



Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre | BUCEMA

Hors-série n° 11 | 2019
Germigny, un nouveau regard

Les matériaux des mosaïques de Germigny-des-Prés

Line Van Wersch, Andreas Kronz, Klaus Simon, François-Philippe Hocquet et David Strivay



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/cem/16134>

DOI : 10.4000/cem.16134

ISSN : 1954-3093

Éditeur

Centre d'études médiévales Saint-Germain d'Auxerre

Référence électronique

Line Van Wersch, Andreas Kronz, Klaus Simon, François-Philippe Hocquet et David Strivay, « Les matériaux des mosaïques de Germigny-des-Prés », *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre | BUCEMA* [En ligne], Hors-série n° 11 | 2019, mis en ligne le 09 avril 2019, consulté le 01 mai 2019.

URL : <http://journals.openedition.org/cem/16134> ; DOI : 10.4000/cem.16134

Ce document a été généré automatiquement le 1 mai 2019.



Les contenus du *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre (BUCEMA)* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International.

Les matériaux des mosaïques de Germigny-des-Prés¹

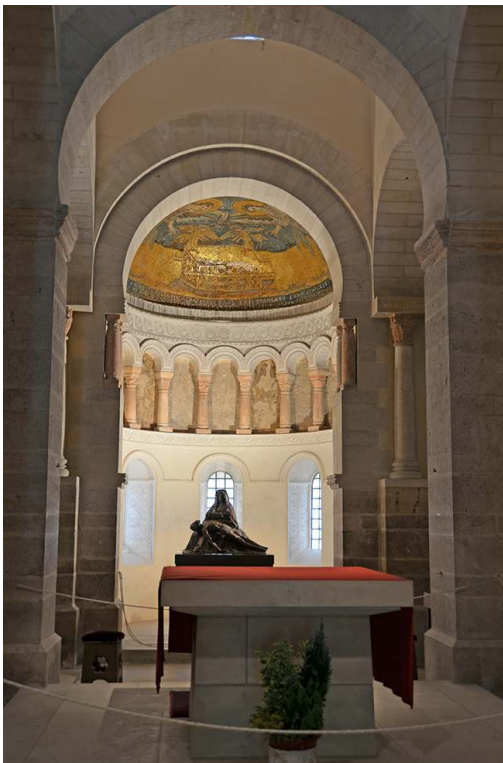
Line Van Wersch, Andreas Kronz, Klaus Simon, François-Philippe
Hocquet et David Strivay

Introduction

- 1 Commanditées par Théodulf pour orner l'oratoire de sa villa, les mosaïques de Germigny-des-Prés sont les seules de cette époque conservées au nord des Alpes (fig. 1).
- 2 Au IX^e siècle, si plusieurs mosaïques ont été réalisées à Rome, celles de Germigny apparaissent bien isolées dans cette région de l'Empire carolingien². Cependant, elles ne devaient pas être uniques, car beaucoup de mosaïques ont disparu, ce que prouvent les nombreux cubes découverts en fouille sur des sites du haut Moyen Âge³ et des sources écrites qui attestent l'existence de plusieurs œuvres⁴.
- 3 La mosaïque de la voûte telle que nous la voyons aujourd'hui est en partie originale et en partie restaurée (fig. 2).



Fig. 1 – Mosaïques de l'église de Germigny-des-Prés



Cl. L. Van Wersch

Fig. 2 – Mosaïque ornant la voûte de l'abside orientale



Cl. L. Van Wersch

- 4 Elle représente, en son centre, l'Arche d'Alliance traversant le Jourdain, surmontée de deux angelots disposés symétriquement. De part et d'autre du motif central, sont placés deux grands anges dominant les premiers. Les ailes des angelots, tout comme celles des anges, se croisent au centre de la composition. Sur cet axe, une main descend d'un ciel étoilé. Une frise décorative composée de rosaces borde la scène. Une inscription est placée sous une frise représentant le Jourdain⁵.
- 5 Les mosaïques des arcades ont été mises au jour lors d'une phase plus récente de la restauration du bâtiment⁶. Elles n'ont pu être restaurées et, a priori, ne sont composées que d'éléments anciens. Actuellement mal conservées, elles figuraient à l'origine des motifs floraux, dont nous n'avons qu'un croquis⁷. Elles semblent s'être dégradées depuis leur découverte au XIX^e siècle. Néanmoins, des tesselles sont encore visibles dans quatre arcades et des motifs végétaux peuvent y être devinés (fig. 3).

Fig. 3 – Mosaïques ornant les arcatures de l'abside orientale



Cl. L. Van Wersch

- 6 Les œuvres conservées à Germigny-des-Prés sont une opportunité unique pour l'étude de la mosaïque, mais aussi pour celle du verre. Ici, en effet, les tesselles sont principalement faites dans ce matériau assez rare en contexte archéologique et dont la provenance au haut Moyen Âge pose encore question.

Méthodologie

- 7 La première difficulté était l'accès à la mosaïque de l'abside, culminant à 5,40 m de hauteur. Le travail devait, de surcroît, être réalisé en dehors des heures d'ouverture de l'église et l'échafaudage déplacé tous les jours pour ne pas gêner les visiteurs. Un modèle léger en aluminium a donc été choisi. À partir de celui-ci, nous avons pu réaliser des observations à l'œil nu et à la loupe (X64), enregistrées grâce à de nombreuses photos.
- 8 Afin de compléter ces observations et compte tenu de l'interdiction de prélever des échantillons, des analyses de composition ont été réalisées en fluorescence X à l'aide d'un appareil portable prêté par le groupe AXE de l'université d'Anvers et utilisable depuis l'échafaudage⁸. Les analyses ont été faites par les physiciens de l'université de Liège qui ont réalisé 84 mesures dans les arcades et 96 sur la voûte, directement en contact avec le matériau. Le point irradié a une forme circulaire d'environ un cm² et a été préalablement nettoyé avec une solution d'éthanol et d'eau (50 % – 50 %). L'ensemble des résultats a ensuite été dépouillé à l'aide du programme AXIL⁹. Les données collectées, d'ordre qualitatif, nous donnent des informations sur les éléments utilisés pour la coloration et l'opacification du verre.
- 9 Pour les analyses en laboratoire, nous avons sélectionné plusieurs tesselles parmi celles conservées dans la vitrine de l'Office de tourisme de Germigny-des-Prés. Avec des responsables de celui-ci, de la mairie et de la DRAC Centre-Val de Loire, nous avons choisi

quinze échantillons : un nucléus turquoise et une tesselle de pierre beige, une de verre bleu cobalt, deux de verre turquoise et douze en verre incolore dont deux sans couverte, deux avec feuille d'argent et six couvertes d'or. Malheureusement, aucun cube « noir », rouge, jaune ou blanc n'était disponible. Toutes les tesselles sélectionnées sont des tesselles anciennes, mais leur origine exacte est inconnue, et elles peuvent provenir des arcades comme de la voûte ou d'autres mosaïques ayant disparu.

- ¹⁰ Les analyses ont été réalisées au *Geowissenschaftliches Zentrum* de l'université de Göttingen. La quantification des éléments majeurs et de quelques éléments mineurs a été faite grâce à une microsonde électronique à dispersion de longueur d'onde (EMP-WDS, JEOL JXA 8900 RL). Les échantillons ont été prélevés sur les tesselles sélectionnées. Pour les tesselles à feuilles métalliques, les prélèvements comprenaient la base, la feuille d'or ou d'argent et la *cartellina*. Les échantillons de quelques mm² ont été inclus dans une résine époxy. Les analyses des éléments mineurs et des éléments traces ont ensuite été faites sur les mêmes échantillons par LA-ICP-MS avec micro-échantillonnage par ablation laser couplé à un spectromètre de masse à plasma à couplage inductif¹⁰. La même procédure a été utilisée de nombreuses fois pour l'étude de verres anciens¹¹. Elle a aussi été mise en œuvre pour l'analyse des tesselles d'Aix-la-Chapelle¹² et dans plusieurs autres sites alto-médiévaux du nord-ouest de l'Europe. Ainsi, l'utilisation de protocoles identiques permettra d'obtenir des résultats les plus comparables possible.

Résultats

Identification et localisation des restaurations

- ¹¹ Vers 1820, la mosaïque de l'abside est redécouverte sous le badigeon qui la masquait¹³ depuis la seconde moitié du XVIII^e siècle¹⁴. Un croquis du début des années 1840 représente l'œuvre (fig. 4)¹⁵, mais ne donne pas une idée exacte des lacunes lors du dégagement de la mosaïque.

Fig. 4 – Croquis datant des environs de 1840, représentant la mosaïque de l'abside après son dégagement



D'après C. SAPIN et F. HEBER-SUFFRIN, « L'oratoire de Germigny », in A. NOTTER et A. BOSCH (éd.), *Lumière de l'an mil en Orléanais. Autour du millénaire d'Abbon de Fleury*, Turnhout, 2004, p. 121-128.

