1810, l'explosion de sa façade romane. Philibert Bouché de la Bertillière, historien local et témoin de la lente disparition de Cluny III jusqu'à sa mort en 1818, rapporte dans ses histoires manuscrites la manière dont on l'a minée et jetée bas : « Le 8 mai, à six heures du soir, après neuf journées de minage, la façade occidentale de la grande nef tombe en ruines, le portail et la chapelle Saint-Michel inclus, entraînant dans leur chute les voûtes des deux travées orientales de l'avant-nef. » [Bouché de la Bertillière, t. II : 136-7].

¹ L'*Histoire du vandalisme* de L. Réau traite de la destruction des monuments du patrimoine français. Il y dénonce les « crimes de lèse-beauté qui sont aussi des crimes de lèse-patrie » dans l'espoir de susciter auprès des nouvelles générations l'horreur de toute forme de vandalisme...

Les ruines du grand portail furent alors plongées dans l'oubli². Et même si sa place centrale dans l'art roman était reconnue, notamment par les historiens de l'art Émile Mâle et Arthur Kingsley Porter au début des années 20 [Marquardt 2008 : 214-5], il fallut attendre les travaux de l'architecte et historien de l'architecture américain Kenneth John Conant, élève de A.K. Porter, pour ouvrir de nouvelles perspectives sur cette œuvre supposée disparue³. Avec sa collaboratrice Helen Kleinschmidt, il consacra plusieurs années à la restitution du grand portail, qui malgré les centaines de fragments mis au jour, demeure un puzzle archéologique extrêmement lacunaire.

III.1.1. DATATION DU PORTAIL

La datation du portail roman de Cluny fit l'objet d'une querelle d'historiens de l'art visant à déterminer lequel des portails de Moissac, principale dépendance clunisienne dans le Sud-Ouest, ou de Cluny était antérieur. Selon É. Mâle, qui place la réalisation de ce dernier peu avant 1130, date à laquelle le pape Innocent II consacra l'abbatiale, il s'agit de répondre à la question « des origines de la sculpture en Bourgogne » [Mâle 1922 : 384-6].

Aux yeux de K.J. Conant, le portail roman de Cluny ne pouvait être que *fons et origo* des autres grands tympans du 12^e siècle et place sa réalisation vers 1108-1112 [Conant 1968 : 101].

Il est difficile de savoir précisément à quel moment fût édifié le portail ou sa sculpture réalisée. Neil Stratford, historien de l'art médiéval anglais, apporte des éléments de réponse en s'appuyant sur la comparaison de la sculpture des fragments lapidaires du portail et ceux du tombeau de saint-Hugues, stylistiquement très proche.

En 1120, le pape Calixte II, de passage à Cluny, canonise l'abbé Hugues de Semur (1049-1109). Pour N. Stratford, à cette date, le monument funéraire d'Hugues devait

² Notons qu'à l'ouverture du musée municipal de la ville de Cluny (musée Ochier) en 1866, aucun fragment de la façade romane n'est présenté.

³ Nous pouvons mesurer cette idée à travers les propos d'É. Mâle dans son *Art religieux du XII^e siècle en France* : « S'il subsistait une seule figure du portail de Cluny [...]. Malheureusement tout a été détruit. » [Mâle 1922 : 388].

être en place, à savoir derrière l'autel matutinal de Cluny III [Mabillon 1724]. Aussi place-t-il la sculpture du portail roman aux alentours de cette date [Stratford 2012 : 17].

III.1.2. SOURCES DOCUMENTAIRES ET ICONOGRAPHIQUES

Le grand portail est connu des historiens de l'art – nous pouvons citer Jean Virey [1891], Émile Mâle [1922], ou encore Arthur Kingsley Porter [1923] – par de rares sources écrites et iconographiques. Les premières descriptions de l'abbaye de Cluny datent de la fin du 17^e siècle et du début du 18^e siècle. Dom Jean Manillon, lors de son passage à Cluny en 1682, ne fait que relever le « *vestibulum ad ad majorem basilicae partem deducens* (le vestibule conduisant au grand portail de l'église) » [Stratford 2007 : 1785 ; Berné 2012 : 15]. Puis le récit des deux mauristes dom Martène et dom Durand ainsi que celui du sieur de Moléon ont avant tout un objet liturgique [Martène et Durand 1717 : I/227-30 ; Le sieur de Moléon : 1718 : 148]. Il faudra attendre Benoît Dumolin, médecin clunisois, pour une première description architecturale de l'abbaye, et plus particulièrement de son église. Il rédigea en 1749⁴ une description du portail, qui s'avère être la plus détaillée. Il le dépeint de manière très précise du point de vue architectonique mais reste vague quant à son iconographie [Dumolin 1749 : 34-9]. Son texte est repris par le compilateur clunisois Philibert Bouché de la Bertillière [1815-17] puis par l'archéologue Alexandre Lenoir qui visita Cluny en 1800 [Lenoir 1840 : 24 et pl. XIX].

Le plus ancien document graphique est un dessin au lavis exécuté entre 1773 et 1780 par le peintre dijonnais Jean-Baptiste Lallemand (fig. III.1). Si les élévations de l'avant-nef sont représentées avec précision, le portail se révèle n'être qu'esquissé ; on devine cependant le Christ en Majesté ceint de sa mandorle. D'autres représentations, postérieures à la destruction du portail et exécutées d'après des dessins perdus, telle la gravure d'après Jean-François Garnerey (fig. III.2), sont si simplifiées, et accusent une telle maladresse qu'elles sont difficilement exploitables⁵.

⁴ « Au mois de février 1749, je vis en entrant dans l'église trois jeunes prêtres laïcs [...] » [Dumolin 1749].

⁵ Pour un inventaire exhaustif des sources iconographiques et documentaires, voir Conant [1968 : 15-48], Stratford [2011 : 75-108] et Berné [2012 : 15].

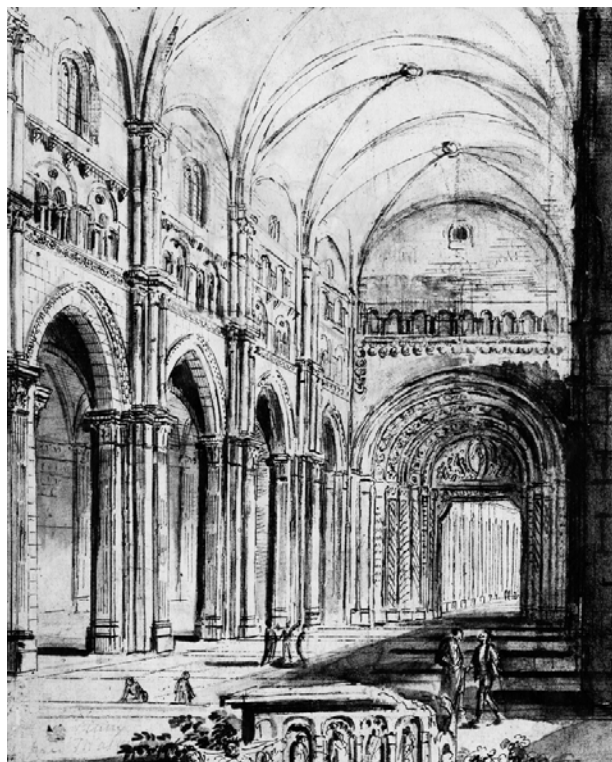


Figure III.1 – Cluny, grand portail. Vue intérieure de l'avant-nef prise vers le grand portail, J.-B. Lallemand, dessin au lavis réalisé vers 1773-1780, Paris, Bibl. nat., Est., Coll. Destailleur, t. 11, fol. 197. © BnF

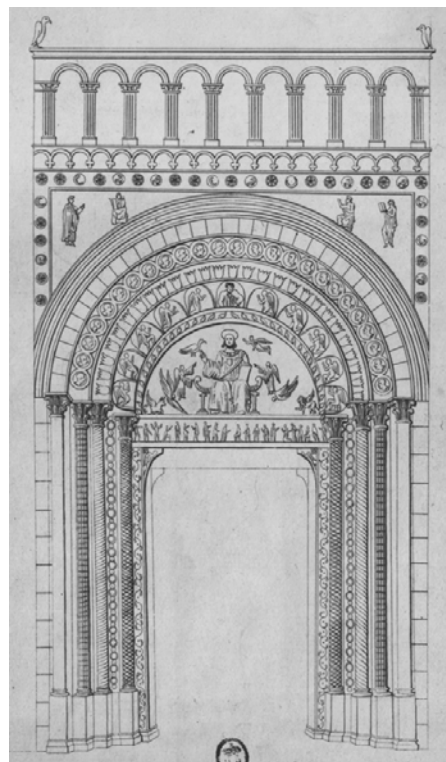


Figure III.2 – Cluny, grand portail. Gravure sur cuivre (dépôt légal 1818) faite d'après un dessin perdu de J.-F. Garnerey, Paris, Bibl. nat., Est., Coll. Destailleur, t. 11, fol. 193. © BnF

III.1.3. *DISJECTA MEMBRA*

Les fragments du portail proviennent en grande majorité des campagnes de fouilles menées par K.J. Conant puis par l'archéologue Gilles Rollier. Quelques fragments ont été découverts en remploi dans les maçonneries de l'enceinte de l'abbaye et des maisons de la ville. Ces remplois, disséminés par le biais du commerce d'antiquités, se trouvent aujourd'hui dans des collections particulières ou des musées tels l'aigle de saint Jean acquis par le musée du Louvre en 1930 ou le saint Pierre conservé depuis 1920 au *RISD Museum* de Providence aux États-Unis [Stratford 2012 : 25; Tokita-Darling 2012 : 19]⁶.

⁶ Pour un inventaire plus précis des fragments appartenant aux collections privées et publiques voir Salvègue 2002 et 2005, et Stratford 2012.

En 1928, K.J. Conant débuta les fouilles de l'abbatiale à proximité des portails de l'avant-nef et de la nef. Il s'attacha à rassembler les fragments du grand portail en vue de sa restitution, à laquelle collabora H. Kleinschmidt (fig. III.3). L'examen des fragments, confronté aux différentes sources documentaires, leur permis de proposer différentes hypothèses tant pour la restitution⁷ que pour l'iconographie du portail, que B. Dumolin n'avait pas précisé.

Les fouilles de 1988-89 menées par G. Rollier dégagèrent les remblais de destruction et de comblement de la nef centrale et d'une partie du bas-côté sud de l'avant-nef – où K.J. Conant n'avait jamais fouillé. Près de 6 000 fragments, appartenant essentiellement à l'architecture et la sculpture de la façade romane et de l'avant-nef, ont été mis au jour ainsi que l'assise supérieure des fondations du grand portail [Rollier 1990, 1996 et 2012]. Cela constitue un complément important au fonds Conant.

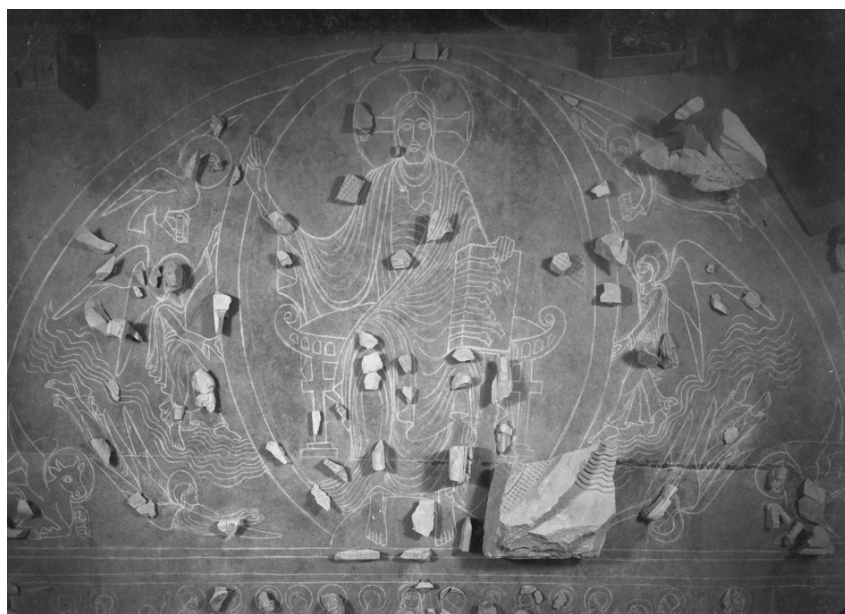


Figure III.3 – Cluny, grand portail. Photographie d'une première phase de restitution du tympan à partir des fragments lapidaires mis au jour. © Conant – Musée d'art et d'archéologie de la ville de Cluny – CEC

⁷ Son dernier essai de restitution se trouve dans Conant 1977.

III.1.4. ÉTUDES RÉCENTES

Le point d'orgue des commémorations du 1 100^e anniversaire de la fondation de l'abbaye (11 septembre 910) fut la projection sur écran géant, dans le parc de l'abbaye, d'un nouveau film de simulation en image de synthèse. Fruit de deux ans de travail de l'équipe du projet Gunzo (maquette numérique) et de la société *on-situ* (réalisation du film), « *Maior ecclesia*, antichambre du ciel » offre une déambulation virtuelle dans l'église Cluny III dont les décors ont, cette fois-ci, été restitués⁸.

Dans le cadre de ce projet, le grand portail a fait l'objet d'une attention particulière et notamment sa polychromie (voir § III.2 ; Castandet et Rollier-Hanselmann 2012 et 2013).

Un travail liminaire, mené sous la direction de Juliette Rollier-Hanselmann⁹ et avec la collaboration de Sybille Gorsse¹⁰, débuta en février 2009 et consista à rassembler, trier et confronter les fragments du portail conservés dans les réserves du musée d'art et d'archéologie de Cluny. Plusieurs mois nous furent nécessaires en raison du nombre important de fragments issus des fonds Conant et Rollier¹¹.

Nous avons dans un premier temps travaillé dans les réserves du musée d'art et d'archéologie de Cluny, situées dans la tour Baraban nord et les anciennes prisons de l'abbaye (fig. 4a). Mais le manque d'espace ne nous permettait pas d'avoir une vision d'ensemble des fragments. Un espace du musée, situé dans l'ancien palais abbatial Jean de Bourbon, nous fut alors alloué (fig. 4b) et permit de rendre notre travail visible du public muséal. De meilleures conditions lumineuses favorisèrent la prise de vue des fragments, leur numérisation et notre quête d'indices de polychromies.

⁸ Le précédent film en images de synthèse, également réalisé par la société *on-situ* en 2004, s'intéressait plutôt aux volumes de l'édifice et au rendu de la lumière architecturale.

⁹ Juliette Rollier-Hanselmann était responsable de la restitution architecturale au sein de l'équipe Gunzo du centre Arts et Métiers ParisTech de Cluny entre 2009 et 2013.

¹⁰ Sybille Gorsse, apporta sa contribution dans le cadre de son stage de master professionnel « Patrimoine Architectural et Urbain du Moyen Âge à l'époque contemporaine » de l'université Lumière Lyon 2 entre février et mai 2009.

¹¹ Peu exploité jusqu'à présent, seules quelques-unes des plus belles pièces du fonds Rollier avaient été intégrées à la nouvelle muséographie du musée d'Art et d'Archéologie de Cluny (alors musée Ochier), rénové en 1992.

Nos travaux furent étendus aux portails latéraux et à une partie de l'avant-nef par Jean-Denis Salvèque, président du centre d'études clunisiennes, et Mary Sainsous, attachée de conservation au musée de la ville. De nouvelles attributions et de nombreux recollages en résultèrent (voir Salvèque et Garriguou Grandchamp 2012).



Figure III.4a – Cluny, réserves du musée d'Art et d'Archéologie (tour Baraban). Ensemble de caissettes contenant une partie des fragments lapidaires du fonds Rollier. © J. Rollier-Hanselmann



Figure III.4b – Cluny, musée d'Art et d'Archéologie. Espace de travail consacré aux fragments du grand portail. © J. Rollier-Hanselmann

Sur la lancée des manifestations du 1 100^e anniversaire de la fondation de l'abbaye de Cluny, en 2010, le maire de la ville, Jean-Luc Delpéuch souhaita mettre en valeur les travaux effectués sur le grand portail. Le musée national du Moyen Âge de Paris (musée de Cluny) s'associa au projet afin de proposer une reconstitution de ce puzzle archéologique et permettre au public d'appréhender ce chef-d'œuvre de l'art roman.

Une exposition fut ainsi consacrée au portail : « Cluny 1120, Au seuil de la *Major Ecclesia* »¹². Cette dernière propose un film¹³ en images de synthèse destiné à mettre le grand portail en contexte et à en souligner la dimension esthétique (composition,

¹² Exposition « Cluny 1120, Au seuil de la *Major Ecclesia* », Paris, Musée national du Moyen Âge, 28 mars - 2 juillet 2012, puis Cluny, Musée d'Art et d'Archéologie, exposition permanente.

¹³ Le film « *Major Ecclesia*, le grand portail » a été réalisé par la société *on-situ* en collaboration avec l'équipe Gunzo d'Arts et Métiers ParisTech (maquette numérique).

iconographie, mise en couleur). Et une nouvelle muséographie¹⁴ a été pensée afin de donner l'idée de la monumentalité du portail et de mettre ses fragments lapidaires en situation. Les plus significatifs sont présentés dans une structure métallique monumentale (à l'échelle 1:1) conçue par un designer clunisois, Pierre Broyer, et réalisée par la société *Abotech* de Trambly (Saône-et-Loire, Bourgogne) (fig. III5).

L'ensemble de ces travaux ont permis de préciser l'image du portail proposée par K.J. Conant et H. Kleinschmidt tant au niveau de l'iconographie que de la polychromie. Mais les études menées jusqu'ici représentent un instant donné d'un patrimoine archéologique qui, tôt ou tard, sera enrichi. Rappelons qu'une partie des fragments est encore enfouie sous un immeuble et sous une route et que le musée reçoit régulièrement des donations dues à l'engouement pour le patrimoine clunisien.



Figure III.5 – Cluny, grand portail. Reconstitution partielle du portail roman dont les fragments les plus significatifs sont disposés dans une structure monumentale à l'échelle 1:1, présentée ici au musée national du Moyen Âge de Paris (2012).

© Avec l'aimable autorisation de P.-A. Billardon pour clunisois.fr

¹⁴ La première présentation muséographique consacrée au portail roman fut élaborée vers 1950 par K.J. Conant, en collaboration avec la conservatrice du musée Ochier. Les fragments furent enchâssés dans de lourdes structures de plâtre ; les voussures étant ainsi partiellement recomposées.

III.1.5. DESCRIPTION DU GRAND PORTAIL

Le grand portail se caractérise par un riche décor végétal et géométrique comme l'illustrent les colonnes et les piédroits des ébrasements. L'ornementation étant reproduite d'un ébrasement à l'autre par symétrie¹⁵ [Dumolin 1749], seuls quelques fragments permettent de connaître la sculpture de six des huit colonnes adossées : celles voisines de la porte sont ornées d'un réseau entrecroisé, les deux suivantes sont torses puis viennent deux colonnes cannelées ornées de besants (fig. III.4).

Pour chaque ébrasement, les deux piédroits les plus proches de la baie présentent le même schème ornemental (les autres piédroits étant nus). Un large bandeau orné d'un motif végétal est encadré par un double ensemble de deux bandeaux plus fins séparés d'une cannelure. Pour le premier piédroit, ces cannelures sont décorées (frises de postes et de motifs losangés) tandis qu'elles sont nues pour le second. Une frise de rinceaux agrémentés de grappes de raisin se développe sur le premier piédroit. Le second est orné d'une frise de médaillons à rosettes, petites fleurs à cinq pétales de type marguerite – motif très présent dans l'art clunisien. Chacun est traité différemment : boutons ouverts ou fermés et pourtour des disques ainsi que les liens entre les médaillons décorés de motifs variés (cordes, besants, perles évidées, croissants...) (fig. III.9).

Une frise d'acanthes dont les feuilles sont recreusées au trépan encadre la porte. L'acanthé est également présente sur sept des chapiteaux des colonnes adossées [Dumolin 1749] ainsi que sur les coussinets soutenant le linteau. Également ornés d'anges-atlantes (fig. III.10-11), les coussinets permettaient de réduire la portée du linteau monolithe, qui, selon B. Dumolin, comportait une frise de 23 personnages.

La couverte de la porte [linteau] est d'une seule pierre épaisse de 14 pouces, haute de 3 pieds, unie et droite par-dessous, soutenue par deux consoles d'un pied et demi de saillie, appuyées sur les jambages, [...]. La face de la couverte est ornée de 23 figures de saints en relief, presque entassés tant elles sont proches l'une de l'autre.

¹⁵ Seul le chapiteau de la première colonne de l'ébrasement nord est figuré [Dumolin 1749].

Sur l'extrémité nord devait vraisemblablement figurer la scène des Saintes Femmes au Tombeau : la tête de l'un des soldats endormis (fonds Conant) (fig. III.14 et III.49, p. 173) et des fragments de cotte de mailles sont conservés ainsi que des fragments d'un buste et du bas d'un corps de deux Saintes femmes (fonds Rollier).

Les nombreux bustes d'apôtres tenant leur codex ou un *volumen* (fig. III.14) permettent de proposer l'Ascension du Christ comme scène principale (les derniers personnages du linteau n'ont pu être identifiés). Ils devaient certainement encadrer la Vierge Marie comme l'illustre l'Ascension du *Lectionnaire de Cluny*¹⁶ (fig. III.6), contemporain de la sculpture du grand portail. Ce tableau devait être central, en résonance à l'iconographie du tympan où le Christ siège au ciel depuis son Ascension.



Figure III.6 – *Lectionnaire de Cluny, Ascension. Feuille détaché, Paris, Musée de Cluny, inv. Cl. 23757, fol. 64v.*

© IRHT – CNRS – Musée national du Moyen Âge

¹⁶ Du lectionnaire de Cluny (N. A. L. 2246, BnF), enluminé à la fin de l'abbatit d'Hugues de Semur (1049-1109), ne subsiste aujourd'hui que six miniatures – sept en comptant la page détachée de l'Ascension acquise par le musée national du Moyen Âge en 2004.

Le décor sculpté du tympan faisait écho quant à lui au décor peint de l'abside centrale du sanctuaire représentant une *Maestas Domini*. Si ce thème est fréquent durant le Haut Moyen Âge dans les absides, sur les arcs triomphaux, les devants d'autel et dans les manuscrits [Stratford 2012 : 18], il connaît son apogée dans les tympan sculptés seulement à la fin du second quart du 12^e siècle [Vergnolle 2008 : 179]. Rappelons que la façade du Vieux-Saint-Pierre, sur la colline du Vatican, arborait une *Maestas Domini*. Cluny devait probablement connaître cet illustre antécédent compte tenu des liens étroits qui unissaient l'abbaye et la Papauté [Stratford 2012 : 18].

L'originalité du portail de Cluny se retrouve également dans certains détails de sa composition. Les quatre symboles des évangélistes ont le corps et la tête qui convergent vers le Christ central. Ce type de représentation, rare à l'époque romane, se rencontre plutôt dans des exemples précarolingiens [Vergnolle 2008 : 181]. Pour l'époque romane, on peut citer le tympan de la porte ouest de Saint-Trophime d'Arles.

À Cluny, le Tétramorphe est accompagné de quatre anges – deux jaillissant des nuées et deux soutenant la mandorle. La surface offerte par le tympan permettait de déployer ces nombreux personnages sans impression d'entassement. Ce bloc monolithe, qui mesurait 5,60 m à la base pour une hauteur de 3,25 m [Conant, 1968 : 103], est entouré d'une légende qui attribue sa mise en œuvre aux prières de l'abbé Hugues¹⁷ [Dumolin 1749] ; il devait avoir fortement marqué les esprits de ses contemporains.

La couverte de la porte est chargée d'une niche [lunette du tympan] de même largeur, [...] ; ce morceau est d'autant plus remarquable qu'il est orné d'une seule pierre entaillée dans la couverte et dans les flancs du cintre ; il est peu de curieux connaisseurs en le genre qui ne leur accordent un œil d'admiration ; malgré la force des machines propres à élever de pareilles masses, il naît toujours à l'aspect de semblables prodiges une incertitude inquiétante sur l'habileté de l'ouvrier qui a su lui donner son aplomb et [...] la tradition nous a conservé le miracle suivant.

On assure que saint Hugues étroitement attaché par son zèle et sa passion exemplaire à la construction de cet auguste temple, ne perdait ses ouvriers de vue que lorsque le servie divine l'appelait au chœur, et qu'à toute autre heure, il mettait

¹⁷ Malgré ce récit miraculeux qui donne une explication surnaturelle à l'exploit technique de la mise en œuvre du tympan, il est peu probable qu'Hugues de Semur ait vu l'achèvement du portail avant sa mort en 1109.

Pour une proposition technique quant au dressage du tympan, voir Griot 2012.

la main à l'ouvrage et se montrait propre à élever suprême la sacrée demeure qu'il voulait consacrer à Dieu ; lorsqu'il fut temps de placer la niche dont il est question, après bien des efforts et des soins inutiles, les ouvriers renonçant à l'espoir d'élever le rocher, on dit , que saint Hugues leur ayant ordonné d'aller se repentir, ils tombèrent dans une surprise mêlée de joie et de confusion. Lorsqu'à leur retour, ils virent cette niche élevée miraculeusement à sa place [...].

Une frise ornée de rosettes venait souligner l'arc du tympan. L'archivolte comprenait encore deux voussures figurées, tendance alors tout à fait nouvelle, en alternance avec une voussure ornée de feuilles à plusieurs folioles et une dernière nue. La première comportait 15 niches rayonnantes en arcs outrepassés où étaient agenouillés des anges tournés vers la figure du Sauveur, occupant la niche centrale. Sur la seconde, 25 médaillons accueillant les bustes de vieillards tournés vers la figure du Père éternel à la clef alternaient avec de plus petits médaillons à rosettes, l'ensemble souligné de rubans entrelacés et ornés de besants. On pense trop souvent aux vieillards de l'apocalypse bien qu'aucun fragment de couronne n'ait été retrouvé. Ce thème occupe une place privilégiée sur le tympan du grand portail de l'abbaye clunisienne de Moissac (Tarn-et-Garonne, Aquitaine). Il est également présent sur une des voussures du portail occidental d'Anzy-le-Duc¹⁸ (Saône-et-Loire, Bourgogne) qui reprend le thème principal de Cluny avec un Christ trônant accompagné de deux anges dominant les apôtres du linteau¹⁹.

Les princes des apôtres, saints-patrons de l'église, occupaient les écoinçons du grand portail, à l'instar de la mosaïque paléochrétienne de la basilique Sainte-Pudentienne de Rome. Ils sont ici accompagnés de deux autres apôtres et l'extérieur des écoinçons, soulignés d'un alfiz ou arrabâ²⁰ se composant de médaillons où alternaient animaux fantastiques et rosettes (fig. III.35). Ce type de décor sera repris dans les sites clunisiens de Paray-le-Monial (Saône-et-Loire, Bourgogne), Charlieu (Loire, Rhône-Alpes) et Salles-en-Beaujolais (Rhône, Rhône-Alpes).

¹⁸ Prieuré dépendant de l'abbaye autunoise Saint-Martin.

¹⁹ Un des sculpteurs d'Anzy-le-Duc a été actif à Cluny [Stratford 2011].

²⁰ Alfiz ou arrabâ [Gaillard 1961, Conant 1968] : ornementation mauresque prolongée par des montants verticaux qui encadre les bords extérieurs d'un arc. L'alfiz peut commencer de l'imposte, comme à Cluny, ou du sol comme pour le portail nord de la basilique de Paray-le-Monial (Bourgogne) où l'on retrouve les disques à rosettes plus ou moins stylisés.

La fascination qu'exerça et qu'exerce toujours le grand portail ne tient pas seulement à sa monumentalité ou les prouesses techniques que sa construction nécessita mais également au raffinement et à la délicatesse de sa sculpture ainsi qu'à son originalité.

III.2. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES POLYCHROMIES

Les polychromies du portail roman ne semblent pas avoir suscité autant d'intérêt que son « anastylose ». Dans sa monographie sur Cluny, K.J. Conant les évoque brièvement et de manière générale à partir des observations établies par H. Kleinschmidt, sa collaboratrice à partir de 1933 [Conant 1968].

Après un examen attentif des fragments et de leurs restes polychromes, H. Kleinschmidt a réalisé, en 1936, un dessin en couleur du portail (fig. III.6) [Marquardt 2008]. Ses observations et ses réflexions quant aux polychromies ont été seulement publiées en 1970²¹ et semblent parfois écrites de mémoire. Même si elle a observé des couches colorées successives et si elle évoque la possibilité de repeints avec des changements de parti coloré, elle pense plutôt être confrontée aux couleurs originales et à une technique picturale visant à obtenir des nuances et des motifs variés. Les couleurs relevées sont le rouge vermillon, l'ocre jaune, un jaune clair et brillant qu'elle n'identifie pas, le bleu cobalt, le blanc, le gris et le noir, une terre brune dont dérive la couleur des carnations, un gris-vert (mélange d'ocre jaune et de cobalt) ainsi que la dorure [Kleinschmidt 1970 : 36].

Tous les fragments du portail mis au jour par Conant n'ont pas été étudiés et certains fragments qui lui avaient alors permis de proposer des matières colorantes nous font aujourd'hui défaut. Seuls quelques prélèvements de peinture concernant le saint Pierre (voir § III.2.3, p. 156) et deux fragments indistincts du tympan²² (240.36 : rouge de type vermillon et couche préparatoire blanche, et 1043.8 : bleu) ainsi qu'une dizaine

²¹ Le manuscrit dactylographié original date de 1936. Une copie est conservée au musée d'art et d'archéologie de Cluny.

²² Nous n'avons malheureusement pas eu accès au rapport d'analyses.

d'échantillons de pierre ont été analysés au Fogg Museum (Harvard Art Museums, Cambridge, Massachusetts, États-Unis).



Figure III.7 – Cluny, grand portail. Dessin colorisé réalisé par Helen Kleinschmidt (1936). © Musée d'art et d'archéologie de Cluny / CEC

III.2.1. ÉCHANTILLONNAGE

Une première phase de prélèvements concerna les pièces remarquables du portail roman exposées au musée d'Art et d'Archéologie de Cluny, tels les fragments des piédroits, les visages du soldat endormi et de quelques vieillards ou encore les fragments des apôtres du linteau, *etc.* Puis, au fur et à mesure du rassemblement des fragments issus du tri des fonds lapidaires conservés dans les réserves du musée, d'autres prélèvements ont été effectués. Ainsi, le portail roman de l'abbatiale Cluny III a fait l'objet de 43 prélèvements destinés à déterminer la nature de ses pigments et la stratigraphie générale de sa polychromie (fig. III.7-18 et tab. III.1-8).



Figure III.8 – Cluny, grand portail. Localisation « approximative » des prélèvements. Image d'après une photographie de la maquette en plâtre exposée au Farinier.

© S. Castandet et A. Yos – Arts et Métiers ParisTech

III.2.1.1. Piédroits

Tableau III.1 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur les piédroits.

Échantillon	Zone prélèvement	Observations
BDX 13327	Fond du rinceau inférieur	Matière colorante rouge
BDX 13329*	Feuille de la frise d'acanthes	Couche picturale verte sur préparation jaune
BDX 14004*	Fond de la frise d'acanthes	Deux couches picturales : orangé puis rouge
BDX 13328*	Intérieur corolle du 2 ^e disque	Couche picturale gris-noir (altération ?), sous-couche orangée et préparation jaune
BDX 13326	Cannelure	Couche picturale verte sur préparation jaune
BDX 13324	Extérieur corolle dernier disque	Matière colorante rouge vif sous badigeon blanc



Figure III.9 – Cluny, grand portail. Localisation des différents prélèvements sur les fragments de piédroit et de frise d'acanthes et photographie en lumière naturelle des différents échantillons.

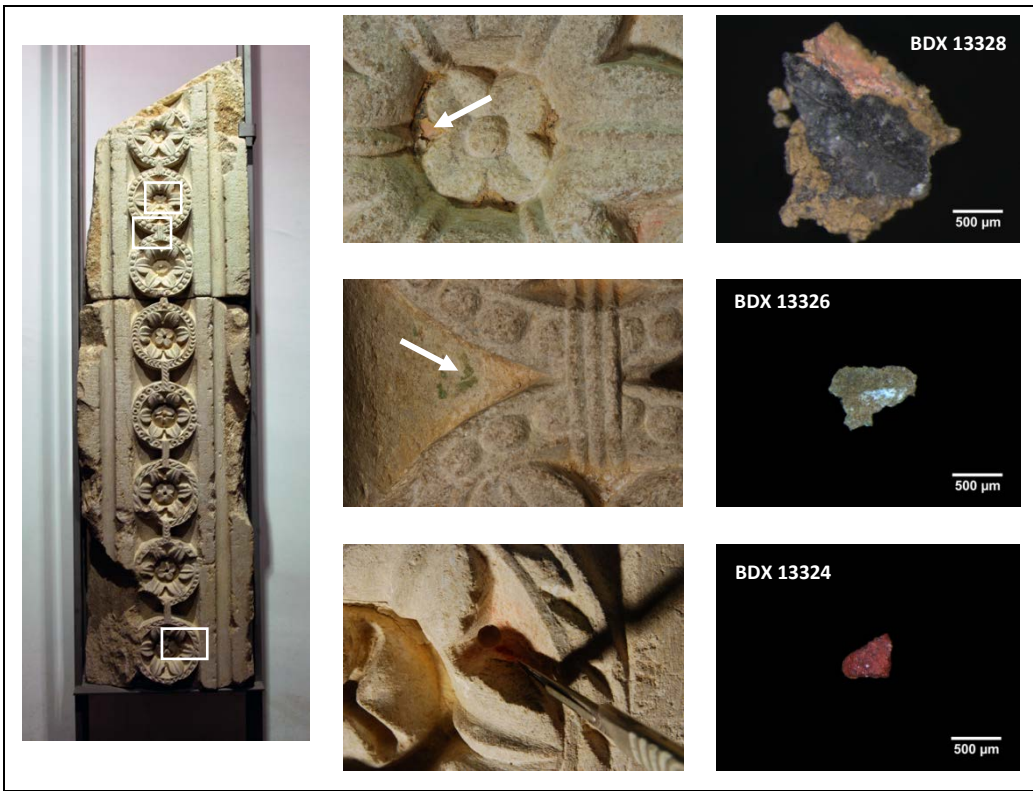


Figure III.10 – Cluny, grand portail. Localisation des différents prélèvements sur les fragments du second piédroit (78.42-43, calcaire, h. 120 cm) et photographies en lumière naturelle des différents échantillons.

III.2.1.2. Lintean et coussinets

III.2.1.2.1. Coussinets

Tableau III.2 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur les coussinets.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13332	Perles du col de l'ange-atlante senestre	Matière colorante jaune sur préparation blanche ; forte adhésion au support calcaire
BDX 13360*	Nimbe de l'ange-atlante dextre	Écaille de badigeon blanc avec au revers couche gris-noir et résidu d'une sous-couche jaune
BDX 14299*	Plume d'une aile de l'ange-atlante dextre	Couche picturale verte , sous-couche jaune et préparation blanche



Figure III.11 – Cluny, grand portail. Localisation du prélèvement sur l'ange-atlante du coussinet senestre soutenant le linteau (241 A, 212.52, 1050, 1050.28, 216 ABDFG ; calcaire) et photographie en lumière naturelle de l'échantillon.

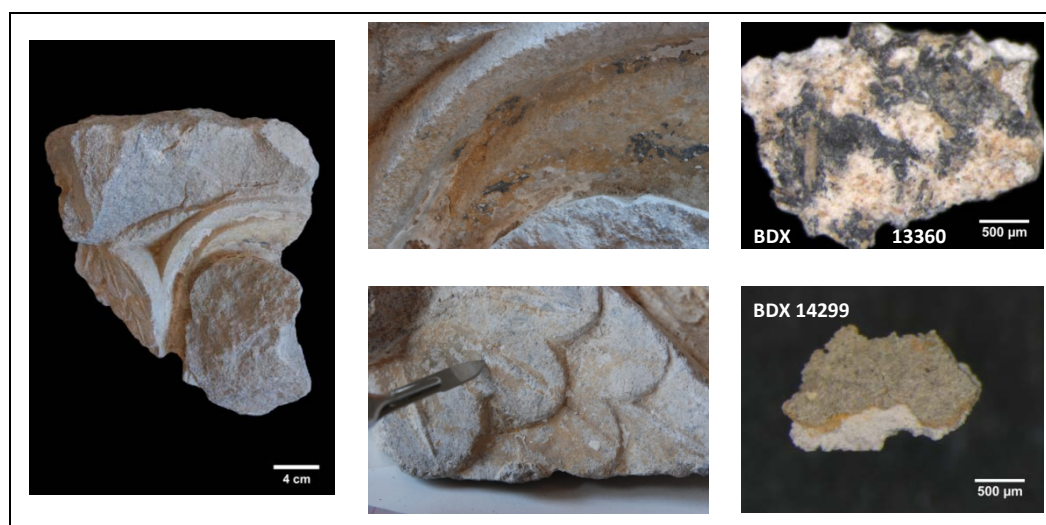


Figure III.12 – Cluny, grand portail. Localisation des prélèvements sur l'ange-atlante du coussinet dextre (242.47, calcaire) et photographie en lumière naturelle des échantillons.

III.2.1.2.2. Linteau

Tableau III.3 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur le linteau.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13338	Fond du linteau, sous le 4 ^e orteil du pied gauche	Matière colorante bleue , sous-couche jaune
BDX 13341	Fond linteau, côté extérieur du 5 ^e orteil du pied droit	Matière colorante bleue , sous-couche jaune

BDX 13339	Fond du linteau, sous le 3 ^e orteil du pied gauche	Matière colorante verte
BDX 13340*	Fond de la frise d'acanthes	Matière colorante rouge et orangée , sous-couche jaune et préparation blanche
BDX 13343	Bas d'une feuille d'acanthé	Écaille de badigeon blanc avec au revers matière colorante vert vif
BDX 13344*	Haut d'une feuille d'acanthé	Matière colorante verte



Figure III.13 – Cluny, grand portail. Fragment de la frise inférieure du linteau avec pieds gauche et droit de deux personnages différents (214, 228.63, 232.7 ; calcaire).



Figure III.14 – Cluny, grand portail. Localisation des prélèvements sur le fragment de linteau et photographie en lumière naturelle des différents échantillons.

Tableau III.4 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur les personnages du linteau.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13333	Carnation du soldat endormi	Matière picturale rosée, mélange ?
BDX 13348*	Plis de vêtement du buste d'un apôtre	Écaille de badigeon avec au revers couche beige puis jaune
BDX 13350*	Rebord intérieur du <i>codex</i> ou <i>volumen</i> d'un apôtre	Écaille de badigeon avec au revers matière colorante jaunâtre
BDX 13349	Cheveux d'un apôtre	Écaille de badigeon blanc avec au revers matière colorante rougeâtre

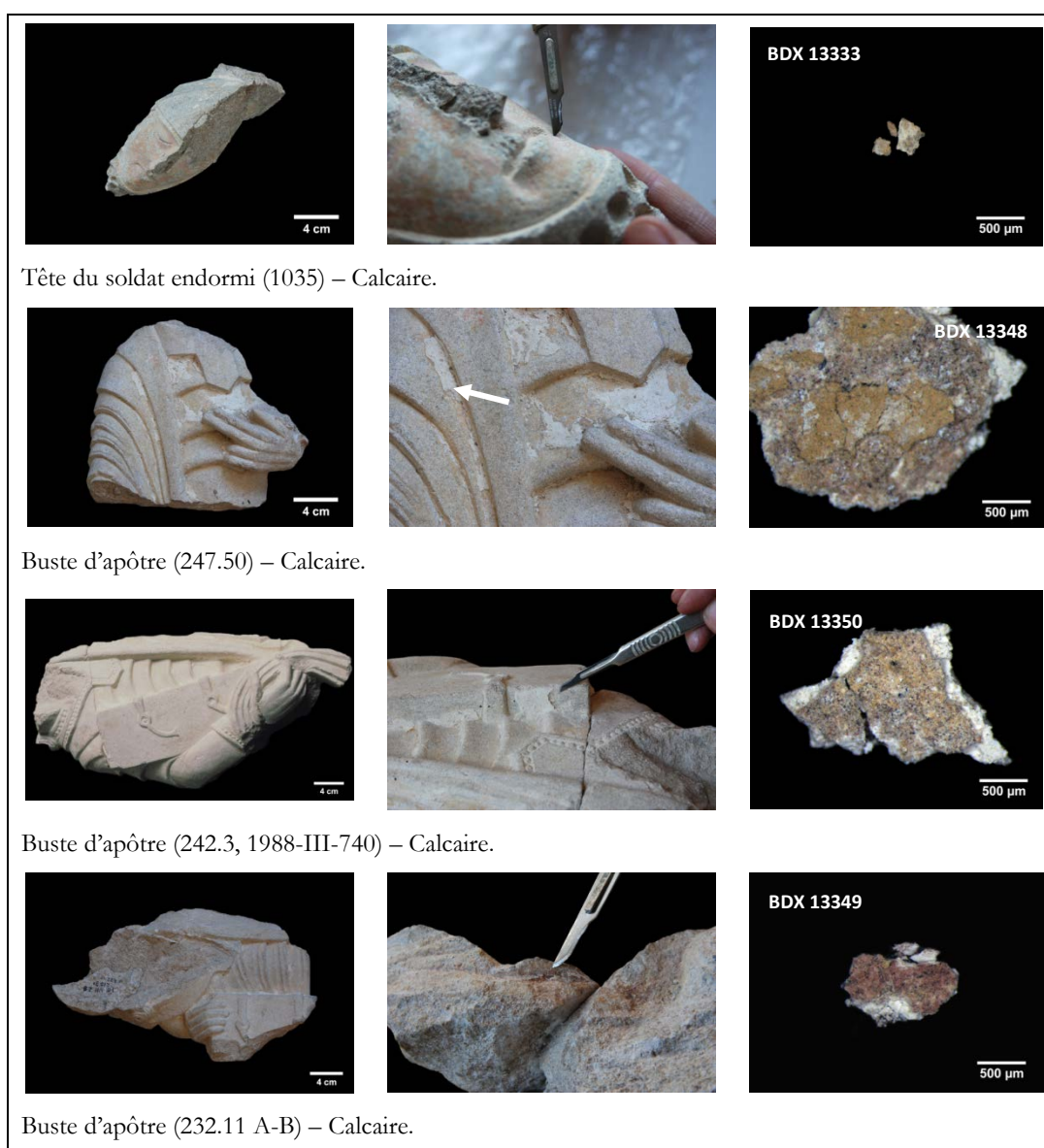
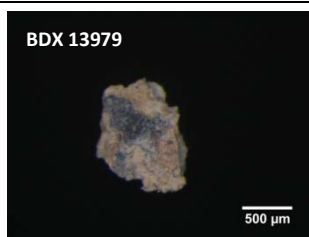


Figure III.15 – Cluny, grand portail. Localisation des prélèvements sur les bustes d'apôtres appartenant au linteau et photographie en lumière naturelle des différents échantillons.

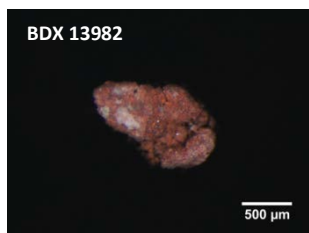
III.2.1.3. Tympan

Tableau III.5 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur le tympan.

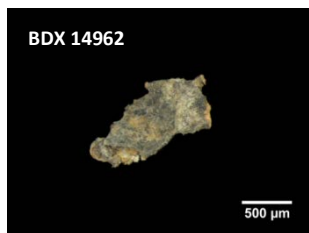
Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13979*	Nuées	Couche gris-noir (altération ?), sous-couche orangée
BDX 13982*	Manteau du Christ (?)	Matière colorante rouge vif
BDX 13980	Gaufrure soulignant la mandorle	Dorure , sous-couche orangée
BDX 13981*	Gaufrure soulignant la mandorle	Couche grise (altération ?), sous-couches jaune sur rouge
BDX 14302*	Gaufrure soulignant la mandorle	Badigeons blancs sur jaune recouvrant une dorure sur sous-couche orangée
BDX 14962	Fond du nimbe crucifère du Christ	Couche gris-noir (altération ?), préparation jaune



Nuées (1988-III-962) – Calcaire.



Bas de la mandorle flanquée du pied d'un ange porté par des nuées (1033) – Calcaire.



Fragment du nimbe crucifère du Christ (1044) – Calcaire.

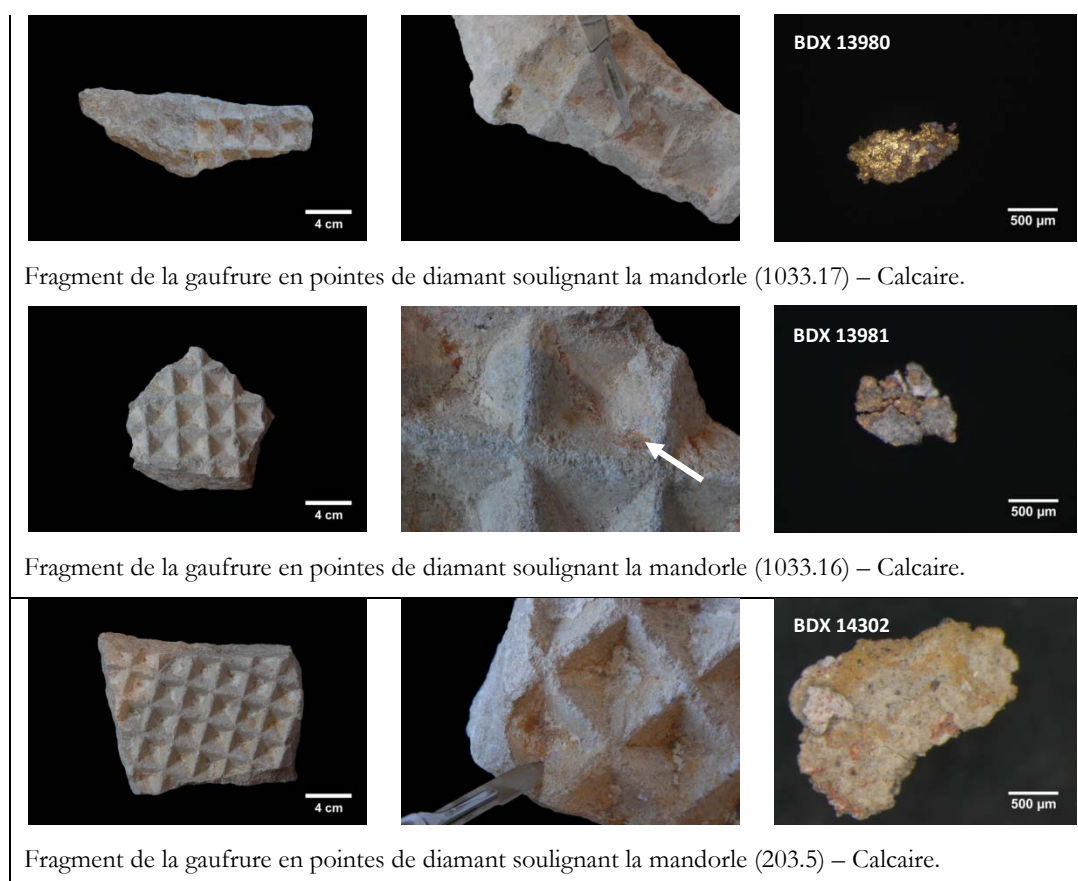


Figure III.16 – Cluny, grand portail. Localisation des différents prélèvements sur le tympan et photographie en lumière naturelle des échantillons.

III.2.1.4. Archivolte

III.2.1.4.1. Voussure de rosettes

Tableau III.6 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur la voussure des rosettes.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13984*	Cannelure	Couche picturale verte sur préparation jaune
BDX 13983*	Pétale, près de la nervure	Dorure recouverte de rouge vif
BDX 13987*	Pétale, près de la nervure	Dorure recouverte de rouge vif
BDX 14296*	Nervure	Matière picturale jaune recouverte de rouge vif

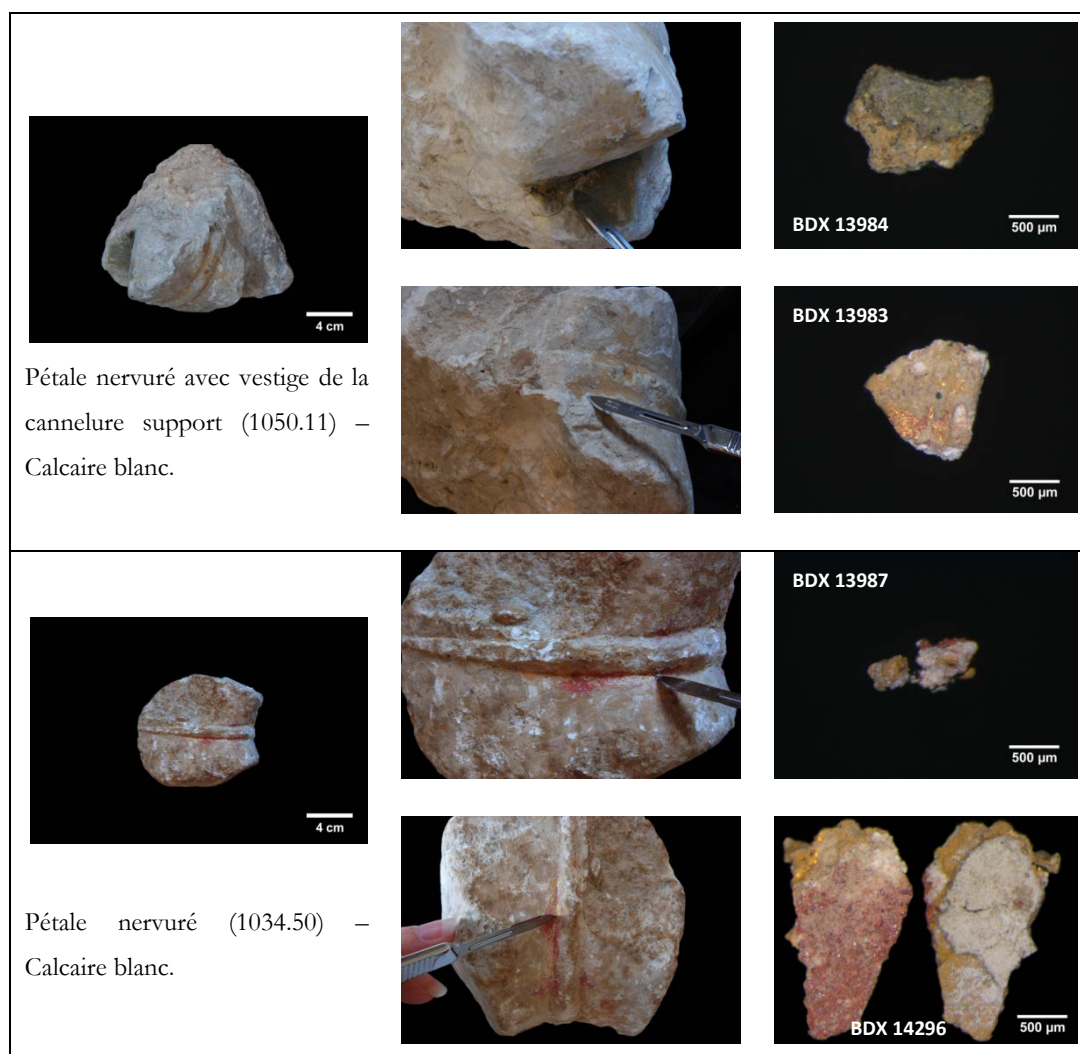


Figure III. 17 – Cluny, grand portail. Localisation des prélèvements sur la frise de rosettes ornant la voussure ceignant le tympan et photographies en lumière naturelle des échantillons.

III.2.1.4.2. Voussure des anges

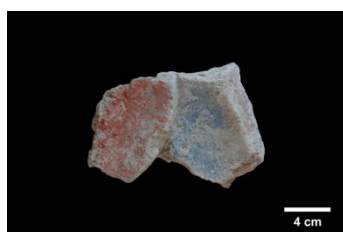
Tableau III.7 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur la voussure des anges.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13357	Chevelure d'un ange	Dorure , sous-couche rouge
BDX 13361*	Fond de la niche	Écaille de badigeon avec au revers matière colorante bleue
BDX 13362*	Nimbe	Dorure , sous-couche rouge vif
BDX 13999*	Nimbe	Couche gris-noir , sous-couche rouge
BDX 13368	Rebord sup. d'une niche (aile)	Matière colorante bleue , sous-couche gris-noir
BDX 13995*	Rebord inf. d'une niche (pied)	

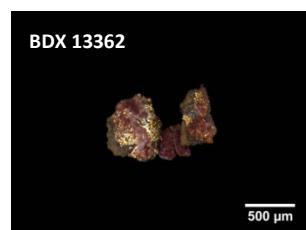
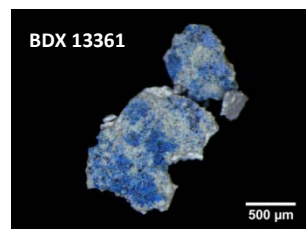
BDX 13992	Fond de la voussure	Matière colorante rouge orangée
BDX 13397*	Vêtement ange	Matière col. bleue , sous-couche gris-noir
BDX 13998*	Vêtement ange	Matière colorante vert vif , sous-couche jaune
BDX 14300*	Petite plume d'une aile d'ange	Matière colorante verte , sous-couche rouge
BDX 14301*	Petite plume d'une aile d'ange	Matière colorante verte , préparation jaune



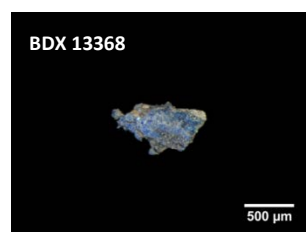
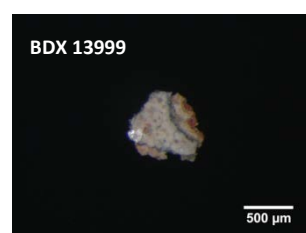
Tête d'ange (246) – Calcaire blanc.



Fragment de nimbe avec fond d'une niche (1035.59) – Calcaire blanc.



Tête d'ange nimbée (1038) – Calcaire blanc.



Aile d'ange avec moulure soulignant la niche (1042.6) – Calcaire blanc.

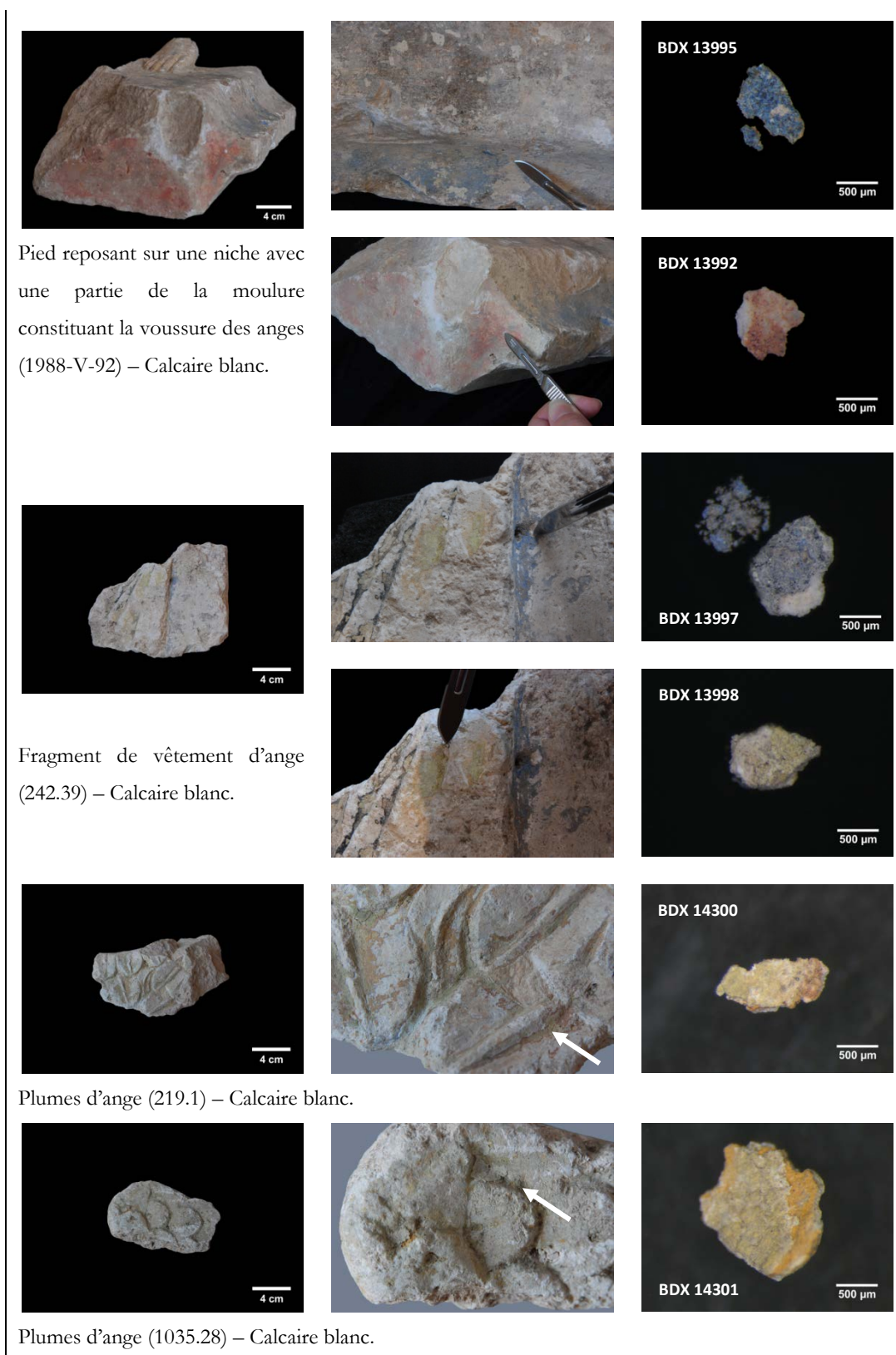


Figure III.18 – Cluny, grand portail. Localisation des différents prélèvements sur la voussure des anges et photographie en lumière naturelle des échantillons.

III.2.1.4.3. Voussure des vieillards

Tableau III.8 – Cluny, grand portail. Liste, localisation et descriptif des prélèvements effectués sur la voussure des vieillards.

Échantillons	Zones de prélèvement	Observations
BDX 13353	Barbe	Matière colorante noire
BDX 13354	Carnation (près lèvre inférieure)	Matière colorante rosée , sous-couches jaune et blanche
BDX 13356	Contour œil droit	Écaille de badigeon avec au revers matière colorante jaune et rouge

**Figure III.19** – Cluny, grand portail. Localisation des prélèvements sur deux des têtes de vieillards (245 A-B et 1050 A, calcaire blanc) appartenant à l'archivolte et photographies en lumière naturelle des échantillons.

III.2.2. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES

III.2.2.1. Préparation des échantillons

Les prélèvements de peinture peuvent être étudiés sans préparation particulière, simplement déposés sur des pastilles de carbone autocollantes facilitant leur manipulation et leur analyse. Ils offrent, généralement, le détail des couches qui se succèdent telles les badigeons, les enduits, les couches picturales et éventuellement les repeints et les phases de restauration. Néanmoins, une coupe stratigraphique s'avère souvent précieuse ; outre la succession précise des différentes couches, elle nous donne également accès à leur épaisseur, leur homogénéité et permet d'identifier, notamment pour la peinture à fresque, les réalisations en plusieurs étapes (couche de carbonatation intermédiaire). Mais, une section n'est pas toujours réalisable et reste dépendante de la quantité de matière prélevée.

Ainsi, certains échantillons sont inclus dans une résine d'enrobage polyester (ESCIL® Sody 33¹). Une fois enrobés, ils sont coupés transversalement aux couches picturales à l'aide d'une scie à fil diamanté (ESCIL® W3241) afin de minimiser la perte de matière (épaisseur du fil : 0,2 mm). La surface des sections est ensuite abrasée (15 μ) puis polie à différentes granulométries (6, 3 et 1 μ). Contrairement aux lames épaisses élaborées pour le verre, celles de peinture ne sont pas « métallisées » afin de pouvoir éventuellement les réétudier ultérieurement². Mais pour assurer l'écoulement des charges superficielles, une conduction électrique à l'aide de bandelettes de cuivre autocollantes est réalisée entre la surface de la lame épaisse et le porte échantillon.

III.2.2.2. Observations

L'observation microscopique des échantillons bruts ou de leur coupe doit être liminaire à toute analyse physico-chimique. Quelles soient réalisées en microscopie photonique ou électronique, ces analyses visuelles permettent de caractériser la texture des

¹ Résine d'enrobage à froid autopolymérisante bicomposant (ajout d'un durcisseur : 3 % de la masse de la résine).

² Un nouveau polissage pour éliminer le dépôt de carbone conducteur entraînerait certainement la disparition de l'échantillon de peinture.

échantillons : couleur des différentes couches, homogénéité, cohésion, granulométrie et morphologie des cristaux qui les composent, *etc.* Ces données permettent d'obtenir des informations sur le processus de préparation des pigments (précipitation, broyage...), sur leur nature (charbon de bois par exemple), *etc.*

Chaque échantillon est observé et photographié en lumière dite « naturelle » (LN)³ sous loupe binoculaire (Leica® M125). Les sections sont quant à elles observées et photographiées en lumière naturelle sous microscope métallographique (Olympus® BX60M)⁴. Puis l'ensemble est de nouveau examiné à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) qui offre une résolution beaucoup plus fine. L'information de la couleur n'est certes plus accessible mais le mode électrons rétrodiffusés (BSE : *backscattering electrons*) permet d'obtenir des images haute résolution en contraste de composition chimique⁵. Le MEB utilisé au CRP2A est à pression variable (JEOL® JSM 6460LV), ce qui permet d'étudier les échantillons sans « métallisation » préalable.

III.2.2.3. Analyses élémentaires (MEB-EDS)

La microscopie électronique couplée à un système d'analyse élémentaire par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (MEB-EDS) permet d'accéder à la nature chimique des différents matériaux employés.

À l'instar du verre, les compositions élémentaires des peintures sont déterminées à l'aide du spectromètre Oxford Instruments® X-Max 20 *Silicon Drift Detector*. En ce qui concerne les conditions expérimentales, les analyses, qualitatives, sont réalisées en mode *low vacuum* avec une pression de 20 Pa en raison de la porosité des matériaux étudiés et de leur faible conductivité. Le faisceau d'électrons est accéléré sous une tension de 20 keV, et le temps d'acquisition est de 60 secondes auquel s'ajoute un temps mort variant de 30 à 40 %. Les données sont traitées à l'aide du logiciel Inca

³ Lumière blanche calibrée.

⁴ Les microscopes métallographiques offrent une meilleure résolution mais leur profondeur de champ extrêmement faible en fait un moyen d'observation peu adapté aux échantillons bruts.

⁵ Selon le numéro atomique des éléments, on obtiendra une image en nuances de gris : des zones claires pour les éléments lourds et des zones sombres pour les éléments légers.

d'Oxford Instruments® et les résultats sont exprimés en pourcentage massique d'oxydes et normalisés à 100 %.

Les analyses élémentaires fournissent les premières données de composition chimique des échantillons mais ne permettent pas d'accéder à la structure moléculaire ou cristalline des matériaux employés. Il est alors nécessaire de compléter ces résultats par une technique d'analyse structurale afin de déterminer la nature exacte de ces matériaux car certains peuvent présenter une composition élémentaire très similaire voire identique.

III.2.2.4. Analyses structurales

III.2.2.4.1. Microspectrométrie Raman

Pour l'identification des pigments, nous avons privilégié la microspectrométrie Raman qui a les avantages d'être non destructive (μ -analyses non-invasives) et de ne nécessiter aucune préparation particulière des échantillons. L'appareil utilisé au laboratoire est un microspectromètre Raman Renishaw® RM 200 associé à un microscope confocal Leica® DMLM qui permet de faire une analyse à des grossissements différents. Les analyses sont réalisées avec un laser visible rouge Hélium-Néon émettant à 632,8 nm, en mode *extended*, durant un temps d'acquisition variant de 10 à 20 secondes avec plusieurs accumulations (affinage du spectre) et un grossissement x50 ou x100. Les spectres obtenus sont traités à l'aide du logiciel GRAMS/32 de Galactic Industries Corporation® et comparés à ceux des bases de données en ligne et/ou publiés dans la littérature scientifique [Bell *et al.* 1997, Bikiaris *et al.* 2000, Burgio et Clark 2001, Bouchard et Smith 2003, Smith et Clark 2004]. Parfois, des différences d'intensités relatives du spectre expérimental peuvent être observées par rapport au spectre de référence. Ces dernières sont dues à la polarisation Raman selon l'orientation du cristal examiné.

Mais en ce qui nous concerne, l'inconvénient majeur reste la fluorescence qui peut masquer partiellement ou totalement la diffusion Raman. Ce phénomène affecte préférentiellement les échantillons contenant un composé organique tel un liant ou des impuretés, ce qui est généralement le cas des fragments de peintures murales et de

polychromies sur pierre, d'autant plus lorsqu'ils proviennent de fouilles archéologiques [Couptry 1997]. Outre la fluorescence, l'identification des pigments verts est souvent difficile en raison de la faible intensité de leur spectre Raman. Cette méthode n'a pas été concluante pour nos échantillons verts malgré l'utilisation d'un laser de puissance plus importante (laser visible vert émettant à 532 nm).

III.2.2.4.2. IRTF

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) permet d'obtenir des informations sur les liaisons chimiques et sur la structure moléculaire des matériaux. Cette technique d'analyse peut servir à identifier les liants organiques utilisés en peinture murale et donner ainsi des indices quant à la technique employée.

L'appareil mis à notre disposition⁶ est un spectromètre Nicolet Instruments Corporation® Nexus 670/870 FT-IR avec un montage en réflexion totale atténuée (ATR) où l'échantillon est analysé sans préparation grâce à un cristal de diamant. Si l'échantillon n'est pas détruit il est cependant « écrasé » en raison de la pression exercée par la cellule diamant, ce qui le rend inutilisable pour certaines analyses ou la réalisation de coupe stratigraphique. Ainsi, seuls quelques échantillons ont fait l'objet d'analyse IRTF. Le balayage de l'échantillon par le faisceau infrarouge est compris entre 650 et 4 000 cm^{-1} et se fait toutes les 200 secondes pour une analyse de deux minutes avec une résolution de 4 cm^{-1} . Les interférogrammes sont traités grâce au logiciel OMNIC de Nicolet Instruments Corporation®, puis les spectres infrarouge obtenus sont comparés aux données publiées dans la littérature scientifique [Masschelein-Kleiner 1968, Meilunas *et al.* 1990, Masschelein-Kleiner *et al.* 1992, Derrick *et al.* 1999, Centeno *et al.* 2004, Vahur 2010] et aux données obtenues sur des recreations de dorures et leurs matériaux qui ont l'avantage d'avoir les mêmes conditions expérimentales [Castandet 2008, Mounier 2010].

L'utilisation de l'IRTF en mode ATR s'est avérée peu adaptée à la caractérisation des prélèvements de matière picturale (mélanges complexes de matières minérale et

⁶ Les analyses Infrarouge ont été réalisées au Laboratoire de chimie et de physique de l'Institut des Sciences Moléculaires (ISM) à l'université de Bordeaux.

organique), en particulier lorsque le liant est présent en faible quantité ; les bandes caractéristiques des matériaux organiques sont alors trop peu intenses pour être diagnostiques [Aze 2005, Regert *et al.* 2006b].

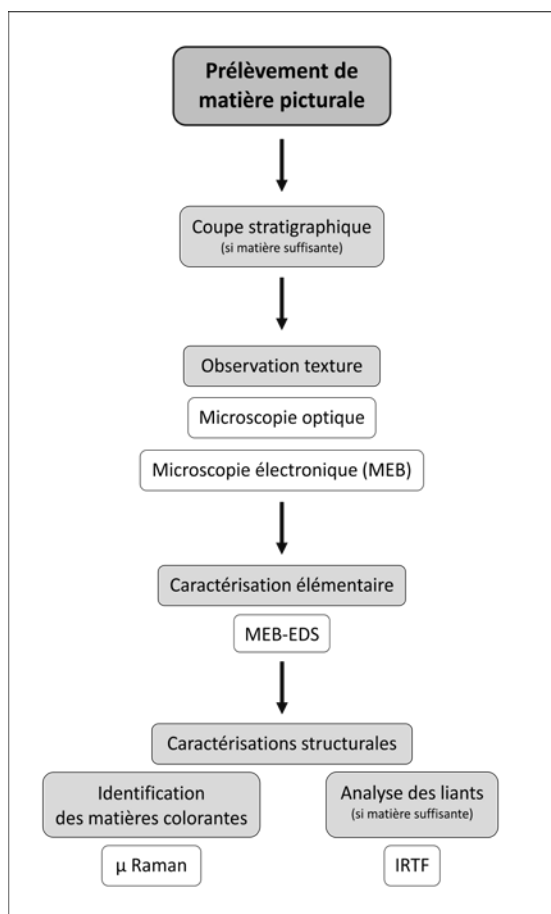


Figure III.19 – Démarche analytique appliquée aux échantillons de matières picturales au CRP2A.

III.2.3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

III.2.3.1. Supports et couches préparatoires

Une étude menée sur les carrières exploitées lors de la construction de Cluny III a mis en évidence l'utilisation de divers types de pierres pour l'édification de l'abbatiale. Dans un premier temps, un seul type de calcaire est associé au grand portail, le calcaire oolithique [Blanc *et al.* 1990 : 339]. Cette appréciation fut par la suite révisée ; Annie Blanc mentionne alors dans son « Essai de détermination des origines des matériaux de l'abbaye de Cluny » du calcaire oolithique et du calcaire blanc de type pisolithique [Blanc 2011 : 167].

L'observation macroscopique des fragments lapidaires du portail nous a effectivement permis de distinguer deux types de calcaire en fonction de leur texture et de leur couleur. Un premier calcaire relativement dur, de couleur gris beige, a été utilisé pour la grande majorité du portail. Seules les voussures ont été sculptées dans un calcaire plus tendre, de couleur blanc crème à rosé, du calcaire de type pisolithique. Ce dernier a également été utilisé pour les chapiteaux du transept ainsi qu'onze des quinze statues consoles de la chapelle Jean de Bourbon (15^e siècle) [Blanc *et al.* 1990 : 339 ; Blanc 2011 : 167-8].

Contrairement à nos yeux de néophytes, le regard aguerri de Philippe Griot, tailleur de pierre et sculpteur clunisois, pour avoir longuement manipulé les fragments du portail lors de leurs installations muséographiques successives à Paris et à Cluny, lui permit d'observer une plus grande variété de pierre⁷.

Le calcaire oolithique tire vraisemblablement son origine de la carrière de La Cras, relativement proche de l'abbaye (moins de deux kilomètres). Mais le calcaire oolithique étant très présent en Clunisois, d'autres carrières ont certainement dû alimenter le chantier de construction de la *Maior ecclesia*. En effet, l'abbaye a dû se fournir dans de nombreuses carrières, et parfois relativement loin pour l'époque, afin de trouver les 51 800 m³ de pierre nécessaire à l'édification de son église [Griot 2014 : 54]. Quant au calcaire blanc pisolithique, sa carrière d'origine serait située à une vingtaine de kilomètres de l'abbaye, dans la commune de la roche-Vineuse, près du hameau de Sommeré, au lieu-dit La Lie. Ce calcaire n'a jamais été utilisé en construction, probablement en raison du coût induit par son transport [Blanc 2011 : 168].

Utiliser des calcaires différents au sein du portail n'affecte en rien le rendu de la sculpture. Seule la manière de tailler et les types d'outils employés jouent sur la qualité de la taille. Le seul paramètre qui varie vraiment est le temps. Plus la pierre est dure, plus le temps de travail augmente. Par exemple, à modèle identique, entre le calcaire dur des Cras et le calcaire tendre de La Lie, le temps d'exécution peut se multiplier par quatre ou cinq en fonction de la complexité des modénatures.

⁷ Communication personnelle.

Six échantillons (deux provenant des piédroits, un d'un coussinet et trois des voussures) nous ont permis d'analyser le matériau ayant servi à la construction du portail. Les deux échantillons appartenant aux piédroits (BDX 13328 et 14004), se distinguent par leur texture et leur composition élémentaire. Le matériau support de ces échantillons, de couleur plutôt marron-gris, présente une texture assez grossière, contrairement aux autres échantillons qui ont une texture plus fine et plus homogène ainsi qu'une couleur variant du gris au beige (fig. III.20). La composition élémentaire de ces derniers est très riche en calcium (entre 60 et 90 % en CaO), alors que pour les échantillons des piédroits BDX 13328 et 14004, l'élément majoritaire est le silicium (entre 45 et 60 % en SiO₂), diminuant la teneur en oxyde de calcium autour de 20 % (tab. III.12). On note également une teneur plus élevée des éléments aluminium, fer, titane et potassium pouvant indiquer une tendance argileuse.

L'ensemble de ces caractéristiques font plutôt penser à un calcaire de type calcaire silicaté. Ce dernier se forme par métamorphisme de calcaire « impur » comprenant un peu de sable ou d'argile qui apporte silicium, aluminium..., nécessaires à la formation des minéraux de silicates de calcium [Bishop *et al.* 2005 : 180].

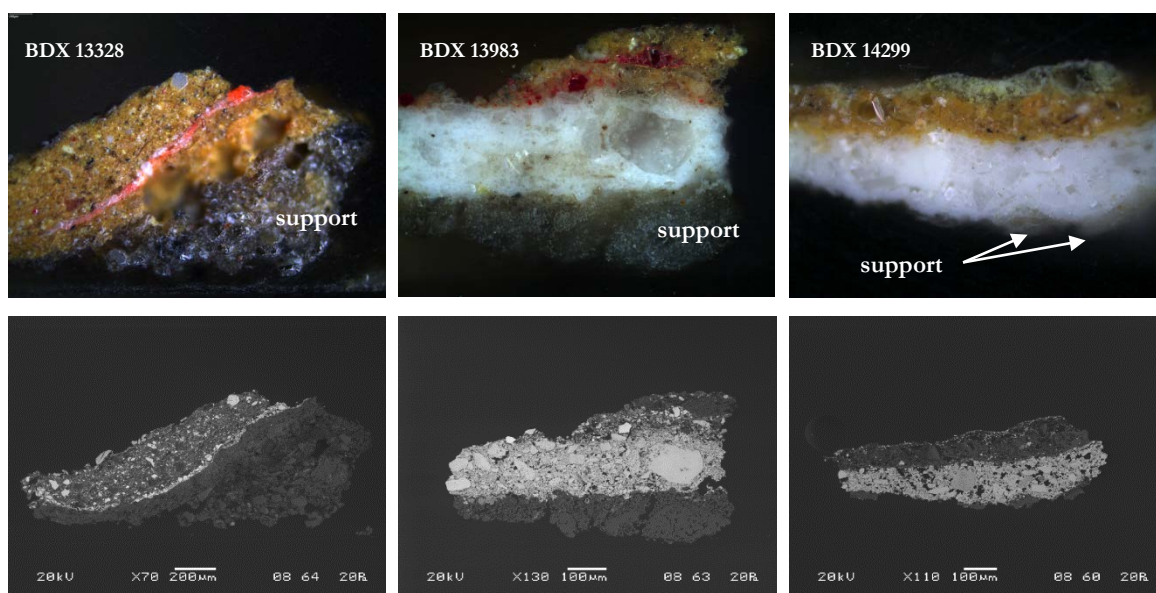


Figure III.20 – Cluny, grand portail, BDX 13328 (piédroit), 13983 (voussure) et 14299 (coussinet). Photographies en lumière naturelle (gr. x 100 et x 200) et en microscopie électronique à balayage (mode BSE) des échantillons mettant en évidence les différences de texture des matériaux supports employés pour la construction du portail roman. © S. Castandet – CRP2A

La calcite a été détectée par microspectrométrie Raman pour différents échantillons indiquant un support calcaire pour l'ensemble du portail (fig. III.21 et tab. III.12). Néanmoins, l'utilisation de calcaires différents a pu être mise en évidence : un calcaire vraisemblablement argilo-sableux pour les piédroits (veine différente ou matériau différent ?), du calcaire blanc de type pisolithique pour les voussures de l'archivolte et du calcaire oolithique.

Si les différents calcaires employés n'entraient en rien dans la composition – le portail étant entièrement polychromé, nous avons pu constater qu'ils n'ont pas conservé les couleurs de la même manière. En effet, les polychromies des éléments en calcaire dur, aux grains serrés, sont souvent très abîmées, contrairement à celles des voussures sculptées en calcaire pisolithique plus tendre et plus poreux, qui semble les avoir mieux préservées.

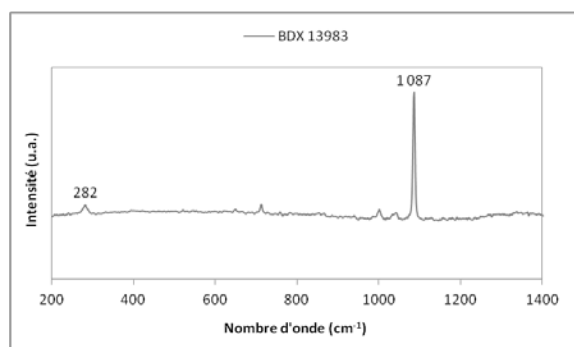


Figure III.21 – Cluny, grand portail, BDX 13983 (voussure). Spectre Raman obtenu pour un grain blanc du matériau support de l'échantillon. Les raies obtenues sont caractéristiques de la calcite (carbonate de calcium, CaCO_3) indiquant un support calcaire.