- 12 On n'a pas non plus de description précise de son état juste après le dégagement. En 1847, à la suite d'une lettre d'Albert Delton informant le ministre de la nécessité de nettoyer la fine couche de plâtre couvrant la mosaïque, afin de parfaire la consolidation et de cerner les parties manquantes, Théodore Chrétin, artiste mosaïste, arrive sur le chantier. En 1848, la restauration s'interrompt en raison de mauvaises relations entre ce dernier et Albert Delton¹⁶.
- 13 Redécouverte par Justine Croutelle, une lettre, datant d'août 1855, d'Albert Delton au préfet du Loiret, indique que le mosaïste Liesching ne peut se mettre à l'œuvre, car les matériaux venant de Rome sont retenus à la douane française. Liesching, qui a alors remplacé Chrétin, achève la restauration en 1866¹⁷. Une seconde campagne de restauration, concernant cette fois tout l'édifice, est dirigée par Juste Lish en 1866 et 1867¹⁸. Deux mosaïques, partiellement conservées, sont mises au jour dans la partie orientale de l'oratoire, puis sont détruites¹⁹. L'abbé Prévot indique d'ailleurs qu'il conserve précieusement une centaine de kilogrammes de petits cubes provenant des débris de mosaïques, qui ornaient le mur et la voûte en berceau situés en avant et au-delà de l'église principale, au commencement de la restauration²⁰.
- 14 En 1873, sont découvertes, dans les arcades, des mosaïques à fond d'or représentant une fleur sur tige. Deux motifs sont parfaitement conservés, les autres ne subsistent qu'à l'état de traces, mais aucune précision n'est donnée sur le nombre. Toujours cette année-là, Juste Lisch indique que certaines tesselles dorées sont dégradées et la fabrique nationale

de mosaïques propose d'intervenir. Cependant, aucun devis ni compte de travaux ne donnent d'autres renseignements sur cette éventuelle et ultime restauration²¹.

- 15 Il semble donc y avoir eu plusieurs étapes dans la restauration et, si les noms de trois mosaïstes sont mentionnés, l'emplacement et l'ampleur des interventions ne sont pas connus. Avant de pouvoir étudier les matériaux anciens, il fallait donc pouvoir définir précisément les zones restaurées et identifier les éléments récents. Les plus évidentes à reconnaître sont indéniablement les tesselles dorées, dont la régularité se remarque depuis le sol (fig. 5).

Fig. 5 – Tesselles dorées de la restauration



Cl. L. Van Wersch

- 16 Elles mesurent un centimètre de côté et sont placées en divers endroits, formant de larges plages ou isolées dans des motifs. Visuellement, elles se distinguent nettement des tesselles anciennes plus irrégulières et moins brillantes. Lors de la deuxième phase de restauration de l'édifice, Juste Lisch relate des dégradations sur certaines tesselles dorées, laissant apparaître un support de faïence blanche²². En fait, les tesselles sont en verre, mais une fois la couverture tombée, la surface laisse apparaître le mortier de fond blanc (fig. 6), ce qui a pu orienter la description de Juste Lisch.

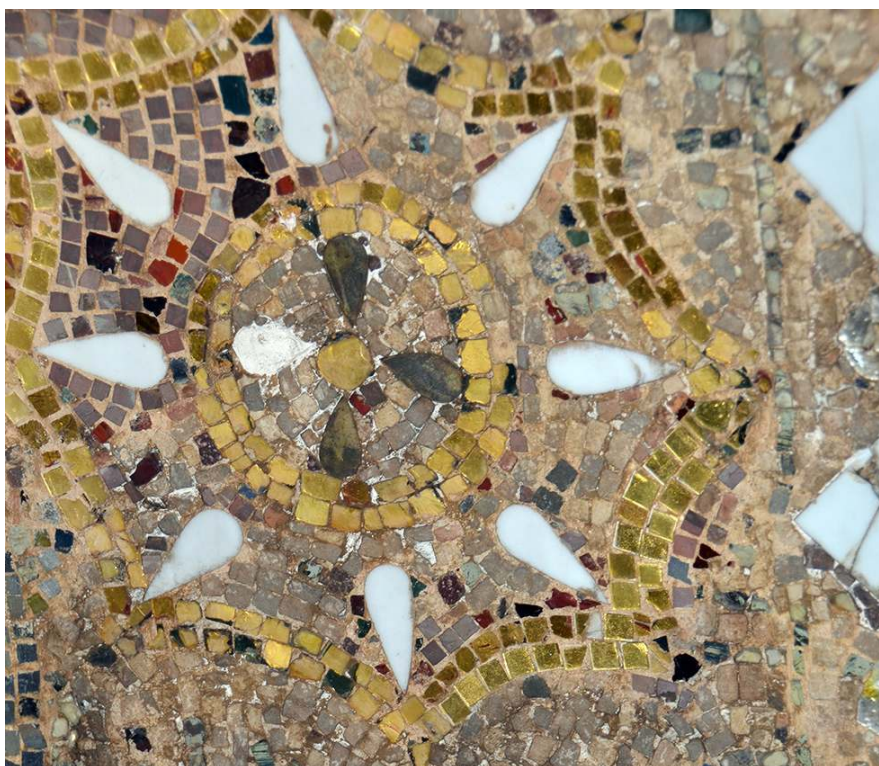
Fig. 6 – Tesselles dorées modernes ayant perdu leur couverture



Cl. L. Van Wersch

- 17 Les losanges et les pétales présents dans la frise décorative pourraient aussi correspondre à cette description (fig. 7).

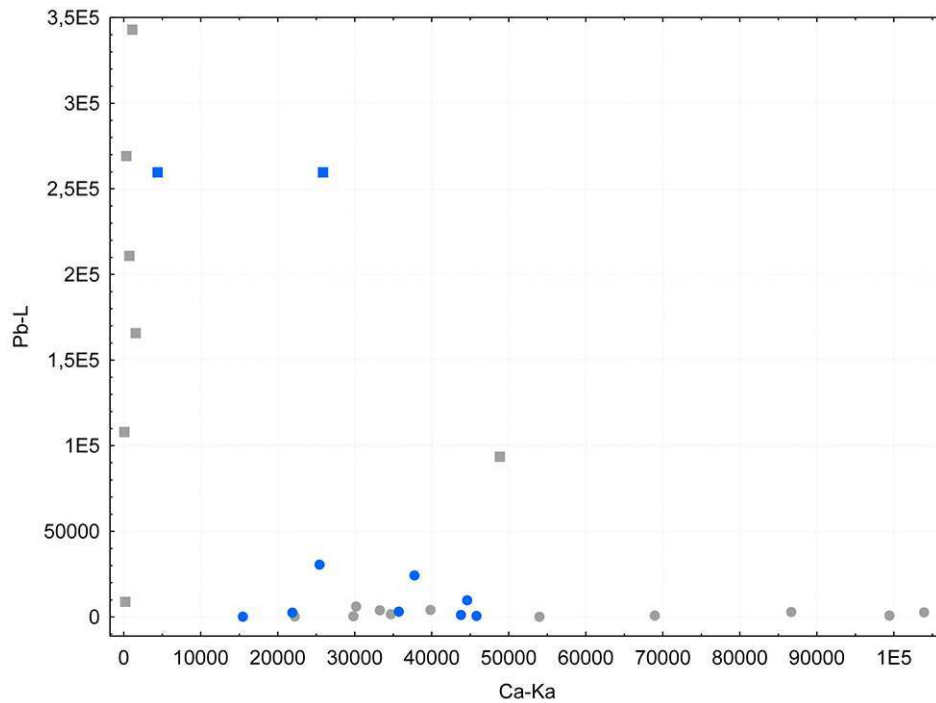
Fig. 7 – Losanges et pétales de la frise bordant la mosaïque de la voûte



Cl. L. Van Wersch

- 18 Ils sont faits de faïence et couverts de traces dorées, vestiges d'une ancienne couverte. Tout comme les tesselles dorées, les pétales et losanges de la frise peuvent être datés du XIX^e siècle. Cette zone a été presque entièrement reprise lors de la restauration. Elle est composée d'éléments récents et de cubes anciens qui peuvent y avoir été remplacés. D'autres pétales mordorés dans la bordure correspondent, quant à eux, à un alliage de cuivre, avec une forte teneur en étain (cf. fig. 7).
- 19 Les losanges argentés de la frise sont aussi modernes. Ils sont identiques aux tesselles argentées du XIX^e siècle et s'en distinguent dans l'inscription par leur découpe et leur brillance. Les analyses en fluorescence X révèlent un taux de plomb très élevé dans leur composition, tout comme dans les cubes bleu cobalt voisins (fig. 8).

Fig. 8 – Rapport du signal de calcium par rapport au signal de plomb mesuré en fluorescence X dans les tesselles argentées et bleu cobalt



Carré = tesselle XIX^e siècle, rond = tesselle ancienne.