© S. Castandet – CRP2A

Afin d'égaler les aspérités de la pierre et pour éviter la diffusion des couleurs ou des liants dans ce support de nature poreuse et hygroscopique, un bouche-pores ainsi qu'une ou plusieurs couches préparatoires étaient nécessaires. Ainsi, avant d'être polychromé, le portail a reçu quatre types de préparation différents. Un enduit de blanc de plomb sert de base à la couche picturale, et s'accompagne le plus souvent d'une seconde couche d'ocre jaune (fig. III.22-24 et tab. III.12). L'échantillon BDX 13984 prélevé sur la cannelure de la voussure des rosettes présente une variante : un mélange d'ocre jaune et de blanc de plomb recouvert d'ocre jaune. Enfin, les fragments appartenant aux piédroits présentent une préparation constituée uniquement d'ocre jaune.

Les couches préparatoires sont relativement fines ; les strates de blanc de plomb mesurent entre 100 et 150 micromètres et sont légèrement plus épaisses que celles d'ocre jaune qui ne dépassent pas 100 micromètres d'épaisseur.

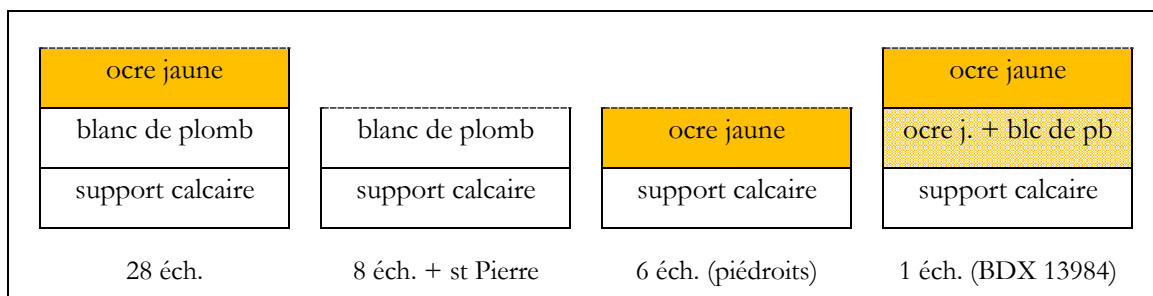


Figure III.22 – Cluny, grand portail. Schéma illustrant les différents types de préparation répertoriés.

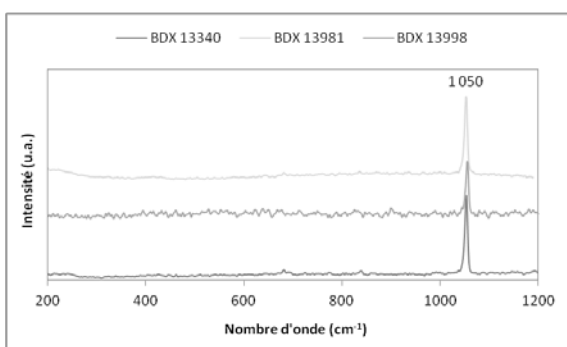


Figure III.23 – Cluny, grand portail, BDX₁₃₃₄₀ (linéaire), BDX₁₃₉₈₁ (tympa) et BDX₁₃₉₉₈ (voûture). Spectres Raman obtenus pour des grains blancs des couches préparatoires des échantillons. La raie à 1050 cm⁻¹ est caractéristique du blanc de plomb (carbonate de plomb, PbCO₃). © S. Castandet – CRP2A

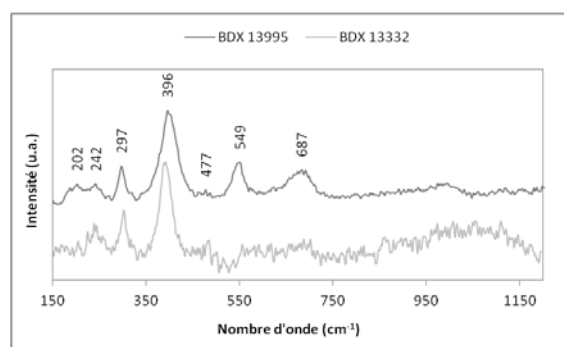


Figure III.24 – Cluny, grand portail, BDX₁₃₃₃₂ (linéaire) et BDX₁₃₉₉₅ (voûture). Spectres Raman obtenus pour des grains jaunes des couches préparatoires. La raie principale à 396 cm⁻¹ est caractéristique de l'hydroxyde de fer FeOOH, la goethite, agent chromogène de l'ocre jaune.

Le buste du Saint Pierre conservé au RISD Museum of Art (Providence, Rhode Island, États-Unis) et attribué à l'écoinçon nord du grand portail [Kleinschmidt 1947, Cahn et Seidel 1979, 31-3, Tokita Darling 2012 : 19] présente des restes polychromes, notamment sur son visage (fig. III.25). Des prélèvements effectués au niveau des joues ont fait l'objet d'analyses au Fogg Museum (Harvard Art Museums, Cambridge,

Massachusetts, États-Unis) au début des années 70 et le rapport d'analyses indique une préparation au blanc de plomb⁸.



Figure III.25 – Cluny, grand portail. Buste du Saint Pierre attribué à l'écoinçon nord.

© E. Gould –RISD Museum of Art

Une première couche préparatoire au blanc de plomb, qui peut également servir de bouche pores [LRMH 2005], est presque systématique pour la sculpture monumentale en pierre française [Verret et Steyaert 2002, LRMH 2003, Kargère 2012]. C'est le cas pour le prestigieux prieuré clunisien de Charlieu⁹ dont le tympan du portail occidental est orné d'un Christ en majesté et le linteau des apôtres [Orial *et al.* 1990]. Une préparation en deux couches d'ocre jaune sur blanc de plomb n'est pas exceptionnelle, on la rencontre par exemple sur le portail central de la façade occidentale de la cathédrale Notre-Dame de Paris (12^e siècle) [Pallot-Frossard 2002].

La préparation singulière des piédroits qui, rappelons-le, sont sculptés dans un calcaire vraisemblablement différent, soulève quelques interrogations. S'agit-il d'un choix délibéré quant à la nature du matériau employé, les piédroits ont-ils tout simplement fait l'objet d'une préparation moins soignée, ou s'agit-il d'une nouvelle campagne polychrome ?

⁸ Nous remercions tout particulièrement Masuyo Tokita Darling (professeur honoraire, université d'Hokkaido) pour nous avoir fait parvenir une copie de ce rapport.

⁹ L'abbaye Saint-Fortunat de Charlieu est rattachée à Cluny en 932 et devient prieuré en 1040, engendrant la construction de nouveaux bâtiments (11^e-12^e siècle).

Parfois, des préparations différentes se rencontrent au sein d'un même personnage comme par exemple pour le Christ et la Vierge du tympan de la cathédrale Saint-Lazare d'Autun [Ullmann 2011]. À Cluny, la préparation de la frise d'acanthé encadrant la porte s'avère différente selon que les acanthes appartiennent au piédroit (ocre jaune uniquement) ou courent sous le linteau (blanc de plomb recouvert d'ocre jaune). Une hiérarchisation des matériaux en fonction de la disposition des éléments du programme iconographique est souvent constatée [Mounier *et al.* 2010]. Or c'est à partir du linteau que se développe le programme iconographique du portail.

III.2.3.2. Bleus

La couleur bleue semble avoir été utilisée pour mettre en lumière la composition iconographique du portail. En effet, on la retrouve sur le fond du linteau recevant les apôtres et la Vierge (BDX 13338 et 13341) ainsi que sur les niches accueillant les anges de l'archivolte (BDX 13361, 13368, 13995 et 13997). Aucun reste de couleur ne permet de l'affirmer mais il est très probable que la lunette du tympan, et peut-être même le fond de la mandorle, ainsi que les médaillons de la voussure des vieillards aient également été peints en bleu.

À cette époque, les fonds bleus sont assez fréquents tant en peinture que dans l'art du vitrail, de l'enluminure ou des émaux. On peut citer notamment le portail du couronnement de la Vierge de l'ancienne cathédrale de Senlis (Oise, Picardie), le portail sud de la cathédrale de Bourges (Centre), les vitraux de Saint-Denis (Paris, Île-de-France) ou encore à Chartres (Centre), le célèbre panneau Notre-Dame de la Belle-Verrière avec son remarquable bleu de Chartres.

La matière colorante utilisée pour les niches des anges de l'archivolte présente des cristaux bleu intense de lazurite (fig. III.26). La lazurite, alumino-silicate de sodium polysulfuré, est un des principaux composants du précieux lapis-lazuli (ou outremer naturel¹⁰). Importé d'Iran ou du Badakhshan (actuel Afghanistan) et nécessitant un

¹⁰ En raison de son origine par-delà la Méditerranée, il est appelé bleu d'outremer dans l'Europe médiévale.

travail de purification très important pour obtenir un bleu vif, sa valeur rivalisait avec celle de l'or [Martin et Bergeon 1996, Pastoureau 2000, Kargère 2003].

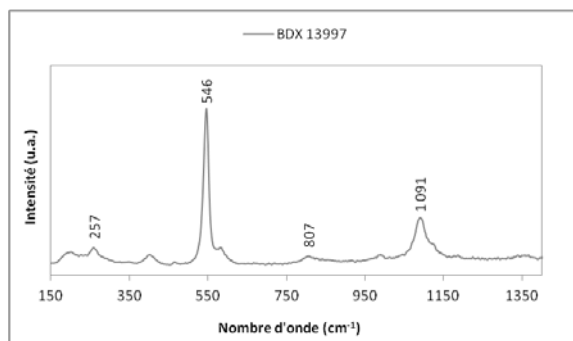


Figure III.26 – Cluny, grand portail, BDX 13997 (archivolte). Spectre Raman obtenu pour un grain bleu intense. Les bandes de vibration sont caractéristiques de la lazurite, principal composant du lapis-lazuli.
© S. Castandet – CRP2A

La présence de lapis-lazuli ne constitue toutefois pas une particularité. Celui-ci se rencontre fréquemment dans les portails jusque vers 1230 [Steyaert et Demailly 2002 : 108-9]. Il a par exemple été identifié sur les portails romans de l'église Notre-Dame de Poitiers (Poitou-Charentes), de la cathédrale d'Angers (Pays-de-Loire), de la cathédrale de Bourges (Centre) (portail sud), ou encore de l'ancienne cathédrale de Senlis (Picardie) [Pallot-Frossard 2002 : 86]. Les peintures murales de la chapelle des Moines de Berzé-la-Ville (Bourgogne) ou de l'avant-nef de Saint-Philibert de Tournus (Bourgogne) sont des exemples où le lapis-lazuli était utilisé abondamment, notamment dans les fonds de scènes et dans les vêtements [Rollier-Hanselmann 1997 : 64].

À Tournus, le lapis-lazuli a été utilisé pur et directement appliqué à fresque. À Berzé-la-Ville, le pigment d'outremer a été décelé sur une sous-couche noire [Rollier-Hanselmann 1997 : 64]. En ce qui concerne Cluny, chaque prélèvement bleu du portail présente une sous-couche grise (tab. III.12, p. 189). Il s'agit d'un mélange de blanc de plomb et de noir de carbone, vraisemblablement du charbon de bois (fig. III.27-29).

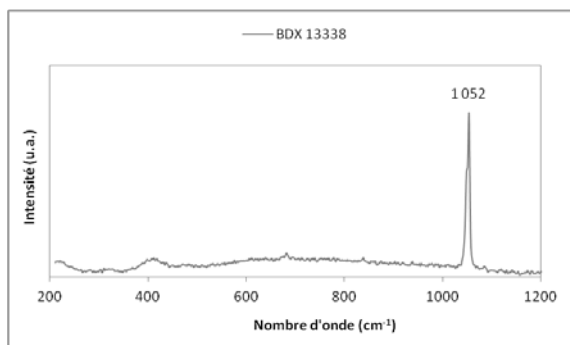


Figure III.27 – Cluny, grand portail, BDX 13338 (linite). Spectre Raman obtenu pour un grain blanc de la sous-couche grise. La raie principale à 1052 cm^{-1} est caractéristique du blanc de plomb (PbCO_3).

© S. Castandet – CRP2A

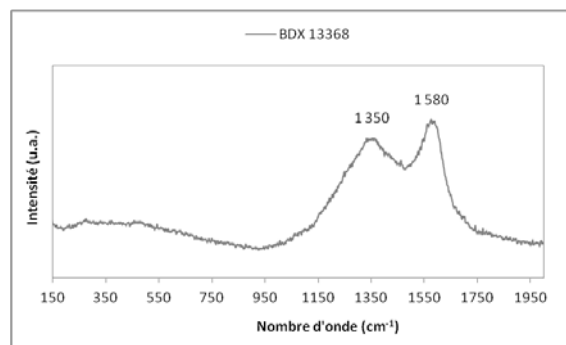


Figure III.28 – Cluny, grand portail, BDX 13368 (archivolte). Spectre Raman obtenu pour un grain noir de la sous-couche grise. Les bandes larges autour de 1350 et 1580 cm^{-1} sont caractéristiques du noir de carbone. © S. Castandet – CRP2A

Notons qu'il est difficile de distinguer les différents pigments noirs à base de carbone à l'aide de la microspectrométrie Raman. L'intensité des deux bandes caractéristiques entre 1300 et 1600 cm^{-1} masque souvent les autres bandes qui permettraient de différencier ces différents pigments [Tomasini *et al.* 2012]. Mais les microscopies optique et électronique nous permettent d'observer des structures alvéolées de couleur noire indiquant du noir de charbon de bois (fig. III.29).

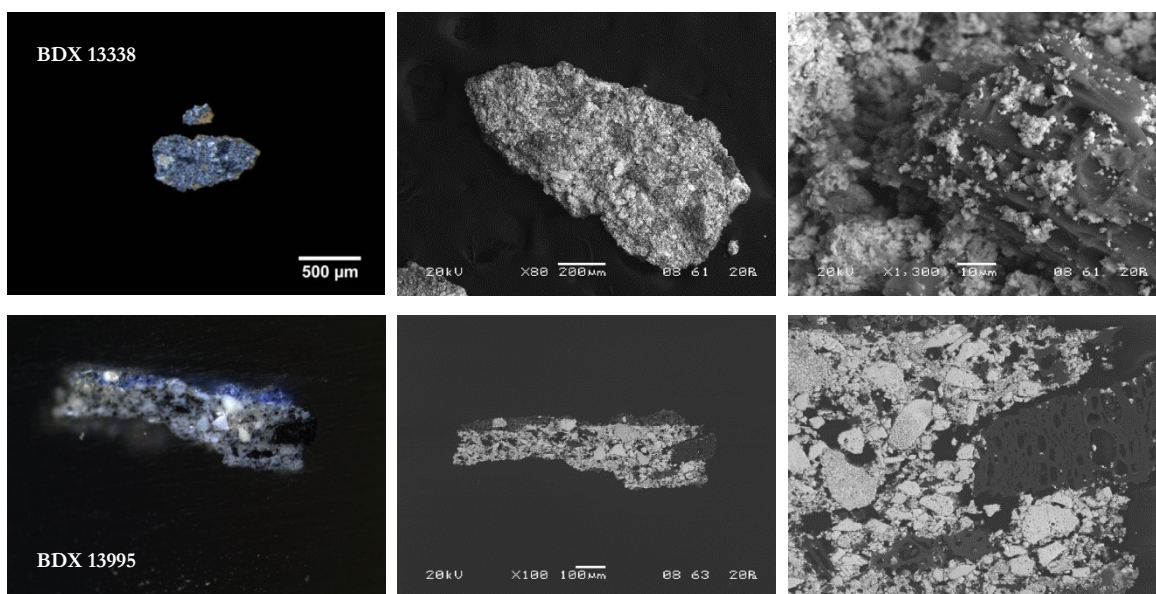


Figure III.29 – Cluny, grand portail, BDX 13338 (linite) et BDX 13995 (archivolte). Images LN et MEB mettant en évidence la présence de structures alvéolées noires de charbon de bois. © S. Castandet – CRP2A

Il n'est pas rare, sous une couche picturale bleue, de poser une couche noire ou grise. On rencontre également des sous-couches blanches, mais le gris à l'avantage d'augmenter le pouvoir couvrant du lapis-lazuli par rapport au blanc qui diffuse beaucoup plus la lumière [Howard 2003]. On peut voir dans l'utilisation d'une telle sous-couche un aspect économique vis-à-vis du coûteux pigment, mais il ne faut pas oublier qu'elle donne également de la profondeur au bleu et qu'on l'emploie aussi sous l'azurite.

Cette technique est mentionnée par Théophile dans son traité, *De diversis artibus*, recueil de recettes et de conseils destinés aux artistes et artisans afin de réaliser des peintures et des objets de verre ou de métal. Dans le chapitre XV du livre I, relatif aux couleurs des vêtements en peinture, Théophile prescrit de poser sous le bleu ou le vert la couleur dite *veneda*, mélange de noir et de « carbonate de calcium ».

In campo sub lazure et uiridi ponatur color qui dicitur ueneda, mixtus ex nigro et calce, super quem, cum siccus fuerit, ponatur in suo loco lazur tenuis cum oui mediolo abundanter aqua mixto temperatus, et super hunc iterum spissior propter decorem. Viride quoque misceatur cum suco et nigro.

[Théophile, trad. Dodwell 1961 : 13]

En effet, les sous-couches grises sont généralement composées d'un mélange de noir de carbone et de carbonate de calcium. L'association au blanc de plomb semble plus rare. On la rencontre sur le portail ouest de l'ancienne église de Mimizan (12^e siècle, Aquitaine) mais sous de l'azurite [Pallot-Frossard 2002 : 86]. Sous l'outremer, elle a été relevée sur les manteaux des Vierges auvergnates Morgan et Montvianex (bois, 12^e siècle ; conservées au *Metropolitan Museum of Art* de New York) [Kargère 2003 et 2012].

Les deux échantillons prélevés sur le linteau posent une difficulté particulière. Si visuellement le fond du linteau nous apparaît bleu, l'examen sous microscope des prélèvements révèle uniquement une couche picturale grise formée d'un mélange de cristaux blancs et de structures alvéolées noires (blanc de plomb et noir de charbon de bois comme les sous-couches des autres échantillons bleus, voir tab. III.12, p. 189). Aucun grain bleu n'est visible sous microscope (fig. III.13). Est-ce dû à

l'échantillonnage, à l'usure de la couche picturale ou s'agit-il d'un effet optique délibéré ? Cet effet est fréquemment nommé « faux-bleu ».

La cyanotropie est responsable de la couleur bleuâtre des couches grises en raison de la diffusion préférentielle des courtes longueurs d'ondes bleues par les pigments blancs et l'absorption uniforme dans tout le spectre du noir de carbone, lui-même d'apparence légèrement bleutée [Brill 1980, Howard 2003].

Le « faux bleu », composé uniquement de noir de carbone et de blanc et utilisé comme matière colorante bleue, est relativement fréquent en peinture [Plesters 1968] mais il est loin d'être toujours publié selon P. Hugon¹¹. Les fragments d'enduits peints romans mis au jour par Conant dans le chœur de Cluny III, à proximité de l'ancienne abside de Cluny II, et les peintures de la chapelle-des-Moines de Berzé-la-Ville¹² utilisent le gris comme substitut du bleu de lapis-lazuli : seuls quelques plis gris et bleus donnent l'illusion d'un vêtement entièrement bleu [Rollier-Hanselmann 2011]. Une étude, en cours, sur les bleus des peintures du Sud-Ouest de la France (12^e-14^e siècle) a déjà répertorié de nombreux sites où les peintres ont eu recours à ce gris-bleu [Daniel *et al.* 2012]. L'Europe médiévale n'est pas la seule concernée. On le rencontre par exemple dans l'art mural mochica entre le 3^e et le 9^e siècle ap. J.-C. (mélange de carbonate de calcium et de charbon de bois) [Wright 2007], à Sainte-Sophie de Trébizonde (actuelle Turquie) [Plesters 1968]...

Il peut avoir été choisi pour sa nuance particulière, par souci d'économie, ou dans le cadre d'une hiérarchisation des matériaux [Gage 1993 : 130].

Les peintures murales de l'église Saint-Nicolas de Nogaro¹³ (Gers, fin 11^e siècle) nous en offrent une démonstration. Les différents bleus sont utilisés en fonction de leur coût sur les éléments iconographiques : le Christ est paré de lapis-lazuli, sa mandorle de bleu d'azurite et un des symboles du tétramorphe d'aérinite, terre naturelle locale (Nord de l'Espagne) [Daniel *et al.* 2008].

¹¹ Commentaire réalisé lors de la table-ronde « Peinture murale. Couleurs mélangées, de l'Antiquité au Moyen Âge », 4-5 juin 2010, Centre d'études médiévales d'Auxerre.

¹² La chapelle-des-Moines, d'obédience clunisienne et chère à l'abbé Hugues de Semur, est dotée de peintures romanes exceptionnelles (1^{er} tiers du 12^e siècle) où le Christ en Majesté siège au centre des apôtres auxquels il remet la Loi.

¹³ *Maestas Domini*, cul-de-four de l'absidiole sud du chœur.

En ce qui concerne le linteau de Cluny, il est difficile de déterminer s'il s'agit réellement de faux bleu. La couche picturale peut avoir disparu (vieillesse, enfouissement, brossage), mais si l'on considère le bleu comme la couleur de la lumière divine, il ne serait pas étonnant que la couleur du linteau soit différente de celle du tympan et de l'archivolte (cours céleste). D'autant plus que le fond du linteau semble par la suite avoir été repeint en vert (voir BDX 13339, fig. III.13, p. 139), contrairement aux autres surfaces d'inscription des personnages où le parti coloré reste identique et seul le pigment change. À ce titre, les échantillons bleus des niches des anges de l'archivolte (BDX 13361, 13368 et 13995) mettent en évidence un repeint d'azurite (fig. III.30 et tab. III.12, p. 189).

L'azurite est moins lumineuse que le lapis-lazuli. Elle est également moins coûteuse, sans doute en raison de son extraction dans les monts d'Allemagne et de Bohême [Roy 1993]. L'azurite se distingue assez aisément de l'outremer par sa couleur et sa texture (fig. III.31) ; son broyage est nécessairement grossier de manière à obtenir une couleur intense, mais broyée trop gross, elle se mêle difficilement au liant et donne une peinture granuleuse [Roy 1993].

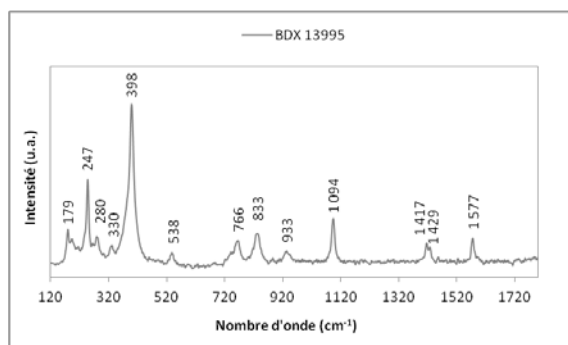


Figure III.30 – Cluny, grand portail, BDX 13995 (archivolte). Spectre Raman obtenu pour un grain bleu clair du repeint. Les bandes de vibration sont caractéristiques de l'azurite. © S. Castandet – CRP2A

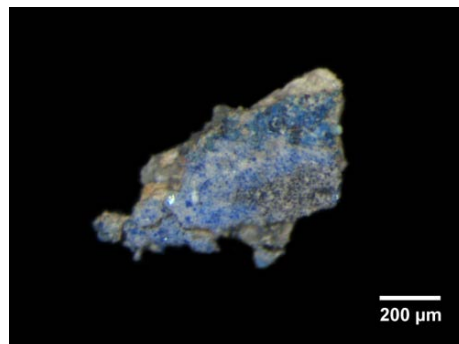
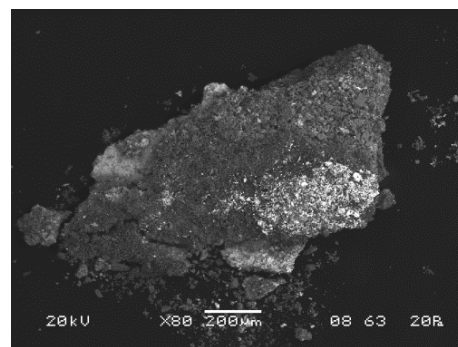


Figure III.31 – Cluny, grand portail, BDX 13368 (archivolte). Images LN et MEB permettant de distinguer la couche picturale de lapis-lazuli du repeint d'azurite au broyage grossier. © S. Castandet



Les peintures de l'abside de la chapelle-des-moines de Berzé-la-Ville (fig. III.32) présentent également des repeints azurite sur les éléments initialement en lapis-lazuli [Rollier-Hanselmann 2009].



Figure III.32 – Berzé-la-Ville. Peinture du cul-de-four de la chapelle des moines. © G. Lemeunier / Académie de Mâcon

III.2.3.3. Rouge et vert juxtaposés

Le rouge et le vert, juxtaposés, sont largement utilisés pour le cadre architectural et les décors végétaux. Cette association de couleurs, très fréquente au Moyen Âge [Pastoureau 2000] et récurrente dans les portails [Steyaert 1997], permet de rythmer les éléments.

Un examen macroscopique des fragments nous permet d'observer un système de coloration simple qui s'inverse selon le type de décors. D'une manière générale, l'ensemble des acanthes que nous avons pu examiner sont de couleur verte sur un fond rouge alors que les rosettes sont peintes en rouge et se détachent sur un fond vert (tab. III.9).

Cette assertion doit toutefois être nuancée. En effet, la voussure d'acanthes ne recoupe nos observations que par l'examen d'un petit fragment (fig. III.37) qui pourrait correspondre à l'extrémité d'une feuille d'acanthes de cette voussure [Salvègue 2012], mais dont l'attribution pourrait être remise en question. De plus, en raison de restes polychromes particulièrement ténus, il est difficile de proposer, pour le deuxième piédroit, une restitution colorée qui pourrait alors masquer toute subtilité chromatique.

En effet, l'état actuel des fragments ne nous permet ni d'infirmer ni de corroborer la description d'H. Kleinschmidt qui présente les rosettes de ce piédroit comme alternativement rouges et jaunes avec des centres contrastés verts, jaunes ou rouges [Kleinschmidt 1970]. Une alternance chromatique est possible comme le montre la frise de rosettes ornant la nef de la cathédrale Saint-Lazare d'Autun (fig. III.36).

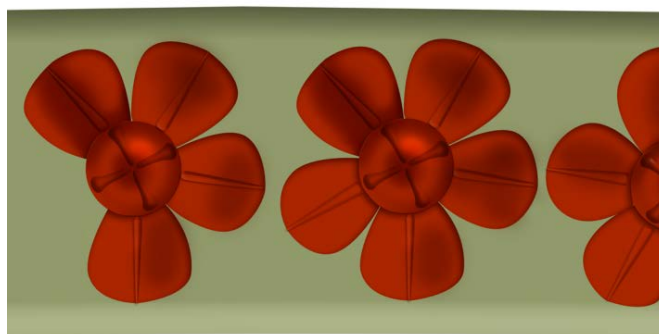
On peut alors se poser la question de l'homogénéité des rosettes de la première voussure. Les fragments de corolles et de boutons que nous avons pu observer sont tous rouge vif (fig. III.34) alors qu'H. Kleinschmidt décrit les fleurs parées de rouge mais leur centre rouge ou jaune [Kleinschmidt 1970], comme on peut l'observer sur le fragment de l'alfiz conservé au Glencairn Museum (fig. III.35). Y avait-il véritablement une alternance ? Ou certains centres ont-ils perdu leur couche picturale ?

Tableau III.9 – Cluny grand portail. Tableau synthétisant les différents éléments végétaux et leur couleur.

Motif végétal vert sur fond rouge	Motif végétal rouge sur fond vert
Acanthes de la frise encadrant la porte (piédroit et linteau) (fig. III.34)	Rosettes du 2 ^e piédroit (fig. III.10)
Rinceaux du 1 ^{er} piédroit (fig. III.34)	Rosettes sur cannelure de la 1 ^{re} voussure (fig. III.35)
Acanthes de la 3 ^e voussure (?) (fig. III.38)	Rosettes de l'alfiz (fig. III.36)



Figure III.33 – Cluny, grand portail. Fragment du premier piédroit (46 x 42 cm) et restitution colorée établie d'après les restes polychromes. © S. Castandet et A. Mazuir – Arts et Métiers ParisTech



III.34 – Cluny, grand portail. Fragments de la voussure des rosettes (28 x 33 cm) et restitution colorée (phase 2) établie d'après les restes polychromes © S. Castandet et A. Mazuir – Arts et Métiers ParisTech



III.35 – Cluny, grand portail. Fragment de l'alfiz conservé au Glencairn Museum (Pennsylvanie, États-Unis) présentant une rosette aux pétales rouges (inv. 09 SP 144).

© Maxwell – Glencairn Museum, in Salvègue 2012



III.36 – Autun (71), cathédrale Saint-Lazare. Détail de la frise de rosettes située sous le triforium aveugle de la nef (mur nord). On peut remarquer le jeu d'alternance des polychromies entre les fonds, les corolles et les boutons fermés des rosettes, ainsi que d'une fleur à l'autre. © S. Castandet

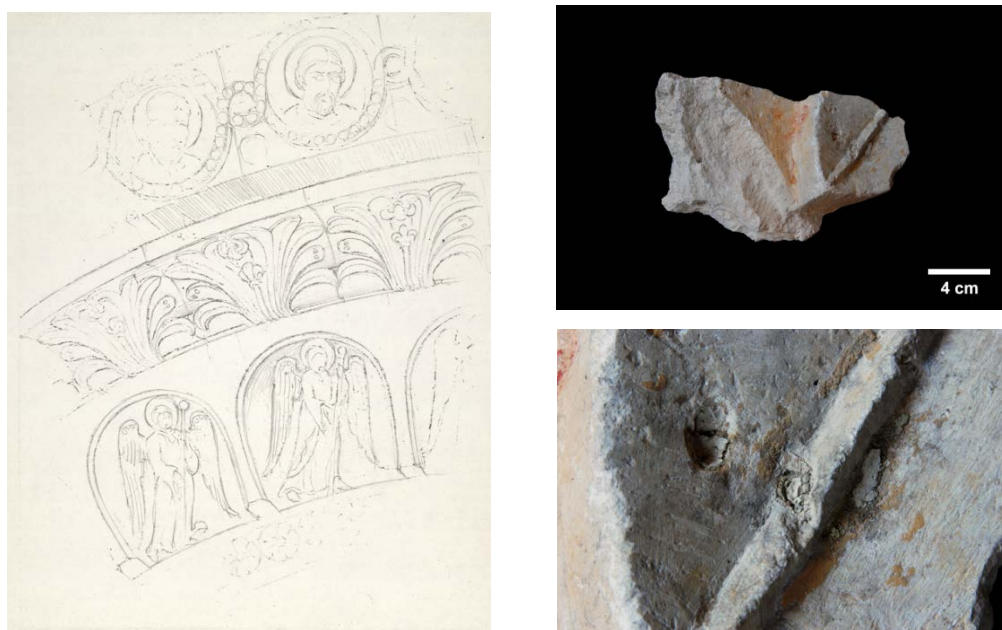


Figure III.37 – Cluny, grand portail, archivolt.

À gauche, dessin de K.J. Conant représentant les voussures ornées de l'archivolte (de bas en haut : rosettes, anges, acanthes, vieillards). © Musée d'Art et d'Archéologie de Cluny / CEC

À droite, fragment de feuillage (n° inv. 212.4), pouvant appartenir à la voussure d'acanthes et détail de la feuille dont les restes polychromes verts se détachent sur un fond rouge. © S. Castandet

III.2.3.4. Rouges

Les analyses élémentaires ont montré que le rouge vif utilisé est à base de sulfure de mercure, HgS (tab. III.12, p. 190-197). Il s'agit de cinabre ou de son équivalent synthétique le vermillon (fig. III.38). Utilisé comme couche picturale, le vermillon est nuancé par la présence de minium (fig. III.39 et tab. III.12) de couleur orange vif, soit en sous-couche, soit en mélange. Le minium pouvait servir de fraude tant pour le cinabre que pour le vermillon [Pline 1983] et également de siccatif dans le cas d'une technique à l'huile. Au vu de son utilisation en sous-couche, certainement pour apporter des nuances, des effets colorés, on peut penser qu'ils ont été mélangés dans le même dessin.

Outre les décors végétaux, le cinabre pourrait avoir été utilisé pour le manteau du Christ. En effet, sur le bloc comprenant le bas de la mandorle et des nuées (n° inv. 1033), la partie jouxtant la gaufrure présente des restes de polychromie rouge vif (fig. III.15 - BDX 13982 et fig. III.40). D'après K.J. Conant, il pourrait s'agir d'une

partie du manteau du Christ [Conant 1968 : 163]. Le vermillon est ici parsemé de grains orange de minium (tab. III.12). Le manteau du Christ devait ainsi se distinguer, par sa préciosité et son éclat, des vêtements et des ailes ocre rouge des anges de l'archivolte¹⁴.

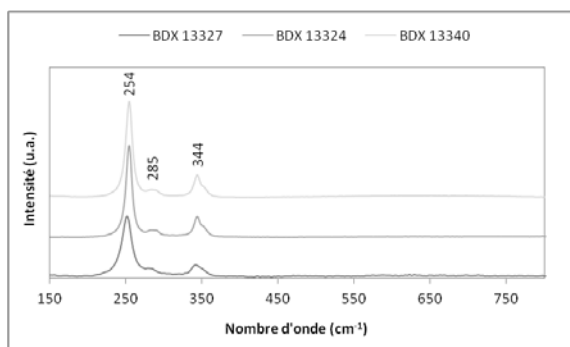


Figure III.38 – Cluny, grand portail, BDX 13324 (piédroit), BDX 13327 (piédroit) et BDX 13340 (linteau). Spectres Raman obtenus pour des grains rouge vif. Les bandes de vibration sont caractéristiques du vermillon (ou cinabre). © S. Castandet – CRP2A

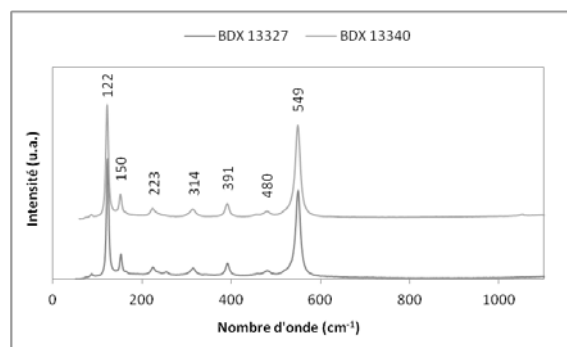


Figure III.39 – Cluny, grand portail, BDX 13327 (piédroit) et BDX 13340 (linteau). Spectres Raman obtenus pour des grains orange. Les bandes de vibration sont caractéristiques du minium. © S. Castandet – CRP2A

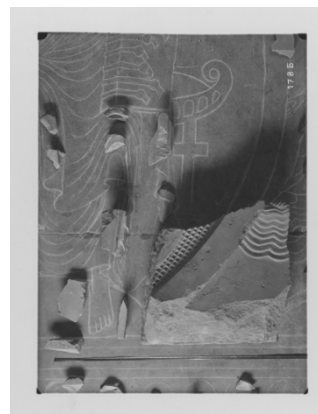
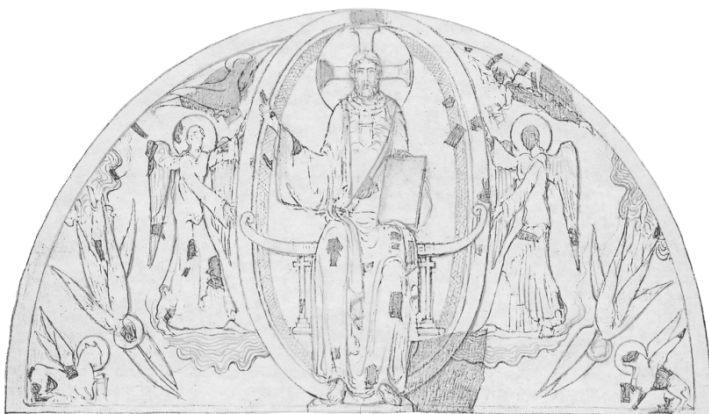


Figure III.40 – Cluny, grand portail. Essai de restitution du tympan, dessin et photographie de K.J. Conant. © Musée d'Art et d'Archéologie de Cluny / CEC

¹⁴ Nous n'avons pas de données quant aux anges du tympan et aux apôtres du linteau.

III.2.3.5. Verts

Bien que les couches picturales vertes apparaissent souvent ternes voire grisâtres, sans doute en raison de l'enfouissement des fragments, les coupes stratigraphiques les révèlent plutôt vives, constituées essentiellement de cristaux verts et jaune vif. La matière picturale jaune, dont la proportion plus ou moins importante influe sur l'intensité chromatique de la couche picturale, présente une texture fine et homogène. À l'inverse, on discerne pour la matière picturale verte différents types de cristaux. Des cristaux très saturés en vert dont certains peuvent mesurer jusqu'à 150 μm de diamètre, et d'autres plus clairs de diverses nuances (fig. III.41).



Fig. III.41 – Cluny, grand portail, BDX₁₃₃₂₉. Image LN (détail) de la coupe stratigraphique d'un prélèvement effectué sur une feuille d'acanthé mettant en évidence l'hétérogénéité de la matière picturale verte.

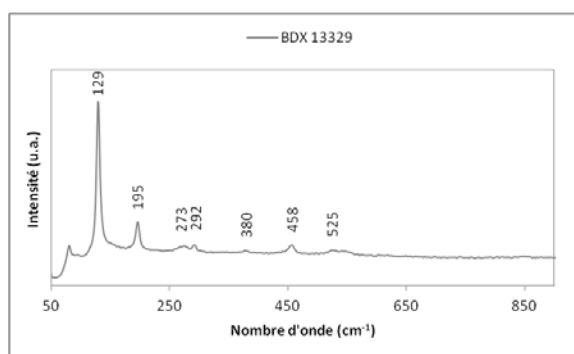


Fig. III.42 – Cluny, grand portail, BDX₁₃₃₂₉ (feuille d'acanthé | piédroit ou linteau). Spectre Raman obtenu pour un grain jaune vif de la couche picturale verte. Les bandes de vibration sont caractéristiques du jaune de plomb-étain (type I).

L'analyse élémentaire de la matière picturale verte révèle la présence d'oxyde de cuivre (tab. III.12, p. 191-192), mais la microspectrométrie Raman n'a pas permis d'identifier l'agent chromogène. Les cristaux verts présentent une faible diffusion Raman et les très rares spectres obtenus n'ont aucune bande attribuable à la malachite, à l'atacamite ou au vert-de-gris, ce qui pourrait suggérer l'utilisation d'un résinate de cuivre [Verret et Stayaert 2002, Borgia *et al.* 2007]. Dans son bilan sur les analyses du LRMH des portails médiévaux français, Isabelle Pallot-Frossard mentionne pour les pigments verts utilisés, une fréquence de 50% pour le « vert de cuivre » [Pallot-Frossard 2002 : 79]. Ce constat dénote la difficulté d'identification des pigments verts.

En revanche, la matière picturale jaune a pu être déterminée. Il s'agit de jaune de plomb-étain (fig. III.42), pigment de synthèse utilisé entre le 14^e et le 18^e siècle. Il existe deux types de jaune de plomb-étain qui se différencient par la présence ou non de silice dans leur composition (type I : Pb_2SnO_4 et type II : $\text{Pb}[\text{Sn},\text{Si}]\text{O}_3$). Ces pigments dérivent de l'artisanat verrier et ont surtout été étudiés dans la peinture de chevalet où le type I apparaît dans le premier quart du 15^e siècle (voir les travaux de Kühn [1993b] et de Martin et Duval [1990]). Selon Anne-Solenn Le Hô et Sandrine Pagès-Camagna, le jaune de plomb-étain a été identifié dès 1300 en sculpture [Le Hô et Pagès-Camagna 2014 : 37].

Le type I, identifié à Cluny, est tout aussi lumineux que le type II, il est cependant plus simple à fabriquer et donc moins coûteux [Perego 2005 : 422]. Pallot-Frossard, dans son bilan sur les analyses du LRMH des portails médiévaux français n'a pas relevé la présence de ce pigment sur les 29 édifices des 12^e et 13^e siècles, ni sur les deux édifices des 14^e et 15^e siècles [Pallot-Frossard 2002]. Quant à Le Hô et Pagès-Camagna, elles mentionnent l'association vert de cuivre-jaune de plomb-étain en polychromie sur pierre afin de donner une teinte plus soutenue aux couches picturales vertes [Le Hô et Pagès-Camagna 2014 : 37-38].

L'identification du jaune de plomb-étain, qui a par ailleurs était utilisé au sein des polychromies d'éléments gothiques de l'abbatiale comme le portail occidental de l'avant-nef (annexe E) et les statues consoles de la chapelle Jean de Bourbon [Quard 2010], pose le problème de la datation des couches picturales vertes. Les échantillons verts appartenant au cadre architectural et aux motifs végétaux ont donc perdu leur polychromie d'origine, puisque ce pigment n'est pas attesté avant le 14^e siècle.

Ce repeint vert colore également les ailes de l'un des anges-atlantes soutenant le linteau et celles d'anges de l'archivolte, ainsi que leurs vêtements (fig. III.11 et III.17 et tab. III.12).

Les coupes stratigraphiques des échantillons BDX 14300 et 14301 appartenant tous deux à des plumes d'ailes d'anges de l'archivolte (fig. III.43), présentent une première couche picturale différente ; du vert (BDX 14300), composé d'oxyde de cuivre, et du

rouge (BDX 14301), vraisemblablement une ocre (tab. III.12, p. 192). Posée sur une préparation de blanc de plomb, cette première polychromie est suivie d'une nouvelle préparation à l'ocre jaune et au blanc de plomb recevant le trompeur vert au jaune de plomb-étain.

Le pigment au cuivre et l'ocre rouge pourraient ainsi correspondre à la polychromie romane, ou tout du moins à un état polychrome antérieur. Ces échantillons mettent également en évidence une diversité dans la coloration des ailes des différents anges, ce qui devait être également le cas des vêtements. En, effet, les fragments d'enduits peints romans mis au jour par Conant dans le chœur de Cluny III, à proximité de l'ancienne abside de Cluny II, ainsi que ceux mis au jour par G. Rollier à proximité de l'avant-nef révèlent un grand nombre de plis de vêtements de couleur rose, vert ou bleu [Rollier-Hanselmann 2011].

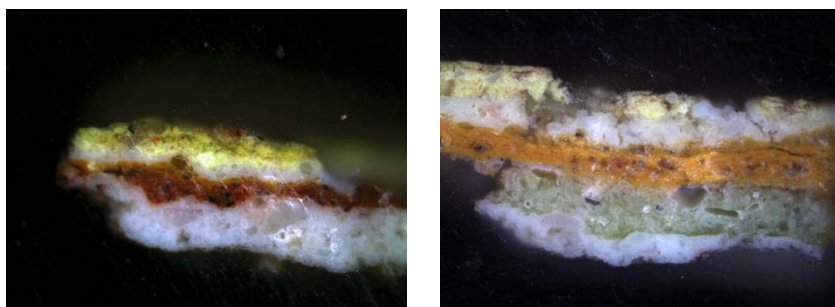


Figure III. 43 – Cluny, grand portail, BDX 14300 et 14301 (voussure anges). Images LN (gr. x200) des coupes stratigraphiques de prélèvements effectués sur des ailes mettant en évidence deux phases polychromes et la vraisemblable diversité de coloration des ailes. © S. Castandet – CRP2A

III.2.3.6. Rouge et or

Le schéma coloré rouge et vert du cadre architectural et des motifs végétaux reflète donc un état polychrome postérieur (après le début du 14^e siècle). Quelques échantillons nous laissent entrevoir le parti coloré initial (ou antérieur) comme le prélèvement effectué sur une feuille d'acanthé du linteau (BDX 13344), dont la coupe stratigraphique met en évidence une fine couche picturale rouge sous le repeint vert (fig. III.44). Mais en raison de la localisation du prélèvement (fig. III.12-13), on peut se

demander s'il s'agit des restes ténus d'une première phase colorée ou d'un débordement de la couche picturale du fond rouge.



Figure III 44 – Cluny, grand portail, BDX 13344 (linteau). Image LN (gr. x200) de la coupe stratigraphique du prélèvement effectué sur une feuille d'acanthé. Une première strate rouge vif est recouverte d'une seconde couche picturale verte. © S. Castandet – CRP2A

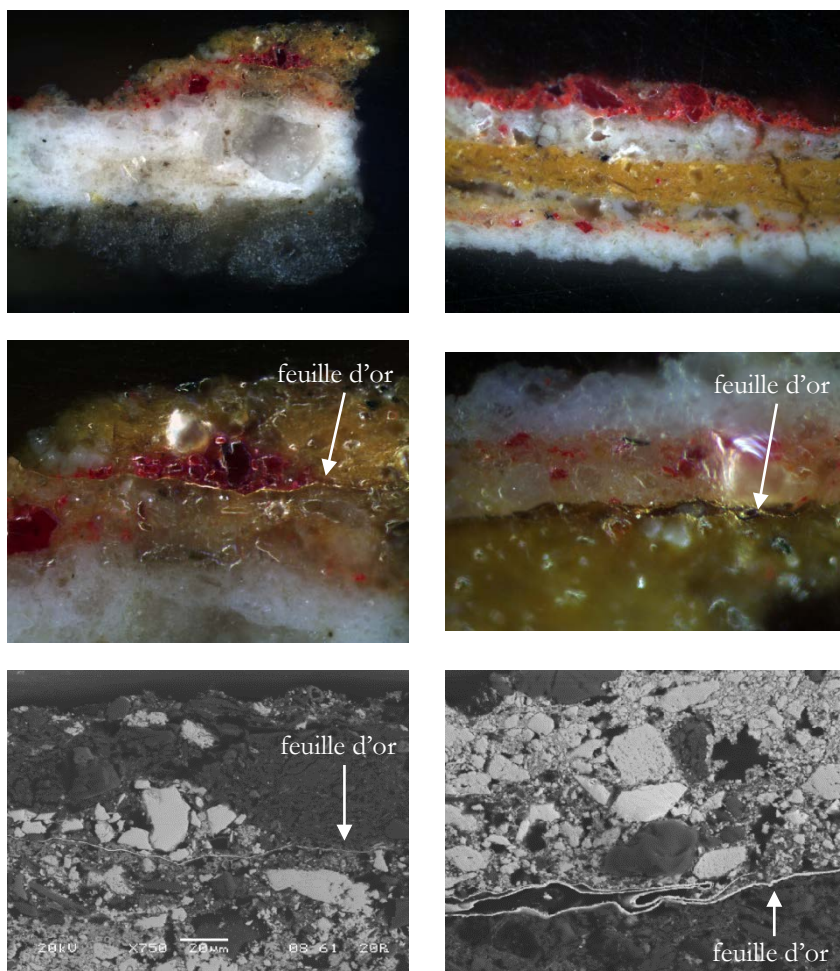


Figure III.45 – Cluny, grand portail, BDX 13983 et 14296 (archivolte). Images LN (gr. x200 puis x500) et images MEB (mode BSE, gr. x750) des coupes stratigraphiques de prélèvements effectués sur des rosettes. Les feuilles d'or du premier état polychrome sont recouvertes de différents repeints.

© S. Castandet – CRP2A

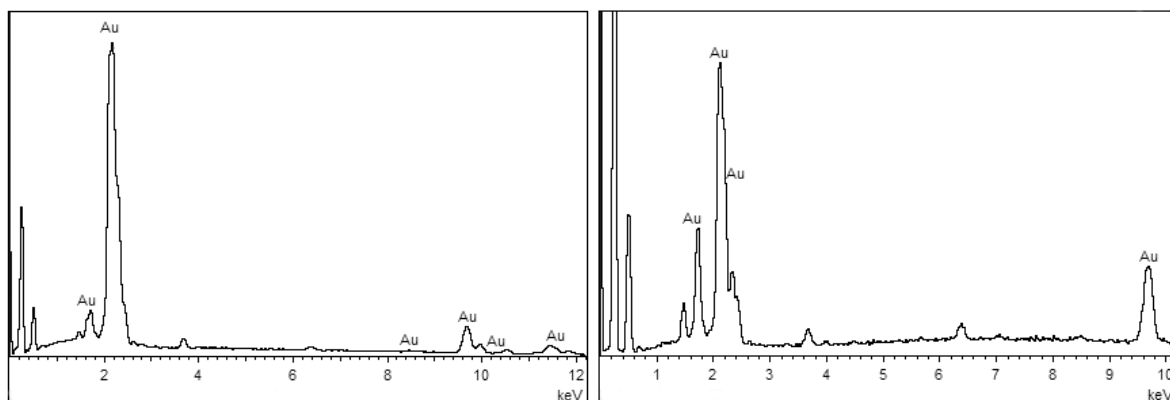


Figure III.46 – Cluny, grand portail, BDX 13983 et 14296 (archivolte). Spectres EDS obtenus pour les feuilles métalliques de rosettes. La présence de l'élément Au indique l'utilisation de feuilles d'or. © S. Castandet – CRP2A

En revanche, les coupes stratigraphiques des prélèvements effectués sur les rosettes de l'archivolte (BDX 13983 et 14296) nous livrent sans ambiguïté leur premier état polychrome. Les rosettes étaient recouvertes de feuilles d'or (fig. III.45-46 et tab. III.12).

On peut supposer que la cannelure support était alors rouge comme le laisse penser la photographie du fragment de rosette 1035.8 (fig. III.47) où une première couche picturale rouge apparaît sous une nouvelle préparation jaune recevant un repeint vert¹⁵. Ainsi, les rosettes parées d'or se détachaient sur un fond rouge (fig. III.48).



Figure III.47 – Cluny, grand portail, archivolte, fragment de la frise de rosettes (1035.8). Le fond présente une première couche picturale rouge sous la nouvelle préparation jaune et le repeint vert.

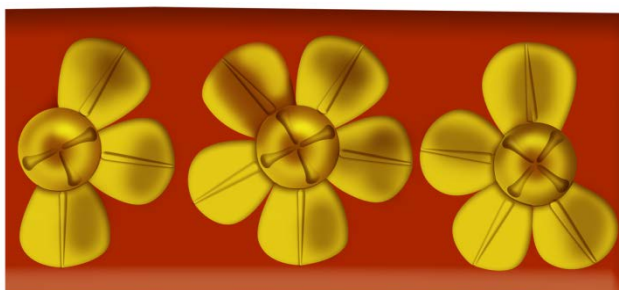


Figure III.48 – Cluny, grand portail, archivolte. Restitution de la première phase polychrome de la voussure des rosettes. Recouvertes d'or, elles se détachaient vraisemblablement sur un fond rouge vermillon.

© S. Castandet et A. Mazuir – Arts et Métiers ParisTech

¹⁵ Certains fragments n'ont pu faire l'objet de prélèvement et donc d'analyses en raison de leur déplacement pour restauration.

III.2.3.7. Figures

Les visages du Saint Pierre, d'un des vieillards de l'archivolte et plus particulièrement du soldat endormi nous laissent entrevoir la délicate teinte rosée employée pour les carnations (5 III.26 et III.49). Cette nuance résulte d'un mélange de blanc de plomb et de rouge vermillon (fig. III.50), ce qui est relativement fréquent [Le Hô et Pagès-Camagna 2014 : 37]. Les analyses effectuées au Fogg Museum sur le Saint Pierre (voir p. 155-156) démontrent également l'utilisation d'un mélange de blanc de plomb et de vermillon pour le rendu de sa carnation.

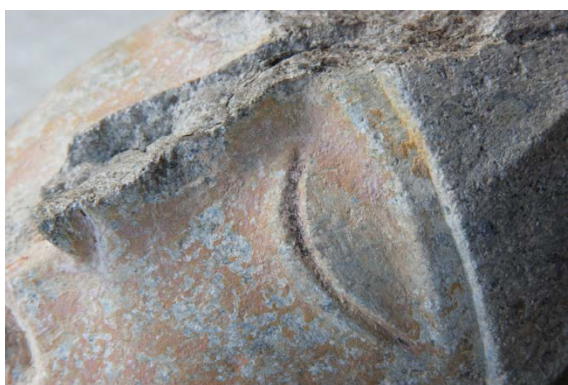


Figure III.49 – Cluny, grand portail, linteau. Détail du visage du soldat endormi. © S. Castandet

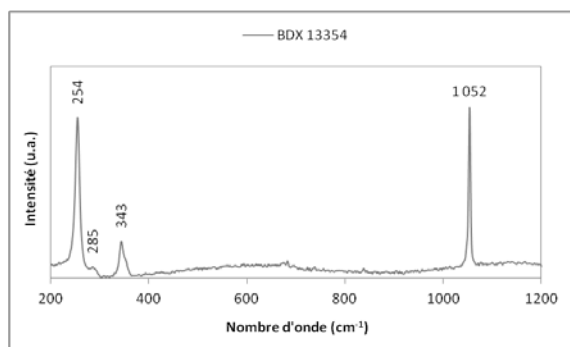


Figure III.50 – Cluny, grand portail, BDX₁₃₃₅₄. Spectre Raman obtenu pour la carnation du visage d'un vieillard. Les bandes de vibrations entre 200 et 400 cm^{-1} sont caractéristiques du vermillon, celle à 1052 cm^{-1} révèle la présence de blanc de plomb. © S. Castandet – CRP2A

Comme on peut le voir sur la photographie du visage du soldat endormi, son œil, clos, est souligné de noir (fig. III.49). Également utilisé pour les cheveux et les barbes des vieillards (fig. III.18) ainsi qu'en rehaut sur les vêtements des anges de l'archivolte (fig. III.17), il s'agit de noir de carbone (tab. III.12).

On observe un traitement différent des yeux sans pour autant pouvoir établir un schéma particulier. Le nombre de sculptures qui nous sont parvenues est trop faible, et celles conservant encore leurs yeux d'autant plus.

Certains personnages ont le centre de leurs yeux peint en noir (fig. III.51), d'autres les ont matérialisés par un trou de trépan (fig. III.18). Recevaient-ils alors une incrustation ? de plomb à l'instar des sculptures du chapiteau du Sacrifice d'Abraham (fig. III.52) et de bien d'autres, ou de pâte de verre bleue comme à la cathédrale Saint-Lazare d'Autun (fig. III.53) [Ullmann 2011] ?



Figure III.51 – Cluny, grand portail, archivolt, détail du visage d'un ange (n° inv. 2009.1.1). Les centres des yeux sont peints en noir. © S. Castandet



Figure III.52 – Cluny, chœur, chapiteau engagé du sacrifice d'Abraham (détail). Les yeux d'Isaac et de l'ange sont incrustés de plomb. © S. Castandet



Figure III.53 – Autun (71), cathédrale Saint-Lazare d'Autun, portail occidental, détails du Paradis (à gauche) et de l'Enfer (à droite). Les yeux des personnages sont incrustés de pâte de verre bleue. © G. Lemeunier

La présence d'or sur les cheveux de l'ange 246, vraisemblablement colorés à l'aide d'un mélange d'ocre rouge et de carbonate de calcium (BDX 13357, tab. III.12), nous laisse penser que l'ensemble des anges de l'archivolte possédaient une chevelure rehaussée du

lumineux métal. On peut alors présumer qu'il en va de même pour les chevelures des anges et du Christ appartenant à la lunette du tympan.

En ce qui concerne les cheveux de l'apôtre 232.11 A-B, outre le carbonate de calcium et l'ocre rouge, le noir de carbone a été utilisé ainsi que quelques touches de minium (BDX 13349, tab. III.12), mais il n'y a pas de trace d'éléments métalliques. Soit les cheveux des apôtres n'étaient pas dorés, soit la dorure a disparu.

III.2.3.8. Décors métalliques

Lors de l'étude d'une façade, d'un portail, les décors métalliques sont systématiquement recherchés. Lors du tri des fragments, un examen macroscopique nous a permis de repérer assez aisément les dorures¹⁶. Certains fragments présentaient des restes polychromes d'aspect gris-noir qui nous ont laissé penser à des feuilles métalliques gris-blanc altérées (fig. III.54a).

Les analyses élémentaires ont confirmé la présence d'or (fig. III.55) pour différents éléments de gaufre appartenant à la mandorle entourant le Christ, les pétales des rosettes de l'archivolte (phase 1), les nimbes des anges de l'archivolte et en rehaut sur leurs cheveux (tab. III.10 et III.11). Sur les six dorures analysées, seule celle de l'échantillon BDX 13980 présente l'utilisation de feuilles d'or allié en raison de la présence d'oxyde d'argent (2,11 % en AgO) (fig. III.55). L'utilisation d'or pur et d'or allié au sein de la mandorle correspond peut-être à la recherche d'une diversification des éclats métalliques¹⁷ pour mettre en valeur le Christ en majesté.

En ce qui concerne les échantillons gris-noir, leurs coupes stratigraphiques et leurs analyses par MEB-EDS ont permis de corroborer l'hypothèse de feuilles métalliques gris-blanc altérées. L'oxyde d'étain a été détecté pour l'ensemble de ces échantillons (fig. III.56). Oxydées en surface, les feuilles métalliques sont encore présentes, bien visibles en coupe (fig. III.54). Mesurant une vingtaine de microns, elles sont bien plus épaisses que les feuilles d'or, qui sont, elles, de l'ordre du micron.

¹⁶ Les ornements métalliques, fines couches de métal appliquées sous forme de feuilles ou en poudre, sont généralement désignés sous le terme « dorure » qui au sens large regroupe tout ce qui produit l'effet de l'or, matériau le plus apprécié.

¹⁷ L'or change de tonalité en fonction de sa composition.

Tableau III.10 – Cluny, grand portail. Localisation des différentes dorures analysées et interprétation de leur phase polychrome.

	Feuilles d'or	Phase polych.	Feuilles d'étain
Piédroits	-		2 Rosettes (BDX 13328)
Linteau	-		1 Nimbe ange-atlante (BDX 13360)
Tympan	Gaufrure mandorle (BDX 13980 et 14302)	1	1 (?) Nuées (BDX 13979)
			2 Gaufrure mandorle (BDX 13981)
			? Nimbe Christ (BDX 14962)
Voussures	Rosettes (BDX 13983 et 14296)	1	
	Cheveux ange (BDX 13357)	1	
	Nimbés ange (BDX 13362)	1	2 Nimbés ange (BDX 13999)

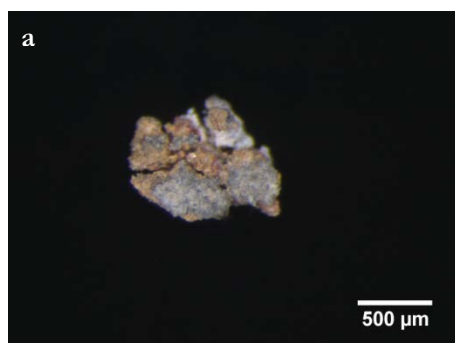
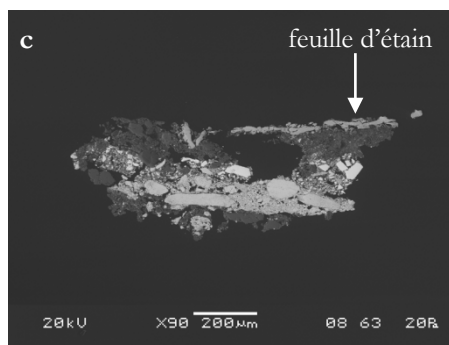
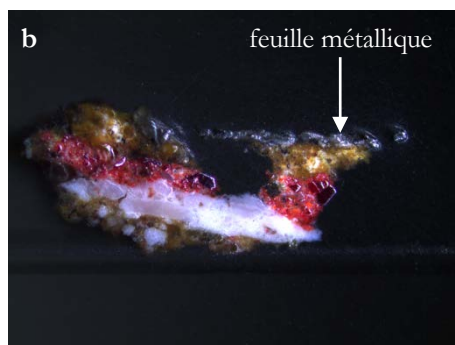


Figure III.54 – Cluny, grand portail, BDX 13981 (tympan, mandorle).

Images LN du prélèvement (a) et de sa coupe stratigraphique (gr. x100) (b).

(c) Image MEB (mode BSE) de la coupe stratigraphique.

© S. Castandet – CRP2A



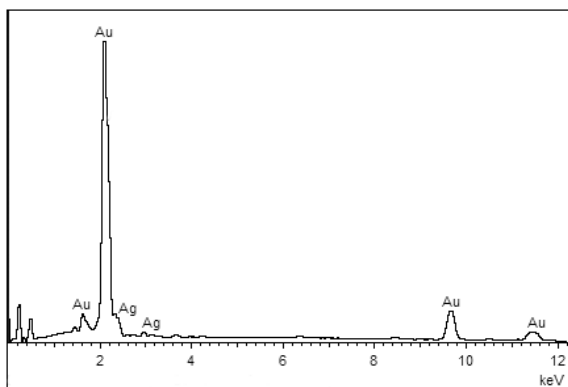


Figure III.56 – Cluny, grand portail, BDX 13980 (tympan, mandorle). Spectre EDS obtenu pour les feuilles métalliques rehaussant la gaufrure. La présence des éléments Au et Ag indiquent l'utilisation de feuilles d'or alliées. © S. Castandet – CRP2A

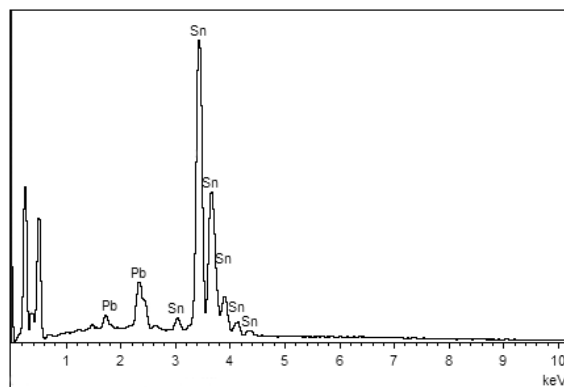


Figure III.55 – Cluny, grand portail, BDX 13981 (tympan, mandorle). Spectre EDS obtenu pour la feuille métallique rehaussant la gaufrure. La présence de l'élément Sn indique l'utilisation de feuilles d'étain. © S. Castandet – CRP2A

L'étain pouvait être employé en tant que tel (couleur gris-argent), selon une hiérarchie iconographique interne à la composition, ou comme substitut de l'or. Théophile (12^e s.) donne la recette de l'*auripetrum*, vernis dont la coloration jaune est due au safran et servant à « dorer » l'étain [Théophile, Livre I, Chapitre XXVI : *De modo colorandi tabulas stagnas tenuatas ut tanquam deaurata videantur, et ipsis possit uti loco auri quando aurum non habetur*].

Comme nous l'avons montré précédemment, certains sites présentent une hiérarchisation des matériaux selon l'iconographie ; les matériaux les plus coûteux et les plus prestigieux se retrouvent sur les personnages les plus importants [Mounier *et al.* 2010, Mounier 2010]. Pour le portail roman de Cluny, il est délicat de prétendre à une hiérarchisation des dorures, en particulier lorsque le nimbe du Christ est recouvert d'étain alors que les rosettes de l'archivolte étaient parées d'or. Certes, il s'agit du fond de l'auréole et la croix pattée pouvait alors être rehaussée d'or¹⁸. Mais certains éléments, telle la gaufrure de la mandorle, présentant à la fois des décors métalliques à l'or et à l'étain (tab. III.10), suggèrent une autre piste. L'examen des sous-couches nous pousse à penser qu'initialement l'ensemble du portail était doré à l'or et que lors d'une

¹⁸ Il est fréquent, tant en peinture murale et de manuscrits, que dans le vitrail, de voir la croix pattée se distinguer de l'auréole dans son coloris.

reprise des polychromies, l'étain (vernissé ?) fût alors choisi par souci d'économie (tab. III.10).

Dans le cas des échantillons de gaufrure, la sous-couche orangée est différente pour chacun des trois prélèvements. La base est le minium. Il est mélangé au blanc de plomb pour le BDX 13980, au blanc de plomb et vermillon pour le BDX 14302 et au vermillon pour le BDX 13981 (tab. III.12, p. 194-195). La variation des sous-couches n'est pas forcément surprenante au sein d'un même élément comme nous avons pu le voir précédemment. La finesse des feuilles d'or tend à laisser la sous-couche colorée en modifier le reflet et ce phénomène s'accroît dès l'apparition d'usures. Il s'agissait peut-être ici d'apporter des variations de tonalité au sein de la gaufrure comme le suggère l'utilisation conjointe de feuille d'or alliée (BDX 13980) et de feuille d'or pur. Pour les deux échantillons ornés de feuilles d'or, ces dernières viennent recouvrir directement la sous-couche colorée, alors qu'une couche d'ocre jaune s'interpose entre la sous-couche et la feuille métallique pour l'échantillon doré à l'étain et vient recouvrir la feuille d'or du prélèvement BDX 14302 (tab. III.12). Nous pensons donc que l'or reflète une « première » phase polychrome et l'étain une postérieure.

Cette assertion pourrait être contestée par le traitement des nuées (BDX 13979). La stratigraphie de l'échantillon laisse penser que le décor métallique à l'étain appartient à la première phase polychrome (tab. III.12). S'agit-il alors d'une analogie avec la couleur des nuages ? Les stratigraphies peuvent parfois être difficiles à interpréter. Comme pour le fragment de rosette 1034.50 (BDX 14296 et 13987 – tab. III.12, p. 196-197), elles peuvent différer selon la zone prélevée. Parfois, on ne retrouve pas les couches originales. Ainsi, la feuille métallique d'étain pourrait avoir été appliquée lors d'une campagne de repeint ; cette supposition impliquant que la polychromie originale de cette zone ait totalement disparu.

En ce qui concerne la lunette du tympan, le peu d'éléments conservés nous laisse un vaste champ d'hypothèses quant à l'apposition d'ornements métalliques ou non. Souvent, l'or sert à rehausser l'éclat des vêtements ou à souligner la valeur symbolique de certaines parties anatomiques, telle la tête. On peut alors supposer que les nimbes des anges et des symboles du tétramorphe voire leurs cheveux ainsi que ceux du Christ

et ses orfrois étaient dorés. Les auréoles des apôtres du linteau étaient dorées également. Deux fragments de nimbe comportent vraisemblablement des traces de dorure à l'or (1042.29) et de dorure à l'étain (1036.1). Ces ornements métalliques étaient tous deux apposés sur une sous-couche rouge vif de type vermillon¹⁹.

Différents textes du 18^e siècle et du début du 19^e siècle évoquent pour la peinture de l'abside de Cluny III l'utilisation d'ornements métalliques et de mosaïque, mais souvent de manière imprécise. Une description, relativement fiable, nous permet d'imaginer l'espace entourant le Christ et ceint par la mandorle orné d'étoiles dorées : « Le fond de l'ellipse est en jaune d'ocre, parsemé d'étoiles d'or ou dorés, les gloires des Saints sont de mini[um] ; les draperies sont bleu rehaussées de rouge, la bordure de l'ellipse est et le siège du Sauveur sont en Mosaïque, ainsi que tous les ornements qui font parties de cette peinture. » [Stratford 2011]. Ces étoiles ne sont pas sans rappeler les peintures du cul-de-four des édifices clunisiens romans de Saint-Marcel-lès-Sauzet (fig. III.57) [Reveyron 2009] ou de Berzé-la-Ville (fig. III.32). À Berzé, il est difficile de déterminer si la série « d'empreintes » entourant le Christ et mettant au jour l'enduit recevait des incrustations métalliques ou de verre²⁰ [Rollier-Hanselmann 2011].



Figure III.57 – Saint-Marcel-lès-Sauzet, Rhône-Alpes, ancienne priorale Saint-Marcel (12^e s.), pseudo-déisis peinte dans le cul-de-four. Photographies pendant le dégagement et après restauration des peintures. © Atelier Paillard-Boyer

¹⁹ Ajoutés tardivement au corpus du linteau, ces fragments n'ont pu faire l'objet d'analyses.

²⁰ L'utilisation de cabochons de verre est illustrée à la cathédrale de Nevers où ils sont incrustés dans la mandorle [Christe, 1993].

III.2.3.9. Liants

Des analyses par IRTF ont été entreprises afin d'essayer de déterminer la nature des liants présents dans les couches picturales afin d'appréhender les techniques de peinture et de dorure utilisées. Une dizaine d'échantillons ont fait l'objet d'analyses pour le portail roman, principalement ceux comportant des décors métalliques.

Seuls les spectres de quatre échantillons sont présentés, les autres n'apportant des informations que sur les matériaux inorganiques. Il s'agit d'échantillons de vert, un appartenant aux acanthes de la frise encadrant la porte (BDX 13329), l'autre au fond recevant les rosettes de l'archivolte (BDX 13984), ainsi que de dorures appartenant aux rosettes du deuxième piédroit (BDX 13328) et de l'archivolte (BDX 13987).

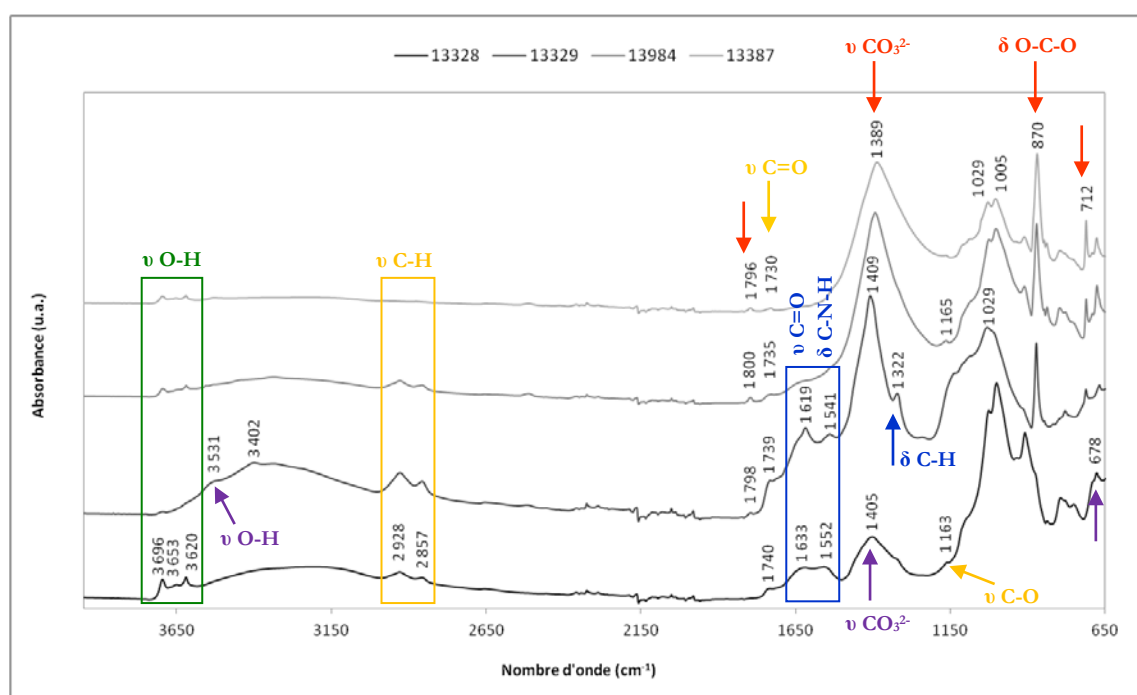


Figure III.58 – Cluny, grand portail. Spectres infrarouge obtenus sur des échantillons appartenant à une rosette du deuxième piédroit (BDX 13328), aux acanthes de la frise encadrant la porte (BDX 13329) et aux rosettes de l'archivolte (BDX 13984 et 13987).

Bandes de vibrations caractéristiques du kaolin en *rose*, du blanc de plomb en *violet*, de la calcite en *orange*, des lipides en *jaune*, des protéines en *bleu*.

Les spectres obtenus comportent les bandes de vibrations caractéristiques de différents matériaux inorganiques (fig. III.58). L'épaule vers 3531 cm⁻¹ (ν O-H) et

l'absorption vers 678 cm^{-1} et 1405 cm^{-1} ($\nu\text{ CO}_3^{2-}$) indiquent la présence de blanc de plomb (carbonate de plomb). Le kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), argile blanche, est présent pour trois des échantillons ($\nu\text{ C-H}$ entre 3690 et 3600 cm^{-1}). Il est lié à l'utilisation d'ocre jaune²¹ dans les couches préparatoires. Enfin, les bandes d'élongation $\nu\text{ C-O}$ des anions CO_3^{2-} vers 1389 cm^{-1} et de déformation $\delta\text{ O-C-O}$ vers 870 cm^{-1} sont caractéristiques de la calcite (carbonate de calcium) ; les bandes de vibration autour de 1796 et 712 cm^{-1} peuvent également indiquer sa présence [Vahur 2010].

Les bandes d'absorption entre 3000 et 2750 cm^{-1} sont caractéristiques de la présence de matériaux organiques [Bertrand et Dufour 2000]. Cependant leur signal est atténué par les éléments minéraux entrant dans la composition du prélèvement, notamment la calcite. Il est donc difficile, voire impossible, de déterminer la nature exacte des liants utilisés.

Les polychromies et les dorures des rosettes de l'archivolte (BDX 13984 et 13987) semblent avoir été réalisées à l'aide d'une technique à l'huile. En effet, les bandes de vibrations $\nu\text{ C-H}$ vers 2928 et 2857 cm^{-1} , $\nu\text{ C=O}$ vers 1735 cm^{-1} , et $\nu\text{ C=O}$ vers 1163 cm^{-1} sont caractéristiques des lipides. Le choix d'un liant lipidique n'est pas surprenant, la technique à la détrempe étant plus fragile, en particulier en extérieur.

Les spectres des deux autres prélèvements sont plus complexes à interpréter. On retrouve les bandes de vibrations caractéristiques des lipides ainsi que trois bandes de vibrations indiquant la présence d'un liant de nature protéique (vers 1619 , 1541 et 1322 cm^{-1} , attribuables respectivement aux bandes d'élongation $\nu\text{ C=O}$ et de déformation $\delta\text{ C-N-H}$ et $\delta\text{ C-H}$) [Derrick *et al.* 1999, Vahur 2010]. Bien que Meilunas, Bentsen et Steinberg [1990] attribuent les bandes vers 1622 et 1537 cm^{-1} à l'action du blanc de plomb lors du séchage de l'huile de lin, nous n'avons pas obtenu ces bandes lors de l'analyse de créations de dorure à la mixtion [Castandet 2008, Mounier 2010].

²¹ Les ocres jaunes sont des terres argileuses naturelles riches en fer dont la phase colorée est principalement constituée d'hydroxydes ferriques, notamment la goéthite ($\alpha\text{-FeOOH}$).

La présence conjointe des bandes de vibration des lipides et des protéines n'est pas invraisemblable. Mais le mode ATR, qui ne permet pas de distinguer les différentes strates des prélèvements, ne nous permet que de proposer des conjectures telles :

- l'utilisation d'un liant contenant à la fois des lipides et des protéines comme le jaune d'œuf ;
- le mélange de liants de différente nature, émulsion huile-jaune d'œuf par exemple ;
- l'utilisation de liants de nature différente dans des strates distinctes. Une couche d'isolation (bouche-pores) de nature protéinique pouvait d'abord être appliquée puis la couche d'adhésif telle qu'un mordant de type huileux dans le cas des dorures, ou inversement ;
- des repeints mettant en œuvre des liants de nature différente. Bien que prévue dans le projet initial [Baud 2003], il est peu probable que l'avant-nef, construite entre 1145 et 1225, ait influencé les techniques de peintures et de dorures du portail roman. En revanche, après sa construction, des repeints ont alors pu être réalisés à la détrempe, le portail roman étant alors protégé des intempéries.

L'identification de l'oxyde de plomb dans de très nombreuses couches picturales – caractérisées par l'absence de pigment au plomb (tab. III.12), tend à corroborer l'hypothèse d'une technique à l'huile. L'oxyde de plomb est alors employé comme siccatif.

III.3. BILAN SUR LES POLYCHROMIES DU GRAND PORTAIL

Les analyses physico-chimiques des fragments lapidaires ont permis d'identifier les techniques et les différents matériaux mis en œuvre dans la décoration du portail roman. Certaines observations sont sans surprise. L'utilisation du blanc de plomb en couche préparatoire (84 % des échantillons analysés) est fréquente, de même que le rendu des carnations par le mélange de blanc de plomb et de vermillon, ou l'application, pour le lapis-lazuli, d'une sous-couche grise. Cette dernière pouvait

trompeusement imiter une couche picturale bleue, et les « faux bleu » sont loin d'être anecdotiques.

D'autres détails sont moins fréquents ou dérogent au leitmotiv observé sur l'ensemble du portail. Ils concernent la composition de cette couche grise, mélange de blanc de plomb et de noir de charbon de bois, et la préparation ocre jaune que l'on retrouve uniquement sur les piédroits.

On peut également noter le raffinement apporté à la mise en couleur du portail par l'utilisation de matériaux précieux. L'or est employé abondamment, y compris sur le décor végétal (rosettes de l'archivolte). On remarque qu'un jeu de nuances a été apporté au rendu métallique par le recours aux alliages ou aux sous-couches différentes au sein d'un même élément comme la gaufrure de la mandorle. Le lapis-lazuli recouvre l'ensemble des surfaces d'inscription des figures du linteau, du tympan et de l'archivolte. Or souvent, le lapis-lazuli, en raison de son prix, concerne des petites surfaces, des zones de l'œuvre que l'on veut mettre en valeur [Pastoureau, 2000].

Un détail récemment mis en lumière vient compléter ce panorama : le taureau de saint Luc était orné de petites cornes en marbre blanc [Salvègue 2012 : 58]. Le marbre, lisse et blanc, est un matériau lumineux, sans doute employé en référence à l'antiquité. Il est intéressant de rappeler que les chapiteaux du rond-point du chœur, généralement cités parmi les créations majeures de l'art roman, étaient supportés par des colonnes de marbre antiques réemployées.

Mais la rareté des restes colorés rend parfois difficile l'évaluation du rôle des matériaux. Nous n'avons qu'un aperçu, souvent incomplet, de la composition colorée du portail. Il peut donc être difficile de parler de hiérarchisation des matériaux lorsque, par exemple, le rouge vermillon du manteau du Christ se retrouve sur les fonds des ornements, ou que son nimbe est orné d'étain...