- 20 Ceux-ci se différencient des éléments bleus anciens par leur composition et par leur aspect plus irrégulier et plus brillant. Les cubes bleus issus de la restauration sont non seulement présents dans l'inscription, mais aussi dans les vêtements des anges et dans les cieux. À certains endroits, ils sont disposés sans ordre apparent.
- 21 Certaines zones de la mosaïque, comme la frise et l'inscription, sont donc largement restaurées et les cubes présents à ces endroits peuvent, pour la plupart, être identifiés comme récents, mais, pour d'autres fragments, la datation est moins évidente. C'est le cas des cubes noirs et rouges. Leurs compositions ne varient pas vraiment et, dans certains cas, seul leur aspect permet de les rattacher à une production récente.
- 22 Quelques cubes blancs posent aussi question (fig. 9).

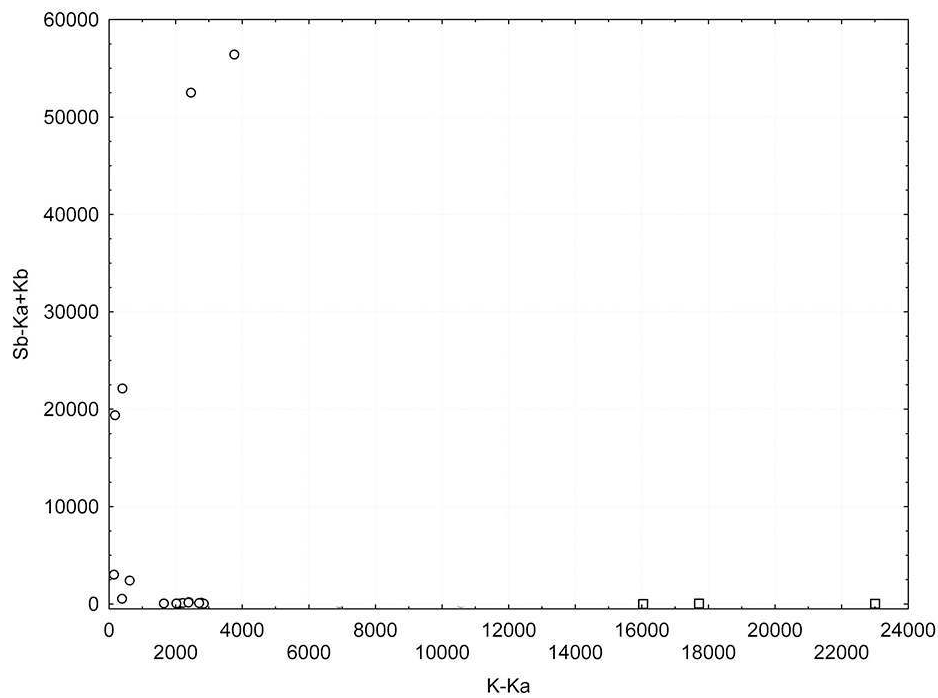
Fig. 9 – Cubes blancs et turquoise modernes



Cl. L. Van Wersch

- 23 Assez grands et en bon état, on les retrouve sur les anges et dans l'Arche d'Alliance. Dans ce cas précis, la proportion de potassium qu'ils contiennent diffère de celle des cubes anciens (fig. 10).

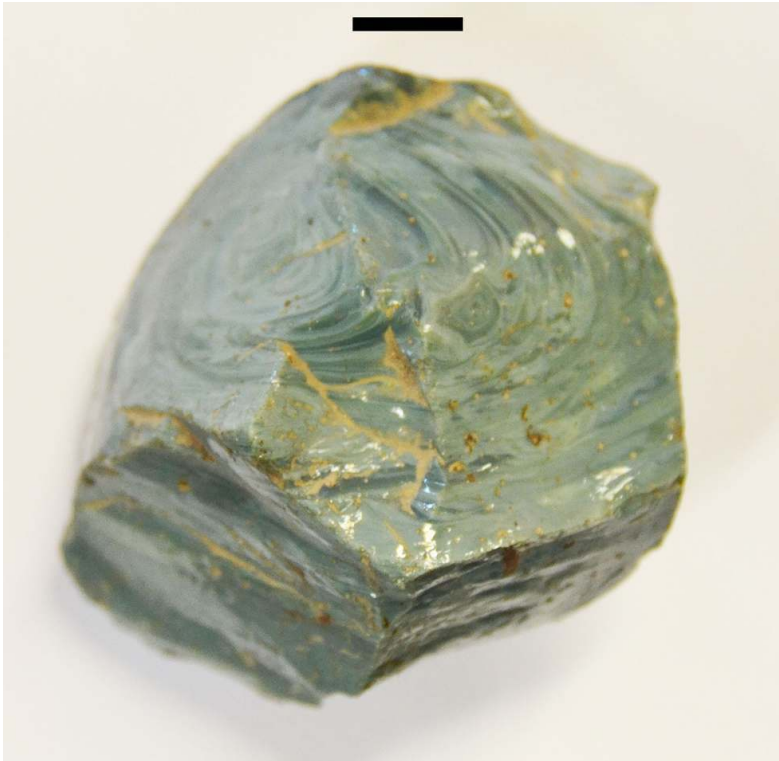
Fig. 10 – Rapport du signal de potassium par rapport au signal d'antimoine mesuré en fluorescence X dans les tesselles blanches



Carré = tesselle du XIX^e siècle, rond = tesselle ancienne.

- 24 À côté des cubes blancs récents, dans les vêtements, se trouve un type particulier de cubes turquoise (cf. fig. 9). Ils couvrent une vaste part du ciel, entre les ailes des grands anges et leurs auréoles, et ont la même apparence que deux scories vitreuses conservées dans les vitrines de l'Office de tourisme de Germigny-des-Prés (fig. 11).

Fig. 11 – Scorie vitreuse turquoise



Cl. L. Van Wersch

- 25 Ces éléments contiennent une proportion de fer plus importante, car il s'agit de scories de haut-fourneau n'apparaissant qu'après le XII^e siècle. Ils appartiennent donc à une restauration postérieure à cette date.
- 26 À l'instar de leurs prédécesseurs, les mosaïstes du XIX^e siècle ont eu recours à la céramique pour découper des tesselles. Trois types distincts peuvent être identifiés : des tessons gris à surface enfumée, des tessons de céramique glaçurée (fig. 12) et de la faïence (fig. 13).

Fig. 12 – Tessons de céramique glaçurée



Cl. L. Van Wersch

Fig. 13 – Tessons de faïence



Cl. L. Van Wersch

- 27 Enfin, les cubes très réguliers, malgré leurs teintes diverses, sont aussi aisés à reconnaître (fig. 14).

Fig. 14 – Cubes très réguliers issus de la restauration



Cl. L. Van Wersch

- 28 Fabriqués pour la restauration, ils se retrouvent dans la frise représentant le Jourdain, dans certaines carnations et dans les hampes de l'Arche d'Alliance. Parmi les cubes du XIX^e siècle, on compte donc un seul type de tesselles dorées. Il en est de même pour les tesselles argentées, mais les cubes colorés sont de différentes factures et pourraient correspondre aux phases de la restauration. Ils ne peuvent malheureusement pas être localisés dans des zones précises et sont souvent mélangés.
- 29 Il n'est donc pas possible d'identifier des phases dans les restaurations. Nous pouvons, en revanche, retracer assez précisément les zones concernées (fig. 15).

Fig. 15 – Situation des zones restaurées au XIX^e siècle



Cl. L. Van Wersch

- 30 En comparant le dessin de 1840 (cf. fig. 4) aux plages restaurées (cf. fig. 15), ces dernières sont plus étendues que celles indiquées sur le relevé.
- 31 Ceci ne remet pas fondamentalement en cause les interprétations iconographiques, car les reprises concernent surtout les fonds, et la plupart des éléments figuratifs semblent d'origine, à l'exception de l'intérieur de l'Arche d'Alliance, dont la partie supérieure a été restaurée.
- 32 Pour H.E. del Medico, l'inclinaison du coffre vers le spectateur indique qu'il ne comportait pas de couvercle ; les lignes blanches étant la trace du dessin d'un des objets qui devait figurer dans le coffre : la verge d'Aaron ou le bâton d'Abraham²³. Élisabeth Revel-Neher rejoint ce point de vue, mais ne propose pas d'hypothèse sur la nature de ces objets²⁴. Une grande partie de l'Arche est restaurée, notamment les traits blancs faits de tesselles modernes, une part du remplissage doré, l'extrémité du drapé argenté et le remplissage du coin inférieur gauche. On ne peut donc se prononcer sur son aspect

original, ni sur son contenu initial ou sur la présence du drapé laissant entrevoir l'intérieur du coffre.