En revanche, certains matériaux et l'étude des stratigraphies ont permis de mettre en évidence différentes phases polychromes (tab. III.11). Une nouvelle phase polychrome est indéniable lorsqu'est employé le jaune de plomb-étain, même s'il est présent dans la seule couche picturale encore conservée, en raison de son utilisation récente (à partir du 14^e siècle). Ainsi, certains éléments ont perdu leur polychromie d'origine.

Quatre phases ont pu être observées : une première polychromie vraisemblablement originale et romane fait place à une deuxième mise en couleur vraisemblablement gothique. Certains échantillons présentent une couche de blanc de plomb ou d'ocre jaune qui aurait pu servir de préparation à une troisième polychromie dont nous n'avons aucune trace. Enfin la polychromie très vive du grand portail fut recouverte, probablement à deux époques différentes, de deux couches relativement épaisses de badigeon de chaux blanches²².

Il convient de rappeler que le portail roman a été mis en place vers 1120, période suivie par la longue construction de l'avant-nef, dont le chantier débute vers 1125-1135 et s'achève avec l'édification de la façade dans le troisième quart du 13^e siècle [Stratford 2012 : 16-17]. Au moment de la réalisation de la façade gothique, une reprise du portail roman est probablement intervenue pour le dégager de la poussière et raviver ses couleurs. Il en fut ainsi à la cathédrale de Bourges, où un premier portail coloré vers 1225, fut ravivé trente ans plus tard, au moment de l'achèvement des portails de la façade occidentale [Rossi-Manaresi 2002 : 59].

En ce qui concerne les repeints colorés, l'économie semble être le maître-mot. L'azurite recouvre le lapis-lazuli, les rosettes du tympan alors parées d'or deviennent rouge vermillon, et l'étain remplace l'or. Si cette reprise est contemporaine de la mise en couleur du portail gothique de l'avant-nef, ce dernier a peut-être été privilégié puisque les fragments de la grande rose comportent de l'or sur leurs motifs végétaux (voir annexe E).

En ce qui concerne les techniques picturales, l'analyse des liants par spectroscopie infrarouge (IRTF) n'est pas vraiment concluante, en particulier dans le cas de la présence conjointe des bandes de vibrations caractéristiques des lipides et des protéines. Une analyse par μ -IRTF sur coupe stratigraphique pourrait peut-être permettre de voir si une ou plusieurs couches comportent des liants et s'il s'agit de différents liants sur différentes couches ou d'un mélange de liants dans une seule couche.

²² L'étude du bâti du grand transept sud réalisée par A. Baud permet de mettre en évidence qu'au cours des grands travaux de rénovations du 18^e siècle, ce dernier et probablement l'église toute entière sont rafraîchis d'un badigeon blanc, et que plusieurs campagnes de badigeon avaient précédé cette grande rénovation [Baud 2003].

En substance, on peut noter la présence de lipides dans l'ensemble des échantillons présentés et d'oxyde de plomb (siccatif) dans de nombreuses couches picturales (MEB-EDS). Des techniques à l'huile pour les polychromies et pour les dorures (mixtion) sont tout à fait logiques en extérieur. Protégé par la suite par l'avant-nef, le grand portail aurait alors pu faire l'objet de repeints à la détrempe ?

Tableau III.11 - Les différentes phases polychromes observées et leurs marqueurs.

	Observations	Marqueurs
Phase 4	Blanchiment du portail (33 % des échantillons)	Badigeon de chaux
Phase 3	Préparation pour une nouvelle polychromie qui aurait disparu ? (12 % des éch.)	Blanc de plomb (BDX 13998) Badigeon d'ocre jaune
Phase 2	Nouvelle polychromie (49 % des éch.) avec parfois une nouvelle préparation (23 % des éch.)	Étain (?) Jaune de plomb-étain Azurite
Phase 1	Polychromie originale (?) (77 % des éch.)	Dorure or Lapis-lazuli Pigment vert au cuivre (BDX 14301) Ocre rouge

Si le portail fascinait par sa monumentalité, sa sculpture ou encore son originalité, sa polychromie est loin d'être anecdotique. La couleur intense et lumineuse du lapis-lazuli devait attirer l'attention et contraster avec le rouge vif du manteau vermillon du Christ et l'éclat de l'or, qui quant à lui devait focaliser les regards sur la figure centrale du Christ. L'arc du tympan était souligné d'une voussure de rosettes dorées et la mandorle d'une gaufrure dont les multiples facettes dorées devaient chatoyer sous les différentes sources lumineuses (fig. III.59). Ce schéma coloré n'est pas inédit dans l'art clunisien, le Christ en Majesté du sacramentaire de Limoges²³, enluminé vers 1100, est vêtu d'un manteau rouge aux orfrois dorés, et inscrit dans une mandorle dorée, il se détache sur un fond bleu [Vergnolle 2008 : 185] (fig. III.60). Le Christ en Majesté n'est pas la seule

²³ L'abbaye Saint-Martial de Limoges est affiliée à Cluny en 1062.

enluminure du sacramentaire où l'on rencontre l'association du bleu, du rouge et de l'or, ces tonalités éclatantes semblent récurrentes dans ce manuscrit.



Figure III.59 – Cluny, grand portail. Restitution colorée partielle (phase 1) élaborée en fonction des résultats d'analyses. © S. Castandet – Dessin support K. J. Conant, conservé au musée d'Art et d'Archéologie de Cluny



Figure III.60 – Saint-Martial de Limoges, *Sacramentaire*, *Christ en Majesté*, v. 1100, (Paris BnF ms lat. 9438, fol. 58v). © Coll. Archives Larbon – Larousse

Tableau III.12 – Cluny, grand portail. Tableau récapitulatif des structures stratigraphiques des échantillons indiquant la nature des différentes couches à partir des « constituants » décelés.

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
coussinet - vêtement ange-atlante 1	13332	jaune blanc [support]	Si, Pb, Ca, Al , Fe, K, (Mg, P, Ti, Cl, Na) Pb , Ca, Si, Al, (Na, Fe, Cl, K)	ocre jaune blanc de plomb	ocre jaune blanc de plomb support calcaire
lindeau - vêtement apôtre 247.50	13348 #	blanc beige rosé blanc jaune blanc [support]	Ca, Si , Pb, Al, Fe, K, (Mg) Si, Ca , Al, Pb, Na, K, Fe, (P, Mg, Cl) Pb , Si, Ca, (Al, Fe) Si, Al, Pb, Ca , Fe, K, (Mg, P, Na, Cl, Ti) Pb, Ca, Si , Al, Fe, K*	- blanc de plomb ocre jaune blanc de plomb	badigeon de chaux ? blanc de plomb ocre jaune blanc de plomb + calcite support calcaire
lindeau - livre apôtre 242.3, 1988-III-740	13350 #	blanc beige rosé jaune blanc [support]	Ca, Si, Al , Pb, Fe, K, (Mg, P, Ti, Na, Cl) Pb , Ca, S, (Al)		badigeon de chaux ? ocre jaune blanc de plomb support calcaire
lindeau - fond 214, 228.63, 232.7	13338	gris jaune [support]	Pb , Ca, Si, Fe, (Al, Cu, Mg) Si, Ca, Pb , Al, Fe, K, P, (Mg, Na, Ti)	noir de carbone, blc de pb ocre jaune	noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire
lindeau - fond 214, 228.63, 232.7	13341	gris jaune [support]	Pb , Ca, Si, Al, (Fe, Cu) Si, Pb, Fe, Ca, Al , K, (Cu, Mg, P, Ti)	noir de carbone, blc de pb ocre jaune	noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
voussure - fond niche 242.39	13997	bleu gris [jaune] support	Si, Pb, Al, Na , Ca, K, S, Cl, (P, Mg, Fe, Cu) Pb, Si , Ca, Al, Na, Fe, K, (Cl, Mg) Ca , Pb, (Si, Al)	lapis lazuli noir de carbone, blc de pb	lapis lazuli noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire
voussure - fond niche 1035.59	13361 #	blanc bleu bleu gris [jaune] [support]	Cu, Si, Ca, Pb , Al, Fe, P, K, (Mg, As, Cl, S, Na) Pb, Si, Ca , Al, Cu, Na, P, K, Fe, (Mg, Cl)	calcite azurite lazarite noir de carbone, blanc de plomb	badigeon de chaux azurite lapis lazuli noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire
voussure - fond niche 1042.6	13368 #	blanc bleu bleu gris [jaune] [support]	Cu, Pb, Si , Ca, Fe, Al, P, As, (Cl, Mg, K, S, Na) Si, Ca, Al, Pb , Na, Cu, P, K, Fe, S, Mg, (Cl, Ti) Pb , Ca, Si, Al, Cu, Na, (P, Fe, K, Mg, Cl)	calcite azurite lazarite noir de carbone, blc de pb	badigeon de chaux azurite lapis lazuli noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire
voussure - fond niche 1988-V-92	13995	blanc bleu bleu gris jaune support	Cu, Si, Ca, Fe , Al, Pb, P, As, (K, Mg, S, Ti, Cl) Si, Pb, Al, Na , Ca, K, S, Cl, (P, Mg, Fe, Cu) Pb , Ca Ca, Si, Al , Pb, K, Fe, (Mg, P, Cu, Cl)	calcite azurite ocre jaune	badigeon de chaux azurite lapis lazuli noir de carbone + blanc de plomb ocre jaune support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
piédroit - fd disque 78.42-43	13324	rouge [jaune] [support]	Hg, S , Pb, Ca, Si, P, Al, (Cl, Fe, Na, K, Mg)	vermillon	vermillon ocre jaune support calcaire
piédroit - fond rinceau 1056 A	13327	rouge orangé jaune [support]	Pb, Si, Ca , Al, Fe, K, (P, Mg, Na)* Ca, Si , Fe, Al, Pb, K, (P, Mg, Ti, Na, Cl, S)	vermillon, minium	vermillon + minium ocre jaune support calcaire
piédroit - fond frise acanthés 1057.1?	14004	rouge orange + blanc jaune support	Pb , Hg, Si, Ca, (Al Fe, S) Si, Al , Fe, Ca, Pb, K, (Mg, P, Ti, Cl, S) Si, Ca , Al, Pb, K, Fe, Ti, P, (Mg, Na, Cl, S)	vermillon blanc de plomb, minium - -	vermillon minium + blanc de plomb ocre jaune support calcaire
linteau - fond frise acanthés 214, 228.63, 232.7	13340	blanc gris rouge orange + blanc jaune blanc [support]	Si, Al, Pb, Ca , P, Fe, K, Mg, (S, Ti, Na, Cl) Pb , Si, Sn, (Al, Ca) Si, Pb , Al, Fe, Ca, K, (Mg, Ti) Pb , (Ca, Al)	calcite vermillon minium, blanc de plomb - blanc de plomb	badigeon de chaux vermillon minium + blanc de plomb ocre jaune blanc de plomb support calcaire
tympan – manteau Christ 1033	13982	jaune rouge orangé [support]	Hg, Pb, S , Ca, (Cl, Al)	minium	badigeon d'ocre jaune vermillon + minium support calcaire
voussure - bordure niche 1988-V-92	13992	rouge orangé jaune support	Hg, Ca, Pb, Si , S, Al, P, Fe, (Cl, K, Na, Mg) Ca , Si, (S, Al)		vermillon + minium ocre jaune support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
piédroit - gorge 78.42-43	13326	vert [jaune] [support]	Ca, Si, Cu, Pb, Al, Fe, Sn, K, Cl, P, (Mg, Ti, S)	-	pigmt au cuivre + jaune de plomb étain ocre jaune support calcaire
piéd. ou lint. - feuil. acanthe 1988-III-744	13329	vert jaune [support]	Pb, Sn, Cu, Ca, Si, (Al, Fe, Cl) Si, Al, Fe, Cu, Ca, Pb, K, (Mg, Ti, P)	jaune de plomb étain I ocre jaune	jaune de plomb étain + pigmt au cuivre ocre jaune support
lint. - acant. 214, 228.63, 232.7	13339	vert [jaune] [support]	Si, Ca, Pb, Al, Cu, Fe, P, Sn, (K, S, Ag, Ti, Ni, Na, Cl)		pigmt au cuivre + jaune de plomb étain ocre jaune support calcaire
lint. - acant. 214, 228.63, 232.7	13343 #	blanc vert jaune jaune [support]	Ca, Pb, Si, Cu, Al, Fe, S, (P, Mg, K, Cl) Pb, Cu, Ca, Sn, Si, Al, (P, Fe, Cl, Mg)	- -	badigeon de chaux jaune de plomb étain + pigmt au cuivre ocre jaune support calcaire
linteau - feuil. acanthe 214, 228.63, 232.7	13344	vert rouge orangé jaune blanc [support]	Pb, Cu, Sn, Ca, Si, Al, (Na, Fe) Hg, S, (Si, Sn, Al, Ca)* Si, Al, Pb, Fe, Ca, K, (Mg, Cu, Ti, Na) Pb, Ca, Si, Al, Fe, (Cu)	jaune de plomb étain I vermillon, minium - blanc de plomb	pigmt au cuivre + jaune de plomb étain vermillon + minium ocre jaune blanc de plomb support calcaire
voussure - gorge roses 1050.11	13984	vert jaune jaune + blanc support	Pb, Cu, Sn, Si, Ca, Al, Cl, (Fe) Si, Al, Ca, Fe, Pb, P, Cu, K, (Ti, Mg, Cl, S) Pb, Si, Ca, Al, Cu, Fe, K, Cl, (Mg) Ca, Si, Pb, Al, Cu, Fe, Mg, K, (Cl, P)	jaune de plomb étain I, - ocre jaune	pigmt au cuivre + jaune de plomb étain ocre jaune ocre jaune + blanc de plomb support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
coussinet - aile ange-atlante 242.47	14299	vert jaune	Pb, Sn, Si , Al, Cu, Ca, Fe	-	jaune de plomb étain + pigmt au cuivre
		jaune	Si, Al, Fe, Pb , Ca, K, (Mg, Ti, Cu, Na)	-	ocre jaune
		blanc	Pb , (Ca, Al)	blanc de plomb	blanc de plomb
		support	Ca , Pb, Mg, (Si, Fe, Al)		support calcaire
voussure - vêtement ange 242.39	13998	blanc gris	Ca , Pb, Si, Al, (Fe, Mg, K, Cl)		badigeon de chaux
		blanc	Pb, Sn , Ca, (P, Cl, Al)		blanc de plomb
		jaune vert	Pb, Sn , Si, Cu, (Al, Ca)	jaune de plomb étain I	jaune de plomb étain + pigmt au cuivre
		blanc	Pb , Si, Sn, Al, Ca, Fe, (Cu, Cl)	blanc de plomb	blanc de plomb
		jaune	Si, Pb, Al , Ca, Fe, K, (Mg, Cu)	-	ocre jaune (+ noir de carbone)
		blanc	Pb , Ca, (Al, Fe)	blanc de plomb (14297)	blanc de plomb support calcaire
voussure - petite plume aile ange 219.1	14300 f	jaune vert			jaune de plomb étain + pigmt au cuivre
		blanc			blanc de plomb
		jaune			ocre jaune
		rouge			ocre rouge
		blanc			blanc de plomb
		[support]			support calcaire
voussure - petite plume aile ange 1035.28	14301 f	jaune vert	Pb, Sn , Si, Ca, Cu, (Al, Fe, Cl)	jaune de plomb étain I	jaune de plomb étain + pigmt au cuivre
		blanc	Pb , Si, (Al, Cu, Fe, Ca, Cl)	blanc de plomb	blanc de plomb
		jaune	Si, Al, Fe, Pb , K, Cu, Ca, (Mg, P, Ti, Cl)	-	ocre jaune
		vert	Pb , Cu, Ca, Si, Al, (Fe, Cl, K)	-	pigment au cuivre + blanc de plomb
		blanc	Pb , (Cl, Ca, Al)	blanc de plomb	blanc de plomb
		[support]			support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
lindeau - chvx apôtre 232.11 A-B	13349 #	<div>blanc</div> <div>orangé rosé</div> <div>jaune</div> <div>[support]</div>	Si, Ca, Pb, Al , Fe, Sn, K, (Mg, P, Ti, S, Na, Cl)	calcite minium, noir de carbone, ocre rouge	badigeon de chaux ocre rouge + carbonate de calcium + noir de carbone + minium ocre jaune sur support calcaire
lindeau - carnation soldat 1035	13333	<div>rosé</div> <div>jaune</div> <div>blanc</div> <div>[support]</div>	Pb, Hg , Si, Fe, Al, Ca, S, Cl, (K, Mg) Ca, Si, Pb , Fe, Al, S, Cl, Mg, K, (P, Ti, Na) Pb , Ca, Si, Al, (Fe, Cl)	blanc de plomb, vermillon ocre jaune blanc de plomb	blanc de plomb + vermillon ocre jaune blanc de plomb support calcaire
voissure - carnation vieillard 245 A-B	13354	<div>rosé</div> <div>jaune</div> <div>blanc</div> <div>[support]</div>	Pb, Hg , Si, Fe, Al, Ca, (S, K, Cl, Mg) Pb, Ca, Fe, Si , S, Al, Hg, Cl, (K, Ti, Mg, P) Pb , Cl, Ca, (Al, Fe, Mg)	vermillon, blanc de plomb ocre jaune	vermillon + blanc de plomb ocre jaune blanc de plomb support calcaire
voissure - contour œil 1050 A	13356 #	<div>blanc</div> <div>jaune</div> <div>rouge</div> <div>blanc</div> <div>[support]</div>	Ca, Si, Pb , Al, Fe, K, Mg, (Cl, Na, Ti, P) Pb , Ca, Si, Al, (Fe, Cl)	calcite - -	badigeon de chaux badigeon d'ocre jaune ocre rouge blanc de plomb support calcaire
voissure - barbe vieillard 245 A-B	13353	<div>jaune</div> <div>noir</div> <div>blanc</div> <div>[support]</div>	Si, Ca, Pb, Fe, Al , S, K, Na, (P, Ti, Cl, Mg) Pb , Ca, Si, (Fe, Na, Al)	ocre jaune noir de carbone blanc de plomb	badigeon d'ocre jaune noir de carbone blanc de plomb support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
piédroit - entre les corolles 78.42-43	13328	gris noir	Sn , (Si, Pb, Al, Cl)		feuille d'étain
		jaune + blanc	Si, Pb, Ca, Al , Fe, P, (K, Cl, Mg, Ti, Na)	blanc de plomb, -	ocre jaune + blanc de plomb
		orange + blanc	Pb , Si, Al, Fe, (Ca)	minium, blanc de plomb	minium + blanc de plomb
		jaune	Si, Al, Fe, Pb , Ca, K, (Mg, P, Ti, Cl, Cu)	-	ocre jaune
		support	Si, Ca, Al , Pb, Fe, Ti, P, K, Mg, (Cl)		support calcaire
tympan - nuées 1988-III-962	13979	gris noir	Sn , Pb, Si, Ca, Al, (Fe, Cl)		feuille d'étain
		orange + blanc	Si, Pb, Ca, Fe, Al, Hg , P, S, K, (Cl, Mg, Ti)	minium, blanc de plomb	minium + blanc de plomb
		jaune		-	ocre jaune
		[blanc]			blanc de plomb
		support	Ca, Si , Al, Pb, Fe, K, TI, Mg, (P, Na, S)		support calcaire
tympan - gaufre mandorle 1033.17	13980	dorure	Au , Pb, Ag, (Fe, Al, Ca)		feuille d'or (alliée)
		orangé	Pb , Au, Si, Ca, Fe, Al		minium + blanc de plomb
		[blanc]			blanc de plomb
		[support]			support calcaire
tympan - gaufre mandorle 203.5	14302 f	blanc gris	Ca , Si, Pb, Al, Fe, (K, P, Mg)		badigeon de chaux
		blanc	Pb , Si, Ca, Al, (Fe)	blanc de plomb	blanc de plomb
		jaune	Si, Pb, Ca, Al , Fe, P, K, (Ti, Mg, Cl)	-	ocre jaune
		dorure	Pb, Au, Si, Fe , Ca, Hg, Al, (K, Ti, S)		feuille d'or
		orangé	Pb, Hg , Si, Ca, Al, Fe, (K)	minium, vermillon	minium + blanc de plomb + vermillon
		[blanc]			blanc de plomb
		[support]			support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
tympan - gaufre mandorle 1033.16	13981	gris noir jaune rouge orangé blanc [support]	Sn, Pb, Si, (Al, Fe) Si, Ca, Al, Fe, Pb, K, P, (Mg, Ti, Na, S) Hg, Pb, S, Si, Al, Ca, (Fe, Ti) Pb, (Ca, Al)	- vermillon blanc de plomb	feuille d'étain ocre jaune vermillon + minium blanc de plomb support calcaire
tympan - nimbe Christ 1044	14962	blanc gris gris noir jaune [blanc] [support]	Sn, Pb, Si, Ca, Al, (S, Fe, Na, Mg) Si, Fe, Al, Pb, Ca, Sn, K, S, (Mg, Na, Ti)		badigeon de chaux feuille d'étain ocre jaune blanc de plomb support calcaire
coussinet - nimbe ange- atlante 2 242.47	13360	blanc gris noir jaune blanc [support]	Ca, Pb, Si, Al, (Fe, S) Sn, Pb, Si, Ca, (Al, Mg, Cl) Si, Ca, Al, Pb, Fe, K, Mg, P, (Ti, Na) Pb, Ca, Si, Al, Sn, (Fe)		badigeon de chaux feuille d'étain ocre jaune + charbon de bois blanc de plomb support calcaire
voussure - cheveux ange 246	13357	dorure rosé [jaune] blanc support	Au, Pb, Ca, (Al, Fe) Ca, Pb, Si, Al, Fe, S, Au, Cl, (P, K, Mg, Ti, Na)	blanc de plomb calcite	feuille d'or ocre rouge + carbonate de calcium ocre jaune blanc de plomb support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
voussure - nimbe ange 1035.59	13362	dorure	Au, Pb , Si, Al, Fe, S, Hg, (Ca, K)		feuille d'or
		rouge	Hg, S , (Al, Fe, Ca)	vermillon	vermillon
		jaune	Si, Al, Fe , Pb, K, Ca, (Ti, Mg, Cl, S)	-	ocre jaune
		blanc	Pb , Hg, Ca, Si, (Al, Fe)	blanc de plomb	blanc de plomb
		[support]			sout support calcaire
voussure - nimbe ange (?) 1038	13999	blanc	Ca, Si, Pb , Sn, Al, Fe, K, S, Ti, (P, Na, Mg, Cl)		badigeon de chaux
		gris noir	Sn , Pb, Si, Ca, P, Al, (Fe, Cl)		feuille d'étain
		jaune	Si, Al , Sn, Pb, Fe, K, Mg, (Ca, P, Na, Cl)		ocre jaune
		rouge orangé	Hg, Pb , S, P, Ca, Sn, Si, Cl, Al, (Na)		vermillon + minium
		blanc			blanc de plomb
voussure - pétale rose 1050.11	13983	[support]			sout support calcaire
		jaune	Si, Al, Fe , Pb, Ca, K, (Mg, Ti, Cl)	-	badigeon d'ocre jaune
		rouge	Hg, S , Si, Al, Fe, Cl, (Ca, K)	vermillon	vermillon
		dorure	Au, Pb , Si, Ca, Fe, Al, (Cl)		feuille d'or
		jaune	Si, Pb , Fe, Hg, Al, Ca, (Cl, K)	-	ocre jaune
		blanc	Pb , Ca	blanc de plomb	blanc de plomb
voussure - pétale rose 1034.50	14296 f	sout support calcaire	Ca , Pb, Si, Al, (P, Fe, Mg)	calcite	sout support calcaire
		rouge	Hg, S , (Ca)*	vermillon	vermillon
		blanc	Pb , Si, Ca, Al, (Fe, K)	blanc de plomb	blanc de plomb
		dorure	Au, Pb , Si, Fe, Hg, Al, Ca, (S, K)		feuille d'or
		jaune	Si, Al, Fe , Pb, K, Ca, Ti, (Mg, Na, P)	-	ocre jaune
		blanc	Pb , Ca, Si, (Al)	blanc de plomb	blanc de plomb
voussure - pétale rose 1034.50	14296 f	[support]			sout support calcaire

Zone prélèvement	BDX	Stratigraphie reconstituée	MEB-EDS	Raman	Interprétation
voussure - pétale rose 1034.50	13987	rouge	Hg, Pb, S , Ca, Si, Al, (P, Fe, K)	vermillon	vermillon
		blanc + orange	Pb , Si, Ca, Al, Fe, (P, Cl)	minium, blanc de plomb	blanc de plomb + minium
		jaune	Fe, Si, Al, Pb , Ca, K, P, (Mn, Mg, Cl, Ti, Na)	ocre jaune	ocre jaune
		rouge		-	ocre rouge
		jaune	Si, Al, Fe , Pb, Ca, K, (Ti, Mg, Na)	-	ocre jaune
		blanc	Pb , Si, Ca, Al, Fe, (Cl)	blanc de plomb	blanc de plomb
		[support]			soutpport calcaire

Analyse EDS : **Éléments majeurs** > 10 % ; 10 % > **Éléments mineurs** > 1 % ; (Éléments à l'état de traces < 1 %).

* Analyse EDS ponctuelle, généralement effectuée sur un grain.

Prélèvement correspondant à une écaille de badigeon.

f : utilisation d'un fixatif de type paraloïd avant prélèvement.

n° BDX : réalisation d'une stratigraphie.

Conclusion générale

Cette thèse visait à approfondir les connaissances et la compréhension des décors colorés de la troisième abbatale de Cluny, la *Maior Ecclesia*. Les décors du chœur, et plus largement des parties orientales de l'église abbatale Cluny III, ont été particulièrement étudiés à l'occasion de la publication du premier volume du *Corpus de la sculpture de Cluny* sous la direction de Neil Stratford. Anne Baud a pu, quant à elle, établir l'évolution du décor architectural (succession des enduits et badigeons) et repérer les zones colorées (fragments d'enduits peints retrouvés en fouilles) du bras sud du grand transept.

Nous avons donc concentré nos recherches, sur les fragments de vitraux archéologiques, ainsi que sur les polychromies des fragments lapidaires du portail roman.

En ce qui concerne les vitraux, outre l'obtention de diverses informations sur la composition des verres, les techniques et procédés, des particularités..., nous souhaitons confronter les analyses physico-chimiques aux classifications typochronologiques, seuls éléments de datation disponibles pour une grande majorité des fragments de verre, en raison de leur contexte de découverte (remblais). En effet, certains détails concernant les grisailles (techniques, motifs tels que le filet perlé ou la cage à

mouche...), la couleur des verres (le violet, par exemple, qui n'apparaît que vers le 15^e siècle), ou leur technique de coloration (les verres plaqués ne se vulgarisent qu'au 15^e siècle) nous fournissent ces indications typo-chronologiques. Comme le montrent les exemples subséquents, les analyses physico-chimiques nous ont bien permis d'affiner la datation de certains fragments.

Les tessons mis au jour dans la chapelle Saint-Martial peuvent être scindés en deux groupes. Des éléments de vitraux, peints et colorés, et des éléments de vitre verdâtres. Ces deux groupes se différencient par le fondant employé, potassique pour les tessons de vitraux et calcique pour le verre à vitre.

Parmi les éléments de vitraux, on note la présence de verres sodiques incolores de mélanges. Une telle composition a été identifiée à Autun (Bourgogne) dans le cas de verres à vitre archéologiques incolores datés d'avant le 9^e siècle et de vitraux bleus datés du 12^e siècle, [Velde 2009 : 23-5]. Quant aux verres rouges, ils sont feuilletés partiellement et sont donc vraisemblablement antérieurs au 14^e siècle. De plus, les motifs des grisailles sont relativement simples, et la peinture épaisse. La chapelle Saint-Martial datant du deuxième quart du 14^e siècle, ces vitraux pourraient avoir orné le premier oratoire roman. Il est d'ailleurs intéressant de noter que des fragments d'enduits peints ont été mis au jour dans les niveaux de reconstruction de la chapelle Saint-Martial, ce qui semblerait indiquer que le premier oratoire roman était également décoré de peintures [Baud 2003 : 127].

En revanche, la chapelle Jean de Bourbon du petit transept sud de Cluny III présente un corpus à la composition potassique (cendres de fougères) relativement homogène. Le style des grisailles, la présence de jaune d'argent et de verres plaqués (rouge et violet) attestent d'un corpus gothique et confèrent à ces verres la deuxième moitié du 15^e siècle (date de construction de la chapelle) pour *terminus post quem*.

Les analyses physico-chimiques nous ont également apporté de nombreux détails techniques et nous ont aussi indiqué le vraisemblable emploi et recyclage des verres bleus, voire une possible perturbation des couches archéologiques.

Les éléments de verrerie mis au jour dans des unités stratigraphiques des 10^e-11^e siècles du transept sud de Cluny III ont révélé des compositions de type antique (natron). Seul un fragment de verre bleu de la seconde église de Paray-le-Monial présente une telle composition, qui est fréquente pour les verres bleus médiévaux, en particulier ceux du 12^e siècle. Étant donné qu'aucun verre bleu n'a été retrouvé pour la première église de Paray, on peut se demander si l'ensemble des verres bleus de la première église de Paray n'ont pas été réutilisés pour la seconde église ; d'autant plus qu'un verre bleu sodique dit « de mélange » (mélange de verre sodique et de verre potassique) a été mis au jour pour la seconde église.

La composition singulière des verres sodiques incolores et transparents de l'US LP-05 (lit de pose du sol de l'abbatiale Cluny III), similaire à celle de verres mis au jour dans le lit de pose du pavage 18^e siècle (US LP-08), indique une possible perturbation des couches archéologiques.

À l'instar de la chapelle Saint-Martial, deux groupes de composition ont été mis en évidence pour les fragments de la seconde église de Paray-le-Monial. Des verres potassiques, vraisemblablement antérieurs au 14^e siècle, et des verres calciques, probablement postérieurs au 14^e siècle.

Les verres verts calciques de Paray présentent une particularité. La présence conjointe d'oxydes de cuivre et de zinc dénote la probable utilisation de laiton comme source de cuivre pour leur donner leur coloration.

On note souvent parmi les corpus relativement homogènes quelques exceptions pouvant illustrer des productions d'ateliers différents. On peut citer notamment les verres présentant une adjonction de chlorure de sodium (pour une meilleure fusibilité), le fragment BDX 13378 de la chapelle Jean de Bourbon à la technique et à la composition différente des autres verres violets de cette chapelle.

Nous avons également mis en évidence pour les verres potassiques des recettes différentes : l'utilisation exclusive des cendres de fougères (principalement les verres de

la chapelle Jean de Bourbon) et l'utilisation mixte des cendres de fougères et des cendres de bois – avec un ratio variable (chapelle Saint-Martial et Paray-le-Monial).

Quoi qu'il en soit, ces différences de composition et de technique illustrent la complexité des provenances pour un même type de produit au Moyen Âge.

*

Les tessons de verre mis au jour lors des fouilles archéologiques du site de Paray-le-Monial permettent d'attester la présence de verrières colorées et figuratives (inscription, barbe de personnage) pour la première église du 11^e siècle et la seconde église achevée au début 13^e siècle).

En ce qui concerne l'abbatiale Cluny III, si les sources historiques évoquent des vitraux, il n'est pas possible d'affirmer catégoriquement la présence de verrières colorées, peintes et/ou figuratives pour l'édifice roman en raison de l'altération trop prononcée des fragments mis au jour. Les tessons postérieurs au chantier de Cluny III proviennent de contextes de destruction de l'abbatiale et ne permettent pas de datation précise. Cependant, à l'instar de Paray-le-Monial et compte-tenu du soin apporté aux décors du sanctuaire (chancel et chapiteaux du rond-point polychromés, pavement polychrome, décor peint de l'abside centrale), il est fort probable que les verrières du chœur fussent historiées.

Mais l'abbatiale ne devait pas être entièrement parée de verrières colorées et/ou peintes. Certaines parties de l'édifice pouvaient être fermées par des vitres ou des verrières de teinte neutre (variations naturelles du verre) et sans décor peint. Des compositions aux motifs géométriques simples en verre de couleur ne sont pas non plus à exclure.

En effet, le grand transept sud, dont le décor mural semble se limiter à un enduit badigeonné de blanc [Baud 2003 : 126], conserve en partie haute deux arcatures aveugles ornées de verrières en trompe-l'œil. Le même procédé semble avoir été mis en pratique à Paray-le-Monial où des fragments d'enduits peints au décor composé de résilles noires sur fonds or, verts, bleus, ou roses ont été mis au jour pour la seconde église [Rollier 2009 : 107].

**

En ce qui concerne les polychromies du portail roman, nous voulions identifier les matériaux et matières colorantes utilisées afin de repérer tout changement de couleur dû à l'altération des matériaux, d'essayer de retrouver la polychromie originale romane ainsi que les différents repeints, et d'appréhender ainsi une éventuelle symbolique des matériaux.

Les analyses physico-chimiques des fragments lapidaires ont permis d'identifier les techniques et les différents matériaux mis en œuvre dans la décoration du portail roman. Certaines observations sont sans surprise. L'utilisation du blanc de plomb en couche préparatoire (84 % des échantillons analysés) est fréquente, de même que le rendu des carnations par le mélange de blanc de plomb et de vermillon, ou l'application, pour le lapis-lazuli, d'une sous-couche grise. Cette dernière pouvait trompeusement imiter une couche picturale bleue, et les « faux bleu » sont loin d'être anecdotiques.

D'autres détails sont moins fréquents ou dérogent au leitmotiv observé sur l'ensemble du portail. Ils concernent la composition de cette couche grise, mélange de blanc de plomb et de noir de charbon de bois, et la préparation ocre jaune que l'on retrouve uniquement sur les piédroits.

On peut également noter le raffinement apporté à la mise en couleur du portail par l'utilisation de matériaux précieux. L'or est employé abondamment, y compris sur le décor végétal (rosettes de l'archivolte). On remarque qu'un jeu de nuances a été apporté au rendu métallique par le recours aux alliages ou aux sous-couches différentes au sein d'un même élément comme la gaufrure de la mandorle. Le lapis-lazuli recouvre l'ensemble des surfaces d'inscription des figures du linteau, du tympan et de l'archivolte. Or souvent, le lapis-lazuli, en raison de son prix, concerne des petites surfaces, des zones de l'œuvre que l'on veut mettre en valeur [Pastoureau, 2000].

Un détail récemment mis en lumière vient compléter ce panorama : le taureau de saint Luc était orné de petites cornes en marbre blanc [Salvègue 2012 : 58]. Le marbre, lisse et blanc, est un matériau lumineux, sans doute employé en référence à l'antiquité. Il est intéressant de rappeler que les chapiteaux du rond-point du chœur, généralement cités

parmi les créations majeures de l'art roman, étaient supportés par des colonnes de marbre antiques réemployées.

Mais la rareté des restes colorés rend parfois difficile l'évaluation du rôle des matériaux. Nous n'avons qu'un aperçu, souvent incomplet, de la composition colorée du portail. Il peut donc être difficile de parler de hiérarchisation des matériaux lorsque, par exemple, le rouge vermillon du manteau du Christ se retrouve sur les fonds des ornements, ou que son nimbe est orné d'étain...

En revanche, certains matériaux et l'étude des stratigraphies ont permis de mettre en évidence différentes phases polychromes. Une nouvelle phase polychrome est indéniable lorsqu'est employé le jaune de plomb-étain, même s'il est présent dans la seule couche picturale encore conservée, en raison de son utilisation récente (à partir du 14^e siècle). Ainsi, certains éléments ont perdu leur polychromie d'origine.

Quatre phases ont pu être observées : une première polychromie vraisemblablement originale et romane fait place à une deuxième mise en couleur vraisemblablement gothique. Certains échantillons présentent une couche de blanc de plomb ou d'ocre jaune qui aurait pu servir de préparation à une troisième polychromie dont nous n'avons aucune trace. Enfin la polychromie très vive du grand portail fut recouverte, probablement à deux époques différentes, de deux couches relativement épaisses de badigeon de chaux blanches¹.

Il convient de rappeler que le portail roman a été mis en place vers 1120, période suivie par la longue construction de l'avant-nef, dont le chantier débute vers 1125-1135 et s'achève avec l'édification de la façade dans le troisième quart du 13^e siècle [Stratford 2012 : 16-17]. Au moment de la réalisation de la façade gothique, une reprise du portail roman est probablement intervenue pour le dégager de la poussière et raviver ses couleurs. Il en fut ainsi à la cathédrale de Bourges, où un premier portail coloré vers 1225, fut ravivé trente ans plus tard, au moment de l'achèvement des portails de la façade occidentale [Rossi-Manaresi 2002 : 59].

¹ L'étude du bâti du grand transept sud réalisée par A. Baud permet de mettre en évidence qu'au cours des grands travaux de rénovations du 18^e siècle, ce dernier et probablement l'église toute entière sont rafraîchis d'un badigeon blanc, et que plusieurs campagnes de badigeon avaient précédé cette grande rénovation [Baud 2003].

En ce qui concerne les repeints colorés, l'économie semble être le maître-mot. L'azurite recouvre le lapis-lazuli, les rosettes du tympan alors parées d'or deviennent rouge vermillon, et l'étain remplace l'or. Si cette reprise est contemporaine de la mise en couleur du portail gothique de l'avant-nef, ce dernier a peut-être été privilégié puisque les fragments de la grande rose comportent de l'or sur leurs motifs végétaux.

Si le portail fascinait par sa monumentalité, sa sculpture ou encore son originalité, sa polychromie est loin d'être anecdotique. La couleur intense et lumineuse du lapis-lazuli devait attirer l'attention et contraster avec le rouge vif du manteau vermillon du Christ et l'éclat de l'or, qui quant à lui devait focaliser les regards sur la figure centrale du Christ. L'arc du tympan était souligné d'une voussure de rosettes dorées et la mandorle d'une gaufrure dont les multiples facettes dorées devaient chatoyer sous les différentes sources lumineuses (fig. III.59). Ce schéma coloré n'est pas inédit dans l'art clunisien, le Christ en Majesté du sacramentaire de Limoges², enluminé vers 1100, est vêtu d'un manteau rouge aux orfrois dorés, et inscrit dans une mandorle dorée, il se détache sur un fond bleu [Vergnolle 2008 : 185] (fig. III.60). Le Christ en Majesté n'est pas la seule enluminure du sacramentaire où l'on rencontre l'association du bleu, du rouge et de l'or, ces tonalités éclatantes semblent récurrentes dans ce manuscrit.

**

À travers l'observation et l'analyse des décors colorés qui nous sont parvenus, nous pouvons noter qu'un accent est clairement mis sur la magnificence, la luminosité et la brillance.

Magnificence par l'abondance des matériaux précieux tels que l'or, le lapis-lazuli ou le vermillon, mais aussi par les nombreux matériaux importés destinés à paver le chœur (diverses sources méditerranéennes).

² L'abbaye Saint-Martial de Limoges est affiliée à Cluny en 1062.

L'éclairage direct de la nef et le déambulatoire voûté d'arêtes ainsi que ses minces colonnes-support favorisent l'éclairement de ces espaces. Le badigeon blanc, à l'aspect lisse et satiné, recouvrant une grande partie des murs de l'abbatiale, contribue également à une meilleure luminosité de l'édifice.

Enfin, on peut imaginer des éclats brillants et lumineux par l'utilisation de marbres polis (pavement, colonnes du déambulatoire, cornes du taureau de saint Luc sur le portail roman...), d'incrustations de verre, de décors métalliques...

Cette étude, qui a contribué à la compréhension des décors colorés de la *Maior Ecclesia*, représente une étape dans la connaissance d'un patrimoine archéologique qui, tôt ou tard, sera enrichi ; rappelons en effet qu'une partie des fragments de l'abbatiale est encore enfouie.

Annexes

Annexe A	Vestiges conservés <i>in situ</i> et intégrés dans la maquette virtuelle de la <i>Maior Ecclesia</i> (projet 2010)	210
Annexe B	Évolution du rendu des images de synthèse des trois projets de restitution virtuelle de la <i>Maior Ecclesia</i> entre 1992 et 2010	212
Annexe C	Baies et surface vitrée de la <i>Maior Ecclesia</i>	214
Annexe D	Tables des compositions élémentaires des fragments de verres et de vitraux analysés pour les sites de Cluny et Paray-le-Monial	220
Annexe E	Analyse physico-chimique des polychromies des fragments de la rose ou demi-rose du portail gothique de la <i>Maior Ecclesia</i>	228
Annexe F	Zones fixées au paraloïd sur les fragments lapidaires des portails de la <i>Maior Ecclesia</i>	230

Annexe A

VESTIGES CONSERVÉS *IN SITU* ET INTÉGRÉS DANS LA MAQUETTE VIRTUELLE DE LA
MAIOR ECCLESIA (PROJET 2010)

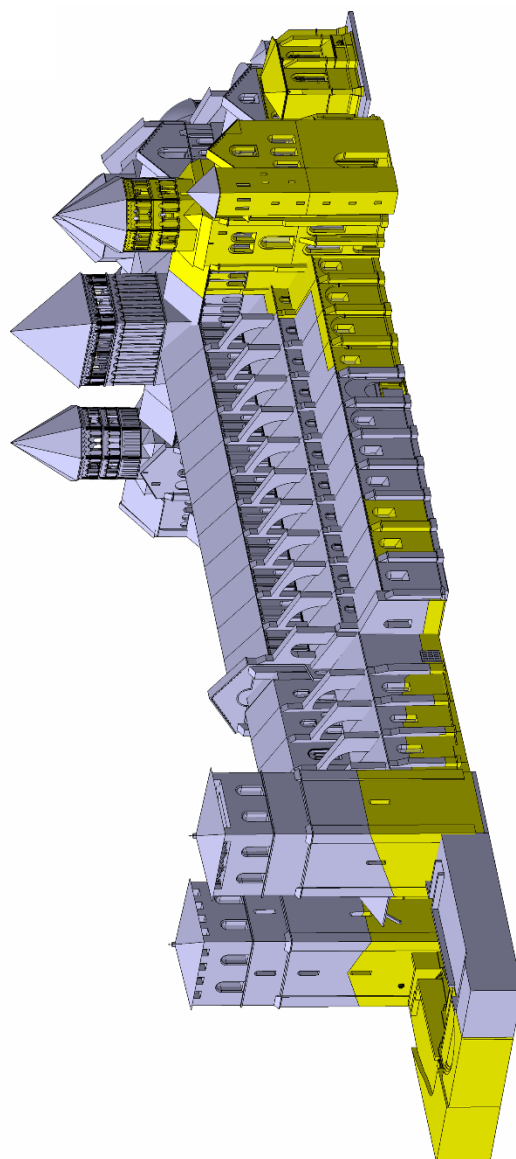


Figure A.1 : Cluny – Maiores Ecclesia. Maquette 3D de l'abbatiale. En jaune les parties encore conservées in situ. Ces dernières ont été numérisées à l'aide d'un scanner laser et les nuages de points obtenus ont été intégrés à la maquette virtuelle. © Arts et Métiers ParisTech



Figure A.2 : Cluny, vue d'une partie des vestiges de l'avant-nef et du transept sud confrontés à la restitution virtuelle des images de synthèse de la Maïor Ecclesia. © Arts et Métiers ParisTech / on-situ

Annexe B

ÉVOLUTION DU RENDU DES IMAGES DE SYNTHÈSE DES TROIS PROJETS DE RESTITUTION VIRTUELLE DE LA *MAIOR ECCLESIA* ENTRE 1992 ET 2010



Figure B.1 : Cluny – Maior Ecclesia, vue du chœur. Restitution virtuelle en images de synthèse réalisée en 1992 lors du projet de fin d'étude de Christian Père, étudiant des Arts et Métiers ParisTech (anciennement ENSAM). Image extraite du film *Mémoires de pierres*.

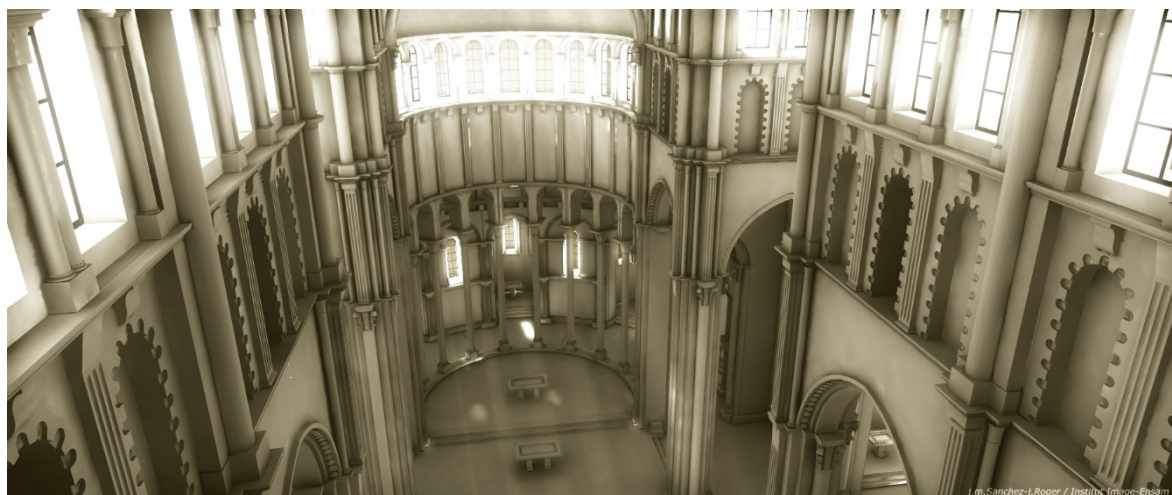


Figure B.2 : Cluny – Maïor Ecclesia, vue plongeante du chœur. Restitution virtuelle en images de synthèse réalisée par la société on-situ en 2004. Le projet était axé sur le rendu des volumes intérieurs et de la lumière architecturale. © Arts et Métiers ParisTech / CMN / on-situ

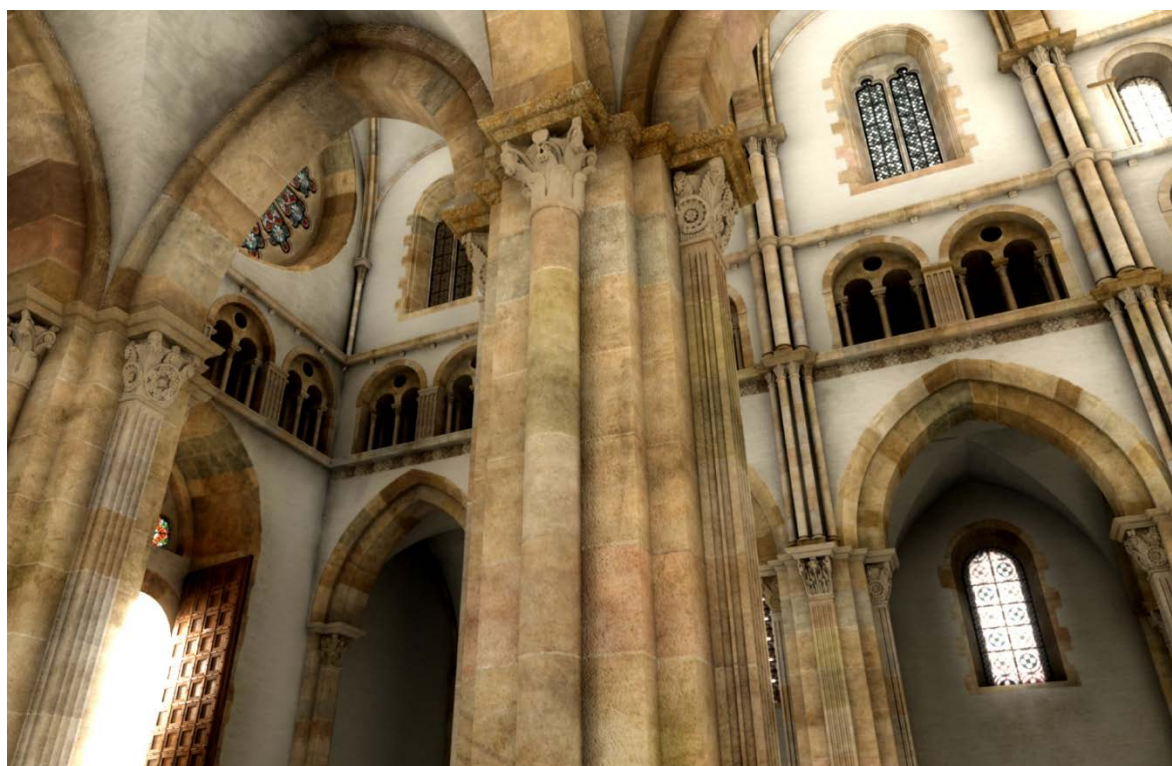


Figure B.3 : Cluny – Maïor Ecclesia, vue de l'avant-nef. Restitution virtuelle en images de synthèse réalisée par l'équipe Gunzo (Arts et Métiers ParisTech – Cluny) et la société on-situ en 2010. Proposition de restitution architecturale et des décors sculptés et colorés. © Arts et Métiers ParisTech / CMN / on-situ

Annexe C

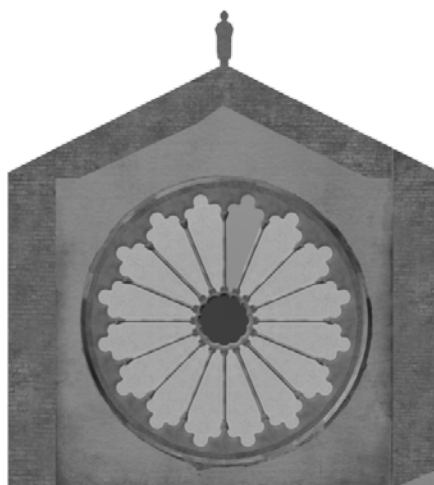
BAIES ET SURFACE VITRÉE DE LA *MAIOR ECCLESIA*

Tableau C.1 – Tableau récapitulatif du nombre de baies et de leur surface vitrée approximative selon les parties de l'église abbatiale Cluny III.

	Nombre de baies	Surface (en m ²)
Avant-nef	29	133,14
Nef	108	306,86
Grand transept	85	427,23
Avant-chœur architectural	19	54,71
Petit transept	41	153,69
Chœur	45	118,88
Total	327	1194,51

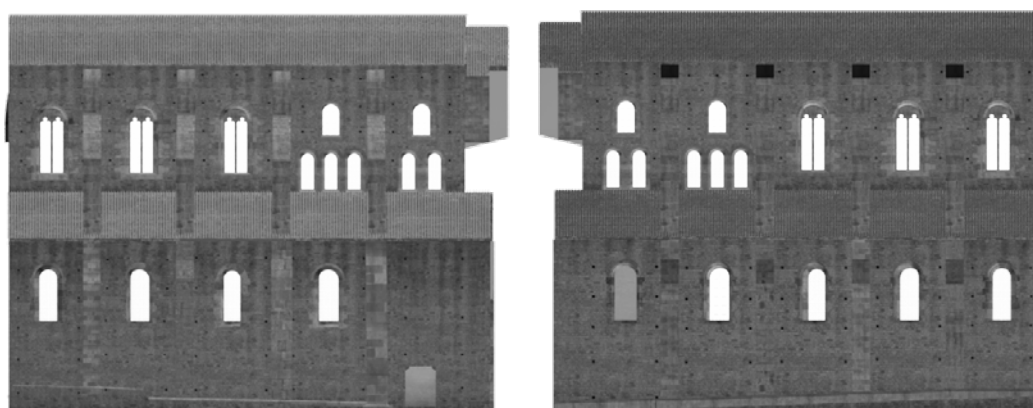
Chaque partie de l'abbatiale est ensuite présentée de manière détaillée.

ROSE DE LA FAÇADE GOTHIQUE



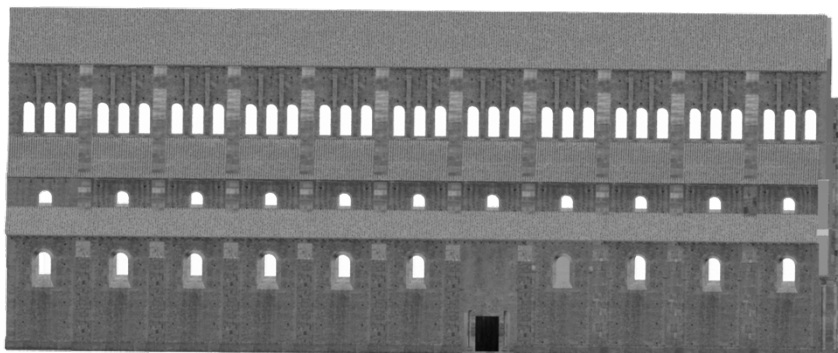
	Diamètre (en m)	Surface (en m ²)
Petit rose centrale	1,6	2,01
Pétale		2,33
Total		39,29

AVANT-NEF



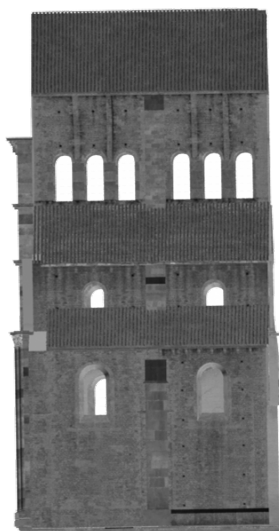
	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)
Baie mur gouttereau	9	1,58	3,89	52,91
Baie supérieure	6	1,79	4,66	47,99
Baie supérieure	4	1,2	2,229	10,08
Baie supérieure	10	0,885	2,6	22,17
Total	29			133,14

NEF



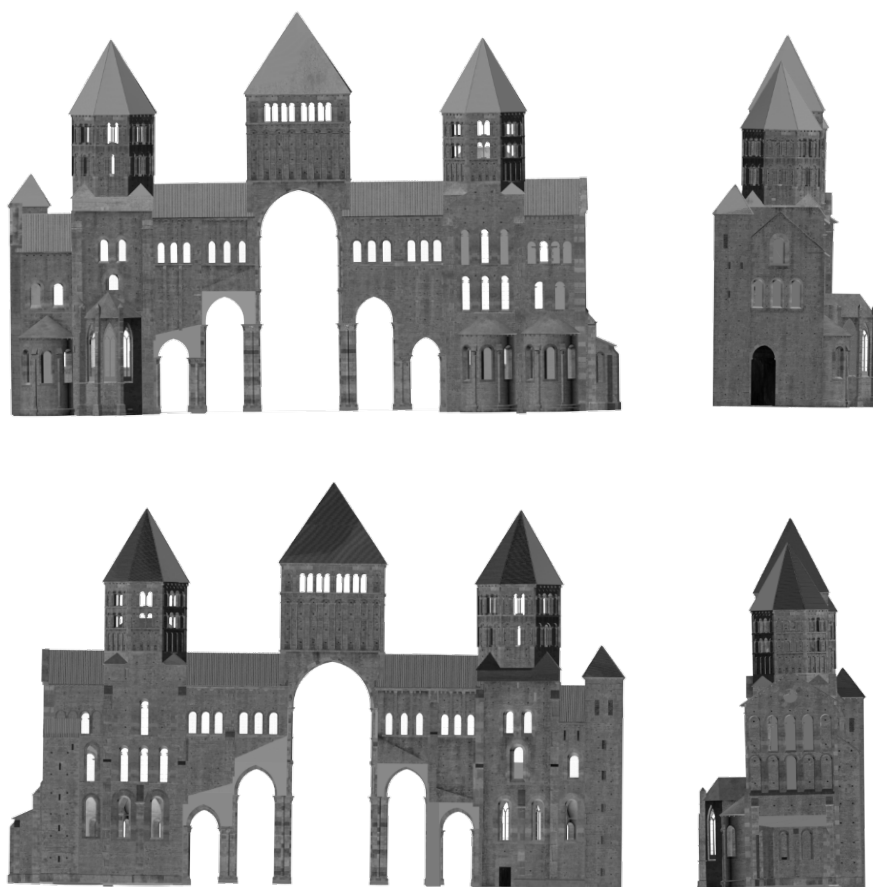
	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)
Baie mur gouttereau	20	1,36	2,45	62,67
Baie inférieure	22	1,18	1,407	33,24
Baie supérieure	66	1,149	2,905	210,95
Total	108			306,86

AVANT-CHŒUR ARCHITECTURAL



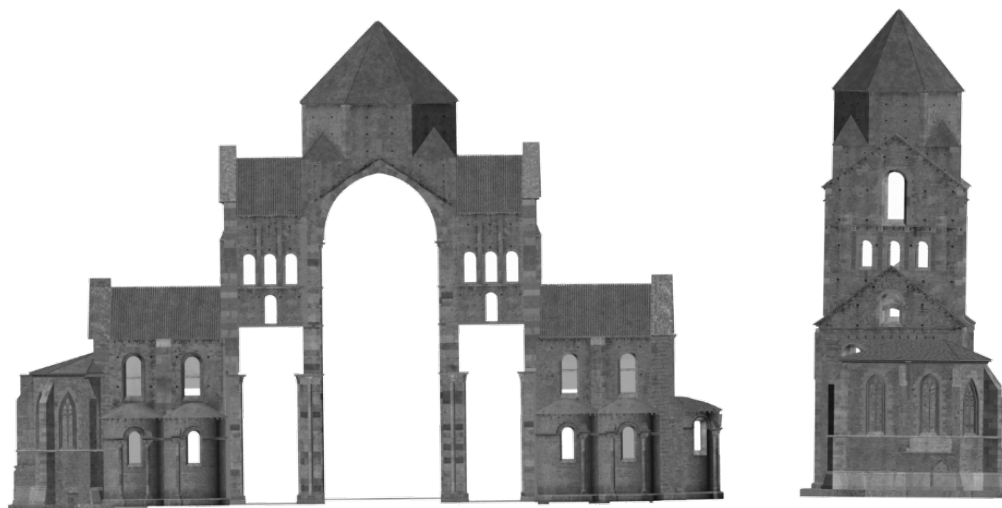
	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)
Baie mur gout. sup.	12	1,15	2,893	38,22
Baie inférieure	4	1,18	1,4	6,01
Baie mur gout. inf.	3	1,34	2,75	10,48
Total	19			54,71

GRAND TRANSEPT



	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m²)
Baie	29	1,15	2,893	92,37
Baie	7	1,15	2,85	21,95
Baie	1	1,4	2	2,59
Baie	3	1,15	3,7	12,34
Baie	1	1,48	3,7	5,24
Baie	8	1,45	5,28	59,44
Baie chapelle	9	1	4,27	37,46
Baie chapelle	9	1,68	7,9	116,72
Baie	14	1	4,7	64,30
Chapelle gothique	3	1	4	11,68
Baie circulaire	1	2		3,14
Total	85			427,23

PETIT TRANSEPT



	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m²)
Chapelle Jean de Bourbon				
Baie gothique	5	1,093	4,996	26,66
Petite Baie	1	1,186	0,387	0,31
Autres				
Baie (nord-sud)	6	1,336	3,563	27,41
Baie inférieure	2	1,559	2,414	7,01
Baie mur gouttereau inférieur	7	1,019	2,839	19,47
Baie mur gouttereau supérieur	12	1,149	2,893	38,19
Baie chapelle	6	1,15	2,889	19,08
Baie supérieure	2	1,768	4,59	15,56
Total	41			153,69

CHŒUR



	Nbre	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)
Baie chapelle rayonnante	19	1	2,9	53,06
Baie déambulatoire	4	1	1,5	5,57
Baie chœur	11	1	2,9	30,72
Baie supérieure	1	1	3,1	2,99
Baie travée	2	1,2	1,4	3,05
Baie circulaire	2			3,53
Baie travée supérieure	6	1,2	2,9	19,95
Total	45			118,88

Annexe D**TABLES DES COMPOSITIONS ÉLÉMENTAIRES DES FRAGMENTS DE VERRES ET DE VITRAUX
ANALYSÉS POUR LES SITES DE CLUNY ET PARAY-LE-MONIAL**

Table D.1	Verres sodiques de Cluny et Paray-le-Monial
Table D.2	Verres verdâtres des chapelles St-Martial et Ste-Agathe de Cluny
Table D.3	Verres incolores du portail occidental et de la chapelle Ste-Agathe de Cluny
Table D.4	Vitraux calciques de la seconde église de Paray-le-Monial
Table D.5	Vitraux de la chapelle St-Martial de Cluny
Table D.6	Vitraux de la chapelle Jean de Bourbon de Cluny
Table D.7	Vitraux de la première église de Paray-le-Monial
Table D.8	Vitraux potassiques de la seconde église de Paray-Le-Monial
Table D.9	Grisailles de Cluny et Paray-le-Monial
Table D.10	Dalle de pavement du chœur de Cluny

Tableau D.1 – Cluny, transept sud et Paray-le-Monial, seconde église. Composition chimique des échantillons de verre sodique.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	Sb ₂ O ₃	PbO
Incolore	14630	Cl-TS	16,47	<	2,34	67,3		0,17	0,80	1,31	11,39			0,14				
	14972		14,07	0,19	1,54	71,08		0,20	0,80	0,83	11,16			0,13				
	14973		20,45	0,14	2,54	66,38		0,16	0,67	1,01	8,54			0,10				
	14634	Cl-SM	16,65	2,22	2,00	64,15	1,65	<	0,95	4,38	6,22	<	0,99	0,66				
Bleu clair	14641	PLM2	16,41	0,98	2,21	68,07	0,54	0,15	0,89	2,08	6,59	<	0,50	1,09	<	0,22		0,16
	14627		14,88	0,91	2,22	68,17	0,42	0,15	0,66	2,49	7,11	<	0,53	1,30	<	0,44		0,61
	14629	Cl-TS	17,54	0,66	2,09	69,71	0,16	0,17	0,94	0,73	5,76		0,42	0,94		0,46		0,41
	14971		19,04	0,63	2,11	69,38	<	0,16	0,88	0,67	5,26	<	0,34	0,86	<	0,32		0,18
Blanc			17,57	0,60	2,11	69,16	<	0,16	0,72	0,64	5,72	<	0,29	0,44		<	2,37	
Bleu	13972	PLM2	20,14	0,76	2,42	69,06	0,18	0,16	0,65	0,84	4,75	<	0,30	0,49		<		0,22

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Abréviations – Cl-SM : Cluny chap. St-Martial, Cl-TS : Cluny transept sud, PLM2 : Paray-le-Monial 2^{de} église / FC : Fouilles Conant, P : Pit.

Tableau D.2 – Cluny, transept sud – chapelle Saint-Martial et transept nord – chapelle Sainte-Agathe (en gris). Composition chimique des échantillons de verre verdâtre.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	BaO
Vert gris	14631	US 1000	3,24	4,14	4,35	60,20	2,93	<	0,93	4,00	18,47	0,21	0,33	1,07	<
	14635	US 1001	0,35	2,64	3,91	59,78	2,32	<	<	5,63	22,36	0,19	1,00	0,94	0,74
Vert jaune	14632	US 1000	0,31	2,91	5,18	59,44	1,62	0,11		7,99	19,47	0,36	1,10	1,01	0,53
	14637	US 1005	0,47	4,12	5,77	58,37	2,29	<		6,96	18,85	0,37	1,03	1,18	0,54
Vert	14974	US 1001	0,60	4,73	6,30	61,01	2,47	<	<	6,20	16,34	0,31	0,71	0,82	0,44
	14975	US 1005	0,61	5,76	6,40	57,09	2,99	<	<	5,72	18,92	0,32	0,75	0,94	0,43
Vert	14659	FC P.XV	0,43	3,87	5,29	55,16	2,27	<		7,60	21,82	0,42	1,18	1,34	0,59

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Tableau D.3 – Cluny, portail occidental et petit transept nord. Composition chimique des échantillons de verres incolores mis au jour par Conant.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	BaO
Incolore	14660	FC TN-P.XV	4,18	1,59	2,58	64,82	1,69		0,63	5,69	17,62	0,15	0,32	0,63	0,11
	14658	FC PO-P.I	0,43	4,49	1,17	52,86	5,06	<	0,51	20,03	13,83	0,21	0,86	0,48	

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Abréviations – FC : Fouilles Conant, P : Pit, PO : portail occidental, TN : transept nord.

Tableau D.4 – Paray-le-Monial, 2^{nde} église. Composition chimique des échantillons de verre calcique.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	BaO
Incolore	13966		2,14	3,09	3,30	61,64	3,00		0,43	5,39	19,63	0,17	0,71	0,48				
	13969		2,1	3,06	3,28	61,56	3,01		0,43	5,41	19,73	0,12	0,71	0,48				0,11
	13971		1,97	3,47	4,05	60,35	3,03		0,43	6,43	18,47	0,18	0,78	0,63				0,22
Rouge	13964	inc.	2,84	3,46	3,37	60,54	3,11	<	0,70	4,53	20,03	0,13	0,62	0,42				0,17
		rge	2,87	3,55	3,44	58,73	3,06	<	0,64	4,58	20,96	0,14	0,64	0,46		0,68		0,23
Vert	14678	inc.	2,42	2,90	3,04	62,56	3,05	<	0,61	4,44	19,46	0,16	0,60	0,58				0,12
		vert	2,17	2,69	2,97	59,92	2,68	<	0,64	4,39	17,39	0,17	0,57	0,60		4,16	1,47	0,10
	14679	vert	2,25	2,67	2,90	59,82	2,63	<	0,66	4,39	17,33	0,20	0,54	0,58		4,40	1,58	
		inc.	2,43	2,91	3,04	62,47	3,08	<	0,61	4,48	19,55	0,21	0,61	0,57				
Bleu	13973		1,82	3,68	3,79	59,85	2,33	<	0,37	6,20	19,64	0,20	0,78	0,74	0,23			0,31
	14626		1,49	2,92	3,29	61,00	2,63	<	0,39	6,12	19,35	0,19	1,12	1,15	0,12			0,18
Violet	14677	bleu	0,98	3,27	3,32	60,00	2,19	0,13	0,22	8,17	19,09	0,12	1,52	0,56	0,13			0,30
		violet	0,81	2,96	3,48	58,74	1,98	0,16	0,19	7,82	17,32	0,15	5,49	0,52				0,41

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Tableau D.5 – Cluny, chapelle Saint-Martial. Composition chimique des échantillons de vitraux.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	BaO	PbO
Incolore	14638		0,40	5,05	2,45	52,96	2,04	0,11	<	17,17	17,20	0,11	1,33	0,41				0,71	
	14661		1,87	4,93	2,44	53,15	4,11		0,37	18,28	13,39	<	0,68	0,59				0,14	
Rouge	14639	mat. inc.	0,34	4,01	2,97	49,31	2,36	0,14		21,9	16,18	0,17	1,64	0,48				0,49	
	14640	mat. inc.	0,35	3,96	2,96	49,37	2,38	0,16		22,06	16,00	0,15	1,66	0,49				0,46	
		mat. rge	0,36	4,08	3,09	49,84	2,34	0,12		20,65	16,11	0,16	1,63	0,49		0,76		0,37	
	14662	mat. inc.	0,32	3,84	2,84	48,58	2,22	0,16		22,73	16,41	0,15	1,76	0,52				0,49	
		mat. rge	0,27	3,87	2,94	49,08	2,23	0,11	<	21,27	16,53	0,14	1,69	0,52		0,81		0,48	
Ambre	14633		1,56	5,88	3,40	53,85	4,23	<	0,22	15,39	14,03	0,17	0,64	0,56					
Bleu	14636		0,95	5,37	1,30	55,55	3,73	<	0,51	15,26	13,74	0,18	0,90	1,03	0,12	0,33	0,40		0,59

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Abréviations – mat. : matrice, inc. : incolore, rge : rouge.

Tableau D.6 – Cluny, chapelle Jean de Bourbon. Composition chimique des échantillons de vitraux.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	BaO
Incolore	13371		0,23	6,64	1,38	55,13	4,49	0,13	0,29	13,26	17,31	<	0,59	0,49			
	13372		0,34	7,33	1,18	55,86	5,03	<	0,30	12,77	15,61	0,11	0,80	0,48			0,13
	13373		0,24	6,49	1,35	54,94	4,43	0,13	0,29	13,46	17,52	<	0,59	0,50			
	13958		0,44	7,71	1,22	56,21	5,13	<	0,33	12,34	15,09	<	0,76	0,45			0,19
	13959		0,41	7,63	1,19	56,26	5,10	<	0,31	12,48	15,19	0,13	0,77	0,45			
	14665		0,42	8,2	1,30	50,77	5,64	<	0,31	14,27	17,64	0,12	0,74	0,51			
	13960		1,54	5,38	2,05	52,04	5,39	<	0,29	15,76	16,14	0,16	0,63	0,55			
Rouge	13370	inc.	0,76	4,99	1,80	57,35	4,09	<	0,41	16,20	14,53		0,94	0,48			0,39
		rge	0,79	4,90	1,93	56,09	3,81	<	0,32	17,09	12,24	0,16	0,90	0,52		0,96	0,25
Bleu	13374		0,39	6,41	1,50	54,20	5,43	0,10	0,27	14,84	15,29	<	0,80	0,52	<	<	0,12
	13375		0,38	6,45	1,48	54,21	5,45	0,10	0,25	14,79	15,28	<	0,78	0,50	<	<	0,17
	13376		0,44	7,24	1,43	52,17	4,66	<	0,32	13,77	18,46	0,13	0,62	0,66	<	<	
	13957		0,51	8,54	1,65	54,86	5,23	<	0,25	12,48	15,36	<	0,43	0,49	<		
Violet	13377	bleu	0,45	7,29	1,52	54,81	4,92	0,11	0,27	12,59	15,97	<	0,96	0,73	<	<	0,16
		violet	0,36	7,00	1,39	52,50	4,85	<	0,20	12,00	14,53	<	6,16	0,55		<	0,31
	13378	inc.	1,64	4,18	1,71	57,99	4,40	0,10	0,37	15,63	12,45	<	0,99	0,40			<
		bleu	1,51	4,28	1,75	58,23	4,67	0,10	0,37	14,94	12,35	0,11	0,97	0,46	<	0,10	<
		violet	1,66	4,05	2,01	52,24	4,04	<	0,16	14,79	11,46	<	8,44	0,57			0,47
	14642	bleu	0,42	7,13	1,48	54,59	4,94	<	0,26	12,77	16,18	<	1,01	0,75	<	<	0,16
		violet	0,38	6,84	1,30	52,18	4,70	<	0,21	12,13	14,69	<	6,35	0,67		<	0,37
	14663	bleu	0,42	7,04	1,50	54,43	4,85	<	0,27	12,87	16,33	<	0,99	0,78	0,11	<	0,19
		violet	0,34	6,87	1,28	52,12	4,68	<	0,18	12,2	14,83		6,45	0,60			0,41
	14664	bleu	0,41	7,23	1,51	54,68	4,90	<	0,26	12,66	16,09	0,11	0,98	0,74	0,10	<	0,15
		violet	0,38	6,99	1,35	52,47	4,71	<	0,19	12,01	14,55		6,22	0,64			0,42

Tableau D.7 – Paray-le-Monial, 1^{re} église. Composition chimique des échantillons de verre.

		Na₂O	MgO	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	S	Cl	K₂O	CaO	TiO₂	MnO	Fe₂O₃	CuO	BaO
Incolore	14666	3,84	5,13	3,36	50,43	5,57	<	0,45	13,08	15,31	0,16	1,48	0,95		0,20
	14671	0,47	4,29	2,48	54,67	2,72	<	0,29	13,42	19,14	0,27	1,13	0,78		0,27
Rouge	14672	2,53	5,84	3,62	47,99	4,53	<	0,31	15,01	17,48	0,14	1,30	0,75	0,21	0,23
Ambre	13961	4,20	5,26	3,47	52,03	5,66	<	0,56	13,06	13,28	0,15	1,28	0,82		0,17
	14667	2,24	5,61	2,54	48,85	4,86	<	0,33	16,74	16,77	0,13	1,03	0,58		0,29
	14668	0,87	4,27	2,38	49,86	5,45	<	0,29	15,15	19,42	0,24	0,85	0,79		0,37
Vert	14670	0,83	4,41	2,18	51,72	3,53	<	0,21	16,21	16,28	0,21	1,18	0,94	1,90	0,32
	14673	1,25	3,99	2,54	52,54	3,16	<	0,20	13,42	18,42	0,27	1,03	2,84		0,29
Pourpre	14669	0,52	3,76	1,99	50,52	3,02	0,16	0,10	22,33	15,15	0,18	1,37	0,45		0,45

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Tableau D.8 – Paray-le-Monial, 2nde église. Composition chimique des échantillons de verre potassique.

			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	BaO
Incolore	13962		2,91	6,48	3,90	49,03	4,78	<	0,31	13,84	16,54	0,12	1,13	0,61				0,25
	13967		1,66	5,54	2,98	54,86	5,26	<	0,40	15,25	12,55	0,12	0,68	0,64				
	13968		0,70	5,36	2,80	56,15	5,04	<	0,40	15,32	13,23	0,13	0,32	0,47				
Rouge	13963		2,06	4,82	3,68	51,85	4,98	<	0,33	16,86	13,27	<	0,76	0,73		0,35		0,16
	13970	rge	1,15	6,60	1,29	53,61	5,43	<	0,46	12,41	16,60	0,15	1,03	0,54		0,55		0,13
		inc.	0,91	6,71	1,30	57,9	3,79		0,60	12,85	14,42	0,22	0,84	0,45				
		vert	1,06	6,30	1,26	52,73	5,28	<	0,42	13,65	15,79	0,19	1,00	0,53		1,57		0,13
Ambre	14675		0,85	4,24	2,38	49,59	5,45	<	0,30	15,30	19,58	0,23	0,88	0,79				0,36
	14676		0,96	4,24	2,01	52,91	4,18	<	0,25	14,43	18,49	0,24	1,13	0,79				0,31
Vert	14674		1,42	3,72	2,78	54,76	2,54	<	0,11	13,87	16,9	0,33	1,27	1,88				0,37
	14680		0,68	4,63	2,35	51,43	3,24	0,11	0,23	14,82	17,63	0,23	1,14	0,94		2,20		0,37
Bleu	13965		0,46	4,71	1,83	52,54	4,87	<	0,37	18,06	15,59	0,14	0,40	0,82	<	<	<	<
	14628		0,79	4,56	2,64	55,61	3,65	0,10	0,23	13,9	15,58	0,17	1,15	1,05	0,10	0,12		0,38
Pourpre	14681		0,93	4,56	1,06	56,00	3,11	0,13	0,24	14,29	17,32	0,14	1,45	0,42				0,37
	14682		2,12	5,67	2,96	51,78	4,42	<	0,37	15,35	13,71	0,14	2,13	1,08				0,22

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes. < : en-dessous de la limite de détection, < 0,1 %.

Tableau D.9 – Cluny et Paray-le-Monial. Composition chimique des grisailles.

		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	Sn	PbO
13359	Cl-TS-JdB		0,20	1,00	20,27	0,76			3,36	1,44		0,46	36,07		3,98	0,62		31,87
	Incolore		± 0,08	± 0,43	± 2,47	± 0,17			± 0,28	± 0,32		± 0,15	± 5,27		± 0,68	± 0,07		± 3,01
13962	PLM2	1,09	1,73	4,51	52,94	2,29	0,14	0,18	2,07	4,65		0,66	26,77		0,18			2,81
	Incolore	± 0,46	± 0,73	± 0,27	± 10,45	± 0,76	± 0,02	± 0,02	± 0,17	± 1,6		± 0,09	± 7,39		± 0,15			± 0,77
13965	PLM2	0,27	0,50	0,95	13,68	13,74	0,16	0,27	0,41	19,28	0,13	0,72	36,61	0,24	0,34	0,11		12,50
	Bleu	± 0,06	± 0,08	± 0,12	± 3,97	± 3,9	± 0,06	± 0,02	± 0,09	± 4,19	± 0,18	± 0,28	± 3	± 0,08	± 0,01	± 0,15		± 0,66
13970	PLM2	0,29	0,72	1,56	18,79	4,32		0,18	0,79	5,74		0,15	56,14		0,60			10,75
	Rouge	± 0,01	± 0,11	± 0,22	± 1,73	± 0,13			± 0,17	± 0,47		± 0,03	± 3,3		± 0,27			± 1,31
14638	Cl-TS-SM		0,33	1,26	13,13	0,96			0,92	1,91		0,48	42,47		22,26	2,83	2,84	10,48
	Rouge		± 0,05	± 0,4	± 2,07	± 0,27			± 0,21	± 0,48		± 0,29	± 2,9		± 4,76	± 0,44	± 0,85	± 0,41
14668	PLM1	0,45	0,59	2,95	44,68	2,64			0,78	3,28	0,24	0,33	38,76		0,60		1,07	3,60
	Ambre	± 0,09	± 0,13	± 0,23	± 3,41	± 0,39			± 0,1	± 0,12	± 0,01	± 0,13	± 3,9		± 0,1		± 0,14	± 0,1

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes.

Tableau D.10 – Cluny, dalle de pavement à incrustation de verre provenant vraisemblablement du chœur de la Maïor Ecclesia (vers 1090-1120). Les analyses ont été réalisées par Ian Freestone [1992].

		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	PbO
Incrustation de verre verte	\bar{X}	1,60	5,90	2,60	45,60	6,00	15,30	16,50	1,30	0,60	< 0,20	2,80	< 0,20
	σ				± 2,28	± 0,30	± 0,77	± 0,83	± 0,26			± 0,28	

Résultats des analyses exprimés en % d'oxydes.