- 33 Les observations faites sur les tesselles et les analyses *in situ* nous permettent d'aborder deux autres questions iconographiques. Élisabeth Revel-Neher interprète les deux anges qui cantonnent la composition comme les personnifications des peuples de l'Ancien et du Nouveau Testament, donc le peuple chrétien à gauche et le peuple hébreux à droite. Le premier se distinguerait par les traits gris-blanc sur son auréole, des traits qui suggéreraient, selon elle, un nimbe crucifère²⁵ ; cet élément pourrait appartenir au projet iconographique initial. Les analyses en fluorescence X d'une tesselle blanche du nimbe confirment son ancienneté et, a priori, son appartenance au programme iconographique initial.
- 34 Enfin, parmi les motifs iconographiques problématiques, il faut mentionner la *manus Dei* qui apparaît entre les têtes des anges. Pour Paul Meyveart et Ann Freeman, cette main serait celle du Christ, la ligne sur la paume figurant les stigmates²⁶. May Vieillard-Troïekoureff attribue à Juste Lisch l'accentuation de l'ombre déjà présente, finalement transformée en blessure²⁷. Comme le note Anne-Orange Poilpré, la main ne présente aucune rupture formelle indiquant une reprise récente et le trait brun indiquant le relief de la paume est très semblable à celui marquant la main ouverte de l'ange de gauche²⁸. Après les avoir observés, la plupart des cubes de la main sont anciens et aucune reprise de l'ombre dans la paume avec des matériaux récents ne peut être signalée. Elle semble donc bien d'origine. De plus, les mêmes matériaux sont utilisés pour figurer les plis des mains des anges. Le fait qu'il s'agisse d'un stigmate est donc très discutable. Pour la plupart de la composition, les mosaïstes du XIX^e siècle semblent avoir suivi les tracés anciens. De même, malgré les matériaux récents, la mosaïque de la voûte apparaît encore telle que Théodulf l'avait voulue. Une vaste plage de l'œuvre initiale subsiste, ce qui va nous permettre d'en étudier les matériaux. Sur le modèle 3D réalisé par l'unité de géomatique de l'université de Liège, nous espérons pouvoir prochainement restituer précisément l'emplacement des différents types de tesselles, les zones restaurées et celles originales. Grâce à ce relevé, nous pourrions aussi quantifier et localiser plus précisément les différents matériaux employés.

Identification des matériaux anciens

- 35 Les éléments en pierre sont utilisés pour rendre les carnations. C'est également le cas dans bon nombre de mosaïques byzantines où la pierre vient remplacer le verre blanc précédemment en usage²⁹. La même pierre beige et calcaire se retrouve sur la voûte de l'abside et dans les arcades. Dans ces zones, les mosaïques comptent en prime des cubes rosés. Les analyses en PXRF mettent en évidence un taux de calcium élevé pour ces deux types de roche. Les tesselles calcaires rosées présentent un certain taux de fer. Cette pierre calcaire est sans doute d'origine locale, car, d'après la carte géologique³⁰, ce matériau est disponible dans la région.
- 36 Sur la voûte, une pierre qui semble plus dure, sans doute plus siliceuse, est utilisée. Sa provenance reste cependant indéterminée.
- 37 Enfin, une pierre rouge mouchetée (fig. 16), rappelant le porphyre, présente une faible teneur en calcium, mais contient un taux important de fer, de titane et de manganèse.

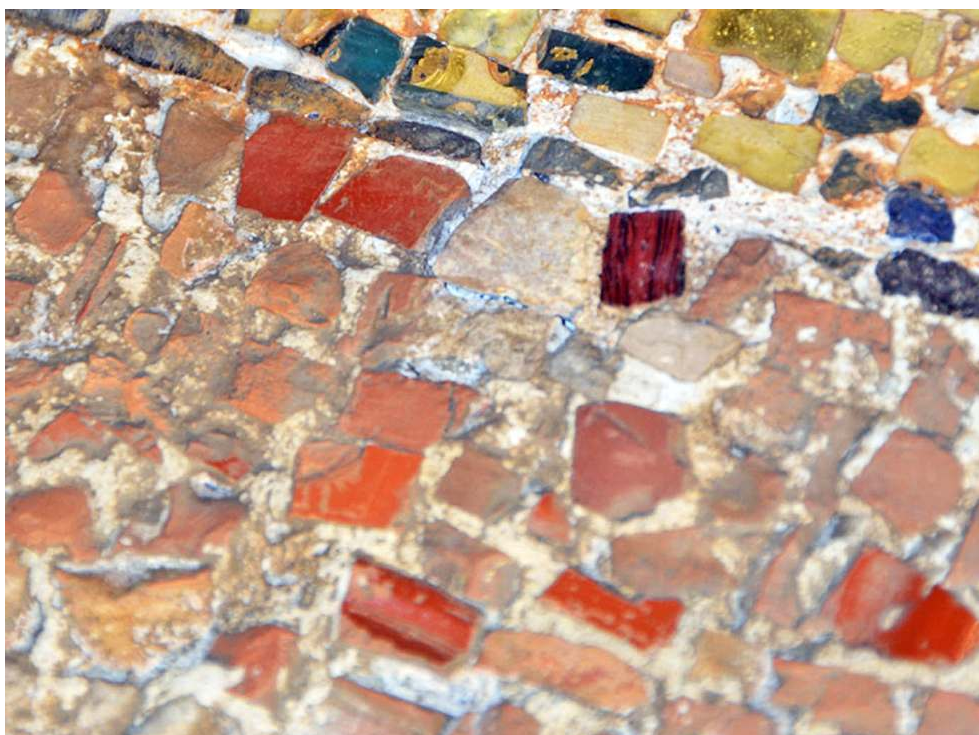
Fig. 16 – Pierre rouge mouchetée



Cl. L. Van Wersch

- 38 Observée dans les arcades, elle compose aussi les vagues du Jourdain, zone de l'abside largement restaurée, dans le bas de la composition. Présente dans la frise décorative, elle pouvait initialement en constituer une plus large partie. Son origine est également indéterminée.
- 39 Dans les arcades et sur la voûte, le ou les mosaïstes ont eu recours à la céramique sigillée pour figurer des tissus ainsi que le modelé des doigts, les plis de la main, des bras et des cous. Ils ont joué sur l'alternance des teintes entre les tranches et les surfaces des tessons (fig. 17).

Fig. 17 – Tessons de sigillée

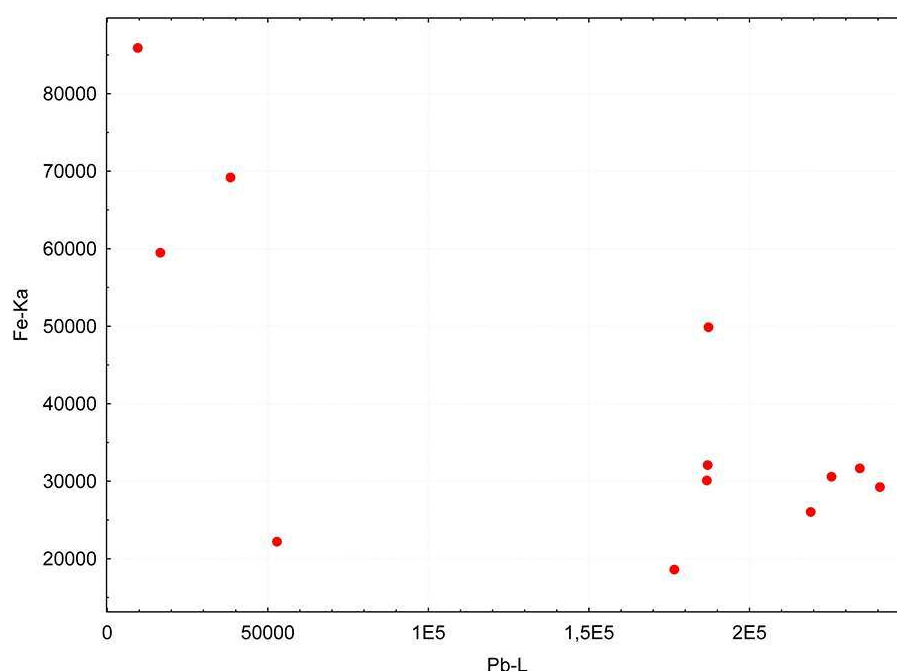


Cl. L. Van Wersch

- 40 Parmi les fragments, se distinguent des bords de vases ou des tessons de panses décorées de guillochis. Différentes phases de la production de sigillée sont également représentées. Ce type de céramique, très en vogue à l'époque romaine, était largement répandu. Il s'agit vraisemblablement d'éléments disponibles localement, récupérés sur les sites gallo-romains alentours.
- 41 À côté de la pierre et de la céramique, les tesselles sont majoritairement en verre. Leurs teintes sont variées, faisant entrer en jeu des matériaux et processus de fabrication diversifiés. Seuls les cubes à feuilles métalliques de couleur turquoise et bleu cobalt ont pu être analysés en laboratoire. Pour les autres, nous ne disposons que des données obtenues par fluorescence X. Si les premiers sont nombreux, les autres sont beaucoup plus rares.
- 42 Les tesselles orange et jaunes sont exceptionnelles. Les oranges ne se trouvent que sur les nez et les bouches des deux grands anges. En dehors d'une dizaine de cubes présents dans les arcades, les jaunes ne sont attestés que dans le visage des deux grands anges. Le verre jaune est obtenu à partir de plomb et d'antimoine, une recette plutôt caractéristique de l'Antiquité³¹. Les cubes orange sont, quant à eux, riches en cuivre, mais aussi en antimoine et en plomb.
- 43 Les cubes blancs sont également utilisés avec parcimonie. Ils se retrouvent dans les vêtements des anges et dans les plumes de leurs ailes, à côté des cubes bleutés. Certains sont colorés et opacifiés à l'antimoniate de calcium, sans plomb ; un autre cube de la voûte est coloré et opacifié avec de l'étain et du plomb. Les analyses des cubes blancs anciens devraient être multipliées pour voir si ce type de composition se répète ou est isolé.