Annexe E

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES POLYCHROMIES DES FRAGMENTS DE LA ROSE OU DEMI-ROSE DU PORTAIL GOTHIQUE DE LA *MAIOR ECCLESIA*

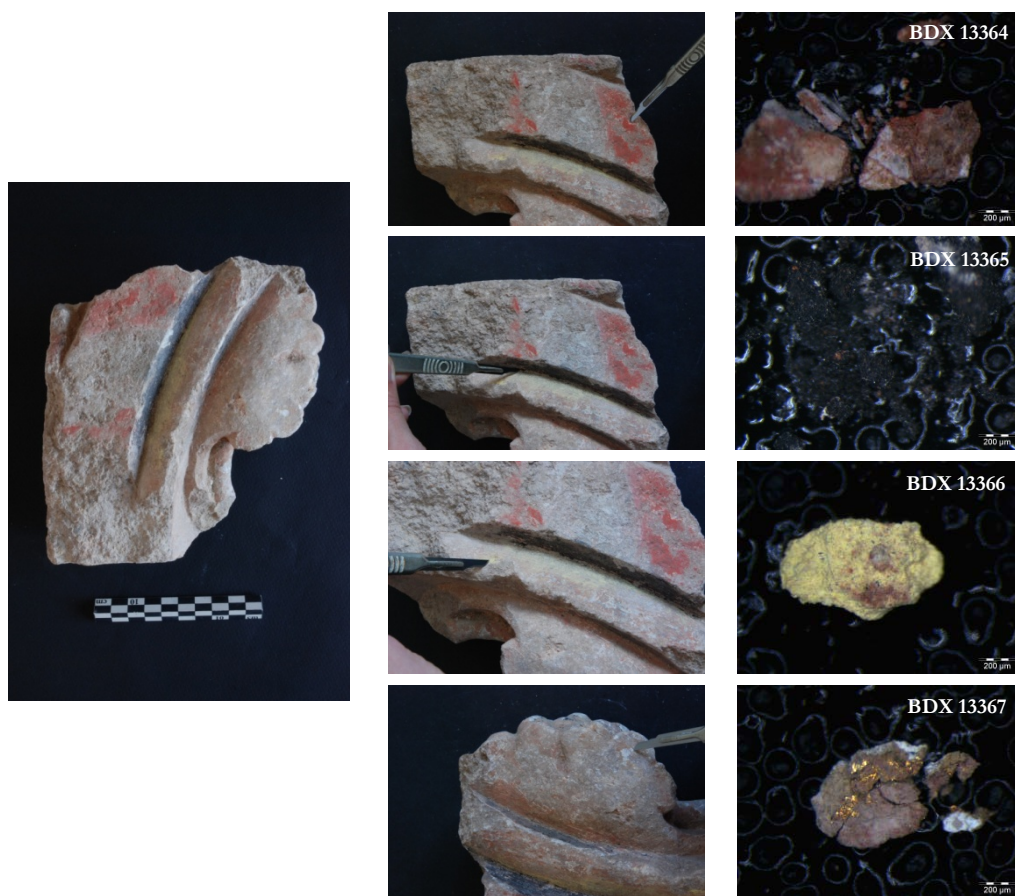


Figure E.1 – Cluny, façade gothique. Localisation des prélèvements sur le fragment de la rose ou demi-rose (III-1989-IX-40) et photographies en lumière naturelle des différents échantillons.



Figure E.2 – Cluny, façade gothique. Localisation du prélèvement sur le fragment de la rose ou demi-rose (1989-X-148) et photographie en lumière naturelle de l'échantillon.

Tableau E.1 - Cluny, portail gothique. Tableau récapitulatif des structures stratigraphiques des échantillons indiquant la nature des différentes couches à partir des « constituants » décelés.

Bdx	Stratigraphie	MEB-EDS	Raman	Interprétation
13364	rouge	Pb, Hg, Si , Ca, Fe, Al, S, P, K, Ti, Na, Mg, Cl	cinabre	support calcaire
	blanc		blanc de plomb, calcite	
	support	Ca , Si, Fe, Al (Mg, K)		
13365	noir	Pb, Ca , Sn, Si, Cu, Fe, Al, (Na, Mn)	noir de carbone, galène ?	noir de carbone ou galène + carbonate de calcium
13366	jaune vif	Pb, Sn , Ca, Si, (Al, Fe)	jaune de plomb-étain (II)	jaune de plomb-étain (II)
	jaune orangé	Pb, Si, Al, Fe , Ca, Sn, K, (P, Mg, Ti, Na)		ocre jaune
13367	dorure	Au, Pb , Mn, Si, Ca, (Cu, Fe, Al)	-	feuille d'or
	rouge rosé	Pb, Ca, Si , P, Fe, Al, Au, Cl, (K, Mg, Ti)	blanc de plomb, calcite, ocre rouge	ocre rouge + blanc de plomb
	blanc	Pb , Ca, (Al)		blanc de plomb (préparation)
14002	noir			noir de carbone
	jaune vert	Pb, Sn , Si, Ca, (Cu, Al, Fe)		jaune de plomb-étain (II)
	rouge	Si, Al, Pb , Fe, Ca, K, Cu, Na, (Mg, P, Ti)		ocre rouge
	dorure	Au , Si, Ca, Fe, Cu, (Al, K)		feuille d'or
	jaune	Si, Ca, Pb , Fe, Al, P, K, (Mg, Cu, Ti)		ocre jaune
	blanc	Pb , Ca, (Al)		blanc de plomb (préparation)
	[support]			support calcaire

Analyse EDS : **Éléments majeurs** > 10 % ; 10 % > **Éléments mineurs** > 1 % ; (Éléments à l'état de traces < 1 %).

Annexe F

ZONES FIXÉES AU PARALOÏD SUR LES FRAGMENTS LAPIDAIRES DES PORTAILS DE LA *MAIOR ECCLESIA*

Quelques prélèvements ont été fixés à l'aide de paraloïd 5% (résine acrylique diluée à l'acétone), afin d'obtenir de meilleures stratigraphies avec la succession complète des différentes couches. Campagne réalisée les 11 et 12 mars 2010.



Portail roman – Voussure des anges, plis de vêtement / 242.39

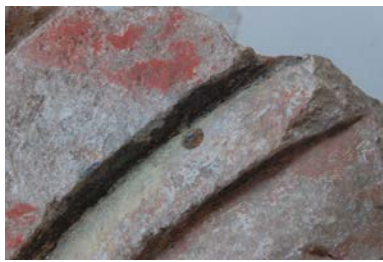


Portail roman – Tympan / R1058.2 / 1203.5 (7VII28)

PR – Voussure rosettes / 1034.50



Portail roman – Coussinet, aile de l'ange-atlante / 242.47



Portail gothique – Rose ou demi-rose / III-1989-IX-40

1989-X-148

Références bibliographiques

SOURCES ÉDITÉES

AGRICOLA G., [1556]. *De re metallica*, FRANCE-LANORD A. (trad.), Klopp, Thionville, 1987, 555 p.

ANTOINE DE PISE, [VERS 1400]. LAUTIER C. et SANDRON D. (dir.), *Antoine de Pise, l'art du vitrail vers 1400*, CTHS, Paris, 2008, 382 p.

CENNINI C., [1398-1401]. *Le livre de l'art (Il libro dell'arte)*, Berger-Levrault, Paris, 1991, 408 p.

HÉRACLIUS [12^e-13^e siècle]. *De coloribus et artibus romanorum*, in MERRIFIELD M.P., *Original Treatises dating from the XIIth to the XVIIIth centuries on the arts of painting, in oil, miniature, mosaic, and on glass; of gilding, dyeing, and the preparation of colours and artificial gems; preceded by a general introduction; with translations, prefaces, and notes*, J. Murray, London, 1849, 2 vol.

JEAN D' OUTREMEUSE, [fin 14^e siècle]. *Le Trésorier de philosophie naturelle des pierres précieuses* (Livre IV) in CANNELLA A.-F., *Gemmes, verre coloré, fausses pierres précieuses au Moyen Age*, Droz, Genève, 2006, 480 p.

PLINE L'ANCIEN, [1^{er} siècle apr. J.-C.]. *Histoire naturelle*, Livres I à XXXVII, Les Belles Lettres, Paris, Coll. des universités de France, 1950-1972.

THÉOPHILE, [12^e siècle]. *Essai sur divers arts*, publié par le Comte Charles de l'Escalopier, Paris, 1843, 316 p.

THÉOPHILE, [12^e siècle]. *The various arts*, translated by DODWELL C.R., Nelson, London, 1961, 178 p.

THOMAS D'AQUIN, [13^e siècle]. *Summa theologiae*, in ROGUET A.-M. (trad.), *Somme théologique*, Cerf, Paris, tome I, 1984, 966 p.

SOURCES MODERNES

BOUCHÉ DE LA BERTILLIÈRE P., 1815-1817. *Description historique et chronologique de l'abbaye, ville et banlieue de Cluny, depuis leur fondation jusqu'à la Révolution de 1789*, 8 volumes, mss 76-83, Bibliothèque du musée municipal de Cluny.

Une version embellie de la description du portail rédigée en 1749 par Dumolin se trouve dans le ms. 77, fol. 134-44.

Pour une version plus ancienne de la description de Bouché, écrite entre 1793 et 1798, cf. B.n.F., ms. n. a. fr. 4336.

DUMOLIN B., v. 1749. *Description historique et topographique de la ville, abbaye et banlieue de Cluny*, ms 71, 89 fol., Bibliothèque du musée municipal de Cluny.

La description du portail occupe les folios 34 à 39.

LE SIEUR DE MOLÉON [LEBRUN DES MARETTES J.-B.], 1718. *Voyage liturgique de France ou recherches faites en diverses villes du royaume*, Florentin Delaulne, Paris.

MABILLON DOM J., 1724. *Itinerarium Burgundicum, Ouvrages posthumes de D. Jean Mabillon et D. Thierry Ruinart, Bénédictins de la congrégation de Saint-Maur*, Paris, 3 vol.

MARTÈNE DOM E. et DURAND DOM U., 1717. *Voyage littéraire de deux religieux bénédictins de la congrégation de Saint-Maur*, Paris, 2 vol.

FONDS CONANT

CONANT K.J., 1928-50. *Daybooks*, 6 vol., Bibliothèque du musée municipal de Cluny.

CONANT K.J., 1931. *Catalogue of fragments from the excavations of 1931*, Bibliothèque du musée municipal de Cluny.

(Ces listes des trouvailles, numérotées par *Pits*, concernent également les fouilles réalisées entre 1928 et 1936 ; elles n'ont pas été poursuivies après la Seconde Guerre Mondiale.)

CONANT K.J., Photos 1-2034 : photos des fouilles, des fragments fouillés et des sources iconographiques, tirées des négatifs (perdus), pour la plupart prises par M. LOURY, photographe à Cluny, Bibliothèque du musée municipal de Cluny.

RAPPORTS D'INTERVENTIONS ARCHÉOLOGIQUES

BAUD A., 1994. *Le transept sud de l'abbaye de Cluny, D.F.S. de sauvetage programmé*, S.R.A. Bourgogne, 4 vol., Dijon.

ROLLIER G., 1988. *Rapport sur la campagne de surveillance des travaux de mise en valeur du narthex de Cluny III*, S.R.A. Bourgogne.

ROLLIER G., 1989. *Transformation du projet des Monuments Historiques – aménagements du narthex de Cluny III*, rapport de diagnostic archéologique sur la place du 11 Août 1944, S.R.A. Bourgogne.

ROLLIER G., 1990. *Fouilles de sauvetage programmé 1988-1990. Narthex de Cluny III : cour abbatiale*, rapport de synthèse, ms. dact., Cluny.

ROLLIER G., 1999. *Paray-le-Monial (71) Basilique, D.F.S. de fouilles de sauvetage*, Paray-le-Monial, 2 vol.

BIBLIOGRAPHIE

- AMATORE C., BOUQUILLON A., DESCHAMPS-LEQUIME S., et al., 2010.** *La chimie et l'art, Le génie au service de l'homme*, EDP Sciences, Les Ulis, 228 p.
- ARMİ E., 1983.** *Masons and sculptors in Romanesque Burgundy, the new aesthetic of Cluny III*, University Park, London, Pennsylvania state university press, 2 vol.
- AZE S., 2005.** Altérations chromatiques des pigments au plomb dans les œuvres du patrimoine, Étude expérimentale des altérations observées sur les peintures murales, Thèse de doctorat en géosciences, Université d'Aix-Marseille 3, 208 p.
- BALCON-BERRY S., [2009].** Vitraux antérieurs au XII^e siècle en Bourgogne, in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, p. 213-37.
- BALCON-BERRY S. et SAPIN C., 2006.** Paray-le-Monial, miroir de Cluny, in SAPIN C. (dir.) *Bourgogne romane*, Faton, Dijon, p. 128-32.
- BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.), [2009].** *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, 282 p.
- BAMFORD C.R., 1977.** *Colour Generation and Control in Glass*, Elsevier, Amsterdam, vol. 2, 224 p.
- BARRERA J. and VELDE B., 1989.** A study of french medieval glass compositions: I, *Archéologie médiévale*, 19, 81-130.

- BASTIEN F., 2006.** La couleur, une relation textuelle, iconique et plastique, in DURNERIN J. (dir.) *Les couleurs en question*, (Actes du colloque international de Herstmonceux Castle, Sussex, GBR, 26-29 mai 2005), Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen (HUN), p. 5-22.
- BAUD A., 2003.** *Cluny, un grand chantier médiéval au cœur de l'Europe*, Picard, Paris, Coll. Espaces médiévaux, 197 p.
- BAUDELAIRE C., 1846.** *Salon de 1846*, Michel Lévy frères, Paris, 132 p.
- BECKSMANN R., 2001.** Vetrate preromaniche e del primo romanico in Germania: ritrovamenti-fonti-ipotesi, in DELL'ACQUA F. et SILVA R. (dir.), *La Vetrata in Occidente secc. IV-XI. Atti del convegno. Lucca, 23-25 Settembre 1999. Il colore nel Medioevo. Arte, Simbolo, Tecnica. Collana di studi sul colore 3*, École normale supérieure de Pise – Institut historique Lucchese – Corpus Vitrearum Medii Aevi, Lucca, p. 147-58.
- BELHOSTE J.-F., 1999.** Pour une étude du verre plat, vitrail et vitrage, *Bulletin de l'AFAV*, p. 27-8.
- BELL I.M., CLARK R.J.H. and GIBBS P.J., 1997.** Raman Spectroscopic Library of Natural and Synthetic Pigments, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 53, 2159-79.
- BERNÉ D., 2012.** Le grand portail de Cluny III au temps de son intégrité : réception et fonctions, *Histoire antique & médiévale, Cluny 1120, Au seuil de la Major Ecclesia, Le grand portail reconstitué*, HS 30, p. 12-8.
- BERTRAND D. et DUFOUR E. (dir.), [2000].** *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques*, Tec & Doc, Paris (Coll. Sciences et techniques agroalimentaires), 2006, 660 p.
- BETTEMBOURG J.-M., 1991.** Les verres des vitraux du Moyen Age. Composition et corrosion, in *Technique et science : les arts du verre*, (Actes du colloque de Namur, 20-21 octobre 1989), Presses universitaires de Namur, Namur, p. 111-8.

- BIKIARIS D., Sister Daniilia, SOTIROPOULOU S. et al., 2000.** Ochre-differentiation through micro-Raman and micro-FTIR spectroscopies: application on wall paintings at Meteora and Mount Athos, Greece, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 56, 3-18.
- BIRON I., DANDRIDGE P., WYPYSKI M. et VANDEVYVER M., 1995.** Le cuivre et l'émail : techniques et matériaux, in TABURET-DELAHAYE E. et al. (eds), *L'œuvre de Limoges, émaux limousins du Moyen Âge*, RMN, Paris, 48-62.
- BIRON I. and BEAUCHOUX S., 2003.** Ion beam analysis of Mosan enamels, *Measurement Science and Technology*, 14, 1564-78.
- BIRON I. and CHOPINET M.-H., 2013.** Colouring, Decolouring and Opacifying of Glass, in Janssens K. (dir.), *Modern Methods for Analyzing Archaeological and Historical Glass*, vol. 1, p. 49-63.
- BISHOP A. C., HAMILTON W. R. et WOOLEY A. R., [1999].** Guide des minéraux, roches et fossiles, Toutes les merveilles du sol et du sous-sol, Delachaux et Niestlé, Paris, 2005, 336 p.
- BLANC A., LORENZ C. et SALVÈQUE J.-D., 1990.** Les différentes carrières exploitées lors de la construction de Cluny III, in *Le gouvernement de Hugues de Semur à Cluny*, (Actes du colloque scientifique international tenu à Cluny en septembre 1988), Musée Ochier, Cluny, p. 335-41.
- BLANC A., 2011.** Origine des matériaux de l'abbaye de Cluny : essai de détermination, in *Corpus de la sculpture de Cluny : les parties orientales de la grande église Cluny III*, Picard, Paris, vol. 1, p. 161-72.
- BLONDEL N., [1993].** *Le vitrail, vocabulaire typologique et technique*, Éd. du Patrimoine, Impr. nationale, Paris, 2000, 436 p.
- BORGIA I., BRUNETTI B.G., MILIANI C. et al., 2007.** The combined use of lead-tin yellow type I and II on a canvas painting by Pietro Perugino, *Journal of Cultural Heritage*, 8, 65-8.

- BOUCHARD M. and SMITH D.C., 2003.** Catalogue of 45 reference Raman spectra of minerals concerning research in art history or archaeology, especially on corroded metals and coloured glass, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 59, 2247-66.
- BOULANGER K., 2004a.** De la couleur ou pas, le vitrail médiéval entre narration et simple décor, in *Le Symbolisme de la lumière au Moyen Âge : de la spéculation à la réalité*, (Actes du Colloque Européen des 5 et 6 juillet 2003), Association des amis du Centre médiéval européen de Chartres, Chartres, p. 47-56.
- BOULANGER K., 2004b.** Les traités médiévaux de peinture sur verre, *Bibliothèque de l'École des chartes*, 162, p. 9-34.
- BOULNOIS O., 2008.** *Au-delà de l'image : une archéologie du visuel au Moyen Âge, Ve-XVI^e siècle*, Seuil, Paris, 488 p.
- BRILL R.H., 1988.** Scientific Investigations of the Jalame Glass and Related Finds, in WEINBERG G.D., *Excavations at Jalame: Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine*, University of Missouri Press, Columbia (USA), p. 257-94.
- BRILL R.H., 1999.** *Chemical analyses of early glasses*, Corning Museum of glass, Corning (N.Y, USA), 2 volumes.
- BRILL R.H. and PONGRACZ P., 2004.** Stained Glass from Saint-Jean-des-Vignes (Soissons) and Comparisons with Glass from Other Medieval Sites, *Journal of Glass Studies*, 46, 115-44.
- BRILL T.B., 1980.** *Light: Its Interaction with Art and Antiquities*, Plenum Press, New York, 287 p.
- BRISAC C., 1973.** La verrière du Champ-près-Froges, *Bulletin de l'Académie delphinale*, 8^e série, 12^e année, p. 204-11.
- BRISAC C. [1980].** *Le vitrail*, Cerf, Paris, 1990, 241 p.
- BRUYNE E. de, [1946].** *Études d'esthétique médiévale*, Albin Michel, Paris, 1998, 2 vol., 690 p.

- BURGIO L. and CLARK R.J.H., 2001.** Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57, 1491-521.
- CAHN W. and SEIDEL L., 1979.** *Romanesque Sculpture in American Collections*, Franklin, New York, vol. I.
- CAHN W. (ed.), 1999.** *Romanesque Sculpture in American Collections*, Brepols, Turnhout (BEL), vol. II, 272 p.
- CALLET P., 1998.** *Couleur-lumière, lumière-matière : interaction lumière-matière et synthèse d'image*, Collection sciences en actes, Éditions Diderot, Paris, 316 p.
- CALLET P., 1999.** Couleur, image numérique et œuvre d'art. Quels modèles ?, *Technè*, 9-10, p. 153-60.
- CALLET P., DUMAZET S., LECLERCQ C and POLITI C., 2010.** Natural Lighting, Gilts and Polychromy of *Notre-Dame de Paris* Cathedral, *Proceedings of the 11th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, VAST'10, Springer, 63-70.
- CALLIAS BEY M., DAVID V. et HÉROLD M., 2006.** *Vitrail, peinture de lumière*, Lieux-dits, Lyon, 183 p.
- CANELLA A.-F., 2003.** Pour une histoire matérielle de l'art, Approche interdisciplinaire des techniques verrières anciennes, in *Au delà de l'écrit. Les hommes et leurs vécus matériels au Moyen Age à la lumière des sciences et des techniques. Nouvelles perspectives*, (Actes du colloque de Louvain-la Neuve, 16-20 octobre 2002), Brepols, Turnhout (BEL), p. 151-66.
- CANNELLA A.-F., 2006.** *Gemmes, verre coloré, fausses pierres précieuses au Moyen Age*, Droz, Genève, 480 p.

- CASTANDET S., 2008.** Les décors métalliques dans les peintures murales (11^e-17^e siècle) : Technique et altération, Mémoire de M2 Recherche « Matériaux du patrimoine culturel », Université Bordeaux Montaigne, 117 p.
- CASTANDET S. et ROLLIER-HANSELMANN J., 2012.** La polychromie du grand portail, *Histoire Antique & médiévale : Cluny 1120. Au seuil de la Major Ecclesia. Le grand portail reconstitué*, HS 30, p. 36-43.
- CASTANDET S. and ROLLIER-HANSELMANN J., 2013.** The Romanesque portal of the abbey-church of Cluny – Study of polychromy, in *Open Journal of Archaeometry, 38th International Symposium on Archaeometry, May 10th-14th 2010, Tampa, Florida, Technology & Provenance*, 1:1, 54-7.
- CASTIÑEIRAS M., 2012.** Artiste-clericus ou artiste-laïque ? Apprentissage et *curriculum vitae* du peintre en Catalogne et en Toscane, *Les cahiers de Saint-Michel de Cuxa, Gestes et techniques de l'artiste à l'époque romane*, 43, 15-30.
- CAUVIN M.-C., GRATUZE B., ARNAUD N. et al., 1998.** *L'obsidienne au Proche Orient, du volcan à l'outil*, Archeopress, Oxford, 388 p.
- CENTENO S.A., GUZMAN M.I., YAMAZAKIKLEPS A. and DELLA VÉDOVA C.O., 2004.** Characterization by FTIR of the Effect of Lead White on Some Properties of Proteinaceous Binding Media, *Journal of the American Institute for Conservation*, 43: 2, 139-50.
- CHARDRON-PICAULT P. et PICON M., 2003.** À propos des ateliers de verriers d'Autun : les implantations, les fours, le verre, *Bulletin de l'AFAV*, 2002-2003, p. 18-21.
- CHOPINET M.-H., LIZARAZU D. et ROCANIÈRE C., 2002.** L'importance des phénomènes d'oxydo-réduction dans le verre, *Comptes Rendus Chimie*, 5 : 12, 939-49.

- CHRISTE Y., 1993.** À propos de deux découvertes récentes : les peintures de la cathédrale de Nevers et de Saint-Silvain de Chaligny-Milon, *Cahiers archéologiques : Fin de l'Antiquité et Moyen Âge*, 41, 91-8.
- CLARK R.J.H., CRIDLAND L., KARIUKI B.M. et al., 1995.** Synthesis, structural characterization and Raman spectroscopy of the inorganic pigments lead tin yellow types I and II and lead antimonite yellow: their identification on medieval paintings and manuscripts, *Journal of the Chemical Society*, 16, 2577-82.
- COCHELIN I., 2005.** Évolution des coutumiers monastiques dessinée à partir de l'étude de Bernard in BOYNTON S. & COCHELIN I. (éd.), *Du cœur de la nuit à la fin du jour : les coutumes clunisiennes au Moyen Âge*, Brepols, Turnhout, p. 29-66.
- COGNOT F., 2002.** Les carrières de La Lie à La Roche-Vineuse (Saône-et-Loire), *Gallia*, tome 59, p. 121-31.
- CONANT K.J., 1968.** *Cluny, Les églises et la maison du chef d'ordre*, The Medieval Academy of America, Cambridge (Massachusetts, USA), 169 p.
- CONANT K.J., 1971.** La chronologie de Cluny III, d'après les fouilles, *Cahiers de civilisation médiévale*, 14, 341-7.
- CONANT K.J., 1977.** A majestic abbey, long destroyed, rises again – on paper, *Harvard Magazine*, January-February 1977, p. 28-33.
- CORPUS VITREARUM (dir.), 1986.** *Les vitraux de Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes*, CNRS, Paris, 350 p.
- COX G.A., HEAVENS O.S. and NEWTON R.G., 1979.** A study of the weathering behavior of medieval glass from York Minster, *Journal of Glass Studies*, 21, 54-75.
- DACLIN L., 1926.** Un médecin de l'abbaye de Cluny, *Annales de l'Académie de Mâcon*, 3^e série, t. XXIV (séance du 5 février 1925), Dejussieu, Protat, Mâcon.

- DANIEL F., LABORDE B., MOUNIER A. et COULON É., 2008.** Le pigment d'aérinite dans deux peintures murales romanes du sud-ouest de la France, *Archéosciences – Revue d'archéométrie*, 32, 83-91.
- DANIEL F., MOUNIER A. and RICARRÈRE P., 2012.** Of Some Blue and Bluish Grey Pigments on Medieval Mural Paintings in the South West of France, in *Proceedings of the 39th International Symposium for Archaeometry*, (ISA 2012, Leuven, Belgium), à paraître.
- DAYTON J.E., 1981.** Geological evidence for the discovery of cobalt blue glass in Mycenaean times as a by-product of silver smelting in the Schneeberg area of the Bohemian Erzgebirge, *Revue d'Archéométrie*, suppl. vol. III, 57-61.
- DELL'ACQUA F., 2003.** *Illuminando colorat, La vetrata tra la tarda Antichità e l'alto Medioevo attraverso le fonti e l'archeologia*, (Studie Ricerche di Archeologia e Storia dell'Arte, 4), Centro italiano di Studi sull'Alto Medioevo, Spoleto, 214 p.
- DELL'ACQUA F., [2009].** Entre fantaisie et archéologie : la connaissance des vitraux médiévaux au cours des deux derniers siècles, in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris 2010, p. 15-20.
- DEMAILLY S., HUGON P., STEFANAGGI M. and NOWICK W., 1998.** The technique of the mural paintings in the choir of Angers Cathedral, *Studies in Conservation*, 43:1, 10-5.
- DÉRIBÉRE M., [1964].** *La couleur*, P.U.F., Paris, Que sais-je ?, 2008, 127 p.
- DERRICK M.R., STULIK D.C. and LANDRY J.M., 1999.** *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*, Getty Conservation Institute, Los Angeles (USA), 235 p.
- DI MATTEO C., 2002.** Polychromies gothiques : premières expériences, enseignements des chantiers 1970-1990, in *La couleur et la pierre. Polychromie des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, 65-72.

- DUCHET-SUCHAUX G. et PASTOUREAU M., [1990]** *La Bible et les saints*, Flammarion, Paris, 2008, 357 p.
- DUMAZET S., 2010.** Modélisation de l'apparence visuelle des matériaux - Rendu physiquement réaliste, Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 131 p.
- DUPUIS G., 2004.** *Couleur de la matière picturale : caractérisation des pigments et des mélanges de pigments, effets induits par l'adjonction de liant et de charges*, Thèse de doctorat en physique - spécialité optique et photonique, Université Paris XI, 292 p.
- ECO U. [1987].** *Art et beauté dans l'esthétique médiévale*, Poche, Paris, 2002, 316 p.
- ELIAS M. et LAFAIT J. (dir.), 2006.** *La couleur. Lumière, vision et matériaux*, Belin, Paris, coll. Echelles, 352 p.
- ERLANDE-BRANDENBURG A., 2003.** *Ombres et lumières romanes*, Gisserot, Paris, 93 p.
- ERLANDE-BRANDENBURG A., [1993].** *Quand les cathédrales étaient peintes*, Gallimard, Paris, 2007, 176 p.
- ETCHEVERRY M.-P., 2008.** Fabrication et gravure à l'acide des verres rouges, in *Antoine de Pise, l'art du vitrail vers 1400*, CTHS, Paris, p. 157-178.
- EVENO M. et MARTIN E., 1996.** Les feuilles mixtes or-argent en peinture de chevalet, in *11th Triennial Meeting Edinburgh, Scotland, 1-6 September 96*, Comité de l'ICOM pour la conservation, Preprints vol. 1, James & James, Londres, 355-9.
- FARGES F., ETCHEVERRY M.-P., SCHEIDEGGER A. and GROLIMUND D., 2006.** Speciation and weathering of copper in "copper red ruby" medieval flashed glasses from the Tours cathedral (XIII century), *Applied Geochemistry*, 21, 1715-31.
- FAYOLLE, MARQUIS DE, 1890.** Troisième excursion de la société Archéologique, in *Bulletin S.H.A.P.*, t. XVII, Périgueux, p. 479.
- FINANCE L. de (dir.), 2010.** *Guide du Musée des monuments français à la Cité de l'architecture et du patrimoine*, Carré, Paris, 319 p.

- FLEURY P., [1898].** *Nouveau traité usuel de la peinture en bâtiment décor et décoration*, Garnier, Paris, 1923.
- FOCILLON H. [1938].** *Art d'occident, le Moyen Âge roman et gothique*, Armand Colin, Paris, 1947, 361 p.
- FORBES R.J., 1957.** Glass, in *Studies in Ancient Technology*, 5, Brill, Leiden (NLD), p. 110-231.
- FOSTER H.E. and JACKSON C.M., 2005.** 'A whiter shade of pale'? Chemical and experimental investigation of opaque white Roman glass gaming counters, *Glass Technology*, 45:5, 327-33.
- FOY D., 1977.** Vitraux découverts dans les fouilles médiévales du sud-est de le France, in *Annales du 7^e Congrès international d'étude historique du verre, Berlin-Leipzig, 15-21 août 1977*, AIHV, Liège (BEL), p. 189-22.
- FOY D. [1988].** *Le verre médiéval et son artisanat en France méditerranéenne*, CNRS, Paris, 2001, 467 p.
- FOY D., 1998.** L'accès aux matières premières du verre de l'Antiquité au Moyen Age en Méditerranée occidentale, in AMOURETTI M.-C. et COMET G. (dir.) *Artisanat et matériaux, la place des matériaux dans l'histoire des techniques*, Publications de l'Université de Provence, Aix-en-Provence, p. 101-26.
- FOY D., [2000].** Technologie, Géographie, Économie. Les ateliers de verriers primaires et secondaires en Occident. Esquisse d'une évolution de l'Antiquité au Moyen Âge, in Nenna M.-D. (ed.), *La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge*, (Actes de la table ronde du 24 octobre 1997 organisée par la MOM et des 12^{es} Journées de l'AFAV, Lyon, octobre 1997), Maison de l'Orient méditerranéen-Jean Pouilloux, Lyon, 2001, p. 147-70.

- FOY D., 2003.** Recyclages et réemplois dans l'artisanat du verre. Quelques exemples antiques et médiévaux, in BALLEP P., CORDIER P. et DIEUDONNÉ-GLAD N. (dir.), *La ville et ses déchets dans le monde romain. Rebut et recyclages*, (Actes du colloque de Poitiers, 19-21 sept. 2002), Mergoïl, Montagnac (FRA), p. 271-276.
- FOY D., 2005.** La suprématie du verre soufflé en cylindre : panneaux et vitraux du V^e au IX^e siècle, *De transparentes spéculations, Vitres de l'Antiquité et du Haut Moyen Âge (Occident-Orient), Exposition temporaire en liaison avec les 20^{es} rencontres de l'AFAV sur le thème du verre plat*, Musée-Site d'Archéologie, Bavay, p. 59-64.
- FOY D. et NENNA M.-D., 2001.** *Tout feu tout sable, Mille ans de verre antique dans le Midi de la France*, Edisud, Aix-en-Provence, 255 p.
- FOY D., PICON M., VICHY M. et THIRION-MERLE V., 2003.** Caractérisation des verres de la fin de l'Antiquité en Méditerranée occidentale : l'émergence de nouveaux courants commerciaux, Foy D. et Nenna M.-D. (dir.), *Échanges et commerce du verre dans le monde antique*, (Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, 7-9 juin 2001), Mergoïl, Montagnac (FRA), p. 41-85.
- FREDRICKX P., 2004.** Transmission Electron Microscopy for Archaeo-Materials Research: Nanoparticles in Glazes and Red/Yellow Glass and Inorganic Pigments in Painted Context, PhD Thesis, Universiteit Antwerpen (BEL).
- FREESTONE I.C., 1992.** Theophilus and the Composition of Medieval Glass, in DRUZIK J.R. et al. (eds), *MRS Proceedings* (Symposium J – Materials Issues in Art and Archaeology III), 267, 739-45.
- FREESTONE I.C., 1993.** Compositions and origins of glasses from Romanesque champlevé enamels, in STRATFORD N. (ed), *Catalogue of medieval enamels in the British Museum*, British Museum, London, vol. II, 37-45.
- FRODL-KRAFT E., 1967.** Le vitrail médiéval, technique et esthétique, in *Cahiers de civilisation médiévale*, 37, janvier-mars 1967, p. 1-13.

- FROIDEVAUX Y.-M., 1977).** Le vitrail dans l'architecture médiévale, *Monuments historiques*, 23, p. 31-51.
- GAGE J., [1993].** *Couleur & culture, usages et significations de la couleur de l'Antiquité à l'abstraction*, BÉCHARD-LÉAUTÉ A et SCHVALBERG S (trad.), Thames & Hudson, Paris, 2008, 336 p.
- GAILLARD G., 1961.** Cluny et l'Espagne dans l'art roman du XI^e siècle, *Bulletin Hispanique*, vol. 63, n° 3-4, p. 153-60.
- GERTH K., WEDEPOHL K.H. and HEIDE K, 1998.** Experimental melts to explore the technique of medieval woodash glass production and the chlorine content of medieval glass types, *Chem. Erde*, 58, 219-32.
- GRAND-CLÉMENT A., 2007.** Jacques-Ignace Hittorff, un architecte à l'école de la Grèce, *Anabases*, 6, p. 135-56.
- GRATUZE B., 1997.** L'apport des analyses de verres archéologiques : études de cas, *Technè*, 6, 8-18.
- GRATUZE B. et BILLAUD Y., 2003.** La circulation des perles en verre dans le Bassin Méditerranéen, de l'Âge du Bronze moyen jusqu'au Hallstatt, in FOY D. et NENNA M.-D. (dir.), *Échanges et commerce du verre dans le monde antique*, (Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, 7-9 juin 2001), Mergoïl, Montagnac (FRA), p. 11-5.
- GRATUZE B., SOULIER I. et BARRANDON J.-N., 1997.** L'analyse chimique, un outil au service de l'histoire du verre, *Verre*, 3 : 1, p. 31-43.
- GRATUZE B., SOULIER I., BARRANDON J.-N. et FOY D., 1992.** De l'origine du cobalt dans les verres, *Revue d'Archéométrie*, 16, 97-108.

- GRATUZE B., SOULIER I., BARRANDON J.-N. et FOY D., 1995.** The origin of the cobalt blue pigment in French glass from the thirteenth to the eighteenth centuries, in HOOK D.R. and GAIMSTER D.R.M. (ed.), *Trade and Discovery. the Scientific Study of Artefacts from Post-Medieval Europe and Beyond*, British Museum Occasional Paper 109, British Museum Press, London, p. 124-34.
- GRATUZE B., SOULIER I., BLET M. et VALLAURI L., 1996.** De l'origine du cobalt : du verre à la céramique, *Revue d'Archéométrie*, 20, 77-94.
- GRIOT P., 2012.** Transport et lavage de monolithes colossaux à Cluny au début du XII^e siècle, *Histoire antique & médiévale, Cluny 1120, Au seuil de la Major Ecclesia, Le grand portail reconstitué*, HS 30, p. 33-35.
- GRIOT P., 2014.** *Temps de Construction, Temps de Transport au Moyen Âge. Hypothèses, expérimentations et méthodes*, Rafal Repro, Cluny, 70 p.
- GRODECKI L., 1957.** La couleur dans le vitrail, du XII^e au XVI^e siècle, in MEYERSON I. (ed.), *Problèmes de la couleur*, (Actes du colloque du Centre de recherches de psychologie comparative, Paris, 18-20 mai 1954), S.E.V.P.E.N., Paris, p. 139-47.
- GRODECKI L., 1975.** Abélard et Suger, in *Pierre Abélard et Pierre le Vénérable, les courants philosophiques, littéraires et artistiques en Occident au milieu du XII^e siècle*, (Actes du colloque international du CNRS, Abbaye de Cluny, 2-9 juillet 1972), CNRS, Paris, p. 279-86.
- GRODECKI L., 1977.** Esthétique ancienne et moderne du vitrail roman, *Monuments historiques*, 23, p. 17-30.
- GRODECKI L., [1977].** *Le vitrail roman*, Office du Livre, Fribourg, Vilo, Paris, 1983, 307 p.
- GRODECKI L.** Augsbourg, cathédrale d', in *Encyclopædia Universalis* [en ligne].
Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/cathedrale-d-augsbourg/html> (consulté le 2 avril 2014).

- GUIGNET C.-E. et MAGNE L., 1889.** *Fabrication des verres rouges pour vitraux (XIIe et XIIIe siècles)*, Gauthier-Villars et fils, s.l., 4 p.
- GUINEAU B., 1993.** L'apport des mesures colorimétriques aux études historiques et archéologiques, in JUNOD P. et PASTOUREAU M. (ed.). *La couleur, regards croisés sur la couleur du Moyen Age au XXe siècle*, (Actes du colloque de Lausanne (Université de Lausanne, 25-27 juin 1992)), Le Léopard d'Or, Paris, p. 17-26.
- GUINAUD B., 2005.** *Glossaire des matériaux de la couleur et des termes techniques employés dans les recettes des couleurs anciennes*, Brepols, Turnhout, 791 p.
- GUNN et MARTIN E., 2000.** Mécanisme d'altération d'un alliage cuivreux en présence d'un liant huileux, in *Art et chimie, la couleur. Actes du Congrès [Paris, 16-18 septembre 1998]*, éd. CNRS, Paris, 141-5.
- HAPPA J., MUDGE M., DEBATTISTA K., et al., 2010.** Illuminating the past: state of the art, *Virtual Reality*, 14, 155-82.
- HAUDICQUER DE BLANCOURT J., [1697].** *L'art de la verrerie*, Jombert, Paris, 1718, 2 vol.
- HENDERSON J., 1990.** Chemical and structural analysis of Roman enamels from Britain, in *Archaeometry '90*, (Proceedings of the International Symposium on Archaeometry, Heidelberg, April 1990), p. 285-94.
- HENDERSON J., 1991.** Industrial specialization in Late Iron Age Europe: organization, location and distribution, *Archaeological Journal*, 148, 104-48.
- HENDERSON J., 1998.** Islamic glass production and the possible evidence for trade in a cobalt-rich colorant, in WARD D. (ed.), *Gilded and enameled glass from the Middle East*, British Museum Press, London, p. 116-21.
- HENDERSON J., 2000.** Glass, in *The science and archaeology of materials. An investigation of inorganic materials*, Routledge, New York, p. 24-108.

- HENDERSON J. and WARREN S.E., 1983.** Analysis of prehistoric lead glass, in ASPINALL A. and WARREN S.E. (eds), *Proceedings of the 22nd Symposium on Archaeometry*, 168-80.
- HOUDAER J.-P., 2005.** La coloration des verres, *Verre*, 11 : 4, 4-16.
- HOWARD H., 2003.** *Pigments of English Medieval Wall Painting*, Archetype, London, 314 p.
- IOGNA-PRAT D. et ROSÉ I., 2010.** Cluny 909/910-1109, in STRATFORD N. (dir.), *Cluny, 910-2010 : onze siècles de rayonnement*, Éditions du Patrimoine, Paris, p. 22-31.
- JACKSON C.M. and SMEDLEY J.W., 2004.** Medieval and post-medieval glass technology: melting characteristics of some glasses melted from vegetable ash and sand mixtures, *Glass Technology*, 45, 36-42.
- JACKSON C.M., 2005.** Making colourless glass in the Roman period, *Archaeometry*, 47:4, 763-80.
- JONES G.O., 1956.** *Glass*, Methuen, London, 119 p.
- KARGÈRE L., 2003.** The use of Lapis Lazuli as Pigment in Medieval Europe, *Met Objectives*, 4:2, Spring, p. 5-7.
- KARGÈRE L., 2012.** La sculpture romane polychrome sur bois en Auvergne et Bourgogne : étude technique, *Les Cahiers de Saint-Michel de Cuxa, Gestes et techniques de l'artiste à l'époque romane*, 43, p. 113-23.
- KLEINSCHMIDT H., 1947.** The Cluny St Peter, *Studies, Museum of Art*, Rhode Island School of Design, Providence (USA), p. 18-31.
- KLEINSCHMIDT H., 1970.** Notes on the Polychromy of the Great Portal at Cluny, *Speculum, A Journal of Medieval Studies*, The Medieval Academy of America, Cambridge, Massachusetts (USA), vol. XLV, n°1, p. 36-9.

- KNOWLES J.A., 1927.** The history of copper ruby glass. *Transactions of the Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology*, 6, 66-74.
- KÜHN H., 1963.** Lead-tin yellow, *Studies in Conservation*, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 13:1, 7-33.
- KÜHN H., 1993a.** Verdigris and copper resinate, in FELLER R.L. and ROY A. (ed.), *Artists' Pigments: A Handbook of their History and Characteristics*, National Gallery of Art, Washington, vol. 2, 131-58.
- KÜHN H., 1993b.** Lead tin yellow, in FELLER R.L. and ROY A. (ed.), *Artists' Pigments: A Handbook of their History and Characteristics*, National Gallery of Art, Washington, vol. 2, 83-112.
- KUNICKI-GOLDFINGER J.J., FREESTONE I.C., McDONALD I., et al., 2014.** Technology, production and chronology of red window glass in the medieval period – rediscovery of a lost technology, *Journal of Archaeological Science*, 41, 89-105.
- KURMANN P., 2010.** La chapelle Saint-Martial à Cluny, chef d'œuvre du style rayonnant parisien, in *Cluny 910-2010, Onze siècles de rayonnement*, Éd. du Patrimoine – Centre des monuments nationaux, Paris, p. 390-7.
- KURMANN-SCHWARZ B. et LAUTIER C., 2009.** Le vitrail médiéval en Europe : dix ans d'une recherche foisonnante, *Perspective, La revue de l'INHA*, Colin, Paris, 2009-1, 99-130.
- LAFOND J., 1966.** *Le vitrail, origine, techniques, destinées*, La Manufacture, Paris, 1988 (3^e éd. mise à jour par PERROT F.), 220 p.
- LAGABRIELLE S., 2000.** La verrerie du XII^e à la fin du XV^e : évolution d'une technique, *Médiévales, Techniques : les paris de l'innovation*, 39, 57-78.
- LAGABRIELLE S., 2003.** Les commandes de verre plat du duc de Bourgogne à la fin du XIV^e s., *Bulletin de l'AFAV*, 2002-2003, p. 42-3.

- LAGABRIELLE S. et VELDE B., 2003.** Le verre dans le vitrail, Analyse des vitraux du XIII^e s. de la collection du Musée National du Moyen Age, *Bulletin de l'AFAV*, 2002-2003, p. 43-6.
- LAGABRIELLE S. and VELDE B., 2005.** Evolution of french stained glass compositions during the Middle Ages - Analyses and observations made on the Cluny collection, *Annales du 16^e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre*, London, 2003, AIHV, Nottingham, p. 341-6.
- LAHLIL S., BIRON I., GALOISY L. et MORIN G., 2007.** Procédés technologiques utilisés au cours de l'histoire pour opacifier les verres à l'antimoine, *Bulletin de l'AFAV*, p. 69-71.
- LAHLIL S., 2008.** Redécouverte des procédés d'opacification des verres à l'antimoine à travers l'Histoire. Études des antimoniates de calcium, Thèse de doctorat en Physique et Chimie des matériaux, Université Pierre et Marie Curie, 374 p.
- LANGLOIS J.-Y., [2009].** Vitrail mosaïque de l'église mérovingienne de Notre-Dame-de-Bondeville (Seine-Maritime) in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, p. 95-119.
- LAUTIER C., 1990.** L'usage de la grisaille sur les faces externes des vitraux de la cathédrale de Chartres, *Vitrea*, 5-6, p. 23-9.
- LAUTIER C., 2000.** Claudine Lautier, Le début du jaune d'argent dans l'art du vitrail à la manière d'Antoine de Pise, *Bulletin Monumental*, 158-2, p. 87-109.
- LAUTIER C. et SANDRON D. (dir.), 2008.** *Antoine de Pise, l'art du vitrail vers 1400*, CTHS, Paris, 382 p.
- LE HÔ A.-S. et PAGÈS-CAMAGNA S., 2014.** La polychromie de la sculpture médiévale française, XII^e-XV^e siècles. Bilan des examens et analyses entrepris au C2RMF, *Technè*, 39, 34-41.

- LE MAHO J. et LANGLOIS J.-Y., 2005.** Du vitrail-mosaïque au vitrail peint, les découvertes de Notre-Dame-de-Bondeville et de Rouen (VII^e – IX^e siècles), *De transparentes spéculations, Vitres de l'Antiquité et du Haut Moyen Âge (Occident-Orient)*, Exposition temporaire en liaison avec les 20^{es} rencontres de l'AFAV sur le thème du verre plat, Musée-Site d'Archéologie, Bavay, p. 89-93.
- LE MAHO J., MORGANSTERN J. et BROINE É., 2014.** Fragments de vitraux romans provenant de l'ancienne abbaye de Jumièges (Seine Maritime), Journées archéologiques de Haute-Normandie, Rouen, 24-26 mai 2013, Presse Universitaires de Rouen et du Havre, p. 1738.
- LENOIR A. 1840.** *Monuments des arts libéraux, mécaniques et industriels de la France, depuis les Gaulois jusqu'au règne de François I^{er}*, Paris.
- LE VAILLANT DE LA FIEFFE O.J., 1873.** *Les verreries de la Normandie, les gentilshommes & artistes verriers Normands*, Lanctin, Rouen, 555 p.
- LRMH, 2003.** Pôle scientifique « Peintures murales », *Bilan d'activité 2002-2003*, p. 97-102.
- LRMH, 2005.** Pôle scientifique « Peintures murales », *Bilan scientifique 2004-2005*, p. 79-90.
- LRMH, 2007a.** Pôle scientifique « Peintures murales », *Bilan scientifique 2006-2007*, p. 72-83.
- LRMH, 2007b.** Pôle scientifique « Vitrail », *Bilan scientifique 2006-2007*, p. 108-14.
- LRMH, 2009a.** Pôle scientifique « Peintures murales », *Bilan scientifique 2008-2009*, p. 73-83.
- LRMH, 2009b.** Pôle scientifique « Vitrail », *Bilan scientifique 2008-2008*, p. 109-18.
- MÂLE É. [1922].** *L'art religieux du XII^e siècle en France. Étude sur les origines de l'iconographie du Moyen Âge*, Colin, Paris, 1998 (8^e éd. augmentée), 526 p.

- MARCHETTI M.-L. et GRATUZE B., 2007.** Le mobilier en verre du site de la Grotta Piatta (Aregno, Haute-Corse) : composition chimique et chronotypologie, *Archéosciences- Revue d'Archéométrie*, 31, 163-73.
- MARQUARDT J.T., 2008.** *From martyr to monument. The abbey of Cluny as cultural patrimony*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, 286 p.
- MARTIN É. et BERGEON S., 1996.** Des bleus profonds chez les Primitifs italiens, *Technè, La couleur et ses pigments*, 4, 74-89.
- MARTIN É et al., 1998.** L'ornementation métallique et ses altérations, *Technè*, 7, 105-108.
- MARTIN É. et DUVAL A.R., 1990.** Les deux variétés de jaune de plomb et d'étain : étude chronologique, *Studies in Conservation*, 35:3, 117-36.
- MASSCHELEIN-KLEINER L., HEYLEN J. et TRICOT-MARCKX F., 1968.** Contribution à l'analyse des liants, adhésifs et vernis anciens, *Studies in Conservation*, 23:3, 105-21.
- MASSCHELEIN-KLEINER L., 1992.** *Liants, vernis et adhésifs anciens*, Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 123 p.
- MAURICE B., 1990a.** Les pavements du chœur de Cluny III, in *Le gouvernement d'Hugues de Semur à Cluny*, (Actes du colloque scientifique international, Cluny, septembre 1988), Musée Ochier, Cluny, 363-83.
- MAURICE B., 1990b.** Le décor du sol : un exemple roman, le pavement du chœur de l'abbatiale de Cluny III, in *Vitrum, Le verre en Bourgogne*, (exposition au musée Rolin d'Autun et au musée archéologique de Dijon), Musée Rolin, Autun – Musée archéologique, Dijon, p. 196-7.
- MAURICE B., 1992.** Le décor sculpté de la chapelle funéraire de Jean de Bourbon, abbé de Cluny, in *Actes des Journées internationales de Claus Sluter, Dijon, 17-21 septembre 1990*, Association Claus Sluter, Dijon, p. 151- 64.

- MCNEILL J. et FERNIE E., 2010.** Cluny en Angleterre, in STRATFORD N. (dir.), *Cluny, 910-2010 : onze siècles de rayonnement*, Éditions du Patrimoine, Paris, p. 370-9.
- MEILUNAS R.J., BENTSEN J.G. and STEINBERG A., 1990.** Analysis of Aged Paint Binders by FTIR Spectroscopy, *Studies in Conservation*, 35:1, 33-51.
- MÉRINDOL C. de, 1993.** Couleurs et peintures murales : problèmes de restauration ou du rôle du XIX^e siècle dans notre vision du Moyen Age, in JUNOD P. et PASTOUREAU M. (dir.) *La couleur, regards croisés sur la couleur du Moyen Age au XX^e siècle*, (Actes du colloque de Lausanne, Université de Lausanne, 25-27 juin 1992), Le Léopard d'Or, Paris, p. 149-64.
- MERRIFIELD M.P., [1967].** *Medieval and Renaissance Treatises on the arts of Painting, Original Texts with English Translations*, Dover, Mineola, (N. Y., USA), 1999, 918 p.
- MIRTI P., DAVIT P. and GULMINI M., 2002.** Colourants and opacifiers in seventh and eighth century glass investigated by spectroscopic techniques, *Analytical & Bioanalytical Chemistry*, 372:1, 221-9.
- MOUNIER A., 2005.** *Analyse physico-chimique de peintures murales de la Renaissance (XVI^e s.) des châteaux de Bannes et de Montaigne (Dordogne) en vue d'une restitution « virtuelle » des décors*, Mémoire de Maîtrise de physique appliquée à l'histoire de l'art, CRP2A, Université de Bordeaux 3.
- MOUNIER A., 2010.** Aurum, argentum et aliae res innumerabiles. Les dorures dans les peintures murales médiévales du Sud-Ouest de la France, Thèse de doctorat en Sciences archéologiques, Université de Bordeaux Montaigne, 460 p.
- MOUNIER A., DANIEL F. et BECHTEL F. (2010).** L'illusion de l'or – Imitation de dorures dans les peintures murales médiévales, *Archéosciences*, (Colloque Aurum, Paris, 11-13 mai 2009), C2RMF, 33, 397-403.

- NAKAI I., NUMAKO C., HOSONO H. and YAMASAKI K., 1999.** Origin of the red color of satsuma copper-ruby glass as determined by EXAFS and optical absorption spectroscopy, *Journal of the American Ceramic Society*, 82, 689-95.
- NENNA M.-D., VICHY M. et PICON M., 1997.** L'atelier de verrier de Lyon, du I^{er} siècle après J.-C., et l'origine des verres « romains », *Revue d'Archéométrie*, 21, 81-7.
- NERI E., 2012.** Utilisation et production de tesselles de mosaïque à l'époque romane d'après le *De diversis artibus*, *Les cahiers de Saint-Michel de Cuxa, Gestes et techniques de l'artiste à l'époque romane*, 43, p. 31-41.
- OPPENHEIM A.L., BRILL R.H., BARAG D. and VON SALTERN A., 1970.** *Glass and glass making in ancient Mesopotamia*, Corning Museum of Glass, Corning (N.Y, USA), 242 p.
- ORIAL G., BRUNET A. et DEMAILLY S., 1990.** *Charlieu (Loire, 42). Abbaye bénédictine (XI^e s.). Façade ouest : portail du narthex et portail latéral. Travaux effectués pendant l'été 1989*, Rapport LRMH n°211B, LRMH, Champs-sur-Marne.
- PACTAT I., 2012.** *Étude archéométrique du verre du V^e au XII^e siècle en Bourgogne et Franche-Comté*, Mémoire de Master 2 ACTE, Université de Franche-Comté, 2 vol., 253 p.
- PALAZZO E., 2010.** Art, Liturgy and the Five Senses in the Early Middle Ages, *Viator*, 41, 25-56.
- PALAZZO-BERTHOLON B., 2003.** Les carrières d'ocre, *Cluny, un grand chantier médiéval au cœur de l'Europe*, Picard, Paris, coll. Espaces médiévaux, p. 128.
- PALLOT-FROSSARD I., 2002.** Polychromies des portails sculptés médiévaux en France. Contributions et limites des analyses scientifiques, in VERRET D. et STEYAERT D. (dir.), *La couleur et la pierre. Polychromies des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, p. 73-90.

- PASTOUREAU M., 1989.** L'église et la couleur des origines à la Réforme, *Bibliothèque de l'École des chartes*, 147, 203-30.
- PASTOUREAU M., 1989.** *Couleurs, images, symboles. Études d'histoire et d'anthropologie*, Le Léopard d'Or, Paris, 291 p.
- PASTOUREAU M., 1990.** La couleur et l'historien, in *Pigments et colorants de l'Antiquité et du Moyen Âge*, (Actes du colloque international du CNRS), CNRS Éditions, Paris, p. 21-40.
- PASTOUREAU M., 1994.** Morales de la couleur : le chromoclasme de la Réforme, in JUNOD P. et PASTOUREAU M. (dir.) *La couleur, regards croisés sur la couleur du Moyen Âge au XX^e siècle*, (Actes du colloque de Lausanne, Université de Lausanne, 25-27 juin 1992), Le Léopard d'Or, Paris, p. 27-46.
- PASTOUREAU M., 1997.** *Jésus chez le teinturier. Couleurs et teintures dans l'Occident médiéval*, Le Léopard d'Or, Paris, 216 p.
- PASTOUREAU M., 1999.** Le temps mis en couleurs. Des couleurs liturgiques aux modes vestimentaires (XII^e-XIII^e siècles), *Bibliothèque de l'École des chartes*, 157, 111-35.
- PASTOUREAU M., 2000.** *Bleu, histoire d'une couleur*, Seuil, Paris, 215 p.
- PASTOUREAU M., 2002.** La couleur et la pierre – Introduction, in VERRET D. et STEYAERT D. (dir.), *La couleur et la pierre. Polychromie des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, p. 19-23.
- PASTOUREAU M., 2008.** *Noir, histoire d'une couleur*, Seuil, Paris, 210 p.
- PASTOUREAU M., 2013.** *Vert, histoire d'une couleur*, Seuil, Paris, 238 p.
- PEREGO F., 2005.** *Dictionnaire des matériaux du peintre*, Belin, Paris, 895 p.

- PERIER-D'ETEREN C., 2006.** Incidence de l'état de conservation de la couleur sur l'analyse critique d'une œuvre, in *Couleur & temps, la couleur en conservation et restauration : [actes des] 12^{es} journées d'études de la SFIIC*, Paris, Institut national du patrimoine, (21-24 juin 2006), éd. SFIIC, Champs-sur-Marne, 41-51.
- PERROT F., 1988.** *Vitrail, art de lumière*, Rempart, Paris, 111 p.
- PERROT F., 1996.** La couleur et le vitrail, *Cahiers de civilisation médiévale*, 39, 211-5.
- PERROT F., [2009].** Archéologie, vitrail, éclairement... une recherche à suivre, in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, p. 277-8.
- PHILIPPE M., 1998.** *Naissance de la verrerie moderne, XII^e-XVI^e siècle, Aspects économiques, techniques et humains*, Brepols, Turnhout (BEL), 462 p.
- PHILIPPE M., 2003.** Aspect de la verrerie bourguignonne au Moyen Age, *Bulletin de l'AFAV*, 2002-2003, 37-42.
- PICON M. et VICHY M., 2003.** D'Orient en Occident : l'origine du verre à l'époque romaine et durant le haut Moyen Âge, in FOY D. et NENNA M.-D. (dir.), *Échanges et commerce du verre dans le monde antique*, (Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, 7-9 juin 2001), Mergoïl, Montagnac, p. 17-31.
- PICON M., THIRION-MERLE V. et VICHY M., 2008.** Les verres au natron et les verres aux cendres du *Wadi Natrun* (Egypte), *Bulletin de l'AFAV*, p. 36-41.
- PILLOY J. et SOCARD E., 1910.** Le vitrail carolingien de la châsse de Séry-les-Mézières, *Bulletin monumental*, 74, 5-23.
- PLESTERS J., 1968.** The Materials of the Wall-Paintings, *The church of Hagia Sophia at Trebizond*, Edinburgh University Press, Edinburgh (GBR) p. 225-34.
- PORTER A.K., 1923.** *Romanesque Sculpture of the Pilgrimage Roads*, Jones, Boston, 10 tomes, I, p. 108-9.

- PUEL O., 2009.** Les coutumiers clunisiens, in REVEYRON N. (dir.) et ROLLIER G. (collab.), *Hugues de Semur, 1024-1109, Lumières clunisiennes*, Doyen, Cluny, p. 76-7.
- REAU L. [1959].** *Histoire du vandalisme, Les monuments détruits de l'art français*, Laffont, Paris, 1994, 1190 p.
- REGERT M., GUERRA M.-F. et REICHE I., 2006a.** Physico-chimie des matériaux du patrimoine culturel, Partie 1, *Techniques de l'Ingénieur*, P 3 780, p. 1-21.
- REGERT M., GUERRA M.-F. et REICHE I., 2006b.** Physico-chimie des matériaux du patrimoine culturel, Partie 2, *Techniques de l'Ingénieur*, P 3 781, p. 1-11.
- REVEYRON N., 1999.** Lumières gothiques. Évolution du voûtement et de l'éclairage dans la cathédrale de Lyon au XIII^e siècle, *Pierre, lumière, couleur. Études d'histoire de l'art du Moyen Âge en l'honneur d'Anne Prache*, PUPS, Paris, p. 165-84.
- REVEYRON N., 2003.** Architecture, liturgie et organisation de l'espace ecclésial. Essai sur la notion d'espace dans l'architecture religieuse du Moyen Âge, *Les cahiers de Saint-Michel de Cuxa*, 34, 161-75.
- REVEYRON N., 2007.** Les nouvelles orientations méthodologiques et thématiques de l'archéologie du bâti en France à la fin du XX^e siècle, in CATTEDDU I., VINGO P. DE et JAUBERT A.N. (ed.), *On the road again, l'Europe en mouvement*, (Medieval Europe, Paris 2007, 4^e Congrès International d'Archéologie Médiévale et Moderne), Ferrari, Genoa (ITA).
Disponible sur <<http://medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr/N.%20Reveyron.pdf>>
- REVEYRON N., 2009.** Esthétique et symbolique de la lumière dans l'aménagement du sanctuaire médiéval, in *Hortus Artium Medievalium, Le sanctuaire et ses aménagements*, (Actes du 15^e colloque international de Motovun, 5-8 juin 2008), Brepols, Turnhout, 15, 159-72.

- REVEYRON N. (dir.), 2010.** *Cluny et l'art roman en Charolais-Brionnais, Influences et résistances*, Doyen, Chevagny-sur-Guye, 48 p.
- REVEYRON N., 2011.** Lumière, couleur et architecture au Moyen Âge, *Revue d'Auvergne, Couleurs et lumière à l'époque romane*, (Colloques international d'art roman d'Issoire 2005-2007), Alliance universitaire d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 124-125, p. 11-28.
- REVEYRON N., 2011.** L'architecture comme illumination, in HEUCLIN J. (ed.), *Parole et Lumière autour de l'an Mil*, (Actes du colloque international de Lille, Université catholique de Lille, 9-11 octobre 2008), p. 103-12.
- REVEYRON N., 2012.** Lumière et architecture au Moyen Âge : la transcendance incarnée, in DAUSSY S.D., GÎRBEA C., BRINDUSA G. *et al.*, *Matérialité et immatérialité dans l'Église au Moyen Âge*, (Actes du colloque organisé par le Centre d'études médiévales de l'université de Bucarest, le New Europe collège de Bucarest et l'université Charles-de-Gaulle Lille 3, Bucarest, 22-23 octobre 2010), p. 317-35.
- RICHE P., PRACHE A. (dir.) et LEMOINE M. (ed.), 2006.** *L'image dans la pensée et l'art au Moyen Âge*, (Actes du colloque organisé à l'Institut de France le 2 décembre 2005 par l'association Rencontres médiévales européennes), Brepols, Turnhout, 172 p.
- RICHE P., 2000.** *L'âge du verre*, Gallimard, Paris, 159 p.
- ROLLIER G., 1990.** *Fouilles de sauvetage programmé 1988-1990. Narthex de Cluny III : cour abbatiale*, rapport de synthèse, ms. dact., Cluny.
- ROLLIER G., 1996.** Les fouilles archéologiques de l'avant-nef, *Cahiers du Musée d'art et d'archéologie de Cluny*, t. I, p. 16-20.

- ROLLIER G., 2000.** Premiers résultats des fouilles archéologiques sur la basilique de Paray-le-Monial : les deux priorales, in *Paray-le-Monial Brionnais-Charolais, le renouveau des études romanes*, (Actes du II^e colloque scientifique international de Paray-le-Monial, 2-4 octobre 1998), Desclée de Brower, Paray-le-Monial, p. 53-77.
- ROLLIER G., 2009.** Paray-le-Monial, in REVEYRON N. (dir.) et ROLLIER G. (collab.), *Hugues de Semur, 1024-1109, Lumières clunisiennes*, Doyen, Cluny, p. 102-25.
- ROLLIER G., 2010.** *Implantation et hydraulique monastique : le cas de Cluny*, Thèse de doctorat en archéologie, Université Lumière Lyon 2, 2 vol.
- ROLLIER G., 2012.** Les prémices d'une nouvelle archéologie clunisienne, in *Histoire Antique & Médiévale, Cluny 1120, Au seuil de la Major Ecclesia, Le grand portail reconstitué*, HS n° 30, p. 54-5.
- ROLLIER-HANSELMANN J., 2009.** *Étude des peintures murales romanes dans les anciens territoires bourguignons : de Berzé-la-Ville à Rome et d'Auxerre à Compostelle*, Thèse de doctorat en Histoire de l'art médiéval, Université de Bourgogne, 871 p.
- ROLLIER-HANSELMANN J., 2011.** Étude technique des fragments de peintures murales et des polychromies sur pierre provenant de l'abbaye de Cluny (XII^e-XV^e siècle), *Corpus de la sculpture de Cluny : les parties orientales de la grande église Cluny III*, Picard, Paris, vol. 2, p. 741-64.
- ROLLIER-HANSELMANN J. et al., 2011.** La reconstitution 3D du chevet de Cluny III : clôture de chœur, stalles, pavement, peintures murales et vitraux, *BUCEMA, Varia*, 15, 183-201.
- ROQUE G., 1999.** Quelques préalables à l'analyse des couleurs en peinture, *Technè*, 9-10, 40-51.
- ROOKSBY H.P., 1964.** A yellow cubic lead tin oxide opacifer in ancient glasses, *Physics and Chemistry of Glasses*, 5, 20-5.

- ROSSI MANARESI R. and TUCCI A., 1984.** The Polychromy of the Portals of the Gothic Cathedral of Bourges, *Preprints of the 7th Triennial meeting, ICOM Committee for Conservation, 10-14 September 1984, Copenhagen*, ICOM, Paris, p. 84.5.1-4.
- ROSSI-MANARESI R., TUCCI A., GRILLINI G.C. and NONFARMALE O., 1986.** Polychrome sculptures by Antelami in the baptistry of Parma, in ROSSI-MANARESI R. (dir.), *Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings*, (Preprints of the Contributions to the 11th International ICC Congress, 21-26 September 1986, Bologna), Fondazione internazionale Cesare Gnudi, Bologna (ITA), p. 66-71.
- ROSSI-MANARESI R., 2002.** Observations à propos de la polychromie de la sculpture monumentale romane et gothique, in *La couleur et la pierre. Polychromie des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, 57-64.
- ROYCE-ROLL D., 1994.** The Colors of Romanesque Stained Glass, *Journal of Glass Studies*, 36, 71-80.
- SALVÈQUE J.-D., 2002.** Découverte et identification de la tête d'un personnage du linteau du portail de Cluny III, *Bulletin du Centre d'études clunisiennes*, p. 31-3.
- SALVÈQUE J.-D., 2005.** Cluny : trois découvertes importantes se rapportant à l'église abbatiale Cluny III, *Bulletin du Centre d'études clunisiennes*, p. 23-8.
- SALVÈQUE J.-D., 2012.** Premières découvertes de restitution du grand portail de Cluny III, Architecture et mise en œuvre, in *Histoire Antique & Médiévale, Cluny 1120, Au seuil de la Major Ecclesia, Le grand portail reconstitué*, HS n° 30, p. 22-9.
- SALVÈQUE J.-D. et GARRIGOU GRANDCHAMP P., 2012.** Cluny. État des découvertes concernant la sculpture de la façade de l'abbatiale Cluny III, *Bulletin monumental*, 170-1, p. 56-60.

- SAPIN C., 2000.** Le nouveau plan de Paray-le-Monial et l'architecture du 11^e siècle en Bourgogne, in *Paray-le-Monial Brionnais-Charolais, le renouveau des études romanes*, (Actes du II^e colloque scientifique international de Paray-le-Monial, 2-4 octobre 1998), Desclée de Brower, Paray-le-Monial, p. 79-90.
- SAUERLÄNDER W., 2002.** « Quand les statues étaient blanches », Discussion au sujet de la polychromie, in *La couleur et la pierre. Polychromie des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, 27-34.
- SCHOLZE H., 1968.** *Le verre, nature, structure et propriétés*, Institut du verre, Paris, 387 p.
- SENNEQUIER G., 1990.** Préface, *Vitrum, Le verre en Bourgogne*, (exposition au musée Rolin d'Autun et au musée archéologique de Dijon), Musée Rolin, Autun – Musée archéologique, Dijon, p. 3-7.
- SHORTLAND A.J., 2004.** Evaporites of the Wadi Natrun: Seasonal and annual variation and its implication for ancient exploitation, *Archaeometry*, 46, 497-516.
- SHORTLAND A., SCHACHNER L., FREESTONE I. and TITE M., 2006.** Natron as a flux in the early vitreous materials industry: sources, beginnings and reasons for decline, *Journal of Archaeological Science*, 33, 521-30.
- SMEDLEY J.W. and JACKSON C.M., 2002a.** Medieval and post-medieval glass technology: A review of bracken in glassmaking, *Glass Technology*, 43, 1-4.
- SMEDLEY J.W. and JACKSON C.M., 2002b.** Medieval and post-medieval glass technology: Batch measuring practices, *Glass Technology*, 43:1, 22-7.
- SMITH G.D. and CLARK R.J.H., 2004.** Raman microscopy in archaeological science, *Journal of Archaeological Science*, 31, 1137-60.
- SOULIER I., 2004.** L'apport des analyses physico-chimiques pour l'étude des verres colorés, *Revue d'Auvergne, Le vitrail roman et les arts de la couleur, Nouvelles approches sur le vitrail du XII^e siècle*, (Actes du colloque tenu à Issoire en novembre 1999), Alliance universitaire d'Auvergne, Clermont-Ferrand, p. 135-57.

- SPITZER-ARONSON M., 1974.** La distribution du cuivre dans les verres rouges des vitraux médiévaux, *Comptes Rendus – Académie des Sciences*, Gauthier-Villars, Paris, série C, t. 278 (mai-juin 1974), 1437-40.
- SPITZER-ARONSON M., 1975.** Étude de vitraux rouge médiévaux à l'aide de microscope optique, microscope à balayage avec image par électrons rétrodiffusés et microsonde électronique à rayons X, *Verres et Réfractaires*, 29 : 3, 145-53.
- SPITZER-ARONSON M., 1976.** Contribution à la connaissance des vitraux du Moyen Age. Insuffisance de la diffusion pour expliquer la non-concordance stricte entre la présence de cuivre et la couleur à l'intérieur des verres des vitraux rouges, *Verres et Réfractaires*, 30, 56-61.
- SPITZER-ARONSON M., 1977.** Vers une meilleure connaissance d'un métier d'art médiéval. Étude de plusieurs procédés modernes pour reproduire des verres rouges feuilletés des vitraux du Moyen Age, *Verres et Réfractaires*, 31, 25-31.
- SPITZER-ARONSON M., 1978a.** Physique et recherche fondamentale au service de l'histoire des vitraux médiévaux, in *Annales du 7^e Congrès de l'AIHV, Berlin-Leipzig 15-21 août 1977*, AIHV, Liège, p. 309-20.
- SPITZER-ARONSON M., 1978b.** Nouvelles méthodes non destructives destinées à la recherche fondamentale sur les vitraux médiévaux, *Silicates Industriels*, 10, 213-8.
- SPITZER-ARONSON M., 1979.** Précision sur les techniques médiévales des vitraux par des recherches en physique, *Verres et Réfractaires*, 33, 26-34.
- SPITZER-ARONSON M., 1980.** A new method for the study of flat glasses microstructure implications of trace elements variation on the structure of glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 42, 601-6.
- SPITZER-ARONSON M., 1989.** Analytical and historical research on medieval multilayered copper-red glass, in MANIATIS Y. (ed.), *Archaeometry, Proceedings of the 25th International Symposium*, Elsevier, 671-6.

- STERN E. M., 2005.** Les origines du soufflage du verre, *Bulletin de l'AFAV*, p. 1-18.
- STEYAERT D., 1997.** Réflexions à propos de la polychromie des portails gothiques, *Annales d'histoire de l'art et d'archéologie*, Université libre de Bruxelles, Bruxelles, 19, 71-93.
- STRATFORD N., 2007.** Jean Mabillon et Cluny, in *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 151^e année, 4 : 1779-91.
- STRATFORD N. (dir.), 2010.** *Cluny, 910-2010 : onze siècles de rayonnement*, Éditions du Patrimoine, Paris, 487 p.
- STRATFORD N. (dir.), 2011.** *Corpus de la sculpture de Cluny : les parties orientales de la grande église Cluny III*, Picard, Paris, 2 vol., 823 p.
- STRATFORD N., 2012.** À propos du grand portail de la nef de Cluny III, *Bulletin monumental*, 170-1, p. 15-30.
- SUBES-PICOT M.-P., 1992.** Peinture sur pierre : note sur la technique des peintures du XIII^e siècle découvertes à la cathédrale d'Angers, *Revue de l'art*, 97, 85-93.
- TALOBRE J., 1944.** La reconstitution du portail de l'église abbatiale de Cluny, *Bulletin monumental*, 102, 225-240.
- TANIZAKI J., [1983].** *Éloge de l'ombre*, Verdier, Lagrasse, 2011, 90 p.
- THOMAS É., 2012.** *Vocabulaire illustré de l'ornement*, Eyrolles, Paris, 287 p.
- TITE M.S. and SHORTLAND A.J., 2003.** Production technology for copper and cobalt blue vitreous materials from the new kingdom site of Amarna, *Archaeometry*, 45:2, 285-312.
- TITE M.S., PRADELL T. and SHORTLAND A.J., 2008.** Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the late iron age onwards: a reassessment, *Archaeometry*, 50:1, 67-84.

- TOKITA DARLING M., 2012.** Grands vestiges du portail de Cluny III, le Saint Pierre et l'Aigle, *Histoire Antique & Médiévale, Cluny 1120, Au seuil de la Major Ecclesia, Le grand portail reconstitué*, HS n° 30, p. 19-21.
- TOMASINI E.P., HALAC E.B., REINOSO M., et al., 2012.** Micro-Raman spectroscopy of carbon-based black pigments, *Journal of Raman Spectroscopy*, 43, 1671-5.
- TOURNIÉ A., 2009.** Analyse Raman sur site de verres et vitraux anciens : modélisation, procédure, lixiviation et caractérisation, Thèse de doctorat en Chimie – Physique, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 215 p.
- TURNER W.E.S., 1956.** Studies in ancient glasses and glass making processes, Part III: The chronology of glass-making constituents, *Journal of the Society Glass Technology*, 40, 39-52.
- UBOLDI M. and VERITÀ M., 2003.** Scientific analyses of glasses from Late Antique and Early Medieval archaeological sites in northern Italy, *Journal of Glass Studies*, 45, 115-37.
- ULLMANN C. (dir.), 2011.** *Révélation. Le grand portail d'Autun*, Lieux Dits, Lyon, 189 p.
- VAHUR S., 2010.** *Expanding the possibilities of ATR-FT-IR spectroscopy in determination of inorganic pigments*, PhD in Physical and Analytical Chemistry, University of Tartu, Estonia, 136 p.
- VASSAS C.D., 1971a.** Étude chimique, thermographique et physique de verres de vitraux du Moyen Age, in *IX^e congrès international du verre, Versailles, 27 septembre - 2 octobre 1971. [3] Communication artistique et historique*, Institut du Verre, Paris, p. 241-59.
- VASSAS C.D., 1971b.** Étude colorimétrique de verres de vitraux du Moyen Age, in *IX^e congrès international du verre, Versailles, 27 septembre - 2 octobre 1971. [3] Communication artistique et historique*, Institut du Verre, Paris, p. 267-94.
- VASILIU A., 1997.** *Du diaphane : image, milieu, lumière dans la pensée antique et médiévale*, J. Vrin, Paris, 320 p.

- VELDE B., [2009].** Composition des vitraux en France du VIII^e au XII^e siècle : de la soude à la potasse, in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, p. 21-6.
- VELDE B. and BARRERA J., 1986.** Composition of medieval blown glass fragments found at Orléans, France, *Archéologie médiévale*, 16, 93-103.
- VERGNOLLE É., 2008.** 'Maiestas Domini' portals of the twelfth century, in HOURIHANE C. (ed.), *Romanesque Art and Thought in the Twelfth Century, Essays in Honor of Walter Cahn*, Index of Christian Art, Princeton University, Princeton (USA), p. 179-99.
- VERITÀ M., 1996.** Composition, structure et mécanisme de détérioration des grisailles, in *Grisaille, jaune d'argent, sanguine, émail et peinture à froid – Techniques et conservation*, (Forum pour la Conservation et la Restauration des Vitraux, Liège 19-22 juin 1996), Commission royale des Monuments, Sites et Fouilles, Liège, p. 61-7.
- VERITÀ M., 2005.** Comments on W. B. Stern and Y. Gerber, 'Potassium-Calcium Glass: New Data and Experiments', *Archaeometry*, 46(1) (2004), 137-56, in *Archaeometry*, 47:3, 667-9.
- VERITÀ M. and ZECCHIN S., 2009.** Thousand years of Venetian glass: the evolution of chemical composition from the origins to the 18th century, in JANSSENS K., DEGRYSE P., COSYNS P. *et al.* (eds), *Annales of the 17th AIHV Congress* (2006, Antwerp, Belgium), University Press, Antwerp, p. 602-13.
- VERRET D. et STEYAERT D., 2002.** *La couleur et la pierre. Polychromie des portails gothiques*, (Actes du colloque d'Amiens 12-14 octobre 2000), Picard, Paris, 299 p.
- VICHY M., PICON M. et THIRION-MERLE V., 2003.** Le manganèse comme impureté, décolorant ou colorant des verres au natron, *Bulletin de l'AFAV*, 2002-03, p. 15-7.

- VIÉNOT F., 1999.** Le rendu de la couleur dans son contexte. Antériorité du regard des peintres sur l'analyse des scientifiques, *Technè*, 9-10, p. 74-91.
- VIÉNOT F., 2006.** La vision en couleur des surfaces, in M. Élias et J. Lafait (dir.), *La couleur. Lumière, visions et matériaux*, collection Échelles, Belin, Paris, p. 27-78.
- VILARIGUES M. and DA SILVA R.C., 2004.** Ion beam and infrared analysis of medieval stained glass, *Applied Physics A*, 79, 373-8.
- VINCENT C., 2004.** *Fiat Lux : lumière et luminaires dans la vie religieuse en Occident du XIII^e siècle au début du XVI^e siècle*, Cerf, Paris, coll. Histoire religieuse de la France, 693 p.
- VIOLLET-LE-DUC E.E., 1854-1868.** *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, t. 9, Bance puis Morel, Paris.
- VIREY J., 1891.** L'architecture romane dans l'ancien diocèse de Mâcon, *Mémoires de la Société Éduenne*, n^{elle} série, t. XIX, p. 300-3.
- WAHLEN P., [2009].** À propos d'un verre peint trouvé à Alésia (Côte-d'Or) in BALCON-BERRY S., PERROT F. et SAPIN C. (dir.) *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, (Actes de la table ronde tenue à Auxerre les 15-16 juin 2006), CTHS, Paris, 2010, p. 63-4.
- WAILLIEZ W., 2004.** Les couleurs des feuilles et poudres métalliques jaunes, in *Couleur & temps, la couleur en conservation et restauration : [actes des] 12^{es} journées d'études de la SFIIC, Paris, Institut national du patrimoine, 21-24 juin 2006*, éd. SFIIC, Champs-sur-Marne, 89-96.
- WALSH D., 2011.** Les fouilles de Kenneth John Conant (1928-1950), in STRATFORD N. (dir.) *Corpus de la sculpture de Cluny : les parties orientales de la grande église Cluny III*, Picard, Paris, t. 1, p. 25-35.
- WEDEPOHL K.H., 1997.** Chemical Composition of Medieval Glass from Excavations in West Germany, *Glass Technology*, 70:8, 246-65.

WEDEPOHL K.H. and SIMON K., 2010. The chemical composition of medieval wood ash glass from Central Europe, *Chemie der Erde*, 70, 89-97.

WERNER A.E. and BIMSON M., 1967. Technical report on the glass gaming-pieces, in A La Tène III burial at WelwynGarden city, *Archaeologia*, 101, 16-7.

WEYL W.A., 1951. *Coloured Glasses*, Society of Glass Technology, Sheffield, U.K.: 541 p.

WRIGHT V., 2007. Étude de la polychromie des reliefs sur terre crue de la Huaca de la Luna, Trujillo, Pérou, Thèse de doctorat en physique appliquée à l'archéologie précolombienne, Université Panthéon-Sorbonne Paris I, 528 p.

ZACHARIASEN W.H., 1932. The atomic arrangement of glass, *Journal of the American Chemical Society*, 54:10, 3841-51.

ZARZYCKI J., 1982. *Les verres et l'état vitreux*, Masson, Paris, 391 p.

ZECCHIN L., 1987-90. *Vetro e vetrai di Murano*, Arsenale, Venezia (ITA), 3 vol., 403 p.