- 44 Le verre véritablement noir n'existe pas. Il s'agit de verre vert, bleu ou brun très foncé³². Dans le cas présent, il est surtout utilisé pour souligner les contours des figures, dans les cheveux des grands anges et leurs plumes. Les analyses en PXRF montrent que ces tesselles contenaient une plus grande quantité de manganèse et étaient donc, à l'origine, brun foncé.
- 45 Pour les tesselles rouges, en dehors de la restauration, les cubes de cette teinte sont rarement utilisés. Ils se situent sur l'Arche d'Alliance, dans les cheveux et dans les vêtements des angelots et des anges. En raison de la haute maîtrise technique que demande sa fabrication, son emploi a fait débat dans la communauté scientifique, et les chercheurs pensent qu'il n'était produit que dans des ateliers spécialisés³³. Si aucune tesselle rouge en verre n'était détachée, les analyses *in situ* sur les zones non restaurées montrent que deux groupes peuvent être définis, l'un riche en plomb et l'autre riche en fer (fig. 18).

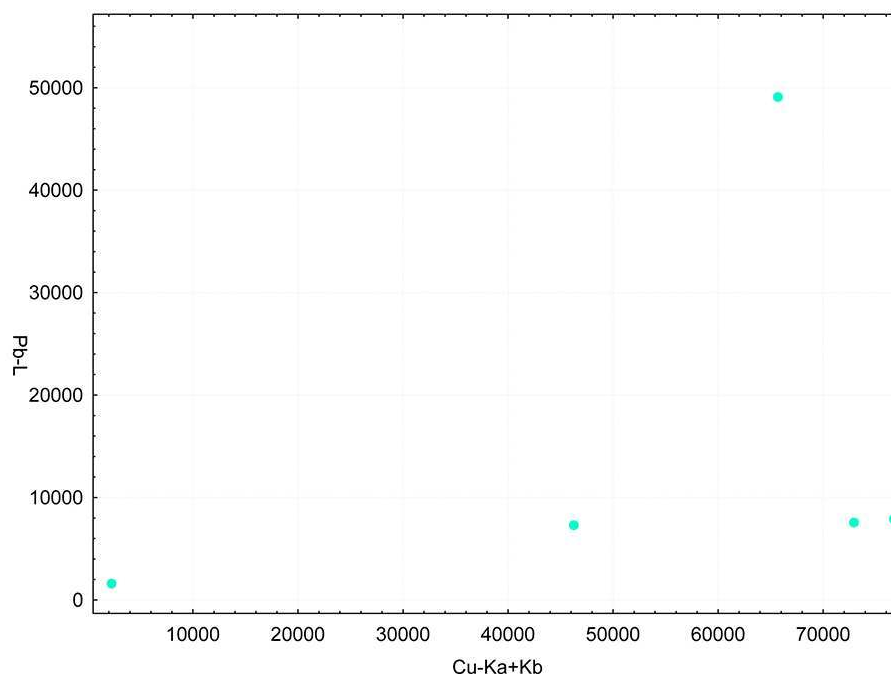
Fig. 18 – Rapport du signal du fer par rapport au signal de plomb mesuré en fluorescence X dans les tesselles rouges et turquoise anciennes



- 46 Or, ce type de distinction a aussi été fait sur des sites italiens³⁴, ce qui suggère la possibilité de plusieurs recettes, voire de plusieurs sources d'approvisionnement, d'autant, qu'à Germigny, les deux types se retrouvent dans les différentes zones.
- 47 Les cubes turquoise, bleu cobalt et à feuille métallique constituent la majorité de l'œuvre. Ceux-ci ont pu être analysés à la fois en fluorescence X, en EMP-WDS et en LA-ICP-MS. En regardant les principaux composants du verre, le matériau se situe encore dans la tradition antique. Il s'agit uniquement de verre au natron avec une concentration de sodium entre 14,55 et 19,58 %. Le magnésium reste sous 1,5 % et le phosphore est principalement en dessous de 0,2 %. Le potassium dépasse 1,5 % dans un seul cas, 1,61 % correspondant à la valeur maximale.

- 48 En comparant les éléments provenant du sable siliceux, les cubes colorés et opaques se distinguent des autres. Ceux-ci semblent fabriqués à partir de sables différents : les tesselles bleu cobalt, en particulier, avec une très faible valeur en titane et une teneur en calcium supérieure. Les cubes turquoise ont un pourcentage de calcium inférieur aux autres cubes et celui du titane avoisine 0,1 %. Dans ces trois échantillons, les terres rares sont plus faibles que dans les autres cas étudiés et confirment l'origine différente des sables.
- 49 Les cubes bleu cobalt sont largement utilisés pour couvrir les cieux et le fond de l'inscription, mais aussi les vêtements des anges. On les retrouve également dans les arcades. Les analyses en fluorescence X indiquent que ces derniers sont semblables à ceux de la voûte. La couleur bleue est due au cobalt (668 ppm en LA-ICP-MS). Dans un seul échantillon, il est presque impossible d'évaluer les éléments qui lui sont corrélés. Pourtant, en comparaison avec les autres cubes, le nickel, le gallium et le germanium sont plus élevés et pourraient être liés au cobalt. Le molybdène, qui est indicatif de l'Erzgebirge³⁵, n'est pas particulièrement concentré. De la même manière, l'arsenic, typique des minerais iraniens³⁶, n'a pas de comportement particulier. En revanche, les taux de cuivre, d'antimoine ou de manganèse supérieurs pourraient être révélateurs d'une origine romaine³⁷. Cependant, ces minerais ne sont pas encore précisément identifiés et des analyses plus nombreuses devraient être réalisées sur les cubes bleus de Germigny.
- 50 Dans l'échantillon bleu cobalt, la quantité d'antimoine atteint 1,77 % et a été ajoutée volontairement au verre³⁸. Si le plomb est assez élevé, l'étain reste faible. Ainsi, l'antimoniate de calcium a été utilisé comme opacifiant. Cette tesselle particulière vient probablement du recyclage de cubes romains, car l'antimoine ne semble plus utilisé après le IV^e siècle³⁹. La provenance différente du sable et la potentielle source de cobalt tendent également à indiquer cette source d'approvisionnement.
- 51 À côté du bleu cobalt, différentes nuances de bleu, vert et turquoise sont utilisées dans le plissé des vêtements des grands anges, principalement dans les jupes, sur la poitrine et les manches, ainsi que dans leurs ailes. Les cubes bleutés sont identiques dans les arcades et sur la voûte. Les couleurs turquoise doivent leur coloration au cuivre, qui a sans doute été ajouté sous forme d'un alliage cuivreux. En fluorescence X, le cuivre apparaît plus concentré et les taux de plomb varient (fig. 19), comme cela a déjà été observé pour le même type de cubes provenant d'autres sites⁴⁰. Deux recettes pourraient être distinguées sur la base du taux de plomb.

Fig. 19 – Rapport du signal de plomb par rapport au signal de cuivre mesuré en fluorescence X dans les tesselles turquoise anciennes



- 52 Deux exemplaires turquoise ont été analysés en laboratoire. Les valeurs du cuivre sont très proches dans les deux tesselles (1,3 et 1,2 %). Bien que Ger III-9 ait une teneur plus élevée en zinc (0,2 %), cet élément est presque absent de Ger III-1. Les alliages utilisés pour colorer le verre pourraient donc être différents. Dans les deux échantillons, la teneur en plomb est d'environ 1 %, mais l'étain est inférieur à celui des échantillons incolores (autour de 0,03 %). Cette valeur, comme le rapport Pb/Sn, n'a jamais été rapportée dans des verres opacifiés⁴¹. Le pourcentage d'antimoine est assez élevé (0,43 et 0,51 %), mais inférieur à celui de la tesselle bleu cobalt. Il apparaît, cependant, comme l'opacifiant le plus probable.
- 53 Les cubes de verre couverts d'une feuille métallique, or ou argent, sont indéniablement les plus nombreux sur la voûte de l'abside. Les cubes argentés remplissent les vêtements des anges, leurs manteaux en particulier. On les retrouve dans l'Arche d'Alliance, dans les cieux étoilés et sur le bord de la frise du Jourdain. Les éléments argentés ont aussi été utilisés dans les arcades. Il est intéressant de noter que ces cubes sont bien moins résistants que les tesselles dorées. Beaucoup ont perdu leurs couvertes et apparaissent désormais gris ou vert-de-gris (fig. 20).

Fig. 20 – Tesselles anciennement dorée ayant perdu leurs couvertes



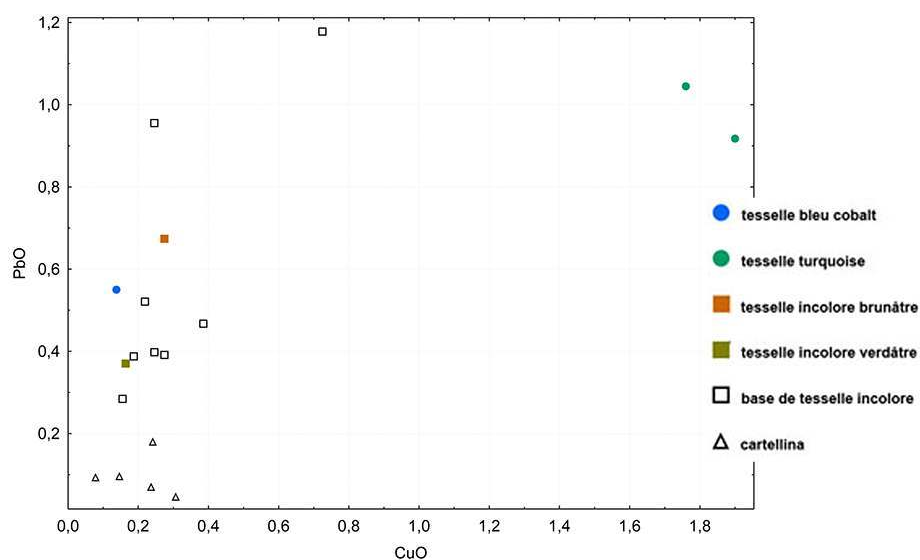
Cl. L. Van Wersch

- 54 À l'origine, les vêtements des anges étaient donc argentés, de même que la base où repose l'Arche d'Alliance, si ce motif n'a pas été entièrement repris au ^{XIX}^e siècle.
- 55 Les cubes dorés, les plus nombreux sur la voûte, sont présents sur le fond, les angelots, l'Arche d'Alliance et les étoiles des cieux. Ils ont aussi été appliqués sur le fond des arcades. Sur l'abside, les petites tesselles sont placées en bas et les plus grandes au-dessus, sauf sur l'extrémité droite, entre l'ange et la frise, où les cubes les plus petits sont au-dessus et les plus grands en dessous. Deux à trois types de cubes dorés peuvent être distingués selon la couleur de leur base. La majorité est bleu-vert, quelques veines rouges y sont observées, mais elles sont plutôt rares. Les bases rouges opaques sont attestées. D'ailleurs, dans l'Arche, plusieurs cubes rouges auraient pu être dorés à l'origine et avoir perdu leur couverture. Enfin, de rares cubes bruns et verdâtre translucides sont répertoriés. Ces différentes bases permettaient de créer des nuances et de jouer avec. Sur certains sites italiens, ces nuances de rouge reflètent aussi des phases chronologiques dans la réalisation du décor⁴². Dans le cas de Germigny, aucun modèle n'a pu être identifié. Les cubes rouges dorés semblent placés de façon aléatoire parmi les tesselles bleu-vert. Cependant, les restaurations peuvent oblitérer la lecture d'un éventuel schéma antérieur.
- 56 La tesselle, Ger-1, la seule brunâtre analysée, se distingue du reste des cubes non colorés. Elle a un taux de phosphore qui atteint 0,37 % et le magnésium a la valeur la plus élevée (1,02 %). Le fer, le calcium et l'aluminium sont également plus élevés que dans les cubes bleu-vert, ainsi que le baryum. Ce cas particulier n'est pas une recette mixte, mais il pourrait correspondre à une contamination par des éléments végétaux, probablement des cendres de bois, au cours du processus de fusion, ce cas de figure ayant déjà été observé pour plusieurs verres du haut Moyen Âge⁴³.
- 57 Les autres tesselles non colorées, soit des cubes bleu-vert et un cube verdâtre, ont des compositions assez homogènes. L'aluminium atteint environ 2,5 % et le calcium avoisine

7 %. Le fer se situe autour de 1 % et le titane de 0,15 %. Certains de ces éléments sont corrélés – l'aluminium et du calcium ($r^2 = 0,71$) ; l'aluminium et le fer ($r^2 = 0,65$) –, ce qui tendrait à prouver une source de sable commune.

- 58 En comparant le verre des tesselles avec les groupes les plus répandus en Europe du Nord-Ouest à la fin de l'Antiquité⁴⁴, le titane et le fer correspondent aux valeurs enregistrées dans les verres HIMT⁴⁵, mais la teneur en calcium est plus élevée. Cette composition pourrait être plus proche du groupe HLMIT, identifié par Ceglia *et alii* à Chypre (V^e-VII^e siècle), et identique au groupe 2.1 de Foy (VI^e-VIII^e siècle), au groupe saxon I, au verre de la Crypta Balbi (VII^e siècle), aux verres mérovingiens du VI^e siècle et à leurs contemporains allemands⁴⁶. Cependant, dans le cas des verres de Germigny-des-Prés, la corrélation entre le fer et le titane est faible et le taux de manganèse est moins important.
- 59 Si nous voulons trouver une correspondance plus précise, nous devons comparer les tesselles au verre plus tardif, en particulier au verre saxon de la période II (VII^e siècle) et au groupe appelé « low Mg »⁴⁷. Ce verre saxon serait identique à celui de Jarrow (fin VII^e siècle), Hamwich ou San Vincenzo⁴⁸. Sur ces sites, les valeurs élevées en antimoine, plomb et cuivre sont expliquées par le recyclage. À San Vincenzo, les auteurs suggèrent que l'approvisionnement en verre proviendrait du recyclage de verres romains des I^{er}-III^e siècles⁴⁹.
- 60 Pour examiner les éléments colorants dans les tesselles, il faut en premier lieu distinguer la base et la *cartellina*. Même si elles sont proches, en effet, les compositions du verre varient. Dans la *cartellina*, les éléments colorant/opacifiant – Cu, Sn, Zn, Au, Pb, Co – sont nettement inférieurs (fig. 21), alors que le verre des bases présente des concentrations élevées : le cuivre est compris entre 0,1 et 0,5 % et le plomb entre 0,3 et 1 %.

Fig. 21 – Pourcentage d'oxyde de cuivre et de plomb mesuré en EMP-WDS

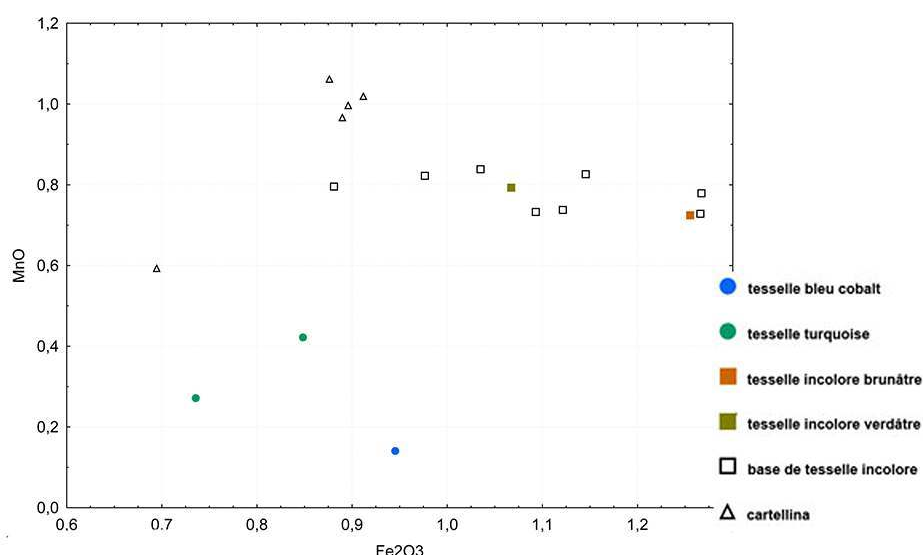


- 61 La corrélation entre plomb et cuivre ($r^2 = 0,87$) est la plus élevée notée dans cet ensemble. Le plomb est plus haut que le cuivre et ne peut pas venir d'un alliage cuivreux, mais ceux-ci peuvent être issus de matériaux colorés, comme le verre rouge, dans lequel le plomb est souvent présent en grande quantité⁵⁰. Au contraire, l'antimoine a les mêmes

concentrations dans les *cartellina* et les bases, où elle varie de façon aléatoire entre 0,12 et 0,3 %, ce qui nous amène à considérer ces éléments comme venant d'un recyclage.

- 62 Les *cartellina* devaient être faites d'un verre beaucoup plus propre et soigneusement sélectionné, car l'antimoine présent dans le verre incolore n'a pas été évité à l'inverse des autres éléments colorants. En prime, la teneur en fer, élément colorant, est inférieure dans la *cartellina* et elle semble corrélée au manganèse qui atteint environ 1 % (fig. 22).

Fig. 22 – Pourcentage d'oxyde de fer et de manganèse mesuré en EMP-WDS



- 63 Elle est nettement plus élevée dans les *cartellina* que dans le verre des bases (environ 0,78 %) et a été ajoutée volontairement, que ce soit par les artisans qui ont fait les tesselles/*cartellina* ou par les verriers antérieurs. La présence de manganèse serait alors le résultat d'une sélection attentive d'un verre incolore. Il est de surcroît intéressant de noter que le manganèse n'est plus utilisé pour décolorer la vaisselle et le verre à vitre contemporains⁵¹. Les producteurs de tesselles avaient donc accès à d'autres matériaux et/ou techniques.

Les feuilles métalliques

- 64 Deux feuilles d'argent et six feuilles d'or ont été analysées par EMP-WDS. Leurs épaisseurs ont également été mesurées en différents endroits des feuilles grâce aux images obtenues en microscopie et, ce, afin d'évaluer leurs homogénéités.
- 65 Pour les feuilles d'or, la valeur moyenne de l'or est 92,94 %. Les feuilles contiennent également une quantité assez élevée d'argent (moyenne de 5,38 %). Le fer reste faible (0,04 %) et le cuivre est homogène (environ 0,37 %). Une tesselle dorée ressort du lot : Ger.V.1. Elle a la valeur la plus faible en or et la plus élevée en argent. Il s'agit également de la seule tesselle brunâtre. Elle provient certainement d'une production différente.
- 66 L'épaisseur des feuilles d'or est homogène : 4,65 microns en moyenne. Elle est plus élevée que la plupart des valeurs observées pour le reste du corpus analysé à Göttingen, ce qui est probablement dû à la teneur en argent qui rend l'or plus difficile à travailler.

- 67 Les deux feuilles d'argent sont plus épaisses (8 et 16,9 microns), mais les mesures sont aussi plus variables. Celles-ci expliquent, en partie, que les tesselles à feuilles d'argent soient moins résistantes que les dorées, car l'adhérence de ces feuilles plus épaisses est moindre. L'argent s'altère aussi et cette altération peut se propager au verre. Il n'est donc guère étonnant qu'un grand nombre de ces cubes aient perdu leur couverture et apparaissent actuellement couleur vert-de-gris.

Conclusion

- 68 Les mosaïques alto-médiévales de Germigny-des-Prés composent un ensemble homogène du point de vue des matériaux et ont été réalisées lors d'une même phase, même si une attention plus particulière a été apportée à l'œuvre de l'abside contenant plus de cubes blancs, jaunes ou rouges.
- 69 Les matériaux utilisés sont à la fois locaux et importés. Une part provient de recyclages, comme les cubes de sigillées ou certaines tesselles, dont la composition indique l'origine antique. Loin d'apparaître uniforme, les matériaux ont des provenances diverses, car plusieurs sources d'approvisionnement ont été nécessaires à la réalisation de l'œuvre. Les artistes ont planifié leur réalisation et prévu leurs matériaux en conséquence.
- 70 Une partie du verre utilisé pour les tesselles dorées provient d'un recyclage, mais les cubes ainsi fabriqués semblent neufs. Ces tesselles dorées, tout comme les argentées, pourraient donc correspondre à une commande spécifique. Si le type de verre utilisé est le même qu'ailleurs dans le nord-ouest de l'Europe, on peut penser que plusieurs ateliers devaient approvisionner l'Empire carolingien. Leur localisation et leur organisation restent malheureusement inconnues, car aucun n'a encore été découvert.

Tab. 1 – Résultats des analyses en EMP-WDS

Objet	couleur	partie de l'objet	opaque	feuille	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO	BaO	CoO	CuO	PbO	SnO ₂	As ₂ O ₅	Sb ₂ O ₅
I_3	bleu-vert	base	non	or	67,34	0,15	2,46	0,88	0,80	0,82	7,08	17,38	0,79	0,13	0,24	0,90	<0,073	0,07	<0,019	0,19	0,39	0,07	<0,044	0,17
I_3	bleu-vert	cartellina	non	or	67,23	0,16	2,36	0,90	1,00	0,86	6,70	18,12	0,64	0,10	0,26	0,97	0,11	0,07	0,02	0,31	0,05	<0,027	<0,045	0,18
I_10	bleu-vert	base	non	or	66,09	0,17	2,76	1,27	0,78	0,89	7,53	16,14	1,47	0,24	0,19	0,56	<0,083	0,08	0,03	0,39	0,47	0,12	<0,048	0,15
I_10	bleu-vert	cartellina	non	or	67,07	0,14	2,43	0,89	0,97	0,82	6,94	17,33	0,92	0,11	0,26	0,81	0,09	0,11	<0,019	0,08	0,09	<0,028	<0,045	0,16
I_12	bleu-vert	base	non	or	66,69	0,16	2,64	0,98	0,82	0,86	7,33	17,10	0,92	0,16	0,22	0,82	0,07	0,07	0,03	0,16	0,28	0,05	<0,043	0,17
I_12	bleu-vert	cartellina	non	or	67,20	0,16	2,35	0,91	1,02	0,84	6,74	17,93	0,72	0,09	0,28	0,90	<0,070	0,07	0,03	0,24	0,07	<0,026	<0,045	0,20
V_5	bleu-vert	base	non	or	66,71	0,16	2,58	1,15	0,83	0,81	7,01	16,75	0,98	0,18	0,22	0,80	0,09	0,07	<0,020	0,25	0,96	0,14	<0,048	0,25
V_1	brunâtre	base	non	or	65,80	0,15	2,73	1,26	0,72	1,02	8,64	15,12	1,61	0,37	0,15	0,66	<0,074	0,08	<0,019	0,27	0,67	0,10	<0,044	0,22
V_6	bleu-vert	base	non	or	66,87	0,14	2,60	1,09	0,73	0,84	7,25	16,76	1,19	0,22	0,20	0,81	0,08	0,07	0,02	0,22	0,52	0,16	<0,045	0,23
V_6	bleu-vert	cartellina	non	or	69,49	0,10	2,29	0,69	0,59	0,67	6,36	17,92	0,81	0,09	0,26	0,78	0,10	0,14	<0,019	0,15	0,10	<0,027	<0,046	0,29
I_20	bleu-vert	base	non	argent	67,27	0,16	2,56	1,03	0,84	0,85	7,11	17,09	0,99	0,16	0,22	0,81	0,08	0,07	<0,019	0,25	0,40	0,07	<0,045	0,16
I_20	bleu-vert	cartellina	non	argent	66,98	0,18	2,42	0,88	1,06	0,85	6,73	18,09	0,62	0,08	0,26	0,99	0,07	0,08	0,02	0,24	0,18	0,05	<0,048	0,15
I_21	bleu-vert	base	non	argent	66,26	0,15	2,66	1,12	0,74	0,88	7,53	15,80	1,50	0,25	0,21	0,67	0,09	0,09	<0,019	0,27	0,39	0,08	<0,042	0,19
III_6	bleu-vert	base	non	/	65,04	0,16	2,48	1,27	0,73	1,07	7,10	17,14	0,95	0,22	0,30	0,86	0,10	0,10	0,02	0,72	1,18	0,13	<0,042	0,46
III_3	vert olive	base	non	/	67,20	0,14	2,58	1,07	0,79	0,86	7,48	16,53	1,23	0,21	0,21	0,76	0,11	0,09	<0,019	0,16	0,37	0,10	0,05	0,30
III_1	turquoise	base	oui	/	67,50	0,11	2,34	0,85	0,42	0,66	5,81	17,76	0,70	0,14	0,25	1,08	0,07	0,06	<0,020	1,90	0,92	0,04	<0,046	0,57
III_8	turquoise	base	oui	/	65,39	0,10	2,42	0,74	0,27	0,73	5,67	19,58	0,73	0,14	0,35	1,19	<0,071	<0,053	<0,019	1,76	1,04	0,04	<0,047	0,71
VI_1	bleu cobalt	base	oui	/	68,92	0,04	2,49	0,95	0,14	0,58	7,78	14,55	0,50	0,10	0,29	0,74	<0,065	0,05	0,09	0,14	0,55	<0,028	<0,045	2,38

NOTES

1. Nous tenons à remercier vivement la DRAC Centre-Val de Loire, la Mairie de Germigny et l'Office de tourisme Val d'Or et Forêt pour leur collaboration et les autorisations. Le financement de ce travail a été possible grâce au prix de la *Fondation Comhaire* et au FRS-FNRS.
2. L. JAMES, E. SOPRONI et B. BJORNHOLT, « Mosaics by numbers », in L. JAMES et C. ENTWISTLE (éd.), *New light on old glass*, Oxford, 2013, p. 310-328.
3. Voir les actes du workshop de la Paix-Dieu à paraître dans *Medieval and Modern Matters* ; S. BALCON-BERRY, F. PERROT et C. SAPIN (éd.), *Vitrail, verre et archéologie entre le V^e et le XII^e siècle*, Paris, 2009.
4. J.-P. CAILLET, *L'art carolingien*, Paris, 2005.
5. Pour une description plus détaillée de la scène figurée, voir dans ce volume l'article d'A.-O. Poilpré et, pour la lecture du texte, l'article de C. Treffort.
6. Voir article de J. Croutelle dans ce volume.
7. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire de Germigny-des-Prés : l'authentique et le restauré », in *Cahiers de civilisation médiévale*, 163 (1998), p. 281-297.
8. La description du set up est disponible en ligne [<https://www.uantwerpen.be/en/rg/axes/service---equipment/equipment/x-ray-based/keymaster-tracer-iii-v/>].
9. B. VEKEMANS, K. JANSSENS, L. VINCZE, F. ADAMS et P. VAN ESPEN, « Analysis of X-ray spectra by iterative least squares (AXIL) : New developments », *X-ray spectrometry*, 23/6, 1994, p. 278-285.
10. La majeure partie de l'interprétation reposant sur ceux-ci, seuls les résultats des analyses EMP-WDS sont présentés dans cet article. Un article ultérieur concernant un lot plus important de tesselles alto-médiévales, issues de divers sites du nord-ouest européen, reprendra l'ensemble des résultats.
11. Voir, notamment, K. H. WEDEPOHL, K. SIMON et A. KRONZ, « Data on 61 chemical elements for the characterization of three major glass compositions in Late Antiquity and the Middle Ages », *Archaeometry*, 53 (2011), p. 81-102.
12. A. KRONZ, K. SIMON, W. GIERTZ et S. RISTOW, « Karolingerzeitliche Gold-glastessellae aus dem Aachener Dom », *Achäometrie und Denkmalpflege 2015, Metalla Sonderheft*, 7 (2015), p. 66-68.
13. ABBÉ PRÉVOST, « La basilique de Théodulfe et la paroisse de Germigny-des-Prés, Orléans », in *Monographie des villes et villages de France*, 1889 (réimp. coll. M.-G. Micberth, Paris, 2004).
14. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *op. cit.*
15. C. SAPIN et F. HEBER-SUFFRIN, « L'oratoire de Germigny », in A. NOTTER et A. BOSC (éd.), *Lumière de l'an mil en Orléanais. Autour du millénaire d'Abbon de Fleury*, Turnhout, 2004, p. 121-128.
16. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *op. cit.*
17. J. CROUTELLE, « L'église de Germigny-des-Prés, de la construction de Théodulphe à l'idéal du XIX^e siècle », mémoire de master, dir. J. Barbier et B. Boissavit-Camus, université Paris Nanterre, 2015.
18. Pour les différentes étapes de la restauration de l'édifice, voir l'article de J. Croutelle dans ce volume.
19. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *op. cit.*
20. ABBÉ PRÉVOST, « La basilique de Théodulfe... », *op. cit.*
21. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *op. cit.*
22. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *ibid.*

23. H. E. DEL MEDICO, « La mosaïque de l'abside orientale à Germigny-des-Prés », *Monuments et mémoires de la Fondation Eugène Piot*, 39 (1943), p. 81-102.
24. É. REVEL-NEHER, *L'arche d'alliance dans l'art juif et chrétien du second au dixième siècles. Le signe de la rencontre*, Paris, 1984, p. 184-192.
25. É. REVEL-NEHER, *L'arche d'alliance...*, *ibid.*
26. A. FREEMAN et P. MEYVAERT, « The meaning of Theodulf's Apse Mosaic at Germigny-des-Prés », *Gesta*, 40/2 (2001), p. 125-139.
27. M. VIEILLARD-TROÏEKOUROFF, « Nouvelles études sur les mosaïques de Germigny-des-Prés », *Cahiers archéologiques*, 17 (1967), p. 103-112.
28. A.-O. POILPRÉ, « Le décor de l'oratoire... », *op. cit.*
29. L. JAMES *et alii*, « Mosaics by numbers », *op. cit.*
30. L. BERNARD, *Carte géologique, département du Loiret, adaptée à la carte au 200 000^e du secteur vicinal*, en ligne [<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53065158t/f1>].
31. N. SCHIBILLE et I. C. FREESTONE, « Composition, Production and Procurement of Glass at San Vincenzo al Volturno : An Early Medieval Monastic Complex in Southern Italy », 16 (2013), en ligne [<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0076479>]; M. HECK et P. HOFFMAN, « Coloured opaque glass beads of Merovingians », *Archaeometry*, 42 (2000), p. 341-357.
32. S. CAGNO, P. COSYNS, K. NYS et K. JANSSENS, « Black-appearing Roman Glass », in K. JANSSENS (éd.), *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, Chichester, t. 1, 2013, p. 369-385.
33. N. SCHIBILLE, P. DEGRYSE, M. CORREMANS et G. SPECHT, « Chemical characterisation of glass mosaic tesserae from sixth-century Sagalassos (south-west Turkey): chronology and production techniques », *Journal of Archaeological Science*, 39 (2012), p. 1480-1492.
34. A. SILVESTRI, S. TONETTO, G. MOLIN et P. GUERRIERO, « The palaeo-Christian glass mosaic of St. Prosdocimus (Padova, Italy): archaeometric characterisation of tesserae with copper- or tin-based opacifiers », *Journal of Archaeological Science*, 42 (2014), p. 51-67.
35. B. GRATUZE « Provenance Analysis of Glass Artefacts », in K. JANSSENS (éd.), *Modern Methods...*, *op. cit.*, p. 311-343.
36. B. GRATUZE « Provenance Analysis... », *ibid.*
37. B. GRATUZE « Provenance Analysis... », *ibid.*
38. D. BREMS et P. DEGRYSE, « Western Mediterranean sands for ancient glass making », in P. DEGRYSE, *Glass Making in the Greco-Roman World: Results of the Archglass project*, Louvain, 2014, p. 27-50.
39. N. SCHIBILLE et I. C. FREESTONE, « Composition, Production... », *op. cit.*
40. A. SILVESTRI *et alii*, « The palaeo-Christian glass mosaic... », *op. cit.*
41. M. TITE, T. PRADELL et A. SHORTLAND, « Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the late iron age onwards : a reassessment », *Archaeometry*, 50/1 (2008), p. 67-84 ; A. SILVESTRI *et alii*, « The palaeo-Christian glass mosaic... », *ibid.*
42. C. MOSCOLINO, « The observation and conservation of mosaics in Ravenna in the 5th and 6th centuries », in L. JAMES et C. ENTWISTLE (éd.), *New light on old glass*, Oxford, 2013, p. 42-52.
43. I. C. FREESTONE, M. HUGHES et C. P. STAPELTON, « The composition and production of Anglo-Saxon Glass », in V. I. EVISON, *Catalogue of Anglo-Saxon Glass in the British Museum*, Londres, 2008, p. 29-46 ; J. MOTTEAU et B. VELDE, « Glass Composition of the Merovingian Period in Western Europe », in K. JANSSENS (éd.), *Modern Methods...*, *op. cit.*, p. 386-397.
44. H. E. FOSTER et C. M. JACKSON « The composition of naturally coloured late Roman vessel glass from Britain and the implication for models of glass production and supply », *Journal of Archaeological Science*, 36 (2009), p. 189-204.
45. H. E. FOSTER et C. M. JACKSON « The composition of naturally... » *ibid.*

46. A. CEGLIA, P. COSYNS, K. NYS, H. TERRY, H. THIENPONT et W. MEULEBROECK, « Late antique glass distribution and consumption in Cyprus : a chemical study », *Journal of Archaeological Science*, 61 (2015), p. 213-222.
47. I. C. FREESTONE *et alii*, « The composition and production... », *op. cit.*
48. I. C. FREESTONE *et alii*, « The composition and production... », *ibid.*
49. N. SCHIBILLE et I. C. FREESTONE, « Composition, Production... », *op. cit.*
50. A. SILVESTRI *et alii*, « The palaeo-Christian glass mosaic... », *op. cit.*
51. L. VAN WERSCH, I. BIRON, B. NEURAY, F. MATHIS, G. CHÊNE, D. STRIVAY et C. SAPIN « Les vitraux alto-médiévaux de Stavelot », *Revue d'archéométrie*, 38 (2014), p. 219-234 ; L. VAN WERSCH, I. BIRON, F. MATHIS, G. CHÊNE et D. STRIVAY, « Analysis of glass vessels », in M. KAARS et F. THEUWS, *The Vrijthof cemetery*, à paraître.
-

AUTEURS

LINE VAN WERSCH

FRS-FNRS, UC Louvain

ANDREAS KRONZ

Université de Göttingen

KLAUS SIMON

Université de Göttingen

FRANÇOIS-PHILIPPE HOCQUET

Université de Liège

DAVID STRIVAY

Université de Liège